

**UNIVERSIDAD NACIONAL AGRARIA DE LA SELVA**

**FACULTAD DE AGRONOMÍA**



**TESIS**

**“EFECTO DE LA MATERIA ORGÁNICA EN LA REDUCCIÓN DEL  
CADMIO EN EL SUELO Y EN PLANTONES DE CACAO  
(*Theobroma cacao* L.) EN VIVERO”**

**Para obtener el título profesional de  
INGENIERO AGRÓNOMO**

**Elaborado por  
JEFER JACINTO GUZMAN ÑAHUIRIMA**

**TINGO MARÍA – PERÚ**

**2019**



**T**  
**AGR**

**Guzmán Ñahuirima, Jefer Jacinto**

“Efecto de la materia orgánica en la reducción del cadmio en el suelo y en plantones de cacao (*Theobroma cacao* L.) en vivero”

132 páginas; 48 Cuadros; 41 Figuras; 60 ref.; 30 cm.

Tesis (Ingeniero Agrónomo) Universidad Nacional Agraria de la Selva, Tingo María (Perú). Facultad de Agronomía.

- 1. SEMILLAS DE CACAO**
- 2. SUELOS RESIDUALES**
- 3. MATERIA ORGÁNICA**
- 4. PLANTONES**
- 5. CADMIO**

## UNIVERSIDAD NACIONAL AGRARIA DE LA SELVA

### REGISTRO DE TESIS PARA LA OBTENCIÓN DEL TÍTULO UNIVERSITARIO, INVESTIGACIÓN DOCENTE.

#### I. DATOS GENERALES DE PREGRADO

**Universidad** : Universidad Nacional Agraria de la Selva

**Facultad** : Facultad de Agronomía

**Título de Tesis** : Efecto de la materia orgánica en la reducción del cadmio en el suelo y en plántones de cacao (*Theobroma cacao* L.) en vivero

**Autor** : Jefer Jacinto Guzman Ñahuirima

**Asesor de Tesis** : Dr. Hugo Huamani Yupanqui

**Escuela Profesional** : Agronomía

**Programa de Investigación** : Cultivos tropicales

**Línea(s) de Investigación** : Suelos y fertilizantes

**Eje temático de investigación** : Sistema agrícola de producción

**Lugar de Ejecución** : Tingo María – Huánuco

**Duración** : Fecha de Inicio : 26/04/17  
Fecha de culminación : 07/01/18

**Financiamiento** : S/. 15 000.00 nuevos soles

FEDU : No

Propio : Si

Otros : Si



*\*Año de la lucha de la corrupción y la impunidad\**

## **ACTA DE SUSTENTACIÓN DE TESIS N° 009-2019-FA-UNAS**

**BACHILLER** : Jefer Jacinto GUZMAN ÑAHUIRIMA

**TÍTULO** : EFECTO DE LA MATERIA ORGÁNICA EN LA REDUCCIÓN DEL CADMIO EN EL SUELO Y EN PLANTONES DE CACAO (*Theobroma cacao* L) EN VIVERO.

**JURADO CALIFICADOR**

PRESIDENTE : Dr. JOSÉ W. ZAVALA SOLÓRZANO

VOCAL : Ing. JAIME J. CHÁVEZ MATIAS

VOCAL : Ing. LUIS G. MANSILLA MINAYA

ASESOR : Dr. HUGO A. HUAMANI YUPANQUI

**FECHA DE SUSTENTACIÓN** : 04 de abril del 2019

**HORA DE SUSTENTACIÓN** : 9:00 am

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

**CALIFICATIVO** : BUENO

**RESULTADO** : APROBADO

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

TINGO MARÍA, 04 de abril del 2019.

  
.....  
Dr. JOSÉ W. ZAVALA SOLÓRZANO  
PRESIDENTE

  
.....  
Ing. JAIME J. CHÁVEZ MATIAS  
VOCAL

  
.....  
Ing. LUIS G. MANSILLA MINAYA  
VOCAL

  
.....  
Dr. HUGO A. HUAMANI YUPANQUI  
ASESOR



## DEDICATORIA

A Dios por ser un ente que de alguna u otra manera ayuda a que el mundo sea de paz y amor.

A mi madre LUCY ÑAHUIRIMA, por ser el principal cimiento para la construcción de mi vida profesional y personal, sentó en mí la base de la responsabilidad y deseos de superación, por estar ahí cuando más lo necesite, por su gran apoyo incondicional, no teniendo suficientes palabras para agradecer por todo lo que hizo y hará por mí sin condición alguna, agradecimientos totales por siempre.

A mi padre JACINTO GUZMAN, mi eterno agradecimiento por brindarme lo necesario y suficiente, siempre con amor aun en momentos de carencia, enseñando siempre con el ejemplo.

A mi única hermana EVELYN GUZMAN, por el amor, paciencia, comprensión y el apoyo incondicional en todo momento. A ella con amor y cariño siempre.

## **AGRADECIMIENTO**

Quiero expresar mi más sincero agradecimiento:

A mi alma mater, Universidad Nacional Agraria de la Selva, por mi formación académica y profesional en estos años, así como también a los diferentes catedráticos que brindaron sus conocimientos y su apoyo para seguir adelante con mi carrera.

Al Dr. Hugo Huamani Yupanqui asesor de la presente tesis, por su orientación, durante la ejecución y redacción de la tesis.

Al Dr. José W. Zavala Solórzano presidente y jurado de la tesis, por su revisión académica, técnico - científico y la autorización para el empastado.

A los miembros del jurado de tesis: Ing. Luis G. Mansilla Minaya y Ing. Jaime J. Chávez Matías miembros de jurado, por su apoyo en la revisión, sugerencias y aporte al presente trabajo de investigación.

Al Ing. M. Sc. Elvis Ottos Díaz, por su gran ayuda en la ejecución del experimento y confianza depositada en mí.

A el convenio de subvención N° 101-2015 FONDECYT, por el financiamiento de materiales, equipos, reactivos entre otros, que permitieron realizar la tesis.

A todas las personas que formaron parte de esta etapa importante de mi vida que me inspiraron, motivaron y enseñaron a nunca desistir.

## INDICE GENERAL

	<b>Página</b>
I. INTRODUCCIÓN.....	16
II. REVISIÓN DE LITERATURA .....	18
2.1. Cacao en el Perú.....	18
2.2. Generalidades del cadmio.....	19
2.3. Metales pesados .....	19
2.3.1. Origen de la contaminación de suelos por metales pesados .....	20
2.3.2. Factores del suelo que afectan la disponibilidad y acumulación de metales pesados.....	23
2.4. Cadmio en el suelo.....	27
2.5. Abono orgánico wanunchasqa .....	28
2.5.1. Beneficios .....	29
2.5.2. Propiedades .....	30
2.5.3. Fuentes.....	31
2.6. Niveles máximos de cadmio en el chocolate.....	31
2.7. Posibles enfermedades que causa el cadmio en la salud .....	35
III. MATERIALES Y MÉTODOS .....	36
3.1. Campo experimental .....	36
3.1.1. Ubicación.....	36
3.1.2. Análisis físico - químico de suelos .....	36

3.2. Componentes en estudio .....	38
3.2.1. Materia orgánica (Wanunchasqa).....	39
3.3. Tratamientos en estudio .....	40
3.4. Diseño experimental.....	41
3.4.1. Análisis de varianza (ANVA).....	41
3.4.2. Modelo estadístico.....	42
3.5. Ejecución del experimento .....	43
3.5.1. Instalación del experimento .....	43
3.5.2. Recolección y germinación de cacao .....	45
3.6. Metodología para determinar cadmio disponible o extraíble en el suelo .....	46
3.7. Metodología para determinar cadmio total en el suelo.....	46
3.8. Metodología para la determinación de cadmio total en planta (digestión seca) .....	47
IV. RESULTADOS Y DISCUSIÓN .....	48
4.1. Efecto de la materia orgánica en la reducción del cadmio disponible y total en el suelo .....	48
4.1.1. Análisis de varianza de los efectos simples para el Cd disponible y Cd total .....	55
4.1.2. Prueba de comparación de medias de Duncan .....	60

4.2. Concentraciones de cadmio en las hojas de los plántones de cacao en vivero .....	75
4.2.1. Análisis de varianza de los efectos simples.....	80
4.2.2. Prueba de medias de comparación de Duncan .....	82
4.3. Correlación entre el Cd disponible y Cd total del suelo con el Cd total en las hojas de los plántones de cacao .....	91
4.4. Altura de plántones .....	92
4.4.1. Prueba de medias de comparación de Duncan .....	96
V. CONCLUSIONES .....	103
VI. RECOMENDACIONES.....	104
VII. RESUMEN.....	105
ABSTRACT.....	105
VIII. REFERENCIA BIBLIOGRÁFICA .....	107
IX. ANEXOS.....	116

## INDICE DE CUADROS

	<b>Página</b>
1. Criterios para establecer niveles máximos. ....	32
2. Niveles máximos permitidos de cadmio en chocolate y cacao en polvo. ....	33
3. Análisis físico - químico del suelo muestreado. ....	37
4. Análisis físico - químico del suelo muestreado. ....	38
5. Análisis proximal y químico de la materia orgánica (Wanunchasqa). ....	39
6. Descripción de los tratamientos en estudio. ....	40
7. Esquema del análisis de varianza. ....	41
8. Prueba de significación de Duncan ( $\alpha=0.05$ ), para el factor tipo de suelo (A) en el cadmio disponible y total en el suelo (ppm) en plántones de cacao. ....	50
9. Prueba de significación de Duncan ( $\alpha=0.05$ ), para el factor niveles de cadmio (B) en el cadmio disponible y total en el suelo (ppm) en plántones de cacao en vivero. ....	52
10. Prueba de significación de Duncan ( $\alpha=0.05$ ), para el factor niveles de materia orgánica (C) en el cadmio disponible y total en el suelo (ppm) en plántones de cacao en vivero. ....	54
11. Resumen del análisis de varianza de efectos simples tipo de suelo (A) y Niveles de cadmio (B) para la cantidad de cadmio disponible y total. ....	57

12.	Resumen del análisis de varianza de efectos simples tipo de suelo (A) y niveles de materia orgánica (C) para la cantidad de cadmio disponible en el suelo. ....	58
13.	Resumen del análisis de varianza de efectos simples niveles de cadmio (B) y niveles de materia orgánica (C) para la cantidad de cadmio disponible y total en el suelo. ....	60
14.	Prueba de significación de Duncan( $\alpha=0.05$ ), para tipos de suelo (A) y niveles de cadmio (B), para el cadmio disponible y cadmio total en el suelo (ppm) en plántones de cacao en vivero. ....	61
15.	Prueba de significación de Duncan( $\alpha=0.05$ ), para tipo de suelo (A) y niveles de materia orgánica (C), para el cadmio disponible y cadmio total en el suelo (ppm) en plántones de cacao en vivero. ...	65
16.	Prueba de significación de Duncan( $\alpha=0.05$ ), para niveles de cadmio (B) y niveles de materia orgánica (C), para el cadmio disponible y cadmio total en el suelo (ppm) en plántones de cacao en vivero. ....	69
17.	Prueba de significación de Duncan ( $\alpha=0.05$ ) , para los tratamientos en el cadmio disponible en el suelo en plántones de cacao en vivero.....	73
18.	Prueba de significación de Duncan ( $\alpha=0.05$ ), para los tratamientos en el cadmio total en el suelo en plántones de cacao en vivero. ....	74
19.	Prueba de significación de Duncan ( $\alpha=0.05$ ), para el factor tipo de suelo (A) en la concentración de cadmio en las hojas (ppm) de plántones de cacao en vivero. ....	75

20.	Prueba de significación de Duncan ( $\alpha=0.05$ ), para el factor niveles de cadmio (B) en la concentración de cadmio en las hojas (ppm) de plántones de cacao en vivero. ....	78
21.	Prueba de significación de Duncan ( $\alpha=0.05$ ), para el factor niveles de materia orgánica (C) en la concentración de cadmio en las hojas (ppm) de plántones de cacao en vivero. ....	79
22.	Resumen del análisis de varianza de efectos simples tipo de suelo (A) y niveles de materia orgánica (C) para la concentración de cadmio en las hojas de plántones de cacao en vivero.....	81
23.	Resumen del análisis de varianza de efectos simples para los niveles de cadmio (B) y niveles de materia orgánica (C) en la concentración de cadmio en las hojas de plántones de cacao.....	82
24.	Prueba de significación de Duncan ( $\alpha=0.05$ ), para tipo de suelo (A) y niveles de cadmio (B), para la concentración de cadmio en las hojas (ppm) de plántones de cacao en vivero.....	83
25.	Prueba de significación de Duncan ( $\alpha=0.05$ ), para tipo de suelo (A) y niveles de materia orgánica (C), para la concentración de cadmio (ppm) en plántones de cacao en vivero. ....	85
26.	Prueba de significación de Duncan ( $\alpha=0.05$ ), para niveles de cadmio (B) y niveles de materia orgánica (C) para el contenido de cadmio (ppm) en las hojas de cacao en vivero.....	87
27.	Prueba de significación de Duncan ( $\alpha=0.05$ ), para los tratamientos en el cadmio en hojas de cacao. ....	90

28.	Coeficiente de correlación de Spearman entre el contenido de cadmio disponible y cadmio total en el suelo con el cadmio en hojas de cacao.....	91
29.	Prueba de significación de Duncan ( $\alpha=0.05$ ), para el factor tipo de suelo (A) en la altura de planta (cm).....	92
30.	Prueba de significación de Duncan ( $\alpha=0.05$ ), para el factor niveles de cadmio (B) en la altura de planta (cm).....	93
31.	Prueba de significación de Duncan ( $\alpha=0.05$ ), para el factor niveles de materia orgánica (C) en la altura de planta (cm).....	95
32.	Prueba de significación de Duncan ( $\alpha=0.05$ ), para tipos de suelo (A) y niveles de cadmio (B) en la altura de plantones (cm) de cacao en vivero.....	96
33.	Prueba de significación de Duncan ( $\alpha=0.05$ ), para tipos de suelo (A) y niveles de materia orgánica (C) en la altura de plantones (cm) de cacao en vivero. ....	98
34.	Prueba de significación de Duncan( $\alpha=0.05$ ), para niveles de cadmio (B) y niveles de materia orgánica (C) en la altura de plantones (cm) de cacao en vivero.....	100
35.	Prueba de significación de Duncan ( $\alpha=0.05$ ), para los tratamientos en altura de planta en cm. ....	102
36.	Datos iniciales de cadmio disponible (ppm) en el suelo después de la incubación de 45 días con Cd ( $3\text{CdSO}_4 \cdot 8\text{H}_2\text{O}$ ) y materia orgánica.....	117
37.	. Datos finales de cadmio disponible (ppm) en el suelo.....	118

38.	Análisis de varianza del cadmio disponible (ppm) en el suelo.....	118
39.	Datos finales de cadmio total (ppm) en el suelo. ....	119
40.	Análisis de varianza del cadmio total (ppm) en el suelo. ....	119
41.	Datos finales de cadmio total en las hojas de plántones de cacao..	120
42.	Análisis de varianza del cadmio en hojas en plántones de cacao. ...	120
43.	Datos de altura de plántones de cacao (cm). ....	121
44.	Análisis de varianza de la altura de plántones de cacao (cm). ....	121
45.	Datos de número de hojas de plántones de cacao.....	122
46.	Análisis de varianza de número de hojas en plántones de cacao. ...	122
47.	Datos de diámetro de plántones de cacao (cm). ....	123
48.	Análisis de varianza del diámetro de plántones de cacao. ....	123

## INDICE DE FIGURAS

	<b>Página</b>
1. Área sembrada de Cacao en el Perú.....	18
2. Origen de los metales pesados. ....	21
3. Concentración de cadmio disponible y total (ppm) en dos suelos residuales en plántones de cacao. ....	50
4. Niveles de cadmio aplicado en la concentración de cadmio disponible y total (ppm) en el suelo en plántones de cacao en vivero. ....	53
5. Niveles de materia orgánica (%) en la concentración de cadmio disponible y total (ppm) en el suelo en plántones de cacao en vivero. ....	55
6. Cadmio disponible en suelo por efecto de la aplicación de los niveles de cadmio ( $3\text{CdSO}_4 \cdot 8\text{H}_2\text{O}$ ).....	63
7. Cadmio total en el suelo por efecto de aplicación de los niveles de cadmio ( $3\text{CdSO}_4 \cdot 8\text{H}_2\text{O}$ ). ....	63
8. Cadmio disponible en el suelo por efecto de la aplicación de los niveles de materia orgánica (%). ....	67
9. Cadmio total en el suelo por efecto de la aplicación niveles de materia orgánica (%). ....	68
10. Cadmio disponible en el suelo por efecto de la aplicación de niveles de materia orgánica (%) y cadmio aplicado ( $3\text{CdSO}_4 \cdot 8\text{H}_2\text{O}$ ). ....	71

11.	Cadmio total en el suelo por efecto de la aplicación de niveles de materia orgánica (%) y cadmio aplicado ( $3\text{CdSO}_4 \cdot 8\text{H}_2\text{O}$ ).....	71
12.	Tipo de suelo en la concentración de cadmio en las hojas (ppm) de plántones de cacao en vivero. ....	77
13.	Niveles de cadmio aplicado en la concentración de cadmio en las hojas (ppm) de plántones de cacao en vivero. ....	78
14.	Niveles de materia orgánica en la concentración de cadmio en las hojas (ppm) de plántones de cacao en vivero. ....	80
15.	Cadmio en las hojas por la aplicación de los niveles de cadmio ( $3\text{CdSO}_4 \cdot 8\text{H}_2\text{O}$ ) en dos suelos en plántones de cacao en vivero. ...	84
16.	Cadmio en las hojas por efecto de la aplicación de materia orgánica (%) en dos suelos en plántones de cacao en vivero.....	86
17.	Cadmio en las hojas por efecto de la aplicación de niveles de materia orgánica (%) y niveles de cadmio (ppm) en plántones de cacao en vivero.....	88
18.	Tipos de suelo en la altura de plántones (cm) de cacao en vivero. .	93
19.	Niveles de cadmio en la altura de los plántones (cm) de cacao en vivero. ....	94
20.	Efecto de los niveles de materia orgánica en la altura de plántones (cm) de cacao en vivero. ....	95
21.	Tipos de suelo (A) y niveles de cadmio (B) en altura de plántones (cm) de cacao en vivero. ....	97
22.	Tipos de suelo (A) y niveles de materia orgánica (C) en altura de plántones (cm) de cacao en vivero. ....	99

23. Niveles de cadmio (B) y niveles de materia orgánica (C) en la altura de plantones (cm) de cacao en vivero. ....	101
24. Análisis de materia orgánica (wanunchasqa). ....	124
25. Análisis inicial de suelos. ....	125
26. Preparación de la solución de cadmio. ....	126
27. Cálculos en (ml) para la contaminación con 1.5, 3.0 y 4.5 ppm de cadmio. ....	126
28. Contaminación con 1.5, 3.0 y 4.5 ppm de cadmio a las bolsas de 2 kg.....	127
29. Cálculo de la materia orgánica en gramos y porcentaje en base húmeda.....	127
30. Muestras para determinar de Cd disponible en el suelo.....	128
31. Muestras para determinar de Cd total en el suelo. ....	128
32. Agregando ácido nítrico a las muestras para la determinar Cd total en el suelo. ....	129
33. Calentando las muestras en la plancha para la determinación de Cd total en el suelo. ....	129
34. Filtrando las muestras de suelo para determinar Cd total en el suelo.....	130
35. Muestras de hojas de plantones de cacao en crisoles en la mufla. .	130
36. Agregando ácido clorhídrico a las muestras de tejido (hojas) de plantones de cacao.....	131

37. Plantones de cacao con 1.07 % M.O contaminado con 1.5, 3.0 y 4.5 ppm Cd ( $3\text{CdSO}_4 \cdot 8\text{H}_2\text{O}$ ) en un suelo con 3.23 ppm de Cd total.....	131
38. Plantones de cacao con 2.14 % M.O contaminado con 1.5, 3.0 y 4.5 ppm Cd ( $3\text{CdSO}_4 \cdot 8\text{H}_2\text{O}$ ) en un suelo con 3.23 ppm de Cd total.....	132
39. Plantones de cacao con 3.21 % M.O contaminado con 1.5, 3.0 y 4.5 ppm Cd ( $3\text{CdSO}_4 \cdot 8\text{H}_2\text{O}$ ) en un suelo con 3.23 ppm de Cd total.....	132
40. Plantones de cacao con 1.07 % M.O contaminado con 4.5 ppm Cd ( $3\text{CdSO}_4 \cdot 8\text{H}_2\text{O}$ ) en un suelo con 0.00 ppm Cd total.....	133
41. Plantones de cacao con 0 % M.O contaminado con 1.5, 3.0 y 4.5 ppm Cd ( $3\text{CdSO}_4 \cdot 8\text{H}_2\text{O}$ ) en dos tipos de suelo residuales. ....	133

## VII. RESUMEN

El presente trabajo de investigación se desarrolló en la Universidad Nacional Agraria de La Selva - Tingo María, en el vivero de la Facultad de Agronomía. En dos suelos residuales con características contrastantes en el contenido de cadmio inicial en el suelo, se estableció un ensayo en vivero durante 6 meses, con el objetivo de determinar mediante el análisis de suelo y foliar el efecto de la materia orgánica (Wanunchasqa), en la reducción de cadmio en plántones de cacao (*Theobroma cacao* L.). Adicionalmente se utilizaron dosis de cadmio ( $3\text{CdSO}_4 \cdot 8\text{H}_2\text{O}$ ) con la finalidad de contaminar y niveles de materia orgánica para corregir. Se evaluó el cadmio disponible inicial en el suelo, al finalizar se determinó el cadmio (Cd) disponible extraíble en (EDTA, pH 7, 0.05 M, cadmio total (USEPA 3050-B) y cadmio en hojas (Digestión seca). Los resultados indican que a mayor concentración de cadmio en el suelo aumenta la cantidad de Cd disponible, Cd total y cadmio en las hojas. El segundo nivel de materia orgánica (1.07% M.O) tuvo un efecto esperado en la menor disponibilidad de cadmio en el suelo en comparación con el testigo y demás niveles; de la misma manera sucede con el cadmio total. En cuanto al cadmio en hojas todos los niveles de materia orgánica tuvieron un efecto reductor de cadmio total en comparación al testigo, también se obtuvo una correlación positiva entre el Cd disponible, Cd total con el cadmio en las hojas. Teniendo un efecto positivo la materia orgánica en la disminución de cadmio tanto en suelo como en las hojas de los plántones de cacao en vivero.

## ABSTRACT

This research work was carried out at the National University of Agrarian in the Rainforest - Tingo Maria, in the nursery of the Faculty of Agronomy. In two residual soils with contrasting characteristics in the initial cadmium content in the soil, a nursery trial was established for 6 months, with the objective of determining through soil analysis and foliating the effect of organic matter (Wanunchasqa), in the reduction of cadmium in cocoa seedlings (*Theobroma cacao* L.). Additionally, cadmium doses ( $3\text{CdSO}_4 \cdot 8\text{H}_2\text{O}$ ) were used for the purpose of contaminating and levels of organic matter to correct. The initial available cadmium in the soil was evaluated, at the end the cadmium (Cd) available in removable was determined in (EDTA, pH 7, 0.05 M, total cadmium (USEPA 3050-B) and cadmium in leaves (Dry digestion). Indicate that the higher the concentration of cadmium in the soil increases the amount of available Cd, total Cd and cadmium in the leaves. The second level of organic matter (1.07% MO) had an expected effect on the lower availability of cadmium in the soil in comparison with the control and other levels; in the same way it happens with the total cadmium as for the cadmium in leaves all the levels of organic matter had a reducing effect of total cadmium compared to the control, a positive correlation was also obtained between the Available Cd, total Cd with cadmium in the leaves, with organic matter having a positive effect in the decrease of cadmium both in soil and in the leaves of cocoa seedlings in nursery.

## I. INTRODUCCIÓN

El cacao en nuestra región es un cultivo de mucha importancia económica. La evaluación del contenido de cadmio en semillas de cacao en parcelas de esta región reveló la presencia de cadmio en niveles superiores al permitido lo cual puede limitar la exportación de este producto agrícola (HUAMANI *et al.*, 2012).

La Unión Europea publica el reglamento (UE) N° 488/2014 donde definen niveles máximos de cadmio para diversos alimentos incluidos el cacao y algunos derivados que fluctúan de 0.05 - 0.8 ppm Cd total y los productos alimenticios que no cumplan dichos niveles máximos no se podrán comercializar a partir del 1 de enero de 2019 (UNION EUROPEA, 2014). A nivel nacional el contenido de cadmio en el suelo es variable, el Instituto de Cultivos Tropicales ICT (2008) reporta para la región San Martín y Amazonas en 228 muestras valores de cadmio disponible entre 0.02 y 0.46 ppm. Para la región Piura el rango del contenido de cadmio disponible en el suelo fue 0.14 a 1.28 ppm, y en la región Tumbes 0,43 a 0.78 ppm. (REMIGIO, 2017).

La materia orgánica puede retener a los metales tanto por su capacidad de intercambio catiónico como por su capacidad quelante (Sauvé *et al.*, 1998 citado por ADRIANO, 2001), teniendo muchas características la materia orgánica para reducir la cantidad de cadmio en la planta y fijar sitios de adsorción en el suelo.

Debido a lo manifestado, resalta la importancia de haber realizado el presente trabajo de investigación, considerando los siguientes objetivos:

**Objetivo general:**

Determinar el efecto de la materia orgánica en el contenido de cadmio en el suelo y en plántones de cacao.

**Objetivos específicos:**

- a. Determinar el efecto de los niveles de materia orgánica en la concentración de Cd disponible y Cd total en dos suelos residuales.
- b. Determinar el efecto de la materia orgánica en la reducción de la absorción de cadmio por las hojas de los plántones de cacao.
- c. Determinar la correlación entre el Cd disponible y Cd total del suelo con el Cd total en las hojas de los plántones de cacao.

## II. REVISIÓN DE LITERATURA

### 2.1. Cacao en el Perú

Según el Anuario Agrícola elaborado por el SIEA (2016), el cultivo de cacao está instalada en 16 regiones, abarcando una superficie sembrada de 125579.91 ha de las cuales la región de San Martín tiene 48813.51 ha, siendo la región más productora del Perú, en comparación con la región de la Libertad que solo cuenta con 26 ha (Figura 1).

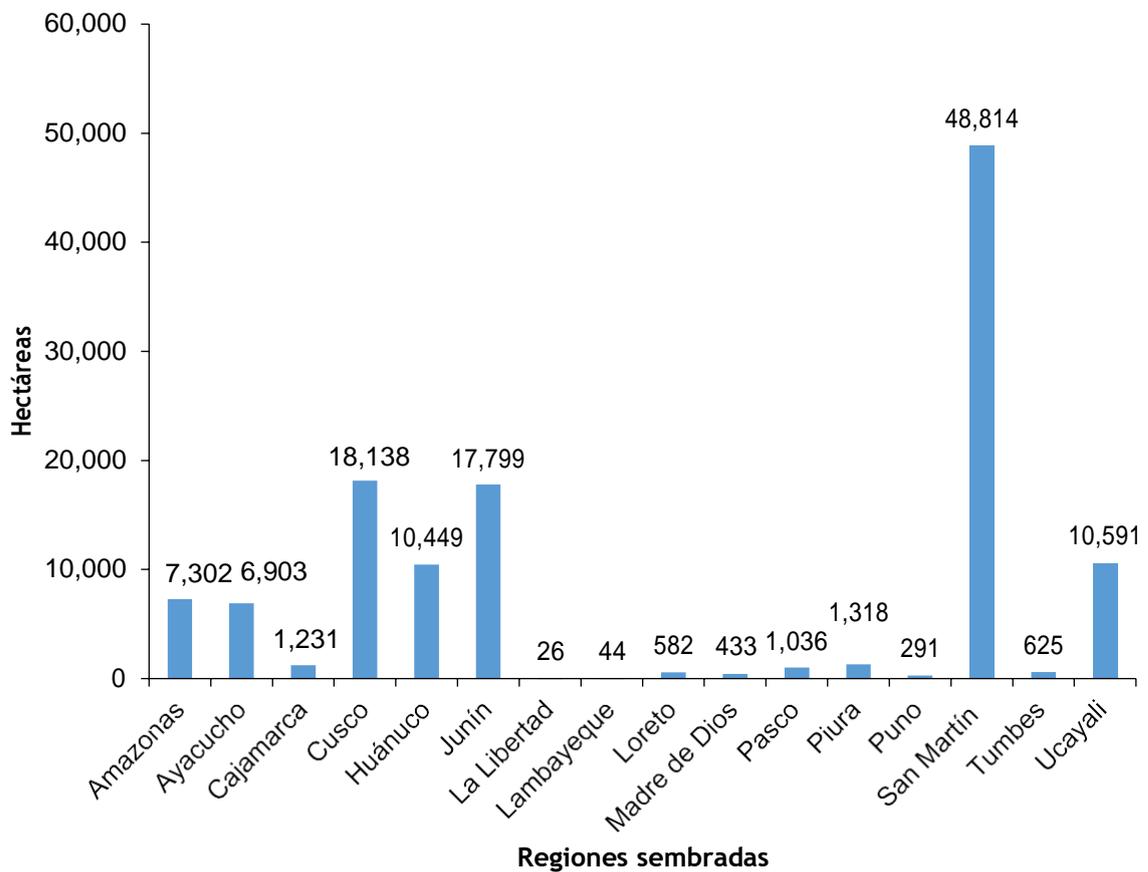


Figura 1. Área sembrada de Cacao en el Perú.

## **2.2. Generalidades del cadmio**

El cadmio es un elemento divalente, con un peso atómico de 48, masa atómica de 112.41, punto de fusión 320.9 °C y punto de ebullición de 767 °C. Es fácilmente soluble en ácidos minerales, con los que forma las sales correspondientes y es insoluble en agua, aunque sus sales de cloro y sulfato sí lo son. La incorporación natural de cadmio procede, principalmente, de la actividad volcánica, lixiviación de rocas e incendios forestales. Las fuentes antropogénicas de cadmio varían desde productos de la extracción de zinc, combustión de carbón, escoria de las minas, material catódico de baterías, producción de hierro y acero, fertilizantes y pesticidas (NIÑO, 2015), uno de los mayores agentes tóxicos asociado a contaminación ambiental e industrial es el cadmio, pues reúne cuatro de las características más temidas de un tóxico:

- Efectos adversos para el hombre y el medio ambiente.
- Bioacumulación.
- Persistencia en el medio ambiente, “Viaja” grandes distancias

con el viento y en los cursos de agua.

## **2.3. Metales pesados**

Según Ward (1995), citado por CARDENAS (2012), dentro de los metales pesados se distinguen dos grupos:

### **a. Oligoelementos**

Necesarios para el desarrollo de determinados organismos, son requeridos en pequeñas cantidades o cantidades traza y pasado cierto umbral se vuelven tóxicos. Dentro de este grupo se encuentran: arsénico (As), boro (B), cobalto (Co), cromo (Cr), cobre (Cu), molibdeno (Mo), manganeso (Mn), níquel (Ni), selenio (Se) y zinc (Zn).

## **b. Metales pesados sin función biológica conocida**

Metales cuya presencia en determinadas cantidades en los seres vivos, provocan disfunciones en sus organismos, resultan altamente tóxicos y presentan la propiedad de bioacumularse en los organismos vivos. Entre los principales tenemos: cadmio (Cd), mercurio (Hg), plomo (Pb), cobre (Cu), níquel (Ni), antimonio (Sb), bismuto (Bi).

### **2.3.1. Origen de la contaminación de suelos por metales pesados**

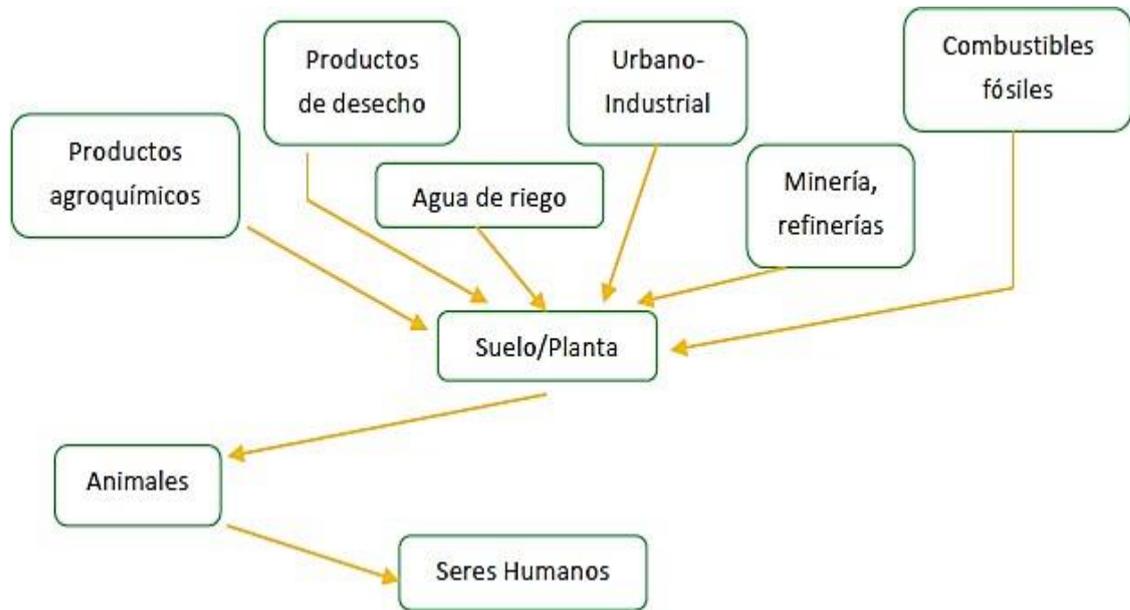
#### **a. Origen natural**

Los metales pesados al meteorizarse, se concentran en los suelos y estas concentraciones naturales pueden llegar a ser tóxicas, debido a que pueden ocasionar acumulación de algún metal en plantas y ocasionar efectos tóxicos para los animales que la consumen. En suelos, los más abundantes (1-1500 mg/kg) son el manganeso, cromo, zinc, níquel, y plomo (Sánchez, 2003, citado por CARDENAS, 2012).

#### **b. Origen antropogénico**

En los suelos agrícolas, la entrada de metales se produce, mayoritariamente, desde los fertilizantes, plaguicidas, estiércol, y la atmosfera. Por ejemplo, los fertilizantes fosforados aportan una cantidad de Cd, y para el control de plagas se han utilizado sales de Zn y arsenatos de Cu y Pb. También el agua de riego y el uso cada vez más extendido de enmiendas orgánicas y biosólidos, entre los que destacan los lodos de depuradora y composts realizados a partir de residuos sólidos urbanos (RSU) o de residuos industriales, son importantes fuentes de metales en los suelos agrícolas (Figura 2), en Europa, estas actividades han incrementado desde hace varias décadas.

Este hecho hace que, hoy en día, sea muy difícil identificar una zona en la que se tenga la certeza de que nunca ha habido entrada de metales pesados de origen antrópico (Sánchez, 2003, citado por CARDENAS, 2012).



**Fuente:** Weber y Karczewska (2004).

**Figura 2.** Origen de los metales pesados.

### - Origen mediante residuos orgánicos

La utilización de residuos orgánicos como enmiendas a suelos hortícolas, produce incremento, entre otras características, del contenido de materia orgánica, un factor positivo en la agregación del suelo y un mayor aporte de micronutrientes, que puede inducir a un aumento de la producción agrícola (ZHELJAZKOV y WARMAN, 2003). Sin embargo, el contenido de contaminantes orgánicos y metales pesados, que limita la cantidad que se puede adicionar sin suponer un riesgo para la salud humana, quizás mermen los efectos beneficiosos de las enmiendas orgánicas (SÁNCHEZ-MONEDERO *et al.*, 2004).

Por ello, para evitar problemas derivados de un exceso de metales se debe regular los niveles máximos permitidos con los residuos orgánicos para uso agrícola.

- **Origen mediante el agua de riego y productos químicos**

La utilización de fertilizantes, principalmente sintéticos, representan un potencial de riesgo de contaminación de metales pesados a los acuíferos subterráneos cuando su aplicación se realiza en ausencia de las consideraciones agronómicas que contemplan el balance de nutrientes entre el consumo de los cultivos y el aportado por el suelo (CUENCA, 2012). De esta manera se contaminan las aguas subterráneas que en su mayoría son utilizados para el riego de cultivos. La aplicación de plaguicidas es otro problema de contaminación; existe una considerable cantidad de pesticida que no llega a las áreas de destino y se pierde. Las condiciones climatológicas influyen en este transporte, siendo la aplicación por aeroplano la que más consecuencias trajo. Se ha visto que, al fumigar los bosques de forma aérea, cerca del 95% de las gotas aerosol fallan en llegar a las plantas objetivo y contaminan el bosque y el suelo (MURTY, 2000).

- **Origen mediante las actividades de minerías y refinerías**

Teniendo en cuenta que nuestro país es esencialmente minero y que este tipo de industria se encuentra presente en la mayor parte de zonas productivas como: Cajamarca, Cuzco, Arequipa, Ica, etc; es necesario conocer los efectos tóxicos que produce en los seres humanos minerales como el cadmio, por medio de la ingesta de plantas contaminadas, así como los mecanismos que lo reduciría; el cadmio es un metal pesado no esencial y poco abundante en la corteza terrestre, pero aumentado en las últimas décadas como consecuencia del crecimiento del sector (AGRARIA, 2012).

La industria minera es una de las actividades económicas de mayor tradición contaminante, la cual es mayoritariamente metálica y se dedica principalmente a la producción de cobre, zinc, plata, cadmio y plomo. Esta actividad tiene un alto impacto ambiental, ya que afecta desde el subsuelo hasta la atmósfera, incluyendo suelos y cuerpos de agua. Debido al procesamiento de los recursos minerales, se han generado grandes cantidades de residuos sólidos, líquidos y gaseosos que han ocasionado una gran cantidad de sitios contaminados a lo largo de todo el país (MONGE *et al.*, 2008). Los suelos que quedan tras una explotación minera contienen todo tipo de materiales residuales, escombros estériles, entre otros, lo que representa graves problemas para el desarrollo de la cubierta vegetal, siendo sus características más notables las siguientes: clase textural desequilibrada, ausencia o baja presencia de la estructura edáfica, propiedades químicas anómalas, disminución o desequilibrio en el contenido de nutrientes fundamentales, ruptura de los ciclos biogeoquímicos, baja profundidad efectiva, dificultad de enraizamiento, baja capacidad de cambio, baja retención de agua y presencia de compuestos tóxicos (GARCIA y DORRONSORO, 2002).

### **2.3.2. Factores del suelo que afectan la disponibilidad y acumulación de metales pesados**

En general, la movilidad de los metales pesados es muy baja, quedando acumulados en los primeros centímetros del suelo, siendo lixiviados a los horizontes inferiores en muy pequeñas cantidades. Por eso la presencia de altas concentraciones en el horizonte superior decrece drásticamente en profundidad cuando la concentración es antrópica.

Esto sucede precisamente porque la disponibilidad de un elemento depende también de las características del suelo en donde se encuentra. Los parámetros geodáficos llegan a ser esenciales para valorar la sensibilidad de los suelos a la agresión de los contaminantes (GALAN y ROMERO, 2008).

**a. pH**

El pH es una propiedad química del suelo que tiene un efecto importante en el desarrollo de los seres vivos (incluidos microorganismos y plantas). La lectura de pH se refiere a la concentración de iones hidronio activos ( $H^+$ ) que se da en la interface líquida del suelo, por la interacción de los componentes sólidos y líquidos. La concentración de iones hidrógeno es fundamental en los procesos físicos, químicos y biológicos del suelo (FERNÁNDEZ y ROJAS, 2006).

La acidez del suelo se debe a pérdidas de las bases en suelos de zonas lluviosas por efecto de disolución de las mismas las que se percolan y se pierden por lixiviación en proporciones considerables. Los sitios del suelo que estaban siendo ocupados por las bases, son reemplazados por el ion hidrógeno el cual al pasar a la solución del suelo produce la reducción del pH y toxicidad en las plantas (PORTA y LÓPEZ, 2008).

**b. Intercambio catiónico**

Es la medida de la capacidad que posee un suelo de adsorber cationes y es equivalente a la carga negativa del suelo, esta propiedad es la que define la cantidad de sitios disponibles para almacenar los cationes en el suelo. Los cationes que son sometidos a esta retención quedan protegidos contra los procesos que tratan de evacuarlos del suelo, como la lixiviación, evitando así que se pierdan nutrientes para las plantas (JARAMILLO, 2002).

La cantidad de iones que pueden ser adsorbidos de forma intercambiable en el suelo se llama capacidad de intercambio catiónico o CIC. En la mayoría de casos existe selectividad o preferencia de un catión por otro, por lo tanto, es un proceso competitivo y reversible (SILVA, 2004). En general, la adsorción de los metales a las partículas del suelo reduce la concentración de los metales en la solución suelo. Así, un suelo con una capacidad de intercambio catiónico (CIC) alta tiene más sitios de intercambio en la fracción coloidal del suelo, los que estarán disponibles para una mayor adsorción y posible inmovilización de los metales (SILVIERA *et al.*, 2003).

#### **c. Adsorción específica**

Los metales pesados que se encuentran como aniones, arsénico (As), selenio (Se), molibdeno (Mo), también pueden presentar adsorción específica en las superficies de los óxidos e hidróxidos hidratados. La adsorción específica es altamente dependiente del pH e involucra a los coloides orgánicos e inorgánicos (óxidos hidratados de Al, Fe y Mn y la materia orgánica), y ocurre que la concentración de los metales sea baja (SILVIERA *et al.*, 2003).

#### **d. Precipitación**

Las reacciones de precipitación están asociadas normalmente a suelos alcalinos y calcáreos con concentraciones relativamente altas de metales pesados, y además a condiciones que favorezcan una baja solubilidad de estos metales o a la presencia de pocos sitios de adsorción específica (SILVA, 2004).

#### **e. Complejación o quelación**

La quelación implica inmovilizar un ion metálico con ligandos de bajo peso molecular para crear un complejo o una molécula químicamente estable. Algunos estudios revelan que la resistencia de los fungi de la pudrición blanca y café de la madera a sales de metales pesados, se debe al desarrollo de sideróforos o quelantes, entre los que se destacan el catecol y el ácido oxálico. El catecol moviliza hacia el interior de la célula fúngica el hierro (REYES y ALVAREZ, 2007). El ácido oxálico es capaz de inmovilizar iones metálicos para formar sales de oxalato en forma de cristales disminuyendo la solubilidad y la disponibilidad de estos en el medio (MALAGRE *et al.*, 2002).

#### **f. Materia orgánica**

La materia orgánica puede retener a los metales tanto por su capacidad de intercambio catiónico como por su capacidad quelante, la materia orgánica puede adsorber fuertemente a algunos metales, como es el Cu, que pueden quedar en posición no disponible para las plantas. Por eso algunas plantas, de suelos orgánicos, presentan carencia de ciertos elementos como el Cu. El Pb y el Zn forman quelatos solubles muy estables. La complejación por la materia orgánica del suelo es una de los procesos que gobiernan la solubilidad, y la bioasimilación de metales pesados. La toxicidad de los metales pesados se potencia en gran medida por su fuerte tendencia a formar complejos organometálicos, lo que facilita su solubilidad, disponibilidad y dispersión. La estabilidad de muchos de estos complejos frente a la degradación por los organismos del suelo es una de causa muy importante de la persistencia de la toxicidad. Pero también la presencia de abundantes quelatos puede reducir la concentración de otros iones tóxicos en la solución del suelo (García y Dorronsoro, 2011, citado por CUENCA, 2012).

Por otro lado, SÁNCHEZ (2003), reporta, en resumen, que la materia orgánica ejerce una influencia importante en las propiedades del suelo, donde sus efectos más beneficiosos son:

- Contribuye de modo importante al crecimiento de la vegetación, proporcionando elementos esenciales como nitrógeno, fósforo y azufre en cantidades importantes.

- Es una fuente de energía para los microorganismos.

- Regula la disponibilidad de muchos cationes metálicos que actúan como micronutrientes y de cationes tóxicos mediante la formación de complejos estables.

- La presencia de funciones ácidas en muchas de las moléculas de la materia orgánica favorece una acción tamponante ayudando al mantenimiento del pH.

- Capacidad de retención de agua, con lo que evita la desecación.

- La fracción húmica, debido a su capacidad adherente, favorece la formación de agregados, mejorando la estructura granular del suelo, favoreciendo la permeabilidad y aumentando la aireación.

#### **2.4. Cadmio en el suelo**

Los metales pesados y los metaloides son fuertemente adsorbidos por los constituyentes coloidales orgánicos e inorgánicos del suelo. Los metales trazas se adsorben en la superficie de partículas coloidales en suelos, principalmente humus, óxidos hidratados de Fe, Mn y Al, arcillas de aluminosilicato y algunas sales escasamente solubles, como el carbonato de calcio.

Estructuralmente, los materiales húmicos son de alrededor de 20 – 30 % alifáticos, 10 – 20 % de carbohidratos y 20 – 40 % de aromáticos. Alrededor del 20 % de H está unido a O como carboxilo (Hu-COOH) y grupos hidroxilo ácidos (posiblemente fenólicos) (Hu-OH), el resto está unido directamente a C (TIPPING, 2002). El cadmio puede aparecer como especie catiónica:  $\text{CdCl}^+$ ,  $\text{CdOH}^+$ ,  $\text{CdHCO}_3^+$ ,  $\text{CdHS}^+$ , y como especie aniónica:  $\text{CdCl}_3^-$ ,  $\text{Cd}(\text{OH})_3^-$ ,  $\text{Cd}(\text{OH})_2^-$ ,  $\text{Cd}(\text{HS})_2^-$  (KABATA-PENDIAS y SADURSKI, 2004). Se ha predicho las siguientes especies de Cd en la solución de suelo: en suelo oxic,  $\text{Cd}^{2+}$ ,  $\text{CdSO}_4$  y  $\text{CdCl}^+$ ; en suelo ácido,  $\text{Cd}^{2+}$ ,  $\text{CdCl}^+$ ,  $\text{CdSO}_4$ ; en suelo alcalino,  $\text{CdHCO}_3^+$ . En suelos con pH elevado mayor a 7.5 el cadmio formaría dos compuestos principales el  $\text{CdCO}_3$ , y  $\text{Cd}_3(\text{PO}_4)_2$  (MATUSIK *et al.*, 2008), pero en condiciones anaeróbicas, la solución de  $\text{Cd}^{2+}$  en el suelo se rige por la precipitación de sulfuros (CHRISTENSEN y HAUNG, 1999). La capacidad de adsorción de la hidroapatita (Roca fosfórica) para el Cd disminuye en presencia de otros metales (Cu, Zn, Pb), debido a la sorción competitiva del metal (CORAMI *et al.*, 2007).

## 2.5. Abono orgánico wanunchasqa

M & F ORGÁNICOS E.I.R.L (2012), menciona al wanunchasqa tipo I + roca fosfórica que es un bio abono acondicionador y fertilizante orgánico de suelos, formulado para aplicaciones orgánica o convencional, contiene elementos mayores y menores de fuentes orgánicas y naturales, e incluyen microorganismos benéficos de la rizosfera como levaduras, hongos y bacterias, que estimulan e incrementan la fertilidad biológica del suelo, ayuda a solubilizar nutrientes que normalmente que normalmente están presentes en el suelo de forma insoluble.

El proceso de humificación continúa hasta crear humus es su estado final, aportando al cultivo nutrientes esenciales a las raíces sin evaporarse ni lixiviarse manteniéndose en el suelo hasta que la planta lo requiera. Libera un número de bacterias y hongos de la rizófora que colonizan la zona de la raíz ayudando en la disponibilidad y asimilación de nutrientes, la combinación de materia orgánica estabilizada, nutrientes de lenta liberación y microorganismos benéficos, crean las condiciones ideales de raíz y suelo que aseguran un óptimo crecimiento, vigor y sanidad de las plantas.

#### **2.5.1. Beneficios**

- **Rizo bacterias:** promotoras de crecimiento que producen una variedad de sustancias que incrementan y estimulan el crecimiento de las plantas.
- **Bacterias libres y simbióticas:** fijadoras de nitrógeno atmosférico favoreciendo el crecimiento de las plantas.
- **Bacterias solubilizadora de fósforo:** solubilizan el fósforo de fuentes minerales insolubles no disponibles a las plantas en forma que esta lo puede asimilar.
- **Bacterias descomponedores de materia orgánica:** rompen la estructura de la materia orgánica convirtiéndola en humus.
- **Hongos estimulantes:** ayuda al desarrollo radicular creando una simbiosis en el hongo y la planta.
- **Hongos entomopatógenos:** ayuda a mantener la sanidad de los suelos y el cultivo controlando el desarrollo de patógenos.

## **2.5.2. Propiedades**

### **a. Física**

- Reducción en las oscilaciones térmicas.
- Mejora la estructura del suelo.
- Aligera suelos arcillosos.
- Aumenta la capacidad hídrica y gaseosa.
- Mejora el drenaje.
- Reduce la erosión.
- Aumenta la retención de humedad.
- Reduce la evaporación.

### **b. Química**

- Regula el pH.
- Aumenta la capacidad de intercambio catiónico.
- Mantiene los cationes en forma cambiante.
- Forma quelatos.
- Se forma en ácidos fulvicos y húmicos.
- Mantiene la reserva de elementos mayores y menores en el

suelo.

### **c. Biológicas**

- Favorece la respiración radicular.
- Favorece la respiración de semillas.
- Regula la actividad microbiana.
- Es fuente de energía para los microorganismos benéficos.
- El CO<sub>2</sub> desprendido favorece la solubilización de nutrientes.

### 2.5.3. Fuentes

Es elaborado a partir de los siguientes compuestos:

- Residuos Animales	.....	80 %
- Residuos Vegetales	.....	10 %
- Sulfatos	.....	5 %
- Fuentes minerales naturales	.....	5 %

### 2.5.4. Inoculación

Contiene una variedad de microorganismos como levaduras, hongos y bacterias benéficas las cuales provienen de un caldo microbiológico de alta actividad biológica, que al hacer contacto con la materia orgánica se multiplica en millones, iniciando así los procesos de descomposición de la materia orgánica.

## 2.6. Niveles máximos de cadmio en el chocolate

El Sistema Mundial de Vigilancia del Medio Ambiente / Programa de Vigilancia y Evaluación de la Contaminación de los Alimentos (SIMUVIMA/Alimentos) proporciona información sobre los niveles y tendencias de los contaminantes en los alimentos, la contribución de estos a la exposición total del ser humano y su importancia en materia de salud pública y comercio.

APPCACAO (2018), menciona que las estimaciones oscilaban (la exposición de cadmio a través del chocolate) entre 0.005 µg/kg p.c./mes y 0.39 µg/kg p.c./mes, lo que equivale a de 0.02 % a 1.6 % de la IMTP (Cuadro 1). Con los datos nacionales se estimaron exposiciones alimentarias similares al Cd en la población de productos individuales de cacao, en rangos de 0.001 µg/kg p.c./mes hasta 0.46 µg/kg p.c./mes (0.004 % a 1.8 % de la IMTP).

**Cuadro 1.** Criterios para establecer niveles máximos.

<b>Peligro</b>	<b>Riesgo</b>	<b>Valor de referencia</b>	<b>Decisión</b>
Cd	Muy alto	$\geq$ IMTP	Debería PROHIBIRSE
	Medio/Alto	$<$ 100% IMTP	Indispensable regular a través de niveles máximos y código de buenas prácticas
		$>$ 5% IMTP	No indispensable regular pero sin precaver(p. ej., vía Código de buenas prácticas)
	Bajo	$<$ 5% IMTP	

**IMPT:** Ingesta Mensual Tolerable probable

Dado que ni siquiera en una sola de las dietas de los grupos de consumo del SIMUVIMA/ Alimentos se superará el 5 % de la IMTP para la población general, se sugiere que las cantidades de cadmio de productos derivados del cacao no contribuyen significativamente al total de la exposición del consumidor al cadmio. El Comité señaló que este total de la exposición alimentaria al cadmio en los grandes consumidores de cacao y sus productos probablemente se había sobreestimado y no lo consideró motivo de preocupación (JECFA, 2013).

A pesar de las recomendaciones de la 77.<sup>a</sup> Reunión del JECFA (2013), el año 2014 se aprobó el Reglamento EU 288/2014, que determinó niveles máximos de cadmio para decenas de alimentos, entre ellos cuatro tipos de chocolate y polvo de cacao; pero se postergó la entrada en vigor específicamente de estos alimentos hasta el año 2019 (Cuadro 2).

En enero de 2019 entro en vigor el Reglamento 488/2014 de la Unión Europea, que establece niveles máximos de cadmio en el chocolate y cacao en polvo. El año (2013), el Codex Alimentario concluyó que la cuestión del cadmio en el chocolate se habría sobreestimado y que, a la luz de su escaso aporte a la ingesta total por los consumidores, no sería un problema de salud pública.

Los NM fueron establecidos aplicando el principio ALARA As Low As Reasonably Achievable (“tan bajo como sea razonablemente posible”), sin considerar las recomendaciones del CODEX respecto de que se habría sobreestimado la preocupación por el chocolate como motivo de daño para la salud pública.

**Cuadro 2.** Niveles máximos permitidos de cadmio en chocolate y cacao en polvo.

<b>Productos</b>	<b>Niveles máximos permitidos de cadmio (ppm)</b>
Chocolate con leche con un contenido de materia seca total de cacao < 30%	0.10 desde el 1 de enero de 2019
Chocolate con un contenido de materia seca total de cacao ≥ 50 %	0.30 desde el 1 de enero de 2019
Chocolate con un contenido de materia seca total de cacao ≥ 30 % < 50 %	0.80 desde el 1 de enero de 2019
Cacao en polvo vendido al consumidor final o como ingrediente de cacao en polvo edulcorado vendido al consumidor final (chocolate para beber)	0.60 desde el 1 de enero de 2019

**Fuente:** UNIÓN EUROPEA (2014).

Si se avanza en el análisis de los niveles máximos que establece el Reglamento 488, se aprecia que el chocolate (con 30 % o menos en sólidos de cacao) y la papa tienen niveles máximos iguales a 0.1 mg/kg o ppm. Se trata de dos productos con niveles de consumo muy diferentes. El consumo promedio de chocolate en los países donde más lo comen es de 10 kg/persona/año aproximadamente, en tanto que el consumo de papa fácilmente pasa de 100 kg/persona/año, llegando a 180 kg/persona/año en Bielorrusia (web FAO – Año Internacional de la Papa, 2008). Por ejemplo, en Brasil, el cadmio en chocolate (Villa, 2014, citado por APPCACAO, 2018) se encuentra entre 0.0017 ppm y 0.107 ppm, mientras que en papa (Müller *et al.*, 1996; citado por APPCACAO, 2018) entre 0.0003 ppm y 0.047 ppm.

Sin embargo, los valores promedio están próximos, pero la papa se consume 20 veces más que el chocolate. No es lógico que tengan el mismo NM, como lo establece el Reglamento 488/2014. Por otro lado, es bien conocido que los grupos alimenticios que más contribuyen a la exposición al cadmio a los consumidores son siete tipos de alimentos (40 % a 80 % de la ingesta total), para los cuales se propusieron niveles máximos del Codex (MLs) con fines de evaluación del riesgo (OMS, 2006) a los siguientes alimentos:

- Arroz: 0.4 mg/kg
- Trigo y otros cereales: 0.2 mg/kg
- Vegetales-raíces: 0.1 mg/kg
- Tubérculos, patatas y otros: 0.1 mg/kg
- Vegetales de hoja: 0.2 mg/kg
- Otros vegetales: 0.05 mg/kg
- Moluscos (ostras): 3 mg/kg
- Otros moluscos: 1 mg/kg

De hecho, ni el chocolate ni ningún otro derivado del cacao es parte de esta lista, ya que exponen mucho menos al cadmio que cualquiera de los mencionados. Por tanto, de establecerse niveles para el chocolate deberían ser más altos o menos restrictivos (SIMPOSIO NACIONAL, 2018).

## **2.7. Posibles enfermedades que causa el cadmio en la salud**

El ejemplo clásico de los problemas de salud causados por el cadmio en el suelo fue la enfermedad de itai-itai brote en Japón en la primera mitad del siglo XX (NORDBERG *et al.*, 2015).

La minería en la Prefectura de Toyama de Japón lanzó unas grandes cantidades de cadmio en el río Jinzu, que se utilizó para riego de arroz que absorbió cadmio del agua y las personas que consumieron el arroz posteriormente desarrollaron la enfermedad itai-itai. Itai-itai significa "duele-duele" en japonés, y la enfermedad es caracterizado por huesos débiles y frágiles, dolor en las piernas y la columna vertebral, tos, anemia e insuficiencia renal. Sin embargo, los cadmios en grandes concentraciones en el suelo no necesariamente producen tales síntomas porque otras condiciones del suelo y la dieta son importantes (STEFFAN *et al.*, 2018). La biodisponibilidad del cadmio se ve afectada por el estado de aireación del suelo pH del suelo y las concentraciones de otros elementos presentes en un suelo (ZHAO *et al.*, 2015).

El efecto en los humanos se ve afectado por las concentraciones de nutrientes como hierro y zinc presentes en la dieta local, los residentes del pueblo de Shipham, en Inglaterra, tienen grandes concentraciones de cadmio en su suelo, pero no parece sufrir ningún efecto adverso para la salud debido a baja biodisponibilidad del cadmio en su suelo y grandes concentraciones de zinc (CHANEY, 2015).

### III. MATERIALES Y MÉTODOS

#### 3.1. Campo experimental

##### 3.1.1. Ubicación

El presente trabajo de investigación se llevó a cabo en el vivero de la Facultad de Agronomía de la Universidad Nacional Agraria de la Selva, Tingo María, distrito de Rupa Rupa, provincia de Leoncio Prado, departamento de Huánuco; según la clasificación de HOLDRIGE (1987), corresponde a un clima de Bosque Muy Húmedo Tropical (bmt-T), cuyas coordenadas geográficas son las siguientes: 390535.19 m Este, 8770040.48 m Norte y una altitud de 664 m.s.n.m.

##### 3.1.2. Análisis físico - químico de suelos

Los suelos residuales fueron muestreados aleatoriamente en campo y analizados por el proyecto “Estrategias tecnológicas para reducir el contenido de cadmio en las almendras del cultivo de cacao” en el 2016, estos suelos fueron utilizados en el experimento, cabe resaltar que no se volvieron analizar antes de ejecutar en el 2017, se basó en los análisis exploratorios realizados por el proyecto. A continuación, se presenta los resultados:

##### - Suelo A (con alto cadmio):

Ubicado en el caserío Trampolín, distrito de Luyando, provincia de Leoncio Prado, departamento de Huánuco, la muestra de suelo presenta las siguientes características: textura franco arcilloso, con pH muy ácido 5.45, el nivel de materia orgánica es alto (4.18 %), fósforo en nivel alto (16.94 ppm), potasio disponible en un nivel alto (263.38 ppm) y cadmio total (3.23 ppm) (Cuadro 3).

**Cuadro 3.** Análisis físico - químico del suelo muestreado con alto Cd.

<b>Parámetro</b>	<b>Valor</b>	<b>Método empleado</b>
<b>Análisis físico</b>		
Arena (%)	39.68	Hidrómetro
Arcilla (%)	33.04	Hidrómetro
Limo (%)	27.28	Hidrómetro
Clase textural	Franco Arcilloso	Triangulo textural
<b>Análisis químico</b>		
pH (1:1) en agua	5.45	Potenciómetro
M.O. (%)	4.18	Walkey y Black
N -total (%)	0.20	% M.O x 0.05
P disponible (ppm)	16.94	Olsen modificado
K disponible (ppm)	263.38	Ácido sulfúrico 6N
Cd total (ppm)	3.23	EPA-3050B
Ca cambiable (Cmol(+)/kg)	4.12	KCl 1N
Mg cambiable (Cmol(+)/kg)	0.89	EEA
K cambiable (Cmol(+)/kg)	-	EEA
Na cambiable (Cmol(+)/kg)	-	EEA
Al cambiable (Cmol(+)/kg)	0.08	Yuan
H cambiable (Cmol(+)/kg)	0.11	Yuan
CI <sub>Ce</sub> (Cmol(+)/kg)	5.2	Suma de cationes

**Fuente:** Laboratorio de Suelos de la Universidad Nacional Agraria de la Selva.

**- Suelo B (Con bajo cadmio):**

Ubicado en la comunidad Huayhuantillo, distrito de Daniel alomía robles, provincia de Leoncio Prado, departamento de Huánuco, el suelo presenta las siguientes características: textura franco arcilloso arenoso, con pH muy ácido 4.08, el nivel de materia orgánica es alto (4.78 %), fósforo en nivel bajo (5.96 ppm) y potasio disponible en un nivel medio (181.42 ppm) y cadmio total (0.0 ppm), su expresión correcta es N.D (Cuadro 4).

**Cuadro 4.** Análisis físico - químico del suelo muestreado sin Cd.

<b>Parámetro</b>	<b>Valor</b>	<b>Método empleado</b>
<b>Análisis físico</b>		
Arena (%)	53.68	Hidrómetro
Arcilla (%)	29.04	Hidrómetro
Limo (%)	17.28	Hidrómetro
Clase textural	Franco Arcilloso Arenoso	Triangulo textural
<b>Análisis químico</b>		
pH (1:1) en agua	4.08	Potenciómetro
M.O. (%)	4.78	Walkey y Black
N -total (%)	0.23	% M.O x 0.05
P disponible (ppm)	5.96	Olsen modificado
K disponible (ppm)	181.42	Ácido sulfúrico 6N
Cd total (ppm)	0.00	EPA-3050B
Ca cambiable (Cmol(+)/kg)	1.39	KCl 1N
Mg cambiable (Cmol(+)/kg)	0.38	EEA
K cambiable (Cmol(+)/kg)	-	EEA
Na cambiable (Cmol(+)/kg)	-	EEA
Al cambiable (Cmol(+)/kg)	3.26	Yuan
H cambiable (Cmol(+)/kg)	0.77	Yuan
CICe (Cmol(+)/kg)	5.81	Suma de cationes cambiables y acidez cambiable

**Fuente:** Laboratorio de Suelos de la Universidad Nacional Agraria de la Selva.

### 3.2. Componentes en estudio

- **FACTOR A:** Tipo de suelo (Residual)

a<sub>1</sub> : Suelo residual con alta concentración de Cd total (3.23 ppm Cd)

a<sub>2</sub> : Suelo residual con cero concentración de Cd total (0.00 ppm Cd)

- **FACTOR B:** Niveles de Cadmio (ppm)

b<sub>1</sub> : 1.5 ppm de Cd (3CdSO<sub>4</sub>.8H<sub>2</sub>O)

b<sub>2</sub> : 3.0 ppm de Cd (3CdSO<sub>4</sub>.8H<sub>2</sub>O)

b<sub>3</sub> : 4.5 ppm de Cd (3CdSO<sub>4</sub>.8H<sub>2</sub>O)

- **FACTOR C:** Niveles de material orgánico

c<sub>1</sub> : 0.000 g/2kg suelo → 0.00 %

c<sub>2</sub> : 21.43 g/2kg suelo → 1.07 %

c<sub>3</sub> : 42.86 g/2kg suelo → 2.14 %

c<sub>4</sub> : 64.29 g/2kg suelo → 3.21 %

**3.2.1. Materia orgánica (Wanunchasqa)**

En el Cuadro 5, tenemos el análisis químico del bio abono orgánico, cuyo contenido principal es la vacaza, donde para acelerar su descomposición se utiliza microorganismos eficientes.

**Cuadro 5.** Análisis proximal y químico de la materia orgánica (Wanunchasqa).

<b>Composición</b>	<b>Valores</b>	<b>Unidad</b>
M.O	25	%
Cenizas	75	%
N	--	%
P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	0.077	%
Ca	6.76	%
Mg	2.18	%
K	4.88	%
Na	0.03	%
Cu	67	ppm
Zn	98	ppm
Mn	206	ppm
Fe	2 527	ppm
Cd	1.13	ppm

**Fuente:** Laboratorio UNAS.

### 3.3. Tratamientos en estudio

Para el estudio se experimentó con dos suelos residuales muestreados aleatoriamente en campo y analizados las concentraciones de cadmio total: suelo con 3.23 ppm Cd y Suelo con 0.00 ppm Cd; ambos suelos fueron incubados por 45 días con Cd con los siguientes niveles 1.5, 3.0, 4.5 ppm de Cd ( $3\text{CdSO}_4 \cdot 8\text{H}_2\text{O}$ ) y 1.07, 2.14, 3.21 % M.O, haciendo un total de veinticuatro tratamientos con tres repeticiones (Cuadro 6).

**Cuadro 6.** Descripción de los tratamientos en estudio.

Tratamiento	Clave	Descripción		
		Cd total en el suelo (A)	Cd ( $3\text{CdSO}_4 \cdot 8\text{H}_2\text{O}$ ) (ppm) (B)	% M.O (C)
T1	a <sub>1</sub> b <sub>1</sub> c <sub>1</sub>	Suelo con 3.23 ppm Cd	1.5	0.00
T2	a <sub>1</sub> b <sub>1</sub> c <sub>2</sub>	Suelo con 3.23 ppm Cd	1.5	1.07
T3	a <sub>1</sub> b <sub>1</sub> c <sub>3</sub>	Suelo con 3.23 ppm Cd	1.5	2.14
T4	a <sub>1</sub> b <sub>1</sub> c <sub>4</sub>	Suelo con 3.23 ppm Cd	1.5	3.21
T5	a <sub>1</sub> b <sub>2</sub> c <sub>1</sub>	Suelo con 3.23 ppm Cd	3.0	0.00
T6	a <sub>1</sub> b <sub>2</sub> c <sub>2</sub>	Suelo con 3.23 ppm Cd	3.0	1.07
T7	a <sub>1</sub> b <sub>2</sub> c <sub>3</sub>	Suelo con 3.23 ppm Cd	3.0	2.14
T8	a <sub>1</sub> b <sub>2</sub> c <sub>4</sub>	Suelo con 3.23 ppm Cd	3.0	3.21
T9	a <sub>1</sub> b <sub>3</sub> c <sub>1</sub>	Suelo con 3.23 ppm Cd	4.5	0.00
T10	a <sub>1</sub> b <sub>3</sub> c <sub>2</sub>	Suelo con 3.23 ppm Cd	4.5	1.07
T11	a <sub>1</sub> b <sub>3</sub> c <sub>3</sub>	Suelo con 3.23 ppm Cd	4.5	2.14
T12	a <sub>1</sub> b <sub>3</sub> c <sub>4</sub>	Suelo con 3.23 ppm Cd	4.5	3.21
T13	a <sub>2</sub> b <sub>1</sub> c <sub>1</sub>	Suelo con 0.00 ppm Cd	1.5	0.00
T14	a <sub>2</sub> b <sub>1</sub> c <sub>2</sub>	Suelo con 0.00 ppm Cd	1.5	1.07
T15	a <sub>2</sub> b <sub>1</sub> c <sub>3</sub>	Suelo con 0.00 ppm Cd	1.5	2.14
T16	a <sub>2</sub> b <sub>1</sub> c <sub>4</sub>	Suelo con 0.00 ppm Cd	1.5	3.21
T17	a <sub>2</sub> b <sub>2</sub> c <sub>1</sub>	Suelo con 0.00 ppm Cd	3.0	0.00
T18	a <sub>2</sub> b <sub>2</sub> c <sub>2</sub>	Suelo con 0.00 ppm Cd	3.0	1.07
T19	a <sub>2</sub> b <sub>2</sub> c <sub>3</sub>	Suelo con 0.00 ppm Cd	3.0	2.14
T20	a <sub>2</sub> b <sub>2</sub> c <sub>4</sub>	Suelo con 0.00 ppm Cd	3.0	3.21
T21	a <sub>2</sub> b <sub>3</sub> c <sub>1</sub>	Suelo con 0.00 ppm Cd	4.5	0.00
T22	a <sub>2</sub> b <sub>3</sub> c <sub>2</sub>	Suelo con 0.00 ppm Cd	4.5	1.07
T23	a <sub>2</sub> b <sub>3</sub> c <sub>3</sub>	Suelo con 0.00 ppm Cd	4.5	2.14
T24	a <sub>2</sub> b <sub>3</sub> c <sub>4</sub>	Suelo con 0.00 ppm Cd	4.5	3.21

(\*) M.O = Es la sigla de la materia orgánica

$3\text{CdSO}_4 \cdot 8\text{H}_2\text{O}$  = Sulfato de cadmio

### 3.4. Diseño experimental

Se empleó el Diseño Completamente al Azar (DCA) con arreglo factorial  $2 \times 3 \times 4$  con 3 repeticiones por tratamiento.

#### 3.4.1. Análisis de varianza (ANVA)

Las variables dependientes evaluadas fueron sometidos al Análisis de Varianza (ANVA) (Cuadro 7) y a la prueba de significación de Duncan ( $\alpha=0.05$ ).

**Cuadro 7.** Esquema del análisis de varianza.

	GI	SC	CM	FC
Tratamiento	ABC-1	SCTra	CMTra	CMTra/CMe
A	a-1	SCA	CMA	CMA/CMe
B	b-1	SCB	CMB	CMB/CMe
C	c-1	SCC	CMC	CMC/CMe
AB	(a-1)(b-1)	SC(AB)	CM(AB)	CM(AB)/CMe
AC	(a-1)(c-1)	SC(AC)	CM(AC)	CM(AC)/CMe
BC	(b-1)(c-1)	SC(BC)	CM(BC)	CM(BC)/CMe
ABC	(a-1)(b-1)(c-1)	SC(ABC)	CM(ABC)	CM(ABC)/CMe
Error	(r-1)(abc-1)	SCe	CMe	
Total	abcr-1	SCT		

### 3.4.2. Modelo estadístico

$$Y_{ijkl} = \mu + \alpha_i + \beta_j + \gamma_k + \alpha\beta_{ij} + \alpha\gamma_{ik} + \beta\gamma_{jk} + \alpha\beta\gamma_{ijk} + \epsilon_{ijkl}$$

Dónde :

$Y_{ijkl}$  = Variable de respuesta de interacción en la i-ésima tipo de suelo y la j-ésima niveles de Cd con la k-ésima nivel de M.O.

$\mu$  =Efecto de la media general.

$\alpha_i$  =Efecto de i-ésimo tipo de suelo.

$\beta_j$  =Efecto de la j-ésimo nivel de cadmio.

$\gamma_k$  =Efecto de k-ésimo nivel de material orgánico.

$\alpha\beta_{ij}$  = Efecto de interacción entre el i-ésimo tipo de suelo con el j-ésimo nivel de Cd.

$\alpha\gamma_{ik}$  = Efecto de interacción entre el i-ésimo tipo de suelo con el efecto de k-ésimo nivel de material orgánico.

$\beta\gamma_{jk}$  = Efecto de interacción entre el j-ésimo nivel de cadmio con el k-ésimo nivel de materia orgánica.

$\alpha\beta\gamma_{ijk}$  = Efecto de interacción entre i-ésimo tipo de suelo con el j-ésimo nivel de cadmio con el k-ésimo nivel de material orgánico.

$\epsilon_{ijkl}$  = Efecto aleatorio del error experimental asociado a dicha observación.

**Para :**

- = □, □, □, ..... □ Tipo de suelo
- = □, □, □, ..... □ Niveles de cadmio
- = □, □, □, ..... □ Niveles de material orgánico
- = □, □, □, ..... □ Repeticiones

### **3.5. Ejecución del experimento**

#### **3.5.1. Instalación del experimento**

##### **a. Suelos utilizados**

Los suelos residuales usados para el presente estudio fueron: suelo con 3.23 ppm Cd total y suelo con 0.00 ppm Cd total.

##### **b. Mezcla del suelo con la materia orgánica**

Los dos suelos residuales con diferentes concentraciones de cadmio fueron mezclados con materia orgánica, haciendo un total de 2 kg por bolsa entre ambos. A continuación, se describe los pesos utilizados de materia orgánica y suelo respectivamente: 0.00, 21.43, 42.86 y 64.29 gramos, equivalente a 1.07, 2.14 y 3.21 % M.O, simultáneamente se pesó el suelo en las siguientes cantidades: 2000, 1978.57, 1957.14 y 1935.71 gramos; sumando un total de 2 kg por bolsa ambos. De esa forma se procedió para todos los tratamientos planteados en el experimento.

##### **c. Contaminación con cadmio al suelo con materia orgánica incorporada**

A partir de la mezcla del suelo y materia orgánica sumando 2 kg ambos, se procedió a la contaminación con cadmio. A partir de la solución de 263 ppm de Cd, se contaminó los suelos en los siguientes niveles: 1.5, 3.0 y 4.5 ppm de cadmio, equivalente a 11.9, 22.8 y 32.4 ml de solución de Cd respectivamente.

Estas cantidades se enrasaron con agua a 480 y 420 ml que fue aplicado a los suelos: franco arcilloso y franco arcilloso arenoso respectivamente; con esas cantidades de agua los suelos quedaron en capacidad de campo y se llenaron las bolsas de 2 kg para los 72 tratamientos. La capacidad de campo es variable que depende del tipo de suelo, especialmente de la textura; en este experimento se trabajó con dos suelos cuyas capacidades de campo son: franco arcilloso = 24 % y franco arcilloso arenoso = 21 %, se calculó mediante la fórmula de FUENTES (1998) y es la siguiente:  $C.C = 0.48 \times \% \text{ arcilla} + 0.162 \times \% \text{ limo} + 0.023 \times \% \text{ arena} + 2.62$ .

**d. Llenado de bolsas**

Finalizada la mezcla del suelo, materia orgánica y cadmio llevado a capacidad de campo, se procedió a embolsar la mezcla húmeda, cabe destacar que las bolsas de 2kg eran consistentes que facilitó el embolsado para los 72 tratamientos.

**e. Incubación del suelo**

Se incubó los suelos por 45 días con la finalidad de que pasaran todos los procesos físicos y químicos que ocurren en el suelo de forma natural.

**f. Extracción de muestras de suelo para el análisis inicial**

Finalizado los 45 días de incubación se obtuvo muestras individuales por tratamiento y repetición haciendo un total de 72 muestras; y se procedió al análisis de Cd disponible mediante EDTA 0.05M pH 7, según GONZALES, (1986).

### **3.5.2. Recolección y germinación de cacao**

#### **a. Recolección**

Se recolectó frutos del clon CCN – 51, para obtener las semillas se abrió con cuidado evitando dañar las almendras.

#### **b. Eliminación de mucilago**

Una vez obtenidas las semillas, se eliminó el mucilago o pulpa que lo rodea agregando aserrín y frotándolo suavemente; posteriormente se lavó con agua para eliminar el exceso del aserrín y restos de mucilago.

#### **c. Pre-germinación**

Una vez eliminado el mucilago, se colocó las semillas a pregerminar en bandejas con arena manteniéndolas bajo sombra aproximadamente durante 4 días.

#### **d. Siembra del cacao**

Un día anterior a la siembra se regó con agua con la finalidad de humedecer el suelo para recibir las semillas de cacao. Antes de la siembra con ayuda de un trozo de madera, se procedió a hacer un pequeño hoyo para colocar la semilla, estas se colocaron con la radícula hacia abajo.

#### **e. Riego**

Por lo general el riego se realizaba cada cuatro días con agua del vivero con un aplicador.

#### **f. Extracción de las plantas**

Culminadas las evaluaciones de altura, diámetro, número de hojas, se retiraron las plántulas de las bolsas y se lavó con agua desionizada, separando las hojas de cada tratamiento, haciendo un total de 72 muestras para el análisis de cadmio total en tejido.

### **g. Obtención de las muestras finales de suelos**

Después de extraída la plántula se recogió una muestra de suelo aproximadamente de 500 g de cada bolsa individual por cada tratamiento y repetición haciendo un total de 72 muestras para realizar los análisis de cadmio disponible y total en el suelo en el laboratorio de Análisis de suelos de la Universidad Nacional Agraria de la Selva.

#### **3.6. Metodología para determinar cadmio disponible o extraíble en el suelo**

El cadmio disponible o extraíble se determinó empleando el EDTA 0.05 M según GONZALES, (1986) adaptado para este estudio, que consistió en ajustar a pH 7, con ácido clorhídrico, luego se pesó 5 gramos de TFSA (tierra fina seca al aire) y se añadió 20 ml de la solución extractante EDTA, con pH 7 y en un agitador eléctrico se agito durante 20 minutos, luego se filtró y realizo diluciones en caso sea requerido, cuantificándose el metal vía espectrofotómetro de absorción atómica, mediante el equipo (modelo Varian ASS "SpectrAA 55B" hecho en Australia).

#### **3.7. Metodología para determinar cadmio total en el suelo**

Se analizó el cadmio total del suelo según el método EPA-3050B (Agencia de Protección Ambiental) de digestión ácida de sedimentos, lodos y suelos (USEPA, 1996), cuantificándose el metal vía espectrofotómetro de absorción atómica, mediante el equipo (modelo Varian ASS "SpectrAA 55B", hecho en Australia).

- Seleccionar la muestra del suelo de un tamaño de partícula de 2 mm.
- Pesar 2 g de suelo (repetir hasta completar 3 muestras).
- Añadir 10ml de  $\text{HNO}_3$  1:1.
- Calentar a 95 °C por 5 minutos.
- Dejar enfriar y añadir 5 ml de  $\text{HNO}_3$  concentrado.
- Repetir una vez y dejar reducir la solución hasta 5 ml.
- Dejar enfriar y añadir 2 ml de agua destilada y 3 ml de  $\text{H}_2\text{O}_2$ .
- Al cesar la efervescencia añadir 1 ml de  $\text{H}_2\text{O}_2$ .
- Repetir hasta que no se observe efervescencia.
- Añadir 5 ml de HCL concentrado y 10 ml de agua desionizada.
- Calentar por 15 minutos y dejar enfriar.
- Filtrar por gravedad.
- Aforo a 50 ml con agua destilada.
- Almacenar y mantener refrigerado.
- Cuantificación por espectrofotómetro de absorción atómica.

### **3.8. Metodología para la determinación de cadmio total en planta (digestión seca)**

- Pesar 2 gramos de tejido vegetal y colocar dentro de crisoles.
- Colocar en la estufa a 110 °C por 24 horas.
- Llevar a la mufla a 550 °C por 8 horas.
- Luego agregar 2 gotas de agua destilada al crisol.
- Agregar 2 ml de HCL puro y calentar la muestra hasta secar.
- Agregar 2 ml de HCL puro y calentar la muestra hasta secar.
- Agregar de manera simultánea 2 ml de agua destilada y 2 ml HCL.
- Filtrar con papel filtro whatman adicionando agua caliente en un balón de 50 ml y realizar la lectura en el EAA, mediante el equipo (modelo Varian ASS "SpectrAA 55B", hecho en Australia).

## IV. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

### 4.1. Efecto de la materia orgánica en la reducción del cadmio disponible y total en el suelo

Los resultados de la concentración de cadmio disponible, extraíble con el extractante EDTA 0.05 M pH 7, en dos suelos residuales con alta y baja concentración de cadmio con tres niveles de cadmio ( $3\text{CdSO}_4 \cdot 8\text{H}_2\text{O}$ ) sometido a cuatro niveles de materia orgánica se presentan adjunto en el anexo (Cuadro 37). Según el análisis de varianza en el anexo (Cuadro 38) se encontró diferencias estadísticas altamente significativas entre los tratamientos. También se encontró diferencias estadísticas altamente significativas, en el factor A (tipo de suelo), factor B (niveles de cadmio) y factor C (niveles de materia orgánica). Las interacciones de tipo de suelo con niveles de cadmio AB, interacción tipo de suelos por niveles de materia orgánica AC y la interacción niveles de materia orgánica por niveles de cadmio BC, mostraron diferencias estadísticas significativas. La interacción de los tres factores ABC mostró diferencias estadísticas altamente significativas.

Los resultados de la concentración de cadmio total (USEPA-3050B), en dos suelos residuales con alta y baja concentración de cadmio con tres niveles de cadmio ( $3\text{CdSO}_4 \cdot 8\text{H}_2\text{O}$ ) sometido a cuatro niveles de materia orgánica se presentan adjunto en el anexo (Cuadro 39). Según el análisis de varianza en el anexo (Cuadro 40) se encontró diferencias estadísticas altamente significativas entre los tratamientos.

También se encontró diferencias estadísticas altamente significativas para el factor A (tipo de suelo), factor B (niveles de cadmio) y factor C (niveles de materia orgánica). La interacción tipo de suelo con niveles de cadmio AB y niveles de cadmio con niveles de materia orgánica BC, mostraron diferencias estadísticas significativas; no así la interacción tipo de suelo con niveles de materia orgánica AC, no se encontró diferencias estadísticas. La interacción de los tres factores ABC, no mostró diferencias estadísticas significativas.

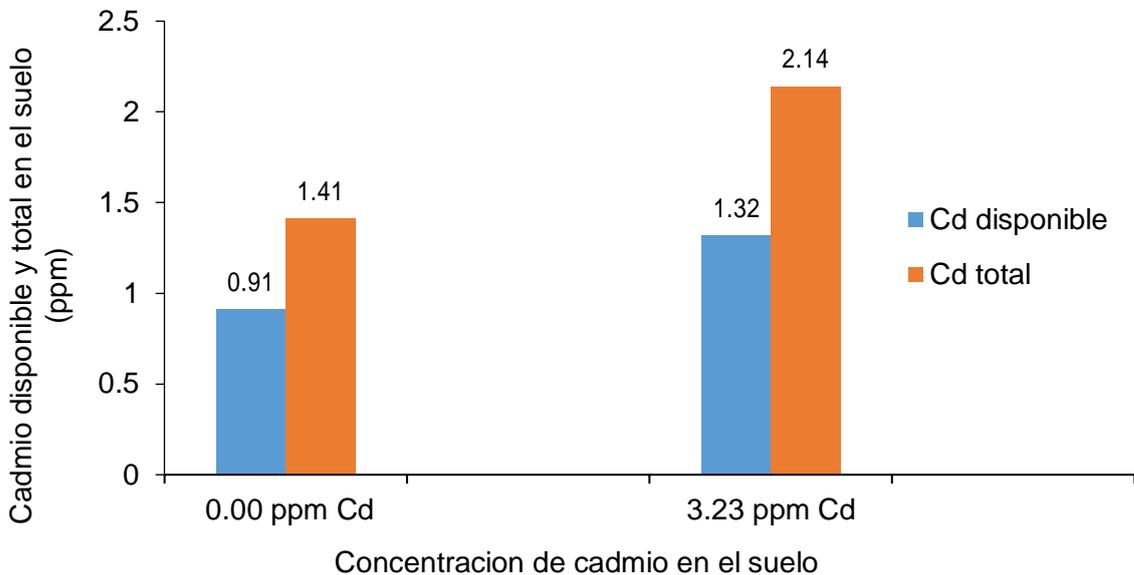
En el Cuadro 8, se observa la prueba de Duncan ( $\alpha=0.05$ ), donde se muestra estadísticamente que el suelo con 0.00 ppm Cd total acumulo menor concentración de cadmio disponible (EDTA 0.05 M pH 7); mientras que el suelo con 3.23 ppm Cd total estadísticamente acumuló mayor concentración cadmio disponible, siendo estadísticamente diferente los tipos suelos; posiblemente debido a las concentraciones iniciales de cadmio y a que el mecanismo que describe el movimiento y adsorción de este metal es más lento, a raíz de las características físicas y químicas del suelo y las características intrínsecas del metal . Del mismo modo se explica estadísticamente la menor concentración de cadmio total (USEPA-3050B) en el suelo con 0.00 ppm Cd y la mayor concentración en el suelo con 3.23 ppm Cd. Los resultados encontrados en ambos tipos de suelos ( $a_1$ ,  $a_2$ ) representan el 35.46 y 38.31 % de cadmio disponible en base al cadmio total, resultado similar a lo obtenido por REYES y MARIA (2004), quien menciona que el cadmio disponible representa el 33 % del cadmio total en el suelo, estudio realizado de en el cultivo de cacao orgánico en República Dominicana.

**Cuadro 8.** Prueba de significación de Duncan ( $\alpha=0.05$ ), para el factor tipo de suelo (A) en el cadmio disponible y total en el suelo (ppm) en plántones de cacao.

Tipo de suelo (A)	Concentración de cadmio (ppm)		(% de Cd disponible del Cd total)
	Cd-disponible	Cd-total	
Suelo con 0.00 ppm Cd (a <sub>2</sub> )	0.91 a	1.41 a	35.46 %
Suelo con 3.23 ppm Cd (a <sub>1</sub> )	1.32 b	2.14 b	38.31 %

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

En la Figura 3, se observa que a mayor concentración de cadmio en el suelo se incrementa el cadmio disponible y total; observándose al cadmio total mayor en los dos tipos de suelos.



**Figura 3.** Concentración de cadmio disponible y total (ppm) en dos suelos residuales en plántones de cacao.

En la prueba de Duncan ( $\alpha=0.05$ ), se muestra estadísticamente que cuando se aplicó 1.5 ppm de cadmio, acumulo menor concentración de cadmio total (1.54 ppm) y cuando se aplicó 4.5 ppm de cadmio se obtuvo menor al aplicado (2.0 ppm) (Cuadro 9), podría haber influenciado la absorción por parte del plantón o una posible exageración en la concentración de los niveles contaminantes en la presente investigación, trabajos similares se reportaron según TECHNOSERVE y CITE CACAO (2011), de autoría Huamani y Huauya el mismo año (2011), realizaron un estudio titulado “Contenido de cadmio y plomo en la producción de cacao en San Martín” donde tomaron muestras de suelos, tejidos y determinaron el cadmio disponible (extraíble) y cadmio total en almendras. El estudio muestra una diferencia de concentración (valor promedio), de cadmio para el suelo con cultivos de cacao (0.11 ppm) que es menor comparado con el cadmio en la planta (1.33 ppm), también CARDENAS (2012), realizó un trabajo de investigación en el cultivo de cacao (*Theobroma cacao* L.) del clon CCN 51 bajo condiciones de cultivo orgánico en producción. Los resultados muestran que la concentración del cadmio disponible en el suelo (0.66 ppm) es menor respecto al cadmio en las almendras sin cascarilla (1.55 ppm) y cascarilla (2.04 ppm). También a mayores concentraciones de cadmio aplicado al suelo, mayor será la retención en el suelo debido a la disolución o fijación por procesos de adsorción, formación de complejos o precipitación; absorción por las plantas e incorporación de las cadenas tróficas; volatilización y paso a la atmósfera y movilización hacia las aguas superficiales o subterráneas tal como lo mencionan (CRUZ y GUZMÁN, 2007).

**Cuadro 9.** Prueba de significación de Duncan ( $\alpha=0.05$ ), para el factor niveles de cadmio (B) en el cadmio disponible y total en el suelo (ppm) en plántones de cacao en vivero.

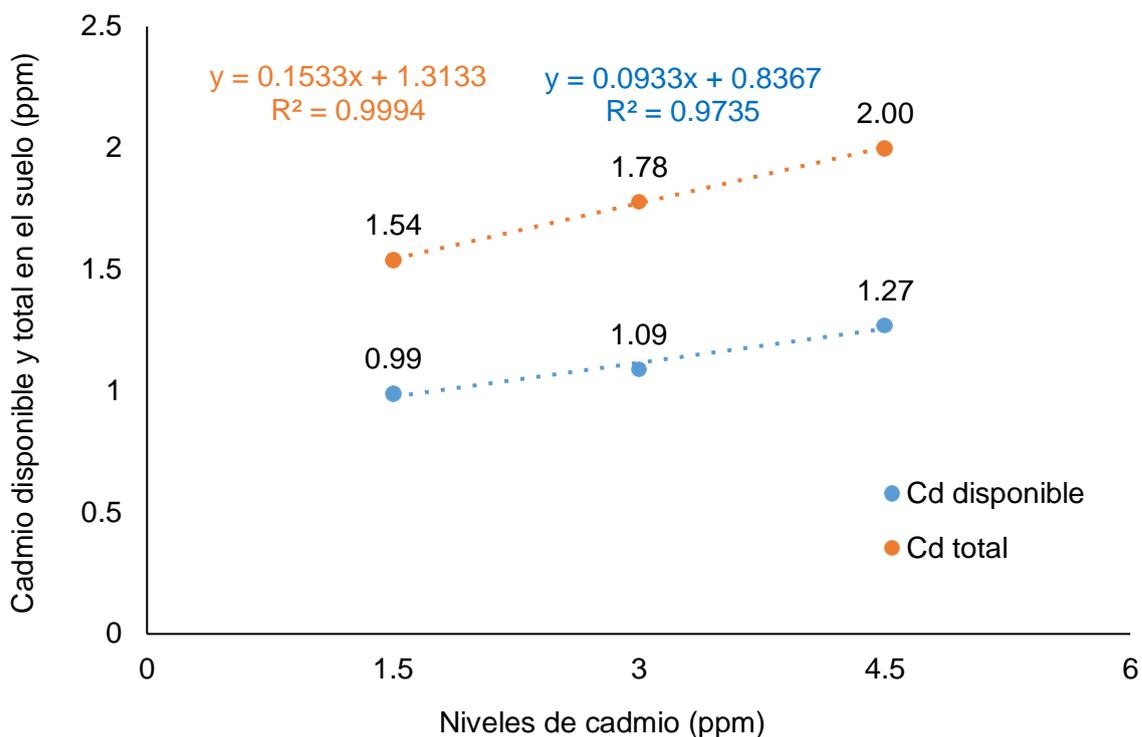
Niveles de Cd - ppm (B)	Concentración de cadmio (ppm)				(% de Cd disponible del Cd total
	Cd-disponible		Cd-total		
1.5 (b <sub>1</sub> )	0.99	a	1.54	a	35.71 %
3.0 (b <sub>2</sub> )	1.09	a	1.78	b	38.76 %
4.5 (b <sub>3</sub> )	1.27	a	2.00	c	36.50 %

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

En la Figura 4, se observa el incremento en la concentración de cadmio disponible y total en el suelo, a medida que se incrementó la aplicación de cadmio ( $3\text{CdSO}_4 \cdot 8\text{H}_2\text{O}$ ).

Según ALVES *et al.*, (2010), la disponibilidad de Cd en el suelo determina tanto su posible absorción por los cultivos como su lixiviación y posterior contaminación de aguas subterráneas.

Pero las regulaciones sobre los límites admisibles de cadmio en suelo de distintos países se basan en el contenido total del metal en el suelo, los niveles totales son una medida de peligrosidad potencial de un suelo a futuro; sin embargo, si se quiere medir la peligrosidad real en el momento de la determinación se debe medir los metales en la fase disponible o asimilable del suelo.



**Figura 4.** Niveles de cadmio aplicado en la concentración de cadmio disponible y total (ppm) en el suelo en plantones de cacao en vivero.

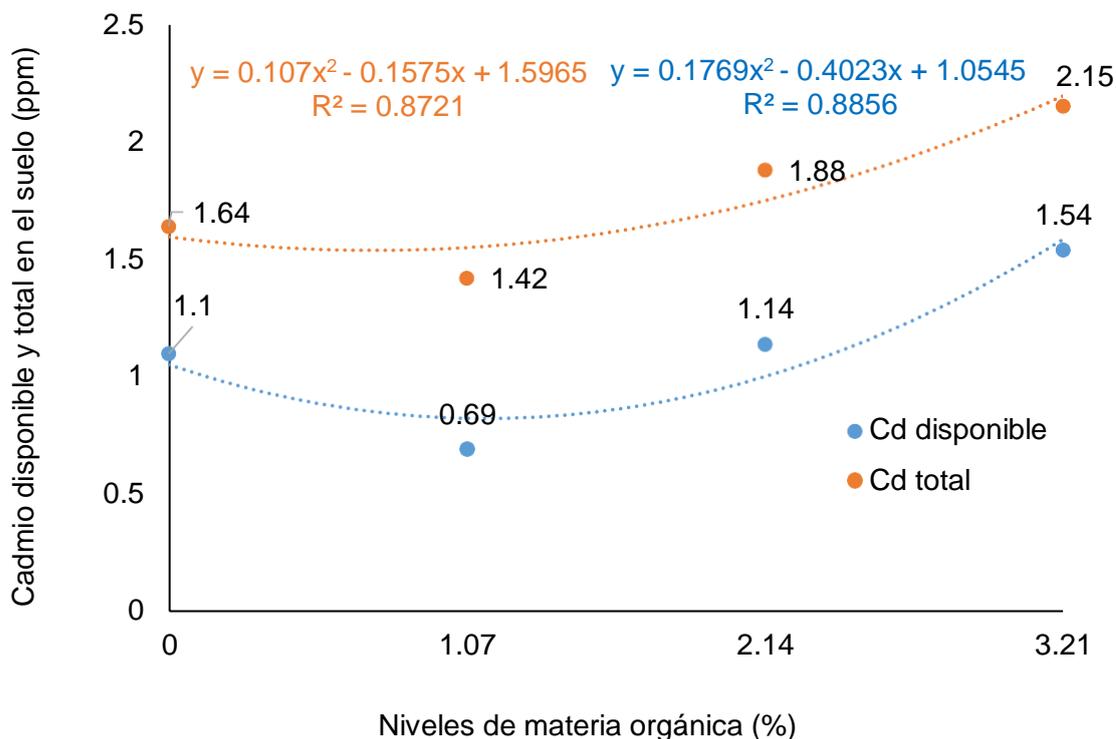
En el Cuadro 10, se observa la prueba de Duncan ( $\alpha=0.05$ ), donde nos muestra estadísticamente que 1.07 % M.O acumuló la menor concentración de cadmio disponible 0.69 ppm (EDTA 0.05 M pH 7); mientras que sin aplicar materia orgánica 0.00 %, mostró mayor concentración de cadmio disponible 1.10 ppm. Validando que la materia orgánica reduce el cadmio disponible para este caso con el nivel 1.07 % debido a que los constituyentes de la materia orgánica le proporcionan sitios de adsorción para los metales, sin embargo, los niveles de 2.14 y 3.21 % M.O incrementaron el cadmio disponible (EDTA 0.05 M pH 7). El comportamiento del cadmio total sigue una tendencia semejante en relación al cadmio disponible, concentrándose siempre en cantidades más altas.

**Cuadro 10.** Prueba de significación de Duncan ( $\alpha=0.05$ ), para el factor niveles de materia orgánica (C) en el cadmio disponible y total en el suelo (ppm) en plántones de cacao en vivero.

Niveles de M.O (%) (c)	Concentración de cadmio (ppm)				(% de Cd disponible del Cd total
	Cd- disponible		Cd-total		
1.07 % M.O (c <sub>2</sub> )	0.69	a	1.42	a	51.40 %
0.00 % M.O (c <sub>1</sub> )	1.10	a b	1.64	b	32.92 %
2.14 % M.O (c <sub>3</sub> )	1.14	a b	1.88	c	39.36 %
3.21 % M.O (c <sub>4</sub> )	1.54	b	2.15	d	28.37 %

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

En la Figura 5, se observa el menor contenido de cadmio disponible y total con 1.07 % M.O y según aumenta el nivel de materia orgánica se incrementa el cadmio disponible, posiblemente los sitios de cambio de la materia orgánica se saturaron por lo tanto no se adsorbían y/o fijaban el cadmio en el complejo arcillo-húmico; LOFTS *et al.*, (2005), mencionan que suelos con altos contenidos de M.O. u óxidos de hierro adsorben más Cd que los que tienen grandes cantidades de arcilla tipo 2:1, no obstante, presenta alta CIC; en este caso la CICe era baja en los suelos debido a eso, los niveles elevados de M.O no tenían efecto positivo. Mientras que el cadmio total aumenta atribuyéndolo a la composición de la materia orgánica (Figura 24, adjuntado en el anexo), y a la fase mineral del suelo.



**Figura 5.** Niveles de materia orgánica (%) en la concentración de cadmio disponible y total (ppm) en el suelo en plantones de cacao en vivero.

#### 4.1.1. Análisis de varianza de los efectos simples para el Cd disponible y Cd total

En el Cuadro 11, se muestra el análisis de varianza de los efectos simples para la cantidad de cadmio disponible y total para tipo de suelo (A) y niveles de cadmio (B), existe suficiente evidencia estadística para aceptar que los dos tipos de suelo tienen un comportamiento diferente en la cantidad de cadmio disponible empleando el extractante EDTA 0.05 M pH 7, cuando se aplicaron los tres niveles de cadmio ( $3\text{CdSO}_4 \cdot 8\text{H}_2\text{O}$ ) ( $b_1 = 1.5$  ppm,  $b_2 = 3.0$  ppm y  $b_3 = 4.5$  ppm) en la cantidad de cadmio disponible.

También existe suficiente evidencia estadística para aceptar que los 3 niveles de cadmio ( $\text{CdSO}_4$ ) ( $b_1 = 1.5$  ppm,  $b_2 = 3.0$  ppm y  $b_3 = 4.5$  ppm) tienen un comportamiento diferente en la cantidad de cadmio disponible empleando el extractante EDTA 0.05 M pH 7, cuando se utilizó el suelo  $a_2$  (0.00 ppm de Cd); no así cuando se utilizó el suelo  $a_1$  (suelo con 3.23 ppm Cd), lo que indica que se va a realizar la prueba de Duncan.

El análisis de varianza se muestra en el Cuadro 12 para los efectos simples: tipos de suelo (A) y niveles de cadmio (B) para el cadmio total, existe suficiente evidencia estadística para aceptar que los dos tipos de suelo tienen un comportamiento diferente en la cantidad de cadmio total (USEPA-3050B) cuando se aplicaron los tres niveles de cadmio ( $3\text{CdSO}_4 \cdot 8\text{H}_2\text{O}$ ) ( $b_1 = 1.5$  ppm,  $b_2 = 3.0$  ppm y  $b_3 = 4.5$  ppm) en la cantidad de cadmio total.

También existe suficiente evidencia estadística para aceptar que los 3 niveles de cadmio ( $3\text{CdSO}_4 \cdot 8\text{H}_2\text{O}$ ) ( $b_1 = 1.5$  ppm,  $b_2 = 3.0$  ppm y  $b_3 = 4.5$  ppm) tienen un comportamiento diferente en la cantidad de cadmio total (USEPA-3050B), cuando se utilizó los dos tipos de suelo  $a_1$  (suelo con 3.23 ppm Cd) y  $a_2$  (suelo con 0.00 ppm Cd), lo que indica que se va a realizar la prueba de Duncan.

**Cuadro 11.** Resumen del análisis de varianza de efectos simples tipo de suelo (A) y Niveles de cadmio (B) para la cantidad de cadmio disponible y total.

	G.L	Cd disponible		Cd total	
		Cuadrados medios	Significancia	Cuadrados medios	Significancia
AXB					
Tipo de suelo (A)					
A dentro de b1	1	2.19	AS	4.36	AS
A dentro de b2	1	0.73	AS	2.15	AS
A dentro de b3	1	0.39	AS	3.20	AS
Niveles de cadmio (B)					
B dentro de a1	2	0.06	NS	0.51	AS
B dentro de a2	2	0.60	AS	0.86	AS

En el Cuadro 12, se presenta el análisis de varianza para los efectos simples tipos de suelo (A) y niveles de materia orgánica (C), existe suficiente evidencia estadística para aceptar que los dos tipos de suelo tienen un comportamiento diferente en la cantidad de cadmio disponible en EDTA 0.05 M pH 7 cuando se aplicaron ( $c_1 = 0\%$  M.O,  $c_2 = 1.07\%$  M.O,  $c_3 = 2.14\%$  M.O y  $c_4 = 3.21\%$  M.O) niveles de materia orgánica. También existe suficiente evidencia estadística para aceptar que los 4 niveles de materia orgánica ( $c_1 = 0\%$  M.O,  $c_2 = 1.07\%$  M.O,  $c_3 = 2.14\%$  M.O y  $c_4 = 3.21\%$  M.O) tienen un comportamiento diferente en la cantidad de cadmio disponible (EDTA 0.05 M pH 7) cuando se aplicaron los tipos de suelos  $a_1$  (suelo con 3.23 ppm Cd) y  $a_2$  (suelo con 0.00 ppm Cd), que indica que se va a realizar la prueba de Duncan.

**Cuadro 12.** Resumen del análisis de varianza de efectos simples tipo de suelo (A) y niveles de materia orgánica (C) para la cantidad de cadmio disponible en el suelo.

	G.L	Cd disponible	
		Cuadrados medios	Significancia
AXC			
Tipo de suelo (A)			
A dentro de C1	1	0.25	AS
A dentro de c2	1	1.07	AS
A dentro de c3	1	1.08	AS
A dentro de c4	1	0.70	AS
Niveles de materia orgánica (C)			
C dentro de a1	3	1.01	AS
C dentro de a2	3	1.22	AS

En el Cuadro 14, se presenta el análisis de varianza para los efectos simples: niveles de cadmio (B) y niveles de materia orgánica (C) en el cadmio disponible, se observa que existe suficiente evidencia estadística para aceptar que los tres niveles de cadmio ( $3\text{CdSO}_4 \cdot 8\text{H}_2\text{O}$ ) ( $b_1 = 1.5$  ppm,  $b_2 = 3.0$  ppm y  $b_3 = 4.5$  ppm) tienen un comportamiento diferente en la cantidad de cadmio disponible (EDTA 0.05 M pH 7) cuando se aplicaron los niveles de materia orgánica ( $c_1 = 0.00$  % M.O,  $c_2 = 1.07$  % y  $c_4 = 3.21$  % M.O); no así cuando se aplicó el tercer nivel de materia orgánica ( $c_3 = 2.14$  % M.O).

También existe suficiente evidencia estadística para aceptar que los 4 niveles de materia orgánica ( $c_1 = 0.00$  % M.O,  $c_2 = 1.07$  % M.O,  $c_3 = 2.14$  % M.O) y  $c_4 = 3.21$  % M.O) tienen un comportamiento diferente en la cantidad de cadmio disponible cuando se aplicaron los niveles de cadmio ( $3\text{CdSO}_4 \cdot 8\text{H}_2\text{O}$ ) ( $b_1 = 1.5$  ppm,  $b_2 = 3.0$  ppm y  $b_3 = 4.5$  ppm) en la cantidad de cadmio disponible (EDTA 0.05 M pH 7), lo que indica que se va a realiza la prueba de Duncan.

El análisis de varianza se muestra en el Cuadro 13, para los efectos simples: niveles de cadmio (B) y niveles de materia orgánica (C) en el cadmio total, existe suficiente evidencia estadística para aceptar que los tres niveles de cadmio ( $3\text{CdSO}_4 \cdot 8\text{H}_2\text{O}$ ) ( $b_1 = 1.5$  ppm,  $b_2 = 3.0$ ppm y  $b_3 = 4.5$  ppm) tienen un comportamiento diferente en la cantidad de cadmio total (USEPA 3050B) cuando se aplicaron los niveles de materia orgánica  $c_1 = 0$  % M.O,  $c_2 = 1.07$  % M.O,  $c_3 = 2.14$  % M.O y  $c_4 = 3.21$  % M.O).

También existe suficiente evidencia estadística para aceptar que los 4 niveles de materia orgánica ( $c_1 = 0$  % M.O,  $c_2 = 1.07$  % M.O,  $c_3 = 2.14$  % M.O y  $c_4 = 3.21$  % M.O) tienen un comportamiento diferente en la cantidad de cadmio total cuando se aplicaron los niveles de cadmio ( $3\text{CdSO}_4 \cdot 8\text{H}_2\text{O}$ ) ( $b_1 = 1.5$  ppm,  $b_2 = 3.0$  ppm y  $b_3 = 4.5$  ppm) en la concentración de cadmio total (USEPA 3050B), lo que indica que se va a realizar la prueba de Duncan.

**Cuadro 13.** Resumen del análisis de varianza de efectos simples niveles de cadmio (B) y niveles de materia orgánica (C) para la cantidad de cadmio disponible y total en el suelo.

	G.L	Cd disponible		Cd total	
		Cuadrados medios	Significancia	Cuadrados medios	Significancia
BXC					
Niveles de cadmio (B)					
B dentro de c1	2	0.58	AS	0.20	AS
B dentro de c2	2	0.06	AS	0.56	AS
B dentro de c3	2	0.01	NS	0.13	AS
B dentro de c4	2	0.12	AS	0.59	AS
Niveles de materia orgánica (C)					
C dentro de b1	3	0.63	AS	0.76	AS
C dentro de b2	3	0.97	AS	0.33	AS
C dentro de b3	3	0.77	AS	0.79	AS

#### 4.1.2. Prueba de comparación de medias de Duncan

En el Cuadro 14, se muestra la prueba de Duncan ( $\alpha=0.05$ ), donde el suelo con 3.23 ppm Cd y 4.5 ppm de cadmio aplicado ( $3\text{CdSO}_4 \cdot 8\text{H}_2\text{O}$ ), resulta con la mayor concentración de cadmio disponible en el suelo, estadísticamente igual que el suelo con 3.23 ppm Cd y 1.5 ppm de cadmio aplicado ( $3\text{CdSO}_4 \cdot 8\text{H}_2\text{O}$ ). Es decir, la dosis de cadmio aplicado afecta la concentración de cadmio disponible, mostrando que a mayor contenido de cadmio en el suelo y a mayor dosis de cadmio aplicado, se incrementa la concentración de cadmio disponible en el suelo.

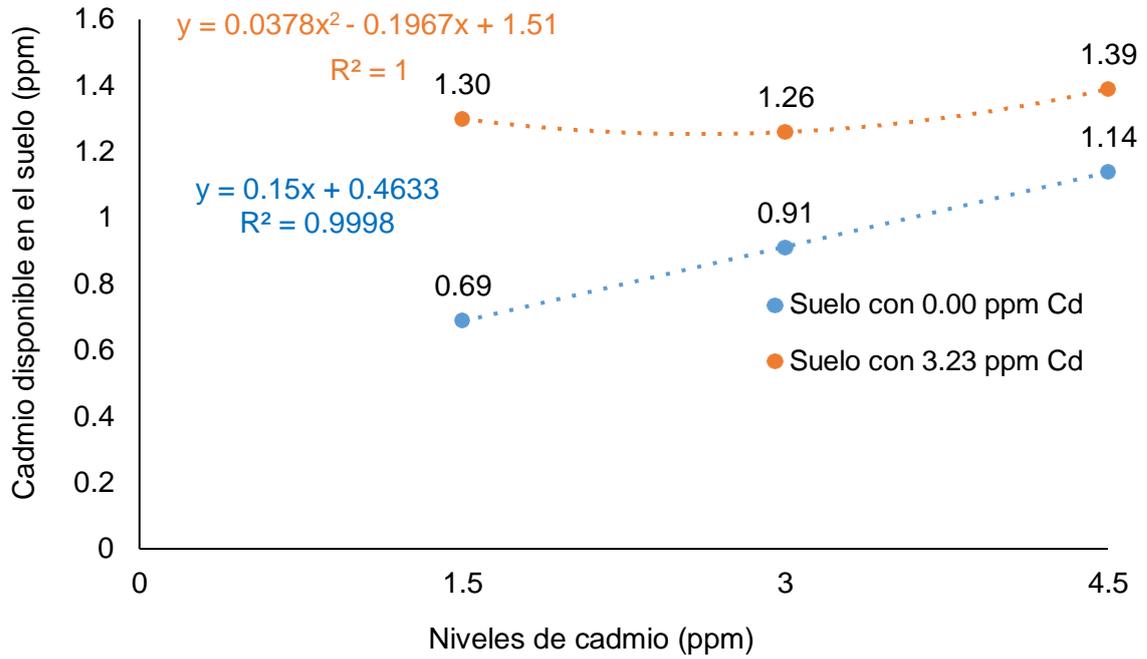
En el análisis de varianza se muestra el Cd total (Cuadro 15), el suelo con 3.23 ppm Cd y la aplicación de 4.5 ppm de cadmio contaminante, mostró la mayor concentración de Cd total, la dosis alta en el suelo y aplicada habría contribuido a la mayor presencia de Cd total en el suelo; posiblemente la fracción mineral o fracción órgano mineral del suelo habría fijado el Cd. El suelo con 0.00 ppm Cd también mostro la mayor presencia de cadmio total en el suelo con la mayor dosis de cadmio aplicado. Es decir, la aplicación de cadmio ( $3\text{CdSO}_4 \cdot 8\text{H}_2\text{O}$ ) si contribuye con el aumento de la concentración del metal y con la fijación por la fracción más estable del suelo.

**Cuadro 14.** Prueba de significación de Duncan ( $\alpha=0.05$ ), para tipos de suelo (A) y niveles de cadmio (B), para el cadmio disponible y cadmio total en el suelo (ppm) en plantones de cacao en vivero.

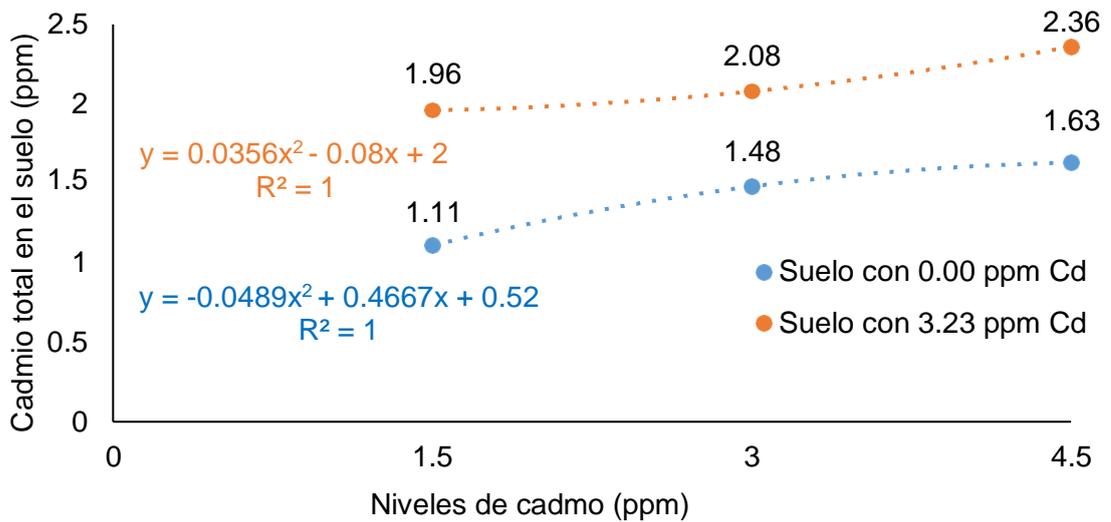
Concentración de Cd en el suelo		Niveles de cadmio aplicado (ppm)	Cd- disponible (ppm)	Significancia (*)
Cadmio disponible en el suelo (ppm)	Suelo con 0.00 ppm Cd (a <sub>2</sub> )	1.5 ppm (b <sub>1</sub> )	0.69	a
	Suelo con 0.00 ppm Cd (a <sub>2</sub> )	3.0 ppm (b <sub>2</sub> )	0.91	b
	Suelo con 0.00 ppm Cd (a <sub>2</sub> )	4.5 ppm (b <sub>3</sub> )	1.14	c
	Suelo con 3.23 ppm Cd (a <sub>1</sub> )	3.0 ppm (b <sub>2</sub> )	1.26	d
	Suelo con 3.23 ppm Cd (a <sub>1</sub> )	1.5 ppm (b <sub>1</sub> )	1.30	d e
	Suelo con 3.23 ppm Cd (a <sub>1</sub> )	4.5 ppm (b <sub>3</sub> )	1.39	e
Concentración de Cd en el suelo		Niveles de cadmio aplicado (ppm)	Cd - total (ppm)	Significancia (*)
Cd total en el suelo (ppm)	Suelo con 0.00 ppm Cd (a <sub>2</sub> )	1.5 ppm (b <sub>1</sub> )	1.11	a
	Suelo con 0.00 ppm Cd (a <sub>2</sub> )	3.0 ppm (b <sub>2</sub> )	1.48	b
	Suelo con 0.00 ppm Cd (a <sub>2</sub> )	4.5 ppm (b <sub>3</sub> )	1.63	c
	Suelo con 3.23 ppm Cd (a <sub>1</sub> )	3.0 ppm (b <sub>2</sub> )	1.96	d
	Suelo con 3.23 ppm Cd (a <sub>1</sub> )	1.5 ppm (b <sub>1</sub> )	2.08	d
	Suelo con 3.23 ppm Cd (a <sub>1</sub> )	4.5 ppm (b <sub>3</sub> )	2.36	e

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

En la Figura 6 y 7, se corrobora que, a mayor dosis de cadmio aplicado, se encuentra mayor cadmio disponible y total en el suelo. El aumento del cadmio disponible en los diferentes niveles del cadmio aplicado, es notorio en el suelo con 0.00 ppm Cd en comparación al suelo de 3.23 ppm Cd asemejándose a GRAY *et al.*, (1998), quienes encontraron que el Cd liberado en el suelo aumentó en los primeros cinco días de incubación y luego se mantuvo constante a partir del día 30 hasta los 70 días después de la medición; con esto podemos afirmar que la cantidad de cadmio disponible aumento directamente proporcional a los niveles de cadmio aplicado al suelo en presencia de materia orgánica en 6 meses. De la misma manera AHUMADA y SCHALSCHA (1995), mencionan que las concentraciones de Cd disponible en el testigo con  $0.4 \text{ mg kg}^{-1}$  aumento a  $3 \text{ mg kg}^{-1}$  después de aplicar  $0.011 \text{ mg L}^{-1}$  de solución de nitrato de Cd ( $\text{CdNO}_3$ ), corroborando que, al aplicar Cd, aumentara la concentración de cadmio disponible. También LOGANATHAN *et al.*, (1997), señalan que en un suelo del orden Alfisol, en Nueva Zelanda encontraron que la concentración de Cd en el testigo fue de  $0.02 \text{ mg kg}^{-1}$  y con la aplicación de  $60 \text{ kg ha}^{-1}$  de superfosfato normal, el Cd disponible aumentó a  $0.04 \text{ mg kg}^{-1}$ . Esto nos indica que a mayores niveles de cadmio ( $3\text{CdSO}_4 \cdot 8\text{H}_2\text{O}$ ) aplicado ya sea en forma de sulfatos, nitratos, fertilizantes u otras fuentes de cadmio se obtendrá mayores concentraciones de cadmio disponible porque se acumulara en mayor cantidad; sin embargo, otros estudios señalan que la disponibilidad del Cd disminuyó en el tiempo, dependiendo de las condiciones del suelo como pH, materia orgánica y la cantidad de Cd aplicado.



**Figura 6.** Cadmio disponible en suelo por efecto de la aplicación de los niveles de cadmio ( $3\text{CdSO}_4 \cdot 8\text{H}_2\text{O}$ ).



**Figura 7.** Cadmio total en el suelo por efecto de aplicación de los niveles de cadmio ( $3\text{CdSO}_4 \cdot 8\text{H}_2\text{O}$ ).

En el Cuadro 15, se muestra la prueba de Duncan ( $\alpha=0.05$ ), donde el suelo con 0.00 ppm Cd total (A2) y 1.07 % M.O (C2), estadísticamente acumuló menor concentración de cadmio disponible; mientras el suelo con 0.00 ppm Cd y 0.00 % M.O (Testigo) acumuló más cadmio, al no haber presencia de M.O en comparación a A2C2, la materia orgánica disminuye el Cd, sin embargo fue suficiente 1.07 % (C2) para reducir el 55 % de cadmio disponible en el suelo con 0.00 ppm Cd y 0 % M.O (A2C1) con 0.00 ppm Cd y 1.07 % (A2C2); también A1C1 con A1C2 disminuyó 24 % de cadmio disponible en el suelo. En el Cd total el suelo con 3.23 ppm Cd total (A1) y 3.21 % M.O (C4), estadísticamente mostró mayor concentración de Cd; la presencia alta de cadmio que mostró originalmente el suelo junto con la dosis más alta de materia orgánica habría contribuido a la mayor presencia del metal en los complejos órgano minerales, evidenciado una posible retención órgano mineral del Cd.

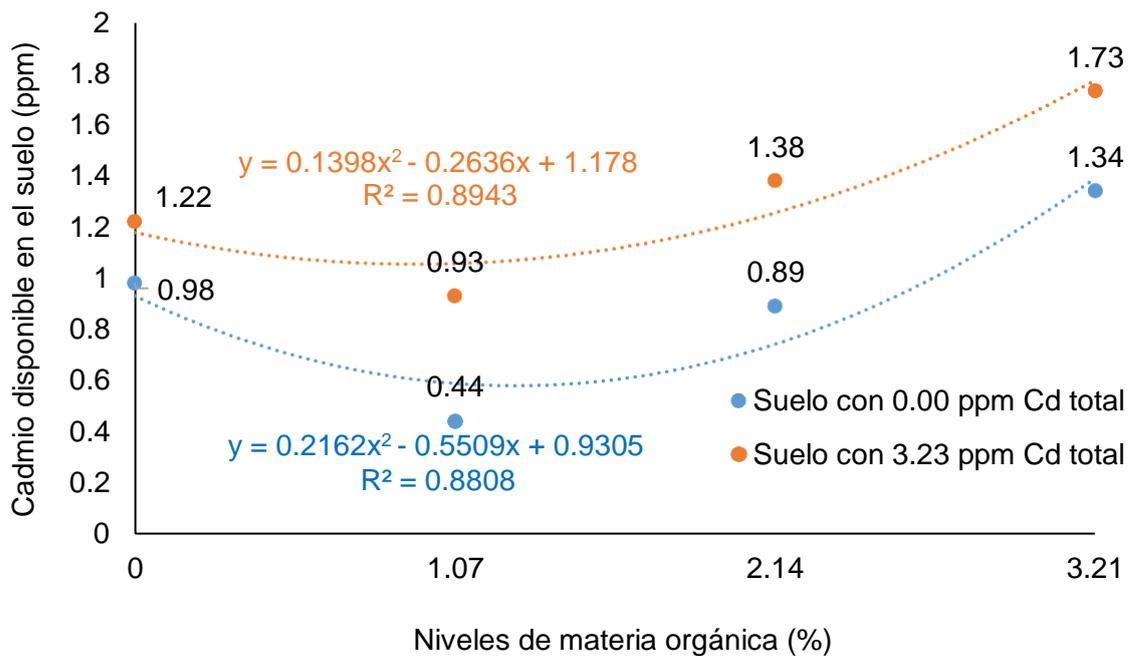
**Cuadro 15.** Prueba de significación de Duncan ( $\alpha=0.05$ ), para tipo de suelo (A) y niveles de materia orgánica (C), en el cadmio disponible y cadmio total en el suelo (ppm) en plantones de cacao en vivero.

Concentración de Cd en suelo		Niveles de materia orgánica (%)	Cd-disponible (ppm)	Significancia (*)
Cd disponible en el suelo	Suelo con 0.00 ppm Cd (a <sub>2</sub> )	1.07 (c <sub>2</sub> )	0.44	a
	Suelo con 0.00 ppm Cd (a <sub>2</sub> )	2.14 (c <sub>3</sub> )	0.89	b
	Suelo con 3.23 ppm Cd (a <sub>1</sub> )	1.07 (c <sub>2</sub> )	0.93	b
	Suelo con 0.00 ppm Cd (a <sub>2</sub> )	0.00 (c <sub>1</sub> )	0.98	b
	Suelo con 3.23 ppm Cd (a <sub>1</sub> )	0.00 (c <sub>1</sub> )	1.22	c
	Suelo con 0.00 ppm Cd (a <sub>2</sub> )	3.21 (c <sub>4</sub> )	1.34	d
	Suelo con 3.23 ppm Cd (a <sub>1</sub> )	2.14 (c <sub>3</sub> )	1.38	d
	Suelo con 3.23 ppm Cd (a <sub>1</sub> )	3.21 (c <sub>4</sub> )	1.73	e
Concentración de Cd en el suelo		Niveles de materia orgánica (%)	Cd-total (ppm)	Significancia (*)
Cd total en el suelo	Suelo con 0.00 ppm Cd (a <sub>2</sub> )	2.00 (c <sub>2</sub> )	1.09	a
	Suelo con 0.00 ppm Cd (a <sub>2</sub> )	0.00 (c <sub>1</sub> )	1.29	b
	Suelo con 0.00 ppm Cd (a <sub>2</sub> )	2.14 (c <sub>3</sub> )	1.52	c
	Suelo con 0.00 ppm Cd (a <sub>2</sub> )	3.21 (c <sub>4</sub> )	1.74	d
	Suelo con 3.23 ppm Cd (a <sub>1</sub> )	1.07 (c <sub>2</sub> )	1.76	d
	Suelo con 3.23 ppm Cd (a <sub>1</sub> )	0.00 (c <sub>1</sub> )	2.00	e
	Suelo con 3.23 ppm Cd (a <sub>1</sub> )	2.14(c <sub>3</sub> )	2.23	f
	Suelo con 3.23 ppm Cd (a <sub>1</sub> )	3.21 (c <sub>4</sub> )	2.56	g

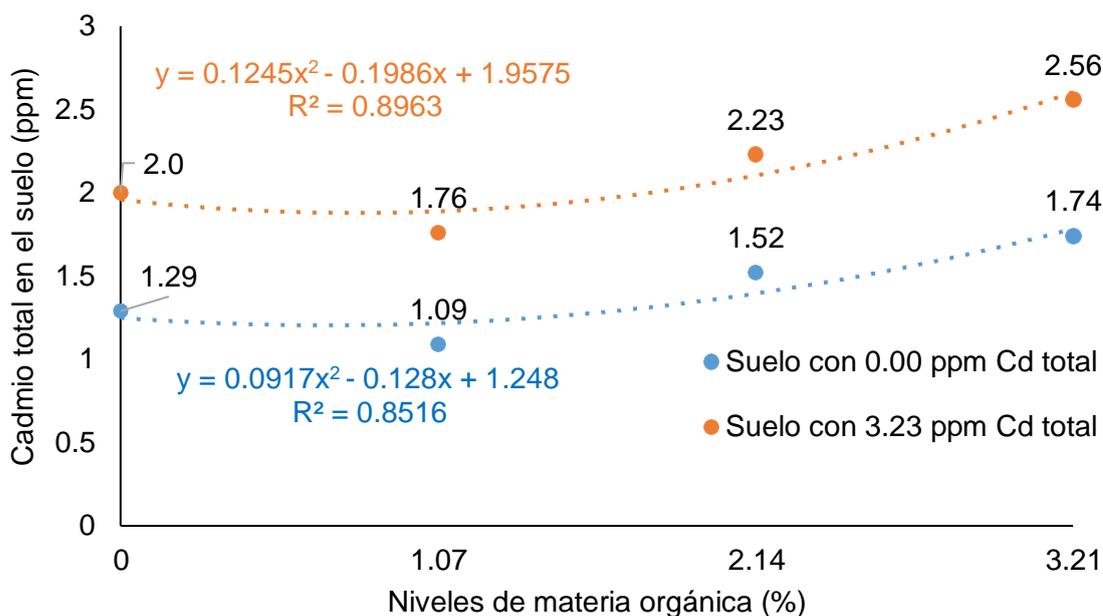
Medias con una letra en común no son significativamente diferentes ( $p > 0.05$ )

En la Figura 8, se observa los suelos con 0.00 ppm Cd total con 1.07 % M.O y el suelo con 3.23 ppm Cd total con 1.07 % M.O, mostraron el menor contenido de cadmio disponible respectivamente en comparación con el nivel 0 % M.O para ambos; mientras aumentamos las dosis de materia orgánica a 2.14 y 3.21 % M.O, el cadmio disponible y total también aumentan, posiblemente se deba a la saturación de los sitios de cambio de la materia orgánica que influyen en el aumento de la disponibilidad. También las dosis altas de aplicación para este experimento: 2.14 y 3.21 % M.O habría generado la solubilidad del cadmio. Evidenciando que 1.07 % es el nivel óptimo de materia orgánica para las características físico-químico de los presentes suelos, mostrando la menor concentración de cadmio disponible. Sin embargo, CLEMENTE y BERNAL (2006), mencionan la materia orgánica del suelo (MOS) puede tener efectos opuestos sobre la adsorción de este elemento, la fracción soluble logra acomplejarlo, facilita su movilidad en el suelo y al mineralizarse permite mayor disponibilidad para las plantas; de acuerdo a los antecedentes mencionados en la literatura, a menor contenido de materia orgánica menor disponibilidad del elemento, debido a la menor presencia de partículas con carga negativa. De la misma manera CLEMENTE y BERNAL (2006), mencionan que la fracción orgánica más estable, a la vez más resistente a la mineralización, en general puede retener los metales pesados, y en particular el Cd, en formas no disponibles, tal como se observa en el nivel de 1.07 % se encuentra menor disponibilidad de cadmio y en 0.00 % M.O se encuentre mayor disponibilidad de cadmio al no haber presencia de materia orgánica.

En la Figura 9, la menores concentración de cadmio total se observa en la interacción de los suelos 0.00 ppm de Cd con 1.07 % y 3.23 ppm de Cd con 1.07 % ambos; posiblemente se habría precipitado y estaría siendo reflejado en el cadmio total, por otra parte WANG *et al.*, (1997), mencionan que la calidad de la MOS representada por índice de humificación tienen un papel muy importante en el proceso de adsorción de este metal, no obstante, este no es el único factor que interviene en el proceso, el pH igualmente tiene un papel significativo entre otros en la adsorción específica.



**Figura 8.** Cadmio disponible en el suelo por efecto de la aplicación de los niveles de materia orgánica (%).



**Figura 9.** Cadmio total en el suelo por efecto de la aplicación niveles de materia orgánica (%).

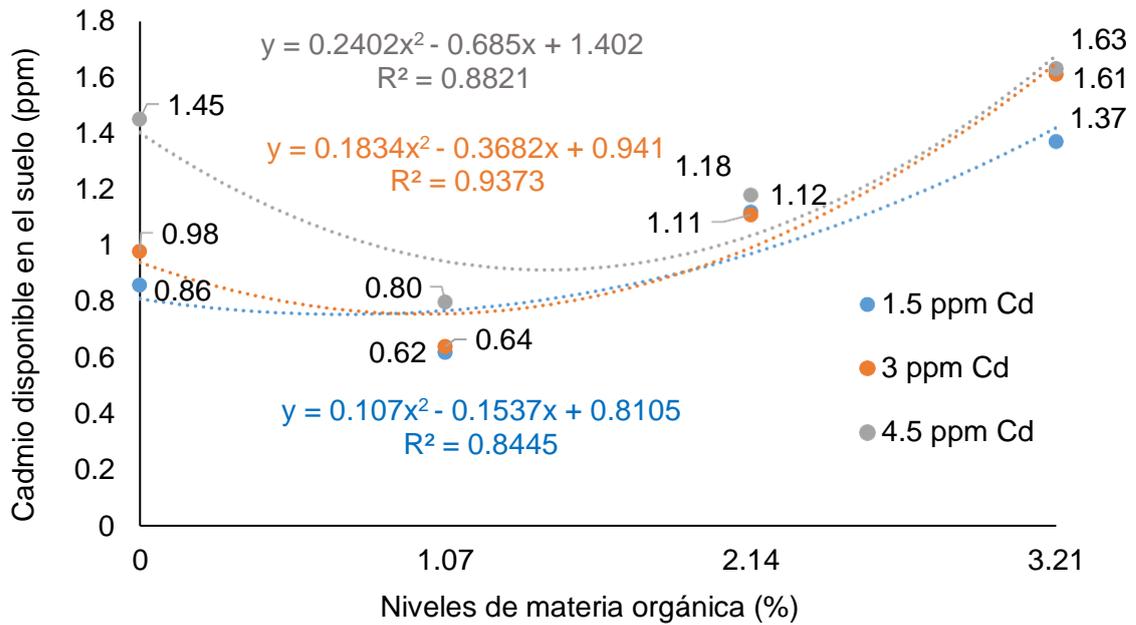
En el Cuadro 16, se muestra la prueba de Duncan ( $\alpha=0.05$ ), la contaminación de 1.5 ppm de Cd con 1.07 % B1C2 estadísticamente mostro la menor concentración de cadmio disponible en comparación a 1.5 ppm de Cd con 0.00 % M.O B1C1; del mismo modo se observa 3 ppm de Cd y 1.07 % B2C2 mostro menor Cd disponible comparado con 3 ppm de Cd y 0 % M.O B2C1 debido al efecto de la materia orgánica tal como menciona MCLEAN y BLEDSOE (1992), que los constituyentes de la materia orgánica le proporcionan sitios para la adsorción de metales (grupos funcionales con comportamiento ácido, tales como carboxílicos, fenólicos, alcohólicos, enolicos-OH y grupos aminos), pudiendo ser la principal fuente de capacidad de intercambio catiónico en las capas superficiales del suelo.

**Cuadro 16.** Prueba de significación de Duncan ( $\alpha=0.05$ ), para niveles de cadmio (B) y niveles de materia orgánica (C), para el cadmio disponible y cadmio total en el suelo (ppm) en plántones de cacao en vivero.

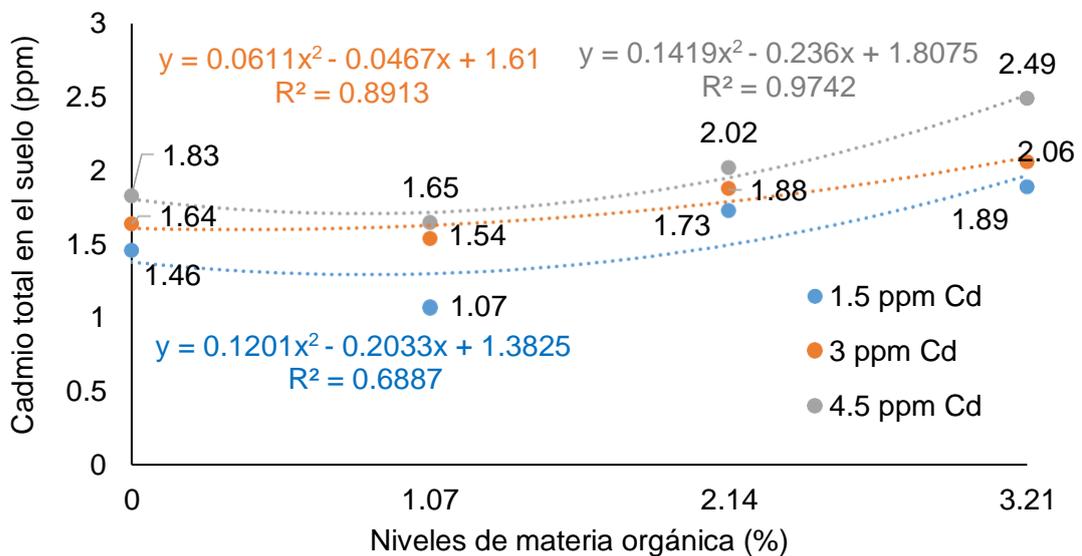
Niveles de Cadmio		Niveles de materia orgánica (%)	Cd-disponible (ppm)	Significancia (*)	
Cd disponible en el suelo	1.5 ppm (b <sub>1</sub> )	1.07 (c <sub>2</sub> )	0.62	a	
	3.0 ppm (b <sub>2</sub> )	1.07 (c <sub>2</sub> )	0.64	a	
	4.5 ppm (b <sub>3</sub> )	1.07 (c <sub>2</sub> )	0.80	b	
	1.5 ppm (b <sub>1</sub> )	0.00 (c <sub>1</sub> )	0.86	b	c
	3.0 ppm (b <sub>2</sub> )	0.00 (c <sub>1</sub> )	0.98	c	d
	3.0 ppm (b <sub>2</sub> )	2.14 (c <sub>3</sub> )	1.11	d	e
	1.5 ppm (b <sub>1</sub> )	2.14 (c <sub>3</sub> )	1.12	d	e
	4.5 ppm (b <sub>3</sub> )	2.14 (c <sub>3</sub> )	1.18	e	
	1.5 ppm (b <sub>1</sub> )	3.21 (c <sub>4</sub> )	1.37	f	
	4.5 ppm (b <sub>3</sub> )	0.00 (c <sub>1</sub> )	1.45	f	
	3.0 ppm (b <sub>2</sub> )	3.21 (c <sub>4</sub> )	1.61	g	
	4.5 ppm (b <sub>3</sub> )	3.21 (c <sub>4</sub> )	1.63	g	
Niveles de Cadmio		Niveles de materia orgánica (%)	Cd-total (ppm)	Significancia (*)	
Cd total en el suelo	1.5 ppm (b <sub>1</sub> )	1.07 (c <sub>2</sub> )	1.07	a	
	1.5 ppm (b <sub>1</sub> )	0.00 (c <sub>1</sub> )	1.46	b	
	3.0 ppm (b <sub>2</sub> )	1.07 (c <sub>2</sub> )	1.54	b	c
	3.0 ppm (b <sub>2</sub> )	0.00 (c <sub>1</sub> )	1.64	c	d
	4.5 ppm (b <sub>3</sub> )	1.07 (c <sub>2</sub> )	1.65	c	d e
	1.5 ppm (b <sub>1</sub> )	2.14 (c <sub>3</sub> )	1.73	d	e f
	4.5 ppm (b <sub>3</sub> )	0.00 (c <sub>1</sub> )	1.83	e f	
	3.0 ppm (b <sub>2</sub> )	2.14 (c <sub>3</sub> )	1.88	f g	
	1.5 ppm (b <sub>1</sub> )	3.21 (c <sub>4</sub> )	1.89	f g	
	4.5 ppm (b <sub>3</sub> )	2.14 (c <sub>3</sub> )	2.02	g	
	3.0 ppm (b <sub>2</sub> )	3.21 (c <sub>4</sub> )	2.06	g	
	4.5 ppm (b <sub>3</sub> )	3.21 (c <sub>4</sub> )	2.49	h	

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

En la Figura 10 y 11, la aplicación de los niveles 2.14 % y 3.21 % M.O con los niveles 1.5, 3.0 y 4.5 ppm de Cd mostraron mayor concentración de cadmio disponible y total en comparación con 0.00 % M.O con 1.5, 3.0 y 4.5 ppm de Cd evidenciando que a dosis elevadas de materia orgánica posiblemente se acomplejo haciendo al cadmio más disponible tal como menciona Garcia y Dorronsoro, 2011, citado por CUENCA, (2012), que la complejacion de la materia orgánica del suelo es uno de los procesos que gobiernan solubilidad, y la bioasimibilidad de metales pesados. También LOFTS *et al.*, (2005), mencionan que la composición de la materia orgánica y la fase mineral del suelo, al igual que el pH, tienen efectos significativos en la adsorción de Cd; suelos con altos contenidos de M.O. u óxidos de hierro adsorben más Cd que los que tienen grandes cantidades de arcillas tipo 2:1, no obstante, presenten alta CIC encontrando resultados diferentes con 2.14 % M.O y 3.21 % M.O donde se encontró el cadmio más disponible, excepto a 1.07 % M.O, por otra parte CLEMENTE y BERNAL (2006), nos menciona que la fracción orgánica más estable, a la vez más resistente a la mineralización, en general puede retener los metales pesados, y en particular el Cd, en formas no disponibles. Sin embargo, la materia orgánica del suelo (MOS) puede tener efectos opuestos sobre la adsorción de este elemento, la fracción soluble logra acomplejarlo, facilita su movilidad en el suelo y al mineralizarse permite mayor disponibilidad para las plantas.



**Figura 10.** Cadmio disponible en el suelo por efecto de la aplicación de niveles de materia orgánica (%) y cadmio aplicado ( $3\text{CdSO}_4 \cdot 8\text{H}_2\text{O}$ ).



**Figura 11.** Cadmio total en el suelo por efecto de la aplicación de niveles de materia orgánica (%) y cadmio aplicado ( $3\text{CdSO}_4 \cdot 8\text{H}_2\text{O}$ ).

En el Cuadro 17, se muestra la prueba de Duncan ( $\alpha=0.05$ ), para los tratamientos en el contenido de cadmio disponible en ppm, donde el T<sub>14</sub> – T<sub>18</sub> (Suelo 0.00 ppm Cd + 1.5 ppm Cd + 1.07 % M.O – Suelo 0.00 ppm Cd + 3.0 ppm Cd + 1.07 % M.O) resultaron con menor contenido de cadmio disponible en el suelo con 0.39 ppm para ambos, siendo diferente numéricamente pero no estadísticamente al tratamiento T<sub>13</sub> (Suelo 0.00 ppm Cd + 1.5 ppm Cd + 0 % M.O), que representan 0.52 ppm. La materia orgánica influyo en la menor disponibilidad de cadmio entre otros factores tal como lo mencionan LAEGREID *et al.*, (1999), señalando que la disponibilidad y movilidad del Cd en el suelo dependen del pH, humedad, materia orgánica, tipo y cantidad de arcilla, además de la cantidad y número de años de aplicación de fertilizantes fosforados.

En el Cuadro 18, se observa la prueba de Duncan ( $\alpha=0.05$ ), para los tratamientos en el contenido de cadmio total, se observa que el T<sub>14</sub> (Suelo 0.00 ppm Cd + 1.5 + 1.07 % M.O) acumuló menor cadmio total 0.76 ppm por efecto de la materia orgánica en comparación al tratamiento T<sub>13</sub> (Suelo 0.00 ppm Cd + 1.5 + 0 % M.O) mostrando mayor concentración de cadmio total numéricamente pero estadísticamente igual al T<sub>14</sub> mencionado.

**Cuadro 17.** Prueba de significación de Duncan ( $\alpha=0.05$ ), para los tratamientos en el cadmio disponible en el suelo en plantones de cacao en vivero.

Tratamiento	Descripción	Cadmio disponible		
		ppm		
T14	Suelo 0.00 ppm Cd + 1.5 ppm Cd+ 1.07 % M.O	0.39	a	
T18	Suelo 0.00 ppm Cd + 3.0 ppm Cd+ 1.07 % M.O	0.39	a	
T13	Suelo 0.00 ppm Cd + 1.5 ppm Cd+ 0 % M.O	0.52	a	
T22	Suelo 0.00 ppm Cd+ 4.5 ppm Cd+ 1.07 % M.O	0.55	a	
T15	Suelo 0.00 ppm Cd+ 1.5 ppm Cd+ 2.14 % M.O	0.78	b	
T2	Suelo 3.23 ppm Cd + 1.5 ppm Cd+ 1.07 % M.O	0.86	b	c
T6	Suelo 3.23 ppm Cd+ 3.0 ppm Cd+ 1.07 % M.O	0.89	b	c
T19	Suelo 0.00 ppm Cd + 3.0 ppm Cd+ 2.14 % M.O	0.95	b	c
T23	Suelo 0.00 ppm Cd+ 4.5 ppm Cd+ 2.14 % M.O	0.95	b	c
T17	Suelo 0.00 ppm Cd+ 3.0 ppm Cd+ 0 % M.O	0.97	b	c
T5	Suelo 3.23 ppm Cd+ 3.0 ppm Cd+ 0 % M.O	1.00	b	c d
T10	Suelo 3.23 ppm Cd+ 4.5 ppm Cd+ 1.07 % M.O	1.05	c	d
T16	Suelo 0.00 ppm Cd+ 1.5 ppm Cd+ 3.21 % M.O	1.07	c	d e
T1	Suelo 3.23 ppm Cd+ 1.5 ppm Cd+ 0 % M.O	1.20	d	e f
T7	Suelo 3.23 ppm Cd+ 3.0 ppm Cd+ 2.14 % M.O	1.28	e	f g
T20	Suelo 0.00 ppm Cd+ 3.0 ppm Cd+ 3.21 % M.O	1.34	f	g
T11	Suelo 3.23 ppm Cd+ 4.5 ppm Cd+ 2.14 % M.O	1.41	g	h
T21	Suelo 0.00 ppm Cd+ 4.5 ppm Cd+ 0 % M.O	1.44	g	h i
T9	Suelo 3.23 ppm Cd+ 4.5 ppm Cd+ 0 % M.O	1.44	g	h i j
T3	Suelo 3.23 ppm Cd+ 1.5 ppm Cd+ 2.14 % M.O	1.46	g	h i j
T24	Suelo 0.00 ppm Cd+ 4.5 ppm Cd+ 3.21 % M.O	1.61	h	i j
T12	Suelo 3.23 ppm Cd+ 4.5 ppm Cd+ 3.21 % M.O	1.65	i	j
T4	Suelo 3.23 ppm Cd+ 1.5 ppm Cd+ 3.21 % M.O	1.67	j	
T8	Suelo 3.23 ppm Cd+ 3.0 ppm Cd+ 3.21 % M.O	1.89		k

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

**Cuadro 18.** Prueba de significación de Duncan ( $\alpha=0.05$ ), para los tratamientos en el cadmio total en el suelo en plantones de cacao en vivero.

Tratamiento	Descripción	Cadmio total	
		ppm	
T14	Suelo 0.00 ppm Cd + 1.5+1.07 % M.O	0.76	a
T13	Suelo 0.00 ppm Cd+ 1.5+ 0 % M.O	0.92	a
T18	Suelo 0.00 ppm Cd+ 3.0+ 1.07 % M.O	1.23	b
T22	Suelo 0.00 ppm Cd+ 4.5+ 1.07 % M.O	1.26	b
T15	Suelo 0.00 ppm Cd+ 1.5+ 2.14 % M.O	1.33	b c
T17	Suelo 0.00 ppm Cd+ 3.0+ 0 % M.O	1.35	b c d
T2	Suelo 3.23 ppm Cd+ 1.5+ 1.07 % M.O	1.38	b c d e
T16	Suelo 0.00 ppm Cd+ 1.5+ 3.21 % M.O	1.43	b c d e
T21	Suelo 0.00 ppm Cd+ 4.5+ 0 % M.O	1.58	c d e f
T19	Suelo 0.00 ppm Cd+ 3.0+ 2.14 % M.O	1.60	d e f
T23	Suelo 0.00 ppm Cd+ 4.5+ 2.14 % M.O	1.64	e f
T20	Suelo 0.00 ppm Cd+ 3.0+ 3.21 % M.O	1.73	f g
T6	Suelo 3.23 ppm Cd + 3.0+1.07 % M.O	1.84	f g h
T5	Suelo 3.23 ppm Cd+ 3.0+ 0 % M.O	1.93	g h i
T1	Suelo 3.23 ppm Cd+ 1.5+ 0 % M.O	2.00	h i
T10	Suelo 3.23 ppm Cd+ 4.5+ 1.07 % M.O	2.04	h i
T24	Suelo 0.00 ppm Cd+ 4.5+ 3.21 % M.O	2.05	h i
T9	Suelo 3.23 ppm Cd + 4.5+0 % M.O	2.07	h i
T3	Suelo 3.23 ppm Cd+ 1.5+ 2.14 % M.O	2.12	i j
T7	Suelo 3.23 ppm Cd+ 3.0+ 2.14 % M.O	2.16	i j k
T4	Suelo 3.23 ppm Cd+ 1.5+ 3.21 % M.O	2.34	j k
T8	Suelo 3.23 ppm Cd+ 3.0+ 3.21 % M.O	2.39	k
T11	Suelo 3.23 ppm Cd+ 4.5+ 2.14 % M.O	2.40	k
T12	Suelo 3.23 ppm Cd+ 4.5+ 3.21 % M.O	2.94	l

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

#### 4.2. Concentraciones de cadmio en las hojas de los plantones de cacao en vivero

Los resultados de la concentración de cadmio total en hojas de plantones de cacao en dos suelos residuales con alta y baja concentración de cadmio con tres niveles de cadmio sometido a cuatro niveles de materia orgánica se presentan adjunto en el anexo (Cuadro 41). Según el análisis de varianza en el anexo (Cuadro 42) se encontró diferencias estadísticas altamente significativas entre los tratamientos. También se encontró diferencias estadísticas altamente significativas, en el factor A (tipo de suelo), factor B (niveles de cadmio) y factor C (niveles de materia orgánica). Las interacciones de tipos de suelo con niveles de cadmio AB no mostró diferencias estadísticas; suelos por niveles de materia orgánica AC y niveles de cadmio por niveles de materia orgánica BC mostraron diferencias estadísticas altamente significativas. La interacción de los tres factores ABC mostro diferencias estadísticas altamente significativas.

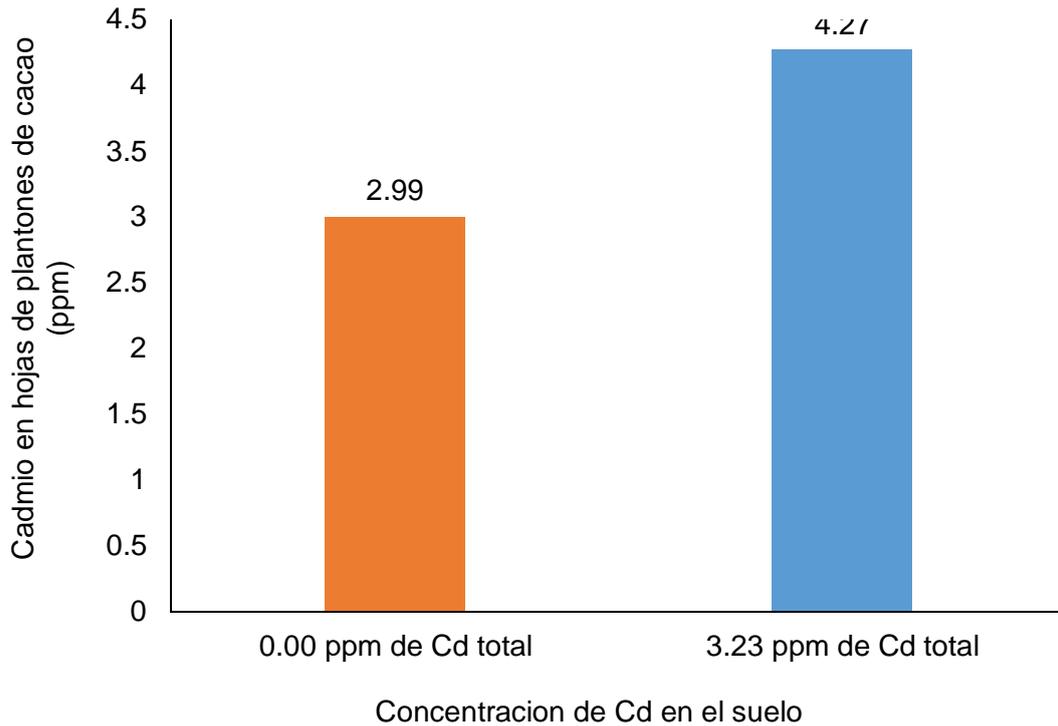
En el Cuadro 19, se observa la prueba de Duncan ( $\alpha=0.05$ ), donde se encontró el suelo con 3.23 ppm Cd, estadísticamente acumuló mayor concentración de cadmio en hojas, evidenciando que a mayor presencia de cadmio en el suelo será mayor el contenido de cadmio en las hojas de cacao.

**Cuadro 19.** Prueba de significación de Duncan ( $\alpha=0.05$ ), para el factor tipo de suelo (A) en la concentración de cadmio en las hojas (ppm) de plantones de cacao en vivero.

Tipo de suelo (A)	Cd en hojas (ppm)	Significancia (*)
Suelo con 0.00 ppm Cd ( $a_2$ )	2.99	a
Suelo con 3.23 ppm Cd ( $a_1$ )	4.27	b

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

En la Figura 12, se observa que el suelo con 0.00 ppm de Cd acumuló menor cadmio disponible, tal como se menciona en la Cuadro 8, en tal sentido muestra menor concentración de cadmio en las hojas de plantones de cacao.



**Figura 12.** Tipo de suelo en la concentración de cadmio en las hojas (ppm) de plantones de cacao en vivero.

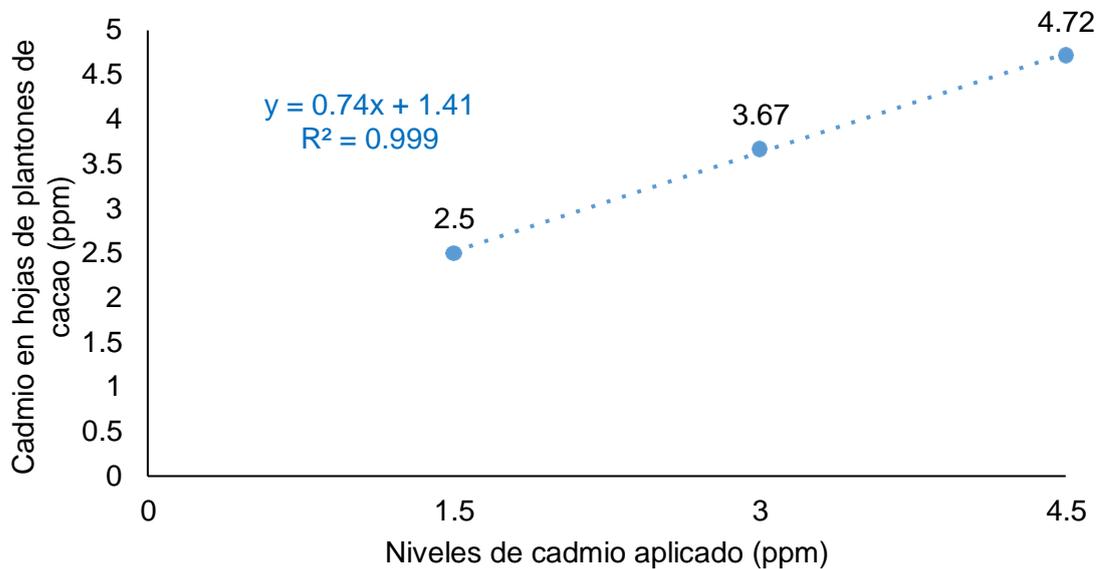
En el Cuadro 20, se muestra la prueba de Duncan ( $\alpha=0.05$ ), donde la aplicación del menor nivel de cadmio 1.5 ppm al suelo, se encontró estadísticamente menor acumulación de cadmio en la hoja, siendo directamente proporcional en incremento en la hoja según se aumenta la concentración de cadmio contaminante.

**Cuadro 20.** Prueba de significación de Duncan ( $\alpha=0.05$ ), para el factor niveles de cadmio (B) en la concentración de cadmio en las hojas (ppm) de plántones de cacao en vivero.

Niveles de cadmio (B)	Cd en hojas (ppm)	Significancia
1.5 ppm ( $b_1$ )	2.50	a
3.0 ppm ( $b_2$ )	3.67	b
4.5 ppm ( $b_3$ )	4.72	c

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

En la Figura 13, se observa que a más cadmio aplicado al suelo la concentración de cadmio en la hoja también aumenta, debido a la mayor disponibilidad en el suelo como se venía explicando.



**Figura 13.** Niveles de cadmio aplicado en la concentración de cadmio en las hojas (ppm) de plántones de cacao en vivero.

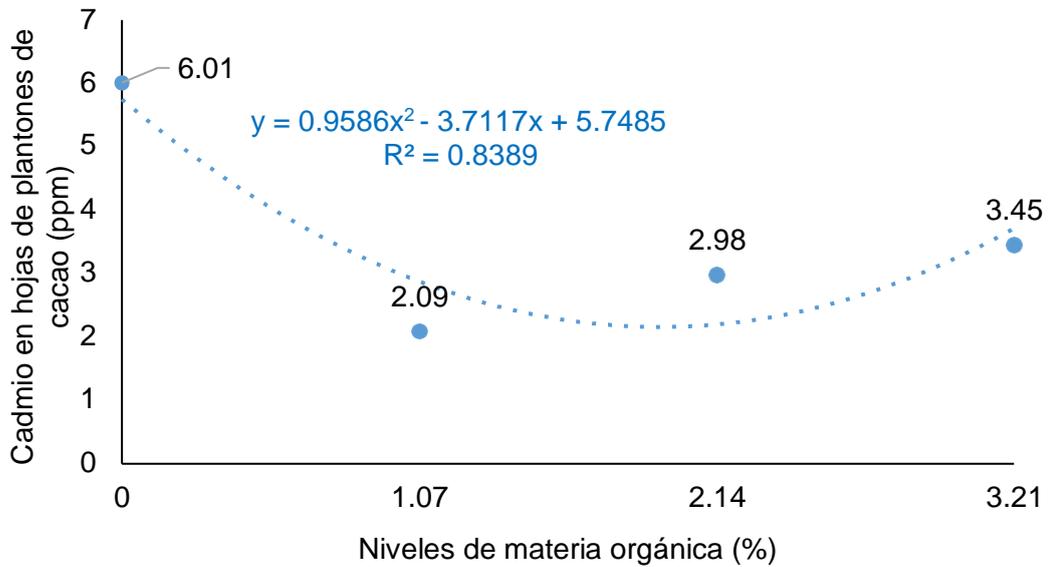
En el Cuadro 21, se muestra la prueba de Duncan ( $\alpha=0.05$ ), donde se aplicó 1.07 % M.O y esta disminuyó en 65.22 % la acumulación de cadmio en las hojas de plantones de cacao en comparación al nivel 0.00 % M.O.

**Cuadro 21.** Prueba de significación de Duncan ( $\alpha=0.05$ ), para el factor niveles de materia orgánica (C) en la concentración de cadmio en las hojas (ppm) de plantones de cacao en vivero.

<b>Niveles de materia orgánica (c)</b>	<b>Cadmio en hojas (ppm)</b>	<b>Significancia</b>
1.07 % M.O (c <sub>2</sub> )	2.09	a
2.14 % M.O (c <sub>3</sub> )	2.98	b
3.21 % M.O (c <sub>4</sub> )	3.45	c
0.00 % M.O (c <sub>1</sub> )	6.01	d

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

En la Figura 14, se observa de manera general que la aplicación de materia en diferentes niveles disminuye el Cd en las hojas de plantones de cacao, en comparación al testigo que no contenía materia orgánica que resulto con 6.01 ppm Cd, pero con 1.07 % M.O mostró 2.09 ppm Cd la menor concentración en las hojas, esto se relaciona que 1.07 % M.O también resulto en la menor concentración de cadmio disponible y total en el suelo; llegando a determinar la posibilidad de menor concentración de cadmio en las hojas de plantones de cacao en vivero con una aplicación de 1.94 % M.O, pasada esta cantidad el Cd en las hojas se incrementará tal como muestra la línea de tendencia.



**Figura 14.** Niveles de materia orgánica en la concentración de cadmio en las hojas (ppm) de plántulas de cacao en vivero.

#### 4.2.1. Análisis de varianza de los efectos simples

En el Cuadro 22, se muestra el análisis de varianza de efectos simples para la cantidad de cadmio total en hojas: para tipo de suelo (A) y niveles de materia orgánica (C), existe suficiente evidencia estadística para aceptar que los dos tipos de suelo tienen un comportamiento diferente en la cantidad de cadmio total en las hojas (digestión seca) cuando se aplicaron los niveles ( $c_1 = 0.00$  % M.O,  $c_2 = 1.07$  % M.O,  $c_3 = 2.14$  % M.O y  $c_4 = 3.21$  % M.O). También existe suficiente evidencia estadística para aceptar que los 4 niveles de materia orgánica tienen un comportamiento diferente en la cantidad de cadmio total en tejido (digestión seca) cuando se aplicaron los tipos de suelo  $a_1$  (suelo con 3.23 ppm Cd total) y  $a_2$  (suelo con 0.00 ppm Cd total), indicando que se va a realizar la prueba de Duncan.

**Cuadro 22.** Resumen del análisis de varianza de efectos simples tipo de suelo (A) y niveles de materia orgánica (C) para la concentración de cadmio en las hojas de plántones de cacao en vivero.

	<b>G.L.</b>	<b>Cuadrados Medios</b>	<b>Significancia</b>
<b>AXC</b>			
<b>Tipo de suelo (A)</b>			
A dentro de c1	1	64.98	AS
A dentro de c2	1	1.11	AS
A dentro de c3	1	0.10	S
A dentro de c4	1	2.22	AS
<b>Niveles de Materia Orgánica (C)</b>			
C dentro de a1	3	55.95	AS
C dentro de a2	3	7.72	AS

En el Cuadro 23, se muestra el análisis de varianza de efectos simples en la concentración de cadmio en las hojas de plántones de cacao: para niveles de cadmio (B) y niveles de materia orgánica (C), existe suficiente evidencia estadística para aceptar que los tres niveles de cadmio ( $3\text{CdSO}_4 \cdot 8\text{H}_2\text{O}$ ) ( $b_1 = 1.5$  ppm,  $b_2 = 3.0$  ppm y  $b_3 = 4.5$  ppm) tienen un comportamiento diferente en la cantidad de cadmio en las hojas (digestión seca) cuando se aplicaron los niveles ( $c_1 = 0$  % M.O,  $c_2 = 1.07$  % M.O,  $c_3 = 2.14$  % M.O y  $c_4 = 3.21$  % M.O). También existe suficiente evidencia estadística para aceptar que los 4 niveles de materia orgánica ( $c_1 = 0$  % M.O,  $c_2 = 1.07$  % M.O,  $c_3 = 2.14$  % M.O y  $c_4 = 3.21$  % M.O) tienen un comportamiento diferente en la cantidad de cadmio en las hojas cuando se aplicaron los niveles de cadmio ( $3\text{CdSO}_4 \cdot 8\text{H}_2\text{O}$ ) ( $b_1 = 1.5$  ppm,  $b_2 = 3.0$  ppm y  $b_3 = 4.5$  ppm) en la cantidad de cadmio en hojas (digestión seca), que indican que se va a realizar la prueba de Duncan.

**Cuadro 23.** Resumen del análisis de varianza de efectos simples para los niveles de cadmio (B) y niveles de materia orgánica (C) en la concentración de cadmio en las hojas de plántones de cacao.

	<b>G.L.</b>	<b>Cuadrados Medios</b>	<b>Significancia</b>
<b>BXC</b>			
<b>Niveles de cadmio (B)</b>			
B dentro de c1	2	23.58	AS
B dentro de c2	2	0.98	AS
B dentro de c3	2	7.33	AS
B dentro de c4	2	5.83	AS
<b>Niveles de materia orgánica (C)</b>			
C dentro de b1	3	6.92	AS
C dentro de b2	3	16.28	AS
C dentro de b3	3	33.11	AS

#### **4.2.2. Prueba de medias de comparación de Duncan**

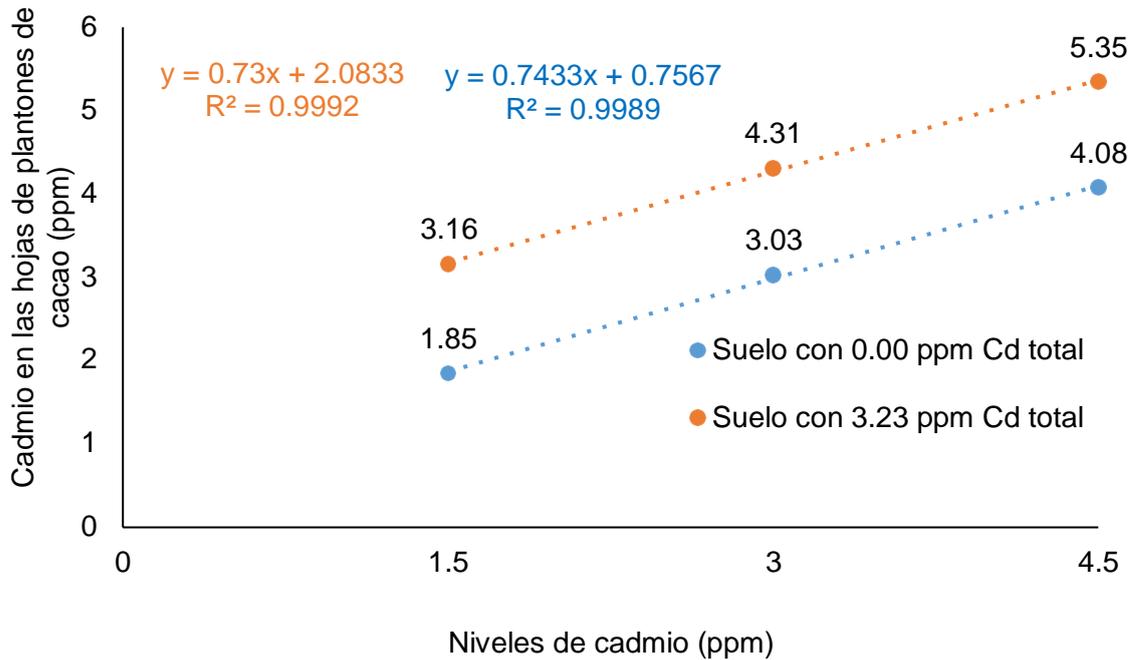
En el Cuadro 24, se observa la prueba de Duncan ( $\alpha=0.05$ ), donde el suelo con 0.00 ppm Cd total y 1.5 ppm de cadmio aplicado, acumuló estadísticamente la menor concentración de cadmio en hojas de plántones de cacao, debido al bajo contenido de cadmio presente en el suelo y al menor nivel de Cd contaminante.

**Cuadro 24.** Prueba de significación de Duncan ( $\alpha=0.05$ ), para tipos de suelo (A) y niveles de cadmio (B), para la concentración de cadmio en las hojas (ppm) de plántones de cacao en vivero.

Concentración de Cd en el suelo	Niveles de cadmio	Cd en hojas (ppm)	Significancia (*)
Suelo con 0.00 ppm Cd (a <sub>2</sub> )	1.5 ppm (b <sub>1</sub> )	1.85	a
Suelo con 0.00 ppm Cd (a <sub>2</sub> )	3.0 ppm (b <sub>2</sub> )	3.03	b
Suelo con 3.23 ppm Cd (a <sub>1</sub> )	1.5 ppm (b <sub>1</sub> )	3.16	c
Suelo con 0.00 ppm Cd (a <sub>2</sub> )	4.5 ppm (b <sub>3</sub> )	4.08	d
Suelo con 3.23 ppm Cd (a <sub>1</sub> )	3.0 ppm (b <sub>2</sub> )	4.31	e
Suelo con 3.23 ppm Cd (a <sub>1</sub> )	4.5 ppm (b <sub>3</sub> )	5.35	f

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

En la Figura 15, se observa que el suelo con 0.00 ppm de Cd total aplicado los niveles 1.5 y 3.0 ppm, resulta con 1.85 y 3.03 ppm Cd en hojas, en mayor concentración a lo aplicado, posiblemente la semilla, el riego o haya sucedido una posible exageración en las concentraciones al momento de realizar la contaminación, sin embargo la tendencia se mantiene tal como mencionan LIANG *et al.*, (2009) y GHOSH - SINGH (2005), quienes señalan que a mayores concentraciones de cadmio en el suelo aumenta su capacidad de absorción y acumulación. También la concentración de Cd en el suelo en una cantidad dada no sería comparable con el Cd en las hojas.



**Figura 15.** Cadmio en las hojas por la aplicación de los niveles de cadmio ( $3\text{CdSO}_4 \cdot 8\text{H}_2\text{O}$ ) en dos suelos en plantones de cacao en vivero.

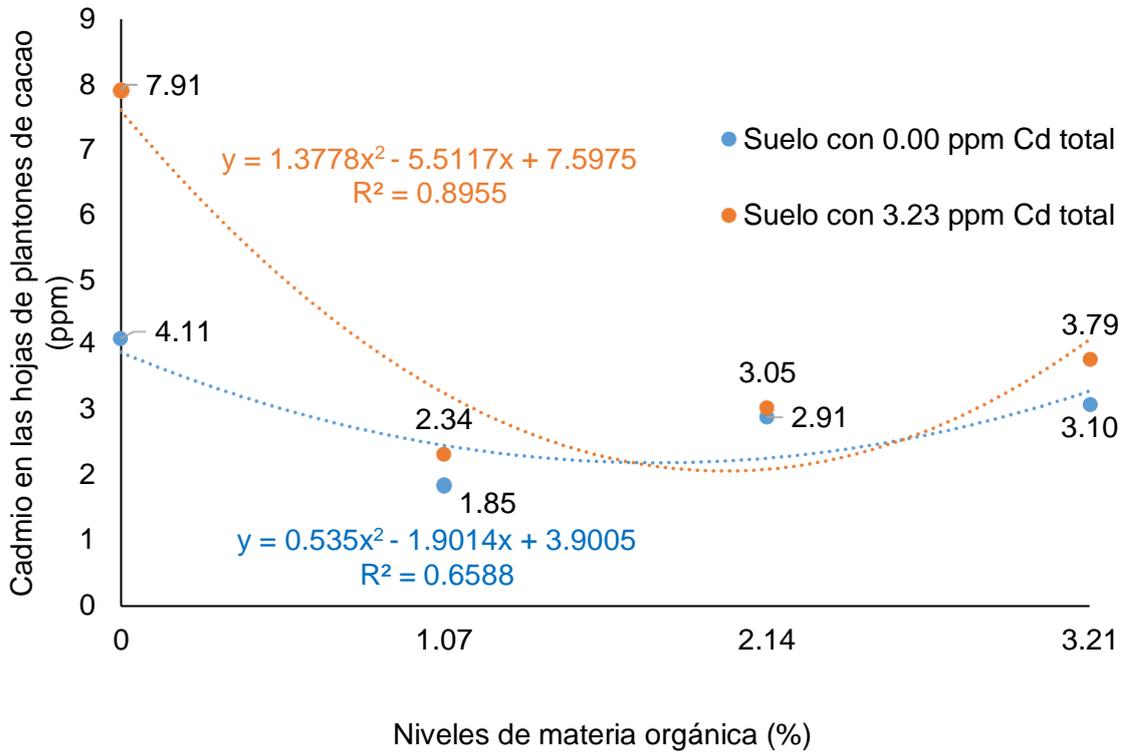
En el Cuadro 25, se muestra la prueba de Duncan ( $\alpha=0.05$ ), donde de manera general el efecto de la materia orgánica disminuye el cadmio en las hojas de plantones de cacao en los diferentes niveles, la comparación más resaltante se encontró en el suelo con 3.23 ppm de Cd total y 0 % M.O (A1C1) con el suelo con 3.23 ppm de Cd total y 1.07 % M.O (A1C2) que disminuyó en 70.4 % de cadmio; también el suelo con 0.00 ppm de Cd con 0.00 % M.O (A2C1) en comparación con el suelo 3.23 ppm Cd y 1.07 % M.O (A1C2) redujo 55 % de cadmio en las hojas, posiblemente se debió al efecto de 1.07 % M.O en la disponibilidad de Cd en el suelo, reflejándose en las menores concentraciones de cadmio en hojas de plantones de cacao.

**Cuadro 25.** Prueba de significación de Duncan ( $\alpha=0.05$ ), para tipo de suelo (A) y niveles de materia orgánica (C), para la concentración de cadmio (ppm) en plántones de cacao en vivero.

Concentración de Cd en el suelo	Niveles de materia orgánica (%)	Cd en hojas (ppm)	Significancia (*)
Suelo con 0.00 ppm Cd (a <sub>2</sub> )	1.07 (c <sub>2</sub> )	1.85	a
Suelo con 3.23 ppm Cd (a <sub>1</sub> )	1.07 (c <sub>2</sub> )	2.34	b
Suelo con 0.00 ppm Cd (a <sub>2</sub> )	2.14 (c <sub>3</sub> )	2.91	c
Suelo con 3.23 ppm Cd (a <sub>1</sub> )	2.14 (c <sub>3</sub> )	3.05	d
Suelo con 0.00 ppm Cd (a <sub>2</sub> )	3.21 (c <sub>4</sub> )	3.10	d
Suelo con 3.23 ppm Cd (a <sub>1</sub> )	3.21 (c <sub>4</sub> )	3.79	e
Suelo con 0.00 ppm Cd (a <sub>2</sub> )	0.00 (c <sub>1</sub> )	4.11	f
Suelo con 3.23 ppm Cd (a <sub>1</sub> )	0.00 (c <sub>1</sub> )	7.91	g

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

En la Figura 16, se observa que los niveles 1.07, 2.14 y 3.21 % M.O aplicados al suelo disminuyeron el cadmio en las hojas de los plántones de cacao en vivero en comparación al testigo (0.00 % M.O); no obstante los niveles 2.14 y 3.21 % M.O mostraron mayor concentración de Cd en las hojas que 1.07 % M.O; esto se explicaría debido a la alta relación de los metales pesados en forma soluble con su absorción por parte de las plantas como se mencionó en los niveles 2.14 y 3.21 % M.O encontrándose mayor cadmio disponible en el suelo, en tal sentido se acumuló más Cd en las hojas de plántones de cacao tal como señalan ANTONIADIS y ALLOWAY (2002), quienes encontraron que la aplicación de compost aumentó la concentración de carbono orgánico disuelto en el suelo estimulando la absorción de Cd de la planta.



**Figura 16.** Cadmio en las hojas por efecto de la aplicación de materia orgánica (%) en dos suelos en plántulas de cacao en vivero.

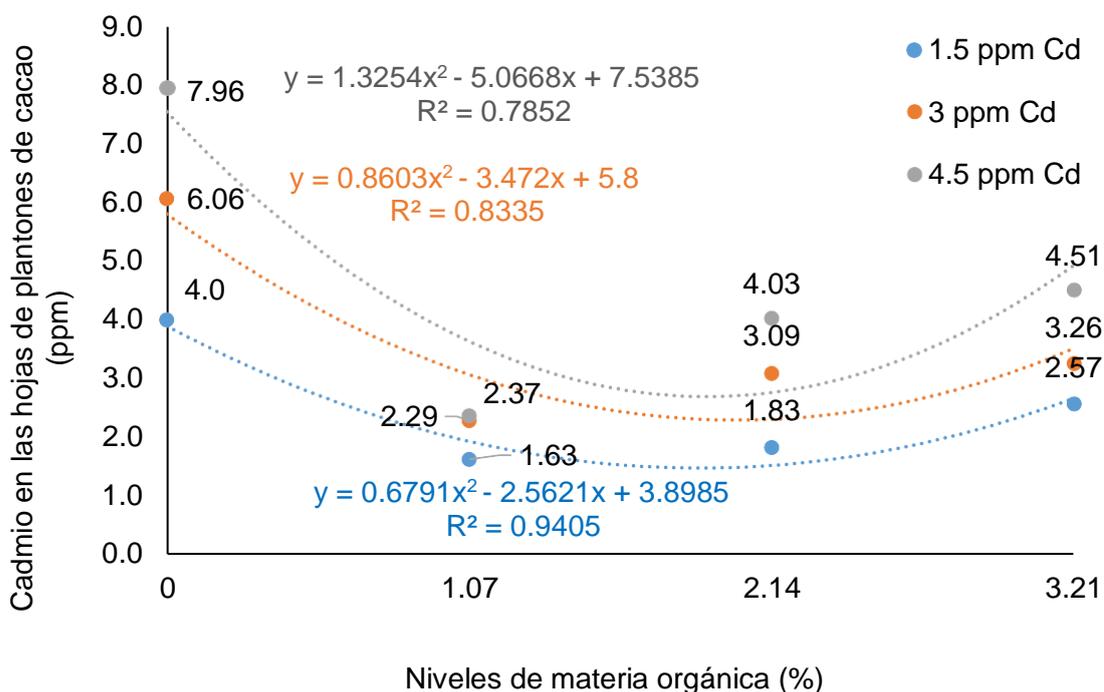
En el Cuadro 26, se muestra la prueba de Duncan ( $\alpha=0.05$ ), donde el nivel 1.07 % M.O con 1.5 ppm Cd aplicado resultó con la menor concentración de cadmio en las hojas de plántulas de cacao; en parte el resultado mostrado se manifiesta debido a que 1.5 ppm Cd con 1.07 % M.O resultó con la menor concentración de cadmio disponible en el suelo corroborándose la relación del cadmio disponible con la absorción por parte de la planta.

**Cuadro 26.** Prueba de significación de Duncan ( $\alpha=0.05$ ), para niveles de cadmio (B) y niveles de materia orgánica (C), para el contenido de cadmio (ppm) en las hojas de cacao en vivero.

Niveles de cadmio	Niveles de materia orgánica (%)	Cd en hojas (ppm)	Significancia (*)
1.5 ppm (b <sub>1</sub> )	1.07 (c <sub>2</sub> )	1.63	a
1.5 ppm (b <sub>1</sub> )	2.14 (c <sub>3</sub> )	1.83	b
3.0 ppm (b <sub>2</sub> )	1.07 (c <sub>2</sub> )	2.29	c
4.5 ppm (b <sub>3</sub> )	1.07 (c <sub>2</sub> )	2.37	c
1.5 ppm (b <sub>1</sub> )	3.21 (c <sub>4</sub> )	2.57	d
3.0 ppm (b <sub>2</sub> )	2.14 (c <sub>3</sub> )	3.09	e
3.0 ppm (b <sub>2</sub> )	3.21 (c <sub>4</sub> )	3.26	f
1.5 ppm (b <sub>1</sub> )	0 (c <sub>1</sub> )	4.00	g
4.5 ppm (b <sub>3</sub> )	2.14 (c <sub>3</sub> )	4.03	g
4.5 ppm (b <sub>3</sub> )	3.21 (c <sub>4</sub> )	4.51	h
3.0 ppm (b <sub>2</sub> )	0 (c <sub>1</sub> )	6.06	i
4.5 ppm (b <sub>3</sub> )	0 (c <sub>1</sub> )	7.96	j

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

En la Figura 17, se corrobora que la aplicación de materia orgánica disminuye el cadmio en las hojas, aun así, contaminando los suelos con cadmio donde se aplicó materia orgánica y donde no se aplicó. Evidenciando que a menor concentración de cadmio en el suelo se reflejará en la menor concentración de cadmio en la hoja.



**Figura 17.** Cadmio en las hojas por efecto de la aplicación de niveles de materia orgánica (%) y niveles de cadmio (ppm) en plántulas de cacao en vivero.

En el Cuadro 27, se muestra la prueba de Duncan ( $\alpha=0.05$ ), donde el T14 (Suelo con 0.00 ppm Cd + 1.5 ppm Cd + 1.07 % M.O) acumuló la menor cantidad de cadmio en las hojas 1.25 ppm, debido a que el suelo presentaba las siguientes características: no contenía cadmio total inicial, bajo nivel de Cd con que se contaminó 1.5 ppm y al efecto del mejor nivel de materia orgánica (1.07 %) en la reducción de la disponibilidad de cadmio en el suelo (Cuadro 11) y esto se reflejó en la menor concentración de cadmio en las hojas de los plántulas de cacao en vivero.

Tal como lo mencionan HAN-SONG *et al.*, (2010), quienes reportaron la reducción de la biodisponibilidad del Cd con la adición de gallinaza al suelo, de la misma manera LIU *et al.*, (2009), señalan que con la aplicación de compost se encontró una reducción del 50 % en la absorción de cadmio; comparando con el T13 (Suelo con 0.00 ppm Cd + 1.5 ppm Cd + 0.00 % M.O) al tener el mismo tipo de suelo y el mismo nivel de cadmio contaminante aplicado.

Pero sin la aplicación de materia orgánica se incrementó la disponibilidad en el suelo (Cuadro 18), debido a que no se adsorbió en el suelo reflejándose en las hojas de los plantones de cacao 3.02 ppm de Cd, tal como mencionan GUZMÁN y BARRETO (2011), quienes indican que el cadmio presenta baja afinidad por formas adsorbentes lo que repercute en alta solubilidad y movilidad, produciendo efectos altamente tóxicos en suelos, plantas, microorganismos y seres humanos.

**Cuadro 27.** Prueba de significación de Duncan ( $\alpha=0.05$ ), para los tratamientos en el cadmio en hojas de cacao.

Trat	Descripción	Cadmio total ppm	
T14	Suelo 0.00 ppm Cd+ 1.5 ppm Cd+1.07% M.O	1.25	a
T15	Suelo 0.00 ppm Cd+ 1.5 ppm Cd+2.14% M.O	1.40	a
T16	Suelo 0.00 ppm Cd+ 1.5 ppm Cd+3.21% M.O	1.75	b
T2	Suelo 3.23 ppm Cd+ 1.5 ppm Cd+1.07% M.O	2.01	c
T18	Suelo 0.00 ppm Cd+ 3.0 ppm Cd+1.07% M.O	2.03	c
T3	Suelo 3.23 ppm Cd+ 1.5 ppm Cd+2.14% M.O	2.25	c d
T22	Suelo 0.00 ppm Cd+ 4.5 ppm Cd+1.07% M.O	2.25	c d
T10	Suelo 3.23 ppm Cd+ 4.5 ppm Cd+1.07% M.O	2.48	d e
T6	Suelo 3.23 ppm Cd+ 3.0 ppm Cd+1.07% M.O	2.54	e
T19	Suelo 0.00 ppm Cd + 3.0 ppm Cd+2.14% M.O	2.88	f
T13	Suelo 0.00 ppm Cd+ 1.5 ppm Cd+ 0% M.O	3.02	f
T20	Suelo 0.00 ppm Cd + 3.0 ppm Cd+3.21% M.O	3.02	f
T7	Suelo 3.23 ppm Cd+ 3.0 ppm Cd +2.14% M.O	3.29	g
T4	Suelo 3.23 ppm Cd+ 1.5 ppm Cd+3.21% M.O	3.39	g h
T8	Suelo 3.23 ppm Cd+ 3.0 ppm Cd+3.21% M.O	3.50	g h
T11	Suelo 3.23 ppm Cd+ 4.5 ppm Cd+2.14% M.O	3.62	h
T17	Suelo 0.00 ppm Cd+ 3.0 ppm Cd+0% M.O	4.20	i
T23	Suelo 0.00 ppm Cd + 4.5 ppm+2.14% M.O	4.44	j
T12	Suelo 3.23 ppm Cd+ 4.5 ppm Cd+3.21% M.O	4.49	j
T24	Suelo 0.00 ppm Cd+ 4.5ppm Cd+3.21% M.O	4.54	j
T1	Suelo 3.23 ppm Cd+ 1.5 ppm Cd+0% M.O	4.98	k
T21	Suelo 0.00 ppm Cd+ 4.5 ppm Cd+0% M.O	5.10	k
T5	Suelo 3.23 ppm Cd+ 3.0 ppm Cd+0% M.O	7.92	l
T9	Suelo 3.23 ppm Cd+ 4.5 ppm Cd +0% M.O	10.82	m

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

#### 4.3. Correlación entre el Cd disponible y Cd total del suelo con el Cd total en las hojas de los plantones de cacao

En el Cuadro 28, se muestra una correlación moderada positiva ( $\rho=0.56$ ), entre el cadmio disponible en el suelo con cadmio en hojas de cacao, indicando que a mayor concentración de Cd disponible en el suelo la presencia de Cd en las hojas será mayor, es decir el 31.4 % de cadmio en hojas se explica por el cadmio disponible en el suelo, debido posiblemente a la mayor absorción de los nutrientes y en este caso al cadmio que se encontró disponible en el suelo. En cuanto al cadmio total y cadmio en hojas, se encontró una correlación moderada positiva ( $\rho=0.52$ ), explicando que mayor contenido de cadmio total en el suelo, la concentración de cadmio en las hojas aumentara proporcionalmente; es decir un 27 % de cadmio en hojas de cacao está determinado por el cadmio total en el suelo. Teniendo en cuenta que la planta no absorbe al cadmio total, sino este metal tiene que estar en forma disponible para que la planta lo absorba.

**Cuadro 28.** Coeficiente de correlación de Spearman entre el contenido de cadmio disponible y cadmio total en el suelo con el cadmio en hojas de cacao.

---

<b>Cd - suelo</b>	<b>Cd- Hojas</b>
Cd-Disponible	0.56 **
Cd- Total	0.52**

---

(\*)Significativo ( $p<0.05$ ).

#### 4.4. Altura de plántones

Los resultados de altura de los plántones de cacao, en dos tipos de suelos residuales con alta y baja concentración de cadmio con tres niveles de cadmio sometido a cuatro dosis de materia orgánica se presentan adjunto en el anexo (Cuadro 43). Según el análisis de varianza en el anexo (Cuadro 44), no se encontró diferencias estadísticas entre los tratamientos. Para el factor A (tipo de suelo), se encontró diferencias estadísticas significativas, para el factor B (niveles de cadmio) y factor C (niveles de materia orgánica), no se encontraron diferencias estadísticas significativas. Las interacciones del tipo de suelo y los niveles de cadmio AB; los tipos de suelos por niveles de materia orgánica AC y los niveles de cadmio por niveles de materia orgánica BC, no se encontraron diferencias estadísticas. La interacción de los tres factores ABC, no mostró diferencias estadísticas.

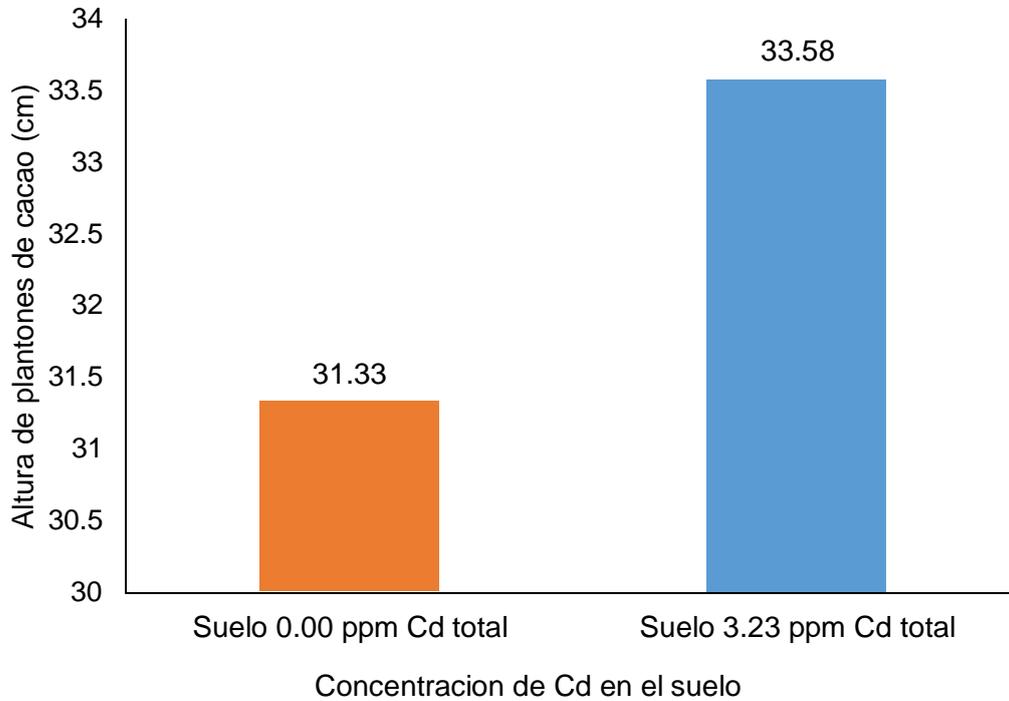
En el Cuadro 29, la prueba de Duncan ( $\alpha=0.05$ ), muestra estadísticamente que el suelo con 0.00 ppm de cadmio alcanzó la menor altura en las plantas de cacao. Las características químicas del suelo (pH 4.08; M.O 4.78 %; C/CE, 5.81; N 0.21 %; P 5.96 ppm; K 181.42 ppm; Cd 0.00 ppm), habrían influenciado en el desarrollo de la planta afectando su crecimiento negativamente.

**Cuadro 29.** Prueba de significación de Duncan ( $\alpha=0.05$ ), para el factor tipo de suelo (A) en la altura de planta (cm).

Tipo de suelo (A)	Altura (cm)	Significancia (*)
Suelo con 3.23 ppm Cd (a <sub>1</sub> )	33.58	a
Suelo con 0.00 ppm Cd (a <sub>2</sub> )	31.33	b

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

En la Figura 18, se observa que el suelo con mayor contenido de cadmio, alcanzo mayor altura, posiblemente el cadmio estaría reemplazando a otros minerales influyendo en el crecimiento.



**Figura 18.** Tipos de suelo en la altura de plántones (cm) de cacao en vivero.

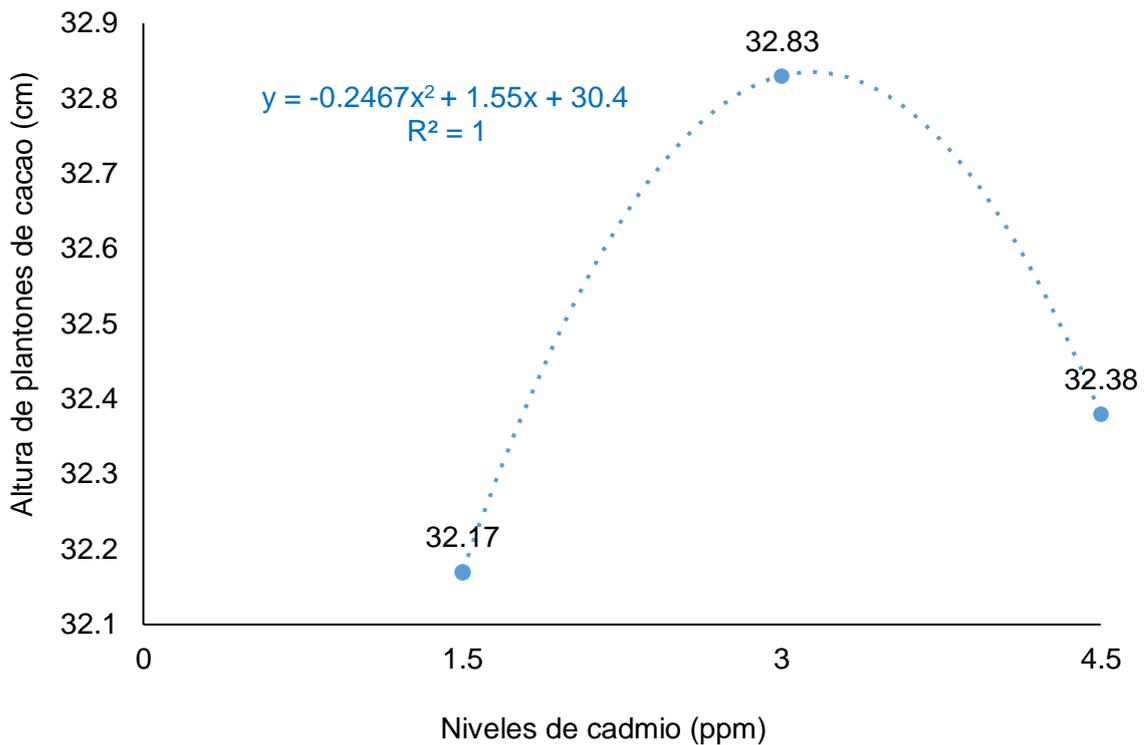
En el Cuadro 30 se muestra la prueba de Duncan ( $\alpha=0.05$ ), donde se observa que no existió diferencias estadísticas entre los niveles de cadmio aplicado en la altura de los plántones de cacao.

**Cuadro 30.** Prueba de significación de Duncan ( $\alpha=0.05$ ), para el factor niveles de cadmio (B) en la altura de planta (cm).

Niveles de Cd (B)	Altura (cm)	Significancia (*)
3.0 ppm ( $b_2$ )	32.83	a
4.5 ppm ( $b_3$ )	32.38	a
1.5 ppm ( $b_1$ )	32.17	a

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

En la Figura 19, se observa que los niveles 3.0 y 4.5 ppm Cd alcanzaron las mayores alturas, teniendo un crecimiento máximo de la planta hasta 3.14 ppm de Cd aplicado; mientras que la dosis más alta disminuye la altura de forma no significativa.



**Figura 19.** Niveles de cadmio en la altura de los plántones (cm) de cacao en vivero.

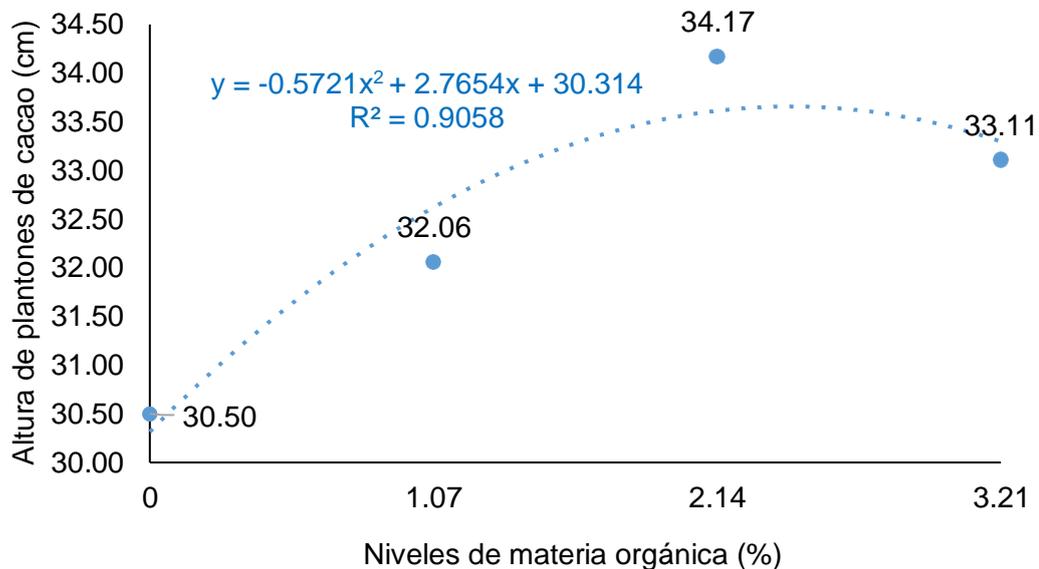
En el Cuadro 31, se muestra la prueba de Duncan ( $\alpha=0.05$ ), donde no se observa diferencias estadísticas en la altura de los plántones de cacao, pero numéricamente se observa que en ausencia de la materia orgánica la altura de la planta resultó menor, evidenciando que a mayores niveles de aplicación de materia orgánica incremento la altura de los plántones de cacao.

**Cuadro 31.** Prueba de significación de Duncan ( $\alpha=0.05$ ), para el factor niveles de materia orgánica (C) en la altura de planta (cm).

Niveles de materia orgánica (c)	Altura (cm)	Significancia (*)
2.14 % M.O (c <sub>3</sub> )	34.17	a
3.21 % M.O (c <sub>4</sub> )	33.11	a b
1.07 % M.O (c <sub>2</sub> )	32.06	a b
0.00 % M.O (c <sub>1</sub> )	30.50	b

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

En la Figura 20, se observa de forma general el incremento de la altura de los plantones de cacao en cada nivel de materia orgánica, pudiendo llegar a aumentar hasta 2.42 % M.O, mientras el mayor nivel 3.21 % M.O que disminuye la altura de la planta, posiblemente se debe al contenido de agua por efecto de la materia orgánica que estaría ejerciendo una influencia en la reducción de la altura.



**Figura 20.** Efecto de los niveles de materia orgánica en la altura de plantones (cm) de cacao en vivero.

#### 4.4.1. Prueba de medias de comparación de Duncan

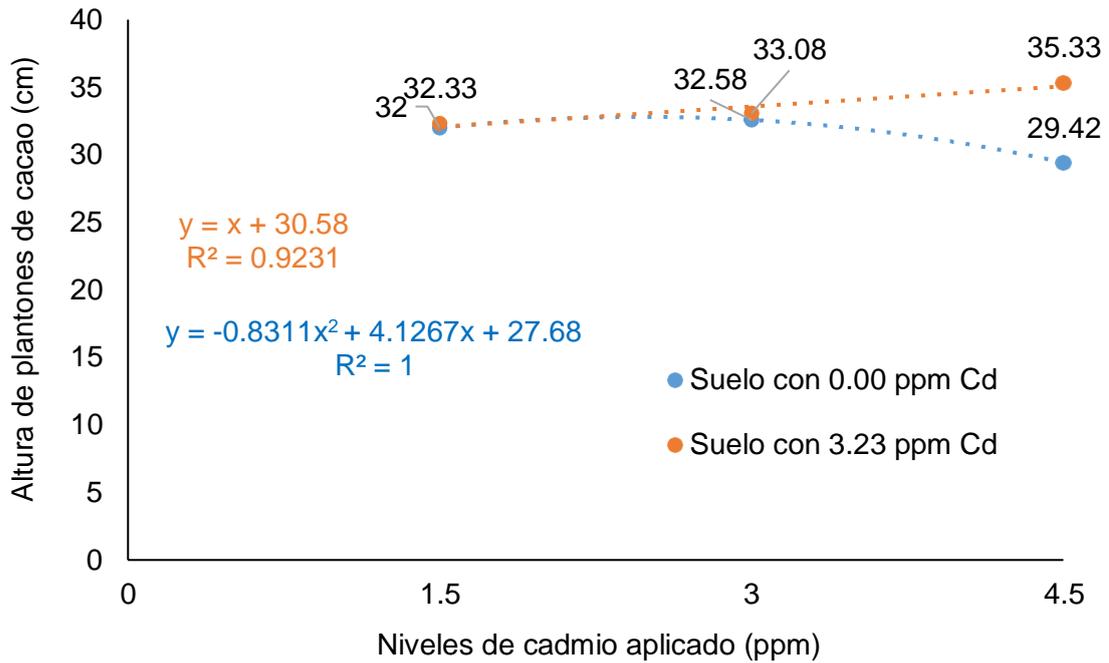
En el Cuadro 32, se muestra la prueba de Duncan ( $\alpha=0.05$ ), donde el suelo de 3.23 ppm de cadmio total con la dosis de 4.5 ppm de cadmio aplicado resulto con la mayor altura de los plantones de cacao numéricamente.

**Cuadro 32.** Prueba de significación de Duncan ( $\alpha=0.05$ ), para tipos de suelo (A) y niveles de cadmio (B) en la altura de plantones (cm) de cacao en vivero.

Tipo de suelo	Niveles de cadmio	Altura (cm)	Significancia (*)	
Suelo con 3.23 ppm Cd (a <sub>1</sub> )	4.5 ppm (b <sub>3</sub> )	35.33	a	
Suelo con 3.23 ppm Cd (a <sub>1</sub> )	3.0 ppm (b <sub>2</sub> )	33.08	a	b
Suelo con 0.00 ppm Cd (a <sub>2</sub> )	3.0 ppm (b <sub>2</sub> )	32.58	a	b
Suelo con 3.23 ppm Cd (a <sub>1</sub> )	1.5 ppm (b <sub>1</sub> )	32.33	a	b
Suelo con 0.00 ppm Cd (a <sub>2</sub> )	1.5 ppm (b <sub>1</sub> )	32.00	a	b
Suelo con 0.00 ppm Cd (a <sub>2</sub> )	4.5 ppm (b <sub>3</sub> )	29.42	b	

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

En la Figura 21, se observa que el suelo con 3.23 ppm de Cd total y 4.5 ppm de cadmio aplicado, genera mayor altura en los plantones de cacao, mostrando que el cadmio incremento la altura en vivero. Difiriendo con CARDENAS (2011), quien clasifica al cadmio en el grupo de metales pesados sin función biológica, cuya presencia en determinadas cantidades en los seres vivos, provocan disfunciones en sus organismos, resultando altamente tóxicos y presentan la propiedad de bioacumularse en los organismos vivos.



**Figura 21.** Tipos de suelo (A) y niveles de cadmio (B) en altura de plantones (cm) de cacao en vivero.

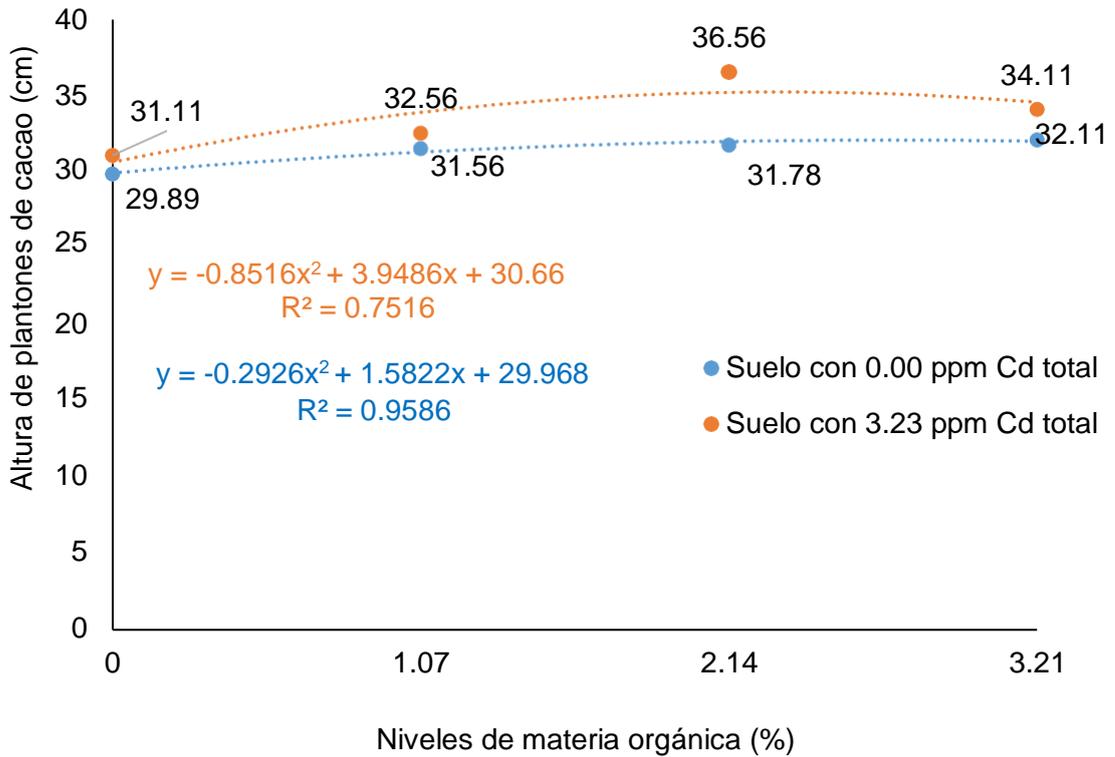
En el Cuadro 33, se muestra la prueba de Duncan ( $\alpha=0.05$ ), donde se observa que el suelo con 0.00 ppm Cd total y 0.00 % M.O y el suelo con 3.23 ppm Cd total con 0.00 % M.O, mostraron numéricamente las menores alturas de los plantones y a la vez fueron estadísticamente iguales, mostrando que mayores niveles de materia orgánica aplicada la altura de la planta se incrementó.

**Cuadro 33.** Prueba de significación de Duncan ( $\alpha=0.05$ ), para tipos de suelo (A) y niveles de materia orgánica (C) en la altura de plantones (cm) de cacao en vivero.

<b>Concentración de Cd en el suelo</b>	<b>Niveles de materia orgánica (%)</b>	<b>Altura (cm)</b>	<b>Significancia (*)</b>	
Suelo con 3.23 ppm Cd (a <sub>1</sub> )	2.14 (c <sub>3</sub> )	36.56	a	
Suelo con 3.23 ppm Cd (a <sub>1</sub> )	3.21 (c <sub>4</sub> )	34.11	a	b
Suelo con 3.23 ppm Cd (a <sub>1</sub> )	1.07 (c <sub>2</sub> )	32.56	a	b
Suelo con 0.00 ppm Cd (a <sub>2</sub> )	3.21 (c <sub>4</sub> )	32.11	a	b
Suelo con 0.00 ppm Cd (a <sub>2</sub> )	2.14 (c <sub>3</sub> )	31.78	a	b
Suelo con 0.00 ppm Cd (a <sub>2</sub> )	1.07 (c <sub>2</sub> )	31.56	a	b
Suelo con 3.23 ppm Cd (a <sub>1</sub> )	0.00 (c <sub>1</sub> )	31.11		b
Suelo con 0.00 ppm Cd (a <sub>2</sub> )	0.00 (c <sub>1</sub> )	29.89		b

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

En la Figura 22, se observa que el suelo con 3.23 ppm Cd total y 1.07, 2.14, 3.21 % M.O los plantones alcanzaron mayor altura, posiblemente se debió las características del suelo, también al efecto del alto contenido de cadmio en el suelo y las dosis de materia orgánica contribuyo en el crecimiento en comparación al suelo con 3.23 ppm Cd y 0.00 % M.O, evidenciando el efecto de la materia orgánica en el incremento de la altura de la planta. Tal como menciona SANCHEZ (2006), quien reporta que la materia orgánica ejerce una influencia importante en las propiedades del suelo, contribuyendo en el crecimiento de la vegetación, proporcionando elementos esenciales como nitrógeno, fósforo y azufre en cantidades importantes.



**Figura 22.** Tipos de suelo (A) y niveles de materia orgánica (C) en altura de plántones (cm) de cacao en vivero.

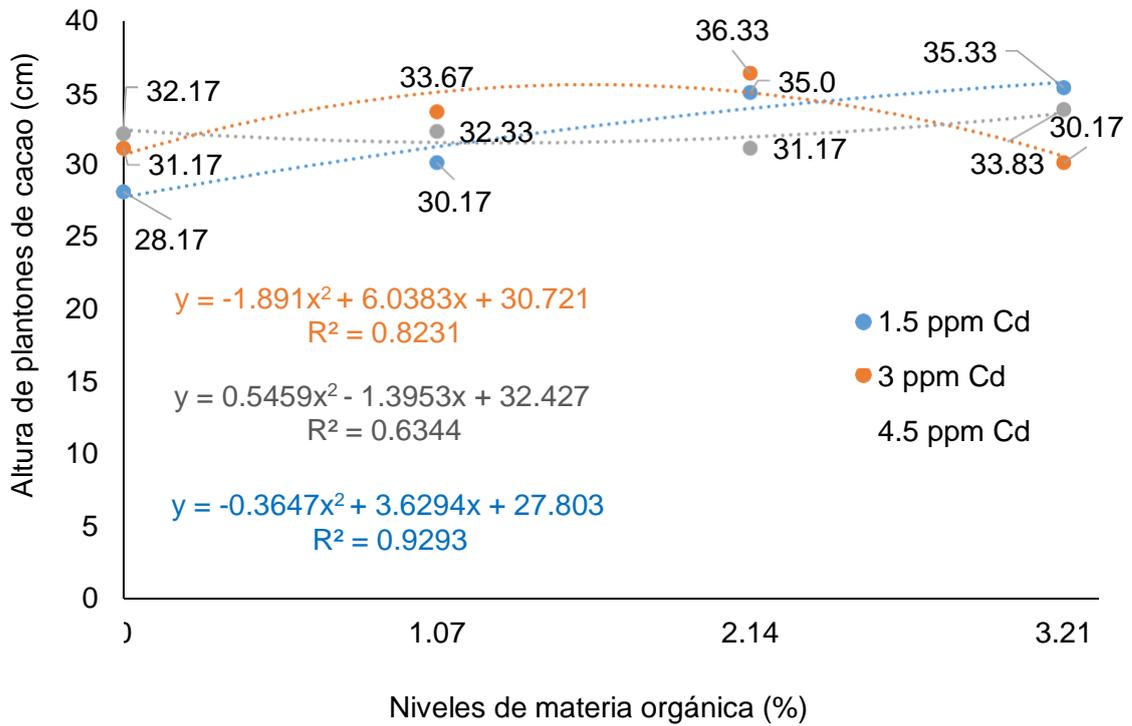
En el Cuadro 34, se muestra la prueba de Duncan ( $\alpha=0.05$ ), donde se observa el nivel 1.5 ppm de Cd con 0.00 % M.O presentó numéricamente la menor altura de plántones de cacao, se le atribuye a la ausencia de materia orgánica.

**Cuadro 34.** Prueba de significación de Duncan ( $\alpha=0.05$ ), para niveles de cadmio (B) y niveles de materia orgánica (C) en la altura de plantones (cm) de cacao en vivero.

<b>Niveles de Cadmio (B)</b>	<b>Niveles de materia orgánica (%)</b>	<b>Altura (cm)</b>	<b>Significancia (*)</b>	
3.0 ppm (b <sub>2</sub> )	2.14 (c <sub>3</sub> )	36.33	a	
1.5 ppm (b <sub>1</sub> )	3.21 (c <sub>4</sub> )	35.33	a	
1.5 ppm (b <sub>1</sub> )	2.14 (c <sub>3</sub> )	35.0	a	
4.5 ppm (b <sub>3</sub> )	3.21 (c <sub>4</sub> )	33.83	a	b
3.0 ppm (b <sub>2</sub> )	1.07 (c <sub>2</sub> )	33.67	a	b
4.5 ppm (b <sub>3</sub> )	1.07 (c <sub>2</sub> )	32.33	a	b
4.5 ppm (b <sub>3</sub> )	0.00 (c <sub>1</sub> )	32.17	a	b
4.5 ppm (b <sub>3</sub> )	2.14 (c <sub>3</sub> )	31.17	a	b
3.0 ppm (b <sub>2</sub> )	0.00 (c <sub>1</sub> )	31.17	a	b
3.0 ppm (b <sub>2</sub> )	3.21 (c <sub>4</sub> )	30.17	a	b
1.5 ppm (b <sub>1</sub> )	1.07 (c <sub>2</sub> )	30.17	a	b
1.5 ppm (b <sub>1</sub> )	0.00 (c <sub>1</sub> )	28.17		b

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

En la Figura 23, se observa que la aplicación de materia orgánica incrementa la altura en la mayoría de los niveles de cadmio aplicado, particularmente el nivel 3.0 ppm de Cd con 2.14 % M.O presento la mayor altura numéricamente, posiblemente por efecto del cadmio y la materia orgánica como se ha venido describiendo.



**Figura 23.** Niveles de cadmio (B) y niveles de materia orgánica (C) en la altura de plántulas (cm) de cacao en vivero.

En el Cuadro 35, se muestra la prueba de Duncan ( $\alpha=0.05$ ), donde se observa que el T4 – T11 (Suelo 3.23 ppm Cd + 1.5 ppm Cd total + 3.21 % M.O – Suelo 3.23 ppm Cd total + 4.5 ppm Cd + 2.14 % M.O) resultaron numéricamente con las mayores alturas en los plántulas de cacao. Analizando los suelos, contenían alta concentración de cadmio total inicial, más niveles de cadmio aplicado y los mayores niveles de materia orgánica; estos influyeron en la altura de la planta. Concordando con ORMEÑO (2011), quien indica que al evaluar diferentes abonos orgánicos el crecimiento y desarrollo de las plantas de “cacao” (*Theobroma cacao* L), obtuvo los mejores valores de longitud de la raíz principal, mayor número de raíces secundarias y altura total de la planta con T2 (té de estiércol al 20%).

**Cuadro 35.** Prueba de significación de Duncan ( $\alpha=0.05$ ), para los tratamientos en altura de planta en cm.

<b>Trat</b>	<b>Descripción</b>	<b>Altura (cm)</b>	<b>Significancia (*)</b>
T4	Suelo 3.23 ppm Cd + 1.5 ppm Cd + 3.21 % M.O	37.67	a
T11	Suelo 3.23 ppm Cd + 4.5 ppm Cd + 2.14 % M.O	37.67	a
T7	Suelo 3.23 ppm Cd + 3.0 ppm Cd + 2.14 % M.O	37.33	a b
T12	Suelo 3.23 ppm Cd + 4.5 ppm Cd + 3.21 % M.O	36.67	a b c
T19	Suelo 0.00 ppm Cd + 3.0 ppm Cd + 2.14 % M.O	35.33	a b c
T15	Suelo 0.00 ppm Cd + 1.5 ppm Cd + 2.14 % M.O	35.33	a b c
T6	Suelo 3.23 ppm Cd + 3.0 ppm Cd + 1.07 % M.O	34.67	a b c
T3	Suelo 3.23 ppm Cd + 1.5 ppm Cd + 2.14 % M.O	34.67	a b c
T10	Suelo 3.23 ppm Cd + 4.5 ppm Cd + 1.07 % M.O	33.67	a b c d
T9	Suelo 3.23 ppm Cd + 4.5 ppm Cd + 0 % M.O	33.33	a b c d
T16	Suelo 0.00 ppm Cd + 1.5 ppm Cd + 3.21 % M.O	33.00	a b c d
T18	Suelo 0.00 ppm Cd + 3.0 ppm Cd + 1.07 % M.O	32.67	a b c d
T20	Suelo 0.00 ppm Cd + 3.0 ppm Cd + 3.21 % M.O	32.33	a b c d
T5	Suelo 3.23 ppm Cd + 3.0 ppm Cd + 0 % M.O	32.33	a b c d
T14	Suelo 0.00 ppm Cd + 1.5 ppm Cd + 1.07 % M.O	31.00	a b c d
T21	Suelo 0.00 ppm Cd + 4.5 ppm Cd + 0 % M.O	31.00	a b c d
T22	Suelo 0.00 ppm Cd + 4.5 ppm Cd + 1.07 % M.O	31.00	a b c d
T24	Suelo 0.00 ppm Cd + 4.5 ppm Cd + 3.21 % M.O	31.00	a b c d
T17	Suelo 0.00 ppm Cd + 3.0 ppm Cd + 0 % M.O	30.00	a b c d
T2	Suelo 3.23 ppm Cd + 1.5 ppm Cd + 1.07 % M.O	29.33	a b c d
T13	Suelo 0.00 ppm Cd + 1.5 ppm Cd + 0 % M.O	28.67	a b c d
T8	Suelo 3.23 ppm Cd + 3.0 ppm Cd + 3.21 % M.O	28.00	b c d
T1	Suelo 3.23 ppm Cd + 1.5 ppm Cd + 0 % M.O	27.67	c d
T23	Suelo 0.00 ppm Cd + 4.5 ppm Cd + 2.14 % M.O	24.67	d

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

## V. CONCLUSIONES

1. El mejor nivel de materia orgánica que redujo la absorción de cadmio disponible y total en el suelo fue con la aplicación de 1.07 % de materia mostrando 0.69 y 1.42 ppm de cadmio respectivamente en comparación al testigo.
2. El mejor nivel de materia orgánica que redujo la absorción de cadmio en las hojas de los plántones de cacao fue con la aplicación de 1.07 % de materia orgánica reduciendo 65.22 % en relación a testigo.
3. La correlación entre el cadmio disponible y total el suelo con las hojas de los plántones de cacao fueron 0.56 y 0.52 ppm respectivamente.

## **VI. RECOMENDACIONES**

1. Efectuar el análisis químico, proximal de la materia orgánica con la que se pretende disminuir en cadmio en el suelo y en la planta.
2. Replicar el trabajo en campo en parcelas con buena fertilización, buen manejo de plagas y enfermedades, control de malezas, para obtener resultados óptimos por efecto de la materia orgánica.
3. Realizar mezclas entre los granos con alto y bajo contenido de cadmio con la finalidad de eliminar las barreras comerciales.

## VIII. REFERENCIA BIBLIOGRÁFICA

1. ADRIANO, D. 2001. Trace elements in terrestrial environments. Biogeochemistry, bioavailability and risks of metals. Springer-Verlag, Nueva York.
2. AGRARIA, 2012. Materia orgánica y calcio reducirían efectos del cadmio en el maíz. Agencia Agraria de Noticias. Lima (Perú);/Mayo/04.
3. AHUMADA, I. y SCHALSCHA, E.1995. Efecto de la sorción de cadmio y cobre en suelos. Agrochimica, Pisa. 39: 101-110.
4. ALVES, L.; EGREJA, F.; DE BELLIS, V.; DO SANTOS, E.; IANHEZ, R. 2010. Utilização dos modelos de Langmuir e de Freundlich na adsorção de cobre e zinco em solos Brasileiros. 53(3): 303 - 315.
5. ANTONIADIS, V. y ALLOWAY, B. 2002. The role of dissolved organic carbon in the mobility of Cd, Ni and Zn in sewage sludgeamended soils. Environ Pollut 117: 515 - 521.
6. APPCACAO. 2018. Cadena de valor del cacao - Evidencias científicas y desafíos normativos frente a la cuestión del cadmio.
7. CARDENAS, A. 2012. Presencia de cadmio en algunas parcelas de cacao orgánico en la cooperativa agraria industrial naranjillo - Tingo María - Perú. Tesis Ing. Agrónomo. Universidad Nacional Agraria de la Selva. Tingo María – Perú. 113p.

8. CHANEY, R. 2015. How does contamination of rice soils with Cd and Zn cause high incidence of human Cd disease in subsistence rice farmers. *Current Pollution Reports*, 1: 13 - 22.
9. CHRISTENSEN, T. y HAUNG, P. 1999. Solid phase cadmium and the reaction of aqueous cadmium with soil surfaces. In: *Cadmium in Soils and Plants*, eds. M.J. McLaughlin, B.R. Singh, 65 - 96, Kluwer Acad. Publ., London.
10. 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.
11. COMISIÓN DEL CODEX ALIMENTARIUS. 2013. *Manual del Codex Alimentarius*.
12. Comité mixto OMS/FAO de expertos en aditivos alimentarios (JECFA). 2017. *Petición de observaciones en el trámite 3 sobre el anteproyecto de niveles máximos para el cadmio en el chocolate y productos derivados del cacao*. 25p.
13. CORAMI, A.; MIGNARDI., S.; FERRINI, V. 2007. Copper and zinc decontamination from single- and binary-metal solutions using hydroxyapatite; *J. Hazard. Mater.* 146: 164 –170.
14. CRUZ, M. y GUZMÁN, A. 2007. *La contaminación de suelos y aguas. Su prevención con nuevas sustancias naturales*. España: Universidad de Sevilla.

15. CUENCA, E. 2012. Efecto de la materia orgánica y fuentes de calcio en la toxicidad de cadmio en maíz (*Zea mays* L.). Tesis de Mg. Sc. scientiae en suelos. Universidad Nacional Agraria la Molina. Lima – Perú. 72 p.
16. FERNÁNDEZ, L y ROJAS, N. 2006. Manual de técnicas de análisis de suelos aplicadas a la remediación de sitios contaminados, [En línea]: <http://www2.inecc.gob.Mx>, (documento del 24 de octubre del 2015).
17. FUENTES, J. 1998. Técnicas de riego. Tercera edición. Ministerio de agricultura, Pesca y Alimentación. Ediciones Mundi-Prensa, Madrid, España.
18. GALAN, E. y ROMERO, A. 2008. Contaminación de suelos por metales pesados. Revista de la sociedad española de mineralogía, España. 10: 48 - 60.
19. GARCIA, I y DORRONSORO, C. 2002. Contaminación por metales pesados. Departamento de edafología y química agrícola de España.
20. GHOSH, M. y SINGH, S. 2005. A comparative study of cadmium phytoextraction by accumulator and weed species. Environ. Pollut. 133(2), 365-371.
21. GONZALES, S. 1986. Contenido natural de metales pesados extraíbles con EDTA en suelos del Valle Aconcagua. 5 p. Agr. Tec. Chile. 46(3): 323 - 327.

22. GRAY, C.; McLAREN, R.; ROBERTS, A.; CONDRON, L. 1998. Sorption and desorption of cadmium from some New Zealand soils: effect of pH and contact time. *Australian Journal of Soil Research*, Melbourne. 36: 199 - 216.
23. GUZMAN, M y BARRETO, L. 2011. Efecto de la materia organica del suelo en la retención de contaminantes. *Rev. Epsilon*. 16:31- 45
24. HAN-SONG, C.; HUANG, Q.; LI-NA, L.; PENG, C.; LIANG, W.; MING, L. 2010. Poultry manure compost alleviates the phytotoxicity of soil cadmium: influence on growth of pakchoi (*Brassica chinensis* L.). *Pedosphere* 20 (1): 63 - 70.
25. HUAMANÍ, H.; HUAUYA, M.; MANSILLA, L.; FLORIDA, N.; NEIRA G. 2012. Presencia de metales pesados en cultivo de cacao (*Theobroma cacao* L.) orgánico. *Acta Agronómica* 61(4): 399–344.
26. JARAMILLO, D. 2002. Introducción a la ciencia del suelo. Universidad Nacional de Colombia. 619 p.
27. KABATA-PENDIAS, A. y SADURSKI, W. 2004. Trace elements and compounds in soil. In: *Elements and Their Compounds in the Environment*, 2 eds. E. Merian, M. Anke, M. Ihnat, M. Stoepler. Pp. 79-99.
28. LIANG, H.; LIN, T.; CHIOU, J.; YEH, K. 2009. Model evaluation of the phytoextraction potential of heavy metal hyperaccumulators and non-hyperaccumulators. *Environ. Pollut.* 157: 1945 - 1952.

29. LIU, L.; CHEN, H.; CAI, P.; LIANG, W.; HUANG, Q. 2009. Immobilization and phytotoxicity of Cd in contaminated soil amended with chicken manure compost. *J. Hazard. Mater.* 163 (2): 563 - 567.
30. LOFTS, S.; SPURGEON, D. y SVENDSEN, C. 2005. Fractions affected and probabilistic risk assessment of Cu, Zn, Cd, and Pb in soils using the free ion approach. *Environ. Sci. Technol.* 39(21): 8533 - 8540.
31. LOGANATHAN, P.; HEDLEY, M.; GREGG, P.; CURRIE, L. D. 1997. Effect of phosphate fertilizer type on the accumulation and plant availability of cadmium in grassland soils. *Nutrient Cycling in Agroecosystem*, Dordrecht. 47:169 - 178.
32. M & F ORGÁNICOS E.I.R.L. 2012. Wanunchasqa tipo I + roca fosfórica. Ficha técnica.
33. MALAGRE, A.; ARANTE, V.; MEDEIRO, C.; MACHUCA, A. 2002. Production of metal chelating compounds by white rot fungi – root rot fungi, and their comparative abilities for pulp bleaching. *Enzyme and microbial Technology.* 30: 562 - 565.
34. MATUSIK, J.; BAJDA, T.; MANECKI, M. 2008. Immobilization of aqueous cadmium by addition of phosphates. *J. Hazard. Mater.* 125: 1332 - 1339.
35. MCLEAN, J. y BLEDSOE, B. 1992. Behavior of metals in soils. Environmental Protection Agency, EE.UU. 18: 1 - 25.

36. MONGE, O.; VALENZUELA, J.; ACEDO, E.; CERTUCHA, M.; ALMENDARIZ, F. 2008. Biosorción de cobre en sistema por lote y continuo con bacterias aerobias inmovilizadas en zeolita natural (clinoptilolita). *Rev. Int Contam Ambient, México*. 24(3): 143 - 148.
37. MURTY, A. 2000. Toxicity of pesticides to fish. Vol I. CRC press, Inc. Boca raton, Florida.
38. NIÑO, I. 2015. Cuantificación de cadmio en cacao proveniente del occidente de Boyacá por la técnica analítica de voltamperometría. Tesis Ing. Químico. Universidad Pedagógico y Tecnológica de Colombia. Tunja – Colombia. 77 p.
39. NORDBERG, G.; NOGAWA, K.; NORDBERG, M. 2015. Cadmium. In: *Handbook on the Toxicology of Metals, Vol. II: Specific Metals* (eds G.F. Nordberg, B.A. Fowler & M. Nordberg). Amsterdam Elsevier. Pp. 667 - 716.
40. ORGANIZACIÓN MUNDIAL DE LA SALUD (OMS). 2006. Evaluation of Certain Food Contaminants. WHO Technical Report Series 930. Geneva: World Health Organization.
41. ORMEÑO, M. 2011. Evaluación de diferentes abonos orgánicos en el crecimiento y desarrollo de plantas de cacao (*Theobroma cacao L.*). *J. Interamer. Soc. Trop. Hort.* 54: 103 - 105.
42. PORTA, J y LÓPEZ, M. 2008. Introducción a la edafología: Uso y Protección del Suelo. Cataluña, ES. Mundi-Prensa. Pp. 220 - 223

43. REMIGIO, J. 2017. Determinación y zonificación de las fuentes contaminantes que afectan la concentración de cadmio en los granos de cacao en las organizaciones socias de Cepicafe de Piura y Tumbes. Proyecto INNOVATE-FINCyT. Perú. 34 p.
44. REYES, E y MARIA, A. Contenido de metales pesados toxicos (níquel, plomo, cobre, cadmio y manganeso) en el cacao en la provincia Monseñor Nouel. Resultados de investigacion. Instituto Dominicano de Investigacion Agropecuarias y Forestales. Santo Domingo. Pp 62 - 73
45. REYES, S. y ALVARES, J. 2007. Fungal bioleaching of metals in preservative treated wood. Process biochemistry. 42: 798 - 804.
46. SÁNCHEZ, I. 2003. Determinación de metales pesados en suelos de Mediana del Campo (Valladolid): contenidos extraíbles, niveles fondos y de referencia. Tesis de Dr. Universidad de Valladolid. Valladolid – España. 298p.
47. SANCHEZ, R. 2006. Manual del cultivo de cacao. 1era edición. Chanchamayo - Junín, Perú. 106 p.
48. SÁNCHEZ-MONEDERO, M.; MONDINI, C.; DE NOBILI, M.; LEITA, L.; ROIG, A. 2004. Land application of biosolids. Soil response to different stabilization degree of the treated organic matter. Waste Management. 24(4): 325 - 332.

49. SIEA. 2016. Anuario estadístico de la producción agrícola y ganadera 2016.[Enlínea]: <http://siea.minagri.gob.pe/siea/sites/default/files/anuario-agricolaganadera20162109170.pdf>, ( Documento, 28 de agosto del 2018).
50. SILVA, C. 2004. Adsorcao competitiva de cadmio, cobre, níquel e zinco em solos. Tesis Mestream agronomía. Universidad de San Paulo. Estado de Sao paulo - Brasil. 79 p.
51. SILVIERA, M.; ALLEONI, L. y GUILHERME, L. 2003. Biosolids and heavy metals in soils. Scientia Agrícola. 60(4): 793 - 806.
52. STEFFAN I.; BREVIK, E.; BURGESS, L.; CERDA, A. 2018. The effect of soil on human health: an overview. European Journal of soil science. 69:159 - 171.
53. TECHNOSERVE. 2011. Contenido de cadmio y plomo en la producción de cacao en San Martin. Huamani, H. y Huauya, M. 2011. 74p
54. TIPPING, E. 2002. Cation binding by humic substances (Cambridge environmental chemistry series, Vol. 12). New York: Cambridge University Press.
55. UNIÓN EUROPEA. 2014. Reglamento (UE) N° 488/2014 de la comisión de 12 de mayo de 2014 que modifica el Reglamento (CE) no 1881/2006 por lo que respecta al contenido máximo de cadmio en los productos alimenticios. Diario oficial de la unión europea. 75 - 79 p.

56. USEPA (United States Environmental Protection Agency). 1996. Method 3050 B: Acid digestion of sediment, sludges, and soils. CD-ROM. 3050B - 1. Revisión 2, Washington, D. C.
57. WANG, W.; BRUSSEAU M. y YARTIOLA, F. 1997. The use of calcium to facilitate desorption and removal of cadmium and nickel in subsurface soils. *J. Contam. Hydrol.* 25(3-4): 325 – 336.
58. WEBER, J. y KARCZEWSKA, A. 2004. Biogeochemical processes and the role of heavy metals in the soil environment. *Geoderma.* 122: 105 - 107.
59. ZHAO, F.; MA, Y.; ZHU, Y.; TANG, Z.; MCGRATH, S. 2015. Soil contamination in China: current status and mitigation strategies. *Environmental Science & Technology*, 49: 750 - 759.
60. ZHELJAZKOV y WARMAN, 2003. Application of high Cu compost to Swiss chard and basil. *Brasil. The Science of the Total Environment* 302: 13 - 26.

## **IX. ANEXOS**

**Cuadro 36.** Datos iniciales de cadmio disponible (ppm) en el suelo después de la incubación de 45 días con Cd ( $3\text{CdSO}_4 \cdot 8\text{H}_2\text{O}$ ) y materia orgánica.

<b>Tratamientos</b>	<b>R1</b>	<b>R2</b>	<b>R3</b>	<b>Promedio</b>
T1	1.85	1.80	1.83	1.83
T2	2.61	2.42	2.94	2.66
T3	4.00	3.91	3.66	3.85
T4	4.48	4.45	5.26	4.73
T5	1.90	1.85	1.88	1.88
T6	2.60	2.70	2.65	2.65
T7	2.43	3.82	3.58	3.27
T8	4.56	4.31	4.94	4.61
T9	2.52	2.54	2.50	2.52
T10	2.48	2.64	2.87	2.66
T11	3.75	3.52	3.57	3.61
T12	4.30	4.56	4.39	4.42
T13	0.78	0.85	0.82	0.82
T14	1.20	1.14	1.08	1.14
T15	1.98	2.31	1.67	1.98
T16	3.19	3.46	3.25	3.30
T17	1.60	1.62	1.58	1.60
T18	0.88	1.19	1.45	1.17
T19	2.20	2.51	2.60	2.43
T20	2.76	3.52	3.53	3.27
T21	3.18	3.22	3.25	3.22
T22	1.13	1.22	1.44	1.26
T23	2.35	2.82	2.35	2.51
T24	3.12	3.19	3.47	3.26

R1, R2, R3 = Repeticiones

**Cuadro 37.** Datos finales de cadmio disponible (ppm) en el suelo.

Tratamientos	Cd total suelo (ppm) + Cd aplicado (ppm)+ M.O (%)	R1	R2	R3	Promedio
T1	3.23 + 1.5 + 0.00	1.50	1.07	1.02	1.20
T2	3.23 + 1.5 + 1.07	0.95	0.71	0.91	0.86
T3	3.23 + 1.5 + 2.14	1.45	1.44	1.48	1.46
T4	3.23 + 1.5 + 3.21	1.62	1.69	1.70	1.67
T5	3.23 + 3.0 + 0.00	0.88	1.11	1.00	0.99
T6	3.23 + 3.0 + 1.07	0.85	0.96	0.87	0.89
T7	3.23 + 3.0 + 2.14	1.18	1.26	1.39	1.28
T8	3.23 + 3.0 + 3.21	1.82	1.94	1.90	1.88
T9	3.23 + 4.5 + 0.00	1.36	1.59	1.42	1.46
T10	3.23 + 4.5 + 1.07	1.05	1.09	1.02	1.05
T11	3.23 + 4.5 + 2.14	1.24	1.55	1.45	1.41
T12	3.23 + 4.5 + 3.21	1.76	1.47	1.71	1.65
T13	0.00 + 1.5 + 0.00	0.64	0.45	0.48	0.52
T14	0.00 + 1.5 + 1.07	0.38	0.44	0.34	0.39
T15	0.00 + 1.5 + 2.14	0.76	0.82	0.76	0.78
T16	0.00 + 1.5 + 3.21	1.05	0.97	1.20	1.07
T17	0.00 + 3.0 + 0.00	0.92	1.13	0.86	0.97
T18	0.00 + 3.0 + 1.07	0.32	0.36	0.50	0.40
T19	0.00 + 3.0 + 2.14	0.95	0.95	0.94	0.95
T20	0.00 + 3.0 + 3.21	1.22	1.36	1.44	1.34
T21	0.00 + 4.5 + 0.00	1.50	1.56	1.26	1.44
T22	0.00 + 4.5 + 1.07	0.47	0.63	0.56	0.55
T23	0.00 + 4.5 + 2.14	1.00	0.98	0.88	0.95
T24	0.00 + 4.5 + 3.21	1.88	1.51	1.43	1.61

R1, R2, R3 = Repeticiones

**Cuadro 38.** Análisis de varianza del cadmio disponible (ppm) en el suelo.

Fuentes de variación	G.L.	Cuadrados medios	
Tratamientos	23	0.52	as
A	1	2.92	as
B	2	0.46	as
C	3	2.16	as
A * B	2	0.20	as
A * C	3	0.06	as
B * C	6	0.10	as
A * B * C	6	0.07	as
Error	48	0.01	
Total corregida	71		

CV (%) = 10.79

**Cuadro 39.** Datos finales de cadmio total (ppm) en el suelo.

Tratamientos	Cd total suelo (ppm) + Cd aplicado (ppm)+ M.O (%)	R1	R2	R3	Promedio
T1	3.23 + 1.5 + 0.00	1.85	1.93	2.23	2.00
T2	3.23 + 1.5 + 1.07	1.45	1.37	1.33	1.38
T3	3.23 + 1.5 + 2.14	2.08	2.17	2.12	2.12
T4	3.23 + 1.5 + 3.21	2.35	2.38	2.30	2.34
T5	3.23 + 3.0 + 0.00	1.95	1.91	1.93	1.93
T6	3.23 + 3.0 + 1.07	1.78	1.89	1.86	1.84
T7	3.23 + 3.0 + 2.14	2.16	2.14	2.18	2.16
T8	3.23 + 3.0 + 3.21	2.28	2.25	2.63	2.39
T9	3.23 + 4.5 + 0.00	2.20	1.70	2.30	2.07
T10	3.23 + 4.5 + 1.07	1.93	2.10	2.10	2.04
T11	3.23 + 4.5 + 2.14	2.28	2.48	2.45	2.40
T12	3.23 + 4.5 + 3.21	2.90	2.98	2.93	2.94
T13	0.00 + 1.5 + 0.00	0.88	0.90	0.98	0.92
T14	0.00 + 1.5 + 1.07	0.78	0.78	0.73	0.76
T15	0.00 + 1.5 + 2.14	1.15	1.30	1.55	1.33
T16	0.00 + 1.5 + 3.21	1.25	1.25	1.78	1.43
T17	0.00 + 3.0 + 0.00	1.18	1.35	1.53	1.35
T18	0.00 + 3.0 + 1.07	1.14	1.30	1.26	1.23
T19	0.00 + 3.0 + 2.14	1.58	1.58	1.65	1.60
T20	0.00 + 3.0 + 3.21	1.70	1.68	1.82	1.73
T21	0.00 + 4.5 + 0.00	1.70	1.70	1.35	1.58
T22	0.00 + 4.5 + 1.07	1.24	1.26	1.28	1.26
T23	0.00 + 4.5 + 2.14	1.50	1.56	1.85	1.64
T24	0.00 + 4.5 + 3.21	2.00	1.95	2.20	2.05

R1, R2, R3 = Repeticiones

**Cuadro 40.** Análisis de varianza del cadmio total (ppm) en el suelo.

Fuentes de variación	G.L.	Media cuadrática	
TRATAMIENTOS	23	0.79	as
A	1	9.52	as
B	2	1.27	as
C	3	1.74	as
A * B	2	0.10	s
A * C	3	0.02	ns
B * C	6	0.07	as
A * B * C	6	0.04	ns
Error	48	0.02	
Total corregida	71		

CV (%) = 8.14

**Cuadro 41.** Datos finales de cadmio total en las hojas de plantones de cacao.

Tratamientos	Cd total suelo (ppm) + Cd aplicado (ppm)+ M.O (%)	R1	R2	R3	Promedio
T1	3.23 + 1.5 + 0.00	4.92	5.04	4.97	4.98
T2	3.23 + 1.5 + 1.07	1.87	2.05	2.10	2.01
T3	3.23 + 1.5 + 2.14	2.12	2.18	2.45	2.25
T4	3.23 + 1.5 + 3.21	3.23	3.89	3.04	3.39
T5	3.23 + 3.0 + 0.00	7.92	7.96	7.88	7.92
T6	3.23 + 3.0 + 1.07	2.66	2.60	2.35	2.54
T7	3.23 + 3.0 + 2.14	3.12	3.10	3.65	3.29
T8	3.23 + 3.0 + 3.21	3.40	3.50	3.60	3.50
T9	3.23 + 4.5 + 0.00	10.94	10.86	10.66	10.82
T10	3.23 + 4.5 + 1.07	2.60	2.44	2.40	2.48
T11	3.23 + 4.5 + 2.14	3.52	3.83	3.50	3.62
T12	3.23 + 4.5 + 3.21	4.38	4.61	4.47	4.49
T13	0.00 + 1.5 + 0.00	3.10	2.95	3.00	3.02
T14	0.00 + 1.5 + 1.07	1.30	1.20	1.25	1.25
T15	0.00 + 1.5 + 2.14	1.40	1.45	1.35	1.40
T16	0.00 + 1.5 + 3.21	1.80	1.70	1.75	1.75
T17	0.00 + 3.0 + 0.00	4.12	4.18	4.30	4.20
T18	0.00 + 3.0 + 1.07	1.98	2.10	2.02	2.03
T19	0.00 + 3.0 + 2.14	2.84	2.94	2.86	2.88
T20	0.00 + 3.0 + 3.21	2.98	3.00	3.08	3.02
T21	0.00 + 4.5 + 0.00	5.16	5.10	5.04	5.10
T22	0.00 + 4.5 + 1.07	2.30	2.20	2.26	2.25
T23	0.00 + 4.5 + 2.14	4.38	4.42	4.52	4.44
T24	0.00 + 4.5 + 3.21	4.54	4.50	4.58	4.54

R1, R2, R3 = Repeticiones

**Cuadro 42.** Análisis de varianza del cadmio en hojas en plantones de cacao.

Fuentes de variación	G.L	Cuadrados Medios	
Tratamiento	23	13.54	as
A	1	29.59	as
B	2	29.40	as
C	3	50.77	as
A * B	2	0.000	ns
A * C	3	12.91	as
B * C	6	2.770	as
A * B * C	6	2.550	as
Error	48	0.020	
Total corregida	71		

CV (%) = 4.01

**Cuadro 43.** Datos de altura de plantones de cacao (cm).

Tratamientos	Cd total suelo (ppm) + Cd aplicado (ppm)+ M.O (%)	R1	R2	R3	Promedio
T1	3.23 + 1.5 + 0.00	27	26	30	28
T2	3.23 + 1.5 + 1.07	30	27	31	29
T3	3.23 + 1.5 + 2.14	31	28	45	35
T4	3.23 + 1.5 + 3.21	35	41	37	38
T5	3.23 + 3.0 + 0.00	30	35	32	32
T6	3.23 + 3.0 + 1.07	39	35	30	35
T7	3.23 + 3.0 + 2.14	31	45	36	37
T8	3.23 + 3.0 + 3.21	31	28	25	28
T9	3.23 + 4.5 + 0.00	32	33	35	33
T10	3.23 + 4.5 + 1.07	30	38	33	34
T11	3.23 + 4.5 + 2.14	42	36	35	38
T12	3.23 + 4.5 + 3.21	32	37	41	37
T13	0.00 + 1.5 + 0.00	32	29	25	29
T14	0.00 + 1.5 + 1.07	37	30	26	31
T15	0.00 + 1.5 + 2.14	32	36	38	35
T16	0.00 + 1.5 + 3.21	36	30	33	33
T17	0.00 + 3.0 + 0.00	35	25	30	30
T18	0.00 + 3.0 + 1.07	42	24	32	33
T19	0.00 + 3.0 + 2.14	35	40	31	35
T20	0.00 + 3.0 + 3.21	39	23	35	32
T21	0.00 + 4.5 + 0.00	33	32	28	31
T22	0.00 + 4.5 + 1.07	33	33	27	31
T23	0.00 + 4.5 + 2.14	21	24	29	25
T24	0.00 + 4.5 + 3.21	32	32	29	31

R1, R2, R3 = Repeticiones

**Cuadro 44.** Análisis de varianza de la altura de plantones de cacao (cm).

Fuentes de variación	G.L.	Cuadrados medios	
TRATAMIENTOS	23	34.81	ns
A	1	91.13	s
B	2	2.790	ns
C	3	44.05	ns
A * B	2	60.54	ns
A * C	3	13.61	ns
B * C	6	42.50	ns
A * B * C	6	25.80	ns
Error	48	22.32	
Total corregida	71		

CV (%) = 14.56

**Cuadro 45.** Datos de numero de hojas de plantones de cacao.

Tratamientos	Cd suelo (ppm) + Cd aplicado (ppm) + M.O (%)	R1	R2	R3	Promedio
T1	3.23 + 1.5 + 0.00	18.00	16.00	15.00	16.33
T2	3.23 + 1.5 + 1.07	19.00	12.00	14.00	15.00
T3	3.23 + 1.5 + 2.14	12.00	11.00	15.00	12.67
T4	3.23 + 1.5 + 3.21	15.00	16.00	12.00	14.33
T5	3.23 + 3.0 + 0.00	15.00	14.00	18.00	15.67
T6	3.23 + 3.0 + 1.07	15.00	13.00	13.00	13.67
T7	3.23 + 3.0 + 2.14	11.00	21.00	16.00	16.00
T8	3.23 + 3.0 + 3.21	10.00	11.00	12.00	11.00
T9	3.23 + 4.5 + 0.00	17.00	16.00	15.00	16.00
T10	3.23 + 4.5 + 1.07	20.00	16.00	16.00	17.33
T11	3.23 + 4.5 + 2.14	15.00	15.00	14.00	14.67
T12	3.23 + 4.5 + 3.21	16.00	15.00	17.00	16.00
T13	0.00 + 1.5 + 0.00	16.00	15.00	13.00	14.67
T14	0.00 + 1.5 + 1.07	18.00	16.00	15.00	16.33
T15	0.00 + 1.5 + 2.14	15.00	15.00	14.00	14.67
T16	0.00 + 1.5 + 3.21	12.00	11.00	13.00	12.00
T17	0.00 + 3.0 + 0.00	15.00	12.00	14.00	13.67
T18	0.00 + 3.0 + 1.07	16.00	10.00	13.00	13.00
T19	0.00 + 3.0 + 2.14	14.00	15.00	14.00	14.33
T20	0.00 + 3.0 + 3.21	14.00	12.00	14.00	13.33
T21	0.00 + 4.5 + 0.00	14.00	15.00	14.00	14.33
T22	0.00 + 4.5 + 1.07	14.00	16.00	13.00	14.33
T23	0.00 + 4.5 + 2.14	10.00	10.00	15.00	11.67
T24	0.00 + 4.5 + 3.21	14.00	17.00	12.00	14.33

R1, R2, R3 = Repeticiones

**Cuadro 46.** Análisis de varianza de numero de hojas en plantones de cacao.

Fuentes de variación	G.L.	Cuadrados medios	
TRATAMIENTOS	23	7.560	s
A	1	18.00	s
B	2	6.220	ns
C	3	10.63	ns
A * B	2	8.170	ns
A * C	3	1.300	ns
B * C	6	9.020	ns
A * B * C	6	6.190	ns
Error	48	4.150	
Total corregida	71		

CV (%) = 14.16

**Cuadro 47.** Datos de diámetro de plántones de cacao (cm).

Tratamientos	Cd suelo (ppm) + Cd aplicado (ppm) + M.O (%)	R1	R2	R3	Promedio
T1	3.23 + 1.5 + 0.00	0.50	0.48	0.50	0.49
T2	3.23 + 1.5 + 1.07	0.57	0.54	0.52	0.54
T3	3.23 + 1.5 + 2.14	0.52	0.46	0.51	0.50
T4	3.23 + 1.5 + 3.21	0.51	0.49	0.52	0.51
T5	3.23 + 3.0 + 0.00	0.55	0.51	0.46	0.51
T6	3.23 + 3.0 + 1.07	0.56	0.51	0.46	0.51
T7	3.23 + 3.0 + 2.14	0.60	0.54	0.49	0.54
T8	3.23 + 3.0 + 3.21	0.47	0.51	0.46	0.48
T9	3.23 + 4.5 + 0.00	0.50	0.48	0.46	0.48
T10	3.23 + 4.5 + 1.07	0.55	0.49	0.45	0.50
T11	3.23 + 4.5 + 2.14	0.54	0.49	0.55	0.53
T12	3.23 + 4.5 + 3.21	0.52	0.55	0.56	0.54
T13	0.00 + 1.5 + 0.00	0.53	0.46	0.42	0.47
T14	0.00 + 1.5 + 1.07	0.55	0.46	0.56	0.52
T15	0.00 + 1.5 + 2.14	0.57	0.52	0.45	0.51
T16	0.00 + 1.5 + 3.21	0.60	0.49	0.42	0.50
T17	0.00 + 3.0 + 0.00	0.60	0.48	0.49	0.52
T18	0.00 + 3.0 + 1.07	0.64	0.48	0.49	0.54
T19	0.00 + 3.0 + 2.14	0.48	0.48	0.43	0.46
T20	0.00 + 3.0 + 3.21	0.61	0.50	0.50	0.54
T21	0.00 + 4.5 + 0.00	0.50	0.52	0.46	0.49
T22	0.00 + 4.5 + 1.07	0.59	0.52	0.46	0.52
T23	0.00 + 4.5 + 2.14	0.48	0.50	0.47	0.48
T24	0.00 + 4.5 + 3.21	0.59	0.52	0.50	0.54

R1, R2, R3 = Repeticiones

**Cuadro 48.** Análisis de varianza del diámetro de plántones de cacao.

Fuentes de variación	G.L.	Cuadrados medios	
TRATAMIENTOS	23	0.00180	ns
A	1	0.00005	ns
B	2	0.00024	ns
C	3	0.00290	ns
A * B	2	0.00024	ns
A * C	3	0.00240	ns
B * C	6	0.00160	ns
A * B * C	6	0.00240	ns
Error	48	0.00240	
Total corregida	71		

CV (%) = 9.62



## ANALISIS ESPECIAL

<b>SOLICITANTE:</b>		<b>JEFER JACINTO GUZMAN ÑAHUIRIMA</b>				<b>PROCEDENCIA:</b>		<b>NARANJILLO</b>									
<b>DATOS DE LA MUESTRA</b>		<b>ANALISIS PROXIMAL</b>					<b>RESULTADOS EN BASE SECA</b>										
		<b>Humedad Hd (%)</b>	<b>EN BASE HUMEDA</b>		<b>EN BASE SECA</b>		<b>PORCENTAJE (%)</b>						<b>PARTES POR MILLON (PPM)</b>				
			<b>MATERIA SECA</b>		<b>Materia Organica (%)</b>	<b>Cenizas (%)</b>	<b>N (%)</b>	<b>P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> (%)</b>	<b>Ca (%)</b>	<b>Mg (%)</b>	<b>K (%)</b>	<b>Na (%)</b>	<b>Cu ppm</b>	<b>Fe ppm</b>	<b>Zn ppm</b>	<b>Mn ppm</b>	<b>Cd ppm</b>
<b>Código</b>	<b>Referencia</b>	<b>Materia Organica (%)</b>	<b>Cenizas (%)</b>	<b>Materia Organica (%)</b>	<b>Cenizas (%)</b>												
<b>M0576</b>	<b>MATERIA ORGANICA</b>	<b>3</b>	<b>24</b>	<b>73</b>	<b>25</b>	<b>75</b>	<b>-</b>	<b>0.077</b>	<b>6.76</b>	<b>2.18</b>	<b>4.88</b>	<b>0.03</b>	<b>67</b>	<b>2527</b>	<b>98</b>	<b>206</b>	<b>1.13</b>

MUESTREADO POR EL SOLICITANTE  
 TINGO MARIA, 12 DE JULIO DEL 2018  
 RECIBO N° 001-0546702

UNIVERSIDAD NACIONAL AGRARIA DE LA SELVA  
 LAB. ANALISIS DE SUELOS  
  
 Ing. Luis G. Mansilla Mboya  
 JEFE



**Figura 24.** Análisis de materia orgánica (wanunchasqa).



**UNIVERSIDAD NACIONAL AGRARIA DE LA SELVA**

TINGO MARIA

Facultad de Agronomía - Laboratorio de Análisis de Suelos

analisisdesuelosunas@hotmail.com



**ANÁLISIS DE SUELOS**

**SOLICITANTE:**

**PROYECTO ESTRATEGIAS TECNOLOGICAS PARA REDUCIR EL CONTENIDO DE CADMIO EN LAS ALMENDRAS DEL CULTIVO DE CACAO**

N°	COD. LAB.	DATOS DE LA MUESTRA			ANÁLISIS MECÁNICO			pH	M.O.	N	P	K	CIC	CAMBIABLES Cmol(+)/kg						CICe	% Bas. Camb.	% Ac. Camb.	% Sat. Al	
					Arena	Arcilla	Limo							Textura	Ca	Mg	K	Na	Al					H
		%	%	%	1:1	%	%	ppm	ppm															
32	M0290	M22	CACAO	PUMAHUASI	39.68	33.04	27.28	Franco Arcilloso	5.45	4.18	0.19	16.94	263.38	---	4.12	0.89	---	---	0.08	0.11	5.20	96.21	3.79	1.61
35	M0293	M25	CACAO	PUMAHUASI	53.68	29.04	17.28	Franco Arcillo Arenoso	4.08	4.78	0.21	5.96	181.42	---	1.39	0.38	---	---	3.26	0.77	5.81	30.52	69.48	56.18

MUESTREO POR EL SOLICITANTE

PROYECTO UNAS

FECHA : 12/05/2016

UNIVERSIDAD NACIONAL AGRARIA DE LA SELVA  
LAB. ANÁLISIS DE SUELOS

Ing. Luis G. Mansilla Mihaya  
JEFE



Figura 25. Análisis inicial de suelos.

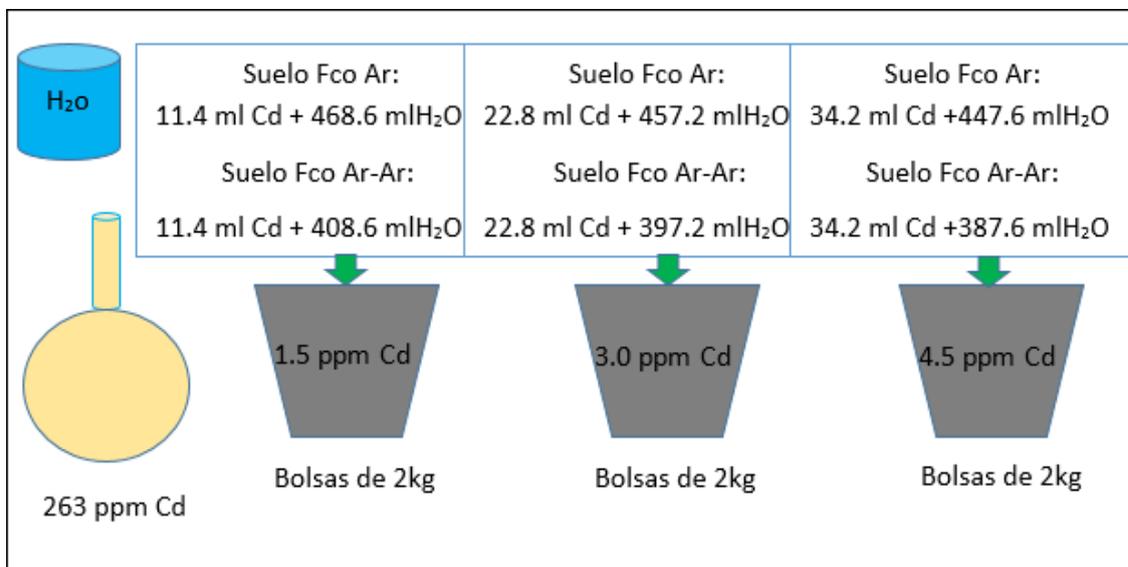
## Preparación de la solución de cadmio a partir del reactivo - MERCK

Calculo del reactivo a emplearse para preparar 250 ppm de Cd (patrón)		
Reactivo -MERCK	=	3CdSO <sub>4</sub> .8H <sub>2</sub> O
PM	=	769.51
peso de 3Cd	=	337.2
Concentración requerida (ppm)	=	250
Peso requerido de reactivo en mg para 1 L	=	570.51
Lectura EAA	=	263 ppm

Para preparar solución de 250 ppm Cd  
 3CdSO<sub>4</sub>.8H<sub>2</sub>O.....3Cd  
 769.51 mg..... 337.2 mg  
 X .....250 mg

se pesó **0.57051** gramos y enrasó a 1 L. Así se obtiene la solución de 250 ppm Cd

**Figura 26.** Preparación de la solución de cadmio.



**Figura 27.** Cálculos en (ml) para la contaminación con 1.5, 3.0 y 4.5 ppm de cadmio.

$C_1V_1=C_2V_2$ $(263)(v_1)=(1.5)(2000)$ $V_1=11.4\text{ml}$	$C_1V_1=C_2V_2$ $(263)(v_1)=(3.0)(2000)$ $V_1=22.8\text{ml}$	$C_1V_1=C_2V_2$ $(263)(v_1)=(4.5)(2000)$ $V_1=34.2\text{ml}$
--	--	--

**Figura 28.** Contaminación con 1.5, 3.0 y 4.5 ppm de cadmio a las bolsas de 2 kg.

Para C <sub>1</sub> : 30 Tn/ha		
30 000kg ----- 28x10 <sup>5</sup> kg		2000 g-----100%
X ----- 2 kg		21.43 g----- X
X=21.43 g M.O		X=1.071%
C <sub>1</sub> : 1978.57g suelo+21.43g M. O= 2 000 g		
Para C <sub>2</sub> : 60 Tn/ha		
60 000 kg ----- 28x10 <sup>5</sup> kg		2000 g-----100%
X ----- 2 kg		42.86 g ----- X
X=42.86 g M. orgánica		X=2.143%
C <sub>2</sub> : 1957.14g suelo+42.86g M. O= 2 000 g		
Para C <sub>3</sub> : 90 Tn/ha		
90 000 kg ----- 28x10 <sup>5</sup> kg		2000 g-----100%
X ----- 2 kg		64.29 g ----- X
X=64.29g g M. orgánica		X=3.21%
C <sub>3</sub> : 1935.71g suelo+64.29g M. O= 2 000 g		

**Figura 29.** Cálculo de la materia orgánica en gramos y porcentaje en base húmeda.



**Figura 30.** Muestras para determinar de Cd disponible en el suelo.



**Figura 31.** Muestras para determinar de Cd total en el suelo.



**Figura 32.** Agregando ácido nítrico a las muestras para la determinar Cd total en el suelo.



**Figura 33.** Calentando las muestras en la plancha para la determinación de Cd total en el suelo.



**Figura 34.** Filtrando las muestras de suelo para determinar Cd total en el suelo.



**Figura 35.** Muestras de hojas de plántones de cacao en crisoles en la mufla.



**Figura 36.** Agregando ácido clorhídrico a las muestras de tejido (hojas) de plántones de cacao.



**Figura 37.** Plántones de cacao con 1.07 % M.O contaminado con 1.5, 3.0 y 4.5 ppm Cd ( $3\text{CdSO}_4 \cdot 8\text{H}_2\text{O}$ ) en un suelo con 3.23 ppm de Cd total.



**Figura 38.** Plantones de cacao con 2.14 % M.O contaminado con 1.5, 3.0 y 4.5 ppm Cd ( $3\text{CdSO}_4 \cdot 8\text{H}_2\text{O}$ ) en un suelo con 3.23 ppm de Cd total.



**Figura 39.** Plantones de cacao con 3.21 % M.O contaminado con 1.5, 3.0 y 4.5 ppm Cd ( $3\text{CdSO}_4 \cdot 8\text{H}_2\text{O}$ ) en un suelo con 3.23 ppm de Cd total.



**Figura 40.** Plantones de cacao con 1.07 % M.O contaminado con 4.5 ppm Cd ( $3\text{CdSO}_4 \cdot 8\text{H}_2\text{O}$ ) en un suelo con 0.00 ppm Cd total.



**Figura 41.** Plantones de cacao con 0 % M.O contaminado con 1.5, 3.0 y 4.5 ppm Cd ( $3\text{CdSO}_4 \cdot 8\text{H}_2\text{O}$ ) en dos tipos de suelo residuales.