

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

**MAESTRÍA EN CIENCIAS AGRÍCOLAS
MENCIÓN AGRICULTURA SOSTENIBLE**



**EFFECTO DE FUENTES Y TRES NIVELES DE MATERIA
ORGÁNICA, EN LA REDUCCIÓN DE LA ABSORCIÓN DE
CADMIO EN ALMENDRAS DE CACAO EN LEONCIO PRADO**

TESIS

Para optar al grado de:

**MAESTRO EN CIENCIAS AGRÍCOLAS
MENCIÓN: AGRICULTURA SOSTENIBLE**

JAIME JOSSEPH CHÁVEZ MATÍAS

Tingo María – Perú

2020



UNIVERSIDAD NACIONAL AGRARIA DE LA SELVA
ESCUELA DE POSGRADO
DIRECCIÓN



"Año de la Universalización de la Salud"

ACTA DE SUSTENTACIÓN DE TESIS
Nro. 003-2020-EPG-UNAS

En la ciudad universitaria, siendo las 6:00pm del día viernes 17 de enero del 2020, reunidos en el Aula de la Escuela de Posgrado, se instaló el Jurado Calificador a fin de proceder a la sustentación de la tesis titulada:

"EFECTO DE FUENTES Y TRES NIVELES DE MATERIA ORGÁNICA, EN LA REDUCCIÓN DE ABSORCIÓN DE CADMIO EN ALMENDRAS DE CACAO EN LEONCIO PRADO"

A cargo del candidato al Grado de Maestro en Ciencias Agrícolas, mención Agricultura Sostenible, Jaime Joseph Chávez Matías.

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 8:00pm el presidente dio por culminada la sustentación; procediéndose a la suscripción de la presente acta por parte de los miembros del jurado, quienes dejan constancia de su firma en señal de conformidad.

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

.....
M.Sc. FAUSTO SILVA CARDENAS
Miembro del Jurado

.....
M.Sc. ROBERTO OBREGÓN PEÑA
Miembro del Jurado



.....
Dr. HUGO A. HUAMANI YUPANQUI
Asesor

DEDICATORIA

A Dios.

El que en todo momento está conmigo, bendiciendo cada día de mi vida y ayudándome aprender de mis errores. Es quien guía el destino de mi vida.

A mis hermanos

Yolanda y Rubén, por haberme formado como persona, su comprensión y apoyo incondicional.

A mi esposa

Rosa Wilma Muñoz Amasifén por su compañía, amor y apoyo incondicional.

A mis hijos.

Arely Priscila, Francis David y Esther Geraldine por su amor y la razón de mi ser.

AGRADECIMIENTO

A la Universidad Nacional Agraria de la Selva - UNAS y a todo el personal que la conforman, por contribuir y ser parte en mi formación profesional.

A los miembros del jurado de tesis: Dr. Lucio Manrique De Lara Suarez, M.Sc. Fausto Silva Cárdenas M.Sc. Roberto Obregón Peña, por su aporte y contribución en la revisión académica científica al presente trabajo de tesis.

Al Dr. Hugo Alfredo Huamaní Yupanqui, asesor de la presente tesis, por su apoyo en el proyecto, ejecución, contribución científico y culminación.

Al proyecto “Estrategias tecnológicas para reducir el contenido de cadmio en las almendras del cultivo de cacao” del Convenio Nro 101-2015-FONDECYT, que subvencionó la ejecución del experimento.

Al M.Sc. Elvis Ottos Diaz por su apoyo incondicional en la ejecución y redacción de la presente tesis.

A todas las personas que me brindaron su colaboración, conocimientos, ayuda y sobre todo su amistad.

ÍNDICE GENERAL

	Pág
I. INTRODUCCIÓN.....	12
II. REVISIÓN DE LITERATURA	14
2.1 Materia orgánica del suelo (MOS)	14
2.2 Formación de las sustancias húmicas (SHs).....	15
2.2.1. Teoría de la lignina	17
2.2.2. Teoría del polifenol	18
2.3 Concepto y estructura de las sustancias húmicas (SHs)	19
2.3.1 Características químicas y fórmulas de las SHs	21
2.3.2 Ácidos fúlvicos (AF)	21
2.3.3 Ácidos húmicos (AH)	22
2.3.4 Humina (HUM).....	23
2.4 Materia orgánica del suelo y efecto en la disponibilidad del cadmio.	24
2.5 Cadmio en el suelo	24
III. MATERIALES Y MÉTODOS	26
3.1. Ubicación política	26
3.2. Ubicación geográfica y zona de vida	26
3.3. Materiales	27
3.4. Métodos	27
3.5. Fraccionamiento químico de la materia orgánica del suelo (MOS)	28
3.5.1. Extracción de las SHs (sustancias húmicas).....	28
3.5.2. Fracción de ácidos fúlvicos (AF)	28
3.5.3. Fracción de ácidos húmicos (AH)	29
3.5.4. Fracción de Humina (HUM)	29
3.5.5. Carbono orgánico total (COT).....	30
3.5.6. Análisis de cadmio total (recuperable) en suelo, AH, AF y HUM	30
3.5.7. Cadmio disponible (extraíble) en suelo	31

3.5.8. Cadmio total en grano del cacao, método (digestión húmeda)	31
3.5.9. Diseño experimental y componentes de estudio	32
IV. RESULTADOS Y DISCUSIÓN	35
4.1. Contenido de cadmio en la fracción química (ácidos húmicos, ácidos fúlvicos y humina) de la materia orgánica del suelo.	35
4.1.1. Ácido húmico (AH).....	37
4.1.2. Ácidos fúlvicos (AF)	39
4.1.3. Humina (HUM).....	42
4.2. Fuentes y niveles de materia orgánica que reduce absorción de cadmio en almendras de cacao.....	45
4.2.1. Reducción de la absorción del cadmio en las almendras de cacao y reducción del cadmio disponible en el suelo.	48
4.3. Correlación entre el cadmio disponible y total del suelo con el Cd, Ca, Mg, Zn, en almendras de cacao	50
4.4. Concentración de materia orgánica (%) por efecto de cinco fuentes en tres niveles	56
4.4.1. Efecto principal de las fuentes orgánicas (abonos) con tres niveles en la presencia de cadmio disponible en el suelo.....	56
4.4.2. Efecto simple de interacción, de las fuentes orgánicas con tres niveles, sobre la concentración de materia orgánica (%)	58
V. CONCLUSIONES.....	65
VI. RECOMENDACIONES.....	66
VII. BIBLIOGRAFÍA	67
VIII. ANEXOS	76

ÍNDICE DE CUADROS

Cuadro	Pág
1. Descripción de los tratamientos en estudio.....	32
2. Esquema del análisis de variancia (ANVA).....	33
3. Cadmio total (ppm) promedio en la humina (Hum), ácidos húmicos (AH) y ácidos fúlvicos (AF)	36
4. Duncan del cadmio total en los ácidos húmicos de las fuentes orgánicas	38
5. Duncan del cadmio total en los ácidos húmicos de las fuentes orgánicas.....	39
6. Duncan del cadmio total en los granos de cacao, en las fuentes de materia orgánica.....	45
7. Duncan del cadmio total en los granos de cacao, en los niveles de materia orgánica.....	47
8. Duncan del cadmio total en las almendras de cacao en la interacción fuentes (A) * niveles de materia orgánica (B).....	48
9. Concentración de cadmio total, disponible en suelo y Cd, Zn, Mg, Ca en grano	49
10. Análisis de correlaciones de Person entre el Cd total, Cd disponible y Cd en grano con algunas variables químicas del grano del cacao..	51
11. Duncan del contenido de materia orgánica en el suelo por efecto de las fuentes y niveles de enmiendas orgánicas.....	57
12. Prueba de Duncan para el efecto simple de las interacciones fuentes orgánicas en tres niveles, sobre la concentración de materia orgánica (M.O) en el suelo	59
13. Prueba de Duncan para el efecto simple de las interacciones niveles de las fuentes orgánicas aplicado (t/ha) sobre las fuentes orgánicas.	61
14. Duncan de la concentración de la materia orgánica en los tratamientos en estudio.	62
15. Cadmio total (ppm) en los ácidos húmicos (AH)	77

16.	ANVA del contenido de cadmio total en ácidos húmicos	77
17.	Cadmio total (ppm) en los ácidos fúlvicos.....	78
18.	ANVA del contenido cadmio total en los ácidos fúlvicos.	78
19.	Cadmio total (ppm) en la humina (HUM)	79
20.	ANVA del contenido de cadmio total en la humina.	79
21.	Concentración de cadmio total (ppm) en almendras de cacao.....	80
22.	ANVA del cadmio total en almendras de cacao	80
23.	Concentración de materia orgánica (%) en los tratamientos.....	81
24.	ANVA de la concentracion de materia organica en los tratamientos..	81
25.	Duncan de efectos simples de la materia organica.....	82
26.	Concentración de cadmio disponible (ppm) del suelo en los tratamientos.....	82

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura	Pág
1. Estructura modelo del ácido húmico (a) y ácido fúlvico (b) (Stevenson 1982)	16
2. Caracterización de los ácidos húmicos y fúlvicos.	19
3. Esquema del fraccionamiento químico de la materia organica.	29
4. Croquis de la unidad experimental	34
5. Concentración de cadmio total en el ácido fúlvico con las fuentes orgánicas aplicadas.....	40
6. Concentración de cadmio total en el ácido fúlvico en los niveles de materia orgánica aplicado.....	41
7. Concentración de cadmio total en la humina con las fuentes orgánicas aplicadas.....	43
8. Concentración de cadmio total en la humina en los niveles de materia orgánica aplicadas.....	44
9. Concentración del cadmio total (ppm) promedio en la humina (HUM), ácidos húmicos (AH) y ácidos fúlvicos (AF) en los tratamientos.	44
10. Regresión entre el cadmio disponible del suelo con el Ca, Zinc, Mg, y Cd total del grano.	52
11. Correlación y regresión entre los niveles de materia orgánica y Cd, Zn en grano de cacao con estiércol de vacuno (a), con RPCC+CM (b), correlación entre el Cd disponible y el Cd, Ca, Mg en grano con RPCC (c) y RPCC+CM (d).	54
12. Correlación entre la materia orgánica aplicado y el Ca, Mg, Cd en grano, Zn en grano (a), y entre Cd total suelo, Cd disponible y total en suelo.....	55
13. Efecto de las fuentes orgánicas en cada nivel 25 (a), 50 (b) y 100 (c) (t/ha) aplicado sobre la concentración de materia organica del suelo.	63
14. Efecto de los niveles de materia orgánica aplicados (t/ha) sobre las fuentes orgánicas, en la concentración de materia orgánica.	64

15. Croquis del campo experimental y ubicación de los tratamientos en estudio	83
16. Resultados de análisis físico químico de suelos de los tratamientos en estudio.....	84
17. Resultados de análisis de cadmio total de las fracciones químicas de la materia organica de los tratamientos en estudio	85
18. Resultados de análisis físico químico de los granos de cacao de los tratamientos en estudio	86
19. Delimitación de las unidades experimentales según los tratamientos en estudio	87
20. Aplicación de estiércol de vacuno 100 t/ha	87
21. Aplicación de compost municipal 100 t/ha	88
22. Aplicación de residuos de poda y cosecha de cacao (RPCC) 50 t/ha	88
23. Aplicación de estiércol de vacuno más residuos de poda y cosecha de cacao 50 t/ha	89
24. Aplicación de compost municipal más residuos de poda y cosecha de cacao 100 t/ha	89
25. Muestreo de suelo al final de experimento	90
26. Cosecha de cacao al final de experimento	90
27. Fraccionamiento químico de la materia organica del suelo	91

RESUMEN

La investigación se realizó en la parcela de cacao de Shiringal - Tulumayo, ubicada en el distrito de Pueblo Nuevo, provincia de Leoncio Prado y región de Huánuco. Se utilizó un diseño de bloque al azar con 3 repeticiones, en arreglo factorial con cinco fuentes orgánicas (5A) con 3 niveles (25, 50, 100 t/ha) más 1 testigos adicional sin M.O. El fraccionamiento químico de los ácidos húmicos (AH), ácidos fúlvicos (AF) y huminas (HUM), se realizó según el método de la Sociedad Internacional de las sustancias húmicas (IHSS) propuesto por Swift (1996), el Cd en grano según Bazán (1996), Cd disponible según Gonzales (1986), Cd total del suelo según EPA-3050B (USEPA 1996). El objetivo fue: (i) Determinar la concentración de cadmio en la fracción química (AF, AH, HUM), (ii) Determinar la mejor fuente y nivel de materia orgánica para reducir la absorción del cadmio en granos de cacao y (iii) Correlación entre el cadmio con el Ca, Mg y Zn, en almendras de cacao. Los resultados indicaron una mayor concentración de cadmio total en la humina (0.39 ppm) equivalente al 36.94 %, le sigue la el ácido húmico (0.37 ppm) equivalente al 35.5 % y en menor concentración el ácido fúlvico (0.29 ppm) equivalente al 27.56 %, en el orden HUM>AH>AF. Se ha reducido la absorción del cadmio en 5.6% con la aplicación de 25 toneladas de residuos de poda y cosecha de cacao (RPCC). La correlación observada sugiere incrementar el contenido del Ca, Mg y Zn en el suelo para limitar la absorción del cadmio disponible del suelo por la planta reduciendo su presencia en los granos del cacao.

Palabras clave: Materia orgánica, fraccionamiento, absorción, adsorción.

ABSTRACT

The investigation was conducted in the Shiringal - Tulumayo cocoa plot, located in the Pueblo Nuevo district, Leoncio Prado province and Huanuco region. A randomized block design with 3 repetitions was used, in factorial arrangement with five organic sources (5A) with 3 levels (25, 50, 100 t / ha) plus 1 additional controls without MO. The chemical fractionation of humic acids (AH), fulvic acids (AF) and humins (HUM), was carried out according to the method of the International Society of Humic Substances (IHSS) proposed by Swift (1996), the Cd grain according to Bazán (1996), Cd available according to Gonzales (1986), total soil Cd according to EPA-3050B (USEPA 1996). The objective was: (i) determine the concentration of cadmium in the chemical fraction (AF, AH, HUM), (ii) determine the best source and level of organic matter to reduce the absorption of cadmium in cocoa beans (iii) correlation between cadmium with Ca, Mg and Zn, in cocoa almonds. The results indicated a higher concentration of total cadmium in humina (0.39 ppm) equivalent to 36.94%, followed by humic acid (0.37 ppm) equivalent to 35.5% and in lower concentration fulvic acid (0.29 ppm) equivalent to 27.56%, in the order HUM> AH> AF. The absorption of cadmium has been reduced by 5.6% with the application of 25 tons of cocoa pruning waste plus RC Cobs (RPCC). The correlation observed suggests increasing the content of Ca, Mg and Zn in the soil to limit the absorption of available cadmium from the soil by the plant, reducing its presence in cocoa beans.

Key words: Organic matter, fractionation, absorption, adsorption

I. INTRODUCCIÓN

La Unión Europea publica el reglamento (UE) N° 488/2014 (Unión Europea 2014) donde definen niveles máximos de cadmio para diversos alimentos incluidos el cacao y algunos derivados que fluctúan de 0.05 - 0.80 ppm Cd total y los productos alimenticios que no cumplan dichos niveles máximos no se podrán comercializar a partir del 1 de enero de 2019. El cacao en nuestra región es un cultivo de mucha importancia económica, sin embargo los niveles de cadmio son altos en las almendras y el suelo. A nivel nacional el contenido de cadmio en suelo es variable, el Instituto de Cultivos Tropicales (ICT y GTZ, 2008) reporta para la región San Martín y Amazonas en 228 muestras valores de cadmio disponible entre 0.02 y 0.46 ppm; Huamaní y Huauya (2011) en 210 muestras reportaron que el contenido promedio de cadmio soluble en EDTA 0,05M pH 7, (Cd disponible) en el suelo fue de 0.11 ppm. Para la región Piura el rango del contenido de cadmio disponible en suelos fue 0.14 a 1.28 ppm, y en la región Tumbes 0,43 a 0.78 ppm (Remigio 2017). Cárdenas (2012), reportó 1.55 ppm de cadmio en almendras superando el nivel permisible

La materia orgánica del suelo (MOS) comprende un grupo de sustancias diversas que provienen de la descomposición de vegetales, animales y microorganismos, que a través de procesos de mineralización y biosíntesis se convierten en sustancias con distintos grados de transformación, entre ellos las sustancias no húmicas, y las sustancias húmicas agrupadas en ácidos fúlvicos, ácidos húmicos y huminas (Stevenson, 1994; Kang, *et al.*, 2003), sustancias que estarían relacionado a la retención del cadmio con distinto grado de estabilidad, que podrían variar según los restos vegetales que lo generan. El proceso de humificación, la lisis y polimerización genera fracciones orgánicas variables en cada sistema productivo (Bongiovanni y Lobartini 2006),

Las sustancias húmicas producidas por la materia orgánica clasificadas en ácidos fúlvicos (AF), ácidos húmicos (AH) y huminas (HUM) por su característica química de superficie de carga negativa, producirían importante adsorción, formando compuestos insolubles reduciendo la disponibilidad del

cadmio, en tal sentido es necesario conocer la relación que existe entre el contenido de cadmio y cada fracción química (AH, AF, HUM) separada del suelo y las almendras de cacao, fraccionamiento que definirá detalles del componente de la materia orgánica más ligada la retención contenido del cadmio y definir fuentes de materiales orgánicos su procedencia y reducir el contenido de cadmio en las almendras del cacao.

1.1 Objetivo general

Determinar el efecto de cinco fuentes con tres niveles de materia orgánica en la absorción de cadmio en cacao.

1.2 Objetivos específicos

1. Determinar el contenido de cadmio en la fracción química (ácidos húmicos, ácidos fúlvicos y humina) de la materia orgánica del suelo
2. Determinar la mejor fuente y nivel de materia orgánica que reduce la absorción de cadmio en almendras de cacao.
3. Evaluar la correlación entre el cadmio con el Ca, Mg y Zn, en almendras de cacao

II. REVISIÓN DE LITERATURA

2.1 Materia orgánica del suelo (MOS)

El término MOS se refiere a todos los compuestos que contienen carbono (C) orgánico en el suelo, incluyendo los microorganismos vivos y muertos, residuos de animales y plantas en diversas etapas de descomposición, biomasa microbiana, las raíces y la fracción más estable llamado humus (Bayer y Mielniczuk 1999).

La MOS juega un papel clave en las funciones del suelo, siendo, por eso, considerada la principal característica indicadora de su calidad, por presentar una fuerte interrelación con casi todas las propiedades físicas, químicas y biológicas del suelo, ejerciendo una fuerte influencia en su capacidad productiva y de modo muy intenso en la nutrición de las plantas (Acosta *et al.* 2009).

La reducción y/o alteración de la calidad de la MOS afecta directamente la calidad del suelo (Navarro, 2017), pues la MOS es el componente esencial que ocurre en los ecosistemas terrestres, dentro de los cuales se destacan: la estructuración del suelo, reducción de la contaminación de agua, el taponamiento del pH del suelo, disponibilidad de aire y agua a las raíces de las plantas y el desarrollo del sistema radicular (Conceição *et al.*, 2005).

Varios factores, como el clima, la vegetación original, textura, tipo y manejo del suelo y, principalmente, la cantidad y calidad de los residuos vegetales han sido apuntados como controladores de MOS (Acosta *et al.* 2009; Ma *et al.*, 2009). Sobre todo en las regiones tropicales, debido a las limitaciones de la mayoría de los suelos relacionadas a las propiedades químicas, como baja reserva de nutrientes, pequeña cantidad de material orgánico, acelerada oxidación, gran exigencia de fósforo, de moderada a alta acidez, a su interacción con todos los procesos que ocurren en el suelo (Ma *et al.* 2009).

Cuando los bosques primarios son alterados por cambios en sistemas agrícolas o pecuarios, el equilibrio dinámico es destruido y normalmente, las entradas de C en el suelo son menores que las salidas, que conduce a la reducción de la cantidad y alteración de la calidad de la MOS, siendo mayor en áreas de relevo ondulado, en las cuales se acentúan los procesos erosivos (Bonde *et al.* 1992, Brady 2002).

Sistemas agrícolas proporcionan reducción de C en el suelo, debido al aumento de la descomposición de la MOS, como también reducción de las cantidades de material vegetal adicionadas al suelo, además de la diferencia de la calidad de los residuos cuando comparados a los residuos vegetales provenientes de un bosque. En suelos de bosque primario, la liberación de nutrientes por la hojarasca y la absorción de nutrientes por las plantas ocurren en sincronía, manteniendo estables las cantidades del COS (Campos 2012). Las pérdidas de MOS en sistemas agrícolas son debidas, principalmente, por el revolvimiento del suelo, influenciando en la temperatura, humedad, aeración, ruptura de agregados y la incorporación de los residuos vegetales al suelo (Bayer y Mielniczuc 1999).

2.2 Formación de las sustancias húmicas (SHs)

Estudios sobre la formación y estructura de las SHs no son recientes. A finales del siglo XIX, se consideraba que las SHs poseían principalmente naturaleza coloidal y propiedades ligeramente ácidas. También existía información acerca de su interacción con otros componentes del suelo y la noción de que los ácidos húmicos (AH) serían esencialmente lignina modificada. A principios de los años 30 del siglo XX, se sabía que los AH eran los componentes más característicos de las SHs. Se deducía que había existencia de grupos carboxílicos y los AH eran formados principalmente por compuestos de nitrógeno (proteínas) y anillos aromáticos derivados de lignina (Stevenson 1994).

Se postularon diferentes teorías para la formación de las SHs durante la descomposición de restos de origen animal o vegetal. La teoría clásica postulada por Waksman (1932), fundamentando que las SHs provienen de la modificación de ligninas (Figura 1). En la actualidad la mayoría de los investigadores apoya los mecanismos que involucran a las quinonas.

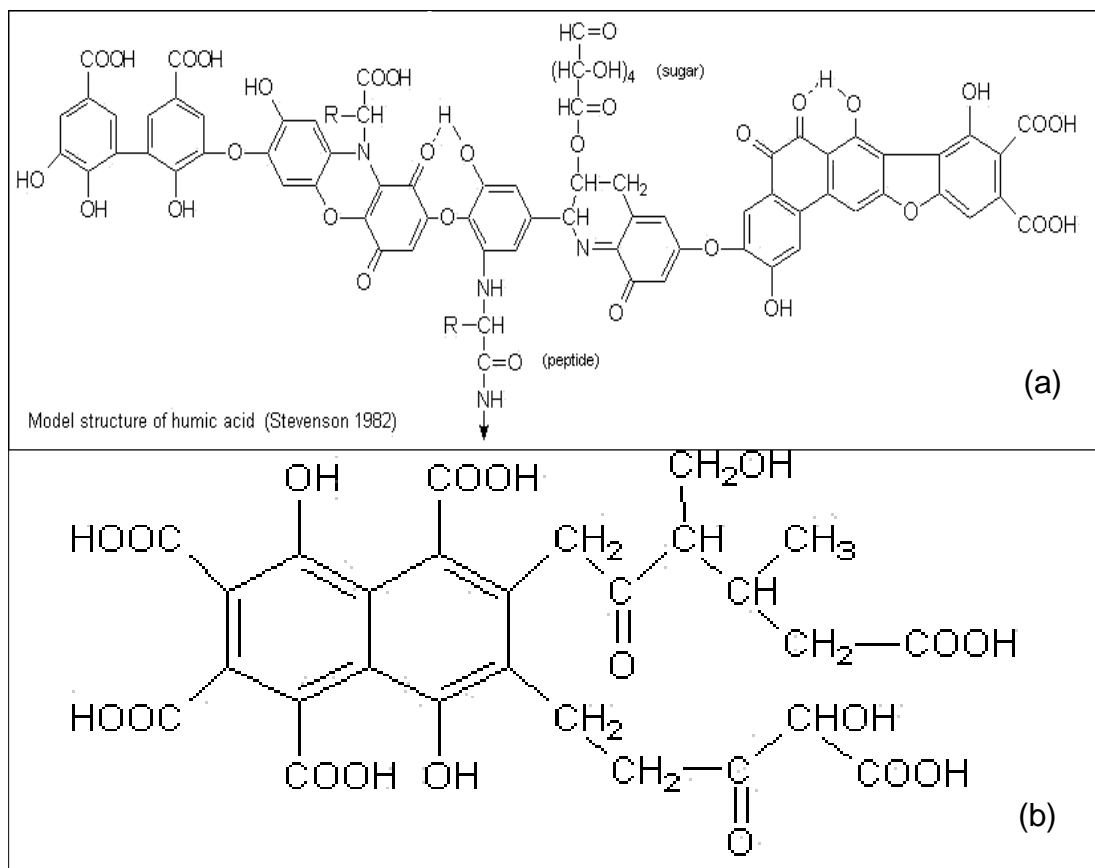


Figura 1. Estructura modelo del ácido húmico (a) y ácido fúlvico (b) (Stevenson 1982)

En la naturaleza deben considerarse los cuatro mecanismos, incluyendo la vía de condensación de azúcares y aminas, como igualmente probables para la síntesis de AH y ácidos fúlvicos (AF). Las cuatro vías pueden ocurrir en cualquier tipo de suelo, pero según las condiciones ambientales prevalecerá alguna de ellas sobre el resto. En suelos poco drenados y en sedimentos húmedos predomina la vía de las ligninas, mientras que en suelos forestados es más importante la vía de los polifenoles.

La vía de insolubilización se refiere a la humificación de los compuestos fenólicos solubles, a partir de su oxidación de quinona y polimerización, formando inicialmente dímeros y trímeros, que componen la mayor parte de la policondensación de los núcleos aromáticos. A partir de la policondensación de estos compuestos (dímeros y trímeros) son formados los AF, los cuales se condensan, formando los AH (Duchaufour 1982).

Por presentar alta complejidad química y la interacción fuerte con la fracción coloidal inorgánico del suelo, estas sustancias se descomponen lentamente y se acumulan en los suelos. Las SHs son formadas a partir de un proceso llamado humificación. Dentro de las varias posibilidades, se encuentra desde la clásica al tener en cuenta que son formadas a partir de lignina modificada hasta la teoría más aceptada hoy en día, la llamada ruta de polifenoles.

Las rutas que envuelven la síntesis de las SHs a partir de la condensación de polifenoles y compuestos de Amino que son los más aceptados en la actualidad (Piccolo 2001).

2.2.1. Teoría de la lignina

Por muchos años se pensó que las SHs se originaban a partir de la descomposición de la lignina. De acuerdo a esta teoría, la lignina es utilizada en forma incompleta por los microorganismos del suelo, y el residuo pasa a formar parte del humus. Entre las modificaciones sufridas en la lignina se incluyen la pérdida de grupos metoxi (OCH_3) para generar OH fenólicos, y la oxidación de cadenas alifáticas para formar grupos carboxilo (COOH).

Este material modificado sufre posteriormente otros cambios para generar primero AH y luego AF. Waksman (1932) describe esta teoría, la que se resume en la Figura 1, y cita como evidencia para corroborarla que tanto las ligninas como los AH son difícilmente degradados por la mayoría de las bacterias y los hongos, que ambos son parcialmente solubles en alcohol y piridina, precipitan en medio ácido y son solubles en medio alcalino, que ambos

presentan grupos metoxi, que ambos son ácidos en medios naturales, que cuando se calientan ligninas en medio alcalino se transforman en AH metoxilados, y que los AH poseen propiedades similares a las ligninas oxidadas.

2.2.2. Teoría del polifenol

Esta teoría incluye dos mecanismos cuya diferencia es el origen de los polifenoles. En uno de los mecanismos, los aldehídos y ácidos fenólicos, que se generan durante la degradación de ligninas por los microorganismos del suelo, producen quinonas por reacciones enzimáticas, las que se polimerizan para formar macromoléculas del tipo de las SHs (Schnitzer *et al.* 1991).

El otro mecanismo es similar, excepto que los compuestos polifenólicos son sintetizados por microorganismos a partir de sustratos distintos de la lignina (por ejemplo celulosa). Los polifenoles son luego oxidados enzimáticamente a quinonas y posteriormente convertidas en SHs. De acuerdo a estos conceptos, las quinonas provenientes de la lignina y los sintetizados por los microorganismos son los bloques principales a partir de los cuales se forman las SHs. La formación de compuestos de color oscuro a partir de reacciones en las que participan quinonas ya fue observado en la formación de melanina (Stevenson 1982).

El rol de los microorganismos en la formación de polifenoles fue enfatizado por Kononova (1966), quien propone que las SHs son formadas por mixobacterias que degradan celulosa antes que por descomposición de ligninas. Las etapas que postula Kononova (Figura 2) para la formación de las SH son:

- Primero la degradación total por los hongos del suelo de carbohidratos simples, y parcial de proteínas y celulosa de la médula radicular y el cortex de restos de plantas.
- Luego la celulosa del xilema es degradada por mixobacterias aeróbicas. Los polifenoles sintetizados por estas bacterias son oxidados posteriormente a quinonas por la enzima polifenoloxidasas, y por último las quinonas reaccionan con compuestos nitrogenados para formar SHs.

Muchos investigadores han tratado de desarrollar modelos químicos para representar las estructuras medias de estas sustancias tal como se presentaron AH por Stevenson (1982). La amplia variación en el grado de polimerización y el número de cadenas laterales y radicales que pueden ser encontradas en las SHs hace con que no exista similitud entre dos moléculas húmicas.

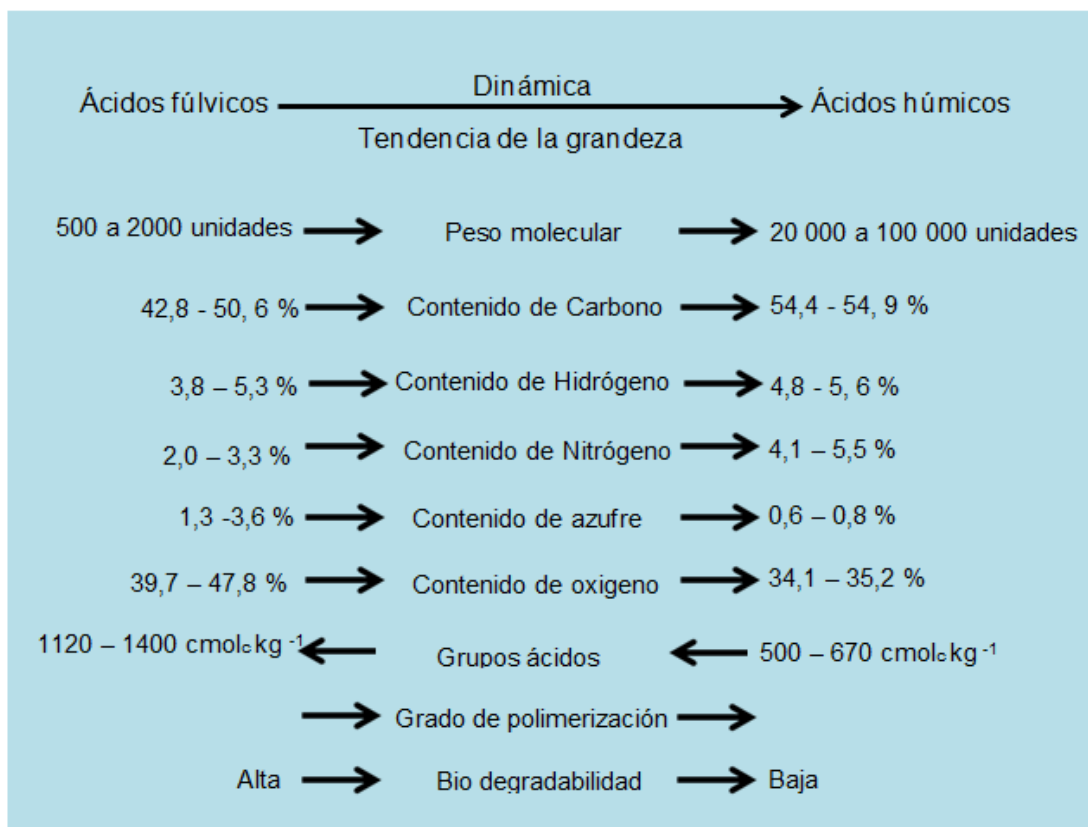


Figura 2. Caracterización de los ácidos húmicos y fúlvicos.

2.3 Concepto y estructura de las sustancias húmicas (SHs)

La MOS ha sido objeto de atención considerada en las investigaciones, sobre todo en la última década. Es constituida por C, H, O, N, S y P, con los contenidos 58%, 6%, 33% respectivamente y los tres últimos 3% (Duchaufour 1982). La MOS puede ser dividida en dos grupos fundamentales: las biomoléculas y las SHs (Stevenson 1994; Santos y Camargo 1999). El primer grupo es representado por los carbohidratos, grasas, ceras, proteínas y ácidos nucleicos (Barreto *et al.* 2008). El segundo comprende a las SHs.

Estudios más recientes han demostrado que la MOS en la fracción pesada asociada al material sedimentado (arena, limo y arcilla) comprende aproximadamente 80% del carbono orgánico total (COT) y están presentes en ella las fracciones estables denominadas SHs.

De acuerdo con Benites *et al.* (2003), las SHs pueden ser definidas como una serie de polímeros amorfos de coloración amarillo, marrón a negro, de peso molecular relativamente alto y formado por reacciones de síntesis secundarias, bióticas y abióticas, generalmente clasificados de acuerdo a su solubilidad en álcali y ácidos. Segundo STEVENSON (1982), las SHs son químicamente muy similares, pero las fracciones pueden ser diferenciados unos de otros por el color, peso molecular, presencia de grupos funcionales, grado de polimerización y el contenido de C, O, H, N y S.

Las 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 COT y son el principal componente de la MOS, que consta con grandes reservas orgánicas del suelo (Santos 2005). La parte humificada de la MOS del suelo está formado por moléculas recalcitrantes de origen vegetal, animal y microbiana, y representa un estado indefinido de MOS.

Las SHs desempeñan un importante papel en la retención de cationes, fornecimiento de nutrientes a los cultivos, masa microbiana y en la estabilidad de agregados. Esta última, por su vez, interfiere en la infiltración, retención de agua y aeración del suelo. Así, las SHs constituyen un componente fundamental de la capacidad productiva de los suelos (Bayer y Mielniczuc 1999).

Las SHs representan casi la totalidad de la MOS, debido a su gran reactividad, corresponden a la porción envuelta en la mayoría 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 CO₂, dependiendo del uso y manejo adoptado (Piccolo, 1996, 2001). Bayer y Mielniczuc (1999) destacaron que los cambios en el ambiente, son debidos a las prácticas inadecuadas de manejo, pudiendo llevar al rápido declino de la MOS en áreas tropicales y subtropicales.

La distribución de C orgánico en las tres fracciones de las SHs depende del tipo de suelo, del tipo de vegetación, del uso y manejo empleado (Stevenson 1994; Dick y Martinazzo, 2006). El preparo intensivo del suelo, la quema de sus residuos y la manutención de cultivos con baja incorporación de residuos vegetales promueven la degradación de sus propiedades químicas y físicas (Bayer *et al.* 2002). El conocimiento de la aplicación de técnicas que promuevan la manutención o recuperación de MOS, permiten la búsqueda del equilibrio entre pérdidas y ganancias observados en ambientes sobre vegetación natural.

2.3.1 Características químicas y fórmulas de las SHs

Con los recursos de la química moderna, la estructura molecular de las SHs sigue siendo objeto de numerosos estudios y controversias, siendo formados por una mezcla heterogénea y bastante compleja de moléculas orgánicas, polimerizadas y con masa molecular bastante variada (Stevenson 1982).

Muchos investigadores han tratado de desarrollar modelos químicos para representar las estructuras medias de las SHs tal como se presentaron las del AH por Stevenson (1982). La amplia variación en el grado de polimerización y el número de cadenas laterales y radicales que pueden ser encontradas en las SHs hace con que no exista similitud entre dos moléculas húmicas.

2.3.2 Ácidos fúlvicos (AF)

Los AF son solubles en un medio álcali y en ácido diluido. Son constituidos principalmente por polisacáridos, aminoácidos y compuestos

fenólicos, que son más reactivos que las otras dos fracciones por la mayor cantidad de grupos carboxílicos y fenólicos que contiene.

Estudios realizados en la acción directa de las SHs sobre el metabolismo y crecimiento de las plantas se han centrado principalmente en los AF, la fracción humificada considerada de menor peso molecular, mayor solubilidad y movilidad en el suelo (Duchaufour 1982).

2.3.3 Ácidos húmicos (AH)

Los 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).

Sin embargo, algunos estudios han sugerido nuevas concepciones para las estructuras complejas de esas fracciones. Los AH presentan mayor contenido de C, menor de O y el contenido similar de H que los del AF (Stevenson 1994). Esto puede ser comprobado con los experimentos llevados a cabo por Santos y Camargo (1999), en muestras de un Ultisol.

El peso molecular relativo de los AH es mayor que el de los AF, que tienden a tener más compuestos aromáticos, menos carboxílicos y grupos C-O alquil de que los AF (Stevenson 1982), posiblemente debido a que tienen mayor contenido de estructuras de tipo polisacáridos. Entre las SHs, los AF y AH son los más estudiados (Figura 1).

La composición media de las unidades básicas de los AF y AH, en términos de fórmulas químicas son, respectivamente $C_{135}H_{182}O_{95}N_5S_2$ y $C_{187}H_{186}O_{89}N_9S_2$ (Stevenson 1982). Los AH y AF son bastante reactivos y esa mayor reactividad es debida principalmente a la presencia de grupos funcionales que contiene oxígeno, tales como grupos carboxilos e hidroxilos fenólicos que son responsables por su acidez.

La acidez de los AH es menor que la del AF, que está relacionado con sus niveles más bajos por las cantidades de carboxilos (Duchaufour 1982). La relación C/N de los AH y AF es superior en 50% a la media observada en la MOS, indicando menor grado de degradación, confiriéndole mayor estabilidad en el ambiente

Con el grado de polimerización relativamente más alto de los AH, es posible observar una etapa más avanzada de humificación. Sin embargo, los AF contienen más grupos - COOH por unidad de masa en relación a los AH y junto con la suma de los grupos fenólicos, caracterizan mayor acidez total, presentando mayor CIC que los AH. Incluso cuando se compara con una arcilla silicatada de tipo 2:1, que contiene un promedio de 200 $\text{cmol}_c \text{ kg}^{-1}$, las SHs exceden la capacidad de amortiguación del suelo.

2.3.4 Humina (HUM)

La HUM es insoluble en medios alcalinos y ácidos y pueden tener una composición variable, tiene 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 (Konova 1966).

La 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). La estructura química y propiedades de la fracción HUM parecen ser similares aquellas de los AH (Stevenson 1982).

2.4 Materia orgánica del suelo y efecto en la disponibilidad del cadmio.

Sposito (1981, 1982, 1983), Hooda y Alloway, (1994) indican que el contenido de materia orgánica además de pH es propiedad del suelo que afecta fuertemente la biodisponibilidad del metal pesado. Sin embargo, el efecto depende del tipo de materia orgánica presente en el suelo (Del Castilho *et al.* 1993; Mann y Rithie 1995). Es posible que la capacidad de los ácidos húmicos del suelo nativo para la inmovilización de Cd sea diferente de la preparación comercialmente disponible.

Sin embargo, según Kuo y Baker (1980) existiría un incremento del cadmio soluble por efecto de la materia orgánica y este aumento de la forma soluble de Cd se atribuiría posiblemente a la disolución de materia orgánica a valores de pH más altos liberando así Cd en la solución del suelo. Se han descrito disminuciones en la disponibilidad de Cd bajo condiciones ácidas en presencia de materia orgánica (Tiller 1988).

2.5 Cadmio en el suelo

Los metales pesados y los metaloides son fuertemente adsorbidos por los constituyentes coloidales orgánicos e inorgánicos del suelo. Los metales trazas se adsorben en la superficie de partículas coloidales en suelos, principalmente humus, óxidos hidratados de Fe, Mn y Al, arcillas de aluminosilicato y algunas sales escasamente solubles, como el carbonato de calcio. Estructuralmente los materiales húmicos son de alrededor de 20-30% alifáticos, 10-20% de carbohidratos y 20-40% de aromáticos. Alrededor del 20% de H está unido a O como carboxilo (H-COOH) y grupos hidróxilo ácidos (posiblemente fenólicos) (H-OH), el resto está unido directamente a C (Tipping 2002). El cadmio puede aparecer como especie catiónica: CdCl^+ , CdOH^+ , CdHCO_3^+ , CdHS^+ , y como especie aniónica: CdCl_3^- , $\text{Cd}(\text{OH})_3^-$, $\text{Cd}(\text{OH})_2^-$, $\text{Cd}(\text{HS})_2^-$ (Kabata-Pendias y Sadurski 2004; Kabata-Pendias y Pendias 2001)

Se ha predicho las siguientes especies de Cd en la solución de suelo: En suelo oxic, Cd^{2+} , CdSO_4^0 y CdCl^+ ; en suelo ácido, Cd, CdCl^+ , CdSO_4^0 ; en suelo alcalino, CdHCO_3^+ . En suelos con pH elevado mayor a 7.5 el cadmio formaría

dos compuestos principales el CdCO_3 , y $\text{Cd}_3(\text{PO}_4)_2$ (Matusik *et al.* 2008), pero en condiciones anaeróbicas, la solución de Cd en el suelo se rige por la precipitación de sulfuros (Christensen 2000, Christensen y Huang 1999). La capacidad de adsorción de la hidroapatita (Roca fosfórica) para el Cd disminuye en presencia de otros metales (Cu, Zn, Pb), debido a la sorción competitiva del metal (Corami *et al.* 2007).

III. MATERIALES Y MÉTODOS

3.1. Ubicación política

Este trabajo de investigación se realizó en una parcela de cacao de Shiringal de la propiedad de la Sra. Clorinda Jesús Ruíz contiguo a los terrenos de Tulumayo de la Universidad Nacional Agraria de la Selva, ubicada en el distrito de Pueblo Nuevo, provincia de Leoncio Prado, departamento de Huánuco.

3.2. Ubicación geográfica y zona de vida

La ubicación geográfica corresponde a las coordenadas UTM: 383728.00 metros E, 8989864.00 metros N, a una altitud de 610 m.s.n.m. El área en estudio se encuentra comprendida en la zona de vida Bosque muy húmedo, pre montano tropical (Bmh-pmt). Se ejecutó el experimento en una parcela de cacao clon CCN51 en producción de siete años de edad, esta parcela tiene alta concentración de cadmio disponible y cadmio total, para ello se realizó el análisis previo en una exploración inicial. Se ha elegido cinco fuentes de materiales orgánicos que fueron aplicados a la parcela de cacao con tres niveles de materia orgánica, es decir, se aplicaron la materia orgánica hasta alcanzar los tres niveles de materia orgánica en el área y zona radicular de cada planta. Luego se caracterizó la materia orgánica mediante estudios de fraccionamiento, químico (ácidos húmicos, fúlvicos y huminas) asociadas al secuestro del cadmio en el suelo, en respuesta a la aplicación de dosis de las fuentes orgánicas aplicadas.

En cada tratamiento se realizó el fraccionamiento químico y en cada fracción química se analizó el contenido de cadmio. Cada variable considerada se determinó bajo condiciones de laboratorio y de acuerdo a metodologías establecidas. De este modo, definimos la fracción química de la materia orgánica que presenta mayor contenido de cadmio. También se analizó la concentración de cadmio en las almendras de cacao y se determinó el efecto de las fuentes y niveles en la absorción del cadmio.

3.3. Materiales

Materiales y equipos

- Agitador horizontal
- Dispensador electromagnético de ultrasonido de partículas "Sonic-vibracell"
- Espectrofotómetro de absorción atómica (Varian "Spectra 55B")
- Balanza electrónica, con capacidad máxima de 100 gramos con precisión de 0.01mg.
- Estufa con capacidad de 110 °C
- Centrifuga con capacidad de 10000 rpm por minuto
- Mufla con capacidad de 550 °C
- Bomba al vacío con filtro de fibra de vidrio (tipo GF/A, 47 mm diámetro, retención de 1,6 mm) (Whatman International)

Reactivos

- Ioduro de sodio (NaI)
- Hidróxido de sodio (NaOH)
- Ácido clorhídrico (HCl)
- Ácido sulfúrico (H₂SO₄)
- Sulfato de cadmio Merck (3CdSO₄·8H₂O)
- Difenilamina sulfúrica, Agua destilada, Matraz Erlenmeyer, vaso de precipitado, Fiolas y tubos de ensayos.

3.4. Métodos

El estudio fue conducido en un diseño de bloque completo al azar con 3 repeticiones, en arreglo factorial con cinco fuentes de materia orgánica (5A); Residuos de poda de cacao y mazorcas (RPCC), residuos de poda de cacao y mazorcas más estiércol de vacuno (RPCC+EV), estiércol de vacuno (EV), compost municipal (CM), residuos de poda de cacao y mazorcas mas compost municipal (RPCC+CM) con tres niveles 25, 50, 100 t/ha, más un testigo adicional (sin materia orgánica) en total con 16 tratamientos, las fuentes orgánicas fueron aplicados según tratamiento en estudio, en la parcela de cacao en producción (variedad CCN-51) de siete años de edad.

3.5. Fraccionamiento químico de la materia orgánica del suelo (MOS)

El fraccionamiento químico de la materia orgánica del suelo (MOS) se realizó en el laboratorio de Análisis de Suelos y Agua de la Universidad Nacional Agraria de la Selva (UNAS). Según el método de la Sociedad Internacional las sustancias húmicas (IHSS) propuesto por Swift (1996) con base en la solubilidad diferencial en soluciones alcalinas y ácidas, de acuerdo a esta solubilidad se obtienen las fracciones correspondientes al ácido fúlvico (AF), ácido húmico (AH) y humina (HUM).

3.5.1. Extracción de las SHs (sustancias húmicas)

La primera extracción se realizó en un tubo de agitación utilizando 4,0 g de tierra fina seca al aire (TFSA), 40 mL de NaOH 0,1 mol L⁻¹, la suspensión (S) se agita durante 60 minutos a 150 rpm, en un agitador horizontal, después se coloca en reposo por 12 horas, obteniendo un extracto alcalino (EA) que es formado por la fracción del AF, AH que incluyendo el suelo precipitado. Al culminar el reposo (EA+S), se llevó a centrifugación con 5000 rpm, durante 20 minutos, el sobrenadante es transferido a un balón volumétrico. Esta operación de extracción se repitió 2 veces. Las suspensiones siguientes fueron agitadas por 5 minutos a 150 rpm para después estar en reposo durante una hora antes de entrar nuevamente a la centrifuga.

Los extractos obtenidos en las centrifugaciones se juntaron, resultando en un volumen final de 200 ml aproximadamente, ya que el volumen fue completado con agua destilada, después se transfirió a recipientes de vidrio identificados, estos recipientes deben estar en refrigeración para su conservación. Parte del volumen obtenido de la separación del ácido Húmico (AH) y utilizado para obtener el ácido fúlvico (AF).

3.5.2. Fracción de ácidos fúlvicos (AF)

Con un potenciómetro, el pH de 50 ml del EA es ajustado a 2,0 con solución de H₂SO₄ concentrado, después se pone en reposo por 12 horas. El precipitado (AH) es separado de la fracción (AF) por centrifugación durante 10 minutos a 5000 rpm. El sobrenadante (AF) es descartado y el precipitado (AH) guardado. Los valores del AF son obtenidos por la diferencia entre AH y el EA.

3.5.3. Fracción de ácidos húmicos (AH)

Después de la obtención de la fracción de ácido fúlvico, 15 ml NaOH 0,1 mol L⁻¹ es adicionados al precipitado (ácido húmico), la fracción es transferida para un balón volumétrico de 25 ml siendo el volumen completado con agua destilada.

3.5.4. Fracción de Humina (HUM)

Los residuos que permanecieron en el tubo de centrifuga después de la extracción del EA es transferidos para una lata de aluminio y secadas a 65 °C, después se muele el suelo con HUM para utilizar en posterior análisis de cadmio.

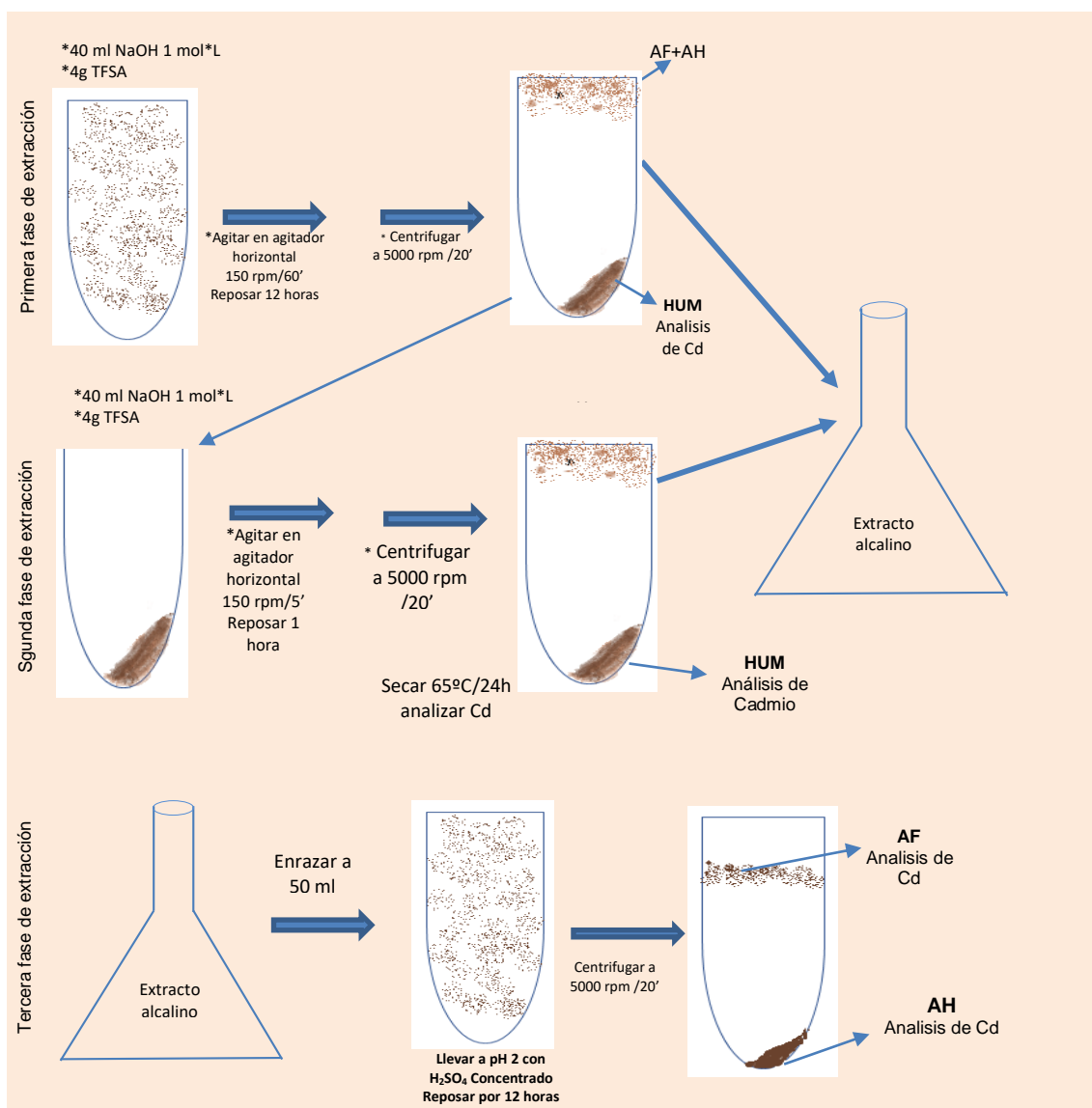


Figura 3. Esquema del fraccionamiento químico de la materia orgánica.

3.5.5. Carbono orgánico total (COT)

Se determinó según el método de Walkley y Black, en el laboratorio de Análisis de Suelos y Agua de la Universidad Nacional Agraria de la Selva (UNAS), como se describe a continuación:

Pesar 0.5 g. de suelo (TFSA), depositar en un matraz erlenmeyer de 250 ml, luego agregar 10 ml de dicromato de potasio 1 N más 10 ml de ácido sulfúrico concentrado. Mezclar para homogenizar la solución y dejar reposar por 1 hora a más, llevar a un volumen de 100 ml con agua destilada. Tomar 10 ml de esta solución en un vaso de precipitado y agregar de 2 a 3 gotas del indicador difenilamina sulfúrica. Titular con la sal de Morh 0.5 N. El cambio de color verde oscuro a verde brillante indicará el final de la titulación, anotar el gasto de la solución de la sal de Morh. Paralelamente realizar un blanco (sin muestra).

3.5.6. Análisis de cadmio total (recuperable) en suelo, AH, AF y HUM

La determinación del cadmio total en los suelos y las fracciones químicas 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. Para esta variable se tomaron muestras del suelo de cada tratamiento, para su respectivo análisis. Se analizó cadmio total, cadmio disponible y su caracterización completa antes de la incubación en el laboratorio de análisis de suelos. Asimismo, se siguió la siguiente metodología (USEPA, 1996):

- Pesar 2 g. de suelo, con un tamaño de partícula 2 mm.
- Añadir 10 ml de HNO₃ 1:1. Calentar a 95 °C por 5 minutos.
- Enfriar y añadir 5 ml de HNO₃ concentrado.
- Repetir una vez y dejar reducir la solución hasta 5 ml. Dejar enfriar y añadir 2 ml de agua destilada y 3 ml de H₂O₂. Al cesar la efervescencia añadir 1 ml de H₂O₂.
- Repetir hasta no observar efervescencia.
- Añadir 5 ml de HCl concentrado y 10 ml de agua desionizada. Calentar por 15 minutos y dejar enfriar.

- Filtrar por gravedad. Aforar a 50 ml con agua destilada.
- Almacenar y mantener refrigerado.
- Cuantificación por espectrofotómetro de absorción atómica.

3.5.7. Cadmio disponible (extraíble) 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 TFSA (tierra fina seca al aire) 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 espectrofotómetro de absorción atómica (SAA; modelo Varian "Spectra 55B") Hecho en Australia.

3.5.8. Cadmio total en grano del cacao, método (digestión húmeda)

El cadmio en granos se determinó según Bazán (1996). Para determinar el cadmio total en tejido (grano) se cogieron los frutos de la parcela según tratamiento y se extrajo las semillas (granos) y secaron a temperatura del ambiente, luego fue separado y descartado la cascarilla (endocarpio) del grano (cotiledón más embrión), el grano fue molido y almacenado para su análisis. La secuencia del análisis se describe a continuación:

- Pesar 0.5 g de tejido vegetal y colocar dentro de frascos, resistentes a calor y de 50 ml de capacidad.
- Adicionar 5 ml de la solución nítrica – perclórica. (1:4).
- Colocar sobre la plancha de calentamiento y evaluar gradualmente la temperatura hasta 175 °C.
- Dejar en digestión por 1 hora y 30 minutos o hasta que la solución se vuelva clara.
- Remover el frasco y adicionar 15 ml de 0.1 NHCl.
- Agitar el frasco para disolver las cenizas y filtrar la solución.
- Cuantificación por espectrofotómetro de absorción atómica

La cuantificación se realizó en el espectrofotómetro de absorción atómica (SAA; modelo Varian "Spectra 55B") Hecho en Australia.

3.5.9. Diseño experimental y componentes de estudio

Se trabajo con el Diseño de bloque completamente al azar (DBCA), en tres repeticiones, con arreglo factorial 5Ax3B Para las comparaciones entre los tratamientos se utilizó la prueba de comparación de medias Duncan, con un nivel de significación ($\alpha = 0.05$). El experimento se instaló en una parcela de cacao en producción, el suelo de dicha parcela tenía inicialmente una concentración de 0.43 ppm de cadmio.

Componentes en estudio:

Fuentes orgánicas que se utilizaron en el experimento (A)

a_1 = Residuos de poda y cosecha de cacao (RPCC)

a_2 = 50% de RPCC más 50% de estiércol de vacuno (RPCC+EV)

a_3 = Estiércol de vacuno (EV)

a_4 = Compost municipal (CM)

a_5 = 50 % RPCC más 50% compost municipal (RPCC+CM)

Niveles de materia orgánica utilizado (B):

b_1 = 25 t/ha M.O

b_2 = 50 t/ha M.O

b_3 = 100 t/ha M.O

Cuadro 1. Descripción de los tratamientos en estudio.

Trat.	Descripción de los tratamientos	A Fuentes orgánicas	B Niveles de M.O (t/ha)
T ₁	Residuos de poda y cosecha de cacao (RPCC)	RPCC	25
T ₂	Residuos de poda y cosecha de cacao (RPCC)	RPCC	50
T ₃	Residuos de poda y cosecha de cacao (RPCC)	RPCC	100
T ₄	50% de RPCC más 50% de estiércol de vacuno (EV)	RPCC + EV	25
T ₅	50% de RPCC más 50% de estiércol de vacuno (EV)	RPCC + EV	50
T ₆	50% de RPCC más 50% de estiércol de vacuno (EV)	RPCC + EV	100
T ₇	Estiércol de vacuno (EV)	EV	25
T ₈	Estiércol de vacuno (EV)	EV	50
T ₉	Estiércol de vacuno (EV)	EV	100
T ₁₀	Compost municipal (CM)	CM	25
T ₁₁	Compost municipal (CM)	CM	50
T ₁₂	Compost municipal (CM)	CM	100
T ₁₃	50 % RPCC más 50% compost municipal (CM)	RPCC + CM	25
T ₁₄	50 % RPCC más 50% compost municipal (CM)	RPCC + CM	50
T ₁₅	50 % RPCC más 50% compost municipal (CM)	RPCC + CM	100
T ₁₆	Testigo (Sin fuente orgánica)	0	0

Modelo aditivo lineal:

$$Y_{ijk} = \mu + \beta_k + \alpha_i + \delta_j + (\alpha\delta)_{ij} + \varepsilon_{ijk}$$

Dónde:

Y_{ijk} = observación correspondiente a la unidad experimental en la que se aplicó la fuente i , se a una dosis j , ubicado en el bloque k .

μ = media general.

β_k = efecto de la k - ésima repetición o bloque.

α_i = efecto del i – ésimo fuente de materia orgánica.

δ_j = efecto del j – ésimo niveles de materia orgánica.

$(\alpha\delta)_{ij}$ = efecto de la interacción del i – ésimo fuente de materia orgánica con el j – nivel de materia orgánica.

ε_{ijk} = efecto aleatorio o error asociado a la fuentes y niveles de materia orgánica.

Para:

$i = 1, 2, 3, 4$ y 5 fuentes de materia orgánica.

$j = 1, 2$ y 3 niveles de contenido de materia orgánica.

$k = 1, 2$ y 3 bloques o repeticiones.

Cuadro 2. Esquema del análisis de variancia (ANVA).

F. Var	Gl	SC	CM	FC	F tab
Trat	T-1	SCT	CMTrat	CMTrat/CMerror	F(gl _{trat} , gl _{ee})
Fuentes de M.O (A)	a-1	SCA	CMA	CMA/CMerror	
Niveles de M.O. (B)	b-1	SCB	CMB	CMB/CMerror	
AB	(a-1)(b-1)	SCAB	CMAB	CMAB/CMerror	
Facto VS Test ad	1	SCFt	CMtest	CMtest/CMerror	
Error	(r-1)(ab-1)	SCe	CMe		
Total	abr-1				

Dimensiones del área o campo experimental:

- Longitud de Bloque : 147 m
- Ancho de Bloque : 12 m
- Área total del bloque : 7056 m²
- Número total de bloques : 3
- Longitud de unidad experimental : 9 m
- Ancho de unidad experimental : 9 m
- Área total de unidad experimental : 81 m²
- Área neta de unidad experimental : 36 m²
- Número total de unidad experimental : 48
- Número de plantas de unidad experimental : 4
- Número de plantas totales evaluadas : 192
- Número de plantas totales : 432

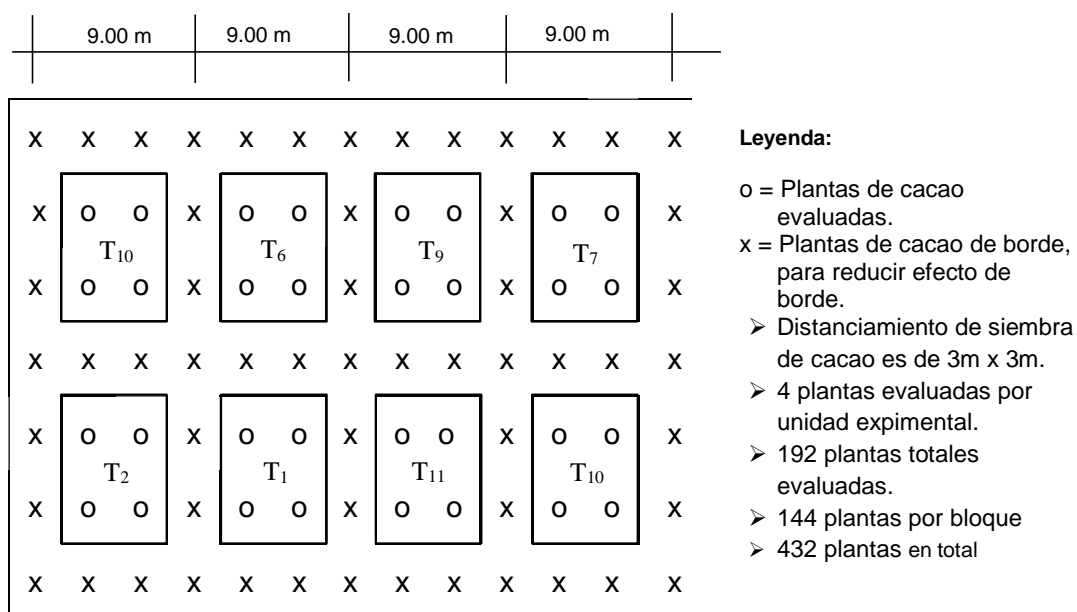


Figura 4. Croquis de la unidad experimental

IV. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

4.1. Contenido de cadmio en la fracción química (ácidos húmicos, ácidos fúlvicos y humina) de la materia orgánica del suelo.

Los resultados de la concentración de cadmio total en la fracción química, de cinco fuentes de materia orgánica (5A) con 3 niveles (25, 50, 100 t/ha) (5B) se presenta en el (Cuadro 3), fracción química de la materia orgánica obtenida de los suelos donde se aplicaron los tratamientos, en el cultivo de cacao. Después de haberse extraído el cadmio total en cada tratamiento según USEPA 3050, la mayor concentración mostro la fracción humina (HUM) con 36.94 %, le sigue el ácido húmico (AH), con 35.5 % y con menor concentración el ácido fúlvico (AF) con 27.56 % es decir, el orden de fijación del cadmio en la fracción química fue HUM>AH>AF (Cuadro 3), contrario al reporte de Huamani *et al.* (2018) que presento el orden de fijación del cadmio de AF>HUM>AH, en un estudio realizado en plántones de cacao en vivero en invernadero. Estas diferencias, es decir, la mayor presencia de cadmio obtenido en la HUM se atribuirían a las condiciones climáticas de la zona donde se realizó el experimento, la temperatura y altas precipitaciones habrían limitado la presencia del cadmio en el ácido fúlvico.

El efecto ambiental de interperismo (meteorización) en la parcela de cacao en campo (Leoncio Prado) habría contribuido a la menor presencia de cadmio en el ácido fúlvico, dado que esta sustancia húmica es de menor peso molecular y menos estable, mientras que la humina es la más recalcitrante, es decir más estable y de mayor peso molecular. Rodríguez (2009) reportaron que el ácido fúlvico (AF) es más reactivo y tiene más grupos carboxílicos (-COOH) e hidroxilos (-COH), generando un compuesto químicamente más reactivo, con doble CIC. Baldotto y Baldotto (2014) el ácido fúlvico, contiene más grupos carboxílicos que el AH.

La presencia del cadmio en la humina se debe a los compuesto químicos, grupos funcionales, con afinidad por el cadmio y minerales propios de la Hum,

según Benites *et al* (2003) la humina (HUM) por su baja acidez en comparación con los AF y AH está fuertemente asociación a los minerales, Según Hayes y Clapp (2001) la humina está integrada de compuestos químicos además tienen compuestos no húmicos como hidrocarburos, ésteres, ácidos y estructuras polares, asociados a los minerales del suelo, según Pettit (2012) la humina presente en el suelo son los más resistentes a la descomposición de todas las sustancias húmicas. La presencia del cadmio en el ácido húmico estaría dado por los grupos funcionales con mucha afinidad con el cadmio, según Özkaraova y Bekbölet (2010) los grupos funcionales, carboxílicos, hidroxílicos y fenólicos de los AH adsorben metales, según Schnitzer *et al.* (2000) la resistencia a la degradación microbiana de ácidos húmicos es debido a la formación de complejos metálicos de la arcilla y la materia orgánica. Tène (2016), encontró cantidades mayores a 60 elementos entre minerales en el ácido húmico.

Cuadro 3. Cadmio total (ppm) promedio en la humina (Hum), ácidos húmicos (AH) y ácidos fúlvicos (AF)

Tratamiento	(A) Fuentes orgánicas	(B) Niveles de M.O (t/ha)	A.H	A.F	HUM	Suma
T ₁	RPCC	25	0.39	0.27	0.47	1.13
T ₂	RPCC	50	0.40	0.26	0.42	1.07
T ₃	RPCC	100	0.40	0.27	0.34	1.01
T ₄	RPCC + EV	25	0.38	0.28	0.35	1.01
T ₅	RPCC + EV	50	0.37	0.30	0.32	1.00
T ₆	RPCC + EV	100	0.38	0.31	0.38	1.07
T ₇	EV	25	0.39	0.27	0.43	1.08
T ₈	EV	50	0.39	0.30	0.37	1.05
T ₉	EV	100	0.38	0.32	0.34	1.04
T ₁₀	CM	25	0.38	0.30	0.40	1.08
T ₁₁	CM	50	0.39	0.27	0.38	1.04
T ₁₂	CM	100	0.35	0.27	0.37	0.99
T ₁₃	RPCC + CM	25	0.34	0.30	0.39	1.02
T ₁₄	RPCC + CM	50	0.31	0.29	0.39	0.99
T ₁₅	RPCC + CM	100	0.34	0.30	0.42	1.07
T ₁₆	0	0	0.35	0.29	0.41	1.05
	Promedio		0.37	0.29	0.39	1.04
	%		35.50	27.56	36.94	100

RPCC = Residuos de poda y cosecha de cacao EV = Estiércol de vacuno CM = Compost municipal

4.1.1. Ácido húmico (AH)

Los resultados de la concentración del cadmio total en el ácido húmico, según tratamientos; cinco fuentes orgánicas (5A) con tres niveles de materia orgánica (25, 50, 100 t/ha) (3B) se presenta adjunto en anexo (Cuadro 15). Según la prueba de F del análisis de varianza no se encontró diferencias estadísticas entre los bloques, en el factor B (niveles de materia orgánica (t/ha), interacción fuentes orgánicas (5A) con 3 niveles de materia orgánica (t/ha) (A*B) (Cuadro 16), las fuentes orgánicas (A) presentaron diferencias estadísticas altamente significativas, es decir al menos una fuente orgánica aplicado al cultivo de cacao ha producido un efecto diferente en la presencia y/o adsorción de cadmio en el ácido húmico.

Según Duncan ($p < 0.05$) del cadmio total en el ácido húmico de las fuentes orgánicas (A) (Cuadro 4), fue estadísticamente menor la concentración de cadmio en residuos de poda de cacao y restos de cosecha (RPCC) más Compost municipal (CM) (RPCC+CM) con 0.33 ppm, es decir con esta fuente orgánica no se ha producido mucha retención del cadmio en el ácido húmico, por lo tanto el cadmio podría haberse dirigido a otras fracciones orgánicas minerales o adsorbido por la planta de cacao. El suelo testigo donde no se aplicó ninguna fuente orgánica también mostro menor concentración de cadmio en el ácido húmico, evidenciando que la ausencia de materiales orgánicos o presencia en cantidades bajas no garantiza una retención del cadmio en los ácidos húmicos.

La presencia de cadmio en el ácido húmico fue estadísticamente ($p < 0.05$) mayor con la aplicación de residuos de poda de cacao más mazorcas (RPCC) con 0.4 ppm, es decir la aplicación de esta fuente orgánica ha producido una mayor posiblemente retención (presencia) de cadmio en el ácido húmico, evidencia que se ratifica con los resultados de menor presencia de cadmio en las almendras del cacao con la aplicación de RPCC (Cuadro 4), por lo tanto la aplicación de RPCC ha reducido la absorción del cadmio en las almendras del cacao, por efecto del ácido húmico que ha retinido el cadmio en su estructura reduciendo su biodisponibilidad.

Las propiedades químicas y físicas de esta sustancia húmica (AH) explicarían estos resultados, según Özkaraova y Bekbölet (2010) los ácidos húmicos tienen grupos funcionales como carboxílicos, hidroxílicos y fenólicos con mucha afinidad de adsorber metales, según Escobar (2015) aproximadamente el 35% de los componentes del ácido húmico serían aromáticas (anillos de carbono), y muchos polímeros de estos ácidos se unen a la arcilla generando compuestos orgánicos ligados a arcilla. Tene (2016) reportó más de 60 elementos entre minerales en el ácido húmico. Según Pettit (2012) los elementos complejados en el AH son de importancia bioquímica para la biodisponibilidad de los minerales, metales. La mayor retención del cadmio en el AH también se explicaría por la característica de este material orgánico, que está compuesto principalmente de tallo es decir de tejidos de alto contenido en lignina que son más resistente a la degradación por su estructura aromática, alta presencia de fenoles que siguen la ruta de humificación, es decir de almacenamiento en la parte más estable recalcitrante. Contrario fue con el estiércol de vacuno que no tiene lignina.

Cuadro 4. Duncan del cadmio total en los ácidos húmicos de las fuentes orgánicas

(A) Fuentes orgánicas	Medias	n	Significancia (*)
RPCC + CM	0.33	9	a
Testigo	0.35	3	a b
CM	0.37	9	b c
RPCC + EV	0.38	9	b c
EV	0.39	9	c
RPCC	0.40	9	c

Letras diferentes en las columnas, representan diferencias estadísticas significativas ($P < 0.05$)
 RPCC = Residuos de poda y cosecha de cacao EV = Estiércol de vacuno CM = Compost municipal

La mayor acumulación de cadmio total en el ácido húmico estadísticamente iguales fue en la interacción residuos de poda de cacao y restos de cosecha (RPCC) con el nivel 25, 50 ,100 t/ha materia orgánica (B2) (Cuadro 5), es decir, se obtuvo mayor adsorción del cadmio en el ácido húmico cuando se aplicó las dos dosis más altas de materia orgánica, 50 y 100 t/ha M.O de RPCC en suelo cacaotero, sin embargo con 25 toneladas de RPCC sería suficiente (Cuadro 5, Figura 9).

La incorporación de RPCC como fuente orgánica sobre el suelo habría generado el incremento de la actividad microbiana, organismos que desarrollaron importante acción en la formación de los ácidos húmicos, según Lizarazo (2001) las sustancias húmicas son fuente de carbono, que mejor la población microbiana y actividad enzimática. Según Tejada *et al.* (2006) la aplicación de materia orgánica favorece el incremento de la actividad microbiana, dado que el pH del suelo afecta las propiedades químicas, físicas y biológicas del suelo Anderson *et al.* (2002) reportaron que el pH del suelo también afecta la solubilidad de la materia orgánica por la acción de los microorganismos nativos del suelo.

Cuadro 5. Duncan del cadmio total en los ácidos húmicos de las fuentes orgánicas

(A) Fuentes orgánicas	(B) Niveles de M.O (t/ha)	Medias	n	Significancia (*)
RPCC + CM	50	0.313	3	a
RPCC + CM	25	0.336	3	a b
RPCC + CM	100	0.343	3	a b c
Testigo	0	0.351	3	a b c d
CM	100	0.351	3	a b c d
RPCC + EV	50	0.373	3	b c d e
RPCC + EV	25	0.380	3	b c d e
RPCC + EV	100	0.380	3	b c d e
CM	25	0.380	3	b c d e
EV	100	0.380	3	b c d e
EV	50	0.388	3	c d e
EV	25	0.388	3	c d e
CM	50	0.388	3	c d e
RPCC	25	0.388	3	c d e
RPCC	50	0.395	3	d e
RPCC	100	0.402	3	e

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

RPCC = Residuos de poda y cosecha de cacao EV = Estiércol de vacuno CM = Compost municipal

4.1.2. Ácidos fúlvicos (AF)

Los resultados de la concentración del cadmio total en el ácido fúlvico, según tratamientos; cinco fuentes orgánicas (5A) con tres niveles de materia orgánica (25, 50, 100 t/ha) (3B) se presenta adjunto en anexo (Cuadro 17). Según la prueba de F del análisis de varianza no se encontró diferencias estadísticas

entre los bloques, fuentes orgánicas (factor A), niveles de materia orgánica (t/ha) (factor B), interacción A*B es decir las 5 fuentes orgánicas en 3 niveles (25, 50, 100 t/ha) no ha generado un efecto con diferencia estadística significativa en la absorción del cadmio por los ácidos fúlvicos (Cuadro 18), y podría explicarse por la menor presencia del cadmio en el ácido fúlvico comparado con el ácido húmico y humina. Sin embargo, se ha observado diferencias numéricas, con menor presencia de cadmio en el ácido fúlvico con la aplicación de residuos de poda de cosecha de cacao RPCC (Figura 5).

Este resultado es contrario al reportado por Huamaní *et al.* (2018), quien encontró mayor concentración de cadmio en el ácido fúlvico, en un estudio realizado en plántones de cacao en invernadero, donde las condiciones climáticas de interperismos eran mínimo. La característica de mayor solubilidad, movilidad, reactividad y menor peso molecular sobre el efecto ambiental de interperismo en la parcela de cacao en Tingo María donde se realizó este experimento habría contribuido a la menor presencia de cadmio en el ácido fúlvico. Además, el ácido fúlvico se compone por ácidos carboxílicos, fenólicos con características de mayor reactividad, solubilidad y movilidad por su menor peso molecular, y menor agregación y estabilidad.

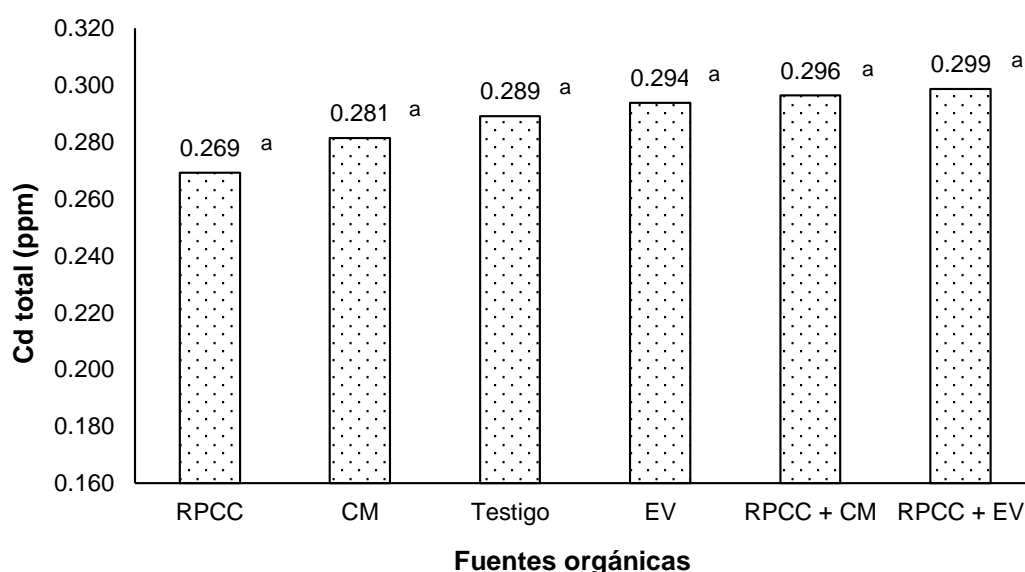


Figura 5. Concentración de cadmio total en el ácido fúlvico con las fuentes orgánicas aplicadas.

RPCC = Residuos de poda y cosecha de cacao EV = Estiércol de vacuno CM = Compost municipal

Según Hayes y Graham (2000) es llamado fracción de la materia orgánica soluble, según Ron (2004) el AF contiene más grupos carboxílicos (-COOH) e hidroxilos (-COH), generando un compuesto químicamente más reactivo, con doble CIC (con capacidad de intercambio anicónico y catiónico) que el AH, además la alta CIC es producido por los grupos carboxilos. La presencia del cadmio en el ácido fúlvico se explicaría por la formación de complejos metal orgánicos, como los carboxilatos de cadmio, Brimecombe *et al.* (2007) reportaron complejación de metales pesados por carboxilatos, según Clark *et al* (2007) la materia orgánica aumenta la retención de Cd al aumentar la carga superficial, para Beesley *et al.* (2014) las concentraciones de Cd soluble en agua disminuyen con el aumento del contenido orgánico del suelo, debido a que el aumento del contenido de materia orgánica del suelo.

La Figura 6 muestra la concentración del cadmio en el ácido fúlvico (AF) de acuerdo a los niveles de materia orgánica aplicado, donde no existe diferencias estadísticas significativas ($p < 0.05$), pero si existe diferencias mínimas numéricas, con menor presencia de cadmio (0.283 ppm) en 25 t/ha de materia orgánica, y mayor presencia de cadmio con 100 t/ha de materia orgánica.

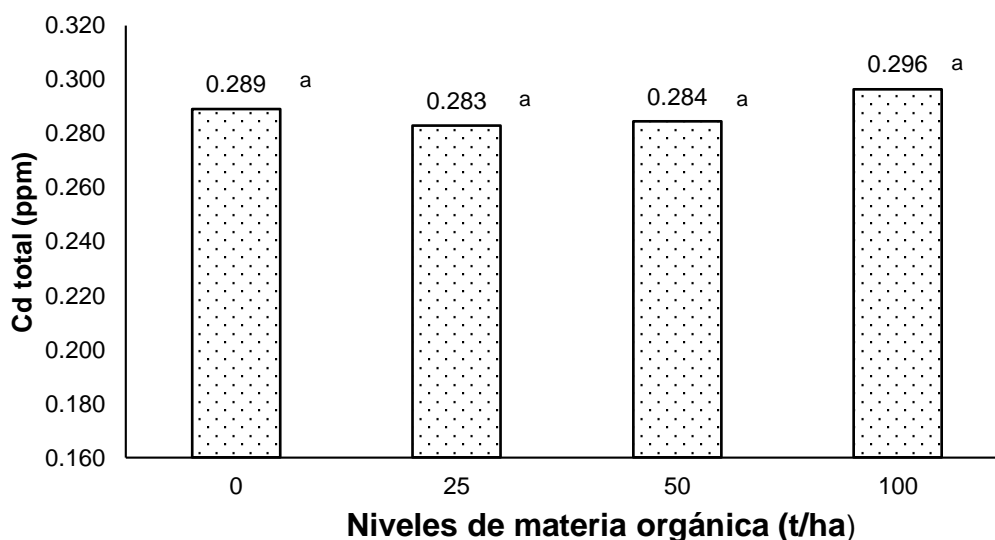


Figura 6. Concentración de cadmio total en el ácido fúlvico en los niveles de materia orgánica aplicado.

RPCC = Residuos de poda y cosecha de cacao EV = Estiércol de vacuno CM = Compost municipal

4.1.3. Humina (HUM)

La humina presentó la mayor concentración de cadmio total en su estructura, los resultados de la concentración del cadmio total en la humina, según tratamientos; cinco fuentes orgánicas (5A) con tres niveles (25, 50, 100 t/ha) (5B) se presenta adjunto en anexo (Cuadro 19). Según la prueba de F del análisis de varianza no se encontró diferencias estadísticas entre los bloques, fuentes orgánica (factor A), niveles de materia orgánica (t/ha) (factor B), interacción A*B es decir, las cinco fuentes orgánicas con tres niveles (25, 50, 100 t/ha) no ha generado un efecto diferente en la absorción del cadmio por la humina (Cuadro 20), la mayor recalcitrancia por su estructura de los componente aromáticos y lipídicos de mayor complejidad, elevado peso molecular, característica de mayor estabilidad con menor reactividad de la humina explicaría este resultado.

Las humina presentes en el suelo son los más resistentes a la descomposición de todas las sustancias húmicas (Pettit 2012), Por lo tanto podría requerirse mayor tiempo para que las enmiendas orgánicas en distintos niveles produzcan un efecto sobre la concentración de cadmio en la humina, sin embargo el Cd en la humina (0.39 ppm) es mayor que en el ácido fúlvico (0.29). La mayor presencia del cadmio en la HUM podría explicarse por la posible presencia de ácido fúlvico y ácido húmico en la humina. Huamani *et al.* (2018) también reporto similar concentración de Cd (0.39 ppm) en la humina.

La Figura 7 muestra la concentración de cadmio total en la humina (HUM) según las fuentes orgánicas, donde no existe diferencias estadísticas ($p < 0.05$), sin embargo se observa diferencias numéricas; con menor presencia de cadmio en la humina con la aplicación de residuos de poda y cosecha de cacao más estiércol de vacuno (RPCC+EV), y mayor concentración de cadmio con la aplicación de residuos de poda y cosecha de cacao (RPCC) igual que al testigo sin materia orgánica.

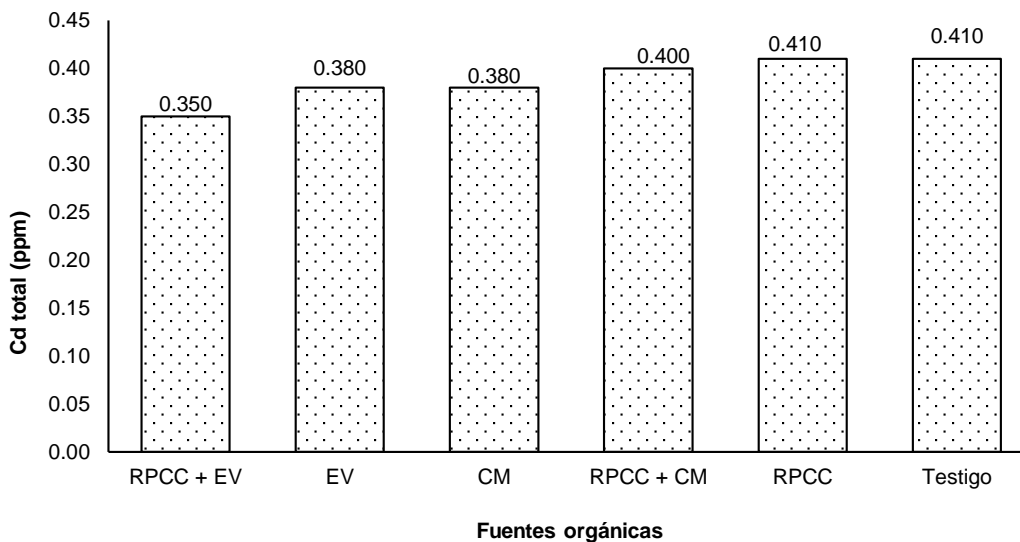


Figura 7. Concentración de cadmio total en la humina con las fuentes orgánicas aplicadas.

RPCC = Residuos de poda y cosecha de cacao EV = Estiércol de vacuno CM = Compost municipal

Según Duchaufour (1982, 1984), Kononova (1982) la humina está constituida por ácidos húmicos y fúlvicos unidos fuertemente a la fracción mineral del suelo. Además, la humina puede integrar otros componentes que contribuyen a la retención del cadmio relacionado a los minerales del suelo según Hayes y Clapp (2001) las huminas están integradas de compuestos químicos además tienen compuestos no húmicos como hidrocarburos, ésteres, ácidos y estructuras polares, asociados a los minerales del suelo. Pettit (2012) la humina presentes en el suelo son los más resistentes a la descomposición de todas las sustancias húmicas.

La Figura 8 muestra la concentración de cadmio total en la humina (HUM) según los niveles de la materia orgánica aplicada a 25, 50, 100, t/ha, donde no existe diferencias estadísticas significativas ($p < 0.05$), sin embargo se observa diferencias numéricas; con menor presencia de cadmio en la humina con la aplicación de 50 y 100 toneladas de materia orgánica por hectárea, mientras que la aplicación de 25 toneladas al igual que el testigo adicional sin aplicación de materia orgánica presentaron la mayor acumulación de cadmio en la humina.

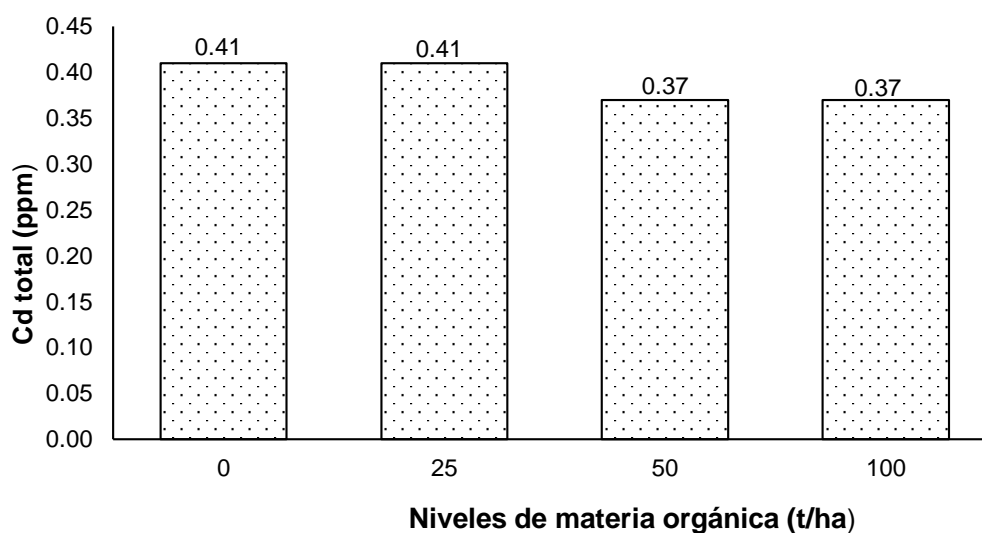


Figura 8. Concentración de cadmio total en la humina en los niveles de materia orgánica aplicadas.

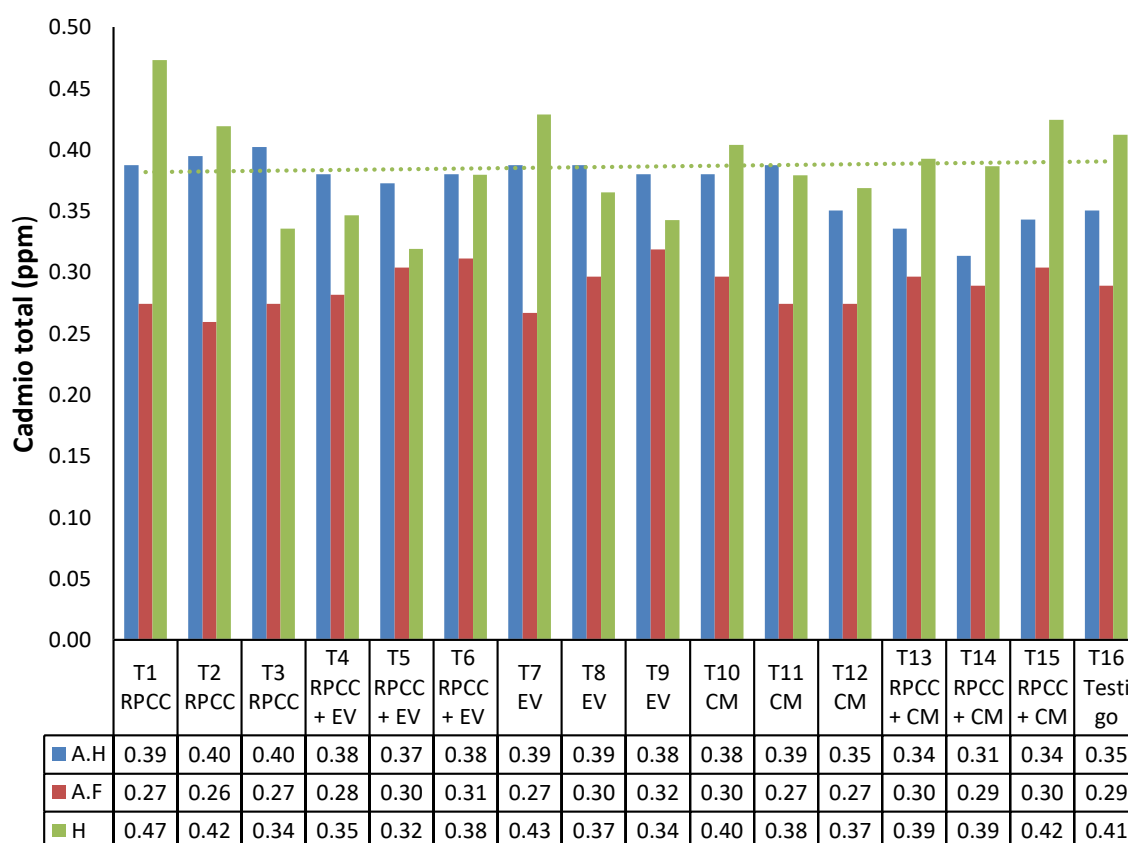


Figura 9. Concentración del cadmio total (ppm) promedio en la humina (HUM), ácidos húmicos (AH) y ácidos fúlvicos (AF) en los tratamientos.

RPCC = Residuos de poda y cosecha de cacao EV = Estiércol de vacuno CM = Compost municipal.

4.2. Fuentes y niveles de materia orgánica que reduce absorción de cadmio en almendras de cacao.

Los resultados de la concentración del cadmio total en los granos (almendra) de cacao, que recibieron cinco fuentes orgánicas (5A) con 3 niveles (3B) (25, 50, 100 t/ha) se presenta adjunto en anexo (Cuadro 21). Según la prueba de F del análisis de varianza solo se encontró diferencias estadísticas altamente significativas en los niveles de materia orgánica (t/ha) (factor B), no se encontró diferencias estadísticas entre los bloques, fuente orgánica (factor A), niveles de materia orgánica (t/ha) (factor B), interacción A*B (Cuadro 22).

Estadísticamente ($p < 0.05$) la menor presencia de cadmio en las almendras de cacao fue con la aplicación de residuos de poda y cosecha de cacao (RPCC) con 0.4 ppm, donde, la aplicación de esta fuente orgánica ha producido una menor posiblemente absorción (presencia) de cadmio en los granos de cacao (Cuadro 6), evidencia que se ratifica con los resultados de mayor presencia de cadmio en el ácido húmico y humina con la aplicación de RPCC (Cuadro 4), es decir, el cadmio fue retenido por los ácidos húmicos que explica su mayor concentración, reduciendo la absorción por la planta y acumulación en las almendras del cacao.

Cuadro 6. Duncan del cadmio total en los granos de cacao, en las fuentes de materia orgánica.

(A) Fuentes orgánicas	Medias	n	Significancia (*)	
RPCC	0.400	9	a	
EV	0.410	9	a	b
RPCC + EV	0.440	9	a	b
CM	0.490	9	a	b
RPCC + CM	0.500	9		b

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

RPCC = Residuos de poda y cosecha de cacao EV = Estiércol de vacuno CM = Compost municipal

La mayor presencia de cadmio en las almendras de cacao fue con la aplicación de RPCC más compost municipal (Cuadro 6), compost que es elaborado a partir de los residuos orgánicos municipales por la Municipalidad de

Leoncio Prado, que posiblemente en los hogares el material orgánico de mayor cantidad serían vegetales del grupo de las “coles” *Brassica sp* o se habrían contaminado, además en el proceso de elaboración del compost es usual la adición de roca fosfórica u otra fuente que probablemente hubiese estado contaminado. La adición de estiércol de vacuno (EV) numéricamente también mostro menor concentración de cadmio en las almendras de cacao, aun así estadísticamente fue igual que el CM, (RPCC+CM) y (RPCC+EV).

La reducción de la absorción del cadmio se debería a la reducción del cadmio disponible en el suelo, cadmio que habría ido a formar parte en otros componentes entre ellos retenido en la humina, ácido húmico que tienen elevado peso molecular y carácter estable recalcitrante, Pinamonti *et al.* (1997) reporto que el compost SB (incluye cortezas de álamo) no aumentó los niveles de metales pesados en el suelo y plantas a corto y mediano plazo, resultado contrario que obtuvo con el compost de residuos sólidos municipales sin clasificar, aplicado al suelo en un período de 6 años, que si aumentó las concentraciones de Zn, Cu, Ni, Pb, Cd y Cr en el suelo tanto en forma total como disponible equivalente al extraíble con EDTA, Bardos (2004) reporto que existen muchas fuentes de metales pesados en el compost derivados de los residuos sólidos municipales para Amlinger *et al.* (2004) el compost derivados de fuente o residuos verdes pueden contener cantidades más pequeñas de metales pesados.

En Ecuador Chavez *et al.* (2016), reporto la reducción significativa del cadmio disponible en plantaciones de cacao con aplicación de vermicompost, Han-Song *et al.* (2010) reporto la reducción de la biodisponibilidad del Cd con la adición de gallinaza al suelo, Liu *et al.* (2009) con la aplicación de compost encontró una reducción del 50 % de absorción de Cd, según Clark *et al.* (2007) la materia orgánica aumenta la retención de Cd. Antiadis y Alloway (2002) reportaron que la materia orgánica disuelto del suelo presenta ligandos naturales de absorción, Hamon *et al.* (1995) aquellos ligandos naturales son moléculas orgánicas que se unen a metales. Han-Song *et al.* (2010) advierte que la materia orgánica, convierte el Cd soluble o intercambiable en fracciones orgánicas

minerales. Matusik *et al*, (2008) en suelos con pH superior a 7.5 el cadmio formaría dos compuestos principales el CdCO_3 , y $\text{Cd}_3(\text{PO}_4)_2$

Estadísticamente la menor presencia de cadmio en las almendras de cacao (0.415 ppm Cd) fue con la aplicación de 25 t/ha de las fuentes orgánicas, es decir la aplicación de los niveles más bajos 20, 50 t/ha de las fuentes orgánicas han producido una menor presencia de cadmio en los granos de cacao (Cuadro 7), La dosis más alta de materia orgánica 100 t/ha ha producido la mayor presencia de cadmio en las almendras de cacao.

Cuadro 7. Duncan del cadmio total en los granos de cacao, en los niveles de materia orgánica

(B) Niveles de M.O (t/ha)	Medias	n	Significancia (*)
25	0.415	15	a
50	0.426	15	a
100	0.504	15	b

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

El Cuadro 8 muestra la prueba de Duncan (5%) del cadmio en las almendras de cacao en la interacción fuentes orgánicas (5A) por niveles de M.O (25, 50, 100 t/ha) (A*B), observándose que estadísticamente la menor presencia de cadmio en las almendras de cacao (0.390 ppm Cd) fue con la aplicación de residuos de poda y cosecha de cacao (RPCC) con 25 toneladas estadísticamente igual a RPCC+CM que también con 25 toneladas por hectárea presentó menor cadmio en las almendras del cacao, es decir la aplicación del tratamiento T₁ y T₁₃ (50 % RPCC más 50% compost municipal (RPCC+CM) ha producido la menor presencia de cadmio en los granos de cacao.

Sin embargo con la dosis más alta de RPCC+CM tratamiento T₁₅, (100 t/ha RPCC+CM) ha producido la mayor presencia de cadmio en las almendras de cacao estadísticamente ($p < 0.05$) igual que el compost municipal (CM) con 100

toneladas por hectarea (T_{12}) (Cuadro 8), por lo tanto la presencia del cadmio podría atribuirse al compost municipal.

Cuadro 8. Duncan del cadmio total en las almendras de cacao en la interacción fuentes (A) * niveles de materia organica (B)

(A) Fuentes orgánicas	(B) Niveles de M.O (t/ha)	Medias	n	Significancia (*)
RPCC	25	0.390	3	a
RPCC + CM	25	0.390	3	a
EV	100	0.400	3	a
RPCC + EV	50	0.400	3	a
RPCC	50	0.410	3	a
RPCC	100	0.410	3	a
EV	50	0.420	3	a
EV	25	0.420	3	a
RPCC + EV	25	0.440	3	a b
CM	25	0.440	3	a b
CM	50	0.440	3	a b
Testigo	0	0.440	3	a b
RPCC + CM	50	0.460	3	a b
RPCC + EV	100	0.480	3	a b
CM	100	0.590	3	b c
RPCC + CM	100	0.650	3	c

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

RPCC = Residuos de poda y cosecha de cacao EV = Estiércol de vacuno CM = Compost municipal

4.2.1. Reducción de la absorción del cadmio en las almendras de cacao y reducción del cadmio disponible en el suelo.

El Cuadro 9, el efecto de los niveles de la materia orgánica en la concentración de cadmio, Zinc, Magnesio, calcio en almendras y cadmio total y disponible en el suelo. La menor absorción del cadmio fue con la aplicación de 25 toneladas de materia orgánica que ha reducido la concentración de cadmio en las almendras del cacao en un 5.6 %, respecto al testigo que no recibió la dosis de materia orgánica. Es decir, con 25 t/ha de M.O se ha reducido el cadmio en las almendras del cacao de 0.44 (sin materia orgánica) a 0.415 ppm con la aplicación de 50 toneladas de materia orgánica también se ha reducido la absorción del cadmio en las almendras del cacao en 3.12 % comparado con el

testigo que no recibió materia orgánica, y sucedió lo contrario con la aplicación de 100 toneladas de materia orgánica, es decir con la dosis mas alta de materia orgánica aplicado (100 t/ha M.O) el cadmio se ha incrementado en las almendras.

Cuadro 9. Concentración de cadmio total, disponible en suelo y Cd, Zn, Mg, Ca en grano

(B) Niveles de M.O (t/ha)	Análisis inicial en suelo	Análisis final en suelo y grano					
	Cadmio disponible en suelo	Cadmio disponible (suelo)	Cadmio total (suelo)	Cadmio total (grano)	Zn (grano)	Mg (grano)	Ca (grano)
0		0.180	0.920	0.440	10.730	0.220	0.250
25	0.43	0.167	0.913	0.415 a	17.698	0.245	0.284
50		0.162	0.910	0.426 a	13.005	0.231	0.270
100		0.173	0.913	0.504 b	16.122	0.233	0.271
	0.43	0.171	0.913	0.45	14.39	0.23	0.27

RPCC = Residuos de poda y cosecha de cacao EV = Estiércol de vacuno CM = Compost municipal

Una explicación de la reducción de la absorción del cadmio en el grano de cacao es la reducción del cadmio disponible en el suelo, por efecto de la materia orgánica aplicado, que habría incrementado la actividad microbiana y contribuido a la formación de las sustancias húmicas como los ácidos húmicos, ácidos fúlvicos y huminas, que habrían acomplejado el cadmio, en forma menos soluble, y otra que se habría solubilizado y posiblemente lixiviado.

También la mayor concentración de Zinc, Mg, y Ca en el grano fue con 25 tn/ha de M.O, que habrían desempeñado un papel de competencia con el cadmio, en el suelo que habría limitado la absorción del cadmio en la planta y acumularse en el grano de cacao. También es posible la formación de compuestos de cadmio con el calcio, como carbonato de calcio, óxidos de calcio e hidróxidos de calcio. Huamani *et al.* (2012) concluyo que existiría posible competencia entre el cadmio con el calcio, magnesio y zinc en el suelo que afectaría la absorción del Cd por las raíces de la planta.

El cadmio disponible de la muestra inicial fue 0.43 y después de aplicarse los tratamientos fue 0.17 aproximadamente, que podría expresarse con

una reducción del cadmio disponible en el suelo del 39 % por efecto de la materia orgánica. Haciendo una comparación del cadmio según el análisis final del suelo se ha reducido en 7.3 % del cadmio disponible con la aplicación de 25 tn/ha de materia orgánica.

4.3. Correlación entre el cadmio disponible y total del suelo con el Cd, Ca, Mg, Zn, en almendras de cacao

El Cuadro 10 muestra el análisis de correlaciones de Person entre el Cd total y Cd disponible del suelo con algunas variables químicas del grano del cacao (Cd, Ca, Mg, Zn). La correlación fue significativa y positiva ($p < 0.05$) entre el cadmio total y disponible en el suelo. El cadmio disponible del suelo no ha mostrado correlación significativa entre el cadmio en grano de cacao, sin embargo existe una tendencia positiva no significativa, es decir, al incrementarse el cadmio disponible en el suelo se incrementaría el cadmio en el grano. La correlación entre el cadmio disponible del suelo fue negativo y significativo ($p < 0.05$) con el Ca y no significativo con Cd, Mg, y Zn del grano.

La Figura 10 y Cuadro 10 muestra que al incrementarse el cadmio disponible en el suelo se reduce el Ca, Mg y Zn; y el Cd aumenta su concentración en el grano. Es decir el Ca, Mg, Zn se reduce y el Cd se incrementa cuando el suelo presenta alto contenido de cadmio disponible; por lo tanto para revertir esta tendencia se debe incrementar la presencia Ca, Mg, Zn y posiblemente reduciría la absorción del cadmio en la planta y grano de cacao. Una explicación a este resultado sería la posible competencia de absorción en la solución suelo del cadmio con el Ca, Mg, Zn; el calcio, magnesio y zinc es absorbido del suelo por la planta en forma iónica divalente $+2$, similar al cadmio que posiblemente competiría; sin embargo, el cadmio no es considerado un elemento esencial y se desconoce el mecanismo de absorción específica por las plantas. Zhao *et al.* (2002) demostraron que la entrada de Cd en *Thlaspi caerulescens*, se debe principalmente a los transportadores de Zn, con una fuerte preferencia por Zn sobre Cd.

Para Kramer (2010) la expresión de los genes pertenecientes a las proteínas transportadoras reguladas por hierro, transportadoras reguladas por

zinc (ZIP) son responsables de la absorción y/o del transporte del Cd^{2+} , Fe^{2+} , Mn^{2+} , y Zn^{2+} , de la solución suelo a la célula de la planta, Rodríguez-cerrano *et al.* (2008) ha relacionado al transportador específico del calcio como proteína de transporte que ingresa al cadmio a la planta, Benavides *et al.* (2005) indica que existe una competencia del Ca, Mg, Zn con el Cd en la absorción por las plantas. Liao y Selim (2009) y Díaz *et al.* (2005) hallaron que la adsorción del cadmio en el suelo está afectando principalmente por la CICE y el calcio. Contreras (2011) reportó que la adición de calcio como carbonato de calcio al suelo disminuyó el cadmio disponible en el suelo, en condiciones de invernadero.

Cuadro 10. Análisis de correlaciones de Person entre el Cd total, Cd disponible y Cd en grano con algunas variables químicas del grano del cacao

Elemento	Suelo	Grano			
	Cd_dispo suelo	Cd grano	Ca	Mg	Zn
Cd_total_suelo	0.820*	-0.140	-0.930**	-0.66*	-0.78*
Cd_disp_suelo	----	0.114	-0.649*	-0.320	-0.300

n=80 **Correlación altamente significativa ($p < 0.01$), *correlación significativa ($p > 0.05$)

La Figura 10 muestra la relación, análisis de regresión entre el cadmio disponible en el suelo con el Zinc, Ca, y Mg del grano de cacao, obtenido con datos agrupados según los niveles de materia orgánica aplicados. El coeficiente de regresión entre el cadmio disponible del suelo con el Zn, Ca, y Mg fue -1,843, -1,3752, -0,8931 y negativos respectivamente, y contrario con el cadmio total en el grano, positivo (1,9066). Evidenciándose que el incremento del Ca, Mg, y Zn en grano produce una tendencia a la reducción del cadmio.

La presencia de estos elementos habría influido sobre estos resultados, al respecto Maya y Hansen (1995) en un estudio de cinética de adsorción de cadmio en diferentes electrolitos con fuerza iónica de ilustración mostraron que los cationes Ca^{2+} y Mg^{2+} compitieron con el cadmio en el proceso de adsorción. Naeem *et al.* (2014) con la aplicación de silicato de calcio (CaSiO) disminuyó el Cd de suelo disponible

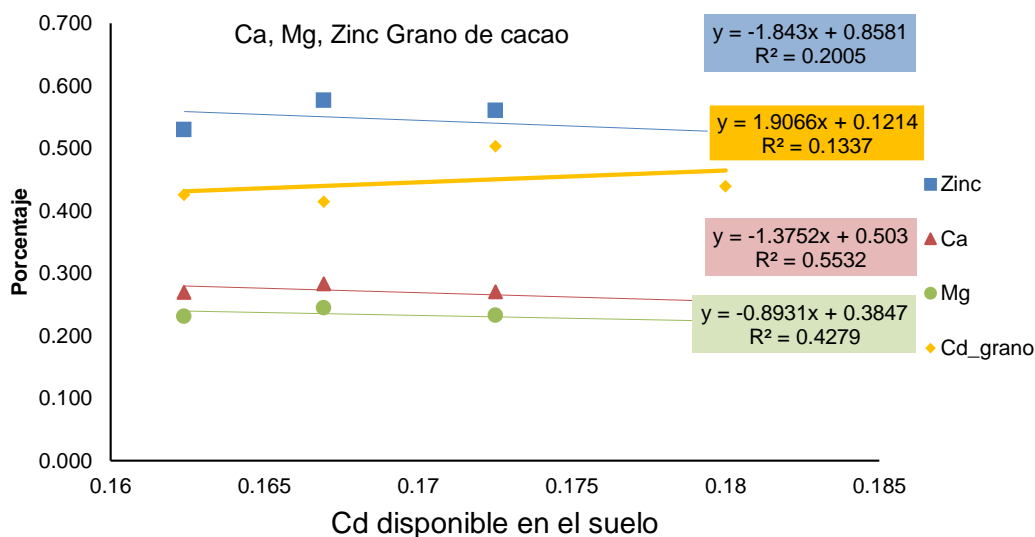


Figura 10. Regresión entre el cadmio disponible del suelo con el Ca, Zinc, Mg, y Cd total del grano.

La Figura 11 muestra la correlación y regresión entre la materia orgánica aplicado (25, 50, 100 t/ha) con el Cd, Zn en grano de cacao cuando se plico estiércol de vacuno (Figura 11 a), donde la correlación entre la materia orgánica y el cadmio en el grano del cacao fue negativa y altamente significativo con un coeficiente de determinación de $R^2 = 0,9285$, es decir al incrementarse los niveles de estiércol de vacuno se reduce significativamente la concentración de cadmio en los granos de cacao, sin embargo el coeficiente de regresion es bajo (-0,0004), y se tendria que aplicar dosis muy altas para reducir significativamente el cadmio en el grano, la tendencia del Zn fue similar.

La correlación entre la materia orgánica aplicado al suelo (25, 50, 100 t/ha de RPCC+CM) y el cadmio en el grano de cacao fue positivo, es decir al incrementarse los niveles de residuos de poda y cosecha de cacao más compost municipal (RPCC+MC) se incrementa el cadmio en el grano de cacao, y zinc (Figura 11 b), contrario a la tendencia obtenido con el estiércol de vacuno (EV) es posible que la presencia de contaminantes o fuentes de cadmio en el compost municipal que explicarían este resultado. La (Figura 11c) muestra la correlación y regresión entre el cadmio disponible del suelo, con el Cd, Zn y Mg en grano de

cacao cuando se aplicó residuos de poda de cacao más compost municipal (RPCC), correlación que fue negativa con el calcio y magnesio y positivo con el cadmio en grano, es decir al incrementarse el cadmio disponible en el suelo se reduce el calcio y magnesio en el grano de cacao, ratificando los resultados generales mostrados y discutidos en el Cuadro 10 y Figura 9.

La tendencia de la correlación fue similar con la aplicación de residuos de poda de cacao mezclado con compost municipal (RPCC+MC) (Figura 11d), sin embargo el coeficiente de regresión (1.662) del cadmio en grano es mayor con esta fuente orgánica, es decir con la aplicación de RPCC+CM se muestra un incremento del cadmio mayor al incremento generado por RPCC, por lo tanto podemos atribuir que el cadmio presente se debe al compost municipal (CM) y no a los residuos de poda y cosecha de cacao RPCC.

En la Figura 12, se observa la correlación entre los niveles de la materia orgánica aplicado con el Ca, Mg, Cd y Zn en grano (Figura 12a), donde el coeficiente de determinación fue 0.533, 0.388, 0.995, 0.299 para el Ca, Mg, Cd y Zn respectivamente, significativo para el calcio y cadmio. El modelo de regresión es polinómico (cuadrático), es decir, al incrementarse el nivel de materia orgánica también se incrementa la concentración del calcio, magnesio y zinc en el grano de cacao, hasta aproximadamente 25 tn/ha, y a partir de este nivel las concentraciones del Ca, Mg, y Zn se reducen.

Sucede lo contrario con el cadmio, el cadmio reduce su concentración en el grano con 25 t/ha de M.O aproximadamente, dosis mas altas de este nivel (25 t/ha M.O) tiende a incrementar la presencia de cadmio en las almendras del cacao, es posible que los niveles altos o exagerados de materia orgánica sobre las condiciones en este suelo con pH superior a 5.5 haya generado una desorción del cadmio en consecuencia mayor biodisponibilidad, también la calidad del material orgánico afecta estos resultados, algunos materiales orgánicos ricos en celulosa pueden seguir rutas de humificación mientras, que otros materiales orgánicos pueden mineralizarse fácilmente, es probable que con

el tiempo por residualidad de la materia orgánica esta tendencia cambie favorablemente.

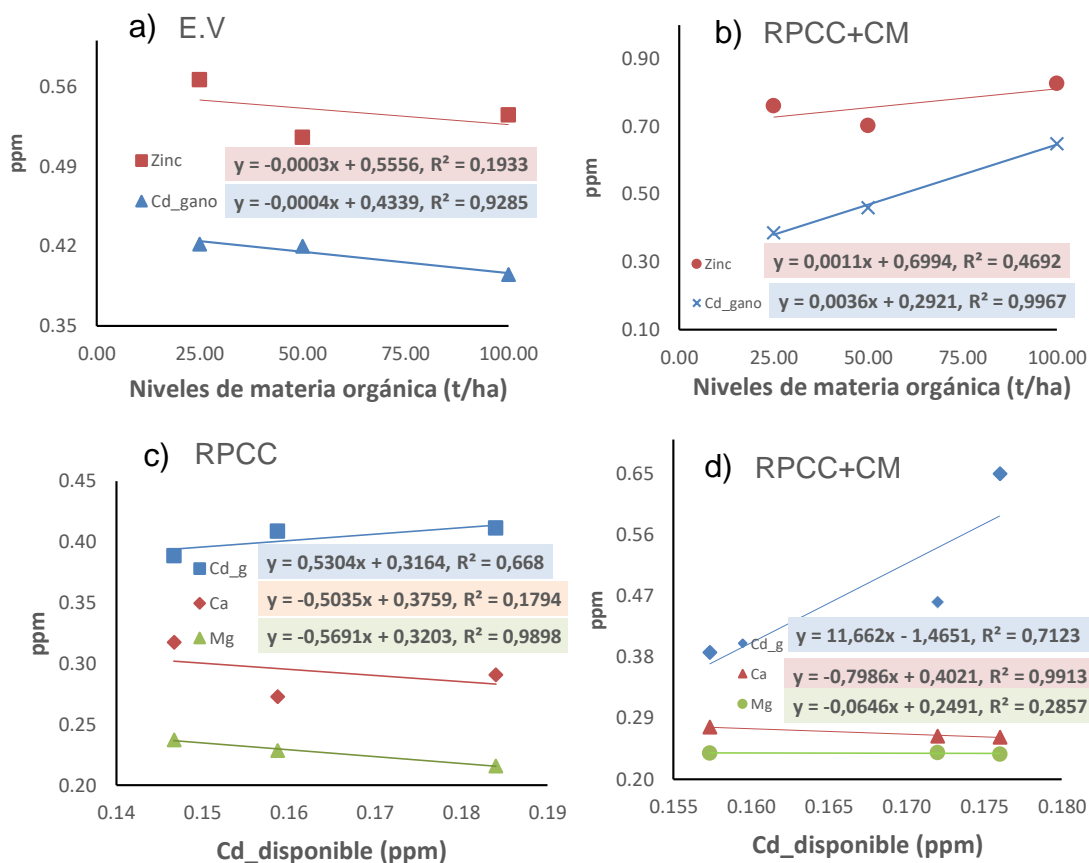


Figura 11. Correlación y regresión entre los niveles de materia orgánica y Cd, Zn en grano de cacao con estiércol de vacuno (a), con RPCC+CM (b), correlación entre el Cd disponible y el Cd, Ca, Mg en grano con RPCC (c) y RPCC+CM (d).

RPCC = Residuos de poda y cosecha de cacao EV = Estiércol de vacuno CM = Compost municipal

Kuo y Baker (1980) menciona un incremento del cadmio soluble por efecto de la materia orgánica y este aumento de la forma soluble de Cd se atribuiría posiblemente a la disolución de materia orgánica a valores de pH más altos liberando así Cd en la solución del suelo, Jones *et al.* (1987) reportaron que las concentraciones de Cd en el suelo fertilizado con estiércol aumentaron de manera constante y más rápidamente que en los suelos fertilizados con fertilizante (fosforados) sin embargo las concentraciones de Cd en el grano de trigo de las parcelas tratadas con estiércol disminuyeron con el tiempo, Bravo *et al.* (2014) concluyo que una mejor calidad de la materia orgánica implica causar

menor movilidad de cadmio, previniendo contaminación y toxicidad por bioacumulación de cadmio

La lignina tiene mucha capacidad de adsorción de metales por los fenoles y otros grupos funcionales presentes en su superficie, con afinidad por metales (Navarro 2006) y también a la fuerza de atracción electrostática de la superficie de la lignina con el metal (+) (Correa *et al.* 2012). La lignina es un material importante en procesos de adsorción por su bajo costo y alta capacidad de carga y que puede ser competitivo con otros sorbentes (Gómez 2013) la lignina de eucalipto mostró buena capacidad de adsorción por sus grupos funcionales fenólicos, carbonilos y sulfurosos en la superficie de la molécula de lignina (Mohan *et al.* 2006).

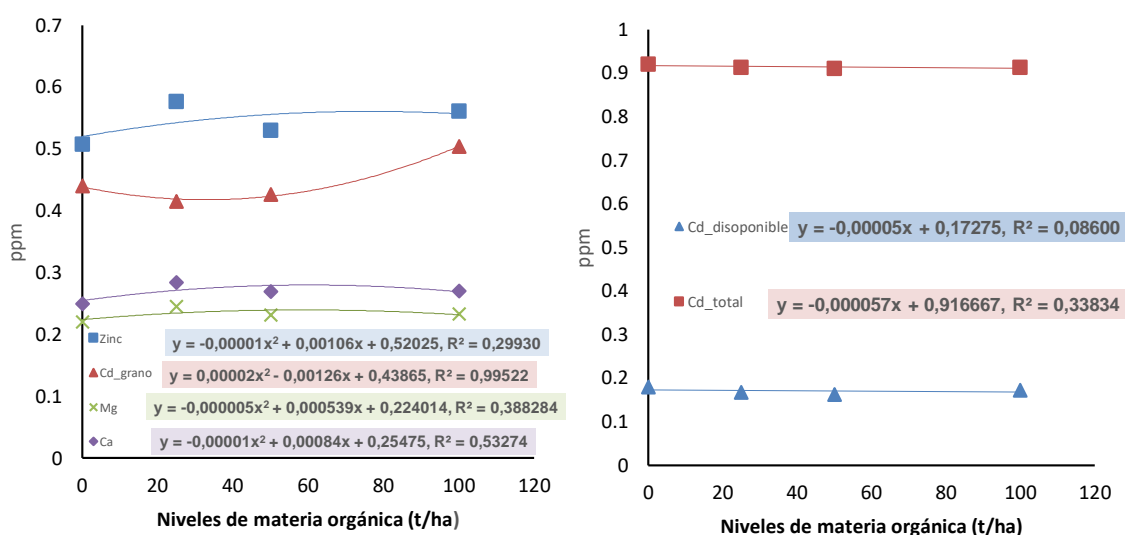


Figura 12. Correlación entre la materia orgánica aplicado y el Ca, Mg, Cd en grano, Zn en grano (a), y entre Cd total suelo, Cd disponible y total en suelo.

La Figura 12b muestra la regresión y correlación entre los niveles de materia orgánica aplicado y cadmio total, disponible en grano de cacao, donde no se evidencia una correlación significativa sin embargo el coeficiente de regresión negativa (-) nos indica que posiblemente existiría una tendencia de asociación positiva, es decir al incrementarse los niveles de materia orgánica

posiblemente se reduciría las concentraciones del cadmio disponible y total del suelo.

4.4. Concentración de materia orgánica (%) por efecto de cinco fuentes en tres niveles

Los resultados de la concentración de la materia orgánica en el suelo de la parcela experimental, que recibieron cinco fuentes orgánicas (5A) con 3 niveles (3B) (25, 50, 100 t/ha) se presenta adjunto en anexo (Cuadro 23). Según la prueba de F del análisis de varianza se encontró diferencias estadísticas significativas en los niveles de materia orgánica (t/ha) (factor B), y diferencias estadísticas altamente significativas para la interacción de los efectos simples A*B, y testigo adicional versus los factores. No se encontró diferencias estadísticas entre los bloques, fuentes orgánicas (factor A) (Cuadro 24).

4.4.1. Efecto principal de las fuentes orgánicas (abonos) con tres niveles en la presencia de cadmio disponible en el suelo.

Según la prueba de Duncan ($p < 0.05$) de la concentración de materia orgánica en el suelo para el factor A (fuentes orgánicas) (Cuadro 11), estadísticamente fue menor la concentración de la materia orgánica con el testigo que no recibió ninguna fuente orgánica y mayor con la aplicación de residuos de poda de cacao más Mazorcas (RPCC), incrementándose la materia orgánica de 1.31 % del testigo a 2.05 con RPCC con una diferencia de 0.74 que representa el 36 %, por lo tanto la aplicación del abono orgánico RPCC ha incrementado la concentración de materia orgánica en 36.09 %. La menor concentración de materia orgánica fue con la aplicación del compost municipal (CM) y estiércol de vacuno (EV).

La mayor presencia de M.O como aporte producido por el abono RPCC se explicaría por su composición es decir está compuesto principalmente por tallos (ramas) con polímeros complejos ricos en celulosa (celobiosa, xilosa, manosa, etc) y otros compuestos fenólicos ricos en carbono, con elevada relación C/N; en cambio el estiércol de vacuno (EV) y compost municipal (CM)

presentarían compuestos menos polimerizados, principalmente por carbohidratos y proteínas con una mineralización mas acelerada que RPCC.

La relación C/N es un componente más de un conjunto de variables que influyen de manera significativa sobre la mineralización de los residuos orgánicos que se aplican al suelo (Probert *et al*, 2005). La relación C/N, contenido de lignina y la relación lignina/N como indicadores de la descomposición de las plantas usadas comúnmente como abonos verdes (Uratani *et al*, 2004). La variación del contenido de lignina se asoció estrechamente ($R^2=0.89$) con la relación C/N, el tejido que tiende a la senescencia, se incrementa su concentración de lignina (Hernández *et al*, 2007)

Al incrementarse las dosis de abonos orgánicos se incrementa la concentración de materia orgánica en el suelo, con el nivel más alto del abono orgánico M.O (100 t/ha) presentó mayor concentración de M.O (%) en el suelo estadísticamente igual que con 50 t/ha, mientras que el testigo sin materia orgánica presento estadísticamente la menor concentración de materia orgánica (Cuadro 11, 14),

Cuadro 11. Duncan del contenido de materia orgánica en el suelo por efecto de las fuentes y niveles de enmiendas orgánicas.

Factores	Promedio M.O (%)	n	Significación
A. Fuentes orgánicas			
RPCC	2.05	9	a
RPCC + EV	2.02	9	a
RPCC + CM	1.95	9	a
EV	1.91	9	a
CM	1.86	9	a
Testigo	1.31	3	b
B. Niveles de materia orgánica (t/ha)			
100	2.20	15	a
50	1.93	15	a b
25	1.75	15	b
Testigo	1,31	3	c

RPCC = Residuos de poda y cosecha de cacao

EV = Estiércol de vacuno

CM = Compost municipal

4.4.2. Efecto simple de interacción, de las fuentes orgánicas con tres niveles, sobre la concentración de materia orgánica (%)

Según la prueba de F del análisis de varianza de efectos simples de la materia orgánica (fuentes orgánicas) o los abonos orgánicos (factor A) (Cuadro 25), muestra diferencias estadísticas altamente significativas (**) con b_1 , b_2 , y significativas (*) con b_4 , es decir, con la aplicación de residuos de poda y cosecha de cacao (RPCC), residuos de poda y cosecha de cacao más estiércol de vacuno (RPCC+EV), estiércol de vacuno (EV), compost municipal (CM), residuos de poda y cosecha de cacao más compost municipal (RPCC+CM) en los tres niveles 25, 50 y 100 t/ha presentaron un efecto diferenciado en el incremento de la materia orgánica en el suelo. El factor B (niveles de las fuentes orgánicas) muestra diferencias estadísticas altamente significativas con a_2 (RPCC+EV), a_3 (EV), a_4 (CM) y a_5 (RPCC+CM) y no significativa con a_1 (RPCC).

El Cuadro 12, muestra la prueba de Duncan ($p < 0.05$) para el efecto simple de las interacciones fuentes orgánicas en tres niveles, sobre la concentración (%) de materia orgánica (M.O) en el suelo, en los efectos simples de A en b_1 ; efecto de las fuentes orgánicas, sobre la dosis 25 t/ha del material orgánico aplicado muestra que la interacción de a_1 , a_3 , a_4 , a_5 con b_1 fueron estadísticamente iguales, la interacción a_2b_1 (RPCC+EV) presentó estadísticamente la menor concentración de materia orgánica (1.51 %) (Cuadro 12, Figura 13a). Los efectos simples de A en b_2 ; efecto de las fuentes orgánicas, sobre la dosis 50 t/ha del material orgánico aplicado muestra que la mayor concentración de materia orgánica fue con la aplicación de RPCC+EV con 50 t/ha (a_2b_2) (Cuadro 12, Figura 13b).

Según la prueba de Duncan ($p < 0.05$) para el efecto simple de las interacciones fuentes orgánicas en tres niveles, sobre la concentración de materia orgánica (M.O) en el suelo (Cuadro 12, Figura 13c), de los efectos simples de A en b_3 ; efectos de las fuentes orgánicas, sobre la dosis 100 t/ha del material orgánico aplicado fue mayor la concentración de materia orgánica en la interacción RPCC con 100 t/ha (a_1b_3) corroborándose los resultados discutidos en el Cuadro 11.

Cuadro 12. Prueba de Duncan para el efecto simple de las interacciones fuentes orgánicas en tres niveles, sobre la concentración de materia orgánica (M.O) en el suelo

Fuentes orgánicas (A)	Niveles (A) (t/ha)	Clave	Materia orgánica (%)	Significancia
Efectos simples de A en b1; efecto de las fuentes orgánicas, sobre la dosis 25 t/ha del material orgánico aplicado				
RPCC + CM	25 t/ha	a ₅ b ₁	2.14	a
CM	25 t/ha	a ₄ b ₁	1.80	a
EV	25 t/ha	a ₃ b ₁	1.69	a
RPCC	25 t/ha	a ₁ b ₁	1.60	a
RPCC + EV	25 t/ha	a ₂ b ₁	1.51	b
Efectos simples de A en b2; efecto de las fuentes orgánicas, sobre la dosis 50 t/ha del material orgánico aplicado				
RPCC + EV	50 t/ha	a ₂ b ₂	2.27	a
CM	50 t/ha	a ₄ b ₂	2.16	a
RPCC + CM	50 t/ha	a ₅ b ₂	1.92	b
RPCC	50 t/ha	a ₁ b ₂	1.83	b
EV	50 t/ha	a ₃ b ₂	1.46	b
Efectos simples de A en b3; efecto de las fuentes orgánicas, sobre la dosis 100 t/ha del material orgánico aplicado				
RPCC	100 t/ha	a ₁ b ₃	2.72	a
EV	100 t/ha	a ₃ b ₃	2.59	a
RPCC + EV	100 t/ha	a ₂ b ₃	2.27	a
RPCC + CM	100 t/ha	a ₅ b ₃	1.80	b
CM	100 t/ha	a ₄ b ₃	1.62	b
RPCC = Residuos de poda y mazorcas de cacao EV = Estiércol de vacuno CM = Compost municipal				

La prueba de Duncan ($p < 0.05$) para el efecto simple de las interacciones niveles (dosis) aplicado (t/ha) sobre las fuentes orgánicas (tipos de abonos), de los efectos simples de B en a₁; efecto de los niveles de materia orgánica, sobre la fuente orgánica RPCC indica que la mayor concentración de materia orgánica fue en la interacción b₃a₁ (Cuadros 13, 14) por consiguiente, la aplicación de RPCC con 100 t/ha, presenta mayor acumulación de materia

orgánica (2.72 %M.O), incrementándose de 1.31 % con el testigo a 2.72 % con 100 t/ha de RPCC, con una diferencia de 1.41 que representa un incremento de 51.8 %, es decir con la dosis más alta 100 t/ha de RPCC se ha incrementado la concentración de materia orgánica en un 51.8 %.

Marroquín (2003) reportó un incremento de la materia orgánica en 40 % con la aplicación de abonos orgánicos. El estiércol de vacuno tiene compuestos relativamente fáciles de degradar (Van Kessel *et al*, 2000), el contenido de lignina fue 140, 240 g/kg para estiércol de vacuno y aserrín (Barbazan *et al*. 2011), relaciones C/N altas ocasionan que el proceso de descomposición sea más lento (Restrepo, *et al*, 2014, Ballesteros 2011).

Según la prueba de Duncan ($p < 0.05$) los efectos simples de B en a_2 ; efecto de los niveles de M.O, sobre la fuente orgánica RPCC+EV, la interacción b_2a_2 e interacción b_3a_2 han generado la mayor presencia de materia orgánica estadísticamente iguales, mientras que la dosis más baja b_1a_2 (25 t/ha de RPCC+EV) presentó la menor concentración de M.O (Cuadro 13). Estadísticamente la mayor presencia de materia orgánica en los efectos simples de B en a_3 ; efecto de los niveles de materia orgánica, sobre la fuente orgánica EV fue con la aplicación de 100 t/ha de EV (a_3b_3).

Cuadro 13. Prueba de Duncan para el efecto simple de las interacciones niveles de las fuentes orgánicas aplicado (t/ha) sobre las fuentes orgánicas.

Fuentes orgánicas (A)	Niveles (A) (t/ha)	Clave	Materia orgánica (%)	Significancia
Efectos simples de B en a ₁ ; efecto de los niveles de M.O, sobre sobre la fuente orgánica RPCC				
100 t/ha	RPCC	b _{3a1}	2.72	a
50 t/ha	RPCC	b _{2a1}	1.83	b
25 t/ha	RPCC	b _{1a1}	1.60	b
Testigo	1.31	b
Efectos simples de B en a ₂ ; efecto de los niveles de M.O, sobre sobre la fuente orgánica RPCC + EV				
50 t/ha	RPCC + EV	b _{2a2}	2.27	a
100 t/ha	RPCC + EV	b _{3a2}	2.27	a
25 t/ha	RPCC + EV	b _{1a2}	1.51	b
Efectos simples de B en a ₃ ; efecto de los niveles de M.O, sobre sobre la fuente orgánica EV				
100 t/ha	EV	b _{3a3}	2.59	a
25 t/ha	EV	b _{1a3}	1.69	b
50 t/ha	EV	b _{2a3}	1.46	b
Efectos simples de B en a ₄ ; efecto de los niveles de M.O, sobre sobre la fuente orgánica CM				
50 t/ha	CM	b _{2a4}	2.16	a
25 t/ha	CM	b _{1a4}	1.80	b
100 t/ha	CM	b _{3a4}	1.62	b
Efectos simples de B en a ₅ ; efecto de los niveles de M.O, sobre sobre la fuente orgánica RPCC + CM				
25 t/ha	RPCC + CM	b _{1a5}	2.14	a
50 t/ha	RPCC + CM	b _{2a5}	1.92	b
100 t/ha	RPCC + CM	b _{3a5}	1.80	b

RPCC = Residuos de poda y cosecha de cacao EV = Estiércol de vacuno CM = Compost municipal

Cuadro 14. Duncan de la concentración de la materia orgánica en los tratamientos en estudio.

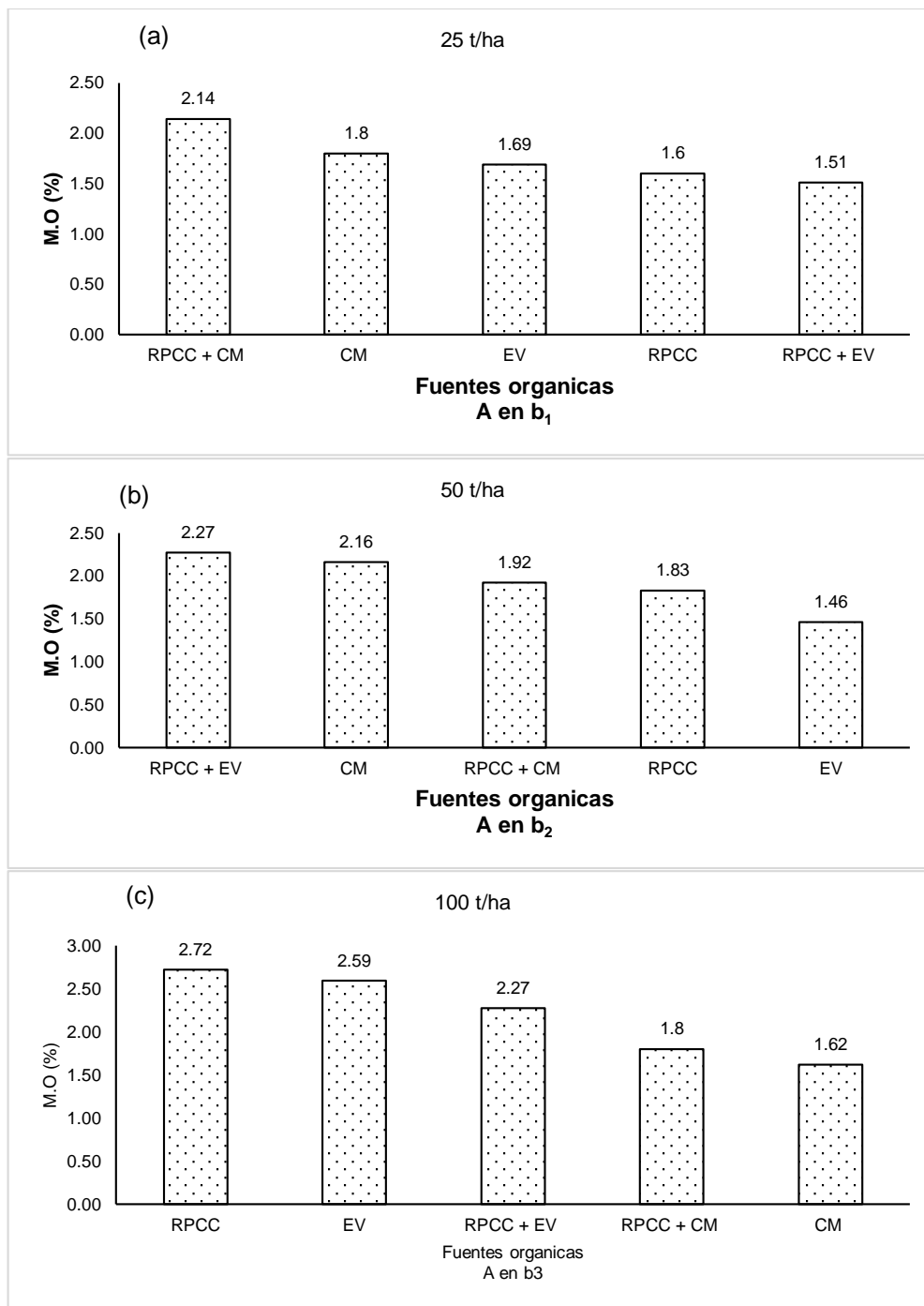
Fuentes orgánicas (A)	Niveles de M.O (t/ha) (B)	Interacción	Materia orgánica (%)	n	Significancia
PRCC	100	a ₁ b ₃	2.72	3	a
EV	100	a ₃ b ₃	2.59	3	a b
PRCC + EV	50	a ₂ b ₂	2.27	3	a b c
PRCC + EV	100	a ₂ b ₃	2.27	3	a b c
CM	50	a ₄ b ₂	2.16	3	a b c d
PRCC + CM	25	a ₅ b ₁	2.14	3	a b c d
PRCC + CM	50	a ₅ b ₂	1.92	3	b c d e
PRCC	50	a ₁ b ₂	1.83	3	c d e
CM	25	a ₄ b ₁	1.80	3	c d e
PRCC + CM	100	a ₅ b ₃	1.80	3	c d e
EV	25	a ₃ b ₁	1.69	3	c d e
CM	100	a ₄ b ₃	1.62	3	c d e
PRCC	25	a ₁ b ₁	1.60	3	c d e
PRCC + EV	25	a ₂ b ₁	1.51	3	c d e
EV	50	a ₃ b ₂	1.46	3	d e
Testigo			1.31	3	e

RPCC = Residuos de poda y cosecha de cacao
a₁ = RPCC
b₁ = 25 t/ha

a₂ = 50% RPCC + 50% EV
b₂ = 50 t/ha

EV = Estiércol de vacuno
a₃ = EV
b₃ = 100 t/ha

CM = Compost municipal
a₅ = 50% RPCC + 50% CM



RPCC = Residuos de poda y cosecha de cacao EV = Estiércol de vacuno CM = Compost municipal

Figura 13. Efecto de las fuentes orgánicas en cada nivel 25 (a), 50 (b) y 100 (c) (t/ha) aplicado sobre la concentración de materia orgánica del suelo.

La Figura 14 muestra, que al incrementarse los niveles (25, 50, 100 t/ha) de residuos de poda y cosecha de cacao (RPCC), se incrementa con los mayores promedios la concentración de materia orgánica en el suelo, con

una correlación positiva y significativa con un coeficiente de determinación R^2 de 0.7452. La correlación también fue positiva y significativa con la aplicación de residuos de poda y cosecha de cacao más estiércol de vacuno (RPCC+EV), y estiércol de vacuno EV. Sin embargo con la aplicación de compost municipal (CM) y residuos de poda de cosecha y restos de cosecha más compost municipal (RPCC+CM) la correlación fue negativa, es decir la aplicación de compost municipal no ha contribuido a la presencia y/o incremento de la materia orgánica en el suelo. Este resultado se explicaría por la composición del compost municipal que carece de compuestos como la celulosa y lignina. Cardenas 2010, reportó un incremento significativo de la materia orgánica con la aplicación de fuentes (abonos) orgánico.

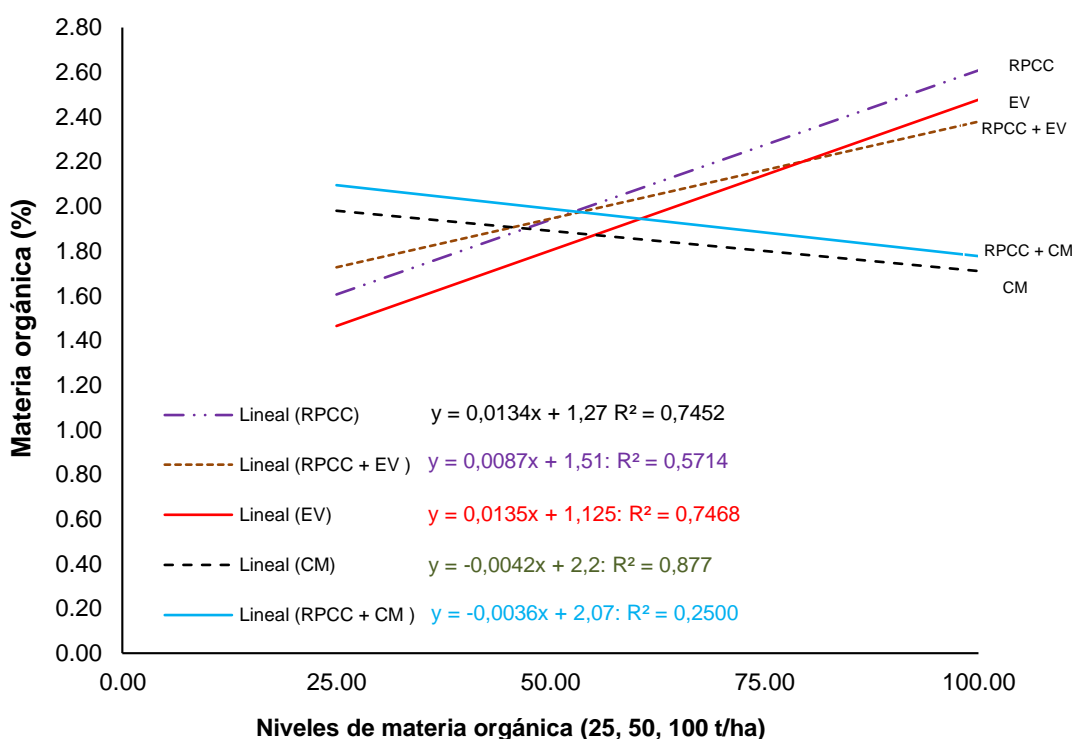


Figura 14. Efecto de los niveles de materia orgánica aplicados (t/ha) sobre las fuentes orgánicas, en la concentración de materia orgánica.

RPCC = Residuos de poda y cosecha de cacao EV = Estiércol de vacuno CM = Compost municipal

V. CONCLUSIONES

1. Se ha reducido la absorción del cadmio en las almendras del cacao por efecto de la materia orgánica aplicado como enmienda en un suelo aluvial.
2. La humina (HUM) fue la fracción química que está más relacionado a la adsorción del cadmio y con mayor retención, seguido el ácido húmico; y con menor adsorción el ácido fúlvico; en el orden HUM> AH>AF.
3. Se ha reducido la absorción del cadmio en 5.6% con la aplicación de 25 toneladas de residuos de poda y cosecha de cacao (RPCC) en un suelo aluvial.
4. La correlación observada sugiere incrementar el contenido del Ca, Mg y Zn en el suelo para limitar la absorción del cadmio disponible del suelo por la planta reduciendo su presencia en los granos del cacao.
5. La aplicación de residuos de poda y cosecha de cacao (RPCC) se incrementó de 1.41 a 2.72 %, equivalente al 51.8 % de la materia orgánica del suelo.

VI. RECOMENDACIONES

1. Formular enmiendas orgánicas con elevada capacidad para formar la fracción química; humina y ácidos húmicos
2. Aplicar de 25 a 50 t/ha de residuos de poda y cosecha de cacao (RPCC), para reducir la absorción del cadmio en los granos del cacao en suelo aluvial.
3. Para reducir la absorción y presencia del Cadmio en los granos de cacao, incluir en el plan y/o recomendación de abonamiento fuentes con sustancial concentración de Ca, Mg y Zn.
4. Evaluar la residualidad de las fuentes orgánicas aplicadas en el cultivo de cacao, superior a tres campañas productivas.
5. Estudiar el efecto de la materia orgánica en plantaciones de cacao en suelos residuales.

VII. BIBLIOGRAFÍA

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. Perú. 3(1): 20-29.
2. Amlinger F; Pollak M and Favoino E. 2004. Heavy metals and organic compounds from wastes used as organic fertilisers. ENV.A.2./ETU/2001/0024. Final Report to DG Environment, Brussels.
3. Antiadis, V and Alloway, B.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. Baldotto, MA e Baldotto, LEB. 2014. Ácidos húmicos. Ceres vol. 61 supl. Viçosa Brasil. <http://dx.doi.org/10.1590/0034-737x201461000011>.
5. Ballesteros, M. 2001. Caracterización química de procesos de compostaje, determinación de parámetros de calidad de compost y evaluación del efecto sobre el aluminio en un oxisol. Tesis de pregrado en Química. Universidad Nacional de Colombia. Bogotá. Pp. 1 -18.
6. Bardos P. 2004 Composting of mechanically segregated fractions of municipal solid waste—review. Falfield, Bristol: Sita Environmental Trust.
7. Bayer, C e Mielniczuk, J. 1999. Dinâmica e função da matéria orgânica. In: Santos, G.A.; Camargo, F.A.O. (Ed.). Matéria orgânica do solo: fundamentos e caracterização. Porto Alegre: Gênese, Brasil. Pp.9-26.
8. Bayer, C; Mielniczuk, J; Martin-neto, L y Prernani. 2002. Stocks and humification degree of organic matter fractions as affected by no-tillage on a subtropical soil. Plant and Soil. 238: 133-140.
9. Bazán, R. 1996. Manual para el análisis químico de suelos plantas y aguas. Universidad Nacional Agraria La Molina. Lima, Perú. 55 p.
10. Benavides, M.P.; Gallego, S.M. y Tomaro, M. 2005. Cadmium toxicity in plants. Brazilian Journal of Plant Physiology. Brasil. 17:21-34

11. Benites, VM; Madari, B e Machado, PI. 2003. Extração e fracionamento quantitativo de substâncias húmicas do solo: Um procedimento simplificado e de baixo custo. Brasília, Embrapa, Brasil. (Comunicado Técnico 16). 7 p.
12. Beesley, L; Inneh, O; Nort, G; Moreno, E; Pardo, T; Clemente, R and Dawson, J. 2014. Assessing the influence of compost and biochar amendments on themobility and oxicity of metals and arsenic in a naturally contaminated mine soil. *Environ. Pollut.* 186: 195–202.
13. Bonde, TA; Christensen, BT and Cerri, CC. 1992. Dynamics of soil organic matter as reflected by natural DC abundance in particle size fractions of forested and cultivated oxisols organic matter. *Soil Bioi. Biochem.* 23:275-277.
14. Brady, NC and Weil, RR. 2002. *The Nature and Properties of Soil*, 13th ed. Springer Netherlands. Pp.249.
15. Bravo, I; Arboleda, C y Martín, 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 Agronómica.* 63(2):164-174
16. Brimecombe, MJ; De Leij, FA and Lynch, JM. 2007. Rhizodeposition and microbial populations. In *The Rhizosphere: Biochemistry and Organic Substances at the Soil – Plant Interface* , 2nd edition , Pint , R., Varanini , Z. , and Nannipieri , P. , eds., CRC Press ,Boca Rat, FL. Pp. 73 – 109 .
17. Canellas, LP; Santos, GA e Amaral-Sobrinho NMB. 1999. Reações da matéria orgânica. In: Santos, G.A.; Camargo, F.A.O. (Eds). *Fundamentos da matéria orgânica do solo: ecossistemas tropicais e subtropicais.* Gêneseis, Porto Alegre, Rio Grande do Sul. Brasil. Pp. 69-90
18. Campos, S. 2012. Zonificación Agroecológica de cultivos en áreas bajas del trópico húmedo de Venezuela, Simposio do Trópico Umido, Pará, Brasil, Pp. 2-17.
19. Cárdenas, A. 2012. Presencia de cadmio en algunas parcelas de cacao orgánico de la cooperativa agraria industrial Naranjillo, Tingo María,

- Perú. Tesis Ingeniero Agrónomo. Universidad Nacional Agraria de la Selva. Huánuco. Perú. 96 p.
20. Clark, GJ; Dodgshun, N; Sale, P and 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.
 21. Chavez, E; Stoffella, F; Mylavarapu, R and Baligar, V. 2016. Chemical speciation of cadmium: An approach to evaluate plant available cadmium in Ecuadorian soils under cacao production. *Chemosphere* 150 (1) 57-62. DOI 10.1007/s 11356-016-6931-7
 22. Christensen T.H., Haung P.M. 1999. Solid phase cadmium and the reaction of aqueous cadmium with soil surfaces. In: *Cadmium in Soils and Plants*, eds. M.J. McLaughlin, B.R. Singh, Kluwer Acad. Publ., London. Pp. 65–96
 23. Christensen, BT. 2000. Organic matter in soil: structure, function and turnover. Tjele: DIAS. 95 p. (DIAS Report. Plant Production, 30).
 24. Conceição, PC; Boeni, M. Bayer, C; Dieckow, J e Salt, JC. 2015. Eficiência de Soluções Densas no Fracionamento Físico da Matéria Orgânica do Solo. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, v39:490-497. DOI: 10.1590/0 1000683rbcS20140447
 25. Contreras, F; Herrera, T y Izquierdo, A. 2011. Efecto de dos fuentes de carbonato de calcio (CaCO_3) sobre la disponibilidad de cadmio para plantas de cacao (*Theobroma cacao* L.) en suelos de Barlovento, estado Miranda. *Venezuela*. 13(1):52-63.
 26. Corami, A; Mignardi, S and Ferrini, V. 2007. Copper and zinc decontamination from single- and binary-metal solutions using hydroxyapatite; *J. Hazard. Mater.* 146:164–170.
 27. Correa, M. L., Velásquez, J. A. and Quintana, G. C. (2012). Uncommon crop residues as Ni (II) and Cd (II) biosorbents. *Industrial & Engineering Chemistry Research*, 51: 12459.
 28. Del Castilho, P; Chardon, WJ and Salomons, W. 1993 Influence of cattle manure application on the solubility of Cd, Cu and Zn in a manured, acidic loamy-sand soil. *J. Environ. Qual.* 22: 689-697.

29. Díaz, A; Arroqui, A y 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* 21 (1): 9.
30. Dick, DP and Martinazzo, R. 2006. Matéria orgânica em ambientes terrestres e aquáticos: compartimentos, composição e reações. In: Poletto, C.; Merten, G. H. (Org.) *Qualidade dos Sedimentos*. Porto Alegre: ABRH, cap. 4. Pp. 65-80.
31. Duchaufour, P. 1982. *Pedology: pedogenesis and classification*. London: George Allen y Unwin, 187 p.
32. Duchaufour, P. 1984. *Edafogénesis y clasificación. Versión española de Carballas*. Masson. Barcelona-España.
33. Escobar, EF. 2015. Efecto de bioestimulantes foliares en el rendimiento del cultivo de berenjena [Tesis]. Ocós, San Marcos. Universidad Rafael Landívar.
34. Gonzales, S. 1986. Contenido natural de metals pesados extraibles con EDTA en suelos del Valle Aconcagua. *Agr. Tec.* 46 (3): 323-327
35. Hamon, R; Holm, S; Lorenz, S; McGrath and Christensen, T. 1995. Metal uptake by plants from sludge-amended soils: Caution is required in the plateau interpretation. *Plant Soil*. 216:53–64.
36. Han-Song, C; Huang, Q; Li-Na, L; Peng, C; Liang, W and Ming, L. 2010. Poultry manure compost alleviates the phytotoxicity of soil cadmium: influence on growth of pakchoi (*Brassica chinensis* L.). *Pedosphere* 20 (1): 63–70.
37. Hayes, M and Clapp, E. 2001. Humic substances: considerations of compositions, aspects of structure, and environmental influences. *Soil Science*. 166 (11): 723-737.
38. Hayes, MHB and Graham, CL. 2000. *Humic Substances: Versatile Components of Plants, Soil and Water*, E.A. Ghabbour & G. Davies (Eds), The Royal Society of Chemistry, Cambridge, UK. Pp 91–109
39. Hernández, M.; Pérez, S., Arévalo, GA. y Spinola, G. 2007. Evaluación de la concentración de lignina como indicador de la capacidad de aporte de nitrógeno de residuos orgánicos, *Ciencias Forestales y del Ambiente* 13(1): 5-13.

40. Hooda, PS. and Alloway, BJ. 1994. The plant availability and DTPA extractability of trace metals in sludge-amended soils. *Sci. Total Environ.* 149:39–51.
41. Huamani, H; Huauya, M; Mansilla, G; Florida, N; Neira, G. 2012. Presencia de metales pesados en cultivo de cacao (*Theobroma cacao* L.) orgánico.
42. Huamani, H. y Huauya, M. 2011. CITE-CACAO (Centro de Innovación Tecnológica del cacao). “Contenido de cadmio y plomo en la producción de cacao en San Martín”. 74 p.
43. ICT; GTZ. 2008. ICT (Instituto de Cultivos Tropicales), GTZ (Programa Desarrollo Rural Sostenible). Monitoreo de la Presencia de Cadmio en almendras de cacao, suelos y aguas en San Martín y Amazonas. 38 p.
44. Jones, KC and Peterson, P J. 1987. The influence of humic and fulvic-acids on silver uptake by perennial ryegrass, and its relevance to the cycling of silver in soils. *Plant and Soil*, 95:3–8.
45. Kabata-Pendias, A; Pendias, H. 2001. Trace Elements in Soils and Plants. 3ra. Edic. Boca Ratón London New York Washington, D.C. 403p.
46. Kang, S; Amarasiriwardena, D; Veneman, P and Xing, B. 2003. Characterization Of ten sequentially extracted Humic Acids and A Humic from A soil In Western Massachusetts. *Soil Science*. 168 (12): 880–887
47. Konova M. 1966. Soil organic matter: its nature, its role in soil formation, and soil fertility. Pergamon, New York, USA.
48. Kononova, M. 1982. Materia orgánica del suelo, su naturaleza, propiedades y métodos de investigación. Traducido por Enriqueta Bordas. Primera edición en lengua castellana. 368p.
49. Kuo, S. and Baker AS. 1980. Sorption of copper, zinc and cadmium by some acid soils. *Soil Sci. Soc. Am. J.* 44: 969-975.
50. Kramer, U. 2010. Metal hyperaccumulation in plants. *Annu. Rev. Plant Biol.* 61: 517-534
51. Liao, L and Selim, HM. 2009. Competitive sorption of nickel and cadmium in different soils. *Soil Sci.* 174(10):549 - 555.

52. Liu, L; Chen, H; Cai, P; Liang, W and Huang, Q. 2009. Immobilization and phytotoxicity of Cd in contaminated soil amended with chicken manure compost. *J. Hazard. Mater.* 163 (2): 563–567.
53. Lizarazo, LM. 2001. Insidencia de sustancias húmicas comerciales sobre microorganismos del suelo. Tesis doctoral. Facultad de Ciencias. Universidad de Alicante.
54. Mann, S and Rithie, G. 1995. Forms of cadmium in sandy soils after amendment with soils of higher fixing capacity. *Environmental Pollution* 8 (1): 23-29.
55. Mohan, D.; Charles U. Pittman Jr. and Philip H. Steele. 2006. Single, binary and multi-component adsorption of copper and cadmium from aqueous solutions on kraft a biosorbent. *Journal Elsevier.* 297(2):489-504. <https://doi.org/10.1016/j.jcis.2005.11.023>.
56. Marroquín, H. 2003. Efecto de dos materiales encalantes y orgánicos en el rendimiento del maíz (*Zea mays* L) en siembra directa en un suelo ácido. Título, Ingeniero Agronomo. UNAS. 124 p.
57. Matusik, J; Bajda, T and Manecki, M. 2008. Immobilization of aqueous cadmium by addition of phosphates. *J. Hazard. Mater.* 125:1332–1339.
58. Maya P Anne M. Hansen 1995 Competencia de iones mayores en la migración química de cadmio y plomo en sedimentos del lago de Chapala, México. *Ingenieria idraulica Mexico*, 1(1): 35-42
59. Navarro, A. 2006. Elucidación del efecto del pH en la adsorción de metales pesados mediante biopolímeros naturales: Cationes divalentes y superficies activas. *Polímeros*, 7(2): 121.
60. Navarro, VLL. 2017. Influencia del sistema de manejo del suelo y el carbono orgánico de las fracciones húmicas sobre la estabilidad de agregados en la ciudad de Jaboticabal, Brasil. Universidad nacional Agraria de la Selva, Tingo María, Perú. 119p.
61. Naeem, A; Abdul, S; y Farooq, M. 2014. Suppression of cadmium concentration in wheat grains by silicon is related to its application rate and cadmium accumulating abilities of cultivars. *JSci Food Agric.* 6 p.

62. Özkaraova, GE and Bekbölet, M. 2010. Zinc release by humic and fulvic acid as influenced by pH, complexation and DOC sorption. *Geoderma*, 159,131138. doi: 10.1016/j.geoderma.2010.07.004.
63. Pettit, RE. 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. 17p.
64. Piccolo, A. 1996. Humus and soil conservation. In: Piccolo, A. (Ed.). *Humic substances in terrestrial ecosystems*. Amsterdam: Elsevier. Pp. 225-264.
65. Piccolo, A. 2001. The supramolecular structure of humic substances. *Soil Science*, 166:810-832.
66. Pinamonti F; Stringari G; Gasperi F and Zorzi G. 1997. The use of compost: its effects on heavymetal levels in soil and plants. *Resour Conserv Recycl.* 21(1):29-43.
67. Probert, M. E.; Delve, R. J.; Kimani, S. K. and Dimes, J. P. 2005. Modelling nitrogen mineralization from manures: representing quality aspects by varying C/N ratio of sub-pools. *Soil Biology & Biochemistry* 37: 279-287.
68. Remigio, J. 2017. Determinación y zonificación de las fuentes contaminantes que afectan la concentración de cadmio en los granos de cacao en las organizaciones socias de Cepicafe de Piura y Tumbes. Proyecto INNOVATE-FINCYT. Perú. 34 p.
69. Santos, G e Camargo, A. 1999. *Fundamentos da matéria orgânica do solo: ecossistemas tropicais e subtropicais*. Porto Alegre: Gênese, Brasil. 544p.
70. Schnitzer, MA. 2000. A lifetime perspective on the chemistry of soil organic matter. *Adv. Agron.* 68:1 – 59.
71. Schnitzer, M; Kodama, H and Ripmeester, JA. 1991. Determination of the aromaticity of humic substances by X-ray diffraction analysis. *Soil Science Society American Journal*, Madison, .55: 745-750
72. Sposito, G. 1981. *The Thermodynamics of soil solutions*. London, New York. Oxford University Press. 231 p.

73. Sposito, GC; Le Claire, J and A. Chang. 1983. Trace metal chemistry in arid-zone field soils amended with sewage sludge: III. Effect of time on the extraction of trace metals. *Soil Sci. Soc. Am. J.* 47:898-903.
74. Sposito, G. and Page, A. L., 1984. Cycling of metal ions in the soil environments, in *Metal Ions in Biological Systems*, Sigel, H., ed., M., Dekker, New York, 287 p.
75. Stevenson, FJ. 1982. *Humus chemistry*. New York, John Willey & Sons. 443p.
76. Stevenson, FJ. 1994. *Humus chemistry: genesis, composition, reactions*. New York, John Wiley, 496 p.
77. Swift, RS. 1996. Organic matter characterization. In *Methods of soil analysis: Part 3 chemical methods*, SSSA book series 5, ed. D.L. Sparks. Madison: Soil Science Society of America. 5: 1011–1069.
78. Tejada, M; Hernández, MT and García, C. 2006. Application of two organic amendments on soil restoration: Effects on the soil biological properties. *Journal of Environmental Quality*, 35: 1010-1017
79. Tene, WR. 2016. Efecto de bioestimulantes en fréjol (*Phaseolus vulgaris* L.) Tesis. En el cantón el guabo, provincia el oro. Guayaquil: Universidad Estatal de Guayaquil.
80. Tiller, K. 1989. Heavy metals in soils and their environmental significance. *Advances in soil science*. 9: 113-142.
81. Tipping, E. 2002. *Cation binding by humic substances* (Cambridge environmental chemistry series, Vol. 12). New York: Cambridge University Press.
82. Union Europea (UE), Reglamento (UE) No 488/2014 DE LA COMISIÓN de 12 de mayo de 2014 que modifica el Reglamento (CE) no 1881/2006 por lo que respecta al contenido máximo de cadmio en los productos alimenticios.
83. USEPA (United States Environmental Protection Agency). 1996. Method 3050 B: Acid digestion of sediment, sludges, and soils. CD-ROM. 3050B - 1. Revision 2, Washingt, D. C.

84. Uratani, A.; Daimon, H.; Ohe, M.; Harada, J.; Nakayama, Y and Ohdan, H. 2004. Ecophysiological traits of field-grown *Crotalaria incana* and *C. pallida* as green manure. *Plant Production Science* 7: 449-455.
85. Van Kessel J.S., Reeves J.B. and Meisinger J.J. 2000. Nitrogen and carbon mineralization of potential manure components. *J. Environ. Qual.*; 29(5): 1669-1677.
86. Waksman, S. 1932. Principles of soil microbiology. Second edition. Williams and Wilkins, Baltimore, Maryland, USA. 33(3): 239.
87. Zhao FJ; Hamon RE; Lombi E; McLaughlin JM and McGrath SP. 2002. Characteristics of cadmium uptake in two contrasting ecotypes of the hyperaccumulator *Thlaspi caerulescens*, *J. Exp. Bot.* 53(368): 535-543. <https://doi.org/10.1093/jexbot/53.368.535>.

VIII. ANEXOS

Cuadro 15. Cadmio total (ppm) en los ácidos húmicos (AH)

Tratamientos	(A) Fuentes orgánicas	(B) Niveles de M.O (t/ha)	Bloque			Promedio
			I	II	III	
T ₁	RPCC	25	0.37	0.42	0.37	0.39
T ₂	RPCC	50	0.37	0.42	0.40	0.40
T ₃	RPCC	100	0.40	0.42	0.40	0.40
T ₄	RPCC + EV	25	0.40	0.42	0.33	0.38
T ₅	RPCC + EV	50	0.35	0.40	0.37	0.37
T ₆	RPCC + EV	100	0.40	0.37	0.37	0.38
T ₇	EV	25	0.42	0.37	0.37	0.39
T ₈	EV	50	0.37	0.40	0.40	0.39
T ₉	EV	100	0.40	0.33	0.42	0.38
T ₁₀	CM	25	0.37	0.40	0.37	0.38
T ₁₁	CM	50	0.42	0.40	0.35	0.39
T ₁₂	CM	100	0.37	0.33	0.35	0.35
T ₁₃	RPCC + CM	25	0.33	0.33	0.35	0.34
T ₁₄	RPCC + CM	50	0.31	0.33	0.31	0.31
T ₁₅	RPCC + CM	100	0.33	0.35	0.35	0.34
T ₁₆	Testigo	0	0.37	0.35	0.33	0.35

RPCC = Residuos de poda y cosecha de cacao EV = Estiércol de vacuno CM = Compost municipal

Cuadro 16. ANVA del contenido de cadmio total en ácidos húmicos

Ft. Variación	GGI	SSC	CM	Fcal	Ftab (5%)	
Bloques	2	0.001	0.001	0.836	5.390	NS
Tratamientos	15	0.028	0.002	2.949	2.015	AS
Factorial	14	0.026	0.002	3.008	2.037	AS
(A) Fuentes orgánicas	4	0.022	0.005	8.798	2.690	AS
(B) Niveles de M.O (t/ha)	2	0.000	0.000	0.072	3.316	NS
AxB	8	0.004	0.001	0.848	2.266	NS
Factorial vs testigo	1	0.001	0.001	2.121	4.171	NS
ERROR EXPERIMENTAL	30	0.019	0.001			
TOTAL	47	0.0472				

Cuadro 17. Cadmio total (ppm) en los ácidos fúlvicos

Tratamientos	(A) Fuentes orgánicas	(B) Niveles de M.O (t/ha)	Bloque			Promedio
			I	II	III	
T ₁	RPCC	25	0.29	0.29	0.24	0.27
T ₂	RPCC	50	0.29	0.27	0.22	0.26
T ₃	RPCC	100	0.29	0.27	0.27	0.27
T ₄	RPCC + EV	25	0.31	0.29	0.24	0.28
T ₅	RPCC + EV	50	0.33	0.33	0.24	0.30
T ₆	RPCC + EV	100	0.29	0.31	0.33	0.31
T ₇	EV	25	0.31	0.27	0.22	0.27
T ₈	EV	50	0.29	0.29	0.31	0.30
T ₉	EV	100	0.31	0.33	0.31	0.32
T ₁₀	CM	25	0.33	0.24	0.31	0.30
T ₁₁	CM	50	0.31	0.24	0.27	0.27
T ₁₂	CM	100	0.27	0.27	0.29	0.27
T ₁₃	RPCC + CM	25	0.33	0.29	0.27	0.30
T ₁₄	RPCC + CM	50	0.27	0.29	0.31	0.29
T ₁₅	RPCC + CM	100	0.29	0.31	0.31	0.30
T ₁₆	Testigo	0	0.31	0.27	0.29	0.29

RPCC = Residuos de poda y cosecha de cacao EV = Estiércol de vacuno CM = Compost municipal

Cuadro 18. ANVA del contenido cadmio total en los ácidos fúlvicos.

Ft. Variación	GGI	SSC	CM	Fcal	Ftab (5%)	
Bloques	2	0.005	0.002	2.950	5.390	NS
Tratamientos	15	0.013	0.001	1.063	2.015	NS
Factorial	14	0.013	0.001	1.130	2.037	NS
(A) Fuentes orgánicas	4	0.006	0.001	1.726	2.690	NS
(B) Niveles de M.O (t/ha)	2	0.002	0.001	1.004	3.316	NS
AxB	8	0.006	0.001	0.863	2.266	NS
Factorial vs testigo	1	0.000	0.000	0.126	4.171	NS
ERROR EXPERIMENTAL	30	0.024	0.001			
TOTAL	47	0.0413				

Cuadro 19. Cadmio total (ppm) en la humina (HUM)

Tratamientos	(A) Fuentes orgánicas	(B) Niveles de M.O (t/ha)	Bloque			Promedio
			I	II	III	
T ₁	RPCC	25	0.54	0.43	0.45	0.473
T ₂	RPCC	50	0.51	0.43	0.32	0.419
T ₃	RPCC	100	0.39	0.31	0.30	0.336
T ₄	RPCC + EV	25	0.32	0.35	0.37	0.346
T ₅	RPCC + EV	50	0.31	0.30	0.35	0.319
T ₆	RPCC + EV	100	0.35	0.40	0.39	0.380
T ₇	EV	25	0.41	0.40	0.47	0.429
T ₈	EV	50	0.35	0.31	0.43	0.365
T ₉	EV	100	0.43	0.23	0.37	0.342
T ₁₀	CM	25	0.48	0.37	0.36	0.404
T ₁₁	CM	50	0.43	0.36	0.34	0.379
T ₁₂	CM	100	0.41	0.36	0.33	0.369
T ₁₃	RPCC + CM	25	0.38	0.41	0.39	0.393
T ₁₄	RPCC + CM	50	0.43	0.36	0.37	0.387
T ₁₅	RPCC + CM	100	0.39	0.44	0.45	0.424
T ₁₆	Testigo	0	0.38	0.40	0.46	0.412

RPCC = Residuos de poda y cosecha de cacao EV = Estiércol de vacuno CM = Compost municipal

Cuadro 20. ANVA del contenido de cadmio total en la humina.

Ft. Variación	GGI	SSC	CM	Fcal	Ftab (5%)	
Bloques	2	0.013	0.007	2.615	5.390	NS
Tratamientos	15	0.073	0.005	1.919	2.015	NS
Factorial	14	0.071	0.005	1.995	2.037	NS
(A) Fuentes orgánicas	4	0.020	0.005	1.988	2.690	NS
(B) Niveles de M.O (t/ha)	2	0.014	0.007	2.711	3.316	NS
AxB	8	0.037	0.005	1.820	2.266	NS
Factorial vs testigo	1	0.002	0.002	0.849	4.171	NS
ERROR EXPERIMENTAL	30	0.076	0.003			
TOTAL	47	0.1628				

Cuadro 21. Concentración de cadmio total (ppm) en almendras de cacao.

Trat	A	B	Bloque			promedio
			I	III	III	
T ₁	RPCC	25	0.370	0.395	0.401	0.389
T ₂	RPCC	50	0.370	0.370	0.494	0.411
T ₃	RPCC	100	0.444	0.436	0.346	0.409
T ₄	RPCC + EV	25	0.420	0.444	0.469	0.444
T ₅	RPCC + EV	50	0.370	0.395	0.444	0.403
T ₆	RPCC + EV	100	0.395	0.370	0.667	0.477
T ₇	EV	25	0.370	0.370	0.524	0.422
T ₈	EV	50	0.420	0.420	0.420	0.420
T ₉	EV	100	0.370	0.395	0.420	0.395
T ₁₀	CM	25	0.395	0.469	0.444	0.436
T ₁₁	CM	50	0.444	0.469	0.395	0.436
T ₁₂	CM	100	0.505	0.716	0.543	0.588
T ₁₃	RPCC + CM	25	0.370	0.420	0.370	0.387
T ₁₄	RPCC + CM	50	0.420	0.444	0.518	0.461
T ₁₅	RPCC + CM	100	0.568	0.913	0.469	0.650
T ₁₆	Testigo	0	0.494	0.370	0.469	0.444

RPCC = Residuos de poda y cosecha de cacao EV = Estiércol de vacuno CM = Compost municipal

Cuadro 22. ANVA del cadmio total en almendras de cacao

Ft. Variación	GGI	SSC	CM	Fcal	Ftab (5%)	
Bloques	2	0.019	0.009	1.230	5.390	
Tratamientos	15	0.235	0.016	2.063	2.015	
Factorial	14	0.235	0.017	2.206	2.037	
(A) Fuentes orgánicas	4	0.067	0.017	2.211	2.690	NS
(B) Niveles de M.O (t/ha)	2	0.070	0.035	4.592	3.316	AS
AxB	8	0.098	0.012	1.607	2.266	NS
Factorial vs testigo	1	0.001	0.001	0.066	4.171	NS
ERROR EXPERIMENTAL	30	0.228	0.008			
TOTAL	47	0.4819				

CV. 19.47

Cuadro 23. Concentración de materia orgánica (%) en los tratamientos.

Tratamiento	Descripción		R1	R2	R3	Suma	Promedio
	Fuentes orgánicas A	Niveles de M.O (B) (t/ha)					
T ₁	RPCC	25	0.28	0.19	0.24	0.71	0.24
T ₂	RPCC	50	0.31	0.13	0.14	0.58	0.19
T ₃	RPCC	100	0.21	0.14	0.15	0.50	0.17
T ₄	RPCC + EV	25	0.13	0.12	0.12	0.37	0.12
T ₅	RPCC + EV	50	2.85	2.61	2.81	8.27	2.76
T ₆	RPCC + EV	100	1.63	2.40	2.84	6.87	2.29
T ₇	EV	25	2.28	2.26	1.99	6.53	2.18
T ₈	EV	50	2.36	1.81	2.20	6.37	2.12
T ₉	EV	100	3.29	2.89	3.15	9.33	3.11
T ₁₀	CM	25	3.01	3.11	2.91	9.03	3.01
T ₁₁	CM	50	2.99	3.01	2.85	8.85	2.95
T ₁₂	CM	100	2.59	2.14	2.95	7.68	2.56
T ₁₃	RPCC + CM	25	5.48	4.21	4.21	13.90	4.63
T ₁₄	RPCC + CM	50	3.68	2.95	5.21	11.84	3.95
T ₁₅	RPCC + CM	100	3.26	4.28	2.98	10.52	3.51
T ₁₆	Testigo		3.04	2.09	2.64	7.77	2.59

RPCC = Residuos de poda de cacao y restos de cosecha EV = Estiércol de vacuno CM = Compost municipal
a₁ = RPCC a₂ = 50% RPCC + 50% EV a₃ = EV a₄ = CM a₅ = 50% RPCC + 50% CM
b₁ = 25 kg/ha b₂ = 50 kg/ha b₃ = 100

Cuadro 24. ANVA de la concentración de materia orgánica en los tratamientos.

Ft. Variación	Gl	SC	CM	Fcal	Ftab		
					5%	1%	
Bloque	2	0.240577382	0.120	0.79	3.32	5.39	
Tratamiento	14	7.462	0.497	3.27	2.01	2.70	
Factorial	14	6.264505898	0.447	2.94	2.04	2.74	
Fuente de M.O.(A)	4	0.210	0.052	0.34	2.69	4.02	NS
Niveles de M.O (B)	2	1.572	0.786	5.17	3.32	5.39	S
A * B	8	4.483	0.560	3.68	2.27	3.17	AS
Tes_adicio VS factores	1	1.19766522	1.198	7.87	4.17	7.56	AS
Error	30	4.563	0.152				
Total	44	12.265					

Cuadro 25. Duncan de efectos simples de la materia organica

F.V.	gl	SC	CM	Fc	Ft		
					5%	1%	
A en b ₁	4	4.8705	1.218	8.006	2.69	4.02	AS
A en b ₂	4	2.5892	0.647	4.256	2.69	4.02	AS
A en b ₃	4	2.2427	0.561	3.687	2.69	4.02	S
B en a ₁	2	0.0167	0.008	0.055	3.32	5.39	NS
B en a ₂	2	2.5042	1.252	8.233	3.32	5.39	AS
B en a ₃	2	2.6456	1.323	8.698	3.32	5.39	AS
B en a ₄	2	3.2665	1.633	10.739	3.32	5.39	AS
B en a ₅	2	6.7079	3.354	22.053	3.32	5.39	AS
Error	30	4.5626	0.152		1.84	2.39	

Cuadro 26. Concentración de cadmio disponible (ppm) del suelo en los tratamientos

Tratamiento	Descripción		R1	R2	R3	Suma	Promedio
	Fuentes orgánicas A	Niveles de M.O (B) (t/ha)					
T ₁	RPCC	25	0.172	0.100	0.168	0.440	0.147
T ₂	RPCC	50	0.164	0.208	0.180	0.552	0.184
T ₃	RPCC	100	0.200	0.168	0.108	0.476	0.159
T ₄	RPCC + EV	25	0.200	0.188	0.188	0.576	0.192
T ₅	RPCC + EV	50	0.108	0.160	0.176	0.444	0.148
T ₆	RPCC + EV	100	0.160	0.172	0.196	0.528	0.176
T ₇	EV	25	0.160	0.184	0.188	0.532	0.177
T ₈	EV	50	0.076	0.144	0.152	0.372	0.124
T ₉	EV	100	0.232	0.184	0.192	0.608	0.203
T ₁₀	CM	25	0.148	0.188	0.148	0.484	0.161
T ₁₁	CM	50	0.176	0.180	0.196	0.552	0.184
T ₁₂	CM	100	0.196	0.198	0.203	0.597	0.199
T ₁₃	RPCC + CM	25	0.136	0.172	0.164	0.472	0.157
T ₁₄	RPCC + CM	50	0.204	0.184	0.128	0.516	0.172
T ₁₅	RPCC + CM	100	0.124	0.212	0.192	0.528	0.176
T ₁₆	Testigo	0	0.213	0.198	0.205	0.616	0.205

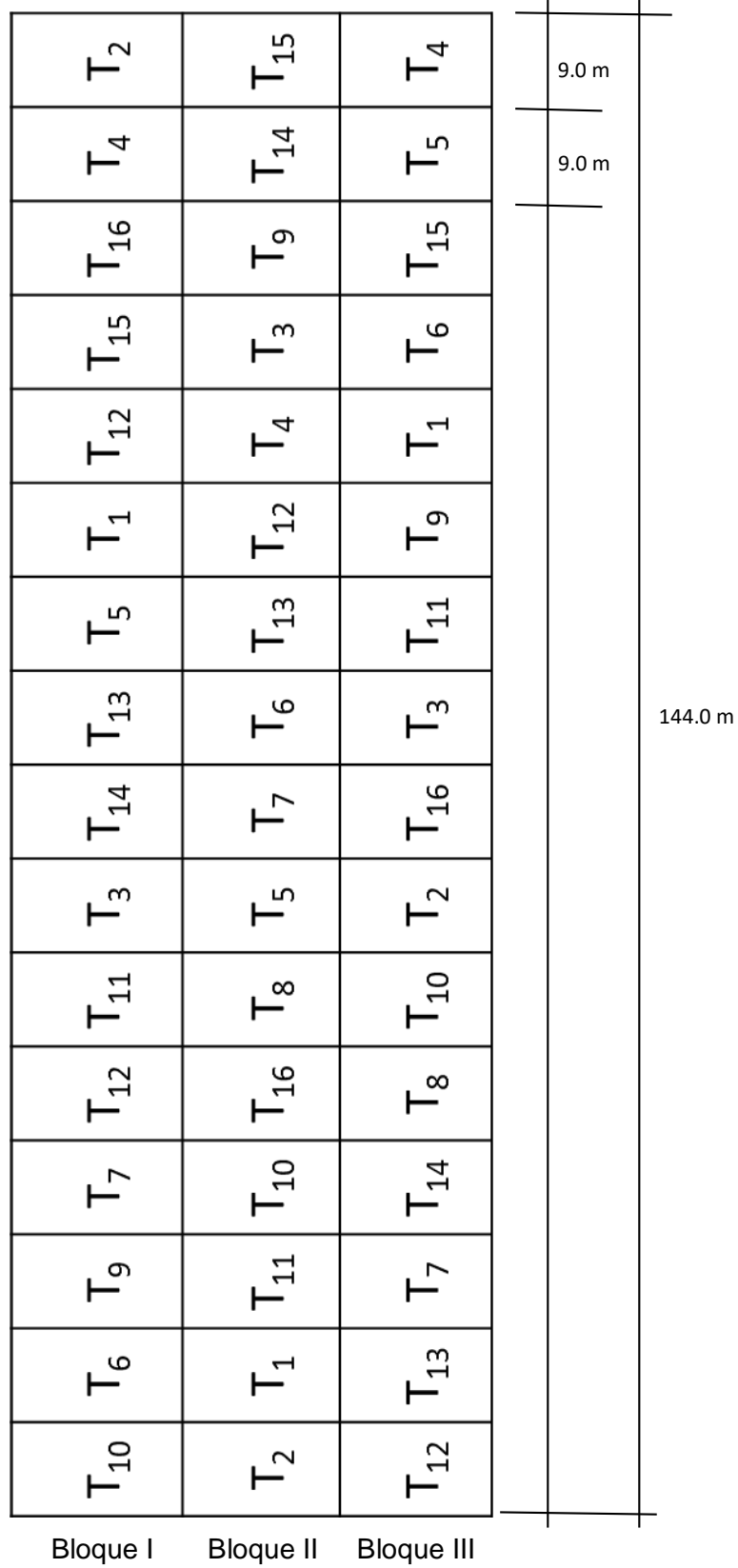


Figura 15. Croquis del campo experimental y ubicación de los tratamientos en estudio



UNIVERSIDAD NACIONAL AGRARIA DE LA SELVA

AV. UNIVERSITARIA S/N - CARRETERA CENTRAL KM 1.21 - TINGO MARIA - CELULAR 941531359

Facultad de Agronomía - Laboratorio de Análisis de Suelos

analisisdesuelosuna@hotmail.com



ANÁLISIS DE SUELOS

SOLICITANTE				JAIME J. CHAVEZ MATIAS										PROCEDENCIA				TULUMAYO - PUEBLO NUEVO									
N°	COD. LAB.	DATOS			ANÁLISIS MECÁNICO				CE mS/cm	pH 1:1	M.O. %	N %	P ppm	K ppm disponible	Cd ppm disponible	Cd ppm total	CIC	CAMBIABLES Cmo(+)/kg						CICe	Bas. Camb. %	Ac. Camb. %	Sat. Al %
		Trat	Bloq	us	%	%	%	Textura										Ca	Mg	K	Na	Al	H				
1	S4241	T1	2	P1	31	18	51	Franco Limoso	0.11	6.42	1.69	0.08	5.84	170.93	0.17	0.70	16.63	12.58	3.17	0.23	0.66	--	--	--	100.00	0.00	0.00
2	S4242	T1	3	P1	33	16	51	Franco Limoso	0.09	6.40	1.55	0.07	8.84	190.42	0.10	0.80	14.49	10.53	3.21	0.19	0.56	--	--	--	100.00	0.00	0.00
3	S4243	T1	4	P3	35	14	51	Franco Limoso	0.31	6.89	1.08	0.05	6.98	239.40	0.17	1.00	15.13	11.05	3.26	0.19	0.63	--	--	--	100.00	0.00	0.00
4	S4244	T2	2	P2	27	20	53	Franco Limoso	0.37	7.56	1.96	0.09	6.67	86.46	0.16	0.90	19.61	15.96	2.87	0.16	0.62	--	--	--	100.00	0.00	0.00
5	S4245	T2	3	P4	35	14	51	Franco Limoso	0.35	7.74	1.76	0.08	10.59	217.40	0.21	0.85	21.25	17.07	3.33	0.26	0.58	--	--	--	100.00	0.00	0.00
6	S4246	T2	4	P1	33	16	51	Franco Limoso	0.36	7.64	1.89	0.09	11.52	363.34	0.18	0.95	19.46	14.95	3.57	0.25	0.69	--	--	--	100.00	0.00	0.00
7	S4247	T3	1	P3	25	20	55	Franco Limoso	0.4	7.10	2.77	0.12	7.80	244.39	0.20	0.90	18.68	13.79	4.28	0.17	0.43	--	--	--	100.00	0.00	0.00
8	S4248	T3	3	P4	27	16	57	Franco Limoso	0.38	6.93	2.70	0.12	9.04	216.41	0.17	0.85	16.83	12.47	3.68	0.19	0.49	--	--	--	100.00	0.00	0.00
9	S4249	T3	2	P2	35	14	51	Franco Limoso	0.2	6.30	2.09	0.09	10.61	199.41	0.11	0.80	19.11	15.02	3.27	0.19	0.64	--	--	--	100.00	0.00	0.00
10	S4250	T4	1	P3	31	18	51	Franco Limoso	0.14	6.71	1.42	0.06	7.70	152.43	0.20	0.95	15.07	11.26	3.11	0.17	0.53	--	--	--	100.00	0.00	0.00
11	S4251	T4	4	P1	33	16	51	Franco Limoso	0.24	6.95	1.55	0.07	8.84	180.92	0.19	0.95	17.38	13.16	3.51	0.19	0.52	--	--	--	100.00	0.00	0.00
12	S4252	T4	4	P2	31	16	53	Franco Limoso	0.23	6.70	2.36	0.11	7.08	127.44	0.19	0.95	16.93	12.60	3.46	0.25	0.62	--	--	--	100.00	0.00	0.00
13	S4253	T5	1	P1	25	18	57	Franco Limoso	0.13	6.17	1.28	0.06	9.05	105.45	0.11	0.90	13.84	9.62	3.22	0.20	0.81	--	--	--	100.00	0.00	0.00
14	S4254	T5	2	P3	31	18	51	Franco Limoso	0.39	6.98	2.77	0.12	9.76	134.44	0.16	0.95	15.26	10.27	3.30	0.22	1.47	--	--	--	100.00	0.00	0.00
15	S4255	T5	4	P3	35	14	51	Franco Limoso	0.17	6.50	1.15	0.05	8.22	168.93	0.18	0.90	12.40	8.69	2.95	0.17	0.59	--	--	--	100.00	0.00	0.00
16	S4256	T6	1	P3	31	16	53	Franco Limoso	0.4	6.68	3.04	0.14	30.40	128.44	0.16	0.85	14.20	9.88	3.27	0.22	0.83	--	--	--	100.00	0.00	0.00
17	S4257	T6	2	P4	25	18	57	Franco Limoso	0.36	7.49	1.89	0.09	32.26	119.45	0.17	1.00	17.83	14.08	2.86	0.23	0.66	--	--	--	100.00	0.00	0.00
18	S4258	T6	2	P1	27	16	57	Franco Limoso	0.4	7.52	1.62	0.07	33.70	136.44	0.20	0.95	15.85	11.91	3.08	0.19	0.68	--	--	--	100.00	0.00	0.00
19	S4259	T7	2	P2	29	18	53	Franco Limoso	0.38	7.31	1.82	0.08	9.66	92.96	0.16	0.90	16.17	11.88	3.51	0.21	0.57	--	--	--	100.00	0.00	0.00
20	S4260	T7	4	P2	29	18	53	Franco Limoso	0.24	6.58	1.62	0.07	7.70	98.46	0.18	0.90	13.56	9.87	2.96	0.14	0.58	--	--	--	100.00	0.00	0.00
21	S4261	T7	4	P3	29	18	53	Franco Limoso	0.12	6.67	1.49	0.07	7.49	103.95	0.19	0.90	10.73	7.58	2.40	0.16	0.60	--	--	--	100.00	0.00	0.00
22	S4262	T8	1	P1	41	8	51	Franco Limoso	0.11	6.44	1.15	0.05	8.63	142.94	0.08	0.80	11.28	7.83	2.65	0.15	0.65	--	--	--	100.00	0.00	0.00
23	S4263	T8	2	P1	33	14	53	Franco Limoso	0.27	7.20	1.62	0.07	10.38	124.95	0.14	0.90	14.22	10.60	2.78	0.16	0.69	--	--	--	100.00	0.00	0.00
24	S4264	T8	2	P4	29	16	55	Franco Limoso	0.26	6.97	1.76	0.08	10.18	151.43	0.15	0.85	14.25	10.37	3.16	0.18	0.55	--	--	--	100.00	0.00	0.00
25	S4265	T9	2	P2	27	18	55	Franco Limoso	0.43	7.56	3.44	0.15	16.47	355.84	0.23	0.90	15.13	10.59	3.07	0.54	0.94	--	--	--	100.00	0.00	0.00
26	S4266	T9	3	P3	29	16	55	Franco Limoso	0.29	6.65	2.16	0.10	15.34	336.35	0.18	1.00	12.61	8.37	3.08	0.51	0.65	--	--	--	100.00	0.00	0.00
27	S4267	T9	4	P1	35	14	51	Franco Limoso	0.33	7.28	2.70	0.12	13.76	357.34	0.19	0.85	13.74	9.40	3.14	0.54	0.66	--	--	--	100.00	0.00	0.00
28	S4268	T10	1	P3	25	18	57	Franco Limoso	0.35	7.26	1.89	0.09	13.68	527.77	0.15	0.90	15.68	10.96	3.54	0.54	0.65	--	--	--	100.00	0.00	0.00
29	S4269	T10	2	P1	33	16	51	Franco Limoso	0.35	7.44	1.76	0.08	13.79	612.73	0.19	1.00	16.07	11.42	3.18	0.48	1.00	--	--	--	100.00	0.00	0.00
30	S4270	T10	3	P4	27	16	57	Franco Limoso	0.33	7.53	1.62	0.07	14.61	301.37	0.15	0.95	15.37	11.25	2.91	0.50	0.71	--	--	--	100.00	0.00	0.00
31	S4271	T11	2	P3	31	10	59	Franco Limoso	0.31	7.43	2.03	0.09	14.51	289.37	0.18	0.90	15.25	11.25	2.89	0.47	0.64	--	--	--	100.00	0.00	0.00
32	S4272	T11	4	P1	41	8	51	Franco Limoso	0.34	7.37	2.23	0.10	14.68	508.28	0.18	0.90	13.93	9.24	3.08	0.92	0.69	--	--	--	100.00	0.00	0.00
33	S4273	T11	4	P2	35	8	57	Franco Limoso	0.36	7.55	2.36	0.11	13.27	509.28	0.20	0.90	14.91	10.59	2.98	0.68	0.66	--	--	--	100.00	0.00	0.00
34	S4274	T12	2	P2	29	10	61	Franco Limoso	0.42	7.25	1.76	0.08	12.03	726.18	0.14	0.95	14.66	9.82	3.32	0.80	0.72	--	--	--	100.00	0.00	0.00
35	S4275	T12	1	P1	29	8	63	Franco Limoso	0.38	7.31	1.55	0.07	11.52	449.80	0.15	1.00	17.76	12.72	3.51	0.78	0.75	--	--	--	100.00	0.00	0.00
36	S4276	T12	4	P2	39	10	51	Franco Limoso	0.57	7.38	3.17	0.14	12.33	860.12	0.16	0.90	17.22	11.09	3.44	1.91	0.78	--	--	--	100.00	0.00	0.00
37	S4277	T13	2	P2	29	10	61	Franco Limoso	0.13	6.52	2.77	0.12	6.67	198.41	0.14	0.90	12.92	9.16	3.00	0.21	0.56	--	--	--	100.00	0.00	0.00
38	S4278	T13	3	P3	35	10	55	Franco Limoso	0.28	7.21	1.82	0.08	6.15	145.44	0.17	0.95	15.21	11.67	2.73	0.23	0.59	--	--	--	100.00	0.00	0.00
39	S4279	T13	4	P4	29	10	61	Franco Limoso	0.34	6.94	1.96	0.09	6.66	215.41	0.16	0.95	15.78	11.74	3.00	0.27	0.77	--	--	--	100.00	0.00	0.00
40	S4280	T14	3	P1	39	8	53	Franco Limoso	0.32	7.11	1.69	0.08	18.53	240.89	0.20	4.00	14.98	11.05	3.10	0.27	0.56	--	--	--	100.00	0.00	0.00
41	S4281	T14	3	P2	33	8	59	Franco Limoso	0.3	7.14	2.03	0.09	19.15	402.32	0.18	1.10	13.58	9.10	3.08	0.51	0.90	--	--	--	100.00	0.00	0.00
42	S4282	T14	4	P4	41	8	51	Franco Limoso	0.2	6.70	2.03	0.09	19.46	309.36	0.13	0.90	12.39	8.32	3.13	0.35	0.58	--	--	--	100.00	0.00	0.00
43	S4283	T15	1	P3	31	8	61	Franco Limoso	0.32	7.21	2.30	0.10	15.65	267.88	0.12	0.85	12.67	8.02	3.25	0.70	0.70	--	--	--	100.00	0.00	0.00
44	S4284	T15	2	P1	33	8	59	Franco Limoso	0.29	7.13	1.55	0.07	17.81	187.92	0.21	0.95	14.69	10.75	3.11	0.20	0.64	--	--	--	100.00	0.00	0.00
45	S4285	T15	3	P2	31	8	61	Franco Limoso	0.29	7.26	1.49	0.07	18.12	280.38	0.19	0.95	14.40	9.84	3.47	0.45	0.64	--	--	--	100.00	0.00	0.00
46	S4286	T16	1	P1	35	8	57	Franco Limoso	0.1	6.98	1.28	0.06	2.68	108.45	0.16	0.85	14.33	10.47	3.14	0.11	0.61	--	--	--	100.00	0.00	0.00
47	S4287	T16	2	P4	41	6	53	Franco Limoso	0.09	6.98	1.22	0.05	1.72	91.46	0.17	0.95	13.44	9.70	2.99	0.13	0.62	--	--	--	100.00	0.00	0.00
48	S4288	T16	4	P3	37	6	57	Franco Limoso	0.18	6.74	1.42	0.06	2.03	113.95	0.20	0.95	14.44	10.61	3.13	0.10	0.60	--	--	--	100.00	0.00	0.00

Figura 16. Resultados de análisis físico químico de suelos de los tratamientos en estudio



ANALISIS ESPECIAL DE SUSTANCIAS HUMICAS

SOLICITANTE:				JAIME CHAVEZ MATIAS				PROCEDENCIA: TULUMAYO - PUEBLO NUEVO							
DATOS DE LA MUESTRA				ANALISIS PROXIMAL			ANALISIS DE Cd TOTAL EN SUSTANCIAS HUMICAS								
				Humedad Hd (%)	EN BASE HUMEDA		ACIDO HUMICO			ACIDO FULVICO			HUMINA		
					MATERIA SECA		Cd ppm	Pb ppm	Cu ppm	Cd ppm	Pb ppm	Cu ppm	Cd ppm	Pb ppm	Cu ppm
Código	Tratamiento	Bloque	Planta	Materia Orgánica (%)	Cenizas (%)										
M00854	T1	2	P1			0.373			0.289			0.540			
M00855	T1	3	P1			0.417			0.289			0.434			
M00856	T1	4	P3			0.373			0.244			0.446			
M00857	T2	2	P2			0.373			0.289			0.511			
M00858	T2	3	P4			0.417			0.267			0.426			
M00859	T2	4	P1			0.395			0.222			0.321			
M00860	T3	1	P3			0.395			0.289			0.394			
M00861	T3	3	P4			0.417			0.267			0.315			
M00862	T3	2	P2			0.395			0.267			0.298			
M00863	T4	1	P3			0.395			0.311			0.321			
M00864	T4	4	P1			0.417			0.289			0.353			
M00865	T4	4	P2			0.328			0.244			0.366			
M00866	T5	1	P1			0.351			0.333			0.310			
M00867	T5	2	P3			0.395			0.333			0.299			
M00868	T5	4	P3			0.373			0.244			0.347			
M00869	T6	1	P3			0.395			0.289			0.352			
M00870	T6	2	P4			0.373			0.311			0.399			
M00871	T6	2	P1			0.373			0.333			0.388			
M00872	T7	2	P2			0.417			0.311			0.411			
M00873	T7	4	P2			0.373			0.267			0.402			
M00874	T7	4	P3			0.373			0.222			0.473			
M00875	T8	1	P1			0.373			0.289			0.354			
M00876	T8	2	P1			0.395			0.289			0.310			
M00877	T8	2	P4			0.395			0.311			0.432			
M00878	T9	2	P2			0.395			0.311			0.426			
M00879	T9	3	P3			0.328			0.333			0.234			
M00880	T9	4	P1			0.417			0.311			0.367			
M00881	T10	1	P3			0.373			0.333			0.481			
M00882	T10	2	P1			0.395			0.244			0.371			
M00883	T10	3	P4			0.373			0.311			0.360			
M00884	T11	2	P3			0.417			0.311			0.433			
M00885	T11	4	P1			0.395			0.244			0.360			
M00886	T11	4	P2			0.351			0.267			0.345			
M00887	T12	2	P2			0.373			0.267			0.413			
M00888	T12	1	P1			0.328			0.267			0.360			
M00889	T12	4	P2			0.351			0.289			0.334			
M00890	T13	2	P2			0.328			0.333			0.384			
M00891	T13	3	P3			0.328			0.289			0.407			
M00892	T13	4	P4			0.351			0.267			0.387			
M00893	T14	3	P1			0.306			0.267			0.426			
M00894	T14	3	P2			0.328			0.289			0.360			
M00895	T14	4	P4			0.306			0.311			0.375			
M00896	T15	1	P3			0.328			0.289			0.385			
M00897	T15	2	P1			0.351			0.311			0.437			
M00898	T15	3	P2			0.351			0.311			0.451			
M00899	T16	1	P1			0.373			0.311			0.378			
M00900	T16	2	P4			0.351			0.267			0.403			
M00901	T16	4	P3			0.328			0.289			0.456			

MUESTREADO POR EL SOLICITANTE

VND: VALOR NO DETECTABLE

Figura 17. Resultados de análisis de cadmio total de las fracciones químicas de la materia orgánica de los tratamientos en estudio



ANALISIS ESPECIAL DE GRANOS DE CACAO

SOLICITANTE:				JAIME CHAVEZ MATIAS				PROCEDENCIA:				TINGO MARIA							
DATOS DE LA MUESTRA				ANALISIS PROXIMAL				RESULTADOS EN BASE SECA											
				Humedad Hd (%)	EN BASE HUMEDA		EN BASE SECA		PORCENTAJE (%)				PARTES POR MILLON (ppm)						
					MATERIA SECA		Materia Organica (%)	Cenizas (%)	Ca (%)	Mg (%)	K (%)	Na (%)	Cd ppm	Pb ppm	Cu ppm	Fe ppm	Zn ppm	Mn ppm	
Código	Trat	Bloque	Planta	Materia Organica (%)	Cenizas (%)	Materia Organica (%)	Cenizas (%)	Ca (%)	Mg (%)	K (%)	Na (%)	Cd ppm	Pb ppm	Cu ppm	Fe ppm	Zn ppm	Mn ppm		
M00854	T1	2	P1	2.36	94.81	2.83	97.10	2.90	0.34	0.18	0.41	0.12	0.37	0.99	0.77	1.73	14.81	1.85	
M00855	T1	3	P1	2.75	93.12	4.12	95.76	4.24	0.29	0.27	0.37	0.11	0.39	1.73	15.77	24.86	22.95	4.35	
M00856	T1	4	P3	2.70	93.23	4.07	95.82	4.18	0.32	0.26	0.50	0.11	1.28	0.99	15.45	7.94	23.93	4.84	
M00857	T2	2	P2	2.54	94.28	3.18	96.74	3.26	0.30	0.22	0.39	0.07	0.37	0.74	9.86	23.67	9.49	4.86	
M00858	T2	3	P4	2.48	94.01	3.51	96.41	3.59	0.28	0.23	0.47	0.12	0.37	0.49	2.05	1.18	4.37	3.90	
M00859	T2	4	P1	1.90	94.46	3.64	96.29	3.71	0.30	0.19	0.48	0.10	0.49	1.48	12.43	50.72	20.67	4.59	
M00860	T3	1	P3	2.23	93.99	3.79	96.13	3.87	0.28	0.24	0.47	0.12	0.44	1.23	13.24	23.85	20.30	5.13	
M00861	T3	3	P4	2.47	93.80	3.73	96.18	3.82	0.31	0.23	0.46	0.08	1.65	1.23	10.89	14.18	19.25	4.38	
M00862	T3	2	P2	3.36	91.43	5.22	94.60	5.40	0.23	0.21	0.53	0.06	0.35	0.25	0.79	6.49	0.94	1.02	
M00863	T4	1	P3	2.46	93.83	3.71	96.19	3.81	0.27	0.27	0.49	0.06	0.42	0.99	10.17	9.33	29.51	4.56	
M00864	T4	4	P1	2.23	94.19	3.58	96.34	3.66	0.25	0.21	0.38	0.05	0.44	0.25	3.33	18.88	3.73	2.07	
M00865	T4	4	P2	2.60	93.17	4.24	95.65	4.35	0.25	0.27	0.20	0.09	0.47	0.99	15.58	23.16	25.18	4.08	
M00866	T5	1	P1	3.00	93.43	3.57	96.32	3.68	0.22	0.23	0.21	0.09	0.37	0.74	1.28	8.71	2.13	2.45	
M00867	T5	2	P3	2.91	93.72	3.37	96.53	3.47	0.28	0.23	0.44	0.12	0.39	0.25	6.20	1.40	15.27	5.32	
M00868	T5	4	P3	2.28	94.31	3.41	96.51	3.49	0.22	0.24	0.21	0.06	0.44	0.99	5.09	0.17	13.97	4.50	
M00869	T6	1	P3	2.36	94.22	3.41	96.50	3.50	0.18	0.13	0.22	0.05	0.39	0.25	1.69	3.59	0.99	1.31	
M00870	T6	2	P4	3.20	93.13	3.67	96.21	3.79	0.33	0.21	0.44	0.09	0.37	0.99	1.93	3.26	2.56	2.33	
M00871	T6	2	P1	2.56	93.56	3.88	96.02	3.98	0.25	0.23	0.36	0.06	0.67	1.23	2.59	4.86	3.10	4.18	
M00872	T7	2	P2	2.60	93.97	3.43	96.48	3.52	0.25	0.23	0.44	0.07	0.37	0.25	3.92	5.86	6.85	3.54	
M00873	T7	4	P2	2.56	93.34	4.10	95.79	4.21	0.27	0.27	0.38	0.29	0.37	1.48	12.57	13.64	23.91	7.29	
M00874	T7	4	P3	4.46	89.12	6.42	93.28	6.72	0.46	0.37	0.79	0.18	2.07	0.49	9.79	80.63	17.93	5.58	
M00875	T8	1	P1	2.96	93.62	3.42	96.48	3.52	0.28	0.22	0.41	0.09	0.42	0.00	1.95	11.62	2.24	2.10	
M00876	T8	2	P1	2.58	93.92	3.51	96.40	3.60	0.28	0.23	0.46	0.08	0.42	0.49	12.63	18.24	18.79	4.57	
M00877	T8	2	P4	3.03	93.65	3.32	96.57	3.43	0.29	0.23	0.43	0.12	0.42	0.00	11.17	21.00	19.32	4.87	
M00878	T9	2	P2	2.19	96.56	1.25	98.73	1.27	0.30	0.24	0.22	0.16	0.37	0.99	9.61	36.96	21.43	3.30	
M00879	T9	3	P3	2.58	93.16	4.26	95.63	4.37	0.29	0.26	0.29	0.17	0.39	0.49	9.01	19.06	24.38	4.74	
M00880	T9	4	P1	2.55	93.86	3.59	96.31	3.69	0.29	0.25	0.29	0.14	0.42	0.25	15.88	45.71	19.30	4.85	
M00881	T10	1	P3	2.23	94.40	3.36	96.56	3.44	0.29	0.23	0.41	0.09	0.39	0.49	1.71	1.73	8.41	4.77	
M00882	T10	2	P1	2.16	94.14	3.70	96.21	3.79	0.14	0.13	0.34	0.08	0.47	1.48	14.40	26.76	25.11	3.82	
M00883	T10	3	P4	1.84	94.31	3.84	96.08	3.92	0.30	0.27	0.52	0.10	0.44	0.99	10.41	12.21	26.72	4.40	
M00884	T11	2	P3	1.54	94.78	3.68	96.26	3.74	0.27	0.25	0.47	0.17	0.44	0.00	9.76	6.85	26.63	6.09	
M00885	T11	4	P1	2.53	93.53	3.94	95.96	4.04	0.29	0.25	0.18	0.12	0.47	0.25	10.65	10.99	25.40	5.13	
M00886	T11	4	P2	2.43	93.62	3.95	95.95	4.05	0.25	0.23	0.51	0.09	0.39	0.25	3.77	7.54	5.65	2.58	
M00887	T12	2	P2	2.28	93.79	3.94	95.97	4.03	0.22	0.28	0.12	0.11	1.56	0.99	8.90	2.04	25.23	4.29	
M00888	T12	1	P1	2.14	94.00	3.86	96.05	3.95	0.34	0.25	0.45	0.09	0.72	0.74	5.24	26.80	7.25	3.10	
M00889	T12	4	P2	3.02	92.95	4.03	95.84	4.16	0.26	0.24	0.17	0.11	0.54	0.99	13.26	12.82	28.64	5.97	
M00890	T13	2	P2	2.26	94.08	3.66	96.25	3.75	0.29	0.26	0.46	0.08	0.37	0.49	11.20	10.45	18.34	4.68	
M00891	T13	3	P3	2.20	93.97	3.83	96.09	3.91	0.27	0.25	0.49	0.09	0.42	1.48	20.96	30.31	25.81	5.16	
M00892	T13	4	P4	4.60	91.66	3.74	96.08	3.92	0.27	0.21	0.46	0.07	0.37	0.25	2.53	5.62	4.33	2.53	
M00893	T14	3	P1	3.44	92.25	4.31	95.53	4.47	0.27	0.23	0.12	0.09	0.42	0.74	1.39	1.77	1.01	1.24	
M00894	T14	3	P2	2.62	94.11	3.28	96.64	3.36	0.26	0.22	0.43	0.07	0.44	0.99	2.39	1.44	4.65	3.14	
M00895	T14	4	P4	1.91	93.71	4.38	95.53	4.47	0.26	0.26	0.59	0.15	0.52	1.23	20.49	41.51	25.49	5.26	
M00896	T15	1	P3	2.04	94.29	3.68	96.25	3.75	0.27	0.25	0.48	0.10	0.57	0.00	9.85	33.32	23.74	4.66	
M00897	T15	2	P1	2.10	93.89	4.01	95.90	4.10	0.26	0.24	0.47	0.07	0.91	0.25	14.71	11.90	24.45	4.25	
M00898	T15	3	P2	2.69	93.86	3.45	96.45	3.55	0.25	0.22	0.45	0.13	0.47	0.74	7.31	5.68	20.26	3.43	
M00899	T16	1	P1	2.30	94.44	3.26	96.67	3.33	0.27	0.22	0.44	0.07	0.49	0.00	2.35	1.47	6.86	3.46	
M00900	T16	2	P4	1.90	94.47	3.63	96.30	3.70	0.21	0.21	0.43	0.08	0.37	0.25	2.83	9.80	2.09	1.39	
M00901	T16	4	P3	1.59	94.64	3.77	96.17	3.83	0.26	0.24	0.48	0.11	0.47	0.49	16.09	25.04	23.24	4.91	

MUESTREADO POR EL SOLICITANTE

VND: VALOR NO DETECTABLE

Figura 18. Resultados de análisis físico químico de los granos de cacao de los tratamientos en estudio



Figura 19. Delimitación de las unidades experimentales según los tratamientos en estudio



Figura 20. Aplicación de estiércol de vacuno 100 t/ha.



Figura 21 Aplicación de compost municipal 100 t/ha.



Figura 22. Aplicación de residuos de poda y cosecha de cacao (RPCC) 50 t/ha.



Figura 23. Aplicación de estiércol de vacuno más residuos de poda y cosecha de cacao 50 t/ha.



Figura 24. Aplicación de compost municipal más residuos de poda y cosecha de cacao 100 t/ha.



Figura 25. Muestreo de suelo al final de experimento.



Figura 26. Cosecha de cacao al final de experimento.



Figura 27. Fraccionamiento químico de la materia orgánica del suelo.