

UNIVERSIDAD NACIONAL AGRARIA DE LA SELVA

FACULTAD DE AGRONOMÍA



TESIS

**EFFECTO DEL COMPOST, DOLOMITA Y MAGNOCAL EN EL
CONTENIDO DE CADMIO DEL SUELO Y LOS GRANOS DE
CACAO (*Theobroma cacao* L.) DEL CLON CCN-51**

Para optar el título profesional de

INGENIERO AGRÓNOMO

Elaborador por

BRADLY JHULINIO ESPINOZA PRINCIPE

TINGO MARÍA – PERÚ

2019



"Año de la lucha de la corrupción y la impunidad"

ACTA DE SUSTENTACIÓN DE TESIS N° 011-2019-FA-UNAS

BACHILLER : **Bradly Jhulinio ESPINOZA PRÍNCIPE**

TÍTULO : **EFFECTO DEL COMPOST, DOLOMITA Y MAGNOCAL EN EL CONTENIDO DE CADMIO DEL SUELO Y LOS GRANOS DE CACAO (Theobroma cacao L.) DEL CLON CCN-51**

JURADO CALIFICADOR

PRESIDENTE : **Dr. HUGO A. HUAMANI YUPANQUI**

VOCAL : **Ing. LUIS G. MANSILLA MINAYA**

VOCAL : **Ing. JAIME J. CHÁVEZ MATIAS**

ASESOR : **Dr. JOSÉ W. ZAVALA SOLÓRZANO**

FECHA DE SUSTENTACIÓN : **17 de abril del 2019**

HORA DE SUSTENTACIÓN : **11:00 am.**

LUGAR DE SUSTENTACIÓN : **SALA DE AUDIOVISUALES DE LA FACULTAD DE AGRONOMÍA**

CALIFICATIVO : **BUENO**

RESULTADO : **APROBADO**

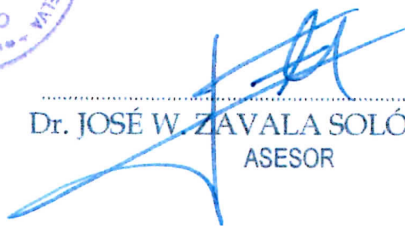
OBSERVACIONES A LA TESIS: **EN HOJA ADJUNTA**

TINGO MARÍA, 17 de abril del 2019.


Dr. HUGO A. HUAMANI YUPANQUI
PRESIDENTE


Ing. LUIS G. MANSILLA MINAYA
VOCAL


Ing. JAIME J. CHAVEZ MATIAS
VOCAL


Dr. JOSÉ W. ZAVALA SOLÓRZANO
ASESOR



DEDICATORIA

A Dios por permitirme seguir con vida y salud para poder culminar este estudio y así alcanzar mis metas en lo personal y profesional.

A mis queridos padres Haíde Príncipe Salas y Francisco Espinoza Atencia, por siempre brindarme su cariño, amor, y hacer esfuerzos descomunales para estar ahí apoyándome

A mis hermanos Silvia Raymundes Príncipe, Luz Tania Raymundes Príncipe, David Gerlin Espinoza Príncipe y Emily Espinoza Príncipe, por brindarme apoyo moral y económico, por aconsejarme en todos los aspectos de mi vida y siempre querer verme como un triunfador en el camino del bien.

AGRADECIMIENTO

- A la Universidad Nacional Agraria de la Selva y a todo el personal que la conforman, por su apoyo y confianza, en especial a los docentes de la Facultad de Agronomía que contribuyeron en mi formación profesional.
- A los miembros del jurado de tesis: Dr. Hugo Alfredo Huamaní Yupanqui, Ing. Luis Mansilla Minaya e Ing. Jaime Chávez Matías.
- Al Dr. José Wilfredo Zavala Solórzano, asesor de la presente tesis, por su apoyo técnico y científico en la ejecución y redacción del presente trabajo.
- A la Cooperativa Agroindustrial Cacao Alto Huallaga por el financiamiento del presente trabajo de investigación.
- A los ingenieros Raúl Gómez Bernal y Edilberto Cesar Dávila Zamora por apoyarme y brindarme sus conocimientos técnicos y científicos para que el presente trabajo haya culminado con éxito.
- A Sr. Carlos Gómez Bernal por brindarme las facilidades para ejecutar mi proyecto de tesis en su parcela de cacao.

ÍNDICE GENERAL

	Pág.
I. INTRODUCCIÓN	9
II. REVISIÓN DE LITERATURA.....	11
2.1. El cultivo de cacao	11
2.2. El suelo	12
2.3. Metales pesados.....	12
2.4. Los abonos orgánicos.....	31
2.5. Enmiendas cálcicas y magnésicas	33
2.6. Coeficiente de correlación de Pearson	36
III. MATERIALES Y MÉTODOS	37
3.1. Campo experimental	37
3.2. Componentes en estudio	39
3.3. Tratamientos en estudio	40
3.4. Diseño experimental.....	41
3.5. Características del campo experimental	42
3.6. Ejecución del experimento	43
3.7. Variables a evaluar	45
IV. RESULTADOS Y DISCUSIÓN	48
4.1. De las características químicas del suelo que influyen en el contenido de cadmio de los granos de cacao clon CCN-51	48
4.2. Del efecto del compost, dolomita y magnocal en el contenido de cadmio total de los granos de cacao del clon CCN-51	58

4.3. De la determinación del efecto del compost, dolomita y magnocal en el rendimiento del cacao del clon CCN-51	61
V. CONCLUSIONES	65
VI. RECOMENDACIONES.....	66
VII. RESUMEN.....	67
ABSTRACT.....	68
VIII.BIBLIOGRAFÍA.....	69
IX. ANEXO	80

ÍNDICE DE CUADROS

	Pág.
1. Clasificación de los suelos en función del pH y posibles efectos.....	18
2. Área superficial típica de minerales del suelo.....	19
3. Punto de carga cero (PCZ) superficial.....	20
4. Niveles máximos admisibles de cadmio y plomo en alimentos, manteca y polvo de cacao.....	30
5. Niveles máximos de cadmio en el chocolate y productos derivados de cacao.....	30
6. Niveles máximos admisibles de cadmio en el chocolate y derivados de cacao según la Unión Europea, vigente a partir del 1 de enero del 2019.....	31
7. Propiedades químicas de la dolomita.....	34
8. Composición química del magnocal.....	35
9. Aplicación de magnocal en diferentes cultivos.....	36
10. Datos meteorológicos registrados durante la ejecución del experimento entre abril 2017 – agosto 2018.....	38
11. Análisis físico – químico del suelo.....	39
12. Descripción de los tratamientos en estudio.....	40
13. Esquema del análisis de variancia (ANVA).....	42
14. Dosis de los tratamientos por planta y por hectárea.....	44
15. ANVA del efecto de los tratamientos en el pH del suelo.....	48

16. Prueba de Duncan ($\alpha=0.05$) del efecto de los tratamientos en el pH del suelo.....	49
17. ANVA del efecto de los tratamientos en la materia orgánica del suelo	50
18. ANVA del efecto de los tratamientos en la CIC del suelo.....	51
19. ANVA del efecto de los tratamientos en el K disponible del suelo.....	52
20. Prueba de Duncan ($\alpha=0.05$) del efecto de los tratamientos en el K disponible del suelo	53
21. ANVA del efecto de los tratamientos en el Ca cambiante del suelo....	56
22. ANVA del efecto de los tratamientos en el Cd disponible del suelo.....	58
23. ANVA del efecto del compost, dolomita y magnocal en el contenido de cadmio de los granos de cacao clon CCN-51.....	59
24. ANVA del efecto del compost, dolomita y magnocal en el rendimiento del cacao.....	61
25. Prueba de Duncan ($\alpha=0.05$) del efecto de los tratamientos en el rendimiento del cacao.....	62
26. Análisis de caracterización completa del suelo de cada tratamiento...	81
27. Contenido de cadmio total en el grano de cacao por tratamiento.....	82
28. Evaluaciones de rendimiento de grano fresco por tratamiento en kg (grano seco = grano fresco x 0.36)	83

ÍNDICE DE FIGURAS

	Pág.
1. Curva de regresión polinómica entre la CIC del suelo y el contenido de cadmio total del grano de cacao	51
2. Curva de regresión polinómica entre el potasio disponible del suelo y el cadmio total del grano de cacao	55
3. Contenido de calcio cambiante en el suelo por tratamiento.....	57
4. Cadmio total en el grano de cacao por tratamiento	60
5. Rendimiento del cacao en grano seco por cada tratamiento	63
6. Análisis inicial de caracterización del suelo, muestra PITEIS-04.....	84
7. Análisis de caracterización del compost	85
8. Contenido de cadmio en las enmiendas (dolomita y magnocal).....	86
9. Aplicación de los tratamientos en campo	87
10. Magnocal utilizada en el experimento.....	87
11. Dolomita utilizada en el experimento	88
12. Identificación de las plantas a evaluar (parcela neta)	88
13. Muestreo de suelo	89
14. Muestreo del grano de cacao	89
15. Muestreo de suelo y grano de cacao.....	90
16. Contenido de cadmio inicial en el grano de cacao (PITEIC-04)	91
17. Croquis del experimento en campo	92

I. INTRODUCCIÓN

El cacao es un producto de exportación importante para muchas economías en desarrollo en África, Asia y América Latina. Según la Organización Internacional del Cacao (ICCO) en el 2010 su producción representó un valor en el mercado de US\$ 12 mil millones y es un medio de sustento para un estimado de entre 40 y 50 millones de personas. Actualmente existe una brecha entre la oferta y la demanda mundial de cacao. Según las proyecciones de ICCO, hasta el 2023 se mantendrá el déficit en el suministro de cacao. El aumento de la demanda se origina principalmente por el fortalecimiento de los nuevos mercados emergentes, en particular Asia; mientras que por el lado de la oferta ha habido una menor producción de cacao de los países de África Occidental (como Costa de Marfil y Ghana) que redujeron sus rendimientos en un 2.8 % y un 5.0 %, respectivamente (MORALES *et al.*, 2015).

El Perú es reconocido a nivel mundial como un productor de cacao de calidad; sin embargo, en la provincia de Leoncio Prado se registraron contenidos promedios de cadmio (Cd) y plomo (Pb) de 1.53 y 13.69 ppm respectivamente, valores muy por encima de los límites máximos permitidos por la Unión Europea (HUAMANÍ *et al.*, 2012).

Diversos estudios reportan que el cadmio es más disponible a un pH ácido; a medida que el pH del suelo se incrementa a un nivel superior de 7, el cadmio disminuye su disponibilidad y da origen a la formación de carbonatos de calcio; además el calcio y magnesio ejercen un antagonismo con el cadmio en el suelo (SILVA, 2004).

En el presente estudio; se planteó evaluar tres tipos de enmiendas naturales para disminuir el contenido de cadmio de los granos de cacao en la Cooperativa Agroindustrial Cacao Alto Huallaga (CAICAH); definiéndose los siguientes objetivos:

Objetivo general:

Evaluar el efecto de las enmiendas naturales en el suelo, en el contenido de cadmio de los granos y en el rendimiento del cacao clon CCN-51.

Objetivos específicos:

1. Determinar las características químicas del suelo que influyen en el contenido de cadmio de los granos de cacao clon CCN-51.
2. Determinar el efecto del compost, dolomita y magnocal en el contenido de cadmio de los granos de cacao clon CCN-51.
3. Determinar el efecto del compost, dolomita y magnocal en el rendimiento del cacao clon CCN-51

II. REVISIÓN DE LITERATURA

2.1. El cultivo de cacao

El cacao es una planta que necesita un adecuado suministro de agua para su desarrollo; en el caso de Centro y Sur América, la lluvia es el factor climático que más variaciones presenta durante el año, su distribución varía notablemente de una región a otra y es el factor que determina las diferencias en el manejo del cultivo. Entre las características edafoclimáticas necesarias para el crecimiento y desarrollo del cacao se mencionan: la precipitación óptima, durante el año, es de 1600 a 2500 mm. La temperatura óptima de 25 °C es fundamental para el desarrollo de la planta, floración y fructificación del cultivo, adicionalmente regula la absorción del agua y nutrientes, y acelera la descomposición de la materia orgánica del suelo (GOMES, 2002). Además, los suelos apropiados para la fertilidad del cultivo de cacao son aluviales, francos y profundos, el drenaje se determina por las condiciones climáticas del lugar, la topografía, y la capacidad intrínseca del suelo para mantener una adecuada retención de humedad y aireación. El pH del suelo es un importante parámetro que determina la velocidad de descomposición de la materia orgánica y la disponibilidad de los elementos nutritivos en un rango de 6.0 a 6.5; además altos contenidos de materia orgánica favorecen el desarrollo del cultivo porque garantiza la presencia de micro elementos primordiales en la formación y desarrollo de la planta en general (CHÁVEZ y MANSILLA, 2004).

2.2. El suelo

Se denomina suelo al sistema estructurado con características biológicas activas, que se desarrolla en la capa más superficial de la corteza terrestre. La roca es meteorizada por los agentes meteorológicos (frío, calor, lluvia, oxidaciones, hidrataciones, etc.) y así la roca se va fragmentando. Los fragmentos de roca se van mezclando con restos orgánicos: heces, organismos muertos, restos vegetales, así como la instalación de seres vivos sobre los sustratos orgánicos, propiciando de esta manera el enriquecimiento del sustrato. Con el paso del tiempo la estratificación de todo este conjunto de materiales da lugar a la formación del suelo (CIENCIAS DE LA TIERRA y DEL MEDIO AMBIENTE, 2007).

El suelo constituye un recurso natural que desempeña diversas funciones en la superficie de la tierra, proporcionando un soporte mecánico, así como nutrientes para el crecimiento de plantas y microorganismos. La matriz del suelo está formada por cinco componentes principales: minerales, aire, agua, materia orgánica y organismos vivos (VOLKE y VELÁSCO, 2002).

La mayoría de los expertos en suelo consideran que el suelo ideal está formado por un 50 por ciento de material sólido (45 por ciento de partículas minerales y un 5 por ciento de materia orgánica), un 25 por ciento de agua y un 25 por ciento de gas (PLASTER, 2000).

2.3. Metales pesados

El término de metal pesado se refiere a cualquier elemento químico metálico que tenga una relativa alta densidad y sea tóxico o venenoso en

concentraciones incluso muy bajas. Los ejemplos de metales pesados o algunos metaloides, incluyen el mercurio (Hg), cadmio (Cd), arsénico (As), cromo (Cr), talio (Tl), y plomo (Pb), entre otros (LUCHO *et al.*, 2005). Algunos autores consideran esta definición un tanto ambigua y prefieren utilizar la denominación de metales traza. Bajo esta denominación se engloban todos los elementos presentes a concentraciones no detectables mediante técnicas de análisis clásicas, de forma que se considera elemento traza a los elementos detectables en un rango de concentración de 100 a 0,01 mg/kg y se reserva el término ultratrazas a niveles comprendidos entre 0,01 mg/kg y 10 µg /kg (WARD, 1995).

a. El cadmio

El cadmio es un elemento químico de número atómico 48; peso atómico de 112.40 g/mol y una densidad relativa de 8.65 g/ml a 20 °C (68 °F), valencia química 2. Su punto de fusión es de 320.9 °C (610 °F) y de ebullición de 765 °C (1410 °F). Es un metal dúctil, de color blanco con un ligero matiz azulado (YALCINKAYA, 2001).

El cadmio se pierde del suelo o resulta inaccesible como consecuencia de la lixiviación, extracción de los cultivos y reacción con los minerales o elementos del suelo especialmente bajo condiciones de suelos calcáreos. La absorción de cadmio, por parte del cultivo depende críticamente de diferentes factores del suelo, entre los que se podría indicar:

La mayor absorción se encuentra fuertemente relacionada con la acidez, a mayor contenido de cadmio hay mayor absorción de este elemento por la planta, a mayor temperatura mayor absorción por que hay mayor velocidad de reacciones

y mayor solubilidad, a mayor unión de minerales menor absorción de cadmio y a mayor humus mayor CIC por lo que habría menor cadmio en solución, lo que permite menor absorción por parte de las plantas (CÁRDENAS, 2012).

b. Origen del cadmio

El cadmio es un metal pesado, se produce de forma natural en la corteza terrestre y en el agua del océano y se emite al medio ambiente como resultado de las dos actividades: naturales y antropogénicas. Las fuentes naturales de cadmio incluyen actividad volcánica, erosión de las rocas que contienen cadmio, espuma del mar, y la movilización de cadmio depositadas en suelos, sedimentos, vertederos, etc. (BROWN *et al.*, 1984). Las fuentes antropogénicas de cadmio incluyen la extracción y fundición de minerales que contienen zinc, quema de combustibles fósiles, incineración de residuos y emisiones procedentes de pilas desechadas o vertederos municipales (FAO, 2012).

En la corteza terrestre el cadmio se encuentra en cantidades muy bajas (< 1 mg/kg), con un promedio de 0.1 y 0.2 mg/kg; sin embargo, en los suelos fluctúa entre valores menores de 1 a 3 mg/kg de cadmio (GONZÁLEZ, 2010)

c. Dinámica de los metales pesados en el suelo

Los metales pesados presentes en los suelos no se comportan como elementos estáticamente inalterables, sino que siguen unas pautas de movilidad generales. La dinámica de los metales pesados en el suelo puede clasificarse resumidamente en cuatro vías: movilización a las aguas superficiales o

subterráneas; transferencia a la atmósfera por volatilización; absorción por las plantas e incorporación a las cadenas tróficas, retención de metales pesados en el suelo de distintas maneras: disueltos o fijados, retenidos por adsorción, complejación y precipitación (GARCÍA y DORRONSORO, 2005).

d. Comportamiento del cadmio en el suelo

El comportamiento del cadmio es parecido al del zinc, sólo que es mucho más afín al azufre y más móvil en ambientes ácidos. En ambientes naturales el cadmio se encuentra con valencia 2+ por lo que en solución forma CdCl^+ , CdOH^+ , CdHCO_3^+ , CdCl_3^- , CdCl_4^{2-} , $\text{Cd}(\text{OH})_3^-$ y $\text{Cd}(\text{OH})_4^{2-}$ y quelatos orgánicos. Bajo condiciones extremas de oxidación tiende a formar minerales como CdO y CdCO_3 y a acumularse en fosfatos y en depósitos biolíticos (KABATA-PENDIAS, 2000). En suelos ácidos, la concentración de Cd^{2+} puede ser importante, ya que este ión se adsorbe débilmente en las arcillas y otras partículas materiales. Sin embargo, por encima de un pH de 7 el Cd^{2+} precipita como sulfuro, carbonato o fosfato BAIRD (2001).

La concentración de cadmio total promedio en los suelos es de 0.07 a 1.10 mg/kg. A valores altos de pH el cadmio no es móvil, posiblemente por la baja solubilidad de los carbonatos y fosfatos, en la movilidad del cadmio también es importante la alta afinidad del cadmio con la materia orgánica, oxihidróxidos de hierro, alófano e imogolita, no así con las arcillas. En general podemos decir que a pH ácido los oxihidróxidos de hierro y la materia orgánica controlan la solubilidad del cadmio y que a pH alcalinos el Cd precipita, por lo que es inmóvil. La concentración de Cd en la solución del suelo es de 0.2 a 6 ug/L; en suelos

contaminados se ha llegado a reportar concentraciones hasta de 400 ug/L. Para recuperar los suelos contaminados por cadmio se puede recomendar entre otras cosas: lavados en suelos ácidos, encalar (para elevar el pH) y aumentar la capacidad de intercambio de cationes (CHANMUGATHAS y BOLLAG, 1987).

e. Factores del suelo que afectan la disponibilidad y acumulación de los metales pesados

1. Textura

El término textura se utiliza para representar la composición granulométrica del suelo, cada término textural se corresponde con una determinada composición cuantitativa de arena, limo y arcilla. La arcilla tiene un papel fundamental a la hora de caracterizar la contaminación de metales pesados en suelos ya que influye sobre su movilidad. Tiende a adsorber a los metales pesados, que quedan retenidos en sus posiciones de cambio; los suelos arenosos, carecen de esta capacidad de fijación por lo que los metales pesados pasan rápidamente al subsuelo y pueden contaminar los niveles freáticos. Las partículas de arcilla, dada su gran superficie específica, intercambian iones de la disolución del suelo, lo que hace que tenga un buen poder de retención de nutrientes. No obstante, se compactan muy fácilmente, con lo que su capacidad de retención es buena, pero su capacidad de infiltración es baja. Es por esta razón que los suelos arcillosos suelen estar inundados. Los suelos arenosos son fácilmente cultivables, tienen poca capacidad de retención de agua y de nutrientes debido al gran tamaño de poros que los caracteriza. El suelo franco, está formado por una cantidad determinada de arcilla, arena y limo, presenta unas propiedades óptimas para el cultivo (SÁNCHEZ, 2003).

2. El pH

El pH es el principal factor que condiciona los procesos de adsorción de Cd en el suelo. Por encima de $\text{pH} = 6$, la adsorción del cadmio se incrementa rápidamente, sin embargo, esto dependerá de las características de los constituyentes del suelo (PERIS, 2006). Es un factor esencial. La mayoría de los metales tienden a estar más disponibles a pH ácido. El pH tiene un importante efecto sobre la materia orgánica. El pH, es un parámetro importante para definir la movilidad del catión, debido a que en medios de pH moderadamente alto se produce la precipitación como hidróxidos. En medios muy alcalinos, pueden nuevamente pasar a la solución como hidroxicomplejos. Si el pH es elevado entonces puede bajar la toxicidad metálica por precipitación como carbonatos e hidróxidos. La adsorción de los metales pesados está fuertemente condicionada por el pH del suelo y, por tanto, también su solubilidad (ACOSTA y MONTILLA, 2011).

En suelos ácidos, la concentración de Cd^{2+} puede ser importante, debido, a que este ión se adsorbe débilmente en las arcillas y otras partículas materiales. Sin embargo, por encima de un pH 7 el Cd^{2+} precipita como sulfuro, carbonato o fosfato. Así pues, el tratamiento del suelo con cal para aumentar el pH, es un método efectivo de retener el ión cadmio e impedir su absorción por las plantas (GONZÁLEZ, 2010). El pH es, por tanto, un parámetro importante para definir la movilidad de los diferentes componentes minerales, ya que su valor influye directamente en la solubilidad de los cationes. En algunos los fijará, disminuyendo su solubilidad aparente, con lo que las plantas no podrán absorberlos y, por el contrario, en otros casos favorecerá su movilidad

aumentando su solubilidad y haciendo que la concentración de las especies resultantes alcance niveles tóxicos en algunas plantas o especies vegetales (KRISHNAMURTI y NAIDU, 2003).

Cuadro 1. Clasificación de los suelos en función del pH y posibles efectos.

pH	Evaluación	Posibles efectos en el intervalo
< 4,5	Extremadamente ácido	Condiciones muy desfavorables
4,5-5,5	Muy fuertemente ácido	Posible toxicidad por Al^{3+} Exceso: Co, Cu, Fe, Mn, Zn Deficiencia: Ca, K, N, Mg, Mo, P, S
5,1-5,5	Fuertemente ácido	Suelos sin carbonato cálcico El hormigón ordinario resulta atacado Actividad bacteriana escasa
5,6-6,0	Medianamente ácido	Intervalo adecuado para la mayoría de los cultivos
6,1-6,5	Ligeramente ácido	Máxima disponibilidad de nutrientes Mínimos efectos tóxicos
6,6-7,3	Neutro	Por debajo de pH = 7,0 el carbonato cálcico no es estable en el suelo
7,4-7,8	Medianamente básico	Suelos generalmente con carbonato cálcico
7,9-8,4	Básico	Disminuye la disponibilidad de P y B En suelos con carbonatos, estos pH básicos suelen deberse al $MgCO_3$, si no hay sodio intercambiable
8,5-9,0	Ligeramente alcalino	
9,1-10,0	Alcalino	Presencia de carbonato sódico Elevado porcentaje de sodio intercambiable Toxicidad: Na, B
> 10,0	Fuertemente alcalino	Movilidad del P como Na_3PO_4 Actividad microbiana escasa Micronutrientes poco disponibles, excepto Mo

Fuente: SÁNCHEZ, (2003)

3. Contenido y tipo de arcilla

La mayor parte de las acillas se caracterizan por tener cargas eléctricas principalmente negativas en su superficie. Estas cargas son

responsables de la capacidad de intercambio catiónico (CIC) del suelo, constituyen un freno al movimiento de los cationes metálicos en la solución del suelo, hacen que los metales permanezcan por más tiempo en el suelo y disminuyan su solubilidad y biodisponibilidad (KABATA-PENDIAS, 2000). Cada mineral de la arcilla tiene unos determinados valores de superficie específica y de descompensación eléctrica. Cuanto mayor es la superficie activa de un filosilicato, mayores son sus posibilidades de adsorber metales, tal como se observa en el Cuadro 2.

Cuadro 2. Área superficial típica de minerales del suelo.

Minerales del suelo	Área superficial(m²/g)
Caolinita	7 – 30
Illita	65 – 100
Montmorillonita	700 – 800
Óxidos de manganeso	30 – 300
Goethita	40 – 80
Carbonatos/arenas	0,5 – 50

Fuente: (BOURG, 1995)

Este poder de adsorción será máximo en el punto de carga cero superficial, cuando su competencia con los H⁺ es mínima, lo que se consigue a diferentes pH según el mineral SPOSITO (1989). Sin embargo, la importancia de los minerales de la arcilla como adsorbentes es secundaria cuando en un suelo existe abundante materia orgánica y/o oxihidróxidos de hierro, componentes más competitivos (GALÁN, 2000).

Cuadro 3. Punto de carga cero (PCZ) superficial.

Mineral	pH
Cuarzo/sílice	2,0 – 3,0
Caolinita	4,0 – 4,5
Goethita	7,0 – 8,0
Hematita	8,0 – 8,5
Gibbsita	9,0 – 9,5
Humus	4,0 – 4,5

Fuente: GALÁN, (2000)

La ionización de los grupos funcionales; que ocurre en las arcillas 1:1, debido a la ruptura de las uniones Si-O-Si y Al-O-Al, generando carga negativa a valores de pH superiores a 5 – 6 GREENLAND y HAYES (1978).

4. Salinidad

El aumento de la salinidad puede incrementar la movilización de metales y su retención por dos mecanismos. Primeramente, los cationes Na y K pueden reemplazar a metales pesados en lugares de intercambio catiónico. En una segunda fase, los aniones cloruro y sulfato pueden formar compuestos más estables con metales tales como Pb, Zn, Cu, Cd y Hg. Por otra parte, las sales normalmente dan pH alcalino (GALÁN, 2000).

5. Materia orgánica

La velocidad de descomposición de la materia orgánica del suelo, depende de los siguientes factores: Naturaleza, composición y tamaño de las partículas orgánicas; tamaño de la población microbiana del suelo y tipo de microorganismos presentes; disponibilidad de nutrimentos y fuente de carbón,

incluyendo la relación C/N, para los microorganismos; contenido de humedad en el suelo y su disponibilidad; temperatura y sus variaciones; reacción o pH del suelo; contenido de oxígeno en el aire del suelo y aireación; contenido y concentración de sustancias inhibidoras del crecimiento microbiano; la relación C/N). El valor de esta relación es muy alto para la materia orgánica fresca y va disminuyendo a medida que la materia orgánica se transforma en humus. Por lo general, se considera que la actividad microbiana se ve favorecida con la presencia de compuestos hidrosolubles fácilmente metabolizables, y con la disponibilidad de nitrógeno, lo que corresponde con valores C/N bajos. Entre los factores que condicionan el contenido de materia orgánica de los suelos, se encuentran la vegetación, clima, organismos del suelo, drenaje, textura, estructura y laboreo (BARBOSA, 2011).

La materia orgánica del suelo está compuesta de sustancias húmicas y sustancias no húmicas se basa en las siguientes características químicas: Sustancias no húmicas que comprenden todos aquellos compuestos biopolímeros o metabolitos intermediarios de la materia viva. Cuantitativamente los más importantes son los carbohidratos como la celulosa, polímeros aromáticos como ligninas, y melaninas microbiales, proteínas y biomacromoléculas como los lípidos. Los monómeros tienen cuantitativamente menos importancia, debido a que son productos de la degradación de sustancias húmicas y no húmicas, como aminoácidos, compuestos fenólicos y azúcares que son rápidamente metabolizados por microorganismos. Muchas de estas sustancias son fuertes acomplejantes, que contribuyen significativamente a la movilización de metales por desorción y disolución mineral y por su transporte

hacia horizontes más profundos del suelo. Las sustancias no húmicas pueden llegar a ser parte del humus mediante diferentes procesos de descomposición. Debido a su origen, los polímeros no húmicos se caracterizan por contener subunidades con estructura química definida (GUSTAFSSON y PAVLINA, 2003).

Las sustancias húmicas se caracterizan por su extrema e irregular estructura química. Se clasifican de acuerdo con su solubilidad en ácidos y bases, así:

La humina que es el material completamente insoluble tanto en medio ácido como en básico, por lo general esta fracción es de color negro (RIBES, 2002). Las huminas son moléculas de un peso molecular considerable y se forman por entrelazamiento de los ácidos húmicos, al ser aisladas tienen la apariencia de plastilina (LIZARAZO, 2015).

Los ácidos húmicos son la fracción de sustancias húmicas insoluble en medio ácido ($\text{pH} < 2$) pero soluble en medio básico. Los ácidos húmicos constituyen la mayor fracción extractable de las sustancias húmicas; son menos ácidos (acidez de 400-870 meq/100g) y tienen mayor peso molecular que los ácidos fúlvicos. Presentan colores de café oscuro a negro. Esta fracción tiene estructura polimérica, aparentemente en forma de anillos y cadenas, está constituida principalmente por macromoléculas aromáticas (con rango de tamaño de 60-500 Å) con compuestos aminoácidos, carbohidratos, péptidos y compuestos alifáticos que se quelatan con los grupos aromáticos (REYES y BARRETO, 2011).

Los ácidos fúlvicos son la fracción de sustancias húmicas soluble en medio ácido y básico, razón por la que son extraídos después de remover los ácidos húmicos por acidificación. tienen menor peso molecular y son considerablemente más ácidos (acidez de 900 -1400 meq/100 g) que los ácidos húmicos. Presentan coloraciones de amarillo claro a amarillo café. Contiene estructuras aromáticas y alifáticas extensivamente sustituidas con oxígeno (REYES y BARRETO, 2011). En términos generales, los ácidos húmicos y fúlvicos representan una mezcla heterogénea de polímeros coloidales con alta polifuncionalidad e hidrofiliidad (SPOSITO, 1989). La habilidad de los ácidos húmicos y fúlvicos para formar complejos estables con iones metálicos se basa en su alto contenido de grupos funcionales donores de electrones, en particular, -COOH, y -OH fenólicos, también -OCH₃, -NH₂, =N, -SH y C=O. Los ácidos fúlvicos tienen un carácter más ácido que los húmicos, mientras que en los primeros el 50% de los grupos carboxílicos se disocian a un pH = 3,5, en los húmicos se disocian sólo a pH = 6,0 (REYES y BARRETO, 2011).

6. Potencial redox

En ambientes reductores como suelos anegados se reduce la biodisponibilidad del cadmio debido a la formación de sulfuro de cadmio (CdS) (SÁNCHEZ, 2016). En condiciones de reducción y en presencia del ión sulfato (SO₄²⁻), el cual es reducido a ión sulfuro (S²⁻), se favorece la formación de compuestos insolubles como: CdS, CuS, MnS y ZnS (VÁSQUEZ *et al.*, 2001).

7. Carbonatos

En suelos mediterráneos, los carbonatos también pueden tener un papel importante en la retención o solubilidad de los metales en el suelo, al proporcionar sitios superficiales para las interacciones con los metales pesados, adsorción o reacciones de precipitación (MARTÍNEZ y MOTTO, 2000). La presencia de carbonatos garantiza el mantenimiento de altos valores de pH, los cuales tienden a precipitar los metales pesados. El Cd, y otros metales, presentan una marcada tendencia a quedar adsorbido por los carbonatos, y es así que la precipitación de carbonatos de cadmio predomina cuando hay elevadas concentraciones de cadmio (LÓPEZ Y GRAU, 2005).

Cuando un suelo es calizo influye en primer lugar en la textura, ya que favorece la rápida destrucción de la materia orgánica del suelo contribuyendo al empobrecimiento en humus; además, eleva el pH por encima de 7 bloqueando en formas insolubles ciertos elementos nutrientes indispensables para la planta, como el hierro, dando lugar en este caso a la llamada “clorosis férrica”; además afecta al Zn, Cu, P, K y Mg (SÁNCHEZ, 2003).

8. Cationes intercambiables

La adsorción de los cationes metálicos es un proceso selectivo que depende principalmente de la carga y radio iónico de los cationes, existiendo una competencia por los sitios de adsorción. Por ejemplo, el Ca^{2+} compite efectivamente con los cationes de metales pesados por sitios de adsorción, y esta competencia puede ser mayor para Zn y Cd que para Cu y Pb. Esto ocurre porque el Zn y el Cd están retenidos en el suelo básicamente por reacciones de

intercambio, mientras que el Cu y el Pb forman complejos con la materia orgánica y con los óxidos de Fe, Mn y Al (SILVEIRA *et al.*, 2003). La concentración de aniones también puede tener efecto sobre la solubilidad de los metales; los aniones tanto inorgánicos como orgánicos pueden formar complejos con los cationes metálicos y tal reacción puede afectar la biodisponibilidad de los metales (RIEUWERTS *et al.*, 2006).

f. Procesos del suelo involucrados en la biodisponibilidad de los metales pesados

La biodisponibilidad depende de la solubilidad de los metales y de su capacidad de absorción en la fracción coloidal del suelo. La interacción entre los distintos procesos como intercambio catiónico, adsorción/desorción, precipitación/disolución y formación de complejos, afectan la distribución de los metales entre la solución suelo y la fase sólida, siendo responsables de su movilidad y biodisponibilidad (CARRASCO, 2005)

1. Capacidad de intercambio catiónico

De acuerdo con el principio del electro- neutralidad, las cargas negativas en la superficie de los coloides son neutralizadas por una cantidad equivalente de cationes en la solución suelo, los que pueden quedar adsorbidos (SILVA, 2004). Esta adsorción de cationes por el suelo se denomina “adsorción no específica”, que se caracteriza porque el ión es atraído electrostáticamente por las superficies cargadas de la fracción coloidal del suelo, sin que haya una dependencia de configuración electrónica con el grupo funcional de la superficie del suelo, formando complejos llamados de esfera externa (SPOSITO, 1989). La

cantidad de iones que pueden ser adsorbidos de forma intercambiable en el suelo se llama capacidad de intercambio catiónico o CIC. En la mayoría de casos existe selectividad o preferencia de un catión por otro, por lo tanto, es un proceso competitivo y reversible (SILVA, 2004).

En general, la adsorción de los metales a las partículas del suelo reduce la concentración de los metales en la solución suelo. Así, un suelo con una capacidad de intercambio catiónico (CIC) alta tiene más sitios de intercambio en la fracción coloidal del suelo, los que estarán disponibles para una mayor adsorción y posible inmovilización de los metales (SILVEIRA *et al.*, 2003). El poder de adsorción de los distintos metales pesados depende de su valencia y del radio iónico hidratado, a mayor tamaño y menor valencia, menos fuertemente quedan retenidos (PIERZYNSKI *et al.*, 2000).

El incremento en CIC a valores de pH por debajo de 7 en el horizonte superficial es debido probablemente a la disociación de grupos COOH de la materia orgánica y al Al polimérico (ADAMS, 1995). Generalmente, los suelos con elevada capacidad de intercambio catiónico (ricos en materia orgánica y con altos contenidos de arcilla), se asegura una cierta inmovilización de los metales pesados por quedar estos retenidos por adsorción al complejo coloidal del suelo (RUDA DE SCHENQUER *et al.*, 2004).

2. Adsorción específica

La adsorción específica es un fenómeno de alta afinidad, involucrando mecanismos de intercambio entre el metal y el ligando de la superficie de los coloides por medio de enlaces covalentes o iónicos. Este término ha sido utilizado para explicar la razón por la cual algunos suelos

adsorben determinados cationes en concentraciones superiores a su capacidad de intercambio catiónico (ALLOWAY, 1995). Los metales pesados que se encuentran como aniones, arsénico (As), selenio (Se), molibdeno (Mo), también pueden presentar adsorción específica en las superficies de los óxidos e hidróxidos hidratados. Como consecuencia de la adsorción específica, los metales son removidos de la solución suelo y retenidos en la superficie de los coloides formando moléculas estables, llamadas complejos de esfera interna (SILVEIRA *et al.*, 2003).

La adsorción específica es altamente dependiente del pH e involucra a los coloides orgánicos e inorgánicos (óxidos hidratados de Al, Fe y Mn y la materia orgánica), y ocurre cuando la concentración de los metales sea baja (SILVEIRA *et al.*, 2003).

3. Precipitación

Las reacciones de precipitación y dilución dependen del producto de solubilidad (Kps) del sólido en agua. Los iones metálicos en la solución suelo pueden precipitar con un agente químico, generalmente aniones como fosfato, carbonato o sulfato (RIEUWERTS *et al.*, 1998). La precipitación/disolución son procesos que, además se ven influenciados por el pH y el potencial redox del suelo. Las reacciones de precipitación están asociadas normalmente a suelos alcalinos y calcáreos con concentraciones relativamente altas de metales pesados, y además a condiciones que favorezcan una baja solubilidad de estos metales o a la presencia de pocos sitios de adsorción específica (SILVA, 2004).

La precipitación es improbable que suceda en condiciones ácidas, excepto cuando hay grandes cantidades de cationes y aniones. La precipitación de Cd es poco probable que ocurra en suelos neutros y ácidos, excepto cuando hay altas concentraciones de carbonatos, sulfatos o fosfatos (BOEKHOLD *et al.*, 1993).

4. Complejación y quelación

La complejación de metales involucra a un ión metálico en solución que está siendo rodeado por uno o más ligandos orgánicos e inorgánicos (RIEUWERTS *et al.*, 2006). La quelación ocurre cuando un ligando polidentado, generalmente una molécula orgánica grande, ocupa dos o más sitios de coordinación alrededor de un ión metálico central (SANTOS, 2010). Dentro de los ligandos complejantes orgánicos se encuentran los ácidos cítrico, oxálico y gálico, además de ácidos complejantes más estructurados, como aquellos incluidos en las fracciones húmica y fúlvica solubles (EVANS, 1989). El ácido oxálico es capaz de inmovilizar iones metálicos para formar sales de oxalato en forma de cristales disminuyendo la solubilidad por ende la disponibilidad de estos en el medio (MALAGRE *et al.*, 2002).

g. Ingreso, transporte y acumulación de cadmio en las plantas

Es bien conocido que un exceso de cationes esenciales como el Zn^{2+} y el Ca^{2+} , producen un efecto protector frente a la toxicidad del cadmio (ARAVIND y PRASSAD, 2005), lo que sugiere la existencia de una competencia de estos cationes por la entrada a la planta. Como el cadmio no es un metal esencial, se asume que no existen mecanismos de entrada específicos para el mismo; pero entre las proteínas responsables de la entrada de cadmio a la célula

cabe destacar el transportador específico de calcio LCT1 (CLEMENS *et al.*, 1998), y la proteína IRT1, perteneciente a la familia de transportadores de Zn y Fe (ZIP) (GUERINOT, 2000).

h. Contaminación del cacao con cadmio y plomo

Los metales pesados en alimentos tienen múltiples orígenes, es posible que la contaminación del producto se dé en la etapa de cultivo, producción y transformación. Las concentraciones de metales pesados en los suelos están asociadas a los ciclos biológicos y geoquímicos y pueden alterarse por actividades antropogénicas como la prácticas agrícolas, el transporte, las actividades industriales y la eliminación de residuos, entre otras (PRIETO, 2009); los metales pesados son peligrosos porque tienden a **bioacumularse** en diferentes sistemas vivos. Además, se ha establecido que los principales factores que influyen en la movilización de metales pesados en el suelo son el pH, potencial redox, presencia de iones, capacidad de intercambio (catiónico y/o aniónico), contenido de materia orgánica y textura, entre otras; además la contaminación por metales pesados puede producir acidificación, cambios en las condiciones redox, variación de temperatura y humedad en los suelos (SAHUQUILLO, 2003).

CÁRDENAS (2012), en un estudio realizado en la provincia de Leoncio Prado, región Huánuco, determinó que las semillas de cacao de parcelas de esta zona, revelaron contenidos de cadmio en niveles superiores al permitido (0.50 ppm), lo cual puede limitar la exportación de este producto agrícola. HUAMANÍ *et al.* (2012), en la zona del Alto Huallaga (Perú), determinó

la presencia de metales pesados en almendras de cacao de los socios de Cooperativa Agroindustrial Naranjillo, reportando valores de 1.53 y 13.69 ppm de Cd y Pb, respectivamente, valores superiores a los límites permisibles de la Unión Europea.

Actualmente los contenidos de cadmio en los derivados del cacao, está regulado por diversas organizaciones y estados del mundo, por ejemplo:

Cuadro 4. Niveles máximos admisibles de cadmio y plomo en alimentos, manteca y polvo de cacao.

Instituciones reguladoras	Concentraciones de Pb (mg/kg)	Concentraciones de Cd (mg/kg)
Comisión de Códex alimentario (CCA)	0,20	0,10
Organización Mundial de la Salud (OMS)	0,18 - 1,20	0,10
American Environmental Safely Institute (AESI)	0,0002 - 0,105	0,002 – 0,136

Fuente: Lead contamination in cocoa and cocoa products: isotopic evidence of global contamination (CHARLEY, 2005).

Cuadro 5. Niveles máximos de cadmio en el chocolate y productos derivados de cacao.

Productos	Nivel máximo de cadmio (mg/kg)
1. Chocolate con leche con un contenido de materia seca total de cacao <30%.	0,20
2. Chocolate con un contenido de materia seca total de cacao <50%; chocolate con leche con un contenido de materia seca total de cacao ≥30%.	0,06
3. Chocolate con un contenido de materia seca total de cacao ≥50%.	2,00
4. Cacao en polvo vendido al consumidor final o como ingrediente en cacao en polvo edulcorado vendido al consumidor final (chocolate para beber)	1,50

Fuente: FAO, (2012)

Cuadro 6. Niveles máximos admisibles de cadmio en el chocolate y derivados de cacao según la Unión Europea, vigente a partir del 1 de enero del 2019.

Productos	Nivel máximo de cadmio (mg/kg)
Chocolate con leche con un contenido en materia seca total de cacao < 30%.	0,10
Chocolate con un contenido de materia seca total de cacao < 50%; y $\geq$ al 30%.	0,30
Chocolate con un contenido de materia seca total de cacao $\geq$ 50%	0,80
Cacao en polvo vendido al consumidor final o como ingrediente en cacao en polvo edulcorado vendido al consumidor final (chocolate para beber).	0,60

Fuente. (Unión Europea, 2014 citado por DIAZ, 2014)

2.4. Los abonos orgánicos

El término abono orgánico se emplea para abarcar todo tipo de enmienda orgánica al suelo, incluyendo tanto los estiércoles animales, los restos vegetales y los elaborados como la composta, bocashi y otros. Su importancia estriba no solamente en la forma de los nutrientes que reciben las plantas, sino también en que los estiércoles orgánicos es una fuente de nutrientes y energía para el ecosistema del suelo, siendo los microorganismos los que ponen luego los nutrientes a disposición de las plantas en una proporción equilibrada y distribuida a lo largo de la estación de crecimiento. Otra característica importante de las enmiendas orgánicas es su habilidad para estimular el complejo de microorganismos beneficiosos que ayudan a mantener bajo control las potenciales plagas y patógenos (VÁSQUEZ y GÓMEZ, 2011).

Los abonos orgánicos suministran a las plantas los compuestos asimilables en forma gradual, a través de una serie de reacciones donde se

degradan proteínas y carbohidratos complejos como la celulosa y lignina a compuestos más simples como aminoácidos y almidones, luego a moléculas asimilables por la planta (iones NO_3 , H_3PO_4 , NH_4^+), por medio de los jugos digestivos y enzimas de los microorganismos presentes en el suelo (GONZÁLES *et al.*, 1996).

- **El compost**

Es un abono orgánico que se obtiene de la descomposición del estiércol, mezclado con residuos vegetales y otros ingredientes orgánicos. Los microorganismos como bacterias, hongos y lombrices descomponen los tejidos de las plantas muertas. Para una buena descomposición debe haber circulación de oxígeno (aeróbica), y se debe controlar la humedad y la temperatura del material (VARNERO, 2001). Es elaborado con diferentes ingredientes y cantidades de estos de acuerdo a los materiales disponibles en las fincas o en la zona. El compost ha sido utilizado por los agricultores japoneses como un mejorador del suelo que aumenta la diversidad microbiana, mejora las condiciones físicas y químicas, previene enfermedades del suelo y lo suple de nutrientes para el desarrollo de cultivos (RESTREPO, 2007).

El compost funciona como medio de almacenamiento de nutrientes del suelo, contrarresta los procesos erosivos causados por el agua y el viento, aumentando la porosidad, permeabilidad y proporciona una textura friable. Esto mejora la retención de agua en suelo, proporciona alimento a los organismos benéficos del suelo, contribuyendo a su mineralización, atenúa los cambios bruscos de temperatura en el suelo, mejora las condiciones químicas, físicas y biológicas del suelo, la materia orgánica favorece la estabilidad de la estructura

del suelo, aumenta el contenido de macro y microelementos, la población microbiana que contiene, son benéficas y ayuda a la fertilización de los suelos, es un producto que no daña el medio ambiente, recupera los suelos agotados por el uso intensivo de monocultivos y recupera los suelos marginales que no se utilizan como suelos agrícolas (GUARDADO, 2012).

2.5. Enmiendas cálcicas y magnésicas

A. Dolomita

La dolomita es un carbonato doble de calcio y magnesio, su fórmula química es $\text{CaMg}(\text{CO}_3)_2$, fue descubierto en 1788/1789 por el geólogo y Mineralogista francés Déodat de Dolomieu, y en cuyo honor se le da el nombre de Dolomita al mineral. Por lo general este mineral reacciona levemente al aplicársele ácido clorhídrico diluido al 5% pero en forma distinta que el carbonato de calcio puro. La dolomita es más que una simple variante de caliza, contiene el 30.41 % de CaO, 21.86 % de MgO y el 47.73 % de CO_2 , en su forma más pura. Como impurezas puede contener hierro y manganeso. Su color varía entre blanco, gris rosado, rojizo, negro, a veces con matices amarillento, parduzco o verdusco, predominando el incoloro o blanco grisáceo. En la agricultura, la dolomita al igual que la calcita, es una fuente de magnesio y calcio que constituye un fertilizante indispensable al modificar el pH del suelo, logrando regular su acidez, mejorándolo e incrementando el rendimiento de los cultivos (COORDINACIÓN GENERAL DE MINERÍA, 2013).

Existen dos principales vertientes a conocer de la dolomita: como aditivo del suelo y la dolomita que se usa como materia base para los fertilizantes de magnesio de calcio. Aumenta la productividad del terreno por el rápido

aumento del pH del suelo (disminuye la acidez) y/o ayuda a corregir deficiencias de magnesio y/o ratios (cocientes) de Ca/Mg. Cuando se aplican en 2.5 t/ha puede alcanzar resultados similares a la re-elevación del pH y reducir la toxicidad de aluminio (COORDINACIÓN GENERAL DE MINERÍA, 2013).

Cuadro 7. Propiedades químicas de la dolomita

Parámetro	Valor
Carbonato de calcio, CaCO_3	55.35 %
Óxido de calcio, CaO	31.00 %
Carbonato de magnesio, MgCO_3	42.25 %
Óxido de magnesio, MgO	20.20 %
Óxido de silicio, SiO_2	01.65 %
Óxido de hierro, Fe_2O_3	00.23 %
Alúmina, Al_2O_3	00.21 %
Azufre	00.10 %
Na_2O	00.03 %
Mn_2O_3	00.02 %
TiO_2	00.01 %
K_2O	00.08 %
P_2O_5	00.00 %
Pérdida de ignición	46.40 %

Fuente: (COORDINACIÓN GENERAL DE MINERÍA, 2013)

B. Magnocal

Es un producto natural compuesto de minerales extraídos de nuestras canteras en Ocucaje, Ica, y es cuidadosamente procesado y balanceado con elementos esenciales para todo tipo de cultivo. Las fuentes nutricionales básicas de este producto son: Calcio, Magnesio, Manganese, Azufre en forma de sulfato y arcillas bentoníticas (SULFATOS NATURALES, 2016).

Cuadro 8. Composición química del magnocal

Parámetro	Valor
Óxido de magnesio, MgO	5 a 8 %
Óxido de calcio, CaO	4 a 7 %
Sulfato	25 - 35 %
Manganeso	250 ppm
Bentonita	33 %
pH	6.5
Humedad	15.92 %

Fuente: (SULFATOS NATURALES, 2016)

1. Beneficios

Ayuda a mejorar el suelo desplazando el sodio (costa) y aluminio (selva), contribuye con la planta a una buena tracción al suelo con el nacimiento de radículas, retenedor de líquidos, restaurador de suelos arenosos, mejora la asimilación de elementos nutrientes disponibles en el suelo, balance de todos los elementos nutritivos, el magnocal también permite un desarrollo adecuado del aparato radicular y del crecimiento vegetativo, aumenta la resistencia de la planta frente a las adversidades ambientales e incrementa la consistencia y la resistencia de los frutos a la manipulación y a los daños mecánicos (AIFAR AGROCHIMICA, 2016).

2. Aplicación

El magnocal puede ser usado por vía foliar y por vía edáfica en fertirrigación y al boleo (AIFAR AGROCHIMICA, 2016).

Cuadro 9. Aplicación de magnocal en diferentes cultivos

Cultivo	Dosis
Frutales, hortalizas de fruto (tomate, pimiento, melón, berenjena, sandía, pepino, calabacín). Alcachofa	Utilizar en pre-floreCIMIENTO, florecimiento y engorde de los frutos. Foliar: 2-3 L/ha. Fertirrigación: 5-10 t/ha.
Hortalizas de hojas alubia, guisante, habas	Foliar: 2-3 L/ha. Fertirrigación: 5-10 L/ha.
Peral, manzano, ciruelo, albaricoque, melocotón, cerezo, cítricos.	Utilizar a la recuperación vegetativa, florecimiento y engorde de los frutos. Foliar: 3-4 L/ha. Fertirrigación: 15-20 L/ha.
Kiwi y olivo	Foliar: 4 L/ha, Fertirrigación: 15-20 L/ha
Uva de vino Uva de mesa	Pre-floreCIMIENTO, florecimiento y engorde de los frutos. Foliar: 3-5 L/ha, Fertirrigación: 20-25 L/ha.
Floricultura	Foliar: 2-3 L/ha. Fertirrigación: 5-10 L/ha.

Fuente: AIFAR AGROCHIMICA, (2016)

2.6. Coeficiente de correlación de Pearson

Los valores de la correlación de Pearson van desde -1 hasta 1, siendo los valores extremos los que indican mayor correlación entre variables, y siendo el 0 el punto que indica la no existencia de correlación. El signo positivo o negativo del coeficiente indica si la relación es directa (positivo) o inversa (negativo). La correlación no implica causalidad o dependencia. Si el coeficiente de correlación arrojado va entre 0 y 0,2, entonces la correlación es mínima; si va entre 0,2 y 0,4, es una correlación baja; si va entre 0,4 y 0,6, entonces es una correlación moderada, ya entre 0,6 y 0,8 es una correlación buena; finalmente, entre 0,8 y 1, es una correlación muy buena. Esto mismo aplica en negativo (LIZAMA y BOCCARDO, 2014).

III. MATERIALES Y MÉTODOS

3.1. Campo experimental

3.1.1. Ubicación

Este trabajo se llevó a cabo en la finca denominada “San Miguel” perteneciente al Sr. Carlos Enrique Gómez Bernal, ubicado en el caserío de Afilador, distrito de Rupa Rupa, provincia de Leoncio Prado, región Huánuco; según la clasificación Holdridge, esta zona corresponde a un clima de Bosque Muy Húmedo Tropical (bmh - T) con temperatura media de 25.51 °C, cuyas coordenadas geográficas son las siguientes: mE 390432, mN 8969147, con una altitud de 659 msnm.

3.1.2. Historia

El experimento se realizó en una plantación de cacao clon CCN-51 en producción de veinte (20) años de edad, libre de sombra; actualmente dicha plantación de cacao cuenta con certificación orgánica y con una producción aproximada de 1500 kg/ha/año. La unidad fisiográfica donde está instalada la plantación de cacao corresponde a una terraza media, cuyo contenido inicial de cadmio total en el suelo fue de 0.64 y 1.25 ppm de cadmio total en el grano (cotiledón), muy por encima de los niveles máximos permitidos que es de 0.50 ppm en el grano de cacao GARCÍA y DORRONSORO, (2005).

3.1.3. Datos meteorológicos y ambientales

En el Cuadro 10, se presentan los datos meteorológicos, obtenidos de la Estación Experimental Meteorológica "José Abelardo Quiñones" de Tingo

María, correspondiente a los meses de abril (2017) a agosto (2018), cuyos valores promedios son: temperatura media 25.51 °C, precipitación promedio de 265.85 mm/mes, humedad relativa promedio de 84.00 % y finalmente las horas sol promedio fueron de 159.00, siendo mayor en el mes de agosto.

Cuadro 10. Datos meteorológicos registrados durante la ejecución del experimento entre abril 2017 – agosto 2018.

Meses	Temperatura (°C)			Precipitación (mm)	H R (%)	Insolación (Horas sol)
	Max.	Med.	Min.			
Abril	30.90	26.00	21.20	204.20	85.00	152.50
Mayo	31.00	26.10	21.20	326.10	84.00	181.90
Junio	30.60	25.70	20.80	158.60	82.00	174.20
Julio	30.30	24.90	19.60	26.90	85.00	186.90
Agosto	31.50	25.60	19.80	142.40	83.00	204.70
Setiembre	31.10	26.00	20.90	221.00	82.00	156.30
Octubre	31.50	26.20	20.90	341.30	82.00	188.30
Noviembre	30.20	25.60	21.10	688.20	85.00	119.00
Diciembre	30.30	25.70	21.10	349.90	84.00	140.90
Enero	30.10	25.40	20.60	404.40	86.00	131.30
Febrero	29.80	25.60	21.30	305.90	85.00	101.00
Marzo	29.90	25.30	20.80	485.00	85.00	116.90
Abril	29.90	25.40	20.60	224.80	86.00	140.20
Mayo	30.60	25.60	20.70	181.20	84.00	177.20
Junio	29.40	24.60	19.70	182.60	85.00	160.00
Julio	30.40	24.90	19.50	62.40	83.00	175.40
Agosto	30.70	25.10	19.00	214.60	82.00	196.30
Total	518.20	433.70	348.80	4519.50	1428.00	2703.00
Promedio	30.48	25.51	20.52	265.85	84.00	159.00

Fuente: Universidad Nacional Agraria de la Selva, Estación Meteorológica: José Abelardo Quiñonez

3.1.4. Análisis físico-químico del suelo

Antes de iniciar el estudio, se sacó una muestra representativa de suelo de la parcela experimental de cacao, la misma que se llevó al laboratorio

de análisis de suelos de la Universidad Nacional Agraria La Molina (Lima) para su análisis de caracterización y contenido de microelementos. En el Cuadro 11, se presenta los resultados del análisis físico - químico del suelo antes de aplicarse los tratamientos en estudio.

Cuadro 11. Análisis físico – químico del suelo

Parámetro	Valor	Método empleado
Análisis físico:		
Arena (%)	42.00	Hidrómetro
Arcilla (%)	06.00	Hidrómetro
Limo (%)	52.00	Hidrómetro
Clase textural	Franco limoso	Triángulo textural
Análisis químico:		
pH (1:1) en agua	7.31	Potenciómetro
M. O. (%)	1.12	Walkey y Black
N - Total (%)	0.05	% M.O. x 0.05
Fósforo disponible (ppm)	11.00	Olsen Modificado
K ₂ O disponible (ppm)	62.00	Ácetato de amonio
Pb disponible (ppm)	1.05	EDTA 0.05 M pH 7
Cd disponible (ppm)	0.21	EDTA 0.05 M pH 7
Ca cambiable (cmol+)/kg)	7.68	EAA
Mg cambiable (cmol+)/kg)	1.67	EAA
K cambiable (cmol+)/kg)	0.14	EAA
Na cambiable (cmol+)/kg)	0.11	EAA
Al cambiable (cmol+)/kg)		Yuan
H cambiable (cmol+)/kg)		Yuan
CIC	9.60	EAA
Bas. Camb. (%)	100.00	Ca + Mg +K+ Na/CIC x 100
Ac. Cam. (%)	0.00	CIC - Bas. Camb.
Sat. Al (%)	0.00	

Fuente: Laboratorio de análisis de suelos de la Universidad Nacional Agraria La Molina – Lima

3.2. Componentes en estudio

A. Material vegetal

- Cacao clon CCN-51

B. Enmiendas orgánicas

- Compost
- Dolomita: riqueza
 - Oxido de magnesio (MgO) 22 – 24 %
 - Oxido de calcio (CaO) 29 – 31 %
 - Oxido de silicio (SiO₂) 4 – 5 %
 - Na₂O 0.05 – 0.07 %
 - K₂O 0.03 – 0.05 %
- Magnocal: riqueza
 - Oxido de calcio (CaO) 4 – 7 %
 - Oxido de magnesio (MgO) 5 – 8 %
 - Sulfatos (SO₄) 25 – 35 %
 - Manganeseo (Mn) 250 ppm
 - Bentonita 33 %

3.3. Tratamientos en estudio

En el Cuadro 12, se presenta la descripción de los tratamientos en estudio.

Cuadro 12. Descripción de los tratamientos en estudio.

Tratamiento	Descripción
	Toneladas/hectárea
T ₀	Testigo
T ₁	Compost 30
T ₂	Compost 30 + dolomita 3
T ₃	Compost 30 + dolomita 3 + magnocal 1
T ₄	Compost 30 + dolomita 3 + magnocal 2

3.4. Diseño experimental

En el presente trabajo de investigación se empleó el Diseño de Bloques Completamente al Azar (DBCA), con 5 tratamientos y 4 repeticiones, así mismo, las características evaluadas fueron sometidas al análisis de variancia y para la comparación de promedios se utilizó la prueba de Duncan con un nivel de significación de $\alpha=0.05$.

3.4.1. Modelo estadístico

El modelo estadístico utilizado en la presente investigación es el siguiente:

$$Y_{ij} = \mu + \tau_i + \beta_j + \varepsilon_{ij}$$

Dónde:

Y_{ij} = Es la j-ésima parcela, dentro del i-ésimo tratamiento

μ = Es la media general

τ_i = Efecto del i-ésimo tratamiento de enmienda orgánica

β_j = Efecto del j-ésimo bloque

ε_{ij} = Error experimental asociado al j-ésimo bloque del i-ésimo tratamiento

Para:

i = 1,2 fuentes de enmienda orgánica

j = 1, 2, 3, 4 repeticiones

3.4.2. Análisis de variancia (ANVA)

En el Cuadro 13, se presenta el esquema del análisis de variancia.

Cuadro 13. Esquema del análisis de variancia (ANVA).

Fuente de variabilidad	Fórmula	Grados de libertad
Bloques	$r-1$	3
Tratamientos	$t-1$	4
Error experimental	$(t-1) (r-1)$	12
Total	$tr-1$	19

3.5. Características del campo experimental

3.5.1. Características de los bloques

Número de bloques	: 4
Largo del bloque	: 60 m
Ancho del bloque	: 9 m
Área del bloque	: 540 m ²
Área de bloques	: 2160 m ²
Plantas por bloque	: 60

3.5.2. Características de las parcelas/unidad experimental

Número total de parcelas	: 20
Número de parcelas por bloque	: 5
Largo de cada parcela	: 12 m
Ancho de cada parcela	: 9 m
Número de plantas por parcela	: 12
Número de plantas por parcela neta	: 2
Área total de cada parcela	: 108 m ²
Área neta de la parcela	: 18 m ²
Número de hileras por parcela	: 3

3.5.3. Distanciamiento de siembra

Distancia entre plantas	: 3 m
Distancia entre hileras	: 3 m

3.5.4. Número total de plantas en el experimento

Número de plantas por parcela	: 12
Número de plantas evaluadas/por parcela	: 2
Número de plantas por bloque	: 60
Número de plantas en el experimento	: 240
Número de plantas evaluadas en el experimento	: 40
Número de muestras de suelos analizados:	: 21
Número de muestras de almendras analizados	: 21

3.5.5. Dimensión del campo experimental

Largo	: 10 m
Ancho	: 6 m
Área total del experimento	: 160 m ²

3.6. Ejecución el experimento

3.6.1. Elección, desmalezado y rotulación del campo experimental

El campo experimental, fue un terreno de topografía plana, con plantación de cacao clon CCN-51 en producción; donde el desmalezado se realizó en forma manual (machete) y mecánico (motoguadaña); asimismo, en la rotulación de los tratamientos se utilizó cintas de plástico multicolores: blanco (tratamiento T₀), morado (tratamiento T₁), celeste (tratamiento T₂), verde caña (tratamiento T₃) y rosado (tratamiento T₄); las plantas de la parcela neta se identificaron con cintas de agua de color rojo, identificadas como planta 1 y 2.

3.6.2. Aplicación de los tratamientos

La aplicación de los tratamientos se realizó debajo de la proyección de la copa del árbol de cacao y luego fueron tapados con abundante hojarasca con el apoyo de una pequeña horqueta de madera. Los tratamientos en el experimento fueron los siguientes:

Cuadro 14. Dosis de los tratamientos por planta y por hectárea.

Tratamiento	Descripción	Dosis	
		(kg/planta)	(Toneladas/ha)
T ₀	Testigo	0	0
T ₁	Compost	27.00	30.00
T ₂	Compost + dolomita	27.00 + 2.70	30.00 + 3.00
T ₃	Compost + dolomita + magnocal	27.00 + 2.70 + 0.90	30.00 + 3.00 + 1.00
T ₄	Compost + dolomita + magnocal	27.00 + 2.70 + 1.80	30.00 + 3.00 + 2.00

Nota: La densidad de siembra fue de 3m x 3m

3.6.3. Control de enfermedades

El control de enfermedades se realizó mediante el método cultural (podas y eliminación de frutos enfermos, los cuales fueron enterrados en la propia finca); la poda se realizó a toda la plantación donde se realizó el estudio.

3.6.4. Cosecha

Se realizó en los meses de la campaña grande entre abril y agosto; esta actividad consistió en la recolección de frutos fisiológicamente maduros, cuantificando el rendimiento de cada unidad experimental. Además, se obtuvo también las muestras de grano y suelo para el análisis de cadmio en el laboratorio.

3.6.5. Análisis de insumos utilizados

Se realizó el análisis químico de macro y microelementos del compost, dolomita y magnocal.

3.7. Variables a evaluar

3.7.1. Cadmio en los granos

Se extrajo los granos de las mazorcas maduras de las dos (2) plantas centrales (parcela neta) de cada unidad experimental; la extracción de los granos se realizó utilizando un machete pequeño sin filo y bolsas ziploc; asimismo la muestra requerida para el análisis en laboratorio de cada unidad experimental, fue de aproximadamente 250 g de grano fresco; la cual resultó de la mezcla homogénea de todas las almendras cosechadas; las muestras obtenidas en campo fueron codificadas según el tratamiento y bloque.

Las muestras de cacao no fueron fermentadas y el secado fue a través de la radiación solar directa, utilizando costales de yute, hasta una humedad aproximada del 7 %.

El análisis del cadmio total se realizó por el método AOAC Official Method 999.11; en el laboratorio de suelos Valle Grande de Cañete, Lima.

3.7.2. Determinación de las características físico-químicas del suelo

Inicialmente se procedió a sacar las muestras de suelo haciendo un recorrido en forma de círculo alrededor de las dos plantas centrales (plantas netas) aproximadamente a 1.20 m de distancia, procurando sacar las muestras en el lugar en donde se realizó la aplicación; se extrajo ocho (8) submuestras por

cada unidad experimental a una profundidad de 20 cm, obteniendo aproximadamente 800 g de suelo por cada muestra a analizar; para ello se utilizó un tubo muestreador de suelo y bolsas plásticas de primer uso debidamente identificadas; posteriormente las muestras fueron secadas bajo sombra luego rotuladas y enviadas al Laboratorio de Análisis de Suelos Valle Grande de la ciudad de Cañete, para su respectiva determinación de: textura por el método de Bouyoucos; pH por el método potenciométrico (1:1), materia orgánica por Walkley Black, capacidad de intercambio catiónico y bases intercambiables (cmol/kg) por NH_4OAc 1M pH 7 y espectrofotometría de absorción atómica, fósforo disponible por el método de Olsen modificado.

La cuantificación del cadmio total se realizó por el método EPA 3050, para ello se pesaron 2.5 g de suelo homogenizado y se colocaron en un vaso de precipitado al cual se le adicionó 25 ml de ácido nítrico 1:1 y se cubrió con un vidrio de reloj. La mezcla se calentó $95\text{ }^{\circ}\text{C} \pm 5\text{ }^{\circ}\text{C}$ en reflujo durante 15 minutos. Después del enfriamiento se adicionaron 5 ml de ácido nítrico y se mantuvo el reflujo por 30 minutos. Posteriormente se añadieron 5 ml de agua y 7.5 ml de peróxido de hidrógeno al 30 % hasta un volumen máximo de 15 ml. Luego se añadieron 25 ml de ácido clorhídrico concentrado seguidos de calentamiento por 15 minutos. La solución resultante se filtró en un balón aforado de 50 ml, se aforó y se transfirió a un recipiente plástico (USEPA, 1996). La lectura del cadmio se hizo por espectroscopia de absorción atómica de Llama, utilizando un espectrofotómetro de absorción atómica marca PerkinElmer.

3.7.3. Rendimiento

Para cuantificar el rendimiento de cada tratamiento se cosechó las mazorcas maduras de las 12 plantas de cacao de cada unidad experimental, luego los granos frescos cosechados se pesó utilizando una balanza gramera, posteriormente el peso obtenido se multiplicó por el factor de conversión de 0.36 (factor utilizado por la Cooperativa Agroindustrial Cacao Alto Huallaga), este valor la cooperativa lo está utilizando después de años de evaluación, ya que en 100 kg de grano fresco, después de realizar el fermentado, secado y pesado en una balanza se llega a un peso de 36 kg de grano seco. convirtiendo de este modo el grano fresco en grano seco; esta labor se desarrolló a lo largo de toda la campaña grande (abril – agosto); obteniendo de este modo la cantidad total de grano seco en kg cosechado de cada tratamiento y convertido a kg/ha.

IV. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

4.1. De las características químicas del suelo que influyen en el contenido de cadmio de los granos de cacao clon CCN-51

En el Cuadro 15, se presenta el ANVA del efecto de los tratamientos (compost, dolomita y magnocal) en el pH del suelo.

Cuadro 15. ANVA del efecto de los tratamientos en el pH del suelo.

F.V	GL	SC	CM	F	P-valor	Sig.
Bloques	3	0.263	0.088	0.17	0.913	NS
Tratamientos	4	0.261	0.065	0.13	0.969	NS
Error	12	6.112	0.509			
Total	19	6.637				

NS = No significativo
CV = 10.13 %

Según el análisis estadístico, no se encontraron diferencias estadísticas significativas entre los tratamientos y bloques para P (<0.05). El coeficiente de variabilidad determinado fue 10.13 %, considerado como medio, dado que se encuentra en el intervalo de 10 a 20 %, tal como lo afirma GORDÓN y CAMARGO (2015).

En el Cuadro 16, se muestra la prueba de Duncan del efecto de los tratamientos en el pH del suelo.

Cuadro 16. Prueba de Duncan ($\alpha=0.05$) del efecto de los tratamientos en el pH del suelo.

Tratamientos		pH del suelo	Significación
Clave	Descripción		
T1	Compost 30.00 t/ha	7.21	a
T0	Testigo	7.07	a
T4	Compost 30.00 t + dolomita 3.00 t + magnocal 2.00 t/ha	7.06	a
T3	Compost 30.00 t + dolomita 3.00 t + magnocal 1.00 t/ha	7.03	a
T2	Compost 30.00 t + dolomita 3.00 t/ha	6.85	a

Nota: tratamientos unidos por la misma letra en columna no existe significación estadística.

Según la prueba de Duncan ($\alpha=0.05$), se puede evidenciar que no existen diferencias estadísticas significativas entre la media de los tratamientos; sin embargo, matemáticamente existen diferencias, donde el tratamiento T₁ (compost a 30.00 t/ha) obtuvo el mayor valor de pH igual a 7.21. El incremento del pH por efecto de la aplicación del compost podría deberse al aporte de óxido de calcio y magnesio (4.30 %), los cuales formaron parte de la composición química de esta enmienda, según el análisis de caracterización realizado (ver anexo, Figura 7); estos resultados coinciden con los obtenidos por SOLÓRZANO y ALVARADO (2002) al evaluar dos fuentes de abonos orgánicos y el encalado en el cultivo de la mora conocida como vino, quienes reportaron el incremento del pH del suelo al realizar la aplicación de compost. Por otra parte, los valores pH encontrados no fueron superiores al pH inicial de 7.31, lo cual podría deberse a que al momento de realizar el muestreo no se llegó en el lugar en donde se

hizo la aplicación de los tratamientos, o podría deberse también a que haya ocurrido el lavado ya que no hubo una rápida descomposición tanto de la dolomita y el magnocal.

En el Cuadro 17, se presenta el ANVA del efecto de los tratamientos (compost, dolomita y magnocal) en la materia orgánica del suelo.

Cuadro 17. ANVA del efecto de los tratamientos en la materia orgánica del suelo.

F.V	GL	SC	CM	F	P-valor	Sig.
Bloques	3	1.051	0.350	1.46	0.274	NS
Tratamientos	4	0.065	0.016	0.07	0.990	NS
Error	12	2.877	0.240			
Total	19	3.993				

NS = No significativo

CV = 32.82 %

Según el análisis estadístico, no se encontraron diferencias estadísticas significativas entre los tratamientos y bloques para P (<0.05). El coeficiente de variabilidad determinado fue 32.82 %, considerado como muy alto, dado que es mayor del 30 %, tal como lo afirma GORDÓN y CAMARGO (2015).

Se estima que para elevar un punto porcentual de materia orgánica del suelo se tiene que aplicar en promedio unas 32 t/ha de compost u otro material orgánico (HUAMANÍ *et al.*, 2012).

En el Cuadro 18, se presenta el ANVA del efecto de los tratamientos (compost, dolomita y magnocal) en la capacidad de intercambio catiónico (CIC) del suelo.

Cuadro 18. ANVA del efecto de los tratamientos en la CIC del suelo.

F.V	GL	SC	CM	F	P-valor	Sig.
Bloques	3	8.754	2.918	1.12	0.381	NS
Tratamientos	4	6.626	1.657	0.63	0.648	NS
Error	12	31.393	2.616			
Total	19	46.772				

NS = No significativo

CV = 17.53 %

Según el análisis estadístico, no se encontraron diferencias estadísticas significativas entre los tratamientos y bloques para $P (< 0.05)$. El coeficiente de variabilidad determinado fue 17.53 %, considerado como medio, dado que se encuentra en el intervalo de 10 a 20 %, tal como lo afirma GORDÓN y CAMARGO (2015). La CIC del suelo, es una de las variables del suelo que está ligada a la disponibilidad del cadmio (HUAMANÍ *et al.*, 2012). En la Figura 1 se muestra la correlación entre la CIC y el cadmio del grano.

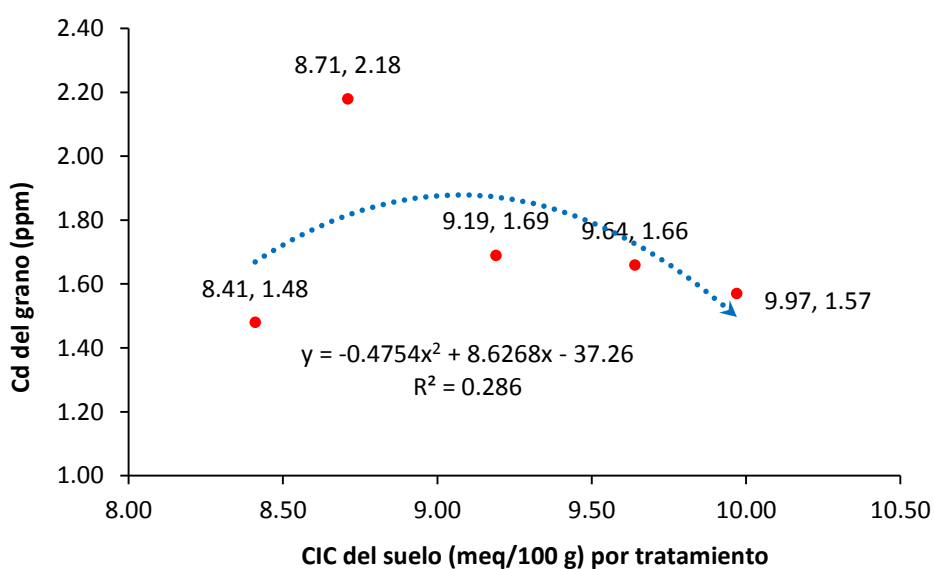


Figura 1. Curva de regresión polinómica entre la CIC del suelo y el contenido de cadmio total del grano de cacao.

La ecuación de regresión entre la CIC del suelo y el cadmio del grano de cacao, muestra un comportamiento polinómico ($y = -0.4754x^2 + 8.6268x - 37.26$), cuyo coeficiente de determinación (R^2) = 0.286. La línea de tendencia de la ecuación es creciente, es decir a medida que se incrementa la CIC del suelo el cadmio del grano aumenta, hasta alcanzar su punto máximo que es de 1.88 ppm con una CIC de 9.07 (meq/100 g); a partir de este punto a mayor CIC del suelo, el cadmio del grano disminuye. El coeficiente de correlación de Pearson es igual a 0.53; evidenciando una correlación moderada (LIZAMA y BOCCARDO, 2014). Así, un suelo con una capacidad de intercambio catiónico (CIC) alta tiene más sitios de intercambio en la fracción coloidal del suelo, los que estarán disponibles para una mayor adsorción y posible inmovilización de los metales como cadmio y plomo (SILVEIRA *et al.*, 2003).

En el Cuadro 19, se presenta el ANVA del efecto de los tratamientos (compost, dolomita y magnocal) en el potasio (K) disponible del suelo.

Cuadro 19. ANVA del efecto de los tratamientos en el K disponible del suelo.

F.V	GL	SC	CM	F	P-valor	Sig.
Bloques	3	312.600	104.190	2.37	0.122	NS
Tratamientos	4	540.600	135.160	3.08	0.050	S
Error	12	527.400	43.950			
Total	19	1380.60				

S = Significativo
CV = 16.37 %

Según el análisis estadístico, se encontraron diferencias estadísticas significativas entre los tratamientos para P (<0.05). El coeficiente de variabilidad determinado fue 16.37 %, considerado como medio, dado que se encuentra en

el intervalo de 10 a 20 %, tal como lo afirma GORDÓN y CAMARGO (2015). Este resultado era de esperarse debido al aporte de K₂O del compost, tal como se puede evidenciar en el análisis realizado (ver anexo, Figura 7).

En el Cuadro 20, se muestra la prueba de Duncan del efecto de los tratamientos en el potasio disponible del suelo.

Cuadro 20. Prueba de Duncan ($\alpha=0.05$) del efecto de los tratamientos en el K disponible del suelo.

Tratamientos		Potasio disponible (ppm)	Significación
Clave	Descripción		
T2	Compost 30.00 t + dolomita 3.00 t/ha	47.29	a
T3	Compost 30.00 t + dolomita 3.00 t + magnocal 1.00 t/ha	43.47	a
T4	Compost 30.00 t + dolomita 3.00 t + magnocal 2.00 t/ha	41.47	a b
T1	Compost 30.00 t/ha	37.98	a b
T0	Testigo	31.95	b

Nota: tratamientos unidos por la misma letra en columna no existe significación estadística.

Según la prueba de Duncan ($\alpha=0.05$), se puede evidenciar que existe diferencia estadística significativa entre la media de los tratamientos; el tratamiento T₂ (compost a 30.00 t + dolomita 3.00 t/ha) obtuvo el mayor valor de K disponible igual a 47.29 ppm; pero estadísticamente es similar a los tratamientos T₃ (compost a 30.00 t + dolomita 3.00 t + magnocal 1.00 t/ha), T₄ (compost a 30.00 t + dolomita 3.00 t + magnocal 2.00 t/ha) y T₁ (compost a 30.00 t/ha); sin embargo, estos tratamientos tienen un comportamiento estadístico

significativo diferente al tratamiento T₀ (Testigo). La diferencia que existe entre el T₃ y T₄, con respecto al T₂, podría deberse a que en estos tratamientos no hubo una buena descomposición, debido a que en el suelo no se encontró características necesarias para su reacción y esto habría traído como consecuencia el lavado de las enmiendas aplicadas, Por otra parte podría deberse a que el contenido de caliza de los tratamientos habría favorecido a la destrucción de la materia orgánica, lo cual está validado por SÁNCHEZ, (2003) quien menciona Cuando un suelo es calizo influye en primer lugar en la textura, ya que favorece la rápida destrucción de la materia orgánica del suelo contribuyendo al empobrecimiento en humus. En general todos los tratamientos en estudio evidencian un incremento del K con respecto al Testigo; este incremento podría obedecer al aporte de K de las enmiendas aplicadas al suelo; debido a la existencia de este elemento en su composición química, como se puede evidenciar en los análisis de caracterización realizados durante la presente investigación.

El contenido promedio de K disponible de los tratamientos evaluados en el presente estudio se ubica en un nivel bajo (< 100 ppm), clasificación estipulada por MANSILLA (2017).

Para explicar la correlación que existe entre el potasio disponible del suelo y el cadmio total del grano, obtenido en el experimento; mostramos a continuación la Figura 2:

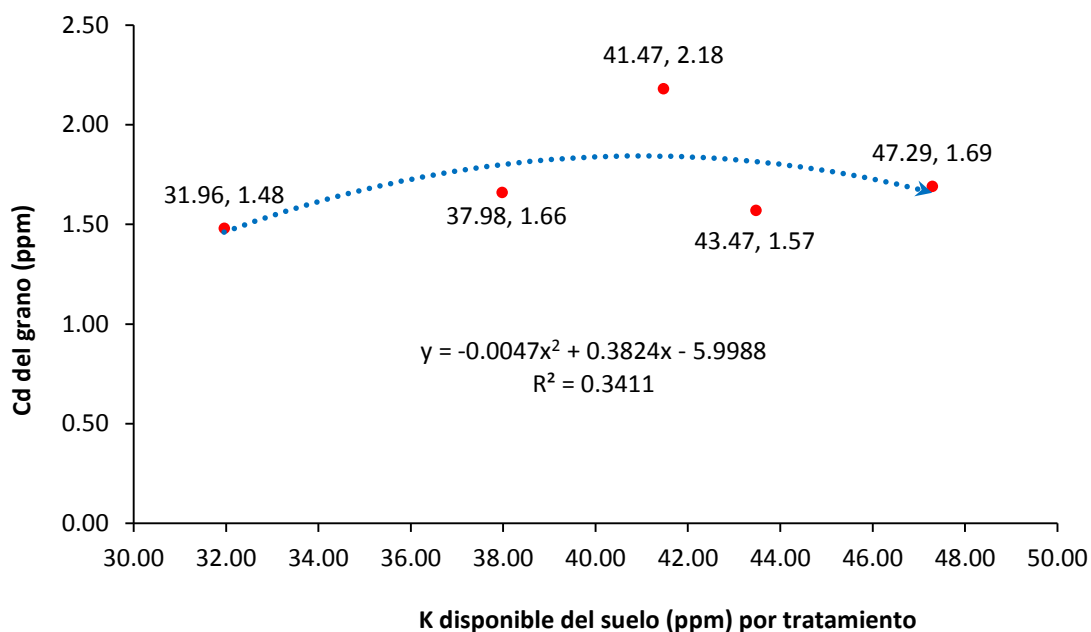


Figura 2. Curva de regresión polinómica entre el potasio disponible del suelo y el cadmio total del grano de cacao.

La ecuación de regresión entre el potasio disponible del suelo y el cadmio del grano de cacao, muestra un comportamiento polinómico ($y = -0.0047x^2 + 0.3824x - 5.9988$), cuyo coeficiente de determinación (R^2) = 0.3411. La línea de tendencia de la ecuación es creciente, es decir a medida que se incrementa el potasio disponible del suelo el cadmio del grano aumenta, hasta alcanzar su punto máximo que es de 1.78 ppm con un K disponible de 40.68 ppm; a partir de este punto a mayor K en el suelo el cadmio del grano disminuye. El coeficiente de correlación de Pearson es igual a 0.58; evidenciando una correlación moderada (LIZAMA y BOCCARDO, 2014). Esta disminución se estaría dando por la competencia de los sitios de adsorción que existe entre las bases cambiables y el cadmio del suelo. los metales son removidos de la solución suelo

y retenidos en la superficie de los coloides formando moléculas estables, llamadas complejos de esfera interna (SILVEIRA *et al.*, 2003).

En el Cuadro 21, se presenta el ANVA del efecto de los tratamientos (compost, dolomita y magnocal) en el calcio (Ca) cambiabile del suelo.

Cuadro 21. ANVA del efecto de los tratamientos en el Ca cambiabile del suelo.

F.V	GL	SC	CM	F	P-valor	Sig.
Bloques	3	2.936	0.979	0.68	0.584	NS
Tratamientos	4	5.229	1.307	0.90	0.493	NS
Error	12	17.388	1.449			
Total	19	25.554				

NS = No significativo

CV = 17.06 %

según el análisis estadístico, no se encontraron diferencias estadísticas significativas entre los tratamientos y bloques para P (<0.05). El coeficiente de variabilidad determinado fue 17.06 %, considerado como medio, dado que se encuentra en el intervalo de 10 a 20 %, tal como lo afirma GORDÓN y CAMARGO (2015). La aplicación de dolomita no ejerció ningún efecto significativo en el contenido de calcio (Ca) del suelo, probablemente debido al pH alcalino del suelo (pH > de 7), dado que la dolomita para reaccionar necesita pH ácido; así mismo ESPINOZA y MOLINA (1999) mencionan que la aplicación de cal en suelo neutros no tiene efecto, precisamente porque no existe hidrógeno que es la fuerza que motiva las reacciones de la cal.

En la Figura 3 se muestra el contenido de calcio cambiabile del suelo por cada tratamiento.

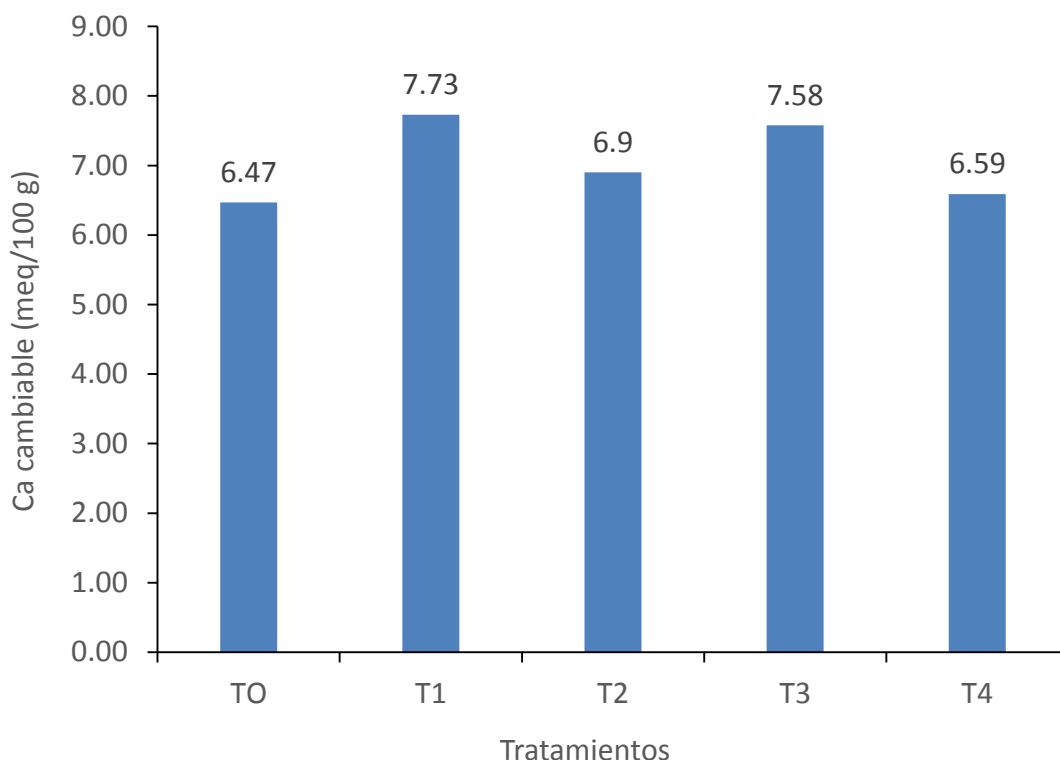


Figura 3. Contenido de calcio cambiabile en el suelo por tratamiento.

En la Figura 3, se puede evidenciar diferencias matemáticas entre tratamientos con respecto al contenido de calcio cambiabile del suelo; donde el tratamiento T₁ (compost a 30.00 t/ha) obtuvo el mayor valor de Ca cambiabile igual a 7.73 meq/100 g. En general, se evidencia un incremento del contenido de Ca de todos tratamientos con respecto al Testigo; este incremento podría obedecer al aporte individual de Ca de las enmiendas aplicadas al suelo. El contenido promedio de Ca cambiabile de los tratamientos se ubica en un nivel óptimo (6 a 15 meq/100 g), clasificación estipulada por (MOLINA, 2011).

En el Cuadro 22, se presenta el ANVA del efecto de los tratamientos (compost, dolomita y magnocal) en el cadmio (Cd) disponible del suelo.

Cuadro 22. ANVA del efecto de los tratamientos en el Cd disponible del suelo

F.V	GL	SC	CM	F	P-valor	Sig.
Bloques	3	0.011	0.003	0.52	0.676	NS
Tratamientos	4	0.014	0.003	0.48	0.751	NS
Error	12	0.091	0.007			
Total	19	0.118				

NS = No significativo

CV = 39.54 %

según el análisis estadístico, no se encontraron diferencias estadísticas significativas entre los tratamientos y bloques para P (<0.05). El coeficiente de variabilidad determinado fue 39.54 %, considerado como muy alto, dado que es mayor al 30 %, tal como lo afirma GORDÓN y CAMARGO (2015). No se puede evidenciar un incremento significativo del cadmio disponible en el suelo, dado que las enmiendas aplicadas contribuyeron en una mínima cantidad liberando cadmio al suelo; a pesar que el contenido de cadmio en el magnocal fue de 51.60 ppm (ver anexo, Figura 8).

4.2. Del efecto del compost, dolomita y magnocal en el contenido de cadmio total de los granos de cacao clon CCN-51.

En el Cuadro 23, se presenta el ANVA del efecto del compost, dolomita y magnocal en el contenido de cadmio total de los granos de cacao.

Cuadro 23. ANVA del efecto del compost, dolomita y magnocal en el contenido de cadmio de los granos de cacao clon CCN-51.

F.V	GL	SC	CM	F	P-valor	Sig.
Bloques	3	6.905	2.301	6.17	0.009	NS
Tratamientos	4	1.203	0.300	0.81	0.545	NS
Error	12	4.479	0.373			
Total	19	12.586				

NS = No significativo
CV = 35.73 %

según el análisis estadístico, no se encontraron diferencias estadísticas significativas entre los tratamientos y bloques para P (<0.05). El coeficiente de variabilidad determinado fue 35.73 %, considerado como muy alto, dado que es mayor al 30 %, tal como lo afirma GORDÓN y CAMARGO (2015).

En la Figura 4, se puede notar los contenidos de cadmio total en el grano de cacao por cada tratamiento; en la cual se observa que el Testigo reporta el menor contenido de cadmio; dicho hallazgo guarda una estrecha relación con el menor contenido de cadmio disponible en el suelo, evidenciado anteriormente. En general, se evidencia un incremento del Cd en todos los tratamientos con respecto al Testigo; este incremento podría obedecer al aporte individual de las enmiendas aplicadas al suelo, por ejemplo; la dolomita contenía 2.05 ppm de Cd, magnocal 51.60 ppm Cd y el compost 0.22 ppm de Cd total respectivamente; tal como se puede observar en los análisis realizados (ver anexo, Figura 8, 7). El contenido de cadmio total promedio en el grano de cacao de los tratamientos, es de 1.78 ppm; muy por encima del límite máximo permisible equivalente a 0.50 ppm, según GARCÍA y DORRONSORO (2005).

Con respecto al incremento de cadmio total en el grano inicial del testigo de 1.25 (inicial) a 1.48 (final), este resultado podría deberse a que al momento de realizar el muestreo inicial no se tomaron muestras localizadas por tratamiento, sino lo que se hizo es un muestreo general de todo el terreno experimental. Esto podría haber ocasionado diferencias en el contenido de cadmio de los testigos en los diferentes bloques, porque algunos podrían haber tenido niveles de cadmio por encima del promedio encontrado al inicio.

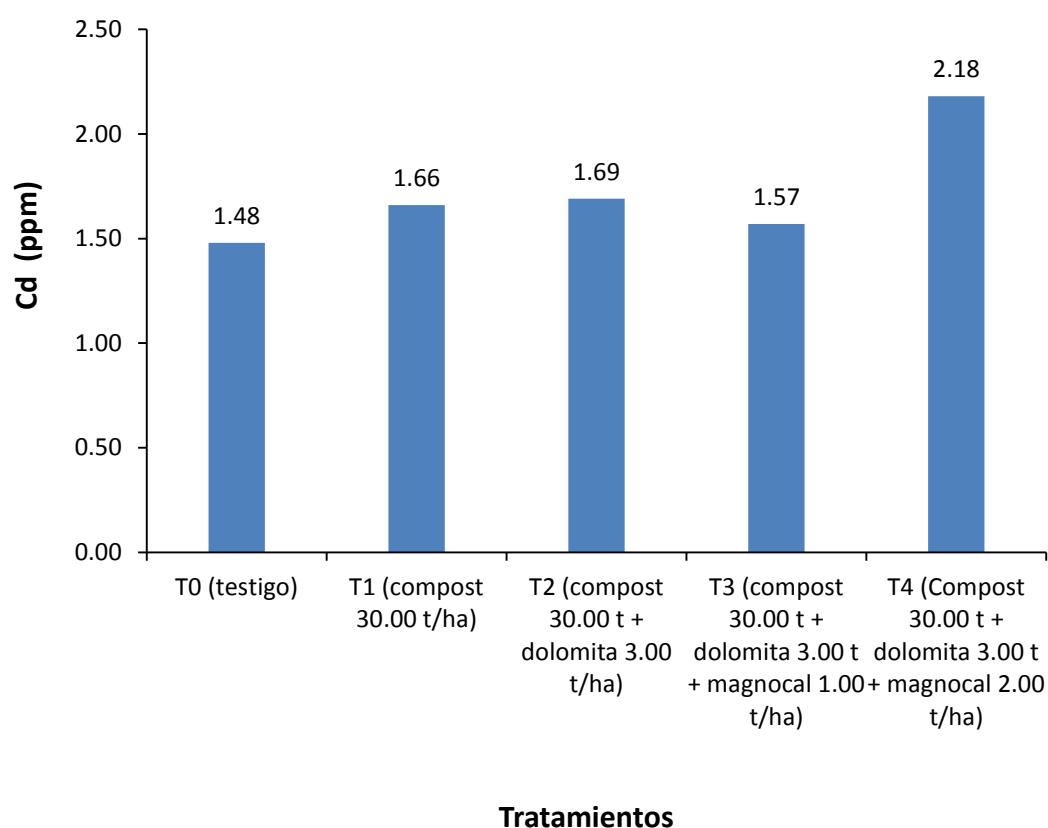


Figura 4. Cadmio total en el grano de cacao por tratamiento

4.3. Del efecto del compost, dolomita y magnocal en el rendimiento del cacao clon CCN-51.

En el Cuadro 24, se presenta el ANVA del efecto del compost, dolomita y magnocal en el rendimiento del cacao.

Cuadro 24. ANVA del efecto del compost, dolomita y magnocal en el rendimiento del cacao.

F.V	GL	SC	CM	F	P-valor	Sig.
Bloques	3	53268	17756	1.01	0.422	NS
Tratamientos	4	490216	122554	6.97	0.004	S
Error	12	210964	17580			
Total	19	754448				

NS = No significativo

S = Significativo

CV = 11.03 %

En el Cuadro 24, se muestra el análisis de variancia para el rendimiento del cacao en grano seco; según el análisis estadístico, se encontraron diferencias estadísticas significativas entre los tratamientos para $P (<0.05)$. El coeficiente de variabilidad determinado fue 11.03 %, considerado como medio, dado que se encuentra en el intervalo de 10 a 20 %, tal como lo afirma GORDÓN y CAMARGO (2015).

En el Cuadro 25, se muestra la prueba de Duncan del efecto de los tratamientos en el rendimiento del cacao.

Cuadro 25. Prueba de Duncan ($\alpha=0.05$) del efecto de los tratamientos en el rendimiento del cacao.

Tratamientos		Rendimiento (kg/ha)	Significación
Clave	Descripción		
T4	Compost 30.00 t + dolomita 3.00 t + magnocal 2.00 t/ha	1473.23	a
T2	Compost 30.00 t + dolomita 3.00 t/ha	1258.21	b
T1	Compost 30.00 t/ha	1165.63	b c
T3	Compost 30.00 t + dolomita 3.00 t + magnocal 1.00 t/ha	1100.12	b c
T0	Testigo	1017.26	c

Nota: tratamientos unidos por la misma letra en columna no existe significación estadística.

En el Cuadro 25, según la prueba de Duncan ($\alpha=0.05$), se puede evidenciar que existen diferencias estadísticas significativas entre la media de los tratamientos, correspondiente al rendimiento del cacao en grano seco; observándose que el tratamiento T₄ (compost 30.00 t + dolomita 3.00 t + magnocal 2.00 t/ha) estadísticamente difiere de los tratamientos T₂ (compost 30.00 t + dolomita 3.00 t/ha), T₁ (compost 30.00 t/ha), T₃ (compost 30.00 t + dolomita 3.00 t + magnocal 1.00 t/ha) y T₀ (testigo); sin embargo el tratamiento T₂ (compost 30.00 t + dolomita 3.00 t/ha), estadísticamente es similar del tratamiento T₁ (compost 30.00 t/ha) y T₃ (compost 30.00 t + dolomita 3.00 t + magnocal 1.00 t/ha). El tratamiento T₄ (compost 30.00 t + dolomita 3.00 t + magnocal 2.00 t/ha) es el tratamiento que alcanzó el más alto rendimiento de 1473.23 kg/ha de cacao en grano seco por campaña grande (abril – agosto), en

este resultado no se contabiliza la campaña chica (noviembre y diciembre). El tratamiento T₄ alcanzó el mayor rendimiento en grano probablemente al mayor aporte de Ca, Mg, S y Si de la enmienda presente en su composición química (ver anexo, Figura 10). Los nutrientes secundarios como el Mg, S y Ca, las plantas los absorben en cantidades considerables y son determinantes en los rendimientos de los cultivos. El Mg se incluye también en las reacciones enzimáticas relacionadas a la transferencia de energía de la planta. El S es un constituyente esencial de proteínas y también está involucrado en la formación de la clorofila. El Ca es esencial para el crecimiento de las raíces y como un constituyente del tejido celular de las membranas. Aunque la mayoría de los suelos contienen suficiente disponibilidad de Ca para las plantas, la deficiencia puede darse en los suelos tropicales muy pobres en Ca (IFA, 2002).

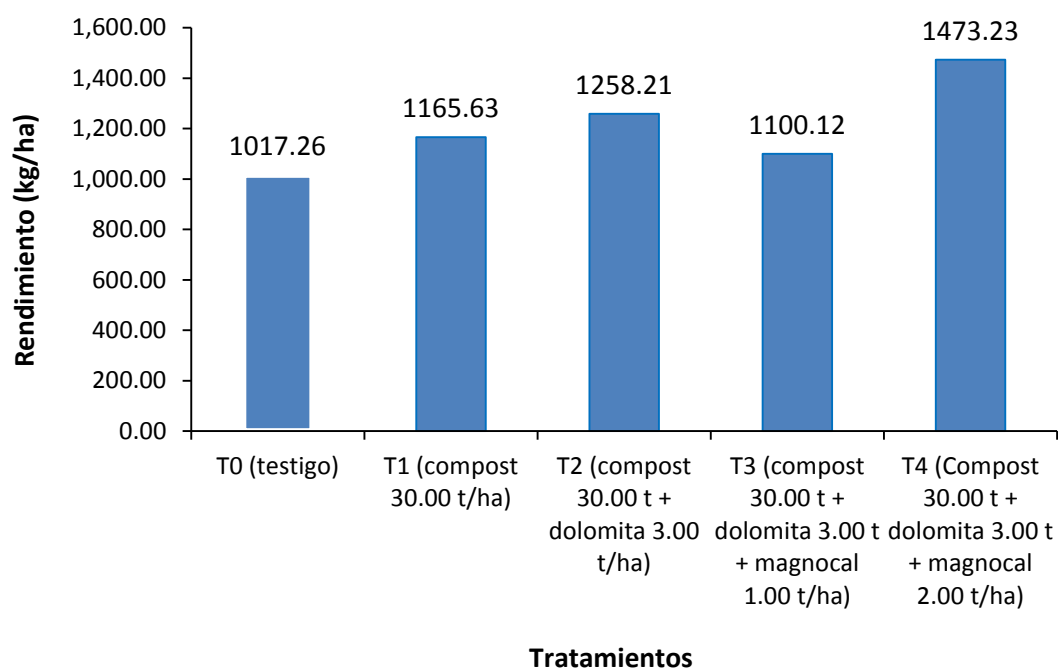


Figura 5. Rendimiento del cacao en grano seco por cada tratamiento.

En la Figura 5, se observa en general que todos los tratamientos superan rendimientos de 1000 kg/ha; esta producción está por encima de los rendimientos promedios regional y nacional los cuales oscilan en 564.00 kg/ha y 729.00 kg/ha (ROMERO, 2016), rendimientos que no son rentables para los pequeños productores de cacao del país; el uso de las enmiendas utilizadas en el presente estudio podrían ser una alternativa para incrementar los rendimientos del cacao, considerando que los valores obtenidos en esta investigación solamente corresponden a la campaña grande, equivalente a un 70 % de la producción anual.

V. CONCLUSIONES

1. Con respecto a las características químicas; el pH se incrementó de 7.07 a 7.21, la materia orgánica alcanzó 1.60 % y la CIC 9.97 meq/100 g en el tratamiento T₃ (compost 30.00 t + dolomita 3.00 t + magnocal 1.00 t/ha). El contenido de K disponible de igual modo se incrementó de 31.95 ppm del tratamiento testigo (T₀) a 47.29 en el tratamiento T₂ (compost 30.00 t + dolomita 3.00 t/ha). Los contenidos de Ca y Cd en el suelo se incrementaron con respecto al tratamiento testigo; alcanzando 7.73 meq/100 g y 0.26 ppm, como producto de la aplicación de los tratamientos.
2. El compost, dolomita y magnocal no tuvieron ningún efecto en la disminución del cadmio total de los granos de cacao; al contrario, se registró un aumento con respecto al tratamiento testigo (T₀) de 1.48 ppm a 2.18 ppm en el tratamiento T₄ (compost 30.00 t + dolomita 3.00 t + magnocal 2.00 t/ha)
3. El compost, dolomita y magnocal tuvieron un efecto significativo en el rendimiento del cacao; el tratamiento T₄ (compost 30.00 t + dolomita 3.00 t + magnocal 2.00 t/ha), alcanzó 1473.23 kg/ha de grano seco en la campaña grande de abril a agosto.

VI. RECOMENDACIONES

1. Realizar trabajos para disminuir los contenidos de cadmio de los granos de cacao, considerando los diferentes tipos de suelo y unidades fisiográficas. Y tener en cuenta realizar el muestreo de suelos de manera localizada por cada tratamiento
2. Utilizar fuentes de materia orgánica con mayor CIC, para garantizar una mayor reactividad en el suelo y lograr la máxima complejación del cadmio.
3. Evitar el uso de dolomita y magnocal en suelos alcalinos ($\text{pH} > 7.00$), cuyo fin sea disminuir el contenido de cadmio de los granos de cacao.
4. Para incrementar el rendimiento del cacao, se debe considerar la provisión de macro y micronutrientes a la planta, teniendo en cuenta el nutriente magnesio ya que es parte de la composición de la clorofila y está muy relacionada al transporte de energía de la planta.

VII. RESUMEN

El presente trabajo se realizó para establecer las características químicas del suelo que influyen en el contenido de cadmio de los granos de cacao clon CCN-51. Los resultados establecieron las características químicas del suelo como el pH, materia orgánica, capacidad de intercambio catiónico, calcio, potasio y cadmio se incrementaron con respecto al testigo. El contenido del cadmio en los granos de cacao, el compost y la dolomita y magnocal incrementaron el contenido de cadmio de los granos de cacao, al compararlos con el testigo y el efecto de las enmiendas en el rendimiento del cacao. Tanto el compost, la dolomita y el magnocal, mostraron un comportamiento significativo, incrementando el rendimiento del cacao durante el primer año de evaluación; alcanzando un rendimiento máximo de 1473.23 kg/ha de grano seco en el tratamiento T₄ (compost 30.00 t + dolomita 3.00 t + magnocal 2.00 t/ha).

Palabras clave: compost, dolomita, magnocal, cadmio, granos de cacao.

ABSTRACT

The present work was done to establish the chemical characteristics of the soil that influence the cadmium content in the CCN-51 clone cacao beans. The results established that the chemical characteristics of the soil such as the pH, organic matter, cation exchange capacity, calcium, potassium and cadmium increased with respect to the control. The cadmium content in the cacao beans, the compost and the dolomite and magnocal increased with the cadmium content of the cacao beans, when compared to the control and the effect of improvements on the cacao yield. The compost as well as the dolomite and the magnocal showed significant behavior, increasing the cacao yield during the first year of evaluation; reaching a maximum yield of 1473.23 kg/ac in dry beans for treatment T₄ (compost 30.00 t + dolomite 3.00 t + magnocal 2.00 t/ac).

Key words: compost, dolomite, magnocal, cadmium, cocoa beans.

VIII. BIBLIOGRAFÍA

1. ACOSTA, M., MONTILLA, J. 2011. Evaluación de la contaminación por cadmio y plomo en agua, suelo, y sedimento y análisis de impactos ambientales en la subcuenca del río balsillas afluente del río Bogotá. Bogotá, Colombia. 157 p.
2. ADAMS, M. 1995. Fundamentos de química de suelos. Universidad Central de Venezuela. [En línea]: <https://books.google.com.pe/books?isbn=9800006699>, (consultado, 12 ago. 2017).
3. AIFAR AGROCHIMICA. 2016. Magnocal. Italia. 2 p. [En línea]: <http://www.aifar-1.it/joomla/images/pdf/es/magnocal.pdf>, (consultado, 07 ene. 2016).
4. ALLOWAY, B.J. 1995. Soil Processes and Behavior of Metals. Heavy Metals in Soils. 22nd Ed. London: Blackie Academic and Professional. pp. 11-37.
5. ARAVIND, P., PRASSAD, M. 2005. Cadmiun-Zinc interactions in a hydroponic system using *Ceratophyllum demersum* L.: adptive ecophysiology, biochemistry and molecular toxicology. 20 p.
6. IFA 2002. Los fertilizantes y su uso. Asociación Internacional de la Industria de los Fertilizantes. Paris, Francia. 83 p.
7. BAIRD, C. 2001. Química Ambiental. Editorial Reverté S.A. 1ra edición. Barcelona, España. Pp.421-422
8. BARBOSA, H. 2011. Remediación de suelos. Clave: IAF-0429. Gobierno del Estado de México. Los Reyes, México. 195 p.

9. BOEKHOLD, A., TEMMINGHOFF, E., VAN DER ZEE, SEATM. 1993. Influence of electrolyte composition and pH on cadmium sorption by an acid sandy soil. *Journal of Soil Science*. 44: 85-96.
10. BOHN, H., MCNEAL, B., O'CONNOR, G. 1979. *Soil Chemistry*. 2nd Edition. New York. 329 p.
11. BOURG, A. 1995. Speciation of heavy metals in soils and groundwater and implications for their natural and provoked mobility. In *Heavy Metals*, W. Salomons, U. Förstner and P. Mader, eds. Springer-Verlag, Berlin. pp 19-31.
12. BROWN, K., THOMAS, J., SLOWEY, J. 1984. Extractability of metals applied to soils in sewage effluent. *Soil Science*, 138, 423-431.
13. 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.
14. CARRASCO, M. 2005. Metales pesados en el suelo. Santiago de Chile. Chile. 33 p. [En línea]: http://www.biblioteca-digital.sag.gob.cl/...suelos...suelos/5_metales_pesados_suelo.pdf, (consultado, 23 set. 2017).
15. CHANMUGATHAS, P., BOLLAG, J. 1987. Microbial mobilization of cadmium in soil under aerobic and anaerobic conditions. *J. Environ. Qual.* 16:161-167

16. CHARLEY, W., JEROME, O., JUPDEED, K. 2005. Lead contamination in cocoa and cocoa products: isotopic evidence of global contamination. *Environ. Health perspect.* 113 (10), 1344 - 1348.
17. CHÁVEZ, A., MANSILLA, J. 2004. Programa para el desarrollo de la Amazonia. Ministerio de Agricultura. Perú. pp. 9-12.
18. CIENCIAS DE LA TIERRA Y DEL MEDIO AMBIENTE. 2017. Libro electrónico. [En línea]: <http://www4.tecnun.es/asignaturas/Ecologia/Hipertexto/00General/IndiceGral.html>, (consultado, 06 dic. 2017).
19. CLEMENS, S., ANTOSIEWICZ, D.M., WARD, J.M., SCHACHTMAN, D.P., SCHROEDER, J.I. 1998. The plant cDNA LCT1 mediates the uptake of calcium and cadmium in yeast. *Proceedings of the National Academy of Sciences USA* 95:12043-12048.
20. COORDINACIÓN GENERAL DE MINERÍA. 2013. Perfil de mercado de la dolomita. Estados Unidos Mexicanos. 51 p.
21. ESPINOZA, J., MOLINA, E. 1999. Acidez y encalado de los suelos. Primera edición. Universidad de Costa Rica. San José, Costa Rica. 46 p.
22. EVANS, L.J. 1989. Chemistry of metal retention by soils. *Environmental Science and Technology*, 23, 1046 –1056.
23. FLAVEL, T., MURPHY, D. 2006. Carbon and nitrogen mineralization rates after application of organic amendments to soil. *J. Environ. Qual.* 35, 183. Doi: 10.2134/jeq2005.0022. Madison, Estados Unidos. 11 p.
24. GALÁN, E. 2000. The role of clay minerals in removing and immobilising heavy metals from contaminated soils. In *Proceedings of the 1st Latin*

- American Clay Conference”, vol. 1, C. Gomes, ed. Funchal. pp. 351-361.
25. GARCÍA, I., DORRONSORO, C. 2005. Contaminación por metales pesados. En Tecnología de Suelos. Departamento de Edafología y Química Agrícola. Universidad de Granada. Granada, España. 267 p.
 26. GOMES, A., AZOCA, A. 2002. Áreas potenciales para el desarrollo del cultivo cacao en el estado de Mérida. *Agronomía trop.* 54 (4): 403 – 425.
 27. GONZÁLES, V., GONZALES, J., MONTOYA, S. 1996. Serie. Producción orgánica de hortalizas en clima templado. Abonos orgánicos. Tegucigalpa, Honduras. 27 p.
 28. GONZÁLEZ, A.I. 2010. Determinación y validación de cadmio total e intercambiable en algunos suelos cacaoteros del departamento de Santander. Grado en Químico. Santander, Colombia. Universidad Industrial de Santander. 172 p.
 29. GORDÓN, R., CAMARGO, I. 2015. Selección de estadísticos para la estimación de la precisión experimental en ensayos de maíz. Universidad de Costa Rica. Costa Rica. 10 p.
 30. GREENLAND, D.J., HAYES, W.H. 1978. The chemistry of soil constituents. John Wiley y Sons, New York, Estados Unidos. 714 p.
 31. GUARDADO, L. 2012. Gallinaza y bocashi: ventajas de su aplicación. San Salvador, SV. AVES. 2 p.

32. GUERINOT, M. 2000. The ZIP family of metal transporters. *Biochimica et Biophysica Acta* 1465:190-198.
33. GUSTAFSSON, J.P., PAVLINA, D.B. 2003. Modeling Metal Binding to Soils: The Role of Natural Organic Matter. *Environmental Science and Technology*, 37 (12) : 2767-2774.
34. HUAMANÍ, H.A.; HUAUYA, M.A.; MANSILLA, L.G. FLORIDA, N.; NEIRA, G.M. 2012. Presencia de metales pesados en cultivo de cacao (*Theobroma cacao* L.) orgánico. *Acta Agronómica*. 61 (4): 309-314.
35. HUAUYA M. A.; HUAMANÍ H. 2014. Macrofauna edáfica y metales pesados en el cultivo de cacao, *Theobroma cacao* L. (Malvaceae). *The Biologist* (Lima). 12(1): 45 - 55.
36. INE. 2016. Anexo estadístico: coeficientes de variación y error asociado al estimador. Instituto Nacional de Estadísticas. Chile. 5 p.
37. KABATA-PENDIAS, A. 2000. Trace elements in soils and plants. Third Edition. CRC Press, Boca Raton, USA. 413 p. [En línea]: <https://www.eagriculture.biz/.../Soil/Trace%20Elements%20in%20Soils%20and%20Plants.pdf>, (consultado, 03 set. 2017).
38. KRISHNAMURTI, G., NAIDU, R. 2003. Solid-solution equilibria of cadmium in soils. *Geoderma*. 113 p.
39. LIZARAZO, C. 2015. Biología de suelos. Facultad de ingeniería Ambiental de la Universidad de Antioquía. Colombia. 28 p.
40. LIZAMA, P., BOCCARDO, G. 2014. Guía de asociación entre variables (Pearson y Spearman en SPSS). Universidad de Chile. Santiago de Chile, Chile. 19 p.

41. LÓPEZ, M. y GRAU J.M. 2005. Metales pesados, Materia orgánica y otros parámetros de la capa superficial de los suelos agrícolas y de los pastos de la España peninsular. II Resultados por Provincias. Ministerio de Educación y Ciencia e Instituto Nacional de Tecnología Agraria y Alimentaria.
42. LUCHO, C., ÁLVAREZ, M., BELTRÁN, R., PRIETO, F., POGGI, H. 2005. A multivariate analysis of the accumulation and fractionation of major trace elements in agricultural soils in Hidalgo State, Mexico irrigated with waste water. *Environmental International*. Environ Int. 31(3):313-23.
43. MALAGRE, A., ARANTE, V., MEDEIRO, C., MACHUCA, A. 2002. Production of metal chelating compounds by white and brown – root fungi, and their comparative abilities for pulp bleaching. *Enzyme and Microbial Technology*. 30: 562 – 565
44. MANSILLA, L. 2017. Cartilla de niveles críticos para la interpretación de análisis de suelos. Tingo María, Perú. 4 p.
45. MARTÍNEZ, C., MOTTO, H. 2000. Solubility of lead, zinc and copper added to mineral soils. *Environmental Pollution*. 107: 153-158. [En línea]: <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/15093019>, (Consultado, 23 set. 2017).
46. MOLINA, E. 2011. El análisis de suelos: determina suficiencia o deficiencia de nutrientes del suelo. Costa Rica. 10 p.

47. MORALES, O., BORDA, A., ARGANDOÑA, A., FARACH, R., GARCIA, N., LAZO, K. 2015. La Alianza Cacao Perú y la cadena productiva del cacao fino de aroma. Universidad ESAN. Lima, Perú. 182 p.
48. MORTVEDT, J., GIORDANO, Y., LINDSAY. 1983. Micronutrientes en agricultura. AGT. Madison, Estados Unidos. 742 p.
49. FAO. 2012. Guía de fertilizantes y nutrición. Servicio de fertilizantes y nutrición de las plantas. Dirección de fomento de tierras y agua. Organización de las Naciones Unidas Para el Agricultura y la Alimentación. Roma, Italia. 198 p.
50. PAPADOPOULOS, P., ROWELL, D. 1989. The reactions of copper and zinc with calcium carbonate surfaces. *Journal of Soil Science*. 40: 39-48.
51. PERIS, M. 2006. Estudio de metales pesados en suelos bajo cultivos hortícolas de la provincia de Castellón. Universidad de Valencia. [En Línea]: <http://www.tdx.cat/bitstream/handle/10803/9504/peris.pdf;jsessionid=8EC182AB8C44DBA6778E1281A37F0472.tdx2?sequence=1>.(Consultado, el 21 de abril del 2019).
52. PENNSYLVANIA STATE UNIVERSITY. 2017. Introducción a los suelos: la calidad de los suelos. Pennsylvania, Estados Unidos. 4 p.
53. PIERZYNSKI, G.M., SIMS, J.T., VANCE, G.F. 2000. *Soild and Environmental Quality*, 2nd edition. CRC Publishers Inc., Boca raton, Florida. EE. UU. 459 p.
54. PLASTER, E. 2000. La ciencia del suelo y su manejo. Editorial Paraninfo. Madrid, España. 412 p.

55. PRIETO, J., GONZÁLES, C., GUTIÉRREZ, R. 2009. Contaminación y fitotoxicidad en plantas por metales pesados provenientes de suelos y agua. Tropical. Subtrop. Agroecosystems. pp. 10, 29 - 44.
56. RESTREPO, J. 2007. Manual práctico el A, B, C de la agricultura orgánica y harina de rocas. Managua NI. SIMAS. 262 p. [En línea]: <http://www.bocashi.wordpress.com/.../el-a-b-c-de-la-agricultura-organica-y-ha...>, (Consultado, 25 set. 2017).
57. REYES, M., BARRETO, L. 2011. Efecto de la materia orgánica del suelo en la retención de contaminantes. Revista Épsilon, nº 16. Enero-junio pp. 31-45 [En línea]: <https://revistas.lasalle.edu.co/index.php/ep/article/download/426/349>, (Consultado, 20 de set. 2017).
58. RIBES, A. 2002. Temperature and Organic Matter Dependence of the Distribution of Organochlorine Compounds in Mountain Soils from the Subtropical Atlantic (Teide, Tenerife Island), Environmental Science and Technology, 36 (9): 1879-1885.
59. RIEUWERTS, J.S., THONTON, I., FARAGO, M.E., ASHMORE, M. R. 1998. Factors influencing metals bioavailability in soils: preliminar/ investigations for the development of a critical loads approach for metals. Chemical Speciation and Bioavailability. 10 : 61-65.
60. RIEUWERTS, J.S., ASHMORE, M.R., FARAGO, M.E., THONTON, I. 2006. The influence of soil characteristics on the extractability of Cd, Pb and Zn in upland and moorland soils. In Science of The Total Environment. pp. 864-876.

61. ROMERO, C. 2016. Estudio del cacao en el Perú y el mundo. Ministerio de agricultura y riego – Minagri. Primera edición. Lima, Perú. 90 p.
62. RUDA DE SCHENQUER, E., MONGIELLO, A., ACOSTA, A. 2004. Contaminación y Salud del Suelo. Centro de Tecnología Educativa Aplicada (CETEA). Facultad de Ingeniería Química, UNL. Santa fe. Argentina. Pp 9,42-45.
63. SADZAWKA, M., MLENDEZ, E., AOMINE, S. 1972. The pH of chilean volcanic ash soils Trumaso. Soil Sci. Plant Nutr. 18: 191 - 197.
64. SAHUQUILLO, A., RIGOL, G. 2003. Overview of the use of leaching/extraction tests for risk assessment of trace metals in contaminated soils and sediments, Trends. Analyt, Chem. 3 (22) : 152 -159.
65. SÁNCHEZ, B. 2003. Determinación de metales pesados en suelos de medina del campo (Valladolid). Contenidos extraíbles, niveles fondo y de referencia. Tesis doctoral en Ciencias químicas. Universidad de Valladolid. Valladolid, España. 298 p.
66. SÁNCHEZ, G. 2016. Ecotoxicología del cadmio. Facultad de farmacia, Universidad de Complutense. Madrid, España. 23 p.
67. SANTOS, S. 2010. Influence of different organic amendments on the potential availability of metals from soil: A study on metal fractionation and extraction kinetics by EDTA. In Chemosphere. pp. 389-396.
68. SILVA, C. 2004. Adsorcao competitiva de cadmio, cobre, niquel e zinco em solos. Tesis Mestreeem agronomía, área de concetracao: Solos e nutricao de plantas. Piracicaba, Estado de Sao paulo, Brazil. 79 p.

69. SILVEIRA, M., ALLEONI L., GUILHERME L. 2003. Biosolids and heavy metals in soils. *Scientia Agricola*. 60 (4): 793-806. [En línea]: <http://www.file:///C:/Users/HP/Downloads/21922-25554-1-PB.pdf>, (Consultado, 23 set. 2017).
70. SOLÓRZANO, J., ALVARADO, G. 2002. Efecto de varios abonos orgánicos y el encalado en el contenido nutricional de un inceptisol cultivado con mora, variedad Vino en la Cima de Dota, Costa Rica. 73 p.
71. SPOSITO, G. 1989. *The chemistry of soils*. Oxford Univ. Press. Oxford, Estados Unidos. 321 p.
72. SULFATOS NATURALES OCUCAJE S.A.C. 2016. Magnocal. Ica, Perú. 6 p. [En línea]: <http://www.sulfatosnaturales.com/Productos/magnocal.html>, (Consultado, 16 de oct. 2016).
73. USEPA 1996. Method 3050B. Acid digestion of sediments, sludges, and soils. Agencia de Protección Ambiental de los Estados Unidos. 12 p.
74. VARNERO, M. T. 2001. Desarrollo de substratos orgánicos: compost y bioabonos. Publicaciones misceláneas forestales. Universidad de Chile. 29 p.
75. VÁSQUEZ, A. JUSTIN, L., SIEBE, C., ALCÁNTAR G., DE LA ISLA DE BAUER, M., 2001. Cadmio, níquel y plomo en agua residual, suelo y cultivos en el Valle del Mezqital, Hidalgo, México. *Agrociencia* 35(003): 267-274.
76. VÁSQUEZ, M., GÓMEZ, D. 2011. Abonos orgánicos. Tegucigalpa, Honduras. 27 p. [En línea]: <http://www.pymerural.org/abonos/>, (Consultado, 25 set. 2017).

77. VOLKE, T., VELÁSICO, J. 2002. Tecnologías de remediación para suelos contaminados. Instituto nacional de Ecología. [En línea]: Instituto Nacional de Ecología, [https:// www.inecc. gob.mx/ descargas/ publicaciones/372.pdf](https://www.inecc.gob.mx/descargas/publicaciones/372.pdf), (Consultado, 12 ago. 2017).
78. WARD, N.I. 1995. Trace elements. Environmental Analytical Chemistry. Ed. by FW Fifield and P.J. Haines. Capman and Hall. 512 p.
79. YALCINKAYA, Y. 2001. Biosorption of cadimium from aquatic systems by carboxymethylcellulose and immobilized Trametes versicolor. Hydrometallurgy. 63: 31 – 40.

IX. ANEXO

Cuadro 26. Análisis de caracterización completa del suelo de cada tratamiento.

Bloque	Tratamiento	Clase textural	Carbonato de calcio total (%)	Conductividad electrica (E.S) a 25°C (ds/m)	pH (1/1) a 21°C	Fósforo disponible (ppm)	Materia orgánica (%)	Potasio disponible (ppm)	Cationes cambiables (meq/100gr)					P.A.I (%)	C.I.C.E (meq/100 gr)	Cd total (ppm)
									Calcio	Magnesio	Sodio	Potasio	Aluminio + Hidrógeno			
I	T ₀	Franco limosa	<0.01	0.81	6.66	14.70	1.93	27.53	7.96	1.6	0.15	0.07	<0.01	<0.1	9.78	0.73
														P.S.I (%)		
	T ₁	Franco	<0.01	0.73	7.17	18.72	1.38	35.27	7.37	1.46	0.13	0.09	0	1.44	9.04	0.66
	T ₂	Franco limosa	0.58	0.83	7.09	30.92	1.10	34.87	7.23	1.36	0.16	0.09	0	1.85	8.84	0.55
	T ₃	Franco limosa	3.73	0.76	7.90	17.70	1.38	43.13	7.9	1.39	0.15	0.11	0	1.52	9.55	0.66
														P.A.I (%)		
II	T ₄	Franco	<0.01	0.57	6.26	27.41	1.86	51.93	5.61	1.92	0.17	0.13	<0.01	<0.13	7.83	0.61
	T ₀	Franco limosa	<0.01	0.72	7.30	17.70	0.62	27.33	4.92	1.01	0.16	0.07	0	2.57	6.17	0.41
	T ₁	Franco limosa	1.91	0.81	8.05	20.81	1.10	40.00	7.68	1.44	0.15	0.10	0	1.56	9.38	0.76
	T ₂	Franco limosa	<0.01	0.53	7.13	25.15	1.31	43.00	6.69	1.97	0.13	0.11	0	1.46	8.91	0.6
														P.A.I (%)		
	T ₃	Franco limosa	<0.01	0.46	6.11	33.35	1.38	36.93	6.03	1.72	0.16	0.09	<0.01	<0.12	8.01	0.48
III	T ₄	Franco limosa	<0.01	0.69	6.97	22.95	1.45	32.47	6.75	1.43	0.15	0.08	<0.01	<0.12	8.41	0.74
	T ₀	Franco limosa	<0.01	0.64	6.52	9.16	2.07	34.53	8.42	2.68	0.24	0.09	<0.01	<0.09	11.42	0.51
	T ₁	Franco limosa	<0.01	0.65	6.99	19.63	1.48	37.00	7.86	1.75	0.19	0.09	<0.01	<0.1	9.90	0.52
														P.S.I (%)		
	T ₂	Franco	0.18	0.48	7.33	24.88	0.93	50.06	5.66	1.51	0.20	0.13	0	2.66	7.50	1.49
	T ₃	Franco limosa	0.02	0.65	7.37	19.60	1.72	47.66	8.57	2.50	0.27	0.12	0	2.37	11.47	0.68
IV	T ₄	Franco	1.66	0.70	7.66	16.64	1.07	33.60	6.65	1.39	0.21	0.09	0	2.51	8.33	0.74
	T ₀	Franco arenoso	4.68	0.57	7.79	14.70	1.07	38.43	4.57	1.40	0.21	0.10	0	3.33	6.28	0.69
														P.A.I (%)		
	T ₁	Franco	<0.01	0.65	6.63	19.63	1.97	39.63	8.00	1.98	0.17	0.10	<0.01	<0.1	10.25	1.00
	T ₂	Franco limosa	<0.01	0.61	5.86	31.67	2.52	61.21	8.03	2.76	0.54	0.16	<0.01	<0.09	11.49	0.52
	T ₃	Franco limosa	<0.01	0.57	6.73	18.62	1.90	46.15	7.80	2.72	0.23	0.12	<0.01	<0.09	10.86	0.47
														P.S.I (%)		
	T ₄	Franco limosa	0.02	0.67	7.34	11.88	1.62	47.89	7.35	2.46	0.32	0.12		3.13	10.25	0.57

Cuadro 27. Contenido de cadmio total en el grano de cacao por tratamiento.

TRATAMIENTO	DESCRIPCIÓN	BLOQUE			
		I	II	III	IV
		Cd (ppm)	Cd (ppm)	Cd (ppm)	Cd (ppm)
T ₀	Testigo	2.73	2.45	0.48	0.25
T ₁	Compost 30.00 t/ha	1.82	1.94	1.85	1.03
T ₂	Compost 30.00 t + dolomita 3.00 t/ha	1.91	3.05	0.78	1.00
T ₃	Compost 30.00 t + dolomita 3.00 t + magnocal 1.00 kg/ha	2.63	1.27	0.90	1.47
T ₄	Compost 30.00 t + dolomita 3.00 t + magnocal 2.00 kg/ha	2.45	2.73	2.13	1.42

Cuadro 28. Evaluaciones de rendimiento en grano fresco por tratamiento en kg (grano seco = grano fresco x 0.36).

TRATAMIENTO	DESCRIPCIÓN	EVALUACIÓN	BLOQUE/REPETICIÓN			
			I	II	III	IV
T ₀	Testigo	1	2.95	2.80	3.50	8.31
		2	5.75	6.10	5.80	2.75
		3	2.80	9.00	2.50	6.15
		4	8.25	1.15	7.20	2.89
		5	3.56	8.45	4.25	4.30
		6	6.00	9.26	5.40	3.00
T ₁	Compost 30.00 t/ha	1	4.22	6.17	2.95	7.10
		2	6.00	9.38	6.60	3.95
		3	4.00	3.10	8.49	7.85
		4	3.48	10.23	5.31	6.13
		5	9.32	6.12	9.22	7.80
		6	2.55	2.50	4.50	2.89
T ₂	Compost 30.00 t + dolomita 3.00 t/ha	1	4.50	4.00	4.15	6.78
		2	6.67	6.49	10.45	5.20
		3	6.58	5.21	6.30	7.10
		4	8.00	7.64	9.12	4.89
		5	4.40	5.89	8.26	9.12
		6	5.62	4.60	3.70	6.49
T ₃	Compost 30.00 t + dolomita 3.00 t + magnocal 1.00 kg/ha	1	4.40	6.10	3.10	5.00
		2	7.35	5.40	2.75	8.25
		3	6.62	7.95	8.73	3.50
		4	5.79	5.72	5.49	3.00
		5	3.40	4.54	7.40	6.80
		6	4.35	8.14	8.44	3.80
T ₄	Compost 30.00 t + dolomita 3.00 t + magnocal 2.00 kg/ha	1	5.40	6.67	4.62	13.53
		2	6.80	7.90	9.25	12.45
		3	4.90	4.30	6.75	6.48
		4	6.48	6.32	9.60	6.70
		5	9.25	8.39	8.25	7.40
		6	7.90	7.25	4.81	5.42



UNIVERSIDAD NACIONAL AGRARIA LA MOLINA

FACULTAD DE AGRONOMIA - DEPARTAMENTO DE SUELOS

LABORATORIO DE ANALISIS DE SUELOS, PLANTAS, AGUAS Y FERTILIZANTES



ANALISIS DE SUELOS : CARACTERIZACION

Solicitante : COOPERATIVA AGROINDUSTRIAS CACAO ALTO HUALLAGA

Departamento : HUANUCO

Distrito : RUPA,RUPA

Referencia : H.R.57365-007C-17

Fact.: 102

Provincia : LEONCIO PRADO

Predio : TINGO MARIA

Fecha : 27/01/17

Número de Muestra		pH (1:1)	C.E. (1:1) dS/m	CaCO ₃ %	M.O. %	P ppm	K ppm	Análisis Mecánico			Clase Textural	CIC	Cationes Cambiables					Suma de Cationes	Suma de Bases	% Sat. D Bases
Lab	Claves							Arena %	Limo %	Arcilla %			Ca ⁺²	Mg ⁺²	K ⁺	Na ⁺	Al ⁺³ + H ⁺			
536	PITEIS-01	7.64	0.45	0.70	1.18	3.8	66	34	52	14	Fr.L.	13.44	11.47	1.68	0.16	0.13	0.00	13.44	13.44	100
537	PITEIS-02	7.53	0.52	1.10	1.76	5.6	86	46	40	14	Fr.	9.76	8.00	1.47	0.18	0.11	0.00	9.76	9.76	100
538	PITEIS-03	7.37	0.48	0.80	1.29	7.5	67	52	40	8	Fr.	8.64	6.90	1.38	0.18	0.17	0.00	8.64	8.64	100
539	PITEIS-04	7.31	0.44	0.70	1.12	11.0	62	42	52	6	Fr.L.	9.60	7.68	1.67	0.14	0.11	0.00	9.60	9.60	100
540	PITEIS-05	5.73	0.68	0.00	2.61	8.3	72	32	58	10	Fr.L.	10.88	8.14	1.40	0.15	0.09	0.20	9.98	9.78	90
541	PITEIS-06	5.41	0.36	0.00	2.07	39.3	56	22	50	28	Fr.Ar.	12.96	7.66	0.45	0.12	0.10	0.20	8.54	8.34	64

A = Arena ; A.Fr. = Arena Franca ; Fr.A. = Franco Arenoso ; Fr. = Franco ; Fr.L. = Franco Limoso ; L = Limoso ; Fr.Ar.A. = Franco Arcillo Arenoso ; Fr.Ar. = Franco Arcilloso ; Fr.Ar.L. = Franco Arcillo Limoso ; Ar.A. = Arcillo Arenoso ; Ar.L. = Arcillo Limoso ; Ar. = Arcilloso

Número de Muestra		Pb ppm	Cd ppm
Lab.	Claves		
536	PITEIS-01	17.27	0.41
537	PITEIS-02	25.63	0.29
538	PITEIS-03	21.03	0.37
539	PITEIS-04	36.10	0.64
540	PITEIS-05	17.13	0.17
541	PITEIS-06	13.94	0.82



Dr. Sady García Bendezú
Jefe del Laboratorio

Figura 6. Análisis inicial de caracterización del suelo, muestra PITEIS-04



VALLE GRANDE
Laboratorio de Química Agrícola

50 AÑOS
1965 - 2015

SOLICITANTE : COOPERATIVA AGROINDUSTRIAL CACAO ALTO HUALLAGA

ANÁLISIS N° : 136-01EOS -2019

PREDIO : COOPERATIVA AGROINDUSTRIAL CACAO ALTO HUALLAGA

LUGAR : TINGO MARIA

MATRIZ : ENMIENDA ORGÁNICA

FECHA DE RECEP. : 16/06/2017

INFORME DE ANÁLISIS DE ENMIENDA ORGÁNICA SÓLIDA - NUTRICIONAL
MUESTRA : COMPOST

PARAMETRO	RESULTADO	UNIDAD	MÉTODO	TÉCNICA
pH a T = 25.6 °C (E.S)	6.69		MEOS - 001	Electrométrico
Conductividad Eléctrica a 25 °C.(E.S.)	50.90	dS/m	MEOS - 002	Electrométrico
Carbonato de Calcio	< 0.01	%	MEOS - 003	Gravimétrico
Humedad	31.55	%	MEOS - 004	Gravimétrico
Materia Orgánica	18.98	%	MEOS - 005	Gravimétrico
Carbono Orgánico	11.01	%	-----	-----
Cenizas Totales	13.67	%	MEOS - 006	Gravimétrico
Impurezas	35.80	%	MEOS - 007	Gravimétrico
Nitrógeno Total (N _T)	1.18	%	MEOS - 008	Dumas
Fósforo Total (P ₂₀₅)	1.75	%	MEOS - 009	Colorimétrico
Potasio Total (K _{2O})	2.02	%	MEOS - 010	FAAS
Calcio Total (CaO)	3.38	%	MEOS - 011	FAAS
Magnesio Total (MgO)	0.92	%	MEOS - 012	FAAS
Azufre Total (S)	0.39	%	MEOS - 013	Turbidimétrico
Sodio Total (Na)	0.77	%	MEOS - 014	FAAS
Cloro Total (Cl)	0.41	%	MEOS - 015	Argentométrico
Cobre Total (Cu)	21.27	ppm	MEOS - 016	FAAS
Zinc Total (Zn)	145.78	ppm	MEOS - 017	FAAS
Manganeso Total (Mn)	199.72	ppm	MEOS - 018	FAAS
Hierro Total (Fe)	2343.95	ppm	MEOS - 019	FAAS
Boro Total (B)	66.66	ppm	MEOS - 020	Colorimétrico
C / N	9.33		-----	-----
Cadmio Total (Cd)	0.22	ppm	AOAC 999.11	FAAS

Los resultados están expresados en muestra original.
DONDE:

% : Masa / Masa

FAAS : Espectrometría de Absorción Atómica por Llama

ppm : mg / Kg

MEOS : Método Propio del Laboratorio.

(E.S) : Extracto de Saturación

NOTA:

1: Los resultados presentados corresponden sólo a la muestra indicada.

MSc. Quím. Alexia Saucedo Chacón
JEFE DEL LABORATORIO

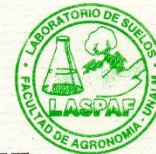


MSc. Agr. Julio Castro Lazo
DIRECTOR DEL LABORATORIO

Figura 7. Análisis de caracterización del compost



UNIVERSIDAD NACIONAL AGRARIA LA MOLINA
FACULTAD DE AGRONOMIA
LABORATORIO DE ANALISIS DE SUELOS, PLANTAS, AGUAS Y FERTILIZANTES



INFORME DE ANALISIS - ESPECIAL EN FERTILIZANTE

SOLICITANTE : COOPERATIVA AGROINDUSTRIAL CACAO ALTO HUALLAGA
MUESTRAS : FERTILIZANTES
PROCEDENCIA : HUÁNUCO/ LEONCIO PRADO/ RUPA RUPA
REFERENCIA : H.R. 57368
FACTURA : 102
FECHA : 08/02/2017

N° LAB	CLAVES	Plomo Total ppm	Cadmio Total ppm
008	PITEIF-02 Dolomita	43.35	2.05
009	PITEIF-03 Xeolita	23.63	1.50
010	PITEIF-04 Magnocal	14.60	51.60
011	PITEIF-05 Roca Fosfórica	44.55	26.35
012	PITEIF-07 Sulfato de Potasio	14.10	0.30
013	PITEIF-08 Ulexita	47.68	2.73
014	PITEIF-09 Sulfato de Cobre	30.70	3.10
015	PITEIF-10 Sulfato Ferroso	8.20	5.00
016	PITEIF-11 Sulfato de Manganeso	20.65	3.73
017	PITEIF-12 Sulfato de Zinc	0.00	5.90

Metodologías Empleadas:

- Plomo Total: Espectrofotometría de Absorción Atómica.
- Cadmio Total: Espectrofotometría de Absorción Atómica.

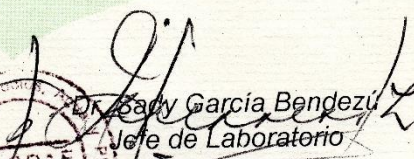

Dr. Gaby García Bendezi
Jefe de Laboratorio

Figura 8. Contenido de cadmio en las enmiendas (dolomita y magnocal)



Figura 9. Aplicación de los tratamientos en campo



Figura 10. magnocal utilizada en el experimento



Figura 11. Dolomita utilizada en el experimento



Figura 12. Identificación de las plantas a evaluar (parcela neta)



Figura 13. Muestreo de suelo



Figura 14. Muestreo del grano de cacao



Figura 15. Muestreo de suelo y grano de cacao



UNIVERSIDAD NACIONAL AGRARIA LA MOLINA
FACULTAD DE AGRONOMIA
LABORATORIO DE ANALISIS DE SUELOS, PLANTAS, AGUAS Y FERTILIZANTES



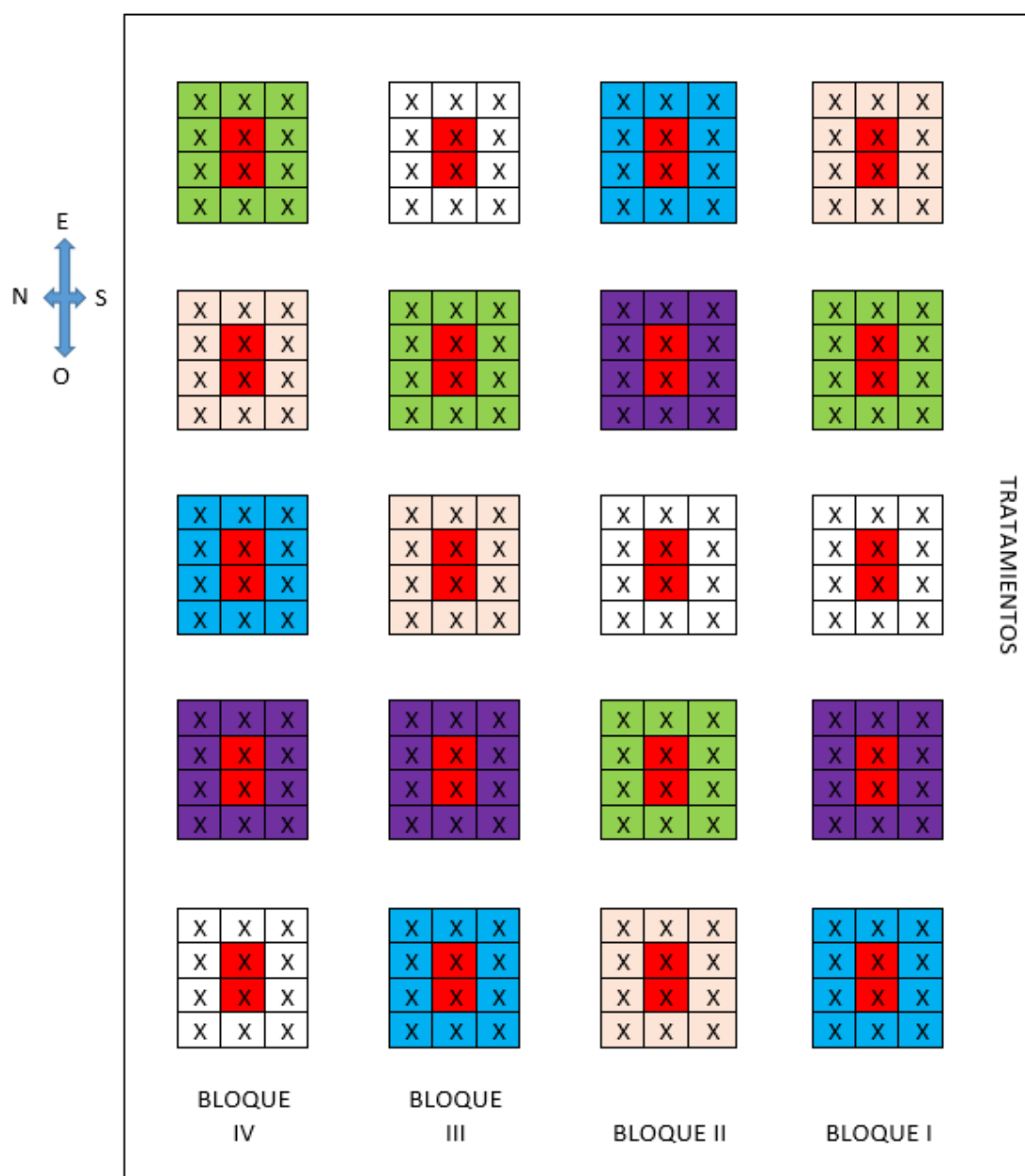
INFORME DE ANALISIS ESPECIAL EN FOLIAR

SOLICITANTE : COOPERATIVA AGROINDUSTRIAL CACAO ALTO HUALLAGA
PROCEDENCIA : HUANUCO/LEONCIO PRADO/RUPA RUPA
MUESTRA : GRANOS DE CACAO
REFERENCIA : H.R. 57366
FACTURA : 102
FECHA : 06/02/2017

N. Lab.	CLAVE DE CAMPO	Pb ppm	Cd ppm
211	PITEIC-01	3.33	1.37
212	PITEIC-02	2.01	0.61
213	PITEIC-03	3.04	0.38
214	PITEIC-04	1.05	1.25
215	PITEIC-05	2.61	0.52
216	PITEIC-06	2.20	0.18
217	PITEIC-07	1.84	0.91
218	PITEIC-08	2.32	0.30
219	PITEIC-09	2.52	0.30
220	PITEIC-10	1.34	1.72
221	PITEIC-11	0.80	0.43
222	PITEIC-12	1.87	0.20
223	PITEIC-13	1.62	6.70
224	PITEIC-14	1.35	0.18
225	PITEIC-15	1.44	0.70
226	PITEIC-16	0.80	1.52
227	PITEIC-17	1.26	0.42

Dr. Sady García Bendejú
Jefe de Laboratorio

Figura 16. Contenido de cadmio inicial en el grano de cacao (PITEIC-04)



LEYENDA	
	TESTIGO
	TRATAMIENTO 1
	TRATAMIENTO 2
	TRATAMIENTO 3
	TRATAMIENTO 4
X	plantas por tratamiento
X	planta neta a evaluar

Figura 17. Croquis del experimento en campo