

**UNIVERSIDAD NACIONAL AGRARIA DE LA SELVA
FACULTAD DE RECURSOS NATURALES RENOVABLES
ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA EN
RECURSOS NATURALES RENOVABLES**



TESIS

**USO DE ENMIENDAS PARA LA REDUCCIÓN DEL
CONTENIDO DE CADMIO EN LOS GRANOS DE CACAO
ORGÁNICO EN LA PARCELA DE LA COOPERATIVA
AGRARIA INDUSTRIAL NARANJILLO.**

Para obtener el título profesional de

**INGENIERO EN RECURSOS NATURALES RENOVABLES,
MENCION: CONSERVACIÓN DE SUELOS Y AGUA**

Elaborado por

SANTAMARIA TUANAMA, Sandra Vanessa

Tingo María – Perú

2019



UNIVERSIDAD NACIONAL AGRARIA DE LA SELVA
Tingo María – Perú



FACULTAD DE RECURSOS NATURALES RENOVABLES

ACTA DE SUSTENTACIÓN DE TESIS

Los que suscriben, Miembros del Jurado de Tesis, reunidos con fecha 16 de Enero del 2019, a horas 6:00 p.m. en la Sala de Sesiones del Departamento Académico de Ciencias en Conservación de Suelos y Agua de la Facultad de Recursos Naturales Renovables de la Universidad Nacional Agraria de la Selva, para calificar la Tesis titulada:

USO DE ENMIENDAS PARA LA REDUCCION DEL CONTENIO DE CADMIO EN LOS GRANOS DE CACAO ORGÁNICO EN LA PARCELA DE LA COOPERATIVA AGRARIA INDUSTRIAL NARANJILLO

Presentado por la Bachiller: **SANDRA VANESSA SANTAMARIA TUANAMA**, después de haber escuchado la sustentación y las respuestas a las interrogantes formuladas por el Jurado, se declara aprobado con el calificativo de **“BUENO”**

En consecuencia, la sustentante queda apta para optar el Título de **INGENIERO EN RECURSOS NATURALES RENOVABLES**, mención **CONSERVACIÓN DE SUELOS Y AGUA**, que será aprobado por el Consejo de Facultad, tramitándolo al Consejo Universitario para el otorgamiento del Título correspondiente.

Tingo María, 06 de Noviembre del 2019

Ing. MSc. **JOSÉ LÉVANO CRISÓSTOMO**
PRESIDENTE

Dr. LUCIO MANRIQUE DE LARA SUAREZ
MIEMBRO

Dr. WILFREDO ALVA VALDIVIEZO
MIEMBRO

Dr. HUGO ALFREDO HUAMANI YUPANQUI
ASESOR



ÍNDICE GENERAL

	Página
I. INTRODUCCIÓN.....	1
II. REVISIÓN DE LITERATURA	4
2.1. Generalidades del cultivo del cacao.....	4
2.1.1. Origen del cacao	4
2.1.2. Condiciones climáticas para el cultivo del cacao.....	5
2.1.3. Requerimiento de suelos para el cultivo del cacao	7
2.2. El cadmio (Cd)	9
2.2.1. Cadmio en el ambiente	10
2.2.2. El cadmio en los suelos.....	11
2.2.3. El Cd en las plantas	14
2.3. Enmiendas orgánicas.....	16
2.3.1. Dolomita	16
2.3.2. Roca fosfórica	17
2.3.3. Zeolita.....	19
2.3.4. Bocashi.....	20
2.4. Efecto de las enmiendas orgánicas sobre las propiedades físico- químicas y metales pesados del suelo.....	21
III. MATERIALES Y MÉTODO.....	24
3.1. Zona de estudio	24
3.1.1. Ubicación de los campos.....	24
3.1.2. Ubicación geográfica.....	24

4.1.3.	Análisis de varianza y prueba de Duncan para variables de cadmio disponible en suelo y cadmio total en granos de cacao.....	40
4.2.	Análisis de suelos del sector Santa Elena.....	41
4.2.1.	Análisis físico-químico del suelo.....	41
4.2.2.	Análisis de cadmio disponible en suelo y cadmio total en granos de cacao.....	44
4.2.3.	Análisis de varianza y prueba de Duncan para variables de cadmio disponible en suelo y cadmio total en granos de cacao.....	47
4.3.	Coeficiente de correlación de Pearson de las características del suelo con el contenido de cadmio en granos de cacao.....	48
V.	DISCUSIONES.....	49
VI.	CONCLUSIONES.....	59
VII.	RECOMENDACIONES.....	60
VIII.	RESUMEN.....	61
IX.	ABSTRACT	62
X.	REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS	63
XI.	ANEXO	70

ÍNDICE DE CUADROS

Cuadro		Páginas
1.	Coordenadas de las parcelas evaluadas	24
2.	Descripción de los tratamientos en estudio	28
3.	Análisis de varianza por parcela.....	29
4.	Análisis físico-químico de suelos del sector Santa Rosa de Megote	35
5.	Análisis de cadmio disponible en suelo y cadmio total en granos de cacao (Santa Rosa de Megote).....	37
6.	Cuadrados medios del Análisis de varianza ($\alpha = 0.05$) de cadmio disponible en suelo y cadmio total en granos de cacao (Santa Rosa de Megote).....	40
7.	Análisis físico-químico de suelos de - Santa Elena.....	42
8.	Análisis de cadmio disponible en suelo y cadmio total en granos de cacao del sector Santa Elena.....	45
9.	Cuadrados medios del Análisis de varianza ($\alpha = 0.05$) de cadmio disponible en suelo y cadmio total en granos de cacao (Santa Elena).....	47
10.	Correlaciones de Pearson de las localidades de Santa Rosa de Megote y Santa Elena.....	48
11.	Datos generales del análisis físico químico del suelo sector Santa Rosa de Megote	71
12.	Datos generales del análisis físico químico del suelo sector Santa Elena	72

13. Análisis de Duncan ($\alpha = 0.05$) para cadmio disponible en suelo y cadmio total en granos de cacao del sector Santa Rosa de Megote 73
14. Análisis de Duncan ($\alpha = 0.05$) para cadmio disponible en suelo y cadmio total en granos de cacao del sector Santa Elena..... 73

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura		Página
1.	Mapa de ubicación de las parcelas en estudio.....	25
2.	Cadmio disponible en suelos del sector Santa Rosa De Megote.....	38
3.	Cadmio total en granos de cacao del sector Santa Rosa de Megote.	39
4.	Cadmio disponible en suelos por tratamiento (Santa Elena).....	46
5.	Cadmio total en granos de cacao en cada tratamiento (Santa Elena).....	46
6.	Con la sr. Dávila Maldonado Pura, propietaria de la parcela Santa Rosa de Megote, distrito de Nuevo Progreso.....	74
7.	Entrega de enmiendas en la parcela Santa Rosa de Megote, distrito de Nuevo Progreso.....	74
8.	Con la sr. Acuña Trujillo Cesar, propietaria de la parcela Santa Elena, distrito de Uchiza.....	75
9.	Entrega de enmiendas en la parcela Santa Elena, distrito de Uchiza	75
10.	Pesado de bocashi.....	76
11.	Pesado de Dolomita, Zeolita y Roca fosforica.....	76
12.	Rotulación de tratamientos.....	77
13.	Ubicación de los tratamientos	77
14.	Ubicación de las enmiendas según los tratamientos/bloque.....	78

15.	Aplicación de las enmiendas bajo la proyección de la copa del árbol de cacao. Santa Rosa de Megote.	78
16.	Aplicación de las enmiendas bajo la proyección de la copa del árbol Santa Elena.....	79
17.	Muestra de aplicación del tratamiento T8.....	79
18.	Recolección de almendras de cacao fresco	80
19.	Muestras de cacao por cada tratamiento	80

I. INTRODUCCIÓN

El cadmio (Cd) es un metal pesado que se asocia a distintos problemas que afectan gravemente a la salud de las personas, se reportó en los últimos años un crecimiento continuo en el nivel de Cd en las tierras agrícolas, debiéndose a la contaminación en trópico o pedogenica. Este crecimiento ha generado inquietud con el medio ambiente por su movilidad y lo fácil que puede ser absorbido por la vegetación. La presencia de metales pesados en los cultivos de cacao se ha convertido en una difícil situación para los agricultores, porque el cacao orgánico se encuentra entre las más importantes actividades que producen en la provincia de Leoncio Prado – Huánuco, siendo muchas familias las que necesitan para solventarse económicamente. El principal mercado de este cultivo exportación de cacao orgánico lo constituye el mercado europeo y Estados Unidos, estos países presentan estándares para permitir el ingreso a su territorio de todo producto agrícola, entre ellas el cacao y sus derivados, debido a investigaciones en otros países, se ha descubierto la presencia de metales pesados en granos de cacao, destacando cantidades importantes de Cd en las granos, los resultados obtenidos exceden a lo que permite la FAO/OMS, el cual determina que la cantidad de metal pesado en chocolate no debe ser mayor a 0.1 mg Cd/Kg, por lo que su comercio puede ser afectado en la provincia. EL Cd es un metal pesado divalente, que cuando

se incorpora a algún alimento, puede generar ciertos problemas de salud en las personas. Consecuentemente, la comercialización del cacao puede limitarse a los mercados extranjeros, lo que afecta a la economía del sector, por esta razón se han realizado diversas investigaciones para lograr disminuir el ingreso del Cd en las plantas. “Una forma es el control químico del Cd en la tierra, a través de la alcalinización de la tierra se precipita el Cd, no solo como carbonato, igualmente con el fosfato y enmiendas, además el efecto competitivo del Ca^2 y las consecuencias fisiológicas y químicas de un incremento de pH del suelo disminuyen la absorción de Cd por las raíces del cultivo (MORTVECT *et al.*, 1996). Las reacciones del Cd con cada componente del suelo dependerán de factores tales como la textura del suelo, el pH, el clima, las prácticas de manejo y las fuentes de origen del Cd” (MA, I. Q.; F. TANG y W.G. HARRIS, 1997), es de ahí donde sale lo importante que es realizar estudios que brinden solución al problema de la tierra con altos niveles de Cd. En este trabajo se evaluó el efecto que tiene las enmiendas para la reducción del contenido de Cd en granos de cacao en la Cooperativa Agraria Industrial de Naranjillo.

Objetivo general

Determinar el efecto de las diferentes enmiendas (dolomita, bocashi, roca fósforo y zeolita) en la disminución de Cd en granos de cacao en la parcela de los agricultores de la Cooperativa Agraria Industrial Naranjillo.

Objetivos específicos

- Determinar las variaciones físicas, químicas del suelo por la aplicación de las diferentes enmiendas
- Determinar el contenido de Cd en los granos de cacao por efecto de la aplicación de las diferentes enmiendas
- Determinar mejor dosis y fuente de enmiendas en la disminución de Cd en granos de cacao.
- Determinar la correlación de las características del suelo con el contenido de Cd en los granos de cacao

II. REVISIÓN DE LITERATURA

2.1. Generalidades del cultivo del cacao.

En el Perú, se puede encontrar una gran variedad de genotipos de cacao con propiedades agronómicas que están muy por encima, que provienen del cruce de criollos, trinitarios y amazónicos, no obstante, la potencialidad que tiene disminuye por el mal manejo, el cual puede solucionarse con técnicas de manejo integrado. (ENRÍQUEZ, 1985).

2.1.1. Origen del cacao

Es la tierra natal de la cuenca del Amazonas (ríos Caquetá, Ñapo, Putumayo y Amazonas), limítrofe con Brasil, Ecuador y Colombia, y ha encontrado la mayor diversidad genética de la especie de cacao (*Theobroma*). Pasando por el Orinoco y los Andes, se extendió a la parte norte del continente africano (granos de cacao criollos y frijoles blancos, luego a través del Amazonas y el Océano Atlántico, al noreste de Brasil y África Occidental (granos de cacao). La interacción natural entre los extranjeros amazónicos y los criollos ha dado lugar al cacao de Trinidad, que se ha distribuido por toda la tierra. (ADRIAZOLA, 1991).

2.1.2. Condiciones climáticas para el cultivo del cacao

Para lograr que crezca, se desarrolle y obtener una producción muy buena de cacao, se tiene que relacionar con el medio ambiente en donde se cultivara. Entonces el clima llega a influir en las plantaciones, por lo que la humedad y condición térmica deben favorecer al cultivo, ya que es un tipo de planta perenne y que en su tiempo floración, brotamiento y cosecha se encuentran regulados por los factores climáticos, permitiendo establecer una relación para los calendarios agro – climáticos. Los factores que han mostrado ser más importante para el cultivo son:

- **Precipitación.** La planta de cacao necesita suficiente agua para realizar su proceso metabólico. En general, las precipitaciones son el factor climático más variable durante el año. La distribución de un área a otra es muy diferente, lo cual es un factor que determina la diferencia en el manejo del cultivo. La precipitación óptima para el cacao es de 1.600 a 2.500 mm. Distribución todo el año. La precipitación supera los 2.600 mm. Afectará el rendimiento de los cultivos de cacao.
- **Temperatura.** Por su relación con el desarrollo, floración y fructificación de los cultivos de cacao, tiene una alta correlación. La temperatura media anual debería rondar los 25 ° C. El efecto de la baja temperatura se manifiesta en la velocidad del crecimiento vegetativo, el desarrollo del fruto y el grado de intensidad de la floración (menor intensidad). "De igual manera, controla el movimiento de las raíces y brotes de las plantas. La temperatura para la siembra del cacao debe estar entre los siguientes valores: -mínimo 23 ° C-

máximo 32 ° C-óptimo 25 ° C. La temperatura extrema define la altitud y latitud de la plantación de cacao. La absorción de agua y nutrientes por las raíces de la planta de cacao está regulada por la temperatura. Un aspecto a considerar es que cuando la temperatura es inferior a 15 ° C, la actividad del sistema radicular disminuirá. Por otro lado, las altas temperaturas afectarán las raíces superficiales de las plantas de cacao y limitarán su capacidad de absorción, por lo que se recomienda utilizar las camas existentes para proteger el suelo. Asimismo, por la presencia de temperatura y humedad, la rápida descomposición de la materia orgánica en el suelo por oxidación depende de la temperatura.

- **Viento.** A través de este factor se logra determinar la velocidad en que el agua se evapotranspiración en la superficie del suelo y de la planta. Las plantaciones que se encuentran expuestas a vientos de gran intensidad generan la defoliación. En lugares donde hay poco sombra y en donde el viento puede llegar a velocidades de 4 m/seg., se puede ver frecuentemente grandes defoliaciones. A comparación de regiones en donde el viento llega de 1 a 2 m/seg. No se presenta este problema.
- **Altitud.** El cacao llega a crecer con buen estado en los lugares tropicales, en donde su cultivo puede llegar solo a los 800 msnm. No obstante, en latitudes que se encuentran cerca al ecuador, se han logrado cultivar en una altitud de 1,000 msnm hasta los 1,400. Entonces, la altitud no viene a ser un factor tan importante como el factor climático y edafológico en la producción de cacao, siendo algo secundario. (PAREDES, 2003).

2.1.3. Requerimiento de suelos para el cultivo del cacao

Para lograr que el cacao crezca y produzca favorablemente no solo dependerá de condiciones químicas y físicas buenas durante los iniciales 30 cm. de profundidad del suelo, encontrándose la mayor cantidad de raíces fisiológicas que se encargan de absorber los nutrientes y el agua y; también depende de la condición química y física en la que se encuentra el horizonte o la capa inferior de la tierra, permitiendo una mejor fijación y que crezca sin alguna restricción de la raíz, para que alcance hasta 1.5 m de profundidad, si la condición del suelo lo permite. Son más apropiados los suelos profundos con subsuelo permeable, franco y aluviales. (PAREDES, 2003).

No se recomienda los suelos arenosos ya que la retención del agua es muy baja lo que impide satisfacer la cantidad de agua que requiere la planta. La tierra con un color negrozco en su mayor parte es mejor por que se encuentran menos lixiviados. También debe tener un subsuelo con una buena profundidad y que pueda ser penetrado fácilmente por la raíz pivotante. Se determina la cantidad del agua que puede almacenarse por la profundidad del suelo además la planta debe tener acceso al agua. En los lugares que presentan precipitaciones mayores a 3,000 mm., debe considerarse una de 1.00 m., para asegurar que la planta se fije de forma estable, también debe presentar un adecuado suministro de agua para las raíces. Pero, en las regiones en donde se presentan sequías largas, debe tomarse

en cuenta una profundidad de 1.5m como mínimo, para que el suministro de agua sea mayor.

- **Drenaje.** Depende del clima, la topografía del área, la sensibilidad del área a las inundaciones y la capacidad inherente del suelo para mantener suficiente retención de agua y aireación. Debido a la disposición de las texturas en el perfil del suelo, existe un problema de drenaje interno. Cuando hay una textura arcillosa en el subsuelo, no permitirán que el agua se mueva rápidamente, dando lugar a un proceso redox que hace que aparezcan manchas.
- **pH del suelo.** Es una de las características más importantes del suelo porque ayuda a regular la velocidad de descomposición de la materia orgánica y el suministro de nutrientes. Cuando el pH está en el rango de 6.0 a 6.5, el cacao crece de manera eficiente. Se puede obtener un buen rendimiento. Sin embargo, también es aplicable al rango extremo de ácido a alcalino, cuyo valor está en el rango de pH 4,5. En estos suelos, cuando el pH es tan alto como 8.5 (rendimiento disminuido o muy insuficiente), se deben tomar medidas correctivas.
- **Materia orgánica.** Este elemento llega a favorecer la nutrición del suelo, además llegar a influir en los ambientes físicos y biológicos de la plantación. También llega a favorecer la contextura de la tierra, lo que posibilita que se desintegre fácilmente, así mismo, impide que se desintegre los gránulos del suelo a casusa de la lluvia. Otro punto importante es que establece el alimento de los microelementos de la tierra, los cuales participan de manera activa

cuando se forma y desarrolla el suelo. Cuando se descompone la materia orgánica se llega a obtener el humus que compone un depósito de magnesio, potasio y calcio. (PAREDES, 2003).

2.2. El cadmio (Cd)

El Cd es un metal en el grupo IIB de la tabla periódica con un peso atómico de 48; la forma iónica de Cd (Cd^{2+}) generalmente se asocia con oxígeno (óxido de Cd, CdO_2), cloruro (cloruro de Cd, CdCl_2) o sulfuro (Cd CdSO_4 sulfato). Se estima que cada año se liberan 300.000 toneladas de Cd al medio ambiente, de las cuales 4.000 a 13.000 toneladas son de actividades humanas, su densidad es de 8.642 g/cm^3 y su vapor es 3,88 veces más pesado que el aire. Su presión de vapor es relativamente alta, por lo que es fácil de transformar en estado de vapor y oxidarse rápidamente en este estado para generar óxido de Cd que queda en el aire. (NAVA *et al.*, 2011). El cadmio es uno de los principales venenos relacionados con la contaminación ambiental e industrial, porque reúne las cuatro características más preocupantes de las toxinas: efectos adversos sobre las personas y el medio ambiente, bioacumulación, persistencia en el medio ambiente y movimiento con el viento. El sulfuro de cadmio es un subproducto del tratamiento metalúrgico de zinc y plomo en vías fluviales. Durante este proceso, se forma óxido de cadmio, que es un compuesto altamente tóxico. Además de contaminar el medio ambiente por la fundición y el refinado, también lo está debido a sus diversas aplicaciones industriales. Los principales usos y aplicaciones del Cd o sus compuestos son: como pigmento en pinturas, esmaltes, plásticos, textiles, vidrio,

tintas de imprenta, caucho y barnices; formando aleaciones con cobre, aluminio y plata; en la producción de cadmio-níquel. baterías; estabilizador para termoplásticos como PVC; en el proceso de fotografía, litografía y grabado; como material de refuerzo para ruedas y neumáticos de automóviles; en la fabricación de fotoconductores y células solares fotovoltaicas; galvanoplastia; en la fabricación de dispositivos de control de reactores nucleares (RAMÍREZ, 2002).

El Cd es un metal pesado que no se considera esencial y hay poca de ella en la superficie de la tierra, pero, en los últimos años ha aumentado su cantidad en el suelo, esto se debe a actividades antropogénicas. El suelo se ha contaminado con cadmio debido al transporte, movilidad y por la distribución de este metal en torno a la tierra. Se describe esta dinámica del metal a través de procesos de desorción y absorción la cual depende de la forma química del metal y de las propiedades químicas y físicas del suelo, que se atribuyen a los componentes del cadmio, como en un área superficial, una superficie altamente reactiva, presencia de ligandos inorgánicos y orgánicos que son resultados de la desintegración de la materia orgánica, de igual forma el pH y el fósforo que se encuentra presente. (Sánchez, 2001; citado por RAMÍREZ, 2002). El Cd no es primordial y hay en baja cantidad en la corteza de la tierra y a baja densidad resulta ser tóxico para los organismos vivos. (Pinto *et al.*, 2014; citado por RAMÍREZ, 2002)

2.2.1. Cadmio en el ambiente

En el medio ambiente, el Cd es un elemento extraño incierto en la litosfera. Debido a la similitud química, se puede encontrar en una relación muy variable con el Zn. Los principales contaminantes son: minería y metalurgia de metales no ferrosos, metalurgia del hierro y el acero, producción de fertilizantes fosfatados, incineración de residuos de madera, carbón o "plásticos", quema de petróleo y gasolina y aplicación industrial de cadmio. El contenido de cadmio en el aire en las áreas industriales es de 9.1 a 26.7 $\mu\text{g} / \text{m}^3$, mientras que en las áreas rurales es de 0.1 a 6 ng / m^3 . El tiempo de residencia del Cd en el suelo es de hasta 300 años y el 90% permanece sin cambios. El cadmio llega al suelo de las tierras agrícolas a través de deposición aérea (41%), fertilizante fosfatado (54%) y fertilizante (5%), y en Perú, a menudo ingresa al suelo a través de desechos líquidos y aguas residuales sólidas de plantas hidrometalúrgicas de cadmio. Encontramos que en el suelo contaminado, el contenido de Cd alcanza el valor más alto de 1 mg Cd/g y el agua de río contaminada contiene Cd hasta 0.14 mg por litro. (RAMÍREZ, 2002).

2.2.2. El cadmio en los suelos

El contenido promedio de cadmio en el suelo se encuentra entre 0.07 y 1.1 $\text{mg} \cdot \text{kg}^{-1}$, y el contenido de trona no supera los 0.5 $\text{mg} / \text{Kg}^{-1}$ (KABATA-PENDÍAS y PENDÍAS, 1984). El contenido de Cd en algunos suelos puede aumentar debido a los elementos de las rocas que forman las rocas. Una de las formas de incorporar Cd al suelo agrícola es el fertilizante fosfatado. La roca es la materia prima de todos los fertilizantes fosfatados y su contenido de metales pesados varía según el origen geográfico, pero suele ser superior al contenido medio de la corteza terrestre. La

proporción de metales en los fertilizantes industriales sigue siendo alta y posteriormente se aplica al suelo junto con el fósforo. (CHARTER *et al.*, 1993; MERMUT *et al.*, 1996; MORTVEDT, 1996; GABE y RODELLA, 1999). Las actividades mineras, las fundiciones de metales y las plantas de incineración producen cadmio en forma de polvo y vapor en el aire, que es una fuente más importante de contaminación por cadmio en el área local y tiene una menor incidencia en los suelos agrícolas. (FLORES y MARTINS, 1997) y se ha encontrado un mayor contenido de Cd en suelos urbanos y cerca de carreteras con mucho tráfico. (LAVADO *et al.*, 1998; ANDRA-DESRODRÍGUEZ *et al.*, 2000). El Cd artificial que normalmente existe en la capa superficial es más fácil de obtener que el Cd en el proceso de erosión de las rocas, pero la absorción de Cd por las plantas depende de los factores del suelo y del cultivo. Aquellos factores y condiciones del suelo que favorecen la migración de elementos también promoverán la absorción de elementos por las plantas, y aquellos factores y condiciones del suelo que conduzcan a la retención de la matriz del suelo reducirán la utilización de elementos. Generalmente, cuanto más alto es el pH del suelo, mayor es la retención de Cd. Hay muchas razones para esto, incluidas las especies con menor densidad de carga negativa debido a la combinación de iones metálicos con iones OH⁻ y iones OH⁻. La carga negativa en la superficie de los óxidos u otros materiales de carga variable que pueden adsorber iones metálicos aumenta (PARDO y GUADALIX, 1995; NAIDU *et al.*, 1997; PARDO, 1997; WU *et al.*, 2000). La presencia de carbonato también ayuda a retener el Cd en una forma que casi no está

disponible para las plantas. (CALA *et al.*, 1997; HOODA y ALLOWAY, 1998; GARCÍA *et al.*, 2000).

La mineralogía del suelo puede afectar la distribución de cadmio por las plantas. Aquellos compuestos que tienen una gran capacidad de intercambio catiónico por sus sustancias parentales o por sus efectos promotores del crecimiento tendrán una alta capacidad de almacenamiento de cadmio. La mayor parte del cadmio presente en el suelo sigue el orden de su evolución natural y se presenta en el suelo. Valor menor. Evoluciona más suelo, pH ácido, CIC mínima y textura más espesa (HOLMGREN *et al.*, 1993; MA *et al.*, 1997). La materia orgánica puede tener el efecto contrario sobre el uso de cadmio, la parte soluble puede formar un complejo de cadmio, promover su migración en el suelo y facilitar a las plantas el uso de metales durante la mineralización. La fracción orgánica más estable tiene una resistencia más fuerte a la mineralización y generalmente puede contener metales pesados, especialmente Cd, en una forma que no está disponible para las plantas. La contradicción en la disponibilidad de materia orgánica y metales pesados se refleja en la existencia de dos hipótesis, ambas sustentadas en resultados experimentales, y estas dos hipótesis inciden en la aplicación de lodos residuales en suelos agrícolas (MCGRATH *et al.*, 2000).

Reacciones en donde se ocasionen resultados ácidos en los suelos o donde se disminuya pH de éste, lo que favorece la disposición del Cd, lo que puede suceder cuando se utilizan ciertas enmiendas y fertilizantes, en donde se incorpora

materia orgánica cuando comienza las fases de desintegración o cuando se aplique las prácticas de manejo. De acuerdo con los estándares de calidad del suelo agrícola de las "Directrices de protección ambiental" de la Comunidad Europea (Guía de protección ambiental, 1995) los niveles de Cd disponible es de $0,8 \text{ mg kg}^{-1}$ (SUBERO, 2013)

2.2.3. El Cd en las plantas

Las sustancias ácidas producidas en la rizosfera pueden favorecer la absorción de Cd por parte de las plantas. Los exudados de las raíces, especialmente los ácidos carboxílicos, aumentan la absorción de Cd (NIGAM et al., 2001). Dado que es un metal no esencial, se asume que no existe un mecanismo de entrada de Cd específico. Entre las proteínas responsables de la entrada de Cd en las células, cabe destacar que las proteínas transportadoras de calcio específicas LCT1 e IRT1 pertenecen a la familia de transportadores de Zn y Fe (ZIP). Otra familia que involucra transportadores es Nramp, que se encuentra en la membrana vacuolar, por lo que puede desempeñar un papel en la movilización de metales, más que en su entrada a las raíces. Una vez dentro de la célula, el Cd puede coordinarse con ligandos S (como glutatión (GSH) o fitoquelatina (PC)) y ácidos orgánicos (como citrato). Otras posibles moléculas que causan la quelación del Cd son pequeñas proteínas ricas en cisteína llamadas metalotioneínas (MT). De esta forma, el complejo Cd-ligando puede ser transportado al interior de la vacuola u otras células (RODRÍGUEZ et al., 2008). En las leguminosas, las características ácidas del proceso de fijación simbiótica de nitrógeno promueven la absorción de

Cd (IRETSKAYA y CHIEN, 1999). Los factores de la planta que pueden afectar la absorción de cadmio incluyen las especies, la edad y el desarrollo de las raíces. Algunos cultivos (como la lechuga, la espinaca y el rábano) se consideran muy absorbentes, mientras que otros cultivos (como el trigo, el arroz, la avena y el trébol) absorben muy poco cadmio (FERGUSON, 1990). La concentración de Cd en los tejidos vegetales puede ser varias veces mayor que la concentración de Cd en el suelo. En plantas de lechuga (materia seca) se han determinado valores de concentración de hasta 16 veces la concentración en el suelo (LEHOCZKY et al., 2000). La concentración de cadmio varía en diferentes partes de la fábrica. Por lo general, el orden es: raíz > tallo > hoja > fruto > semilla (FERGUSON, 1990; JINADASA et al., 1997; NIGAM et al., 2001). Sin embargo, la proporción variará según la especie e incluso el período de crecimiento (CIESLINSKI et al., 1996). El cadmio no tiene funciones fisiológicas conocidas en las plantas, su presencia en el suelo limita la absorción y transporte de otros elementos en las plantas, estos elementos también forman iones divalentes, como calcio, magnesio, zinc, hierro y manganeso (SMILDE *et al.*, 1992; OLIVER, *et al.*, 1994; GUPTA y GUPTA, 1998; LLAMAS *et al.*, 2000). En el interior de la planta, interfiere con el proceso de respiración y fotosíntesis, y se combina con el azufre de esta enzima presente en su composición, y provoca el proceso de estrés oxidativo, que provoca el daño celular en los tejidos, que se caracteriza por aumentar la concentración sustancias químicas, como peróxido de hidrógeno (H₂O₂), iones de peróxido de hidrógeno (O₂⁻) e hidróxido (OH⁻) y radicales libres (LAGRIFFOUL et al., 1998). Aunque el síntoma principal de la contaminación por Cd es la disminución del crecimiento de

las plantas, dependiendo de la sensibilidad de la especie, también pueden presentarse otros síntomas, como clorosis, hojas arrugadas y marrón rojizo (FERGUSON, 1990).

Las plantas que toleran el Cd, presentan los síntomas cuando están expuestas a altas concentraciones del Cd, siendo posible que se comercialice ciertos vegetales con elevadas concentraciones de Cd que se permiten en alimentos, como insumos que parecen tener buena calidad (KABATA-PENDÍAS y PENDÍAS, 1984; WAGNER, 1995). Según la "Ley de metales pesados" de Australia y Nueva Zelanda, el contenido máximo de Cd de los productos de chocolate y cacao es de 0,5 mg / kg. BARRUETA, (2013). Según los estándares de la FAO / OMS (2007). El contenido máximo de cereales de popa es de 0,5 mg / kg (SUBERO, 2013)

2.3. Enmiendas orgánicas

Llegan a variar en su composición química en base al proceso que se elabora, duración del proceso, actividad biológica y según los materiales que se usan. Se utiliza el abono orgánico para mejorar resultados y obtener suelos agrícolas fértiles. (PÉREZ *et al.*, 2008)

2.3.1. Dolomita

La dolomita, o caliza de magnesio, es un carbonato doble de calcio y magnesio, su fórmula química es $\text{CaMg}(\text{CO}_3)_2$, el material contiene Ca y Mg

(HUERTA 2011). La dolomita es un mineral bastante común en las rocas sedimentarias continentales y marinas, se puede encontrar en capas de cientos de metros y es uno de los minerales más distribuidos en las rocas sedimentarias carbonatadas. Está formado por la acción del agua rica en magnesio sobre depósitos calcáreos, en los que el calcio es reemplazado gradualmente por magnesio. Este proceso se llama dolomitización. La dolomita existe principalmente como un mineral esencial en la roca sedimentaria () y su equivalente metamórfico (mármol dolomita). (FLORES y MARTINS, 1997). La cal mejora la respuesta a la aplicación de fertilizantes en suelos ácidos. Esto se debe principalmente a las mejores condiciones físicas y químicas del suelo después de la aplicación de dolomita, lo que proporciona un mejor ambiente para el desarrollo de las raíces. Una mejor exploración del suelo permite que las plantas absorban los nutrientes de los fertilizantes aplicados al suelo, lo que aumenta el rendimiento de los cultivos y la utilización de fertilizantes (ESPINOSA 1999).

2.3.2. Roca fosfórica

La principal fuente de Pi inorgánico que se puede encontrar en la naturaleza es la RP. Estos minerales se derivan del ácido ortofosfórico, que se conocen como apatita o apatitos. Cuando se saca la roca de la mina, es molido y se empaqueta para luego aplicarlas de manera directa en el suelo cultivado. Su nombre comercial roca fosfórica se usa como mínimo para 300 fosfatos de distintas calidades a nivel mundial. (Hammond y Day, 1992; citado por OSORNO, 2013).

La industria mundial de fertilizantes fosfatados se basa en la extracción de sedimentos de RP. A diferencia de otros productos como el hierro, el cobre y el azufre, los RP rara vez tienen la oportunidad de ser reemplazados o reciclados. En el comercio internacional, el peso total y la cantidad de minerales ocupan el segundo lugar entre los minerales (excluidos el carbón y los hidrocarburos) (Zapata y Roy, 2007; citado por OSORNO, 2013). La industria de los fertilizantes consume el 90% de la RP mundial y el 10% restante se utiliza en la industria de los suplementos para la alimentación animal y los detergentes (Hamond y Day, 1992; OSORNO, 2013). La roca fosfática, como fertilizante fosfatado, es fácilmente soluble y de bajas propiedades agronómicas, se utiliza como materia prima para la síntesis de fertilizantes altamente solubles, el principal problema de la aplicación directa de la roca fosfórica al suelo es su insolubilidad. Además, el bajo porcentaje soluble se fija en el suelo, pero es más económico que usar fertilizantes fosfatados solubles. Una ventaja de aplicar RP es que se considera un fertilizante verde o natural. Algunos autores informan que el uso de fertilizantes fosfatados solubles es una práctica costosa y afecta la diversidad microbiana del suelo (OSORNO, 2013). En los suelos agrícolas, las principales fuentes de cadmio son los fertilizantes fosfatados, la utilización de lodos y los residuos industriales (ALLOWAY, 1990; MCLAUGHLIN y SINGH, 1999). En cuanto al fertilizante fosfatado, la principal materia prima del fertilizante fosfatado es la roca fosfórica, que está compuesta principalmente por apatita, que además de fósforo tiene un contenido de fósforo entre 8 y 500 mg kg⁻¹ (LAEGREID et al., 1999). Por ejemplo, en Chile se ha determinado que la roca fosfórica de Bahía Inglesa

contiene aproximadamente 6 mg kg⁻¹ de cadmio (Valenzuela, 2001). Estudios recientes han demostrado que el contenido de cadmio en los fertilizantes vendidos en Brasil está entre 0,6 y 3,5 mg kg⁻¹ (GABE y RODELLA, 1999; PROCHNOW et al., 2001). En Estados Unidos, Australia y Nueva Zelanda se han realizado diversos estudios sobre la concentración de este elemento en fertilizantes y su acumulación en suelo y plantas (WILLIAMS y DAVID, 1973; CHARTER et al., 1993; LOGANATHAN et al., (1997; RAVEN y LOEPPERT, 1997) Todos estos estudios han demostrado que la aplicación repetida de fertilizante fosfatado aumentará el contenido de Cd en el suelo.

2.3.3. Zeolita

Las zeolitas son aluminosilicatos cristalinos hidratados, que pueden ser naturales o sintéticos. La reacción hidrotermal de silicio y rocas volcánicas ricas en álcalis es una zeolita natural formada por erupción volcánica. Los precursores geológicos indican que cuando la temperatura desciende bruscamente, la zeolita es producida por magma basáltico rico en SiO₂ (Smart, 1995; JIMENEZ citado, 2004). El término "zeolita" se usó originalmente para denotar una clase de minerales naturales que tienen propiedades especiales como el intercambio iónico y la deshidratación reversible del agua. La última característica dio lugar al nombre común de zeolita, que se deriva de las dos palabras griegas zeo (ebullición) y lithos: piedra. (Giannetto, 1990; citado por JIMENEZ, 2004). La aplicación industrial de la zeolita es el resultado de sus propiedades físicas y químicas. Muchas de estas propiedades son tan ventajosas que han llevado a la sustitución de zeolita por otros productos convencionales en muchos procesos industriales. Entre estas

características, podemos distinguir la adsorción, el intercambio iónico y la actividad catalítica como las más importantes. La capacidad de las zeolitas para intercambiar cationes las convierte en un medio excelente para estudiar los fenómenos de intercambio iónico, pero su importancia radica en que pueden cambiar sus propiedades de adsorción (cambiar el tamaño de los poros o la fuerza de interacción con el adsorbato) (GÓMEZ, 2001).

Estos minerales son los únicos absorbentes. El canal de entrada central y la cavidad de la zeolita están llenos de moléculas de agua, que forman una esfera hidratada que rodea a dos cationes intercambiables. Si se elimina el agua y el diámetro de la sección transversal de las moléculas es lo suficientemente pequeño como para permitirles pasar a través del canal de entrada, se absorben fácilmente en el canal de deshidratación y la cavidad central. Las moléculas muy grandes no pueden entrar en la cavidad central y son eliminadas, dando como resultado las características de los tamices moleculares, es decir, las características de la zeolita (FLORES y MARTINS, 1997).

2.3.4. Bocashi

Es un abono orgánico, compuesta por una gran cantidad de nutrientes que se necesitan para desarrollar los cultivos; son obtenidas de la fermentación de ciertos materiales secos que son mezclados de manera conveniente. Los nutrientes que son obtenidos de la fermentación de los materiales llegan a contener elementos menores y mayores, estos llegan a formar un abono completo superior a

comparación de fertilizantes químicos. Son usados para proveer de nutrientes que se requieren y convenientes al suelo, se absorben por las raíces de los cultivos para un desarrollo normal. Se debe utilizar la mayor diversidad posible de materiales, para que se garantice un mejor equilibrio en la nutrición del abono. Tiene la función de engordar la tierra y los microorganismos disponibles ponen a disposición los minerales para que sean utilizados por las plantas o a través de la erosión. Estos nutrientes son digeridos por las plantas y se ponen a disposición de las plantas, la cual ayuda el crecimiento de su raíz y follajes (FAO, 2011).

2.4. Efecto de las enmiendas orgánicas sobre las propiedades físico-químicas y metales pesados del suelo.

Cuando se incorporan al suelo, las enmiendas orgánicas actuarán como amortiguadores debido a la presencia de iones Ca^{+2} y sales alcalinas (Hernando, 1988; ENCARNACIÓN, 2013). Se incrementa la capacidad de intercambio catiónico de suelos tratados con modificadores orgánicos (Weber et al., 2007; ENCARNACIÓN, citado en 2013). La capacidad de intercambio catiónico es un atributo importante del suelo porque controla la utilización de los nutrientes de las plantas y los metales pesados. Interfiere con el proceso de floculación-dispersión de la arcilla y, por lo tanto, afecta la estructura y estabilidad del agregado. Determinar el papel del suelo como depurador natural, permitiendo la retención de contaminantes incorporados al suelo. Cualquier enmienda que pueda potenciar la formación de humus aumentará significativamente la capacidad de intercambio catiónico del suelo, porque la capacidad de intercambio catiónico del humus es de

3 a 6 veces mayor que la del suelo arcilloso (Harada e Inoko, 1975; citado por ENCARNACIÓN, 2013). Algunos autores han observado que la capacidad del suelo para retener cationes aumenta significativamente con la dosificación de materiales orgánicos (DÍAZ, 1992; LÓPEZ-PINEIRO et al., 2007, citado por ENCARNACIÓN, 2013). La parte orgánica más estable tiene una mayor resistencia a la mineralización y generalmente puede retener metales pesados, especialmente Cd, en forma inexistente. Sin embargo, la materia orgánica del suelo (MOS) puede tener el efecto contrario en la adsorción de este elemento, la parte soluble intenta complicarlo, promover su movilidad en el suelo y hacer que las plantas tengan mayores tasas de utilización a través de la mineralización (CLEMENTE y BERNAL, 2006). Los metales en la solución acuosa existen en diferentes especies químicas según el valor de pH de la solución. Por lo tanto, existe una fuerte dependencia entre el valor de pH de la solución y la disponibilidad del extracto metálico, que depende del tipo de suelo y tierra. Durante el cultivo, el mecanismo de adsorción es diferente. Los metales son sustancias eléctricamente positivas porque hacen que la superficie del coloide tenga carga positiva, lo que aumentará el número de cargas negativas para lograr la adsorción, que se promoverá en soluciones ácidas. En soluciones alcalinas, los metales pesados tienden a formar compuestos de hidroxilo y luego precipitar. La efectividad y movilidad del cadmio dependen del pH, la humedad, la materia orgánica, el tipo y la cantidad de arcilla, así como la cantidad de aplicación y la vida útil del fertilizante fosfatado (HUAYNATES, 2013). Su movilidad y disponibilidad dependen de los factores físicos, químicos y biológicos del suelo (ADRIANO, 2001). Por tanto, la investigación encaminada a reducir la disponibilidad de cadmio se basa

en las propiedades químicas propuestas por este tipo de enmiendas (FÉLIX *et al.*, 2008).

Al adicionar enmiendas orgánicas al sustrato, aumentaron la disponibilidad de los macronutrientes principales, como nitrógeno, fósforo y potasio; debido a su composición química. Las enmiendas orgánicas, tienen la capacidad de disminuir el efecto tóxico del metal por sus propiedades húmicas y ácidos orgánicos; este efecto aumenta la disponibilidad de los iones que se encuentran en la solución suelo y son absorbidos fácilmente por las plantas. Este efecto depende de las propiedades químicas y físicas de las enmiendas orgánicas, características del metal, características de resistencia y tolerancia de las plantas, propiedades físicas y químicas del suelo (AZPILICUETA *et al.*, 2010).

III. MATERIALES Y MÉTODO

3.1. Zona de estudio

3.1.1. Ubicación de los campos

El presente trabajo de investigación se realizó en dos parcelas de cacao adultos orgánicos pertenecientes a los agricultores socios de la Cooperativa Agraria Industrial de Naranjillo, ubicados a la margen izquierda del río Huallaga, formando parte de los Distritos de Uchiza y Nuevo Progreso de la Provincia de Tocache. Las referencias es que estas parcelas, contienen niveles altos de Cd total en granos, lo que motivo de que fueran seleccionadas. 2.157 ppm y 3.235 ppm

3.1.2. Ubicación geográfica

Cuadro 1. Coordenadas de las parcelas evaluadas

DATOS			Coordenadas
Distrito	Localidad	Propietario	
Nuevo Progreso	Santa Rosa de Megote	Dávila Maldonado, Pura	351477 E 9062606 N
Uchiza	Santa Elena	Acuña Trujillo, Cesar	343644 E 9077911 N

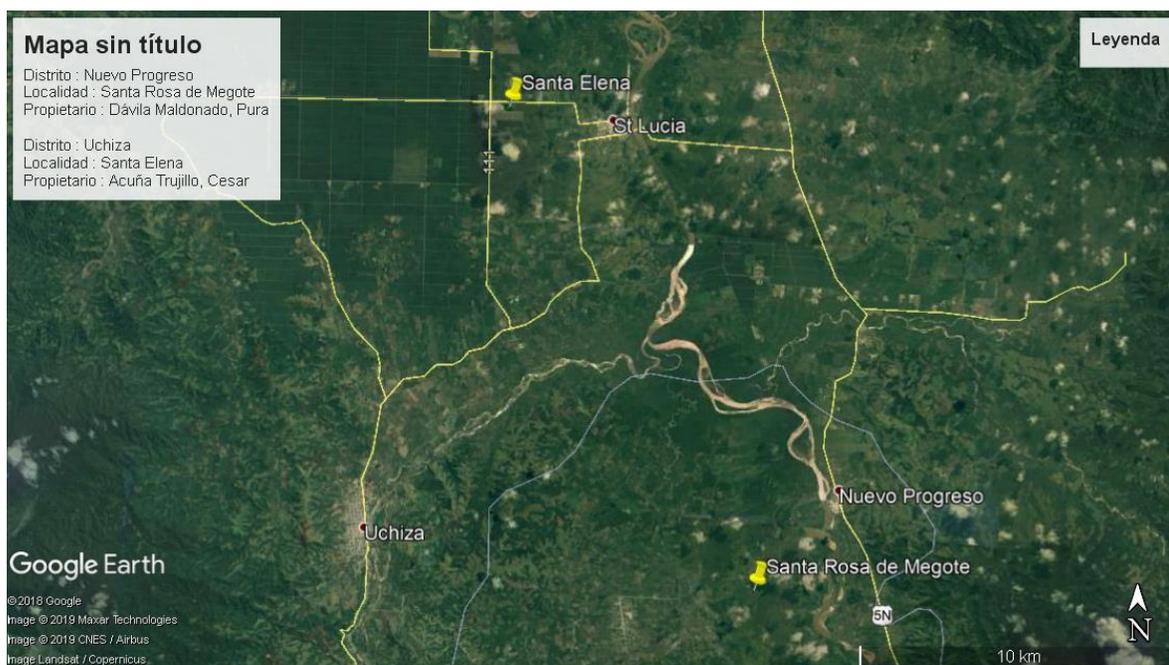


Figura 1. Mapa de ubicación de las parcelas en estudio.

3.1.3. Del cultivo

El trabajo de investigación se realizó en el cultivo de cacao (*Theobroma cacao* L) del clon CCN-51 bajo condiciones de cultivo orgánico en producción

3.1.4. Fisiografía y formación de los suelos.

La zona de estudio presenta una fisiografía planicie heterogena la misma que se caracteriza por presentar geo forma definida por el macro relieve y el macro clima con terraza baja inundable, terraza baja no inundable, terraza media y terrazas altas. Los suelos de esta parte del territorio, conformados por una llanura aluvial creciente de inundación, así como por niveles de terrazas que se determinan por la altura relativa con respecto al nivel del río.

3.1.5. Clima y temperatura

La condición climática es cálido tropical-húmedo, la temperatura oscila entre 38°C y 15°C, precipitación anual 3500 mm. Contándose con 05 meses de lluvia continuas con un promedio de H° de 85.5%

3.1.6. Materiales y equipos

- Material vegetativo

- Muestras de almendra de cacao

- Insumos

- Dolomita ($\text{CaMg}(\text{CO}_3)_2$)
- Materia orgánica (Bocashi)
- Roca fosfórica (P_2O_5)
- Zeolita (Orgánica)

- Materiales de campo

- Libreta de campo, wincha, bolsas plásticas, tela de tocuyo, etiquetas de identificación, machetes, pala, cuerdas de medición, lapicero indeleble, tijera de podar.

- Equipo

- Cámara digital, balanza digital, GPS, computadora

- **Reactivos**
 - Ácido Clorhídrico y EDTA 0.05M pH 7

3.2. Metodología

3.2.1. Componentes en estudio

- **Enmiendas orgánicas (A)**
 - a_1 = Dolomita ($\text{CaMg}(\text{CO}_3)_2$)
 - a_2 = Bocashi (Materia orgánica)
 - a_3 = Roca fosfórica (P_2O_5)
 - a_4 = Zeolita (Orgánica)

- **Dosis enmiendas orgánicas (B)**
 - b_1 0.9 kg/planta
 - b_2 4.5 kg/plantas
 - b_3 0.09 kg/plantas
 - b_4 0.540 kg/plantas

- **Testigo adicional**
 - Tierra agrícola

3.2.2. Tratamientos en estudio

Los tratamientos en estudio que fueron aplicados al suelo, son de fuente netamente orgánica de acuerdo a las bases de certificación que tiene la COOPAIN. Como: dolomita, bocashi, roca fosfórica y zeolita (cuadro 2)

Cuadro 2. Descripción de los tratamientos en estudio

Tratamientos	Descripción	
	Enmiendas	Dosis/planta (kg)
T ₁	Dolomita + Bocashi + Roca fosfórica + Zeolita	0.9 + 4.5 + 0.09 + 0.450
T ₂	Dolomita + Bocashi + Roca fosfórica	0.9 + 4.5 + 0.09
T ₃	Dolomita + Bocashi	0.9 + 9.0
T ₄	Dolomita + Roca fosfórica	0.9 + 0.09
T ₅	Dolomita + Zeolita	0.9 + 0.450
T ₆	Bocashi+ Roca fosfórica + Zeolita	4.50 + 0.09 + 0.450
T ₇	Bocashi + Zeolita	4.50 + 0.450
T ₈	Bocashi + Roca fosfórica	4.50 + 0.09
T ₉	Roca fosfórica + Zeolita	0.09 + 0.450
T ₁₀	Zeolita	0.450
T ₁₁	Bocashi	4.5
T ₁₂	Roca fosfórica	0.09
T ₁₃	Dolomita	1.35
T ₀	Testigo	0

3.2.3. Diseño experimental

Se empleo el Diseño de Bloques Completamente al Azar (DBCA), con catorce tratamientos con cuatro bloques; para comparar la diferencia entre promedios se utilizó la prueba de Duncan ($p < 0.05$). Con el siguiente modelo aditivo lineal:

$$Y_{ij} = \mu + T_i + \beta_j + \epsilon_{ij}$$

Donde:

- Y_{ij} = Es la respuesta obtenida en la unidad experimental correspondiente al j -ésimo bloque, sujeta la aplicación del i –ésimo tratamiento.
- μ = Es el efecto de la media general.
- T_i = Efecto del i –ésimo tratamiento.
- B_j = Efecto del j –ésimo bloque.
- ϵ_{ij} = Es el efecto aleatorio del error experimental obtenido en la unidad experimental correspondiente al j -ésimo bloque sujeta a la aplicación del i -ésimo tratamiento.

Para:

- $i = 0, 1, 2, 3, 4, 5, 6, 7, 8, 9, 10, 11, 12, 13$ Tratamientos.
- $j = 1, 2, 3, 4$ bloques o repeticiones.

3.2.4. Análisis de varianza (ANVA)

Para realizar el análisis de varianza se procederá de la siguiente manera (PADRON, 1996).

Cuadro 3. Análisis de varianza por parcela.

Fuentes Variación	GL
Tratamientos	3
Bloques	13
Error experimental	39
Total	55

3.3. Ejecución del experimento

3.3.1. Identificación de los tratamientos

Previo a la identificación de los tratamientos se realizó el desmalezado de los dos campos experimentales (Santa Rosa De Megote y Santa Lucia), utilizando para ello moto guadaña; asimismo, cada tratamiento fue identificado con platos planos de tecnopor (T₁/BI). Las enumeraciones fueron hasta el tratamiento catorce y bloque cuatro.

3.3.2. Aplicación de los tratamientos

La aplicación de los tratamientos se realizó debajo de la proyección de la copa del árbol de cacao, luego fueron tapados con abundante hojarasca con el apoyo de una pequeña horqueta de madera. Los tratamientos se aplicaron en una sola dosis.

3.3.3. Mantenimiento de la aplicación

Las plantaciones de cacao recibieron una poda de mantenimiento después de un mes de aplicación de las enmiendas, las podas fitosanitarias se realizaban mensual de manera cultural

3.3.4. Muestreo de granos de cacao

Se cosechó dos mazorcas de cacao por cada planta neta, maduras cada unidad experimental; la extracción de los granos se realizó utilizando un

machete sin filo, las muestras fueron codificadas y almacenadas en bolsas de tela de tocuyo de primer uso, según el tratamiento y bloque correspondiente. El muestreo del grano de cacao se llevó a cabo en la cosecha grande entre marzo y agosto, simultáneamente con el muestreo del suelo. Utilizando costales de yute, las muestras de cacao fueron secadas a través de radiación solar directa, hasta una humedad aproximada del 7%. A las muestras de cacao no se les realizó el proceso de fermentación.

El secado se realizó en el centro de beneficio de la Cooperativa Agraria Industrial Naranjillo Tingo María.

3.3.5. Muestreo del suelo

Las muestras de suelo fueron colectadas a una profundidad de 20 cm, por cada unidad experimental se obtuvo una muestra constituida por un kilo de suelo; producto de diez (10) puntos de muestreo, realizados alrededor de la parcela neta; exactamente debajo de la proyección de la copa de la planta en la zona donde se aplicó las enmiendas.

La hojarasca superficial de cada punto de muestreo fue removida previamente a la colecta de las muestras. Para el muestreo se utilizó un tubo muestreador de suelo y bolsas, previamente codificadas por tratamiento y bloque; las muestras fueron secadas bajo sombra, antes de ser enviadas al laboratorio, para su respectivo análisis.

3.4. Variables a evaluar

3.4.1. Análisis físico-químico de suelo

El análisis del suelo se llevó a cabo siguiendo los siguientes métodos analíticos: Propiedades físicas: textura (densímetro de Bouyoucos). Propiedades químicas: pH (relación suelo, agua 1: 1; método del potenciómetro), P disponible (Olsen modificado), bases intercambiables (K, Ca, Mg, Na) (Espectrofotómetro de absorción atómica), acidez intercambiable (Al+H) (KCl 1 N), materia orgánica del suelo (Walkley y Black). La capacidad de intercambio catiónico (CICE) se determinó con acetato de amonio pH 7 1 N.

El cadmio disponible se determinó empleando el EDTA 0.05 M a pH 7, con ácido clorhídrico, luego se filtró y realizó diluciones en caso sea requerido, luego se cuantificó en el espectrofotómetro de absorción atómica.

3.4.2. Análisis de granos de cacao

Para el análisis de almendras de cacao, se realizó el secado en estufa a 70°C por 48 horas, posteriormente se realizó el molido de los granos, luego se pesó dos (2) gramos en un crisol para luego ser colocados en mufla a 450°C a una velocidad de 50°C por hora, por 8 horas, se sacos los crisoles de la mufla, se dejó enfriar y luego se pesó.

Se humedeció la ceniza con agua destilada (3 ml), luego se adiciono 6 ml de HCL y se colocó en una plancha de calentamiento hasta obtener una maza acuosa, legos se adiciono 50 ml de agua destilada caliente se dejó enfriar y luego se filtró enrazando a 100 ml en una fiola. Las lecturas se realizaron en Espectroscopia de Absorción Atómica

IV. RESULTADOS

4.1. Análisis de suelos del sector Santa Rosa de Megote

4.1.1. Análisis físico-químico de suelo

En el Cuadro 4, se presentan los resultados de los análisis de suelo después de 6 meses de aplicación de las enmiendas (Dolomita, Bocashi, Roca fosfórica y Zeolita), en cada tratamiento en estudio, los cuales muestran la clase textural, pH, M.O, N, P, K₂O, CIC. De acuerdo con los resultados de los análisis se determinó clase textural franco arcillo limoso, presentan mejoras en cuanto al pH, ya que todos los tratamientos superan al testigo, destacando el T₁ (Dolomita + Bocashi. + Roca fosfórica + Zeolita) aumentando de 4.98 a 5.45. Funcionando bien como mescal más no individualmente.

Con respecto al contenido de M.O, todos los tratamientos superan al testigo, siendo el tratamiento T₇ (Bocashi + Zeolita), el que destaca con un valor del 4.20%. Si bien es cierto el T₁₁ (Bocashi) aumenta en un 0.93% y T₁₀ (Zeolita) en 0.28%. Pero al utilizarle como mezcla aumenta 1.49%.

Cuadro 4. Análisis físico-químico de suelos del sector Santa Rosa de Megote

Tratamientos	Textura	pH 1:1	M.O. %	N %	P ppm	K ₂ O kg/ha	CIC	Cmol(+)/kg						% Sat. Al
								Ca	Mg	K	Na	Al	H	
T ₁	Franco Arcillo Limoso	5.45	3.83	0.17	6.90	147.74	8.27	6.00	0.64	0.19	0.11	0.95	0.38	5.25
T ₂	Franco Arcillo Limoso	5.25	3.83	0.17	6.71	141.05	7.51	6.06	0.54	0.10	0.19	0.39	0.23	3.68
T ₃	Franco Arcillo Limoso	5.04	2.89	0.13	6.89	157.85	8.10	7.21	0.67	0.00	0.00	0.14	0.08	1.78
T ₄	Franco Arcillo Limoso	5.23	2.75	0.13	7.35	233.05	8.17	7.15	0.69	0.00	0.00	0.14	0.20	1.70
T ₅	Franco Arcillo Limoso	5.11	3.92	0.20	6.77	193.13	7.70	6.75	0.69	0.00	0.00	0.14	0.13	1.82
T ₆	Franco Arcillo Limoso	5.12	4.15	0.19	6.26	170.27	7.68	6.74	0.69	0.00	0.00	0.10	0.15	1.26
T ₇	Franco Arcillo Limoso	5.18	4.20	0.19	5.76	169.61	8.04	6.99	0.68	0.00	0.00	0.17	0.20	2.18
T ₈	Franco Arcillo Limoso	5.18	4.01	0.18	6.38	151.79	7.69	6.81	0.65	0.00	0.00	0.15	0.08	1.50
T ₉	Franco Arcillo Limoso	5.25	2.75	0.12	6.54	238.51	6.88	5.66	0.63	0.24	0.09	0.15	0.12	1.62
T ₁₀	Franco Arcillo Limoso	5.09	2.99	0.13	6.35	123.16	7.66	6.73	0.68	0.00	0.00	0.14	0.11	1.88
T ₁₁	Franco Arcillo Limoso	5.14	3.64	0.16	6.18	183.52	7.76	6.78	0.68	0.00	0.00	0.14	0.18	1.74
T ₁₂	Franco Arcillo Limoso	5.12	3.45	0.17	7.84	157.70	7.49	6.56	0.69	0.00	0.00	0.16	0.08	2.21
T ₁₃	Franco Arcillo Limoso	5.19	3.45	0.16	6.59	141.45	7.44	6.50	0.67	0.00	0.00	0.19	0.08	2.71
T ₀	Franco Arcillo Limoso	4.98	2.71	0.12	6.21	122.90	7.40	6.44	0.64	0.00	0.00	0.21	0.11	2.89
promedio		5.16	3.47	0.16	6.62	166.55	7.70	6.60	0.66	0.04	0.03	0.23	0.15	2.30
DE		0.11	0.55	0.03	0.52	35.53	0.37	0.44	0.04	0.08	0.06	0.22	0.08	1.06
(*)		>5.6	>2	>0.2	>7	>300	>7	7-11	>2.5	11-18				<30

(*) IPNI (2015)

Leyenda:

T ₁	: Dolomita 0.9 kg + Bocashi 4.5 kg + Roca fosfórica 0.09 kg + Zeolita 0.540 kg	T ₂	: Dolomita 0.9 kg + Bocashi 4.5 kg + Roca fosfórica 0.09 kg
T ₃	: Dolomita 0.9 kg + Bocashi 4.5 kg	T ₄	: Dolomita 0.9 kg + Roca fosfórica 0.09 kg
T ₅	: Dolomita 0.9 kg + Zeolita 0.540 kg	T ₆	: Bocashi 4.5 kg + Roca fosfórica 0.09 kg + Zeolita 0.540 kg
T ₇	: Bocashi 4.5 kg + Zeolita 0.540 kg	T ₈	: Bocashi 4.5 kg + Roca fosfórica 0.09 kg
T ₉	: Roca fosfórica 0.09 kg + Zeolita 0.540 kg	T ₁₀	: Zeolita 0.540 kg
T ₁₁	: Bocashi 4.5 kg	T ₁₂	: Roca fosfórica 0.09 kg
T ₁₃	: Dolomita 0.9 kg	T ₀	: Testigo

Para los niveles de fósforo disponible, todos los tratamientos superan al testigo, pero el tratamiento T₁₂ (Roca fosfórica 0.09 kg), seguido del tratamiento T₄ (Dolomita 0.9 kg + Roca fosfórica 0.09 kg) es quien obtiene el valor más alto con valores de 7.84 y 7.35 ppm respectivamente. Al igual que los niveles de K₂O todos los tratamientos superan al testigo, siendo los tratamientos T₉ (Roca fosfórica 0.09 kg + Zeolita 0.540 kg) y T₄ (Dolomita 0.9 kg + Roca fosfórica 0.09 kg) los que tienen los mejores resultados. Funcionando bien como mezclas porque individualmente los resultados no son muy relevantes. Respecto a la capacidad de intercambio catiónico (CIC) el tratamiento que mejor destaca es T₁ (Dolomita 0.9 kg + Bocashi 4.5 kg + Roca fosfórica 0.09 kg + Zeolita 0.540 kg), a excepción del tratamiento T₉ (Roca fosfórica 0.09 kg + Zeolita 0.540 kg) el cual ha disminuido en comparación al testigo. El contenido de iones de Ca⁺⁺ y Mg⁺⁺, el valor de 5.66 Cmol (+)/kg es el tratamiento T₁₂ (Roca fosfórica 0.09 kg) valor que está por debajo del testigo y los tratamientos T₃ (Dolomita 0.9 kg + Bocashi 4.5 kg) y T₄ (Dolomita 0.9 kg + Roca fosfórica 0.09 kg) son los tratamientos que superan al testigo. Asimismo, el contenido de Mg⁺⁺ los tratamientos T₄, T₅, T₆ y T₁₂ son los que obtienen los valores más altos superando al testigo, a excepción del tratamiento T₂ lo cual ha disminuido en comparación al testigo. En cuanto al % sat. Al, las concentraciones son bajas

4.1.2. Análisis de cadmio disponible en suelo y cadmio total en granos de cacao

En el Cuadro 5 presentamos los contenidos de Cd disponible en el suelo y Cd total en granos de cacao en el sector Santa Rosa de Megote

Cuadro 5. Análisis de cadmio disponible en suelo y cadmio total en granos de cacao (Santa Rosa de Megote).

Tratamientos	Cd disponible en suelos	Cd total en granos de cacao
	Ppm	Ppm
T ₁	0.47	2.61
T ₂	0.33	2.78
T ₃	0.31	2.89
T ₄	0.42	2.85
T ₅	0.42	2.38
T ₆	0.43	2.70
T ₇	0.37	2.71
T ₈	0.44	2.58
T ₉	0.41	2.88
T ₁₀	0.28	2.75
T ₁₁	0.26	2.35
T ₁₂	0.37	2.88
T ₁₃	0.48	2.36
T ₀	0.44	2.31
promedio	0.39	2.64
(^o)	0.80	0.50

(^o) SUBERO (2013)

Leyenda:

T ₁	: Dolomita 0.9 kg + Bocashi 4.5 kg + Roca fosfórica 0.09 kg + Zeolita 0.540 kg
T ₂	: Dolomita 0.9 kg + Bocashi 4.5 kg + Roca fosfórica 0.09 kg
T ₃	: Dolomita 0.9 kg + Bocashi 4.5 kg
T ₄	: Dolomita 0.9 kg + Roca fosfórica 0.09 kg
T ₅	: Dolomita 0.9 kg + Zeolita 0.540 kg
T ₆	: Bocashi 4.5 kg + Roca fosfórica 0.09 kg + Zeolita 0.540 kg
T ₇	: Bocashi 4.5 kg + Zeolita 0.540 kg
T ₈	: Bocashi 4.5 kg + Roca fosfórica 0.09 kg
T ₉	: Roca fosfórica 0.09 kg + Zeolita 0.540 kg
T ₁₀	: Zeolita 0.540 kg
T ₁₁	: Bocashi 4.5 kg
T ₁₂	: Roca fosfórica 0.09 kg
T ₁₃	: Dolomita 0.9 kg
T ₀	: Testigo

Se observa a los tratamientos T₁ (Dolomita 0.9 kg + Bocashi 4.5 kg + Roca fosfórica 0.09 kg + Zeolita 0.540 kg) y T₁₃ (Dolomita 0.9 kg), se determinó mayor contenido de Cd disponible superando al tratamiento testigo, asimismo, el tratamiento T₁₁ (Bocashi 4.5 kg), presenta menor contenido de Cd disponible en suelo, esto significa que el bocashi estaría disminuyendo el contenido de Cd que

además muestra su acción de manera individual que cuando se usa como mezcla, que estaría incrementado el contenido de Cd, disponible en el suelo. Además, es probable que estos incrementos se deban por el contenido de Cd que tienen es su composición la Roca fosfórica, Dolomita, Zeolita. En su efecto estarían haciendo disponible al Cd para las plantas. Toda vez que se observa un incremento en el contenido de Cd total en granos de cacao en todos los tratamientos, superando al tratamiento testigo. Destacando los tratamientos T₃, (Dolomita 0.9 kg + Bocashi 4.5 kg) T₄ (Dolomita 0.9 kg + Roca fosfórica 0.09 kg), T₁₀ (Zeolita 0.540 kg), y T₁₁ (Bocashi 4.5 kg). Se podría decir que las enmiendas utilizadas aumentaron el contenido de Cd en granos de cacao.

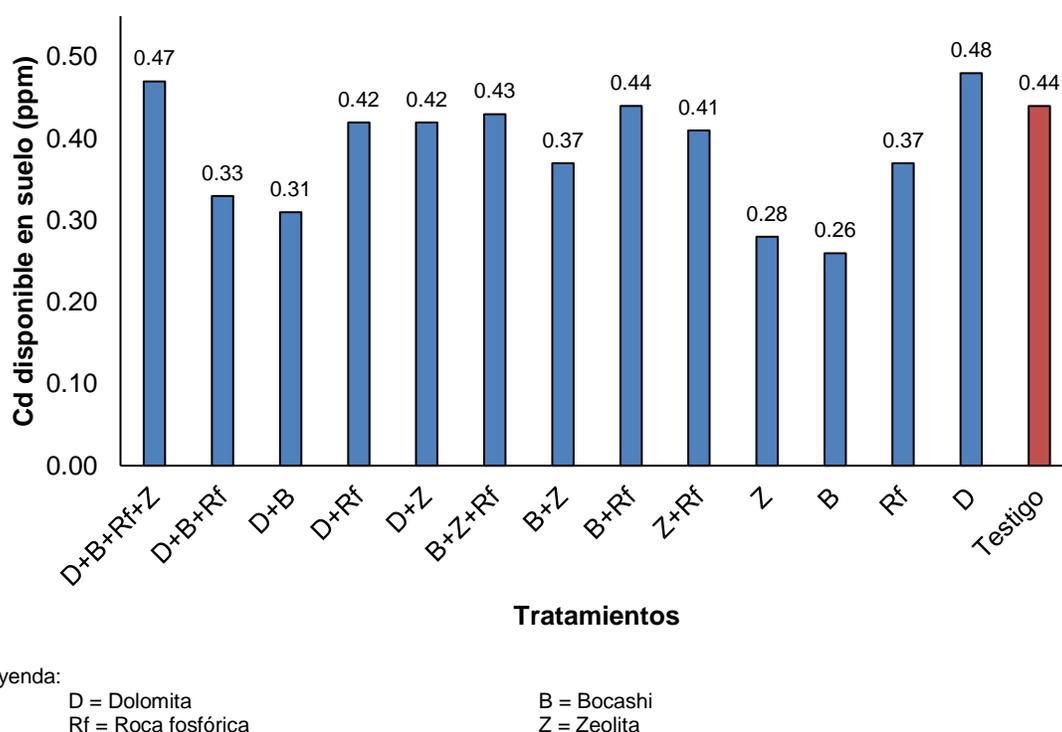
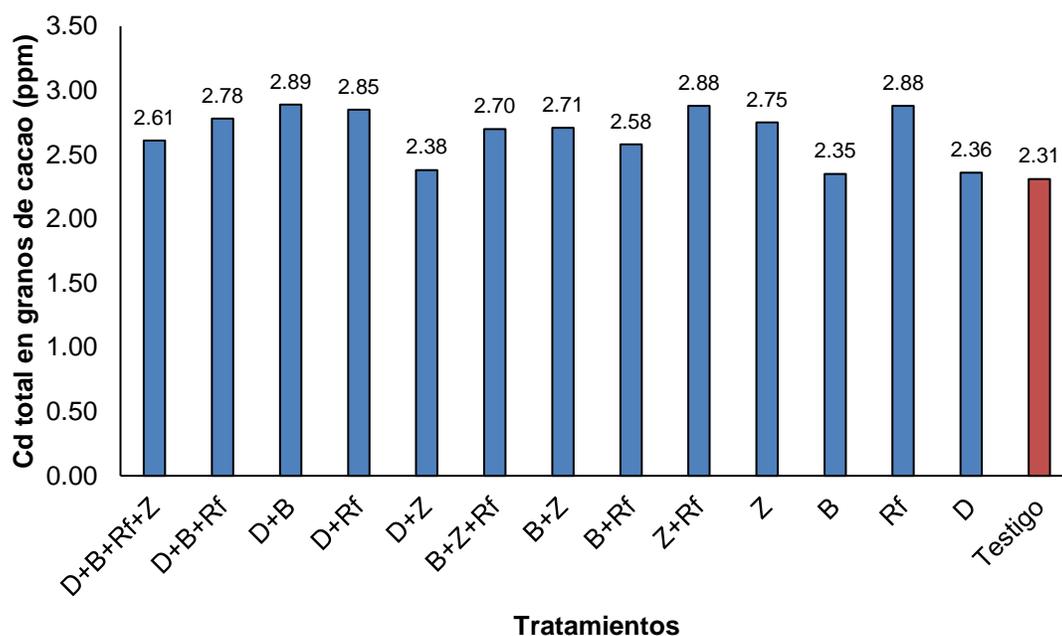


Figura 2. Cadmio disponible en suelos del sector Santa Rosa De Megote

En la Figura 2 podemos visualizar que los tratamientos T₂, T₃, T₁₀ y T₁₁ obtiene los menores valores de Cd disponible en suelo, estos valores son 0.33, 0.31, 0.28 y 0.26 ppm respectivamente. Al utilizar 4.5 kg de Bocashi estaríamos reduciendo el contenido de Cd disponible en el suelo ya que es menor valor determinado según los resultados que se muestran es este trabajo de investigación



Leyenda:

D = Dolomita
Rf = Roca fosfórica

B = Bocashi
Z = Zeolita

Figura 3. Cadmio total en granos de cacao del sector Santa Rosa de Megote.

En la Figura 3 se observa que todos los tratamientos superan al tratamiento testigo. Así mismo al igual que en la (Figura 2) el tratamiento que se determinó con menor contenido de Cd es T₁₁, Según los resultados obtenidos del trataba se comprueba que el uso de bocashi estará siendo la solución para disminuir el contenido de Cd en granos de cacao.

4.1.3. Análisis de varianza y prueba de Duncan para variables de cadmio disponible en suelo y cadmio total en granos de cacao.

El análisis de varianza ($\alpha = 0.05$), (Cuadro 6), se observa que no existe diferencias estadísticas entre los tratamientos, tanto en Cd disponible en suelo y Cd total en granos de cacao, los resultados indican que todos los tratamientos presentan el mismo comportamiento estadísticamente; para efecto de bloques se observa diferencias estadísticas en Cd disponible en suelo, es decir que entre los bloques hay diferencias estadísticas las cuales estarían influyendo en los resultados del trabajo. El coeficiente de variación (C.V) para Cd disponible en suelo es 42.68% y para Cd total en granos de cacao 16.76%.

Cuando el C.V es alto indicada mayor variabilidad en la toma de resultados.

Cuadro 6. Cuadrados medios del Análisis de varianza ($\alpha = 0.05$) de cadmio disponible en suelo y cadmio total en granos de cacao (Santa Rosa de Megote).

Fuentes de Variación	G.L	Cd-disponible en suelo		Cd-total en grano de cacao	
		C.M	p-valor	C.M	p-valor
Tratamientos	13	0.02 ns	0.738	0.18 ns	0.521
Bloques	3	0.12 s	0.010	0.28 ns	0.248
Error Experimental	39	0.02		0.41	
TOTAL	55				
C.V (%)		42.68		16.76	

Como el análisis de varianza sale no significativo respecto a los tratamientos, no es necesario realizar la prueba de comparación de Duncan ($\alpha = 0.05$). Que además el Cuadro 13 del anexo confirma la falta de significancia, en el sentido de todos los tratamientos son iguales estadísticamente, es decir que los tratamientos en estudio no tienen un efecto en cuanto al contenido de Cd disponible en suelo ni Cd en las almendras de cacao.

4.2. Análisis de suelos del sector Santa Elena

4.2.1. Análisis físico-químico del suelo

En el Cuadro 7 se muestra los resultados de los análisis de suelo del sector Santa Elena, de los 14 tratamientos, los cuales muestran el contenido de nutrientes y clase textural.

De acuerdo con los resultados de los análisis de suelo realizados podemos mencionar de las características físicas de los suelos que, para el caso de la clase textural mejoró al utilizar enmiendas obteniendo así texturas de Franco Arcillo Limoso para tratamientos (T₂ hasta T₁₃), tratamiento (T₁) Franco Arcilloso.

De acuerdo a los resultados del análisis químico podemos mencionar que para el pH, los tratamientos T₂ (Dolomita 0.9 kg + Bocashi 4.5 kg + Roca fosfórica 0.09 kg), T₄ (Dolomita 0.9 kg + Roca fosfórica 0.09 kg), T₈ (Bocashi 4.5 kg + Roca fosfórica 0.09 kg) y T₁₃ (Dolomita 0.9 kg) son los que superan al testigo, destacando T₂ que es una mezcla de tres enmiendas. Lo que significa que el uso de enmiendas mejora los pH del suelo según los resultados del trabajo.

Cuadro 7. Análisis físico-químico de suelos de - Santa Elena

Tratamientos	Textura	pH	M.O.	N	P	K ₂ O	CIC	Cmol(+)/kg						%
		1:1	%	%	ppm	kg/ha		Ca	Mg	K	Na	Al	H	Sat. Al
T ₁	Franco Arcillo	4.46	1.49	0.10	5.14	206.05	4.10	2.24	0.43	0.00	0.00	0.97	0.46	22.32
T ₂	Franco Arcillo Limoso	4.65	2.05	0.09	6.64	151.89	5.41	2.64	0.69	0.00	0.00	1.43	0.65	26.28
T ₃	Franco Arcillo Limoso	4.45	2.43	0.11	6.35	139.79	4.24	2.26	0.53	0.00	0.00	0.94	0.51	22.35
T ₄	Franco Arcillo Limoso	4.51	2.15	0.10	8.52	148.84	4.78	2.36	0.53	0.00	0.00	1.28	0.62	27.33
T ₅	Franco Arcillo Limoso	4.45	2.24	0.10	7.51	142.97	4.28	1.91	0.30	0.00	0.00	1.36	0.71	31.90
T ₆	Franco Arcillo Limoso	4.38	1.68	0.08	7.81	173.09	4.99	2.02	0.49	0.00	0.00	1.78	0.71	35.83
T ₇	Franco Arcillo Limoso	4.42	2.61	0.12	7.63	162.32	4.65	2.14	0.39	0.00	0.00	1.51	0.61	31.76
T ₈	Franco Arcillo Limoso	4.52	2.61	0.12	6.06	114.82	4.85	2.19	0.44	0.00	0.00	1.59	0.63	31.94
T ₉	Franco Arcillo Limoso	4.43	2.33	0.11	7.23	140.85	4.61	2.10	0.38	0.00	0.00	1.49	0.64	32.05
T ₁₀	Franco Arcillo Limoso	4.36	2.61	0.12	6.13	113.49	4.78	2.30	0.31	0.00	0.00	1.55	0.62	33.13
T ₁₁	Franco Arcillo Limoso	4.40	2.80	0.13	7.33	175.24	5.31	2.48	0.44	0.00	0.00	1.47	0.92	28.28
T ₁₂	Franco Arcillo Limoso	4.48	2.33	0.11	7.33	129.36	4.88	2.30	0.53	0.00	0.00	1.41	0.64	28.98
T ₁₃	Franco Arcillo Limoso	4.29	2.33	0.11	5.38	165.96	4.55	2.21	0.37	0.00	0.00	1.36	0.61	29.78
T ₀	Franco limoso	4.44	1.49	0.07	6.29	197.77	5.13	1.96	0.46	0.00	0.00	1.78	0.93	34.85
Promedio		4.45	2.23	0.10	6.81	154.46	4.75	2.22	0.45	0.00	0.00	1.42	0.66	29.77
DE		0.08	0.42	0.02	0.97	27.68	0.39	0.20	0.10	0.00	0.00	0.24	0.13	4.15
(*)		>5.6	>2	>0.2	>7	>300	>7	7-11	>2.5	11-18				<30

(*) IPNI (2015)

Leyenda:

T ₁	: Dolomita 0.9 kg + Bocashi 4.5 kg + Roca fosfórica 0.09 kg + Zeolita 0.540 kg	T ₂	: Dolomita 0.9 kg + Bocashi 4.5 kg + Roca fosfórica 0.09 kg
T ₃	: Dolomita 0.9 kg + Bocashi 4.5 kg	T ₄	: Dolomita 0.9 kg + Roca fosfórica 0.09 kg
T ₅	: Dolomita 0.9 kg + Zeolita 0.540 kg	T ₆	: Bocashi 4.5 kg + Roca fosfórica 0.09 kg + Zeolita 0.540 kg
T ₇	: Bocashi 4.5 kg + Zeolita 0.540 kg	T ₈	: Bocashi 4.5 kg + Roca fosfórica 0.09 kg
T ₉	: Roca fosfórica 0.09 kg + Zeolita 0.540 kg	T ₁₀	: Zeolita 0.540 kg
T ₁₁	: Bocashi 4.5 kg	T ₁₂	: Roca fosfórica 0.09 kg
T ₁₃	: Dolomita 0.9 kg	T ₀	: Testigo

Para el caso del contenido de M.O, todos los tratamientos superan al testigo, siendo el tratamiento T₁₁ (Bocashi 4.5 kg) el que mejor resultado se tiene (2.80 %), aumentando en 1.31% destacando que individualmente el Bocashi está funcionando mejor que cuando se me hace las mezclas

Respecto al contenido de fósforo en suelo observamos que el mejor tratamiento es el T₄ (Dolomita 0.9 kg + Roca fosfórica 0.09 kg) lo cual el fósforo funciona mejor cuando se le mezcla con dolomita. Sin embargo, los tratamientos T₈ (Bocashi 4.5 kg + Roca fosfórica 0.09 kg) y T₁₃ (Dolomita 0.9 kg) disminuyó el contenido de fósforo con respecto a testigo. Así mismo, para el caso de K₂O solamente el tratamiento T₁ (Dolomita 0.9 kg + Bocashi 4.5 kg + Roca fosfórica 0.09 kg + Zeolita 0.540 kg) supero al testigo. Para este caso ningún tratamiento funciona individual para mejorar el contenido de K₂O.

Para el caso de capacidad de intercambio catiónica (CIC) los tratamientos T₂ (Dolomita 0.9 kg + Bocashi 4.5 kg + Roca fosfórica 0.09 kg) y T₁₁ (Bocashi 4.5 kg) son los que mejor resultado presentan. Pero el tratamiento T₁ (Dolomita 0.9 kg + Bocashi 4.5 kg + Roca fosfórica 0.09 kg + Zeolita 0.540 kg) fue el tratamiento que obtuvo en contenido más bajo de CIC. Lo que indica que no sería factible mezclar las cuatro enmiendas. Para el caso de Ca y Mg intercambiable el mejor tratamiento es T₂ (Dolomita 0.9 kg + Bocashi 4.5 kg + Roca fosfórica 0.09 kg) presenta mejor resultado para ambos elementos y el tratamiento T₅ (Dolomita 0.9 kg + Zeolita 0.540 kg) resulto menor en comparación con el testigo.

En cuanto al % Sat. Al., al utilizar enmiendas como Dolomita, Bocashi., Roca fosfórica y Zeolita disminuye destacando el tratamiento T₁ (Dolomita 0.9 kg + Bocashi 4.5 kg + Roca fosfórica 0.09 kg + Zeolita 0.540 kg) que es la mezcla de las cuatro enmiendas.

4.2.2. Análisis de cadmio disponible en suelo y cadmio total en granos de cacao

En el Cuadro 8, presentamos los resultados de Cd disponible en suelo y Cd total en granos de cacao de los 14 tratamientos en estudio del sector Santa Elena.

se observamos que el contenido de Cd disponible en suelo, al utilizar cuatro tipos de enmiendas (dolomita, materia orgánica, fosforo y zeolita), todos los tratamientos disminuyen la disponibilidad de cadmio, siendo el tratamiento T₁₃ (Dolomita 0.9 kg) de mejor resultado. Respecto al contenido de Cd en granos de cacao los mejores resultados se muestran en los tratamientos T₇ (Bocashi 4.5 kg + Zeolita 0.540 kg), T₈ (Bocashi 4.5 kg + Roca fosfórica 0.09 kg) y T₁₃ (Dolomita 0.9 kg) disminuyeron contenido de Cd en granos comprado con el testigo. Los tratamientos T₆ (Bocashi 4.5 kg + Roca fosfórica 0.09 kg + Zeolita 0.540 kg) y T₁₀ (Zeolita 0.540 kg) aumento el contenido de Cd en los granos las cuales superan al testigo.

Revisando los resultados de la Figura 4 podemos visualizar que, al aplicar dolomita (T₁₃), disminuye en 0.07 ppm de Cd disponible en suelo con respecto al tratamiento testigo (T₀). En la Figura 5 observamos que los tratamientos T₇, T₈ y T₁₃

disminuye en 0.55, 0.54 y 0.53 ppm de Cd total en granos de cacao respecto al testigo. Caso contrario sucedió con el tratamiento T₁₀, el contenido de Cd en granos de cacao aumenta en 0.35 ppm comparado con el tratamiento testigo (T₀).

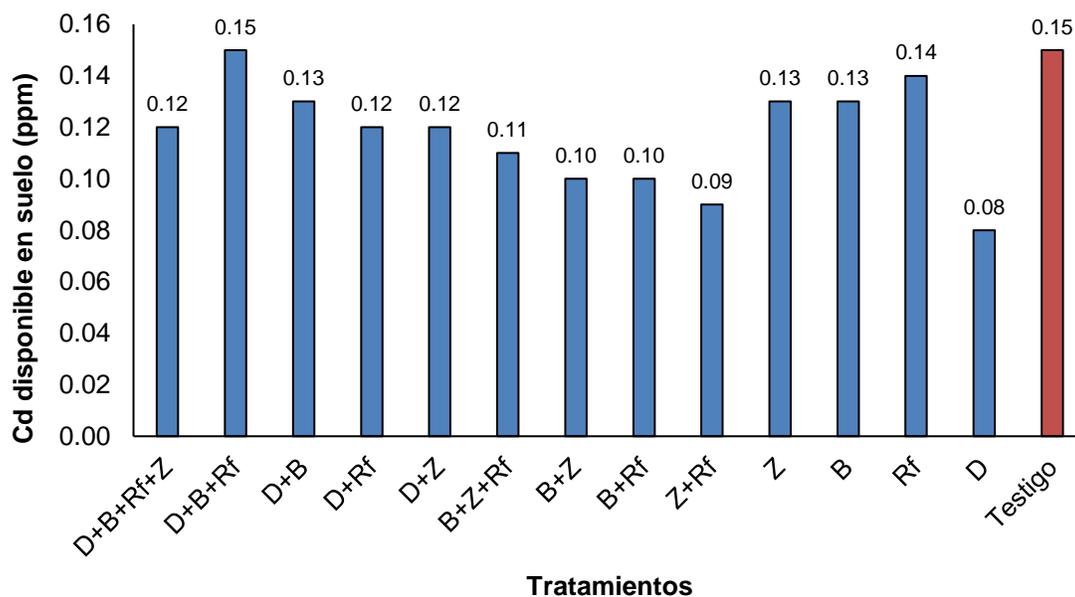
Cuadro 8. Análisis de cadmio disponible en suelo y cadmio total en granos de cacao del sector Santa Elena

Tratamientos	Cd disponible en suelos	Cd total en granos de cacao
	ppm	Ppm
T ₁	0.12	1.41
T ₂	0.15	1.43
T ₃	0.13	1.44
T ₄	0.12	1.40
T ₅	0.12	1.36
T ₆	0.11	1.75
T ₇	0.10	0.95
T ₈	0.10	0.96
T ₉	0.09	1.43
T ₁₀	0.13	1.85
T ₁₁	0.13	1.31
T ₁₂	0.14	1.43
T ₁₃	0.08	0.98
T ₀	0.15	1.50
Promedio	0.12	1.37
(*)	0.80	0.50

(*) SUBERO (2013)

Leyenda:

T ₁	: Dolomita 0.9 kg + Bocashi 4.5 kg + Roca fosfórica 0.09 kg + Zeolita 0.540 kg
T ₂	: Dolomita 0.9 kg + Bocashi 4.5 kg + Roca fosfórica 0.09 kg
T ₃	: Dolomita 0.9 kg + Bocashi 4.5 kg
T ₄	: Dolomita 0.9 kg + Roca fosfórica 0.09 kg
T ₅	: Dolomita 0.9 kg + Zeolita 0.540 kg
T ₆	: Bocashi 4.5 kg + Roca fosfórica 0.09 kg + Zeolita 0.540 kg
T ₇	: Bocashi 4.5 kg + Zeolita 0.540 kg
T ₈	: Bocashi 4.5 kg + Roca fosfórica 0.09 kg
T ₉	: Roca fosfórica 0.09 kg + Zeolita 0.540 kg
T ₁₀	: Zeolita 0.540 kg
T ₁₁	: Bocashi 4.5 kg
T ₁₂	: Roca fosfórica 0.09 kg
T ₁₃	: Dolomita 0.9 kg
T ₀	: Testigo

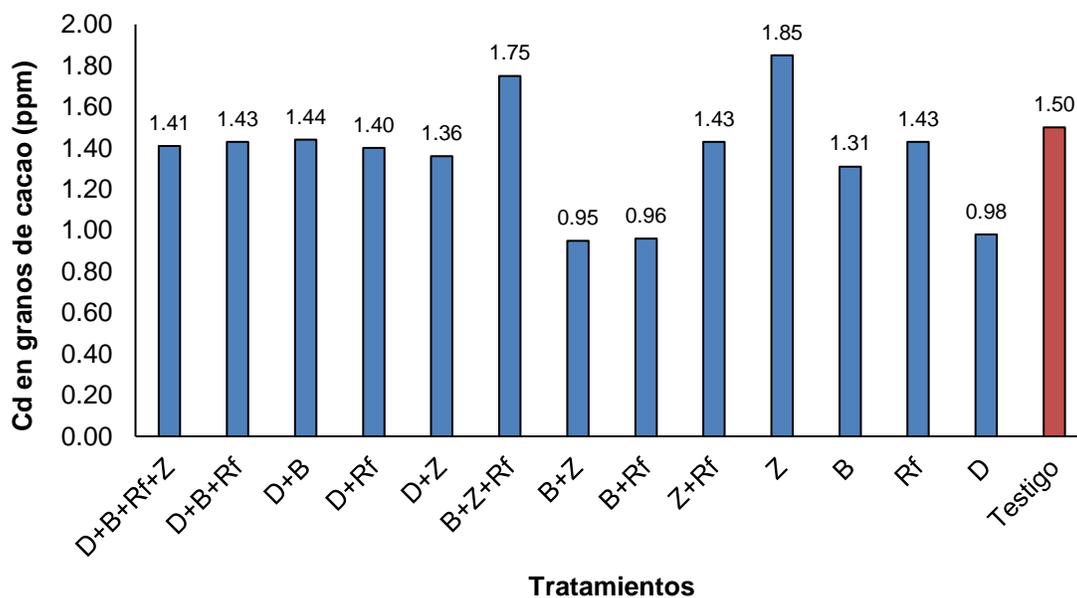


Leyenda:

D = Dolomita
Rf = Roca fosfórica

B = Bocashi
Z = Zeolita

Figura 4. Cadmio disponible en suelos por tratamiento (Santa Elena).



Leyenda:

D = Dolomita
Rf = Roca fosfórica

B = Bocashi
Z = Zeolita

Figura 5. Cadmio total en granos de cacao en cada tratamiento (Santa Elena).

4.2.3. Análisis de varianza y prueba de Duncan para variables de cadmio disponible en suelo y cadmio total en granos de cacao.

Los resultados del análisis de varianza ($\alpha = 0.05$) (Cuadro 9) nos indica que no existe diferencias estadísticas significativas para Cd disponible en suelos ni Cd total en almendras, es decir que todos los tratamientos estadísticamente tienen el mismo comportamiento. A diferencia de los bloques, respecto a Cd disponible en suelo se observa alta significancia estadística, lo que significa una variación en los bloques que estarían influyendo en los resultados. El coeficiente de variación (C.V) para Cd disponible en suelo es 30.73% y Cd total en granos de cacao es 36.85%. Cuando más alto es el C.V los resultados muestra mayor variación.

Cuadro 9. Cuadrados medios del Análisis de varianza ($\alpha = 0.05$) de cadmio disponible en suelo y cadmio total en granos de cacao (Santa Elena).

Fuentes de Variación	G.L	Cd Suelo		Cd Granos	
		C.M	p-valor	C.M	p-valor
Tratamientos	13	0.002 ns	0.288	0.280 ns	0.389
Bloques	3	0.017 as	0.001	0.220 ns	0.463
Error Experimental	39	0.001		0.250	
TOTAL	55				
C.V (%)		30.73		36.85	

Como los resultados del análisis de varianza nos indican que no hay diferencias estadísticas, no es necesario hacer la prueba de Duncan ($\alpha = 0.05$), sin embargo, el Cuadro 14 del anexo muestra los tratamientos para las variables de Cd disponible en el suelo y Cd total en granos no se diferencian significativamente entre

tratamientos, esto significa que todas las dosis de enmiendas tuvieron un comportamiento similar.

4.3. Coeficiente de correlación de Pearson de las características del suelo con el contenido de cadmio en granos de cacao.

En el Cuadro 10 se tienen los resultados de los análisis de correlación realizados, con las características del análisis de suelo y granos de cacao en los sectores de Santa Rosa de Megote y Santa Elena.

Cuadro 10. Correlaciones de Pearson de las localidades de Santa Rosa de Megote y Santa Elena.

	pH	M.O.	P	K ₂ O	CIC	Ca	Mg	Cd-granos
Cd-suelo	-0.917**	-0.828**	0.71	-0.134	-0.930**	-0.938**	-0.797**	-0.876**
Cd-granos	-0.908**	-0.785**	0.193	-0.258	-0.920**	-0.929**	-0.717	
N	28	28	28	28	28	28	28	28

Correlación altamente significativa 0.01%

La matriz de los análisis de correlación se observa significación negativa entre el contenido de pH, M.O., K₂O, CIC, Ca, Mg y Cd con granos, con el contenido de Cd disponible en suelo y se obtiene significancia negativa entre el pH, M.O, CIC y Ca, con el contenido de Cd total en los granos de cacao

V. DISCUSIONES

De acuerdo al análisis físico-químico del suelo de las localidades de Santa Rosa de Megote y Santa Elena (Cuadros 4 y 6), se aprecia una variación en cuanto al pH, MO, P, K₂O, CIC, Ca⁺², Mg⁺² y % sat. Al. Debido a la transformación de la materia orgánica, meteorización de las enmiendas (dolomita, roca fosfórica y zeolita), favorecido por las condiciones climáticas, características del suelo y posiblemente a la actividad microbiana propio del lugar.

Santa Rosa de Megote

El incremento del pH se da en todos los tratamientos, debido a que todas las enmiendas utilizadas son encalantes. El mayor efecto se nota en el tratamiento (T₁) en las que se utiliza como mezcla (zeolita, MO, roca fosfórica y dolomita), incrementando en 0.47. Pero cada encalante utilizado individualmente tiene un incremento de 0.11, 0.16, 0.14 y 0.21 respectivamente. El incremento del pH estaría obedeciendo al uso de dolomita ya que cuando se utiliza solo, tratamiento (T₁₃) hay un mejor incremento que las demás enmiendas, esto se da porque la su composición de dolomita ayuda a la estabilización de la acides del suelo,

Los suelos ácidos se generan por una pérdida de cationes básicos calcio (Ca), magnesio (Mg), potasio (K) y sodio (Na) y una acumulación de cationes

ácidos aluminio (Al) e hidrógeno (H). ESPINOSA (1999) refiere que la dolomita mejora la acides del suelo por su composición química de $\text{CaMg}(\text{CO}_3)_2$. Esto se debe fundamentalmente a que logra mineralizarse incrementando cationes de calcio y magnesio que son capaces de reducir la acides e incrementar la MOS al igual que el pH, todos los tratamientos presentan un incremento. Pero mayor efecto se nota en el tratamiento (T₇) donde se utilizó la mezcla de MO más zeolita, esto se da debido a que la MO logra humificarse y la zeolita logra mineralizarse, juntos logran un incremento de la MOS, es posible que hubo un incrementa de microorganismos y pequeños animales las cuales ayudaron a este incremento. Para la incrementación de la MOS depende de los microorganismos del suelo, las condiciones ambientales como humedad y temperatura, logrando humificarse (40 – 60 %), que constituyen al incremento de MOS (SALES, 2006). La zeolita está compuesta de iones como Ca^{+2} y Mg^{+2} que cuando logra mineralizarse estaría sirviendo como alimentos de microorganismos para un posible incremento de los mismos, las cuales ayudan a la descomposición e incremento de MOS (FLORES y MARTINS, 1997; GÓMEZ, 2001) esta importancia estaría ayudando a la descomposición de la MOS las cuales presentan un incremento como se nota en los resultados de nuestro trabajo de investigación.

Para el caso de fosforo el mayor resultado notamos al utilizar roca fosfórica (T₁₂), esto indica que para las características del suelo como bajo pH el fósforo presenta alta disolución. La roca fosfórica se solubiliza como $\text{H}_2\text{PO}_4^{-1}$ y HPO_4^{-2} siendo más soluble como $\text{H}_2\text{PO}_4^{-1}$ para las características del suelo realizado en el trabajo pudiéndose corroborar con Tisdale *et al.* (1993), citado por

SCHWANER (2006) quienes refiere que el ion $\text{H}_2\text{PO}_4^{-1}$ es el más soluble, pero para suelos con pH bajos y cuando los pH son más altos predomina la forma HPO_4^{-2} que es menos soluble en el suelo.

Para la CIC (Ca^{+2} y Mg^{+2}) se tiene un mejor resultado utilizando materia orgánica, sabiendo que la MO en su descomposición se descompone (humifica) y se mineraliza (Ca^{2+} , Mg^{2+} , k^+) por lo tanto es el motivo por la cual el calcio y magnesio lograron su incremento. Una de las contribuciones más importante de la MO, es la liberación de (Ca^{2+} , Mg^{2+} , k^+), a través de un proceso de mineralización (MELÉNDEZ, 2003).

Santa Elena

El incremento del pH obedece al uso de la mezcla de la dolomita más MO más roca fosfórica en 0.21, esto es debido a que las enmiendas utilizadas son encalantes, motivo por las cuales aumenta el pH del suelo, por lo tanto, Havlin *et al.* (1999), citados por SCHWANER (2006) refieren que los encalantes ayudan a estabilizar la acides del suelo.

Con respecto a la materia orgánica, todos los tratamientos han mejorado el contenido de MOS es así que al utilizar la MO se tiene mejor resultado, incrementando en 1.31% MOS lo que estaría pasando es que la MO utilizada logra su transformación (humificación) es posible se dé un incremento de la actividad de macro y microorganismos, las cuales ayudaría la descomposición y por ende el incremento la de MOS, asimismo Gregorich *et al.* (1993), citado por MIRALLES

(2006) manifiestan que el incremento de la MOS conduce a la transformación e incremento de la actividad microbiana

El incremento de fósforo en el suelo obedece a la mezcla de dolomita más roca fosfórica. La roca fosfórica a pH extremadamente ácidos es insoluble, pero como se usa dolomita que es un encalante al igual que la roca fosfórica estaría aumentando el pH del suelo por lo tanto se tiene una mejor disolución cuando se utiliza como mezclas, Khan (2007) citado por OSORNO (2013) refiere que los suelos extremadamente ácidos la roca fosfórica se insolubilizan en (95-99%).

Para la CIC (Ca^{+2} y Mg^{+2}) se tiene un mejor resultado utilizando MO, sabiendo que la MO en su descomposición se mineraliza (Ca^{2+} , Mg^{2+} , k^+) por lo tanto es el motivo por la cual el calcio y magnesio han incremento (SALES, 2006)

En general podemos manifestar que en la parcela de Santa Rosa de Megote se tiene mejores resultados a la aplicación de las diferentes enmiendas debida a las características del suelo, ya que la parcela de Santa Elena presenta pH muy ácido, % de MO bajo, Bajo SIC y alto % de saturación de aluminio. Sin embargo, hay un incremento en cuanto a las características del suelo, pero en muchos casos es mínimo. Una posible explicación puede ser que la mayor parte de las parcelas residuales se presenta este tipo de característica (HUAMANI Y HUAUYA, 2010). Asimismo, los contenidos de K_2O aumentan en algunos tratamientos obedeciendo al uso de materia orgánica.

El incremento del contenido de Cd disponible en el suelo es 0.04 ppm (Cuadro 5, Figura 2 y 3) Santa Rosa de Megote, el incremento obedece a la aplicación de dolomita, a pesar que incrementó el contenido de pH pero al mismo tiempo está haciendo que el Cd disponible también incremente en el suelo, la cual estaría dándose que en su composición tenga Cd, que al momento de mineralizarse estaría dejando disponible el Cd en el suelo, o en todo caso se tendrá que estudiar las características físicas de suelo como el caso de las arcillas porque dependerá de su calidad para que el Cd esté disponible. Asimismo, al utilizar materia orgánica notamos una disminución de 0.18 ppm podríamos decir que los complejos húmicos estarían favoreciendo una menor disponibilidad de Cd en el suelo lo cual puede deberse a una mayor tasa de adsorción y retención del Cd^{+2} sobre el complejo húmico. De este modo al haber menor disponibilidad de Cd en el suelo se refleja en una menor absorción y acumulación de Cd a nivel de la almendra de cacao, asimismo MCGRATH *et al.*, (2000), refiere que los tipos de materia orgánica puede tener efectos opuestos sobre la disponibilidad de Cd. La fracción soluble puede acomplejar el Cd, facilitar su movilidad en el suelo y al mineralizarse, dejar al metal en forma más disponible para las plantas. Esta ambivalencia de la materia orgánica en cuanto a la disponibilidad de los metales pesados, se refleja en la existencia de dos hipótesis, ambas sustentadas por resultados experimentales, sobre el efecto de la aplicación en suelos agrícolas de lodos residuales.

A diferencia de Cd en granos todas las enmiendas incrementan el contenido de Cd, resaltando la utilización de roca fosfórica lo cual incrementa en 0.57 ppm (Figura 3), este incremento obedece a que la roca fosfórica contiene Cd

en su composición ya que al mineralizarse estaría favoreciendo una mayor disponibilidad de Cd la cual es absorbido por las plantas, de este modo se presenta una mayor acumulación de Cd en granos de cacao, en tanto RUEDA *et al.*, (2011) señalan que los aportes estimados de metales pesados agregado a suelos agrícolas por diferentes fuentes como: fertilizantes fosforados 0.1 - 170 ppm, además DE MEEÛS *et al.* (2002) refiere que el uso de fertilizantes fosforados es la principal fuente de contaminación de Cd en suelos agrícolas. Los que son producidos a partir de la roca fosfórica constituyen la mayor entrada agrícola de Cd al suelo. Los fertilizantes fosfatados constituyen más del 50 % de la entrada total de Cd en los suelos,

En la parcela de Santa Elena casi todos los tratamientos disminuyen el contenido de Cd tanto en suelos como en granos (Cuadro 8, Figuras 4 y 5) observamos que al utilizar dolomita el contenido de Cd disminuye en 0.07 ppm en suelo y 0.53 ppm de granos, en este caso estaríamos frente a las características del suelo, las cuales las arcillas estarían ayudando a formas compuestos de Cd en el suelo las cuales su disponibilidad disminuye, asimismo como se usa materia orgánica también se formarían los complejos arcillo húmico los cuales disminuyen su disponibilidad de Cd y por ende disminuye la asimilación de Cd y la acumulación en granos de cacao, HURTADO (2012) refiere que las propiedades y componentes de los suelos juegan un papel importante en la dinámica de los metales pesados así como también, materia orgánica y la capacidad de intercambio catiónico en ESPINOSA (1999) refiere que la dolomita hace su función de disponibilidad de

nutrientes mejorando el pH, las que el Cd estaría haciéndose menos disponible para las plantas. Mientras mayor sea el pH del suelo, mayor será la retención del Cd. Hay varias razones para ello, entre ellas la formación de especies con menor densidad de carga negativa por la unión del ion metálico con los iones OH⁻ y el incremento de las cargas negativas en la superficie de óxidos o de otros materiales de carga variable donde el ion metálico puede adsorberse asimismo GONZÁLES *et al* (2010) señalan que bajo condiciones oxidantes el Cd se libera en el suelo como Cd²⁺. La alta movilidad del Cd²⁺ en el suelo se atribuye a la acidez del suelo, para valores de pH menores de 6 el Cd²⁺ se adsorbe débilmente en la materia orgánica, arcillas y óxidos, mientras que para valores de pH mayores de 7 el Cd²⁺ puede co-precipitar con CaCO₃, o precipitar como CdCO₃. Las enmiendas mejoran las condiciones físicas y químicas del suelo, la dolomita mejora el pH, del suelo, por lo tanto, al utilizar dolomita mejoramos el pH, y disminuye el contenido de Cd en suelos y granos de cacao. Nuestros resultados se corroboran con los autores mencionados. Los residuos orgánicos al ser incorporados al suelo ejercen un efecto tampón debido a la presencia de iones Ca⁺² y de sales básicas (HERNANDO, 1988, citado por ENCARNACIÓN, 2013). La capacidad de cambio catiónica aumenta en suelos tratados con materiales orgánicos (WEBER *et al.*, 2007, citado por ENCARNACIÓN, 2013)

En general en ambas parcelas observamos que el contenido de Cd en granos es mayor que en suelo, en diferentes concentraciones de tal manera

LEHOCZKY *et al.* (2000); IRETSKAYA y CHIEN (1999) estos autores manifiestan que la concentración de Cd en los tejidos vegetales puede llegar a ser varias veces superior a la presente en el suelo, y que la capacidad de absorción es variable. RODRÍGUEZ *et al.*, 2008 manifiestan que entre las proteínas responsables de la entrada de Cd a la célula cabe destacar el transportador específico de calcio LCT1, y la proteína IRT1, perteneciente a la familia de transportadores de Zn y Fe (ZIP). La absorción de Cd por las plantas puede ser facilitada por sustancias ácidas que se producen en la rizósfera. Los exudados radiculares, especialmente los ácidos carboxílicos, incrementan la absorción de Cd (NIGAM *et al.*, 2001).

“Con respecto a la correlación de Cd en suelo y Cd en granos con las características del suelo (Cuadro 10), se tiene Relación negativa del Cd en suelo y almendra con el pH, esto indica que mientras el pH aumenta el contenido de Cd disminuye. ESPINOSA (1999) refiere que a pH de suelo más básicos menor será la disponibilidad de Cd. Esto se puede corroborar con ROSS (1994b) refiere que generalmente los metales quedan retenidos en el suelo a pH básicos, mientras que a pH ácidos los metales están más solubles siendo, por lo tanto, mayor su disponibilidad para las plantas. En general, mientras mayor sea el pH del suelo, mayor será la retención del Cd. Hay varias razones para ello, entre ellas la formación de especies con menor densidad de carga negativa por la unión del ion metálico con los iones OH⁻ y el incremento de las cargas negativas en la superficie de óxidos o de otros materiales de carga variable donde el ion metálico puede adsorberse (PARDO y GUADALIX, 1995; NAIDU, *et al.*, 1997; PARDO, 1997; WU *et al.*, 2000). Con respecto a la M.O. sucede relación negativa lo que indicando que mientras

mayor contenido de materia orgánica menos disponibilidad de Cd en el suelo, del mismo modo con el potasio disponible, la CIC, Ca y Mg. Indicando que al utilizar materia orgánica al suelo esto al mineralizarse estaría formando complejos con el Cd y su solubilidad es menor. HOLMGREN *et al.*, (1993); MA *et al.*, (1997) refiere que la fracción orgánica a la mineralización, puede retener los metales pesados en general, y en particular el Cd, en formas no disponibles para las plantas asimismo SILVEIRA *et al.*, (2003) también refieren que al usar fuentes de materia orgánica reduce la concentración de los metales en la solución suelo. Así, un suelo con una capacidad de intercambio catiónico (CIC) 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. CONTRERAS *et al.* (2002) refieren que en la mayoría de suelos donde encontramos presencia de calcio, no únicamente lo encontramos como calcio libre, sino que puede estar como carbonato y fosfato de calcio; en esta situación el Cd puede ser controlado por la alcalinización del suelo y precipitar al metal pesado. Además, el efecto competitivo del calcio y las consecuencias fisiológicas y químicas de un incremento del pH del suelo disminuyen la absorción de Cd por las raíces de cultivo. El Cd no tiene ninguna función fisiológica conocida en los vegetales y su presencia en los suelos puede limitar la absorción y translocación dentro de la planta de otros elementos que también forman iones divalentes como calcio, magnesio, cinc, hierro y manganeso” (SMILDE *et al.*, 1992; OLIVER, *et al.*, 1994; GUPTA y GUPTA, 1998; LLAMAS *et al.*, 2000).

De acuerdo a los datos mostrados se nota la variabilidad de la relación o asociación entre el contenido de las distintas formas de Cd en el suelo en relación a las diferentes enmiendas (dolomita, M.O, P, zeolita), y las propiedades físico-químicas del suelo evaluadas. No obstante, se puede apreciar una relación entre la presencia de Cd con, pH, materia orgánica, K₂O, CIC, Ca y Mg. Esto nos indica que la presencia de Cd no puede realizarse de manera genérica para todos los suelos, sino que hay que tener presente el tipo, la composición y el uso actual o potencial de cada uno.

VI. CONCLUSIONES

1. Se realizó los análisis físicos químicos de las dos parcelas después de utilizar las enmiendas, las propiedades químicas como el pH, M.O, P, K₂O y CIC. Mejoraron los contenidos.
2. En las dos parcelas donde se instaló los experimentos los tratamientos que disminuyeron el contenido de Cd en granos fueron dolomita y M.O + zeolita.
3. La mejor enmienda para disminuir el contenido de Cd según los resultados recomendamos M.O + zeolita (4.50 kg + 0.45 kg). Porque disminuyo 0.55% del Cd en granos de cacao.
4. Con respecto a las correlaciones de las características del suelo con el contenido de Cd en los granos de cacao se determinó alta significancia con, pH, M.O y CIC

VII. RECOMENDACIONES

1. Se aplicó los mismos tratamientos en diferentes parcelas y los resultados son variables en la cual es necesario realizar un mayor análisis de datos haciendo comparación con las características físicas, químicas del suelo.
2. La parcela de Santa Rosa de Megote, al realizar la prueba de Duncan no hay significancia estadística de Cd disponible en el suelo con los tratamientos, Se recomienda continuar con el monitoreo de las parcelas.
3. Se recomienda realizar más trabajos aplicando materia orgánica ya que estaría disminuyendo el contenido de Cd en granos.
4. Se recomienda utilizar roca fosfórica en suelos ácidos porque se obtiene un mejor resultado

VIII. RESUMEN

En el presente trabajo se utilizó enmiendas dolomita, materia orgánica, roca fosfórica y zeolita, con la finalidad de reducción del contenido de cadmio en las almendras de cacao. Para tal efecto se selecciono dos parcelas de cacao adultos orgánicos pertenecientes a los agricultores socios de la Cooperativa Agraria Industrial de Naranjillo, ubicados a la margen izquierda del rio Huallaga; distritos de Uchiza y Nuevo Progreso, provincia de Tocache, región San Martín. Las referencias es que estas parcelas, contienen niveles altos de cadmio total en almendras, lo que motivó de que fueran seleccionadas. 2.157 ppm y 3.235 ppm. Los objetivos a desarrollar son: (1) Determinar las variaciones físicas, químicas del suelo, (2) Determinar el contenido de cadmio en las almendras de cacao, (3) Determinar la mejor dosis y fuente de enmiendas, (4) Determinar la correlación de cadmio en las almendras de cacao con características físicas químicas del suelo.

Los resultados arrojan que con la aplicación de enmiendas ubo una mejora en las propiedades químicas como el pH, M.O, P, K₂O y CIC. Respecto a la disminución de cadmio en almendras, el mejor resultado se dio con la mezcla de materia orgánico + zeolita en dosis de 4.50 kg + 0.45 kg), disminuyo 0.55 % del cadmio, las correlaciones de cadmio en las almendras de cacao, presentaron alta significancia con, pH, M.O y CIC.

Palabra clave: cadmio, enmienda, almendras, cacao

IX. ABSTRACT

In the present work, additives of dolomite, organic matter, phosphoric rock and zeolite were used with the purpose of reducing the cadmium content in cacao beans. For this, two plots of mature organic cacao belonging to the associates of the Cooperativa Agraria Industrial de Naranjillo, located on the left margin of the Huallaga river, Uchiza and Nuevo Progreso districts, Tocache province, San Martin region, Peru. The references are that these plots contain high levels of total cadmium in the beans, which is the motive behind why they were selected, 2.157 ppm and 3.235 ppm. The objectives to be carried out were: (1) determine the physical and chemical variations in the soil, (2) determine the cadmium content of the cacao beans (3) determine the best dose and source of the additives and (4) determine the correlation of cadmium in the cacao beans with the physicochemical characteristics of the soil.

The results show that with the application of the additives there was an improvement in the chemical properties such as the pH, OM (M.O in Spanish), P, K₂O and CEC (CIC in Spanish). With respect to the reduction of cadmium in the beans, the best result came from the mix of organic matter + zeolite at a dose of 4.50 kg + 0.45 kg), reducing the cadmium by 0.55 %, the correlation of cadmium in the cacao beans presents a high significance with the pH, OM and CEC.

Keywords: cadmium, additives, beans, cacao

X. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ADRIAZOLA, 1991. Manejo del cultivo del cacao. In: Curso Moderno de Cacao. Colegio de Ingenieros del Perú. Tingo Maria, Perú. 70 p.
- ADRIANO. (2001). Ecological and health risk of metals. Trace elements in the Terrestrial environments. 2 p.
- AZPILICUETA, C., PENA, L., CALLEGO, S. 2010. Los metales y las plantas: Entre la nutrición y la toxicidad. Pp 12-16
- BARRUETA, S. 2013 Guía de métodos de detección y análisis de Cd en cacao (Theobroma Cacao L), Lima, noviembre del 2013. Disponible en: http://download14.docslide.com.br/uploads/check_up14/322015/55c33b39bb61eb16168b46cf.pdf. Revisado el 09 de julio del 2015.
- CLEMENTE, R. y BERNAL, B. 2006. Fractionation of heavy metals and distribution of organic carbon in two contaminated soils amended with humic acids. Chemosphere 64 (8):1264 – 1273.
- CIESLINSKI, G.; K.C.J. VAN REES; P.M. HUANG; L.M. KOZAK; H.P.W. ROSTAD y D.R. KNOTT. 1996. Cadmium uptake and bioaccumulation in selected cultivars of durum wheat and flax as affected by soil type. Plant Soil 182:115-124.

- CHARTER, R. A.; M.A. TABATABAI Y J.W. SCHAFER. 1993. Contenidos de metales de fertilizantes comercializados en Iowa. *Commun. Soil Sci. Planta Anal.* (24):961-972.
- CONTRERAS, F; HERRERA, T; IZQUIERDO, A.2002.Efecto de dos fuentes de carbonato de calcio (CaCO₃) sobre la disponibilidad de Cd para plantas de cacao (*Theobroma cacao L.*) en suelos de Barlovento, estado Miranda. *Venesuelos.* 13:52-63. Disponible en internet en la página web: www.venesuelos.org.ve/
- DE MEEÚS, C; EDULJEE, G; HUTTON, M 2002. Assessment and management of risks arising from exposure to cadmium in fertilizers. *The Science of the Total Environment* 291:167-187. Disponible en: <http://www.ingentaconnect.com/>
- ESPINOSA, J. 1999. Acides y encalado de los suelos. *International Plant Nutrition Institute.* Casillas 17-17-980. Quito – Ecuador
- FAO (Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura). 2011. Elaboración y uso del bocashi. El Salvador. 16 p. Disponible en: <http://www.fao.org/3/a-at788s.pdf>. Revisado el 21 de octubre del 2019.
- FÉLIX-HERRÁN, J., SAÑUDO-TORRES, R., ROJO-MARTÍNEZ, G., MARTÍNEZ-RUIZ, R., & OLALDE-PORTUGAL, V. 2008. Importancia de los abonos orgánicos. *Ra Ximhai*, 4(1), 57-67.
- FERGUSON, J.E. 1990. *The heavy metals: Chemistry, environmental impact and health effects.* Pergamon Press, Sydney 76 p.

- FLORES, E.M.M. y A.F. MARTINS. 1997. Distribución de elementos traza en muestras de huevos recolectados cerca de las centrales de carbón. *J. Environ. Qual.* (26):744-748.
- GUPTA, U.C. y S.C. GUPTA. 1998. Trace elements toxicity relationships to crop production and livestock and human health: implication for management. *Commun. Soil Sci. Plant Anal.* 29:1491-1522.
- HOLMGREN, G.G.S; M.W. MEYER; R.L. CHANEY y R.B. DANIELS. 1993. Cd, plomo, zinc, cobre, y níquel en los suelos agrícolas de los Estados Unidos de América. *J. Environ. Qual.* (22): 335-348.
- HUAYNATES, J. L. 2013. Efecto de la materia orgánica en la absorción de cadmio por el suelo, en la localidad de SUPTE" Tesis Para optar el título de: 'Ingeniero en Recursos Naturales Renovables Mención Conservación de Suelos y Agua. Tingo María – Perú. 111 p. Disponible en: http://repositorio.unas.edu.pe/bitstream/handle/UNAS/1301/LLFM_2016.pdf?sequence=1&isAllowed=y. Revisado el 21 de octubre del 2019.
- HURTADO, M 2012. Evaluación de varias enmiendas para recuperar suelos cacaoteros contaminados con Cd (cd) en condiciones de invernadero. Universidad técnica estatal de Quevedo, facultad de ciencias ambientales. Escuela de Ingeniería en Gestión Ambiental
- IRETSKAYA, S Y CHIEN, S. 1999. Comparison of cadmium uptake by five different food grain crops grown on three soils of varying pH. *Commun. Soil. Sci. Plant. Anal.* 30:441 – 448. Disponible en internet en la página web: <ftp://ftp.fao.org/docrep/fao/>

- JIMENEZ, M. 2004. Tesis "Caracterización de minerales zeolíticos Mexicanos".
Universidad Autónoma del estado de México.
- JINADASA, K.B.P.N.; P.J. MILHAM; C.A. HAWKINS; P.S. CORNISH; P.A. WILLIAMS; C.J. KALDOR y J.P. CONROY. 1997. Survey of cadmium levels in vegetables and soils of Greater Sydney, Australia. *J. Environ. Qual.* 26:924-933.
- LAGRIFFOUL, A.; B. MOCQUOT; M. MENCH y J. VANGRONSVELD. 1998. Cadmium toxicity effects on growth, mineral and chlorophyll contents, and activities of stress related enzymes in young maize plants (*Zea mays* L.). *Plant Soil* 200:241-250.
- LAVADO R. S.; M.B. RODRÍGUEZ; J.D. SCHEINER; M.A. TABOADA; G. RUBIO; R. ALVAREZ; M. ALCONADA y M.S. ZUBILLAGA. 1998. Heavy metals in soils of Argentina: Comparison between urban and agricultural soils. *Commun. Soil Sci. Plant Anal.* 29:1913-1917.
- LEHOCZKY, E.; P. MARTH; I. SZABADOS; M. PALKOVICS y P. LUKÁCS. 2000. Influence of soil factors on the accumulation of cadmium by lettuce. *Commun. Soil Sci. Plant Anal.* 31:2425-2431.
- MA, L.Q.; F. TANG Y W.G. HARRIS. 1997. La concentración y la distribución de once metales en Florida suelos. *J. Environ. Qual.* 26:769-775.
- MIRALLES, I. 2006. Tesis "Calidad de suelos en ambiente calizos mediterráneos: parque natural de sierra MARÍA-LOS VÉLEZ". Departamento de edafología y química Agrícola Granada, 2006

- MORTVEDT, J.J. 1996. Heavy metals contaminants in inorganic and organic fertilizers. *Fertilizer Res.* 43:55-61.
- MCGRATH, S.P.; F.J. ZHAO; S.J. DUNHAM; A.R. CROSLAND Y K. COLEMAN. 2000. Cambios a largo plazo en la extractabilidad y la biodisponibilidad de zinc y Cd, después de la aplicación de lodos. *J. Environ. Qual.* (29):875-883.
- NAIDU, R.; R.S. KOOKANA; M.E. SUMNER; R.D. HARTER Y K.G. TILLER. 1997. Cd absorción y el transporte de carga en suelos variables: una revisión. *J. Environ. Qual.* (26): 602-607.
- NATURLAND, 2000. Agricultura Orgánica en el Trópico y Subtrópico. Guía de 18 cultivos. Cacao. 1^{ra} Edición. Alemania. 24 pp. Disponible en internet en la página web: <http://w.w.w.naturland.de>
- NAVA, C; MÉNDEZ, M. 2011. Efectos neurotóxicos de metales pesados (Cd, plomo, arsénico y talio). Disponible en: <http://www.medigraphic.com/pdfs/arcneu/ane-2011/ane113f.pdf>. Revisado el 21 de junio 2016
- NIGAM, R.; S. SRIVASTAVA; S. PRAKASH y M.M. SRIVASTAVA. 2001. Cadmium mobilisation and plant availability - the impact of organic acids commonly exuded from roots. *Plant Soil.* 230:107-113.
- OLIVER, D.P.; K.G. HANNAN; K.G. Tiller; N.S. WILHEM; R. H. Merry y G.D. Cozens. 1994. The effect of zinc fertilization on cadmium concentration in wheat grain. *J. Environ. Qual.* 23:705-711.
- PÉREZ, A; CÉSPEDES, C; NÚÑEZ, P. 2008. Caracterización física-química y biológica de enmiendas orgánicas aplicadas en la producción de cultivos en República Dominicana. *lant Nutr.* 8 (3) (10-29). Disponible en:

https://scielo.conicyt.cl/scielo.php?pid=S0718-27912008000300002&script=sci_arttext. Revisado el 21 de octubre del 2019.

SUBERO, N 2013 Evaluación de las fracciones de fósforo y del contenido de Cd en suelos ácidos fertilizados con fosfatos por largos periodos y su absorción por el arroz disponible en: http://saber.ucv.ve/jspui/bitstream/123456789/4550/1/T026800007904-0-Tesis_paraDefensa-000.pdf revisado el 16 de agosto del 2015

OSORNO, L. 2013. Tesis “Bioacumulación de roca fosfórica bajo condiciones in vitro”. Universidad nacional de Colombia.

PARDO, M.T. 1997. Influencia del electrolito en la interacción con Cd andisoles seleccionados y Alfisoles. *Soil Sci.* (162):733-740.

RAMÍREZ, A. 2002. Toxicología del Cd. Conceptos actuales para evaluar exposición ambiental u ocupacional con indicadores biológicos. Universidad Nacional Mayor de San Marcos. Disponible en: http://sisbib.unmsm.edu.pe/bvrevistas/anales/v63_n1/pdf/toxicologia_Cd.pdf. Revisado 21 de junio del 2016

ROSS, S. 1994. Retention, transformation and mobility of toxic metals in soils. En: *Toxic metals in soil-plant systems* (ed S.M. Ross), pp. 63-152.

RUEDA, S; RODRÍGUEZ, V y MADRIÑÁN, M, 2011. Metodologías para establecer valores de referencia de metales pesados en suelos agrícolas: Perspectivas para Colombia. Ingeniero Sanitario, M. Sc. Profesor Asistente Universidad Nacional de Colombia sede Palmira, Colombia. 07.10.11

- SALES, B. 2006. Tesis “Caracterización de la materia orgánica de suelos representativos de ecosistema amazónico del Perú, Departamento de Ucayali, e influencia de su uso y manejo en el secuestro del carbón” Facultad de ciencias químicas Sevilla, junio de 2006.
- SCHWANER, SH. 2006. Tesis “solubilizacion de roca fosforica Carolina del Norte por cepas de *Aspergillus niger* van tleghem y su evaluación en plántulas de lechuga (*lactuca sativa* L.) En invernadero” facultad de ciencias agrarias. Chile
- SILVIERA MLA; ALLEONI LRF; GUILHERME LRG. 2003. Biosolids and heavy metals in soils. Scientia Agrícola. 60: 793-806. Disponible en internet en la página web: <http://rrec-ona.ifas.ufl.edu/faculty/silveira.shtml>

XI. ANEXO

Cuadro 11. Datos generales del análisis físico químico del suelo sector Santa Rosa de Megote

N° de Tra.	ANÁLISIS MECÁNICO				pH	M.O.	N	P	K ₂ O	CIC	CAMBIABLES Cmol(+)/kg						CICe	%	%	%
	Arena	Arcilla	Limo	TEXTURA							Ca	Mg	K	Na	Al	H				
	%	%	%								1:1	%	%	ppm	kg/ha	Bas. Camb				
T 1	7.680	35.040	57.280	Franco Arcillo Limoso	5.445	3.825	0.172	6.899	147.744	6.287	6.004	0.641	0.193	0.106	0.950	0.379	8.633	92.657	7.343	5.248
T 2	19.680	31.040	49.280	Franco Arcillo Limoso	5.250	3.825	0.172	6.709	141.053	----	6.058	0.540	0.096	0.193	0.391	0.233	7.408	94.150	5.850	3.679
T 3	15.680	33.040	51.280	Franco Arcillo Limoso	5.040	2.892	0.130	6.887	157.848	----	7.208	0.671	---	---	0.144	0.077	8.100	97.244	2.756	1.783
T 4	21.680	27.040	51.280	Franco Arcillo Limoso	5.228	2.752	0.132	7.346	233.045	----	7.152	0.685	---	---	0.135	0.197	8.169	95.696	4.304	1.704
T 5	21.660	25.040	53.020	Franco Arcillo Limoso	5.105	3.918	0.202	6.768	193.127	----	6.746	0.686	---	---	0.142	0.129	7.703	96.362	3.638	1.824
T 6	15.680	31.040	53.280	Franco Arcillo Limoso	5.123	4.151	0.185	6.264	170.270	----	6.741	0.691	---	---	0.096	0.150	7.678	96.651	3.349	1.261
T 7	15.680	33.040	51.280	Franco Arcillo Limoso	5.183	4.198	0.189	5.761	169.608	----	6.990	0.684	---	---	0.172	0.198	8.043	95.071	4.929	2.182
T 8	19.680	33.040	47.280	Franco Arcillo Limoso	5.175	4.011	0.181	6.383	151.786	----	6.811	0.653	---	---	0.146	0.075	7.685	97.778	2.222	1.501
T 9	17.680	35.040	47.280	Franco Arcillo Limoso	5.245	2.752	0.124	6.537	238.511	6.376	5.656	0.630	0.238	0.088	0.145	0.122	6.693	96.465	3.535	1.622
T 10	19.680	27.040	53.280	Franco Arcillo Limoso	5.088	2.985	0.134	6.353	123.164	----	6.729	0.681	---	---	0.144	0.109	7.631	97.111	2.889	1.882
T 11	19.680	29.040	51.280	Franco Arcillo Limoso	5.140	3.638	0.164	6.176	183.521	----	6.775	0.678	---	---	0.135	0.175	7.773	95.781	4.219	1.742
T 12	19.680	27.040	53.280	Franco Arcillo Limoso	5.115	3.452	0.168	7.835	157.699	----	6.562	0.690	---	---	0.162	0.075	7.498	96.665	3.335	2.207
T 13	21.680	27.040	51.280	Franco Arcillo Limoso	5.188	3.452	0.155	6.590	141.450	----	6.498	0.670	---	---	0.193	0.078	7.439	96.216	3.784	2.705
T 0	17.680	33.040	49.280	Franco Arcillo Limoso	4.978	2.706	0.122	6.205	122.899	----	6.439	0.644	---	---	0.207	0.113	7.402	95.580	4.420	2.886

Cuadro 12. Datos generales del análisis físico químico del suelo sector Santa Elena

N° de Trat.	ANALISIS MECANICO				pH	M.O.	N	P	K ₂ O	CIC	CAMBIABLES Cmol(+)/kg						CICe	%	%	%
	Arena	Arcilla	Limo	TEXTURA	1:1	%	%	ppm	kg/ha		Ca	Mg	K	Na	Al	H		Bas. Camb	Ac. Camb.	Sat. Al
	%	%	%		%	%	%	ppm	kg/ha		Ca	Mg	K	Na	Al	H		Bas. Camb	Ac. Camb.	Sat. Al
T 1	21.013	30.540	49.280	Franco Arcillo	4.455	1.493	0.097	5.138	206.047		2.239	0.434			0.971	0.457	4.104	67.306	32.694	22.305
T 2	18.347	28.540	47.280	Franco Arcillo Limoso	4.648	2.052	0.092	6.635	151.885		2.642	0.687			1.433	0.647	5.410	61.899	38.101	26.279
T 3	17.680	30.040	47.780	Franco Arcillo Limoso	4.453	2.426	0.109	6.353	139.794		2.255	0.527			0.942	0.511	4.234	65.574	34.426	22.354
T 4	17.680	28.540	49.280	Franco Arcillo Limoso	4.505	2.146	0.097	8.517	148.837		2.359	0.525			1.277	0.619	4.779	59.640	40.360	27.325
T 5	16.347	33.040	46.780	Franco Arcillo Limoso	4.453	2.237	0.101	7.509	142.974		1.914	0.299			1.360	0.708	4.281	51.517	48.483	31.904
T 6	17.787	31.040	50.700	Franco Arcillo Limoso	4.380	1.679	0.076	7.806	173.086		2.016	0.488	--	---	1.779	0.708	4.990	49.946	50.054	35.831
T 7	20.347	29.040	48.780	Franco Arcillo Limoso	4.418	2.612	0.118	7.628	162.320		2.135	0.394	--	---	1.507	0.611	4.646	54.935	45.065	31.760
T 8	18.347	28.540	48.780	Franco Arcillo Limoso	4.518	2.612	0.118	6.057	114.816		2.193	0.443	--	---	1.590	0.625	4.851	55.424	44.576	31.936
T 9	18.680	28.540	49.530	Franco Arcillo Limoso	4.425	2.332	0.105	7.228	140.854		2.098	0.378	--	---	1.486	0.644	4.606	53.973	46.027	32.052
T 10	18.680	27.540	51.530	Franco Arcillo Limoso	4.361	2.612	0.118	6.131	113.491		2.297	0.313	--	---	1.549	0.618	4.776	54.196	45.804	33.126
T 11	18.347	28.040	50.780	Franco Arcillo Limoso	4.403	2.799	0.126	7.331	175.239		2.483	0.441			1.465	0.923	5.311	54.696	45.304	28.283
T 12	16.347	32.540	49.530	Franco Arcillo Limoso	4.484	2.332	0.105	7.331	129.359		2.295	0.529			1.413	0.643	4.879	57.887	42.113	28.988
T 13	22.347	27.040	48.280	Franco Arcillo Limoso	4.293	2.332	0.105	5.375	165.964		2.209	0.370			1.360	0.609	4.548	56.876	43.124	29.777
T 14	21.013	26.040	49.280	Franco limoso	4.443	1.493	0.067	6.294	197.765		1.963	0.461			1.779	0.929	5.132	46.998	53.002	34.852

Cuadro 13. Análisis de Duncan ($\alpha = 0.05$) para cadmio disponible en suelo y cadmio total en granos de cacao del sector Santa Rosa de Megote

cadmio disponible de suelos					cadmio total de granos				
Tratamientos	Medias	n	E.E.		Tratamientos	Medias	n	E.E.	
T12	0.48	4	0.08	a	T2	2.89	4	0.22	a
T0	0.47	4	0.08	a	T11	2.88	4	0.22	a
T13	0.44	4	0.08	a	T8	2.88	4	0.22	a
T7	0.44	4	0.08	a	T3	2.85	4	0.22	a
T5	0.43	4	0.08	a	T1	2.75	4	0.22	a
T4	0.42	4	0.08	a	T9	2.75	4	0.22	a
T3	0.42	4	0.08	a	T6	2.71	4	0.22	a
T8	0.41	4	0.08	a	T5	2.7	4	0.22	a
T6	0.37	4	0.08	a	T0	2.61	4	0.22	a
T11	0.37	4	0.08	a	T7	2.58	4	0.22	a
T1	0.33	4	0.08	a	T4	2.38	4	0.22	a
T2	0.31	4	0.08	a	T12	2.36	4	0.22	a
T9	0.28	4	0.08	a	T10	2.35	4	0.22	a
T10	0.26	4	0.08	a	T13	2.31	4	0.22	a

Medias con una letra común no son significativamente diferentes ($p > 0.05$)

Cuadro 14. Análisis de Duncan ($\alpha = 0.05$) para cadmio disponible en suelo y cadmio total en granos de cacao del sector Santa Elena

Cadmio disponible en suelo					cadmio total en granos de cacao				
Tratamientos	medias	n	E.E.		Tratamientos	medias	n	E.E.	
T0	0.15	4	0.02	a	T10	1.85	4	0.25	a
T2	0.15	4	0.02	a	T6	1.75	4	0.25	a
T12	0.14	4	0.02	a	T0	1.50	4	0.25	a
T11	0.13	4	0.02	a	T3	1.43	4	0.25	a
T3	0.13	4	0.02	a	T2	1.43	4	0.25	a
T10	0.13	4	0.02	a	T12	1.43	4	0.25	a
T4	0.12	4	0.02	a	T9	1.43	4	0.25	A
T5	0.12	4	0.02	a	T1	1.41	4	0.25	A
T1	0.12	4	0.02	a	T4	1.40	4	0.25	A
T6	0.11	4	0.02	a	T5	1.36	4	0.25	A
T8	0.10	4	0.02	a	T11	1.31	4	0.25	A
T7	0.10	4	0.02	a	T13	0.98	4	0.25	A
T9	0.09	4	0.02	a	T8	0.96	4	0.25	A
T13	0.08	4	0.02	a	T7	0.95	4	0.25	A

Medias con una letra común no son significativamente diferentes ($p > 0.05$)



Figura 6. Con la sr. Dávila Maldonado Pura, propietaria de la parcela Santa Rosa de Megote, distrito de Nuevo Progreso



Figura 7. Entrega de enmiendas en la parcela Santa Rosa de Megote, distrito de Nuevo Progreso



Figura 8. Con la sr. Acuña Trujillo Cesar, propietaria de la parcela Santa Elena, distrito de Uchiza



Figura 9. Entrega de enmiendas en la parcela Santa Elena, distrito de Uchiza



Figura 10. Pesado de bocashi



Figura 11. Pesado de Dolomita, Zeolita y Roca fosfórica



Figura 12. Rotulación de tratamientos



Figura 13. Ubicación de los tratamientos



Figura 14. Ubicación de las enmiendas según los tratamientos/bloque.



Figura 15. Aplicación de las enmiendas bajo la proyección de la copa del árbol de cacao. Santa Rosa de Megote.



Figura 16. Aplicación de las enmiendas bajo la proyección de la copa del árbol
Santa Elena



Figura 17. Muestra de aplicación del tratamiento T₈



Figura 18. Recolección de almendras de cacao fresco



Figura 19. Muestras de cacao por cada tratamiento