

**UNIVERSIDAD NACIONAL AGRARIA DE LA SELVA**  
**FACULTAD DE AGRONOMÍA**  
**ESCUELA PROFESIONAL DE AGRONOMÍA**



**EFFECTO DE LA ENMIENDA LIQUIDA ORGANICA AVIBIOL Y EL  
CARBON MONTY EN LA MITIGACION Y CONTROL DEL CD EN EL  
SUELO Y EN LAS ALMENDRAS DE CACAO.**

**Tesis**

**Para optar el título de:  
INGENIERO AGRÓNOMO**

**PRESENTADO POR:**

**DANIELLA NICOLE REPOMA RODRIGUEZ**

**ASESOR:**

**JOSE WILFREDO ZAVALA SOLORZANO**

**Tingo María – Perú.**

**2022**



UNIVERSIDAD NACIONAL AGRARIA DE LA SELVA  
Tingo María  
**FACULTAD DE AGRONOMÍA**



Av. Universitaria Km 1.5 Telf. (062) 562341 (062) 561136 Fax. (062) 561156 E.mail: fagro@unas.edu.pe

"Año de la Universalización de la Salud"

**ACTA DE SUSTENTACIÓN DE TESIS**

**N° 001-2022-FA-UNAS**

BACHILLER : Daniela Nicole Repoma Rodriguez

TÍTULO : Efecto de la enmienda líquida orgánica Avibiol y el carbón líquido Monty en la mitigación y control del cadmio en el suelo y en las almendras de cacao

JURADO CALIFICADOR

PRESIDENTE : Hugo Alfredo Huamani Yupanqui  
VOCAL : Luis Germán Mansilla Minaya  
VOCAL : Victorino Rivas Pulache  
ASESOR : Dr. José Wilfredo Zavala Solorzano

FECHA DE SUSTENTACIÓN : 21 de Enero del 2022

HORA DE SUSTENTACIÓN : 11.pm

LUGAR DE SUSTENTACIÓN : Virtual

CALIFICATIVO : Aprobado

RESULTADO : Bueno

OBSERVACIONES A LA TESIS : EN HOJA ADJUNTA

TINGO MARÍA, 21 de Enero de 2022

Dr. HUGO A. HUAMANI YUPANQUI  
PRESIDENTE

ING. LUIS G. MANSILLA MINAYA  
VOCAL

M.Sc. VICTORINO RIVAS PULACHE  
VOCAL

Dr. JOSÉ W. ZAVALA SOLÓRZANO  
ASESOR



**UNIVERSIDAD NACIONAL AGRARIA DE LA SELVA**  
**REPOSITORIO INSTITUCIONAL DIGITAL**  
(RIDUNAS)

Correo: [repositorio@unas.edu.pe](mailto:repositorio@unas.edu.pe)



“Año de la unidad, la paz y el desarrollo”

**CERTIFICADO DE SIMILITUD T.I. N° 061 - 2023 - CS-RIDUNAS**

El Coordinador de la Oficina de Repositorio Institucional Digital de la Universidad Nacional Agraria de la Selva, quien suscribe,

**CERTIFICA QUE:**

El trabajo de investigación; aprobó el proceso de revisión a través del software TURNITIN, evidenciándose en el informe de originalidad un índice de similitud no mayor del 25% (Art. 3° - Resolución N° 466-2019-CU-R-UNAS).

Facultad:


Facultad de Agronomía

Tipo de documento:

Tesis	X	Trabajo de investigación	
-------	---	--------------------------	--

TÍTULO	AUTOR	PORCENTAJE DE SIMILITUD
EFFECTO DE LA ENMIENDA LIQUIDA ORGANICA AVIBIOL Y EL CARBON MONTY EN LA MITIGACION Y CONTROL DEL CD EN EL SUELO Y EN LAS ALMENDRAS DE CACAO.	DANIELLA NICOLE REPOMA RODRIGUEZ	<b>17%</b> <b>Diecisiete</b>

Tingo María, 31 de marzo de 2023

  
**Mg. Ing. García Villegas, Christian**  
Coordinador del Repositorio Institucional  
Digital (RIDUNAS)

**UNIVERSIDAD NACIONAL AGRARIA DE LA SELVA**  
**FACULTAD DE AGRONOMÍA**  
**ESCUELA PROFESIONAL DE AGRONOMÍA**



**EFFECTO DE LA ENMIENDA LIQUIDA ORGANICA AVIBIOL Y EL  
CARBON MONTY EN LA MITIGACION Y CONTROL DEL CD EN EL  
SUELO Y EN LAS ALMENDRAS DE CACAO.**

Autor : Daniella Nicole Repoma Rodríguez

Asesor : Dr. José Wilfredo Zavala Solorzano

Programa de investigación : Suelos y fertilizantes

Línea (s) de investigación : Fertilidad, manejo y clasificación de suelos

Eje temático de investigación : Descontaminación de Cd en suelo y almendras de cacao

Lugar de Ejecución : Caserío Rio Espino, distrito Monzón, provincia, Huamalies,  
región Huánuco

Duración del trabajo : 12 meses

Financiamiento : S/ 5028.00

**Tingo María – Perú, 2023.**



# UNIVERSIDAD NACIONAL AGRARIA DE LA SELVA

## FACULTAD DE AGRONOMÍA

### ESCUELA PROFESIONAL DE AGRONOMÍA

## REGISTRO DE PROYECTO DE TESIS

Universidad	:	Universidad Nacional Agraria de la Selva
Facultad	:	Facultad de Agronomía
Título de Tesis	:	Efecto de la enmienda líquida orgánica Avibiol y el carbón líquido Monty en la mitigación y control del Cd en el suelo y en las almendras de cacao
Autor	:	Daniella Nicole Repoma Rodríguez
DNI	:	72289619
Correo electrónico	:	<a href="mailto:daniela.repoma@unas.edu.pe">daniela.repoma@unas.edu.pe</a>
Asesor	:	Dr. José Wilfredo Zavala Solorzano
Escuela Profesional	:	Agronomía
Programa de investigación	:	Suelos y fertilizantes
Línea (s) de investigación	:	Fertilidad, manejo y clasificación de suelos
Eje temático de investigación	:	Descontaminación de Cd en suelo y almendras de cacao
Lugar de Ejecución	:	Caserío Rio Espino, distrito Monzón, provincia, Huamalíes, región Huánuco
Duración del trabajo	:	12 meses
Fecha de Inicio	:	Agosto del 2020
Término	:	Agosto del 2021
Financiamiento	:	<b>S/ 5028.00</b>
FEDU	:	NO
Propio	:	SI
Otros	:	NO

**Tingo María – Perú, 2023.**

## **DEDICATORIA**

A Dios por su amor espiritual que me llenó de fuerzas y sabiduría para terminar mi carrera universitaria.

A mis padres, por ser el apoyo para cumplir con mis objetivos; que además me protegieron y aconsejaron, inculcándome los valores para forjarme como ciudadano.

A mis hermanos, por su apoyo incondicional, y amor fraternal en todo momento.

## **AGRADECIMIENTOS**

- A la Universidad Nacional Agraria de la Selva – Tingo María; en especial a los docentes de la Facultad de agronomía por transmitirme sus enseñanzas para mi formación profesional.
- A mi asesor Dr. José Wilfredo Zavala Solorzano por el apoyo en el desarrollo de la investigación.
- Al presidente de jurado Dr. Hugo Huamaní Yupanqui por su apoyo y consejos en la culminación de este trabajo de tesis profesional.
- A los miembros del jurado M. Sc. Victorino Rivas Pulache e Ing. Agr. Luis Mansilla Minaya, por sus sugerencias que mejoraron la presentación del informe de tesis.

## ÍNDICE GENERAL

	<b>Página</b>
RESUMEN	
ABSTRACT	
I. INTRODUCCION .....	1
II. REVISIÓN DE LITERATURA.....	3
2.1. Generalidades del cultivo de cacao.....	3
2.2. El cadmio .....	3
2.2.1. Características del cadmio .....	4
2.2.2. Procedencia del cadmio .....	4
2.2.3. Fuentes de contaminación de cadmio .....	4
2.2.4. Ingreso del Cd en la cadena trófica .....	5
2.2.5. Niveles de cadmio .....	5
2.2.6. Acumulación de metales en el suelo .....	6
2.2.7. Cadmio en cacao.....	6
2.3. Abonos orgánicos .....	6
2.4. Enmienda líquida orgánica .....	8
2.4.1. Avibiól.....	8
2.4.1.1. Composición mineral garantizada de Avibiól.....	8
2.4.1.2. Propiedades físicas y químicas .....	9
2.4.1.3. Trabajos de investigación en campo y laboratorio.....	10
2.4.1.4. Certificado orgánico del Avibiól. ....	10
2.4.2. Carbón Líquido Monty´s .....	10
2.5. Antecedentes del estudio .....	11
III. MATERIALES Y MÉTODOS .....	12
3.1. Campo experimental.....	12
3.1.1. Ubicación.....	12
3.1.2. Situación actual de la parcela experimental .....	12
3.2. Metodología de ejecución.....	12
3.2.1. Componentes en estudio.....	12
3.2.2. Tratamientos en estudio.....	13
3.2.3. Diseño Experimental .....	13
3.2.4. Elección, desmalezado y rotulación del campo experimental .....	14
3.2.5. Control de enfermedades .....	14



3.2.6.	Carquis de la parcela y unidad experimental.....	14
3.2.6.1.	Características de los bloques .....	15
3.2.6.2.	Características de las parcelas.....	15
3.2.6.3.	Características del experimento .....	16
3.2.7.	VARIABLES A EVALUAR .....	16
3.2.7.1.	Del suelo (Análisis de Cd total y disponible del suelo).....	16
3.2.7.2.	Cosecha para evaluar Cd en almendras de cacao.....	17
IV.	RESULTADOS Y DISCUSIÓN .....	18
4.1.	Análisis de Cd en suelo del cultivo de cacao.....	18
4.1.1.	Cadmio total .....	18
4.1.2.	Cadmio disponible.....	21
4.2.	Cadmio total en plantas del cultivo de cacao.....	27
4.2.1.	Cadmio en hojas .....	27
4.2.2.	Cadmio en almendras de cacao .....	32
V.	CONCLUSIÓN .....	37
VI.	RECOMENDACIONES .....	38
VII.	BIBLIOGRAFÍA .....	39
	ANEXO .....	44

## ÍNDICE DE TABLAS

Tablas	Página
1. Niveles máximo de Cd en chocolate y cacao.....	5
2. Nivel máximo de Cd que exige la Unión Europea (UE).....	5
3. Contenidos de niveles óptimos para abonos orgánicos en América Latina. ....	7
4. Contenido máximo permitido de metales pesados en fertilizantes orgánicos en la Unión Europea en comparación con los niveles permitidos en los Estados Unidos y Canadá en mg/kg de materia seca. ....	7
5. Descripción de los tratamientos en estudio.....	13
6. Análisis de varianza ( $\alpha=0.05$ ) para Cd total de suelo. ....	18
7. Prueba de Duncan ( $\alpha=0.05$ ) para Cd total en suelo por efecto de Avibiol, Monty's y Factores vs testigo (Media $\pm$ Error estándar). ....	19
8. Análisis de varianza ( $\alpha=0.05$ ) para Cd disponible de suelo.....	22
9. Prueba de Duncan ( $\alpha=0.05$ ) para interacción entre dosis de Avibiol con dosis de Monty's para Cd disponible en suelo (Media $\pm$ Error estándar).....	23
10. Prueba de Duncan ( $\alpha=0.05$ ) para interacción entre dosis de Monty's con dosis de Avibiol para Cd disponible en suelo (Media $\pm$ Error estándar). ....	25
11. Prueba de Duncan ( $\alpha=0.05$ ) para Cd disponible en suelo de cultivo de cacao (Media $\pm$ Error estándar). ....	26
12. Análisis de varianza ( $\alpha=0.05$ ) para Cd total en hojas del cultivo de cacao.....	27
13. Prueba de Duncan ( $\alpha=0,05$ ) para interacción entre dosis de Avibiol con dosis de Monty's para Cd total en hojas de cacao (Media $\pm$ Error estándar).....	28
14. Prueba de Duncan ( $\alpha=0,05$ ) para interacción entre dosis de Monty's con dosis de Avibiol para Cd total en hojas de cacao (Media $\pm$ Error estándar).....	30
15. Prueba de Duncan ( $\alpha=0.05$ ) para Cd total en hojas del cultivo de cacao (Media $\pm$ Error estándar).....	31
16. Análisis de varianza ( $\alpha=0.05$ ) para Cd total en almendras de cacao.....	32
17. Prueba de Duncan ( $\alpha=0.05$ ) para Cd total en almendras de cacao (Media $\pm$ Error estándar). ....	33
18. Prueba de Duncan ( $\alpha=0,05$ ) para Cd total en almendras de cacao por efecto de factores vs testigo (Media $\pm$ Error estándar). ....	34
19. Análisis de Cd en suelo y plantas del cultivo de cacao.....	45

## ÍNDICE DE FIGURAS

Figura	Páginas
1. Ubicación del campo experimental.....	12
2. Croquis de la parcela experimental.....	15
3. Croquis de una unidad experimental.....	15
4. Contenido de Cd total en suelo; a. Avibiol y Monty´s, b. Testigo vs Factores. ....	20
5. Contenido de Cd disponible en suelo por efecto de la interacción entre dosis de Avibiol con Monty´s .....	24
6. Contenido de Cd disponible en suelo por efecto de la interacción entre dosis de Avibiol con Monty´s .....	25
7. Contenido de Cd disponible en suelo.....	26
8. Contenido de Cd total en hojas de cacao por efecto de la interacción entre dosis de Avibiol con Monty´s .....	29
9. Contenido de Cd total en hojas de cacao por efecto de la interacción entre dosis de Monty´s con Avibiol. ....	30
10. Contenido de Cd total en hojas del cultivo de cacao .....	31
11. Contenido de Cd total en almendras de cacao .....	33
12. Contenido de Cd total en almendras de cacao por efecto de factores vs testigo.....	35
13. Contenido de Cd en diferentes formas del estudio.....	36
14. Cálculo de las dosis de las enmiendas orgánicas .....	46
15. Mezcla de las dosis de enmiendas orgánicas .....	46
16. Identificación de plantas a evaluar.....	47
17. Aplicación de enmiendas orgánicas .....	47
18. Muestreo de mazorcas de cacao.....	48
19. Muestreo de suelo. ....	48
20. Muestra de suelo, hojas y almendras de cacao.....	49

## RESUMEN

La presente tesis se desarrolló en la parcela perteneciente al Señor José Luis Cajahuanca Laurenta, ubicado en el Caserío Rio Espino, distrito de Monzón, Provincia de Huamalíes, región Huánuco. Los objetivos específicos fue determinar el efecto de la enmienda orgánica líquida Avibiol y Monty's, en diferentes dosis en la reducción del contenido de Cd total y disponible del suelo y Cd total en hojas y almendras de cacao clon CCN-51. El diseño experimental fue un diseño de bloques completamente al azar (DBCR) con un arreglo factorial de  $3 \times 3 + 1$  control adicional. Cada efecto de tratamiento estimado se sometió a análisis de varianza y se determinó la significación estadística usando la prueba de Duncan a un nivel de significancia de  $\alpha = 0.05$ .

Los resultados muestran indican que, para Cd total en suelo, se determinó el menor contenido con la aplicación de 50 L/ha de Avibiol (0.13 ppm) y la menor aplicación de Monty's fue a dosis de 4 L/ha con valore promedio de 0.12 ppm; los factores en estudio promovieron el menor resultados con valores promedio de 0.18 ppm, en cambio en el tratamiento testigo se obtuvo un valor promedio de 0.36 ppm; los factores en estudio disminuyen el contenido de Cd total del suelo en 50%. En cuanto al Cd disponible en suelo, se determinó que las combinaciones de 80 L/ha de Avibiol con 4 L/ha de Monty's se determinó el menor contenido de Cd con valor promedio de 0,024 ppm; el tratamiento testigo obtuvo un contenido promedio de 0,193 ppm de Cd y los factores en estudio un valor promedio de 0,051 ppm de Cd, es decir las enmiendas disminuye la absorción de Cd en 0,142 ppm que representa el 73,58%. Respecto al Cd total en hojas del cultivo de cacao, se determinó menor contenido de Cd con la aplicación de Avibiol y Monty's en dosis de 80 y 2 L/ha con valor promedio de 0,377 ppm, tratamiento testigo presenta valor promedio de 0,810 ppm y con la aplicación de los factores el valor de Cd fue 0,455 ppm, las cuales disminuyo en 0,355 ppm que representa el 43,83% y Finalmente el análisis de Cd total en almendras de cacao muestra menor contenido con la aplicación de 80 L/ha de Avibiol con valor promedio de 0,168 ppm y el tratamiento testigo muestra un valor promedio de 0,729 ppm y los factores un contenido promedio de 0,272 ppm, lo cual disminuyo 0,457 ppm de Cd y representa el 62,96%.

Palabras claves: enmiendas orgánicas, atenuación de Cd, Cacao CCN-51

## ABSTRACT

This thesis was developed on the plot belonging to Mr. José Luis Cajahuanca Laurenta, located in Caserío Rio Espino, Monzón district, Huamalíes Province, Huánuco region. The specific objectives were to determine the effect of the liquid organic amendment Avibiol and Monty's, in different doses, in the reduction of the total and available Cd content of the soil and total Cd in leaves and cocoa beans clone CCN-51. The experimental design was a completely randomized block design (DBCR) with a factorial arrangement of 3 x 3 + 1 additional control. Each estimated treatment effect was subjected to analysis of variance and statistical significance was determined using Duncan's test at a significance level of  $\alpha = 0.05$ .

The results show that, for total Cd in soil, the lowest content was determined with the application of 50 L/ha of Avibiol (0.13 ppm) and the lowest application of Monty's was at a dose of 4 L/ha with an average value. 0.12ppm; the factors under study promoted the lowest results with average values of 0.18 ppm, while in the control treatment an average value of 0.36 ppm was obtained; the factors under study decrease the total Cd content of the soil by 50%. Regarding the Cd available in the soil, it was determined that the combinations of 80 L/ha of Avibiol with 4 L/ha of Monty's had the lowest Cd content with an average value of 0.024 ppm; the control treatment obtained an average content of 0.193 ppm of Cd and the factors under study an average value of 0.051 ppm of Cd, that is, the amendments decrease the absorption of Cd by 0.142 ppm, which represents 73.58%. Regarding the total Cd in leaves of the cocoa crop, a lower Cd content was determined with the application of Avibiol and Monty's in doses of 80 and 2 L/ha with an average value of 0.377 ppm, control treatment presents an average value of 0.810 ppm and with the application of the factors, the Cd value was 0.455 ppm, which decreased by 0.355 ppm, which represents 43.83% and Finally, the analysis of total Cd in cocoa beans shows a lower content with the application of 80 L/ha. of Avibiol with an average value of 0.168 ppm and the control treatment shows an average value of 0.729 ppm and the factors an average content of 0.272 ppm, which decreased 0.457 ppm of Cd and represents 62.96%.

Keywords: organic amendments, cadmium Attenuation, Cocoa CCN-51

## I. INTRODUCCION

La producción de cacao orgánico enfrenta actualmente serios problemas debido a la alta concentración de metales pesados en los granos de cacao, digno del uso imprudente de fertilizantes sintéticos; los niveles promedio de Cd (Cd) y plomo (Pb) son 1.53 y 13.69 ppm correspondientemente (Huamaní et al., 2016); La producción de cacao de Perú está creciendo y participa en las exportaciones de cacao a la UE, por lo que en 2014 las exportaciones alcanzaron las 39.138 toneladas y en 2015 - 67.043 toneladas (MINAGRI, 2016). Las organizaciones y cooperativas agrícolas de la región están involucradas en la producción y comercialización del cacao invirtieron aprox. 3,000 toneladas en 2015: Asociación de Productores de Cacao del Alto Huallaga: 1,112 toneladas, Cooperativa Agroindustrial de Tocache: 1,052 toneladas, Naranjillo: Cooperativa Agrícola Industrial 344 Tm, Cooperativa Agraria Cafetalera la Divisoria 424 Tm, Cooperativa Agroindustrial Uchiza 50 Tm, Cooperativa Agraria Industrial Progreso 25 Tm (ADEX, 2015). Estos volúmenes de exportación sumaron aproximadamente un ingreso bruto de 33 millones de soles beneficiando a más de 6000 familias en esta parte del país.

Sin embargo, la Unión Europea aprobó recientemente el reglamento 488/2014, que establece nuevos límites máximos de Cd en chocolate y productos derivados del cacao, que entrará en vigor a partir de 2019; El límite superior del contenido es de 0,5 ppm. Esto planteó un gran problema porque el contenido promedio de Cd de los granos de cacao en la región de Tingo María fue de 1,53 ppm, en comparación con 0,53 ppm en el suelo (Huamaní et al., 2016); Si el contenido de Cd de la UE no se reduce para 2019, estos requisitos impedirán que el cacao se exporte a los principales países importadores europeos, como los Países Bajos, Alemania, Bélgica, España y Suiza, que reúnen a miles de pequeños productores de cacao en la actualidad. las organizaciones exportadoras (cooperativas y asociaciones) incurren en enormes pérdidas. En la producción orgánica de cacao en la zona de Tingo María, una de las principales entradas de Cd a los suelos sería a través uso de abonos o fertilizantes fosforados, nitrogenados, carbonatos, sulfatos, entre otras fuentes; por ello, su aplicación en la zona año a año en el cultivo de cacao estaría generando una acumulación de Cd en el suelo que, en el largo plazo, provocaría el deterioro del suelo y contaminación de los granos de cacao; por ello es necesario urgentemente generar tecnología que reduzcan la concentración del Cd en la solución suelo y en las almendras del cacao utilizando enmiendas orgánicas para reducir, mitigar y controlar la presencia del Cd en los suelos cacaoteros y en las almendras del cacao, mejorando la producción orgánica del cacao.

**Objetivo general**

Determinar el efecto de las enmiendas orgánicas líquida Avibiol, y el carbón líquido de Monty s, en la reducción y mitigación del metal pesado Cd en el suelo, y en las almendras del cacao CCN51.

**Objetivos específicos**

1. Determinar el efecto de la enmienda orgánica líquida Avibiol y Monty´s, en diferentes dosis en la reducción del contenido de Cd total y disponible del suelo
2. Determinar el efecto de la enmienda orgánica líquida Avibiol y Monty´s, en diferentes dosis en la reducción del contenido de Cd total en hojas de cacao clon CCN-51.
3. Determinar el efecto de la enmienda orgánica líquida Avibiol y Monty´s, en diferentes dosis en la reducción del contenido de Cd total en almendras de cacao clon CCN-51.



## II. REVISIÓN DE LITERATURA

### 2.1. Generalidades del cultivo de cacao

El cacao proviene del trópico húmedo de América y México y se conoce desde la llegada de los españoles en 1520. Según el rito, el árbol es de origen divino y del cielo cayeron las semillas (Theos en griego significa dios y comida alegre) (Asociación Nacional del Café. Cultivo de Cacao, 2004). Planta de 3 a 6 metros de altura, tallos ortogonales, extremos de las raíces delgados, hojas verdes, cicatrices foliares alrededor de las yemas axilares, sobre ramas o troncos maduros, superficie lisa, acanalada o amelonada, su color varía del verde al amarillo, etc. si la fruta contiene de 20 a 40 semillas y se usa como ingrediente en chocolate (Cerrón, 2012). El fruto es una baya grande (frasco), polimórfica, globosa a fusiforme, morada o amarilla en su madurez, de 10, 20 o 35 cm de largo, 7 cm de ancho, con un peso de 200 a 1000 g, con 5 a 10 surcos longitudinales. las semillas son de color marrón rojizo, ovoides, ligeramente comprimidas, de 20, 30 a 50 mm de largo, 12 a 16 mm de ancho y 7 a 12 mm de espesor (Arévalo et al., 2017). La temperatura a la que se cultiva el cacao es un factor muy importante en términos de desarrollo, floración y fructificación. La temperatura media anual en el Perú debe rondar los 23 °C a 32 °C y la precipitación óptima debe estar entre 1600 y 2500 mm por año. Se ha demostrado que más de 2600 mm de lluvia afectan los rendimientos de cacao en Perú. El cacao peruano crece mejor en los trópicos, desde el nivel del mar hasta los 800 metros sobre el nivel del mar, pero en latitudes más cercanas al ecuador, las plantaciones a menudo se establecen en altitudes más altas, de 1000 a 1400 metros sobre el nivel del mar. El requerimiento promedio anual de humedad relativa de los cultivos está entre 70% y 80%. Además, es adecuado para suelos aluviales, suelos arcillosos y suelos profundos, la raíz principal penetra fácilmente en la subcapa y la profundidad es suficiente. Además, debe buscar suelos negros con menos lixiviación. (Ministerio de Agricultura, 2003). Las principales regiones productoras del Perú son: Jaén, Bagua, Alto Huaraga, Centro Huaraga, Satipo, Valle de Apurímac y La Convención. Entre las áreas potenciales se pueden mencionar las áreas de Pichis y del Palcazú (Cerrón, 2012).

### 2.2. El cadmio

Es relativamente menos comúnmente asociado con el zinc en la naturaleza. Es de color blanco ligeramente azulino. No se presenta en momento libre en el ambiente, la clorita (sulfuro de Cd) es el excelente sólido de Cd (Huamán, 2019). Es una toxina que afecta la contaminación ambiental e industrial, así como a los humanos al causar cambios en los niveles enzimáticos, renales, respiratorios y digestivos y tiene una vida media muy larga. El Cd (Cd,

número atómico 48, peso atómico 111,40) se obtiene del sulfuro de Cd como subproducto del procesamiento metalúrgico de zinc y plomo; el proceso produce óxido de Cd, un compuesto altamente tóxico. No solo contamina el medio ambiente por su fundición y refinación, sino que también crea contaminación debido a sus muchos usos industriales (Ramírez, 2002).

### **2.2.1. Características del cadmio**

Tiene relativamente pocas asociaciones con el zinc en la naturaleza Cd azul y blanco. Masa atómica 112, densidad relativa 8. Hay 8 isótopos estables y 11 isótopos radiactivos artificialmente inestables (Peris, 2006; Zamora et al., 2008). No se encuentra en forma libre en la naturaleza, el clorito (sulfuro de Cd) es el único mineral de Cd (Eurachem, 2014). Las principales fuentes de exposición al Cd para la mayoría de los organismos son los alimentos y el agua (Wasson et al., 2005), y las pequeñas partículas de Cd se absorben a través del tracto respiratorio, especialmente entre las personas que trabajan en la industria del Cd y están expuestas al humo del tabaco (Hernández, 2011). Los animales tienen un espectro de absorción muy diferente, pero menor que el de los humanos. Las especies herbívoras tenían la mayor acumulación de Cd, ya que los alimentos ricos en fibra como los cereales, las verduras y las papas aumentan la exposición al Cd (Dickson, 2013).

### **2.2.2. Procedencia del cadmio**

El Cd fue descubierto en Alemania en 1817 por Friedrich Stromeyer como una impureza del carbonato de zinc (Ramírez, 2002). Las emisiones de Cd al medio ambiente provienen principalmente de actividades mecánicas, explotación mineral, industria, fabricación y uso de abonos fosfatados e quema de residuos municipales. A pesar de sus muchas industrias, su uso ha disminuido en las últimas décadas debido a los peligros para la salud. La exhibición al Cd se origina principalmente a través de la dieta, seguida de la inhalación de aerosoles de compuestos de Cd. (Sánchez, 2016).

### **2.2.3. Fuentes de contaminación de cadmio**

El contagio circunstancial con Cd ha aumentado debido al ampliación de la acción mecánica a finales del siglo XX y principios del XXI, que ha contaminado las biósferas (Pinto et al., 2004). Entre los elementos antropogénicos responsables del contagio por Cd se encuentran: las emisiones atmosféricas de los yacimientos metálicos de las que se extrae el Cd como Pb, Zn, Cu y otros metales (McLaughlin y Singh, 1999); La principal comienzo de

contaminación por Cd es la agricultura. Otro nacimiento de Cd son los lodos de aguas secundarios agrícolas (Alloway y Steiness, 1999).

#### 2.2.4. Ingreso del Cd en la cadena trófica

Químicamente el Cd se puede diluir en las aguas subyacentes, puede ser impregnado por facetas orgánicas e inorgánicas, como minerales y además precipitarse con otros agregados del suelo o unirse a estructuras biológicas. No obstante, la biodisponibilidad del Cd para las plantas depende de factores físicos, químicos y biológicos. El pH, potencial redox, temperatura, arcillas M.O y agua es uno de los principales factores del suelo (Christensen y Haung, 1999). Asimismo, Cardenas (2012) los cultivos absorben Cd del principalmente por el factor acides del suelo, además, de la temperatura del suelo y velocidad de reacción, más rápida, mayor solubilidad, más unión, menos absorción de Cd, más humus, más CEC, por lo que menos Cd en solución, menos absorción.

#### 2.2.5. Niveles de cadmio

El 1 de enero de 2019, la UE (Unión Europea) afirmó la ordenanza 488/2014, donde se establece el contenido máximo de Cd en el chocolate y el cacao en polvo para salvaguardar la salud pública. El límite máximo es de 0,80 mg/kg para el chocolate y de 0,60 mg/kg para el consumo de cacao en polvo.

**Tabla 1.** Niveles máximos de Cd en chocolate y cacao.

Producto	Porcentaje	mg.kg-1
Cacao con leche (Materia seca)	< 30%	0.1
Chocolate (Materia seca)	< 50 %	0.3
Chocolate (Materia deca)	≥ 50 %	0.8
Cacao en polvo		0.6

Fuente: Reglamento UE de la Comisión No. 488 / 2014 que modifica el Reglamento CE N°. 1881/2006 La Unión

**Tabla 2.** Nivel máximo de Cd que exige la Unión Europea (UE).

Productos específicos de caco y chocolate	Nivel de Cd
Chocolate con leche (Materia seca)	0.10 a partir del 1 de enero del 2019
Chocolate (Materia seca)	0.30 a partir del 1 de enero del 2019
Chocolate (Materia seca)	0.80 a partir del 1 de enero del 2019
Cacao en polvo (Materia seca)	0.60 a partir del 1 de enero del 2019

Fuente: Reglamento UE de la Comisión No. 488 / 2014 que modifica el Reglamento CE N°. 1881/2006 La Unión

### **2.2.6. Acumulación de metales en el suelo**

Es disuelto en la absorción en el suelo y fijado por procesos de adsorción, complejación o precipitación; las plantas lo absorben y esto contamina a al hombre y animales. Se evaporan a la atmósfera; dependerá del manejo del suelo y el tipo de fertilización (García y Dorronsoro, 2001, citado por Ortega et al., 2007).

### **2.2.7. Cadmio en cacao**

Desde hace más de una década, el Instituto Ecuatoriano de Agricultura ha estudiado la presencia de metales pesados en suelo agrícola, agua y cultivos de exportación, especialmente cacao. El estudio se realizó en miles de muestras de suelo, tejido vegetal de cacao y agua. Al respecto, se ha establecido que el orden de acumulación de este elemento en los tejidos del cacao es el siguiente: raíz, tallo, hoja, cáscara o cubierta de la semilla y grano de cacao. Esto significa que los granos de cacao tienen los niveles más bajos de Cd en comparación con otros tejidos vegetales (Mite, 2013). Los niveles de Cd en los granos de cacao pueden variar mucho entre regiones, países e incluso regiones dentro del mismo país. La región con los niveles más bajos de Cd en el cacao fue África Occidental, pero los granos de cacao de otras regiones, como América del Sur, contenían niveles más altos de Cd. Los altos niveles de Cd en estos países pueden deberse a la presencia de Cd en el suelo, el uso de fertilizantes artificiales u otras actividades industriales como la minería o la contaminación ambiental (Codex Alimentarius, 2015). Si el tipo de suelo tiene un efecto significativo en la absorción de Cd por las plantas de cacao. Según Huamani et al (2012). En este estudio, se realizó un estudio de analogía de Pearson entre el Cd disponible en el suelo y algunas variables de la hoja y se encontró una correlación positiva significativa ( $P < 0.05$ ) entre el Cd total en el tejido de la hoja y el Cd total en el suelo.

## **2.3. Abonos orgánicos**

Se considera fertilizante orgánico a cualquier material de origen animal o vegetal utilizado especialmente para mejorar las propiedades del suelo como principio de vida y nutrientes. Entre los fertilizantes orgánicos, el compost, el bokashi y el vermicompost son los más conocidos, pero también se utilizan mucho el estiércol de pollo y otros residuos vegetales frescos como el cacao y los pozos de café. (Soto, 2004). Los principales abonos o fertilizantes utilizados en la obtención orgánica de cacao en la zona de Tingo María son los siguientes: compost locales (wanunchasca y tropimax), dolomita, magnocal, guano de isla, sulpomag, roca fosfórica, ulexita, sulfato de cobre, sulfato de hierro, sulfato de zinc, sulfato de potasio, mallqui, cal apagada y gallinaza, Cooperativa Agraria Industrial Naranjillo (2013).

**Contenido total de nutrientes.** Se han determinado niveles mínimos de calidad del fertilizante (Cuadro 3). Sin embargo, se necesitan más detalles, indicando el tipo de proceso (compostaje, bokashi, vermicompostaje) y el tipo de residuo utilizado.

**Relación carbono nitrógeno.** Se considera que el compost maduro tiene una proporción de < 20-25 (Canadian Composting Standards, 2003). Se debe tener cuidado con este parámetro, ya que algunas materias primas no compostadas, como las hojuelas de cáscara de café, pueden tener proporciones C: N similares. Este parámetro debe utilizarse como indicador junto con otras variables de madurez.

**Contenido de metales pesados.** El contenido de metal es una de las mayores preocupaciones en los países desarrollados. Esto se debe en gran parte al hecho de que muchas compostas están hechas de lodos domésticos o biosólidos que tienen un alto contenido de metales pesados. El compost, que se produce principalmente a partir de residuos vegetales, no tiene un riesgo de contaminación tan elevado. Los niveles permitidos están sujetos a revisiones frecuentes de un estado a otro y pueden variar ampliamente de un estado a otro. Es importante consultar la información más reciente y, si desea exportar fertilizantes a estos países, debe conocer la legislación específica que se indica en esta tabla.

**Tabla 3.** Contenidos de niveles óptimos para abonos orgánicos en América Latina.

Número	Característica	Nivel óptimo
1	% de nitrógeno	>2
2	% de fósforo	0.15 – 1.5
3	CICe (meq/100g)	75 - 100
4	C:N	<20
5	Humedad (%)	<40
6	Color	Negro
7	Olor	Tierra

Fuente: Soto (2004)

**Tabla 4.** Contenido máximo permitido de metales pesados en fertilizantes orgánicos en la Unión Europea en comparación con los niveles permitidos en los Estados Unidos y Canadá en mg/kg de materia seca.

Id.	Metal	Rango de la Unión	Estados Unidos	Canadá
		Europea(Z)	(biosólidos)(Y)	(g/g)(X)
1	Cd	0.7 – 1.0	39	310
2	Cromo	70 - 200	1200	50
3	Cobre	70 - 600	1500	-
4	Mercurio	0.7 - 10	17	0.15
5	Níquel	20 - 200	420	60
6	Plomo	70 - 1000	300	150
7	Zinc	210 - 4000	2800	500

Fuente: \* (Z) BRINTON (2000) \* (Y) HENRY (1991) \* (X) GIES (1992).

## 2.4. Enmienda líquida orgánica

### 2.4.1. Avibiol

Es un producto de la fermentación anaeróbica del estiércol de gallinas ponedoras, si considerando la aplicación de Avibiol 200 o 500 L/ha, la población microbiana se forma en el suelo luego de la aplicación de Avibiol, la población biológica utilizada en campo será: Actinomicetos:  $1,5 \times 10^4$  u.f.c./mL recuento de bacterias totales:  $3,8 \times 10^4$  u.f.c./ml hongos: 3,3 esparcidores/mL actinomicetos:  $3 \times 10^6$  / ha o  $7,5 \times 10^6$  / ha bacterias totales:  $7,6 \times 10^9$  / ha 1 / 6/5 soldado americano. ha o  $1,7 \times 10^6$ /ha. ABIBIOL (2017). Los resultados de los ensayos con AVIBIOL en varios cultivos demostraron que el producto estimula significativamente el crecimiento de las raíces de las plantas, cuyo efecto se cuantificó mediante la colocación de cubos. Por otro lado, afecta el peso de las raíces creadas en un cubo colocado entre dos vides para evaluar el efecto de la enmienda Avibiol Organic en el crecimiento de las raíces de las plantas.

#### 2.4.1.1. Composición mineral garantizada de Avibiol

##### - Macro elementos

- Nitrógeno : 5000 ppm
- Fósforo : 100 ppm
- Potasio : 10000 ppm
- Calcio : 100 ppm
- Azufre : 100 ppm
- Magnesio : 100 ppm

##### - Micro elementos

- Hierro : 100 ppm
- Manganesio : 200 ppm

- Zinc : 100 ppm
- Cobre : 10 ppm
- Boro : 100 ppm
- **Materia orgánica**
  - M. O. total : 7% a 14%
  - Ácidos húmicos : 0.3% a 1%
  - Ácidos fúlvicos : 0.13% a 2.63%
  - Extracto húmico total : 0.4% a 0.54%
- **Hormonas vegetales**
  - Ácido giberélico : 26.12 ppm
  - Acido indolacético: 21.5 ppm
  - Kinetina : 18.66 ppm
- **Carga microbiana**
  - Actinomycetes
  - Bacillus thuringiensis
  - Bacillus thuringiensis kurstaki
  - Brevibacillus invocatus
  - Solibacillus silvestris

#### 2.4.1.2. Propiedades físicas y químicas

- **Ácidos orgánicos**
  - Ácidos carboxílicos : 2.86%
  - pH : 7.4 a 8.4
  - Altamente soluble en agua
- **Descripción del producto**
  - Incrementa el crecimiento de la masa radicular
  - Alta carga microbiana
  - Estimula la división celular
  - Induce la germinación de semillas
- **Dosis de aplicación**
  - Suelos
    - Hortalizas y cultivos anuales
    - 120 a 200 lt/ha
    - Frutales 300 a 400 lt/ha



- Foloar
  - 5 a 10 lt/200 lt. (DPTO técnico AVIBIL SAC, 2019)

#### **2.4.1.3. Trabajos de investigación en campo y laboratorio.**

En experimentos realizados en diferentes regiones del Perú, se puede estudiar el efecto de AVIBIOL en el desarrollo de raíces utilizando cubos y placas de vidrio (rizotrones) colocados en el suelo a distancias predeterminadas del tallo en estos puntos estratégicos. Efectos de aguacate, mango, uva, caña de azúcar, etc. Estos cambios ecológicos triplicaron la masa de raíces de las plantas tratadas en algunos casos. La validez científica de este hallazgo está respaldada por la presencia de sustancias orgánicas que pueden ser precursoras de fitohormonas y el posible papel de los metabolitos bacterianos de AVIBIOL en la reproducción de la rizosfera, ampliamente documentado en la literatura científica internacional AVIBIOL (2017).

#### **2.4.1.4. Certificado orgánico del Avibiol.**

Producto: AVIBIOL Control Unión Perú S.A.C. de acuerdo con su procedimiento correspondiente, confirma que el producto anterior puede ser utilizado en agricultura orgánica de acuerdo a la norma: Criterios estándar condiciones de uso Programa Nacional de Agricultura Orgánica del Departamento de Fertilizantes No uso nacional 205, 203 estados líquidos (NOP-USDA) Las Normas Agrícolas Japonesas (JAS) se aplican a los cultivos orgánicos. Por lo tanto, se puede considerar la certificación de su uso en la producción orgánica de acuerdo con los requisitos de las normas antes mencionadas. Cabe señalar que este documento no reemplaza el registro del producto en las autoridades del país donde será vendido. La empresa responsable de la venta del producto está obligada a realizar los trámites legales oportunos para su registro oficial.

#### **2.4.2. Carbón Líquido Monty's**

La clave para maximizar su área de tierra. Diseñadas para reducir la compactación del suelo y mejorar la salud general del suelo, las enmiendas del suelo son fáciles de aplicar durante todo el año, especialmente si se usan químicamente o se queman. El carbón líquido mejora la absorción de micronutrientes y la descomposición de los residuos vegetales. Mejore la salud y la vitalidad de su suelo y maximice sus rendimientos con Montys Liquid Carbón (MLC) el cual brinda los siguientes beneficios: Reduce la compactación del suelo, de fácil aplicación durante la quema, mejora la captación de micronutrientes, así como la

descomposición de los residuos vegetales y flexibilidad de mezcla de tanque para uso durante todo el año (MONTY'S PLANT & SOIL PRODUCTS).

Según Dionisio (2020) Monty's Liquid Carbon es un acondicionador de suelo líquido con un alto contenido de humus activo (100x) (HUMIGIN) que agrega carbono y materia orgánica al suelo. No contiene NPK ni oligoelementos.

Ingredientes activos:

- Carbón orgánico : 2%
- Ácido húmico : 4%
- pH : 9.5-10.5

Monty's Liquid Charcoal es un acondicionador de suelo diseñado para reducir la compactación del suelo y mejorar la salud general del suelo. Fácil de usar durante todo el año, especialmente antes de usar productos químicos y durante la combustión. Favorece la absorción de micronutrientes y la descomposición de residuos vegetales. Mejore la salud y la vitalidad de su suelo. Monty's es 100% natural derivado de elementos y es completamente seguro y no tóxico para uso en todas las aplicaciones comerciales agrícola (Monty's, 2022).

## 2.5. Antecedentes del estudio

Se estudió el "Efecto de productos biodegradables aplicados al suelo sobre la acumulación de Cd en cacao (*Theobroma cacao* L.)" en Lima (Perú). Se probaron dos dosis de los siguientes productos: Avibiol (120 L. ha<sup>-1</sup> y 240 L. ha<sup>-1</sup>), Monty's Liquid Carbon (8 L.ha<sup>-1</sup> y 16 L.ha<sup>-1</sup>). Se encontraron los siguientes resultados, mostrando que, a diferencia del control, el peso seco de las raíces finas activas aumentó significativamente debido a la exposición a todos los productos aplicados en dosis más altas; El uso del producto también contribuyó a la productividad con diferencias significativas en el rendimiento de la almendra. En cuanto a la extracción de Cd, no se encontraron diferencias significativas en las evaluaciones, pero existe una tendencia a que la concentración de Cd en el cacao disminuya al utilizar los productos ensayados. (Dionisio, 2020).

### III. MATERIALES Y MÉTODOS

#### 3.1. Campo experimental

##### 3.1.1. Ubicación

Esta tesis fue desarrollada en un terreno por el Sr. José Luis Cajahuanca Laurenta, ubicada en Caserío Río Espino, Distrito de Monzón, Departamento de Huamalés, Región de Huánuco, Coordenadas UTM: 369424 m este, 8980062 m norte, 807 m.s.n.m.



**Figura 1.** Ubicación del campo experimental.

##### 3.1.2. Situación actual de la parcela experimental

El ensayo se ejecutó en una plantación de cacao clon CCN-51 de cinco (5) años. Anteriormente se había cultivado cacao en dichas tierras, lo que provocó su degradación, pero dichas plantaciones de cacao ahora están certificadas como orgánicas; la producción anual es de aproximadamente 500 kg/ha. El nivel primero de Cd en los granos de cacao fue de 3,55 ppm; muy por arriba del nivel máximo permitido de 0.50 ppm (Más y Azcue, 1993 citado por García y Dorronsoro, 2002).

#### 3.2. Metodología de ejecución

##### 3.2.1. Componentes en estudio

**Factor A** = fuentes de materia orgánica (Avibiol)

- a<sub>1</sub> = 50 L/ha Avibiol
- a<sub>2</sub> = 80 L/ha Avibiol
- a<sub>3</sub> = 100 L/ha Avibiol

**Factor B** = Carbón líquido (Monty´s)

- b<sub>1</sub> = 2 L/ha Monty´s
- b<sub>2</sub> = 4 L/ha Monty´s
- b<sub>3</sub> = 6 L/ha Monty´s

### 3.2.2. Tratamientos en estudio

La descripción de los tratamientos en estudio se presenta en la Tabla 5

**Tabla 5.** Descripción de los tratamientos en estudio

Tratamiento		Descripción de tratamientos en estudio			
Nº	Clave	Enmienda líquida orgánica	Carbón Líquido	Dosis (L/ha)	Dosis (L/ha)
T <sub>1</sub>	a <sub>1</sub> b <sub>1</sub>	AVIBIOL	Monty´s	50	2
T <sub>2</sub>	a <sub>1</sub> b <sub>2</sub>	AVIBIOL	Monty´s	50	4
T <sub>3</sub>	a <sub>1</sub> b <sub>3</sub>	AVIBIOL	Monty´s	50	6
T <sub>4</sub>	a <sub>2</sub> b <sub>1</sub>	AVIBIOL	Monty´s	80	2
T <sub>5</sub>	a <sub>2</sub> b <sub>2</sub>	AVIBIOL	Monty´s	80	4
T <sub>6</sub>	a <sub>2</sub> b <sub>3</sub>	AVIBIOL	Monty´s	80	6
T <sub>7</sub>	a <sub>3</sub> b <sub>1</sub>	AVIBIOL	Monty´s	100	2
T <sub>8</sub>	a <sub>3</sub> b <sub>2</sub>	AVIBIOL	Monty´s	100	4
T <sub>9</sub>	a <sub>3</sub> b <sub>3</sub>	AVIBIOL	Monty´s	100	6
T <sub>10</sub>	Testigo	-----	-----	-----	-----

### 3.2.3. Diseño Experimental

El diseño práctica manejado en este trabajo fue un diseño de bloques completamente al azar (DBCR) con un arreglo de factor de control adicional de 3 x 3. Se realizó ANOVA sobre las características evaluadas para cada tratamiento, y se determinó la trascendencia estadística mediante la prueba de Duncan al nivel de significación  $\alpha=0.05$ .

$$Y_{ijkl} = U + A_i + B_j + (AB)_{ij} + Y_k + E_{ijkl}$$

Donde:

$$Y_{ijkl} = \text{Respuesta del } i\text{-ésimo nivel del factor A, } j\text{-ésimo nivel del}$$

		factor B, k-ésimo nivel del factor C, l-ésima repetición.
U	=	Efecto de la media general
A <sub>i</sub>	=	Efecto de la i-ésimo nivel del factor A.
B <sub>j</sub>	=	Efecto de la j-ésimo nivel del factor B
(AB) <sub>ij</sub>	=	Efecto de la interacción en el i-ésimo nivel del factor A, j-ésimo nivel del factor B
Y <sub>k</sub>	=	efecto de la k-ésima repetición
E <sub>ijkl</sub>	=	Efecto aleatorio del error experimental en el i-ésimo nivel del factor A, j-ésimo nivel del factor B, el k-ésimo nivel del factor C, l-ésima repetición

Para:

i = 1, 2 enmiendas orgánicas

j = 1, 2, 3 Niveles

k = 1 testigo

#### **3.2.4. Elección, desmalezado y rotulación del campo experimental**

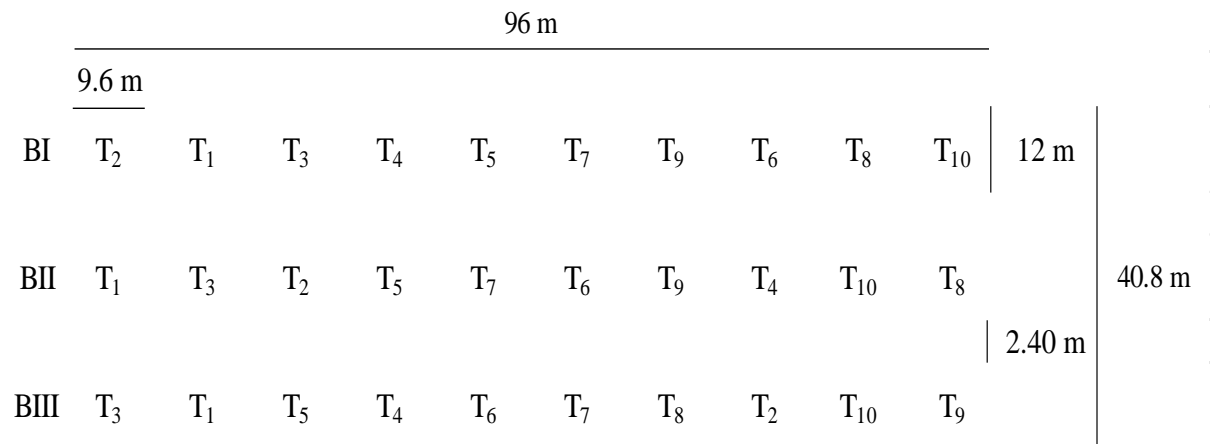
El terreno en el área de prueba es inclinado con una pendiente de aprox. 2 %, y producido por la planta de cacao clon CCN-51; el deshierbe se realiza de forma manual (machete) y mecánica (hoz eléctrica); También se utiliza agua coloreada en las cintas de la etiqueta del tratamiento: rojo, morado, violeta, azul claro, amarillo, rosa y blanco para distinguir mejor el tratamiento en investigación.

#### **3.2.5. Control de enfermedades**

El control de enfermedades se lleva a cabo mediante métodos culturales (poda, recolección de frutas enfermas y otras).

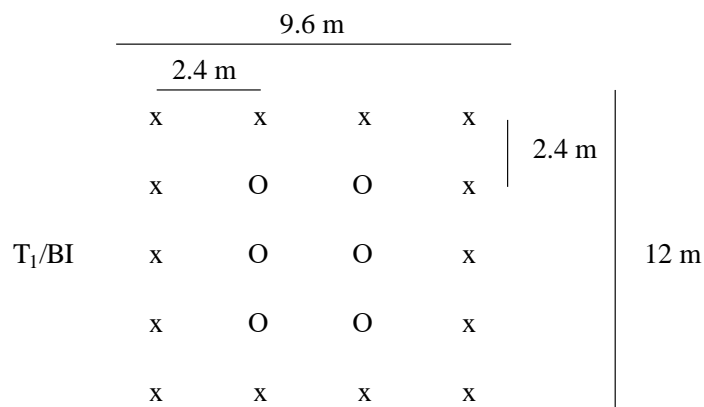
#### **3.2.6. Carquis de la parcela y unidad experimental**

En la Figura 2, se observa la distribución de los tratamientos en forma aleatoria en cada bloque.



**Figura 2.** Croquis de la parcela experimental

En la Figura 3, se muestra el croquis de una unidad experimental, las cuales estaba conformado por 20 plantas de las cuales se evaluaron 6 plantas del centro.



**Figura 3.** Croquis de una unidad experimental

### 3.2.6.1. Características de los bloques

- Número de bloques : 3
- Largo de bloques : 96 m
- Ancho de bloques : 12 m
- Espacio entre bloques : 2.4 m
- Área de bloques : 1152 m<sup>2</sup>

### 3.2.6.2. Características de las parcelas

- Número total de u. e : 30
- Número de u. e/bloque : 10
- Número de plantas/u. e : 20

- Número de plantas evaluadas/u.e : 6
- Largo de u.e : 9.6 m
- Ancho de la u.e : 12 m
- Área de la u.e : 115.2m<sup>2</sup>

### **3.2.6.3. Características del experimento**

- Número total de plantas : 600
- Número total de plantas a evaluar : 180
- Largo del experimento : 96 m
- Ancho del experimento : 40.8 m
- Área del experimento : 3916.8 m<sup>2</sup>

### **3.2.7. Variables a evaluar**

#### **3.2.7.1. Del suelo (Análisis de Cd total y disponible del suelo)**

Se recolectaron muestras de suelo en forma de zigzag del área entre dos (2) hileras de plantas en una parcela de malla a una profundidad de 0 a 20 cm, y se tomaron ocho (8) submuestras por cada unidad experimental, rindiendo 800 gramos del suelo; para este fin se utilizaron tubos de suelo y bolsas de plástico; luego las muestras fueron secadas a la sombra, luego etiquetadas y enviadas al Laboratorio de Análisis de Suelos de la Universidad Nacional Agraria de Selva para sus respectivos análisis:

##### **a) Procedimiento para Cd total del suelo**

- Pesar una muestra de suelo de 2 g y colocarla en un crisol definido.
- Colocar el crisol en un horno a 105°C durante 24 horas.
- Sacar la muestra del horno y pesarla.
- Colocar el crisol en la boca y mantener a 450°C durante 8 horas.
- Apagar la máquina y dejar enfriar antes de retirar el crisol.
- Mojar la muestra calentada con agua destilada.
- Añadir lentamente 2 ml de ácido clorhídrico concentrado.
- Coloque el crisol en una plancha eléctrica y caliente lentamente hasta que desaparezca el HCl.
- Añadir 2 ml de agua destilada y 2 ml de ácido clorhídrico concentrado.
- Calentar lentamente hasta que se seque el líquido agregado.
- Añadir 2ml de ácido clorhídrico concentrado y calentar lentamente hasta su completa disolución.



- Decantar el contenido del crisol con agua hirviendo, filtrar en una botella de 100 ml. Más información sobre la espectrometría de absorción atómica.

**b) Procedimiento para Cd disponible del suelo**

Se realizó por el método planteado por Weterman (1990); consistió:

- Pesar 5 g de compost y verterlo en un vaso.
- Luego agregar 20 ml de solución de extracción (EDTA 0.05M; pH7).
- Agitar continuamente durante 15 minutos.
- Filtrar a través de papel filtro No. 40. EAA (lámpara de Cd 228,8 nm; celda 0,5 nm; muestra Cd).

**3.2.7.2. Cosecha para evaluar Cd en almendras de cacao**

Cosechar espigas maduras de seis (6) plantas centrales (en parcelas cuadrículadas) por unidad experimental; utilice un pequeño machete desafilado para extraer las amígdalas; también requiere aprox. 100 muestras para análisis de laboratorio por cada unidad experimental gramo de almendras frescas; es el resultado de una mezcla homogénea de todas las almendras recolectadas de 6 plantas; las muestras de campo se codifican mediante procesamiento y bloqueo. Las muestras de cacao no se fermentan y se secan a la luz directa del sol con bolas de energía con una humedad máxima de aprox. 7 %. El método húmedo se utiliza para el análisis de Cd total, según Bazán (1993), excluyendo la testa de la semilla, mediante el siguiente protocolo:

- Pesar 0.5 g de tejido vegetal en un matraz resistente al calor de 50 ml.
- Añadir 5 ml de solución de nitrato perclórico (5:1). - Encienda la estufa eléctrica y aumente gradualmente la temperatura a 175 °C.
- Digerir en 1 hora y 30 minutos. La solución se vuelve clara.
- Retirar el vial y añadir 15 ml de NHCl 0.1. Agite la botella para disolver la ceniza y filtre la solución.
- Leer en EAA.

## IV. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

### 4.1. Análisis de Cd en suelo del cultivo de cacao

#### 4.1.1. Cadmio total

El análisis de varianza ( $\alpha=0,05$ ), para Cd total del suelo de cultivo de cacao a consecuencia de dosis de Avibiol (Enmienda Organza Liquida) y Monty's (Carbón Liquido) más un testigo adicional (Tabla 6), se observa que no hay discrepancias estadísticas en la interacción de los factoriales, debido que el valor de probabilidad es mayor al planteado ( $p>0,05$ ), no obstante se observa discrepancias estadísticas en los factores individualmente debido que el valor de probabilidad es menor al planteado ( $p<0,05$ ), es decir, al menos una dosis de Avibiol y Monty's será diferente estadísticamente; por otro lado, también se observa diferencias estadísticas entre los factores vs el testigo adicional, debido que, el valor de probabilidad también es menor al planteado ( $p<0,05$ ). El coeficiente de variación (C.V) es 21.02%. Pimentel (1985) es citado por Gordón y Camargo (2015) 10-20% medio, 20-30% alto, más del 30% muy alto, considerando la referencia, el C.V está considerado como dispersión alta de los datos evaluados, significa que el contenido de Cd en suelo, no se distribuye de forma normal en el suelo. El coeficiente de determinación ( $R^2$ ) fue 0.86, significa que el 86% de los resultados depende de los factores en estudio y el 14% dependen de otros factores como ambientales, según Martínez (2005) el coeficiente de determinación es el porcentaje de variación total de las variables respecto a su media.

**Tabla 6.** Análisis de varianza ( $\alpha=0.05$ ) para Cd total de suelo.

<b>Fuente de variación</b>	<b>G.L</b>	<b>S.C</b>	<b>C.M</b>	<b>F</b>	<b>p-valor</b>
Bloques	2	0,0009	0,0005	0,2782	0,7603
Avibiol (A)	2	0,0400	0,0200	11,7647	0,0005
Monty's (B)	2	0,0400	0,0200	11,7647	0,0005
AxB	4	0,0100	0,0030	1,7647	0,1800
Factores vs Testigo	1	0,0868	0,0868	51,8818	<0,0001
Error experimental	18	0,0300	0,0017		
Total	29	0,2130			
C.V	21.02				
$R^2$	0.86				

Analizamos la comparación de medias de los factores que presentan significancia en el análisis general, a través de la prueba de Duncan ( $\alpha=0,05$ ) con la finalidad de conocer la dosis de enmiendas que disminuye el contenido de Cd total en suelo (Tabla 7), respecto a la aplicación de Avibiol, se observa menor contenido de Cd total en suelo a dosis de

50 y 100 L/ha, con valores promedios de 0,13 y 0,17 ppm y error estándar de  $\pm 0,01$  ppm, estas dosis son iguales estadísticamente pero diferentes a las dosis de 80 L/ha, debido que representa mayor contenido de Cd total en suelo, el valor promedio es 0,23 ppm. Cuando se aplicó Monty's la dosis de 4 L/ha representa el menor contenido de Cd total en suelo con valor promedio de 0,12 ppm y error estándar de  $\pm 0,01$  ppm, es estadísticamente diferente a las dosis de 6 y 2 L/ha, las cuales representa valores promedios de 0,19 y 0,22 ppm, son iguales estadísticamente.

Simultáneamente se realizó la comparación de las factoriales (Avibiol y Monty's) vs el testigo y se determinó que los factores presentan contenido promedio de 0,18 ppm y el testigo 0,36 ppm de Cd y error estándar de  $\pm 0,02$  ppm, estadísticamente son diferentes. Los resultados determinan que con la aplicación de Avibiol y Monty's disminuyó el Cd total de suelo en 50%; al respecto Durango et al. (2021) refieren que las enmiendas orgánicas aplicadas al suelo, mejor el estado nutricional de las plantas y aumenta la población de microorganismos y ayuda a minorar el contenido de Cd. También el Grupo Avibiol (2019), Sus productos afirman tener varios beneficios: controlan la presencia de Cd, aumentan los rendimientos, mejoran la calidad de los cultivos, aumentan la masa de raíces y proporcionan un suelo más nutritivo; referencias que justifican la disminución del contenido de Cd total en suelo evaluado después de la aplicación de los productos, también Dionisio (2020) en su experimento aplico Avibiol y carbón líquido Monty's, llegando a la conclusión que la aplicación se muestra una tendencia a la disminución de la concentración del Cd en el suelo.

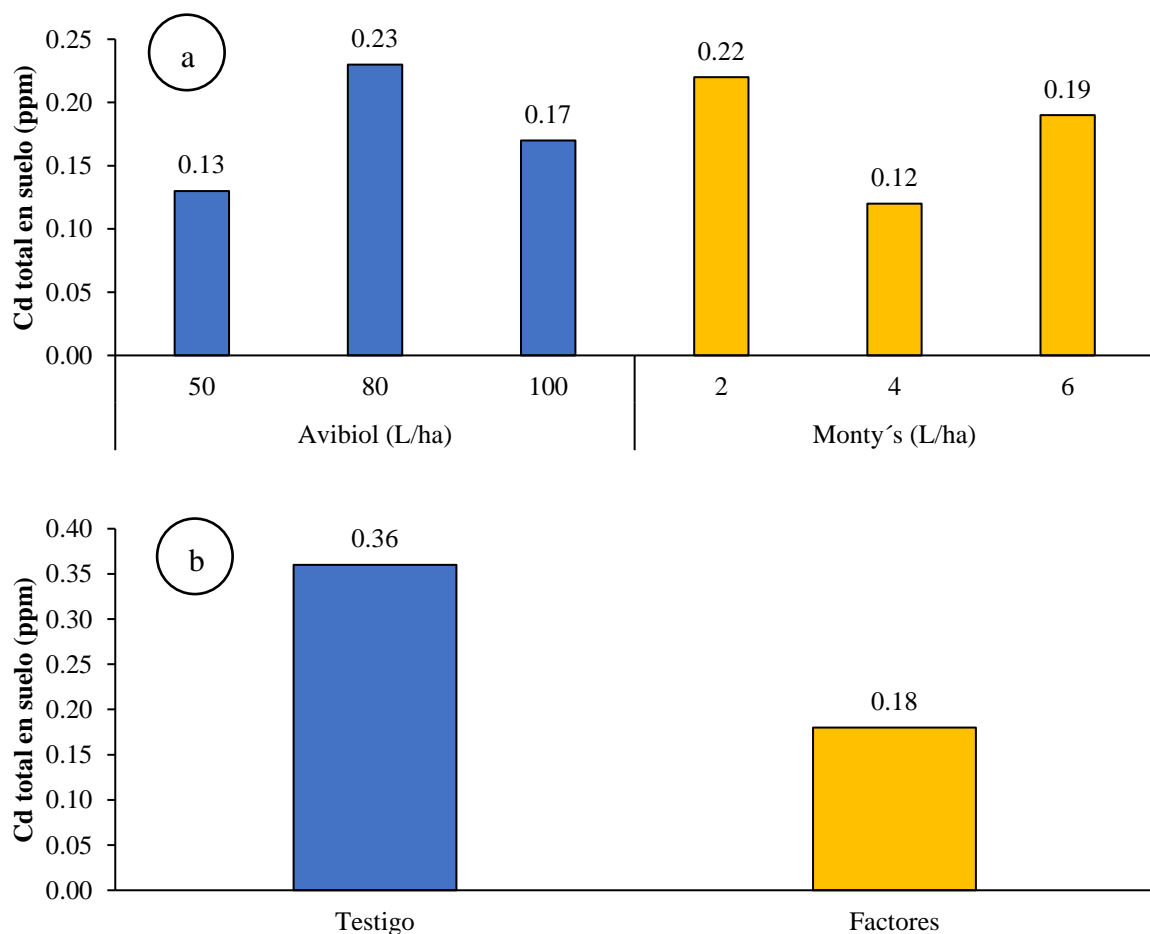
**Tabla 7.** Prueba de Duncan ( $\alpha=0.05$ ) para Cd total en suelo por efecto de Avibiol, Monty's y Factores vs testigo (Media  $\pm$  Error estándar).

<b>Tratamientos</b>	<b>Cd total en suelo (ppm)</b>			
Avibiol (50 L/ha)	0,13	$\pm$	0,01	a
Avibiol (100 L/ha)	0,17	$\pm$	0,01	a
Avibiol (80 L/ha)	0,23	$\pm$	0,01	b
Monty's (4 L/ha)	0,12	$\pm$	0,01	a
Monty's (6 L/ha)	0,19	$\pm$	0,01	b
Monty's (2 L/ha)	0,22	$\pm$	0,01	b
Factores	0,18	$\pm$	0,02	a
Testigo	0,36	$\pm$	0,02	b

Medias con una letra común no son significativamente diferentes ( $p > 0,05$ )

Con las dosis de Avibiol no muestra una tendencia positiva en la disminución de Cd total referente a las dosis, ya que, se determinó que la menor dosis de Avibiol

(50 L/ha) presenta menor contenido de Cd, seguido de la dosis de 100 L/ha y la dosis de 80 L/ha presenta mayor contenido de Cd, es probable que los rangos de las dosis fueron muy cortas. Del mismo modo se determinó con la aplicación de Monty's, donde se observa que a menor dosis 2 L/ha mayor contenido de Cd, seguido de la dosis de 6 L/ha y en menor contenido de Cd se determinó con la aplicación de 4 L/ha (Figura 4). Sabemos que la mayor parte de Cd se asocia a los coloides minerales del suelo (Arcillas) y coloides orgánicos (Humus) por lo que con la aplicación de enmiendas orgánicas el Cd se puede asociarse a ellas en sus diferentes fracciones, motivo por los cuales se determinó que el Cd no sigue una frecuencia con las dosis aplicadas, se tendrá que tener en cuenta que las parcelas de cacao no presenta las mismas características en todo el área, esto sucede debido a la complejidad del sistema suelo, debido que no sigue un patrón de referencias, no podemos decir que a mayor dosis menor contenido de Cd.



**Figura 4.** Contenido de Cd total en suelo; a. Avibiol y Monty's, b. Testigo vs Factores.

Sin embargo, al comparar el efecto del Avibiol y Monty's en sus diferentes dosis vs el tratamiento testigo (Figura 4b), se muestra que hay una disminución de

Cd total en el suelo, con la aplicación de enmiendas orgánicas, es probable que el Cd en el suelo se asocia a los carbonatos, materia orgánica, óxidos de Fe y Mg, también como Cd residual y además que se puede perder por lixiviación y Cd hidrosoluble lavado por el agua. También se dice que la aplicación de enmiendas orgánicas incrementa los macro y micro organismos del suelo y estos sean los responsables de la disminución de Cd total, según Beltrán y Gómez (2016) quienes además manifiestan que muchos microorganismos tienen la capacidad de secuestrar metales en suelos contaminados; debido que muchas bacterias combinan los metales pesados con su superficie celulares. Al respecto Huaraca et al. (2020) Determinamos que las modificaciones orgánicas tienen un valor potencial para reducir la absorción de Cd de la planta y mejorar la inmovilización a través de los procesos de adsorción, intercambio iónico, complejación y precipitación. Es decir, con la aplicación de enmiendas orgánicas el contenido de Cd total disminuye por complejación en las cuales también se le denomina Cd residual y en parte el Cd se precipitación por intercambios iónicos. Por lo que, nuestros resultados muestran disminución de Cd total en el suelo.

#### **4.1.2. Cadmio disponible**

El análisis de varianza de Cd disponible en el suelo ( $\alpha = 0.05$ ), cada uno más el control (Cuadro 8), resultó de la aplicación de Avibiol y Monti en tres dosis, revelando una diferencia significativa entre las interacciones de los factores debido a que mostró diferencia estadística. Valor de probabilidad inferior al recomendado ( $p < 0,05$ ), es decir, al menos una combinación de los factores será diferente estadísticamente, respecto a los factores principales se observa diferencias estadísticas con la aplicación de Monty's y no significativo con la aplicación de Avobiol, también se observa diferencias estadísticas entre los factores vs el testigo debido que el valor de probabilidad es menor al plateado ( $p < 0,05$ ) significa uno será diferente estadísticamente. El coeficiente de variación (C.V) es de 18.97% (Pimentel (1985). Los citados por Gordón y Camargo (2015) muestran que C.V por debajo del 10% suele considerarse bajo en ensayos agrícolas. Media 10-20%, alta si 20-30%, muy alta si supera el 30%, considerando la referencia, el C.V del experimento está considerado como dispersión media de los datos evaluados, significa que el contenido de Cd en suelo, no se distribuye de forma normal en el suelo. El coeficiente de determinación ( $R^2$ ) fue 0,96 significa que el 96% de los resultados depende de los factores en estudio y el 4% dependen de otros factores como ambientales, según Martínez (2005) el coeficiente de determinación es el porcentaje de variación total de las variables respecto a su media. Es decir, que el contenido de Cd disponible de suelo depende de la aplicación de las enmiendas líquidas.

**Tabla 8.** Análisis de varianza ( $\alpha=0.05$ ) para Cd disponible de suelo.

<b>Fuente de variación</b>	<b>G.L</b>	<b>S.C</b>	<b>C.M</b>	<b>F</b>	<b>p-valor</b>
Bloques	2	0,0004	0,0002	1,4625	0,2579
Avibiol (A)	2	0,0002	0,0001	0,5000	0,6147
Monty´s (B)	2	0,0020	0,0010	5,0000	0,0188
AxB	4	0,0045	0,0011	5,5000	0,0045
Factores vs Testigo	1	0,0546	0,0546	359,2895	<0,0001
Error experimental	18	0,0027	0,0002		
Total	29	0,0645			
C.V	18,97				
R <sup>2</sup>	0,96				

La interacción entre Avibiol con Monty´s, según la prueba de Duncan ( $\alpha=0,05$ ) (Tabla 9), al aplicar 50 L/ha de Avibiol con 4 L/ha de Monty´s se determinó el menor contenido de Cd disponible en suelo con valor promedio de 0,030 ppm y error estándar de  $\pm 0,004$  ppm, es diferente estadísticamente a las demás combinaciones; en segundo lugar se muestra la aplicación de 50 L/ha de Avibiol con 2 L/ha de Monty´s el valor promedio fue 0,050 ppm y es diferente a la combinación de 50 L/ha de Avibiol con 6 L/ha de Monty´s donde se determinó un valor promedio de 0,080 ppm, además representa el mayor contenido de Cd disponible en suelo.

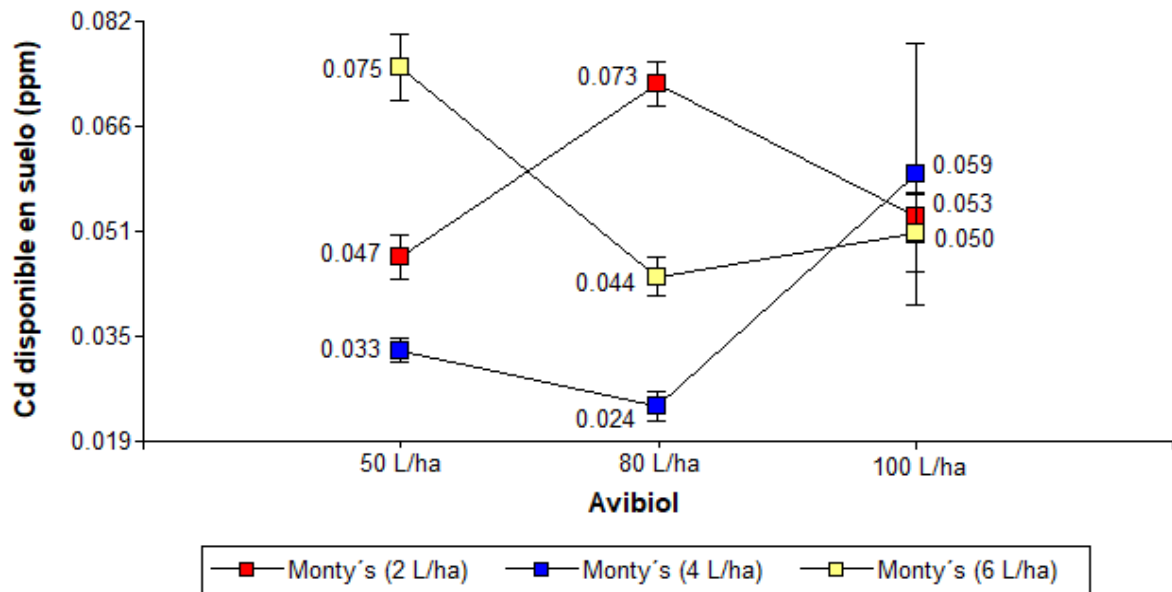
Al aplicar 80 L/ha de Avibiol con 4 L/ha de Monty´s se determinó el menor valor promedio de Cd disponible en suelo, el contenido fue 0,024 ppm con error estándar de  $\pm 0.003$  ppm, estadísticamente es diferente a las demás combinaciones, en segundo lugar se muestra la combinación 80 L/ha de Avibiol con 6 L/ha de Monty´s, el valor promedio de Cd disponible fue 0,044 ppm y es diferente estadísticamente a la combinación 80 L/ha de Avibiol con 2 L/ha de Monty´s, además representa el mayor contenido de Cd disponible en suelo con valor promedio de 0,073 ppm. Respecto a la combinación de 100 L/ha de Avibiol con 2, 4 y 6 L/ha de Monty´s se determinó que todas las combinaciones son iguales estadísticamente. Los resultados muestran que la combinación de 50 y 80 L/ha de Avobiol con 4 L/ha de Monty´s se determinó menor contenido de Cd disponible en suelo, sería las combinaciones para tener en cuenta en los próximos estudios, es decir que estas dosis estarían actuando de forma tal que el contenido de Cd se combine con los coloides del suelo, debido que con la aplicación de enmiendas mejora las características del mismo y el Cd se adhiere a otras fracciones como Cd asociado a materia orgánica, Cd asociado a carbonatos y otras.

**Tabla 9.** Prueba de Duncan ( $\alpha=0.05$ ) para interacción entre dosis de Avibiol con dosis de Monty's para Cd disponible en suelo (Media  $\pm$  Error estándar).

Avibiol (A)	Monty's (b)	Cd disponible en suelo (ppm)	
a <sub>1</sub> =50 L/ha	b <sub>2</sub> =4 L/ha	0,030 $\pm$ 0,004	a
	b <sub>1</sub> =2 L/ha	0,050 $\pm$ 0,004	b
	b <sub>3</sub> =6 L/ha	0,080 $\pm$ 0,004	c
a <sub>2</sub> =80 L/ha	b <sub>2</sub> =4 L/ha	0,024 $\pm$ 0,003	a
	b <sub>3</sub> =6 L/ha	0,044 $\pm$ 0,003	b
	b <sub>1</sub> =2 L/ha	0,073 $\pm$ 0,003	c
a <sub>3</sub> =100 L/ha	b <sub>3</sub> =6 L/ha	0,050 $\pm$ 0,012	a
	b <sub>1</sub> =2 L/ha	0,053 $\pm$ 0,012	a
	b <sub>2</sub> =4 L/ha	0,059 $\pm$ 0,012	a

Medias con una letra común no son significativamente diferentes ( $p > 0,05$ ).

Al analizar la Figura 5, se observa interacción entre factores en estudio, y se refuerza y se evidencia el menor contenido de Cd disponible en suelo, con la aplicación de 80 y 50 L/ha de Avibiol mezclado con 4 L/ha de Monty's con valores promedios de 0,024 y 0,033 ppm; pero cuando se combinó con 100 L/ha el contenido de Cd disponible en el suelo incrementa a un valor promedio de 0,059 ppm, es probable que a mayor dosis de enmiendas líquidas el Cd de suelo se hace más soluble manifiestan Munive et al. (2020). También la aplicación de 80 L/ha de Avibiol con 6 L/ha de Monty's muestra menor contenido de Cd disponible con valor promedio de 0,044 ppm; pero las combinaciones con 100 y 50 L/ha de Avibiol el contenido de Cd incrementa, los valores promedios fue 0,050 y 0,075 ppm. La combinación entre 50 L/ha de Avibiol con 2 L/ha de Monty's presenta un valor promedio de 0,047 ppm, pero con las combinaciones de 100 y 80 L/ha de Avibiol el contenido de Cd disponible fue mayor con valores promedios de 0,053 y 0,073 ppm. Los resultados, determinan que algunas combinaciones facilitan el incremento de Cd disponible en el suelo, debido a la complejidad del suelo, además de las modificaciones que las enmiendas puedan lograr en los suelos. según Huaraca et al. (2020) refiere que en los suelos generalmente el Cd está asociado a los iones que al aplicar enmiendas orgánicas líquidas se puede alterar por lo que el contenido de Cd disponible en el suelo puede aumentar o disminuir.



**Figura 5.** Contenido de Cd disponible en suelo por efecto de la interacción entre dosis de Avibiol con Monty's

La interacción entre Monty's con Avibiol (B en a), según la prueba de Duncan ( $\alpha=0.05$ ) (Tabla 10), al aplicar 2 L/ha de Monty's con 50 y 100 L/ha de Avibiol muestran menor contenido de Cd disponible en suelo con valores promedios de 0,047 y 0,053 ppm y error estándar de  $\pm 0,003$  ppm, estadísticamente son iguales y diferentes a la combinación 2 L/ha de Monty's con 80 L/ha de Avibiol donde se determina que esta combinación presenta mayor contenido de Cd disponible en suelo con valor promedio de 0,073 ppm. Cuando se aplicó la combinación de 4 L/ha de Monty's con 80, 50 y 100 L/ha de Avibiol los resultados son iguales estadísticamente. Respecto a la aplicación de 6 L/ha de Monty's con 80 y 100 L/ha de Avibiol se determinó menor contenido de Cd disponible en suelo con valores promedios de 0,044 y 0,050 ppm, estos valores son iguales estadísticamente y diferentes a la combinación de 6 L/ha de Monty's con 50 L/ha de Avibiol donde se determinó mayor contenido de Cd disponible en suelo el valor promedio fue 0,075 ppm-

En la Figura 6, se observa la interacción entre los factores en estudio, donde se afirma que la combinación de 4 L/ha de Monty's con 80 L/ha de Avibiol, se determinó el menor contenido de Cd disponible en suelo con valor promedio de 0.024, pero con las aplicaciones de 2 y 6 L/ha de Monty's el contenido de Cd fue mayor 0.073 y 0.044 ppm; también con la aplicación de 4 L/ha de Monty's con 50 L/ha de Avibiol presenta menor contenido de Cd disponible 0.033 ppm y cuando se aplicó 2 y 6 L/ha de Monty's el contenido de Cd disponible fue mayor 0.047 y 0.075 ppm. También la combinación Monty's con Avibiol

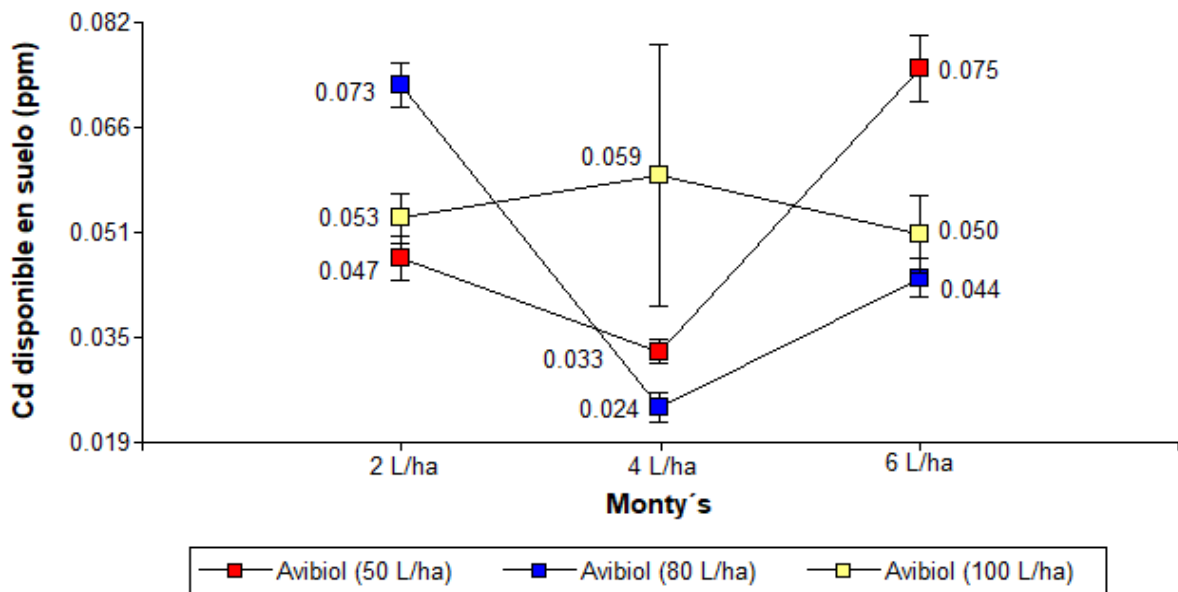


muestra que algunas combinaciones incrementan el contenido de Cd disponible en suelo es probable por los cambios que el suelo sufre por las aplicaciones de las enmiendas orgánicas líquidas aplicadas.

**Tabla 10.** Prueba de Duncan ( $\alpha=0.05$ ) para interacción entre dosis de Monty's con dosis de Avibiol para Cd disponible en suelo (Media  $\pm$  Error estándar).

Monty's (B)	Avibiol (a)	Cd disponible en suelo (ppm)			
b1=2 L/h	a1=50 L/ha	0.047	$\pm$	0.003	a
	a3=100 L/ha	0.053	$\pm$	0.003	a
	a2=80 L/ha	0.073	$\pm$	0.003	b
b2=4 L/ha	a2=80 L/ha	0.024	$\pm$	0.011	a
	a1=50 L/ha	0.033	$\pm$	0.011	a
	a3=100 L/ha	0.056	$\pm$	0.011	a
b3=6 L/ha	a2=80 L/ha	0.044	$\pm$	0.005	a
	a3=100 L/ha	0.050	$\pm$	0.005	a
	a1=50 L/ha	0.075	$\pm$	0.005	b

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



**Figura 6.** Contenido de Cd disponible en suelo por efecto de la interacción entre dosis de Avibiol con Monty's

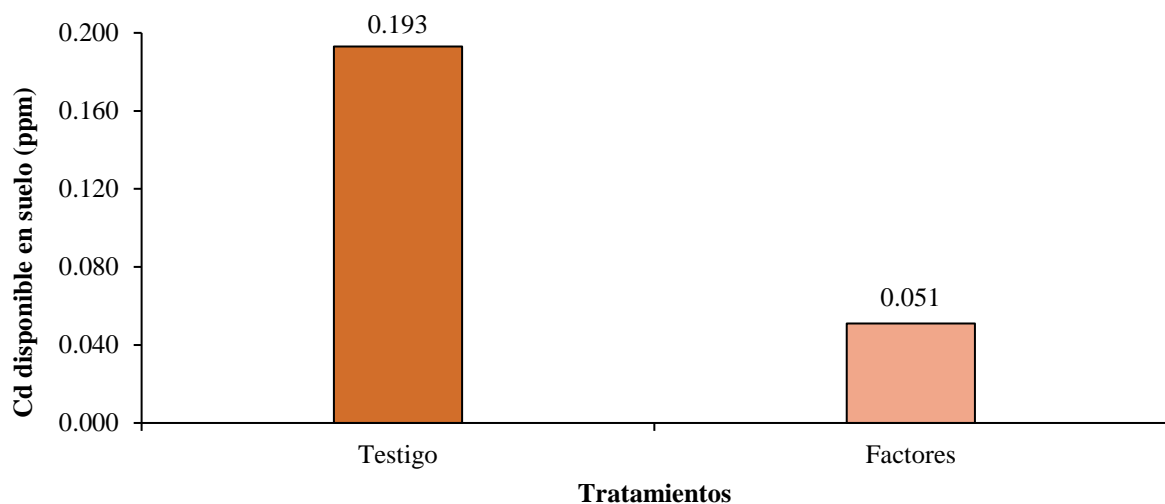
La prueba de comparación de promedios entre los factores (Avibiol y Monty's) vs el tratamiento testigo, según Duncan ( $\alpha=0.05$ ) (Tabla 11 y Figura 7), se observa menor contenido de Cd disponible con la aplicación de las enmiendas, el valor promedio fue 0.051 y error estándar de  $\pm 0.003$ , y el tratamiento testigo se determinó un contenido de Cd

disponible de 0.193 ppm, es decir, la aplicación de enmiendas orgánicas disminuye 0.142 ppm que representa al 73.58%, mostrando así el efecto la aplicación de Avibiol y Monty's.

**Tabla 11.** Prueba de Duncan ( $\alpha=0.05$ ) para Cd disponible en suelo de cultivo de cacao (Media  $\pm$  Error estándar).

Tratamiento	Cd disponible en suelo (ppm)		
Factor	0,051	$\pm$ 0,003	a
Testigo	0,193	$\pm$ 0,003	b

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



**Figura 7.** Contenido de Cd disponible en suelo

Para suelos agrícolas contaminados con Cd, las técnicas de inmovilización incluyen la aplicación de modificadores para inmovilizar el metal a través de varias reacciones biológicas y químicas manifiestan Martínez y Marrugo (2020), referencia que guarda relación con nuestros resultados debido que las enmiendas aplicadas disminuyen el Cd disponible. Las modificaciones orgánicas tienen un valor potencial para reducir la absorción de Cd disponible en las plantas y mejorar la inmovilización a través de los procesos de adsorción, intercambio iónico, complejación y precipitación refieren Huaraca et al. (2020). También Sapaico (2020), la modificación orgánica se refiere al hecho de que a menudo reduce el Cd disponible para las plantas, lo que implica procesos de adhesión, absorción, precipitación y unión complejos. También Huaraca et al. (2020) demostraron que los modificadores orgánicos pueden formar recubrimientos sobre partículas, especialmente suelos superficiales y subterráneos, y pueden actuar como aglutinantes de metales, especialmente con respecto a los carbonatos.

## 4.2. Cadmio total en plantas del cultivo de cacao

### 4.2.1. Cadmio en hojas

El análisis de varianza ( $\alpha=0,05$ ) para Cd total en hojas del cultivo de cacao (Tabla 11), se observa diferencias estadísticas en la interacción de los postores, debido que el valor de probabilidad es menor al planteado ( $p<0,05$ ), significa que al menos una combinación de los factores será diferente estadísticamente; también se observa diferencias estadísticas entre los factores vs el testigo, debido que también el valor de probabilidad es menor al planteado ( $p<0,05$ ); pero no se observa diferencias estadísticas en los factores principales y bloques, debido a que el valor de probabilidad es mayor al planteado ( $p>0,05$ ). El coeficiente de variación (CV) fue 14,19%, considerado como homogeneidad media según lo referido por Pimentel (1985) citado por Gordón y Camargo (2015) quienes señalan que normalmente en los ensayos agrícolas de campo los C.V, se consideran medios cuando se ubican entre 10 a 20%. El coeficiente de determinación ( $R^2$ ) fue 0,84, lo que indica que los resultados dependen del 84% por efecto de los factores en estudio y 16% por otros factores.

**Tabla 12.** Análisis de varianza ( $\alpha=0.05$ ) para Cd total en hojas del cultivo de cacao.

Fuente de variación	G.L	S.C	C.M	F	p-valor
Bloques	2	0.007	0.004	0.6980	0.5105
Avibiol (A)	2	0.010	0.005	1.0000	0.3874
Monty's (B)	2	0.010	0.005	1.0000	0.3874
AxB	4	0.100	0.025	5.0000	0.0069
Factores vs. Testigo	1	0.339	0.339	69.8100	<0.0001
Error experimental	18	0.087	0.005		
Total	29	0.5420			
CV	14.19				
$R^2$	0.84				

La interacción entre los factores de estudio Avibiol con Monty's según la prueba de Duncan ( $\alpha=0,05$ ) (Tabla 12), se observa que cuando se combinó las dosis de Monty's 2, 4 y 6 L/ha con 50 L/ha de Avibiol, no se determinó diferencias estadísticas significativas entre las diferentes combinaciones, debido que todos los promedios están representados por una letra común. La combinación de 80 L/ha de Avibiol y 2, 4 y 6 L/ha de Monty's si se observa dos grupos, siendo las combinaciones de 2 y 4 L/ha de Monty's los que muestran menor contenido de Cd total en hojas de cacao, los valores promedios son 0,337 y 0,420 ppm y error estándar  $\pm 0,04$  ppm estos valores son iguales estadísticamente y diferentes a la combinación con 6 L/ha de Monty's donde se muestra un valor promedio de 0,588 ppm. También se determina que con la combinación de 100 L/ha de Avibiol con 2, 4 y 6 L/ha de

Monty's todas las combinaciones son iguales estadísticamente, debido que todos los promedios están representados por una letra en común. Los resultados indican que la aplicación de enmiendas orgánicas líquidas no se diferencian en contenido de Cd en órganos como hojas, es probable que el mayor contenido de Cd quede retenido en las raíces de las plantas de cacao, confirmando que las dosis de enmiendas no presentan efecto de diferentes de Cd en concentraciones en hojas de cacao; al respecto Correa (2018) manifiesta que todas las enmiendas orgánicas redujeron el contenido de Cd en hojas y la acumulación de Cd fue mayor en las raíces que en la parte aérea. Es probable que este sucedió en nuestro trabajo por los que las concentraciones en hojas son relativamente uniformes.

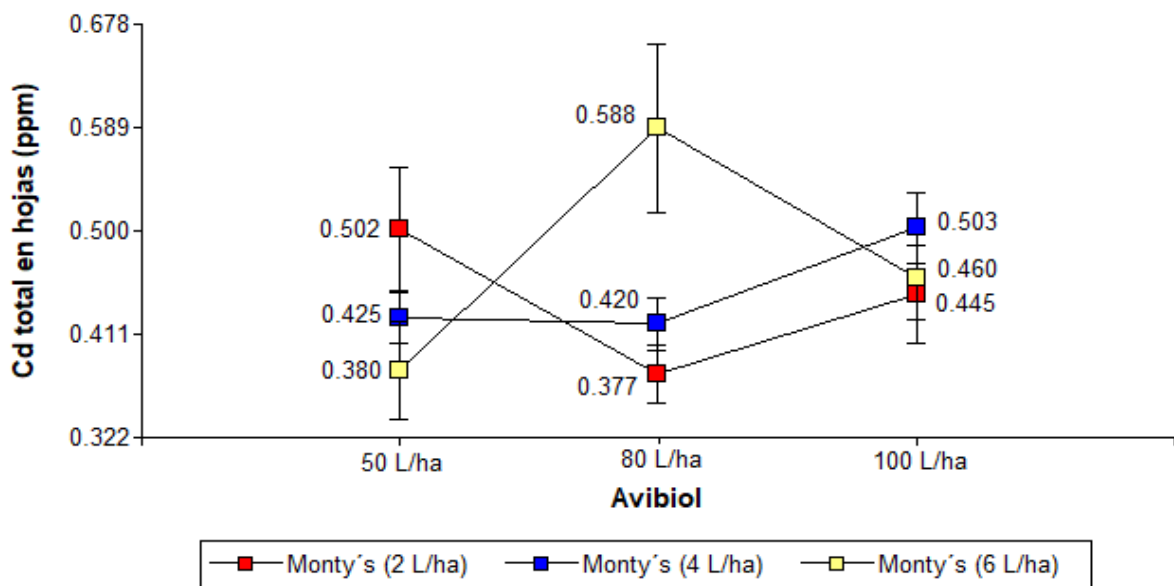
**Tabla 13.** Prueba de Duncan ( $\alpha=0,05$ ) para interacción entre dosis de Avibiol con dosis de Monty's para Cd total en hojas de cacao (Media  $\pm$  Error estándar).

<b>Avibiol (A)</b>	<b>Monty's (b)</b>	<b>Cd total en hojas de cacao (ppm)</b>		
a <sub>1</sub> =50 L/ha	b <sub>3</sub> =6 L/ha	0,380	$\pm$ 0,04	a
	b <sub>2</sub> =4 L/ha	0,425	$\pm$ 0,04	a
	b <sub>1</sub> =2 L/ha	0,502	$\pm$ 0,04	a
a <sub>2</sub> =80 L/ha	b <sub>1</sub> =2 L/ha	0,377	$\pm$ 0,05	a
	b <sub>2</sub> =4 L/ha	0,420	$\pm$ 0,05	a
	b <sub>3</sub> =6 L/ha	0,588	$\pm$ 0,05	b
a <sub>3</sub> =100 L/ha	b <sub>1</sub> =2 L/ha	0,445	$\pm$ 0,04	a
	b <sub>3</sub> =6 L/ha	0,460	$\pm$ 0,04	a
	b <sub>2</sub> =4 L/ha	0,503	$\pm$ 0,04	a

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

En la Figura 8, se observa la interacción entre los factores en estudio, además se confirma que con las combinaciones de 50 y 100 L/ha de Avibiol con 2, 4 y 6 L/ha de Monty's muestran mayor variación y se entrecruzan los valores por lo que no se muestra diferencias estadísticas. El menor contenido de Cd total en hojas de cacao se muestra en 80 L/ha de Avibiol combinado con 2 L/ha de Monty's el valor promedio es 0,377, pero con las combinaciones de 50 y 100 L/ha el contenido de Cd es mayor, estos valores promedios son 0,502 y 0,445 ppm. También se muestra menor contenido de Cd total en hojas entre las combinaciones de 50 L/ha de Avibiol con 6 L/ha de Monty's con valor promedio de 0,380 ppm y cuando las combinaciones es 80 y 100 L/ha el contenido de Cd es mayor, con valores de 0,588 y 0,460 ppm. La combinación de 80 L/ha de Avibiol con 4 L/ha de Monty's presta valor promedio de 0,420 ppm y cuando se mezcla con 50 y 100 L/ha los valores son mayores 0,425 y 0,503 ppm. Los resultados muestran que el contenido de Cd total de hojas de cacao, se presentaron en un rango de 0,377 y 0,588 ppm, los órganos de las plantas de cacao como hoja

pueden bioacumular Cd y transportarlo al resto de las plantas en muchos de los casos se encuentran altas concentraciones manifiestan Furcal y Torres (2020). Los resultados en hojas por efecto de la combinación de las dos enmiendas muestran alta variación en los datos, motivo por el cual no se muestran diferencias estadísticas, debido a que en las combinaciones se entrecruzan los promedios de evaluación; muchos autores indican que el Cd en las hojas es móvil y se acumula en las almendras de cacao y raíces y no en hojas debido al flujo de masas y a la adhesión por lípidos y grasas.



**Figura 8.** Contenido de Cd total en hojas de cacao por efecto de la interacción entre dosis de Avibiol con Monty's

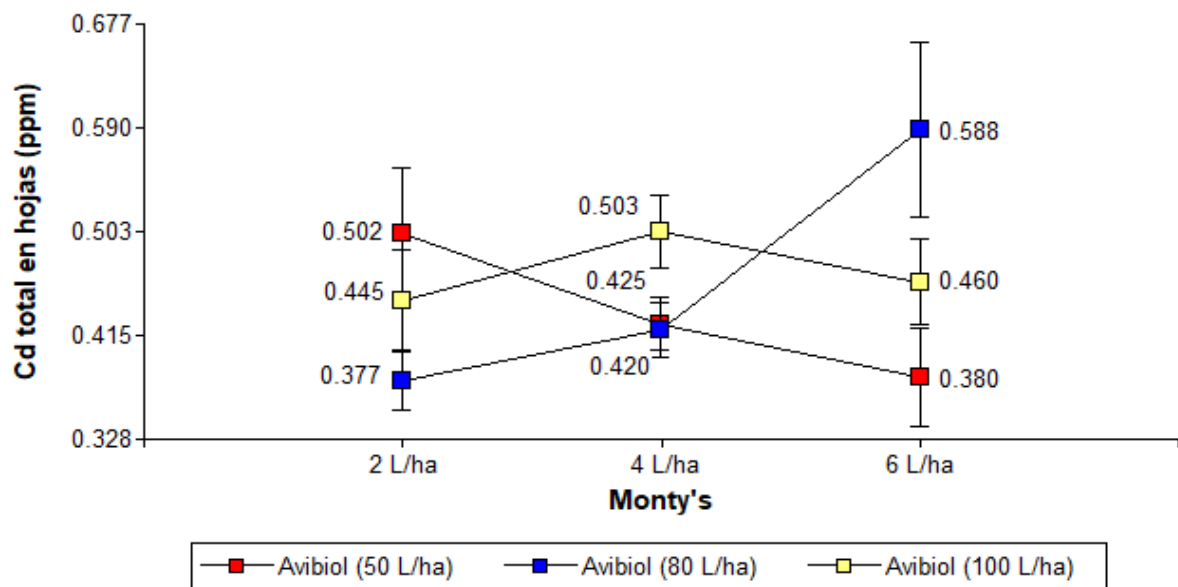
La interacción entre los factores de estudio Monty's con Avibiol (B en a) según la prueba de Duncan ( $\alpha=0,05$ ) (Tabla 14), se observa que estadísticamente todas las combinaciones son iguales, debido a que los promedios están representados con una letra común. En la Figura 9, se observa a la combinación 2 L/ha de Monty's con 80 L/ha de Avibiol menor contenido de Cd total en hojas con valor promedio de 0,377 ppm y cuando se mezcla con 4 y 6 L/ha de Monty's el contenido de Cd en las hojas es mayor con valores promedios de 0,420 y 0,588 ppm. También se observa menor contenido de Cd en hojas cuando se aplicó la mezcla de 6 L/ha de Monty's con 50 L/ha de Avibiol, el contenido de Cd fue 0,380 ppm, pero cuando las mezclas se realizaron con 2 y 4 L/ha de Monty's el contenido de Cd fue mayor, los valores promedios son 0,502 y 0,425 ppm. El contenido de Cd está en un rango de 0,377 ppm y 0,588 ppm de Cd en hojas de cacao. Según López et al. (2021) manifiestan que las plantas de cacao absorben Cd del suelo y lo transportan a través del xilema hacia las hojas del cultivo de cacao,

luego estas sustancias son trasportadas a otros órganos de la plantas a través del floema donde muchas veces son almacenados (raíces y almendras), es probable un motivo donde se muestra alta variación y no hay diferencias entre dosis de los factores en estudio; también Mendoza et al. (2021) refieren que en algunos casos las elevadas concentraciones del contaminante Cd en hojas llegan a superar el límite máximo permisible de 0.5 ppm, debido al constante movimiento del metal.

**Tabla 14.** Prueba de Duncan ( $\alpha=0,05$ ) para interacción entre dosis de Monty's con dosis de Avibiol para Cd total en hojas de cacao (Media  $\pm$  Error estándar).

Monty's (B)	Avibiol (a)	Cd total en hojas de cacao (ppm)		
b <sub>1</sub> =2 L/ha	a <sub>2</sub> =80 L/ha	0,377	$\pm$ 0,04	a
	a <sub>3</sub> =100 L/ha	0,445	$\pm$ 0,04	a
	a <sub>1</sub> =50 L/ha	0,502	$\pm$ 0,04	a
b <sub>2</sub> =4 L/ha	a <sub>2</sub> =80 L/ha	0,420	$\pm$ 0,03	a
	a <sub>1</sub> =50 L/ha	0,425	$\pm$ 0,03	a
	a <sub>3</sub> =100 L/ha	0,503	$\pm$ 0,03	a
b <sub>3</sub> =6 L/ha	a <sub>1</sub> =50 L/ha	0,380	$\pm$ 0,05	a
	a <sub>3</sub> =100 L/ha	0,460	$\pm$ 0,05	a
	a <sub>2</sub> =80 L/ha	0,588	$\pm$ 0,05	a

Medias con una letra común no son significativamente diferentes ( $p > 0,05$ )



**Figura 9.** Contenido de Cd total en hojas de cacao por efecto de la interacción entre dosis de Monty's con Avibiol.

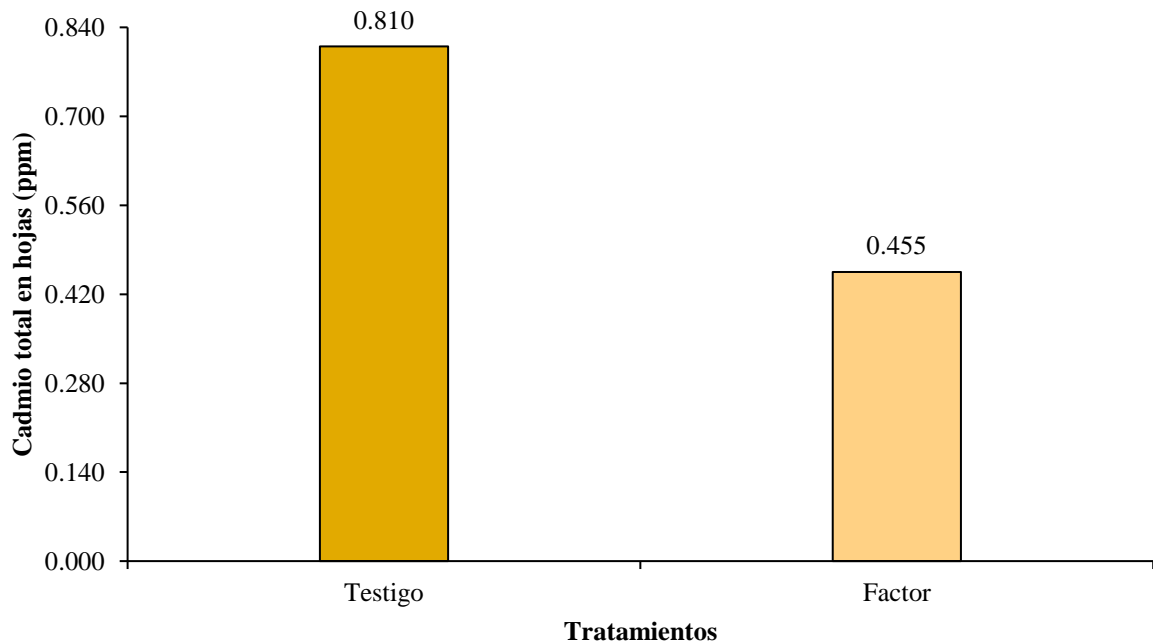
La prueba de Duncan ( $\alpha=0,05$ ) entre los factores (Avibiol y Monty's) vs el tratamiento testigo (Tabla 14) se observa menor contenido de Cd total en hojas del cultivo de cacao con la aplicación de enmiendas líquidas (Avibiol + Montey's) con valor promedio de

0,455 y error estándar de  $\pm 0,020$ , comparado con el tratamiento testigo que se determinó contenido de Cd de 0,810 ppm.

**Tabla 15.** Prueba de Duncan ( $\alpha=0.05$ ) para Cd total en hojas del cultivo de cacao (Media  $\pm$  Error estándar).

Tratamientos	Cd total en hojas de cacao (ppm)		
Factor	0,455	$\pm 0,020$	a
Testigo	0,810	$\pm 0,020$	b

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



**Figura 10.** Contenido de Cd total en hojas del cultivo de cacao

En la Figura 10, los resultados muestran que con la aplicación de estas enmiendas disminuye en 0,355 ppm que representa al 43,83%. El tratamiento testigo presento contenido de Cd mayor de lo permisible que es de 0.5 ppm; con la aplicación de los productos Avibiol + Montey´s el contenido de Cd disminuye y se ubica dentro del nivel crítico permitido, determinando así la importancia de la aplicación de estos productos en la mitigación del Cd total en hojas del cultivo de cacao. Correa en su trabajo realizado el 2018 determino que casi todas las enmiendas reducen el contenido de Cd en las plantas de cacao, también Mendoza et al. (2021) hacen referencia que la aplicación de enmiendas orgánicas que logren reducir y/o

limitar la entrada y transporte del Cd en la planta del cultivo de cacao. Estas referencias confirman el efecto de las enmiendas en nuestro trabajo realizado en campo.

#### 4.2.2. Cadmio en almendras de cacao

El análisis de varianza ( $\alpha=0,05$ ) para Cd total en almendras de cacao por efecto de la aplicación de Avibiol con Monty's (Tabla 16), se observa que no hay diferencias estadísticas en la interacción de los factores, tampoco se observa diferencias en el factor Monty's, debido a que el valor de probabilidad es mayor al planteado ( $p>0,05$ ), pero si se observa diferencias estadísticas en el factor Avibiol y factores vs testigo, debido a que el valor de probabilidad es menor al planteado ( $p<0,05$ ), por lo menos una dosis y los factores vs testigo serán diferentes estadísticamente. El coeficiente de variación (C.V) fue 24,58%, se considera con alta homogeneidad en la toma de datos según Pimentel (1985); citado por Gordón y Camargo (2015) quienes señalan que cuando los valores del C.V están entre 20 y 30% son considerados de alta homogeneidad. El coeficiente de determinación ( $R^2$ ) fue 0,64, significa que el 64% de los resultados depende de los factores en estudio y el 36% dependen de otros factores como ambientales, según Martínez (2005) el coeficiente de determinación es el porcentaje de variación total de la variable respecto a su media.

**Tabla 16.** Análisis de varianza ( $\alpha=0.05$ ) para Cd total en almendras de cacao.

Fuente de variación	G.L	S.C	C.M	F	p-valor
Bloques	2	0,0400	0,0700	3,4000	0,0199
Avibiol (A)	2	0,1600	0,0800	4,0000	0,0365
Monty's (B)	2	0,0300	0,0200	1,0000	0,3874
AxB	4	0,1400	0,0300	1,5000	0,2440
Factores vs. Testigo	1	0,2900	0,2900	14,6000	0,0013
Error experimental	18	0,3600	0,0200		
Total	29	1,0200			
C.V	24,58				
$R^2$	0,64				

La prueba de Duncan ( $\alpha=0,05$ ) para contenido de Cd total en almendras de cacao por efecto de dosis de Avibiol (Tabla 17), se observa que las dosis de 80 y 50 L/ha muestran el menor contenido de Cd en almendras de cacao, estadísticamente las dos dosis son iguales, pero es diferente cuando se aplicó 100 L/ha debido que se determinó mayor concentración de Cd total en almendras de cacao. La aplicación de enmiendas orgánicas al suelo no elimina al Cd, se basa en la inmovilización (movilidad/solubilidad) manifiestan Huaraca et al. (2020); como no es una inmovilización drástica, cabe la posibilidad de que a altas

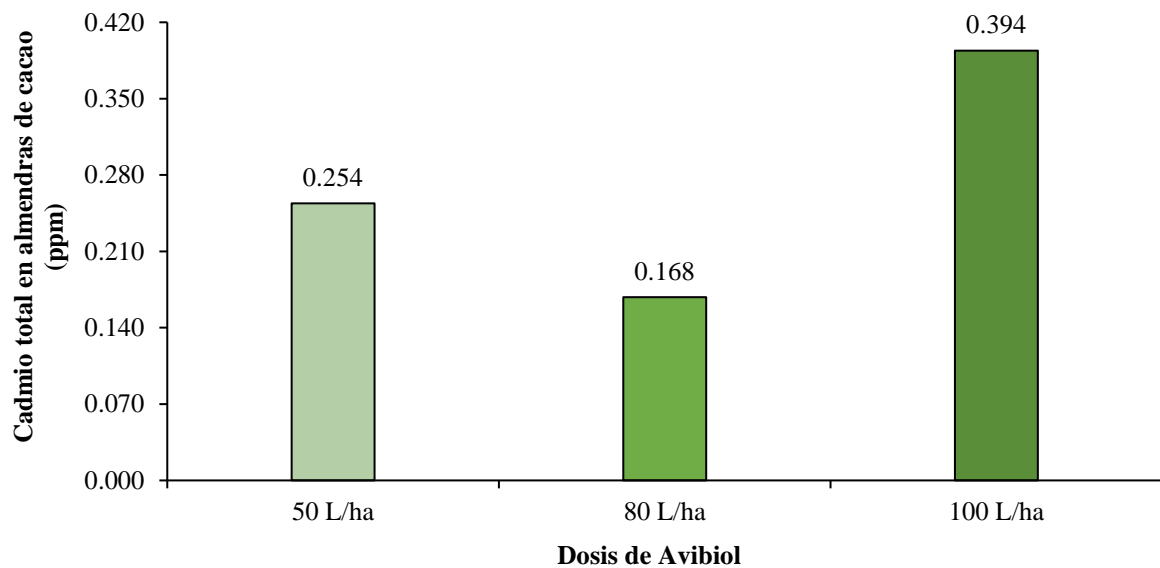


concentraciones de enmiendas orgánicas líquidas el Cd esté disponible y es transportado por las raíces de las plantas, debido a las combinaciones que adquiere el Cd en el suelo, según Hernández et al. (2019) señala que el Cd ingresa a la planta principalmente como Cd<sup>2+</sup> porque sus iones quelados normalmente no son absorbidos por las raíces. La capa de células epidérmicas es la primera capa de tejido que absorbe iones. En la capa de células epidérmicas, los pelos radiculares son el sitio más activo para absorber iones del suelo, y es la estructura que promueve la absorción de Cd.

**Tabla 17.** Prueba de Duncan ( $\alpha=0.05$ ) para Cd total en almendras de cacao (Media  $\pm$  Error estándar).

Avibiol	Cd total en almendras de cacao (ppm)		
80 L/ha	0,168	$\pm$ 0,06	a
50 L/ha	0,254	$\pm$ 0,06	a
100 L/ha	0,394	$\pm$ 0,06	b

Medias con una letra común no son significativamente diferentes ( $p > 0,05$ )



**Figura 11.** Contenido de Cd total en almendras de cacao

Al analizar la Figura 11, se observa menor contenido de Cd total en almendras de cacao por efecto de 80 L/ha de Avibiol con valor promedio de 0,168 ppm, seguido de la aplicación de 50 L/ha de Avibiol con valor promedio de 0,254 ppm y el mayor contenido de Cd en almendras de cacao se muestra con la aplicación de 100 L/ha de Avibiol con valor promedio de 0,394 ppm, los rangos del contenido de Cd con aplicación de Avibiol

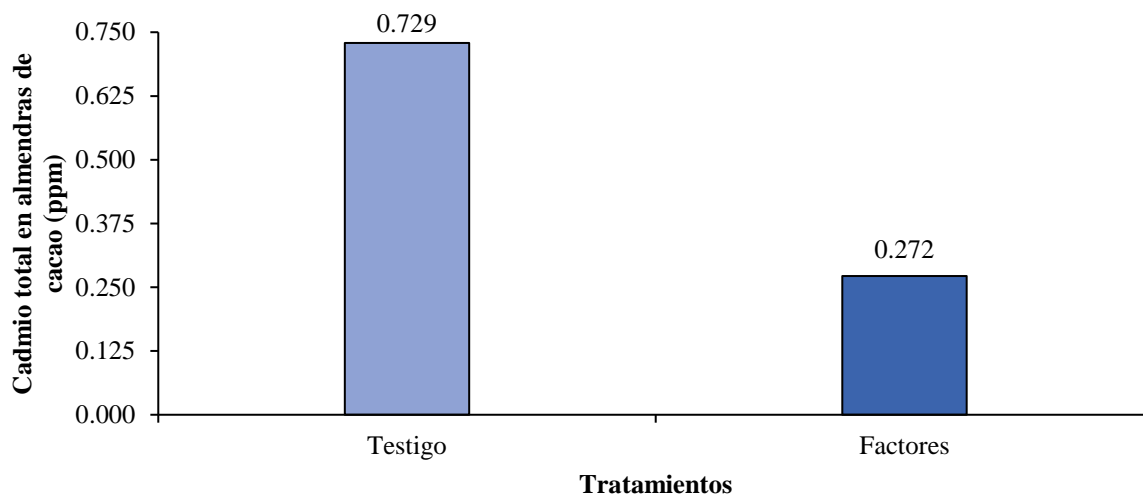
fue de 0,168 a 0,394. los resultados muestran que la mejor dosis para mitigar el contenido de Cd en almendras de cacao es 80 L/ha de Avibiol, debido que presento menor contenido de Cd. Cuando existe Cd en el suelo es muy probable que sea absorbido por las plantas, según Hernández et al (2019) El Cd ingresa a las células vegetales a través de importantes transportadores de metales Fe, Zn y Ca, como las proteínas IRT1 y LCT1. Después de unirse a las proteínas transportadoras, el Cd ingresa a la epidermis de la raíz a través de una vía simbiótica.

La prueba de Duncan ( $\alpha=0,05$ ) para Cd total en almendras de cacao por efecto de los factores (Avibiol y Monty's) vs el tratamiento testigo (Tabla 18 y Figura 12), se muestra menor contenido de Cd total en almendras de cacao con la aplicación de Avibiol y Monty's con un contenido promedio de 0,272 ppm y el tratamiento testigo muestra un contenido de Cd de 0,729 ppm, una vez más se observa el efecto de las enmiendas en la mitigación del contenido de Cd, el contenido de Cd en almendras de cacao disminuye en 0,457 ppm, que representa el 62,69%. Según el Reglamento de la UE 488/2014, que entró en vigor en enero de 2019, el contenido de Cd en los granos de cacao supera el contenido máximo permitido de Cd en los alimentos, especialmente en el chocolate (0,3 ppm) y otros derivados del cacao (0,6 ppm) citado por INVIMA (2020). El 2019 un estudio realizado por Dávila determino que el contenido de Cd en las almendras disminuye hasta en 0,25 ppm por efecto de la aplicación de las enmiendas orgánicas, por su parte Durango et al. (2021) determinan que la aplicación de enmiendas orgánicas al suelo, el contenido total de Cd en el cotiledón disminuye hasta en un 95% comparado con el análisis inicial de Cd en almendras de cacao. El uso de enmiendas orgánicas se considera una técnica de remediación que consiste en agregar nutrientes al suelo para mejorar las propiedades físicas y químicas, principalmente porque la materia orgánica, debido a sus propiedades quelantes, se une al Cd, reduciendo su absorción en el suelo Delgado (2017).

**Tabla 18.** Prueba de Duncan ( $\alpha=0,05$ ) para Cd total en almendras de cacao por efecto de factores vs testigo (Media  $\pm$  Error estándar).

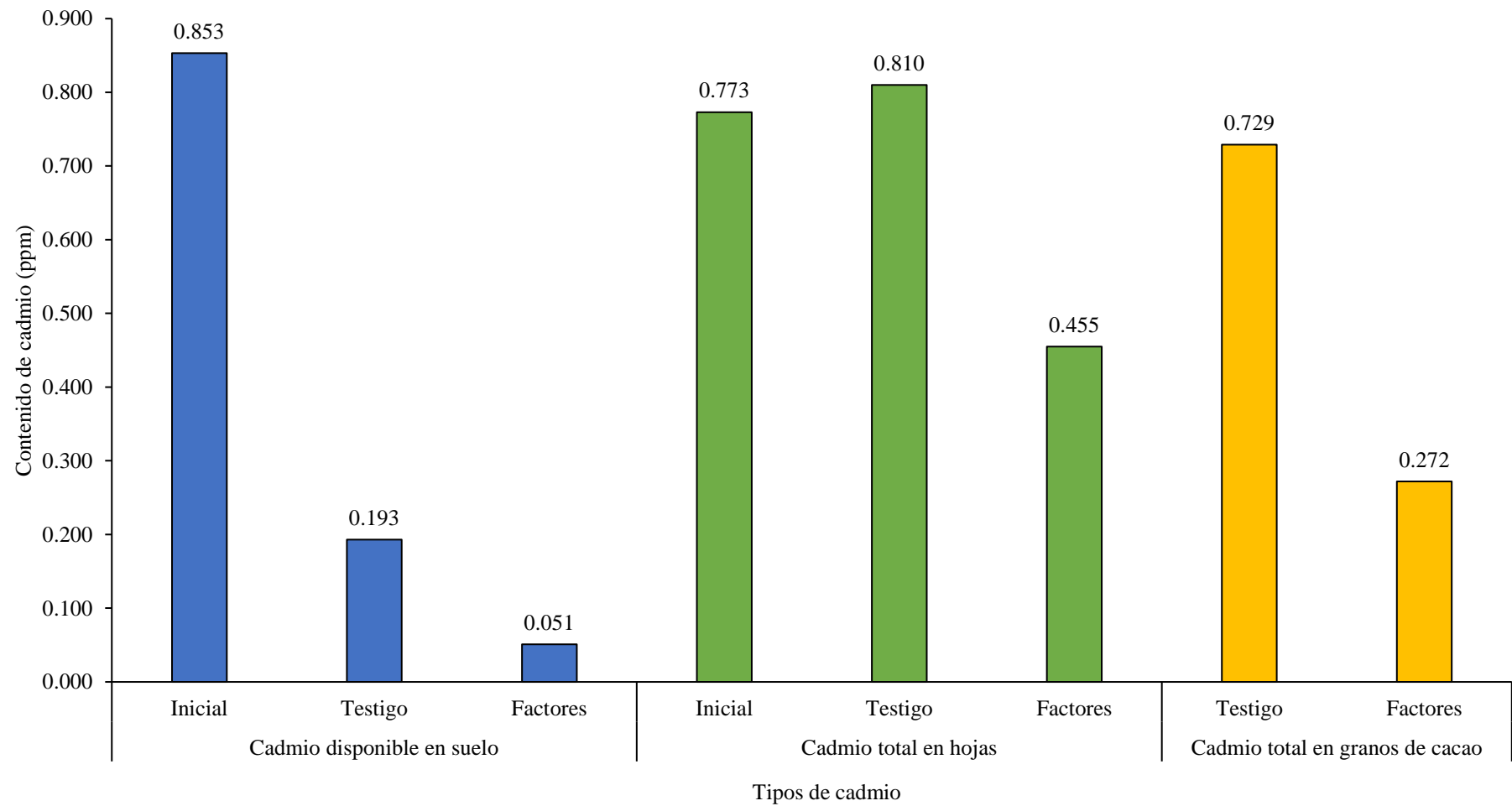
Tratamientos	Cd total en almendras de cacao (ppm)
Factores	0,272 $\pm$ 0,09 a
Testigo	0,729 $\pm$ 0,09 b

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



**Figura 12.** Contenido de Cd total en almendras de cacao por efecto de factores vs testigo.

En la Figura 13, se muestra el efecto de las enmiendas orgánicas, aplicadas el suelo, debido que en todos los tipos de Cd analizados se muestra menos contenido de Cd comparado con Cd inicial y testigo. Según Correa (2018) determina que la aplicación de enmiendas orgánicas disminuye el contenido de Cd en suelos y órganos (hojas, tallos y raíces) debido a cambios de nutrientes que causan en el suelo. Asimismo, Huaraca et al. (2020) identificamos el valor potencial de las modificaciones orgánicas para reducir la absorción de Cd de la planta y mejorar la inmovilización a través de los procesos de adsorción, intercambio iónico, complejación y precipitación. El uso de reguladores orgánicos en suelos agrícolas que contienen cadmio es factible, rápido, rentable y respetuoso con el medio ambiente porque puede fijar o reducir la solubilidad del cadmio al aumentar los sitios de unión por adsorción a través de la atracción electrostática entre los metales) el pH también puede aumentar con la fase sólida del suelo, promoviendo la capacidad de intercambio catiónico para formar cadmio precipitado por carbonato y fosfato (Durango et al., 2021). Con la aplicación de enmiendas orgánicas el Cd se une en complejos orgánicos, también puede unirse a los coloides del suelo, a los óxidos de hierro. Sun et al. (2014) La adsorción máxima de Cd se logró utilizando carbón activado, lo que resultó en un valor de 26,5 ppm. Los principales factores que afectan el proceso de adsorción son el pH de la solución, la estructura de los poros y la acidez de la superficie del carbón activado. Munive et al. (2020) confirmaron que la aplicación de enmiendas biológicas no solo contribuye a un mejor desarrollo de los cultivos, sino que también promueve la disolución del Cd en el suelo.



**Figura 13.** Contenido de Cd en diferentes formas del estudio.

## V. CONCLUSIÓN

De acuerdo a los resultados obtenidos se llegó a las siguientes conclusiones:

1. Se determinó el menor contenido de Cd total en el suelo con la aplicación de 50 L/ha de Avibiol (0,13 ppm) y la menor aplicación de Monty's con dosis de 4 L/ha con valor promedio de 0,12 ppm; los factores en estudio promovieron el menor resultados con valores promedio de 0,18 ppm, en cambio en el tratamiento testigo se obtuvo un valor promedio de 0,36 ppm; por los que los factores en estudio disminuyen el contenido de Cd total del suelo en 50%.
2. El Cd disponible en el suelo, se determinó con las combinaciones de 80 L/ha de Avibiol con 4 L/ha de Monty's determinando el menor contenido de Cd con valor promedio de 0,024 ppm; el tratamiento testigo obtuvo un contenido promedio de 0,193 ppm de Cd y los factores en estudio un valor promedio de 0,051 ppm de Cd, es decir las enmiendas disminuye la absorción de Cd en 0,142 ppm que representa el 73,58%. y en cuanto a la variable Cd total en hojas del cultivo de cacao, se determinó menor contenido de Cd con la aplicación de Avibiol y Monty's en dosis de 80 y 2 L/ha con valor promedio de 0,377 ppm, tratamiento testigo presenta valor promedio de 0.810 ppm y con la aplicación de los factores el valor de Cd fue 0,455 ppm, las cuales disminuyo en 0,355 ppm que representa el 43,83%
3. La variable Cd total en almendras de cacao muestra menor contenido con la aplicación de 80 L/ha de Avibiol con valor promedio de 0,168 ppm y el tratamiento testigo muestra un valor promedio de 0,729 ppm y los factores un contenido promedio de 0,272 ppm, lo cual disminuyo 0,457 ppm de Cd y representa el 62,96%.

## **VI. RECOMENDACIONES**

De este modo, basado en nuestras conclusiones podemos recomendar lo siguiente:

1. Realizar trabajos para evaluar mayores dosis o niveles de enmiendas orgánicas, campaña chica y grande del cultivo de cacao.
2. Realizar ensayos para entender mejor los efectos de la combinación de Avibiol y Monty's sobre contenido de Cd en otros clones del cultivo de cacao y diferentes edades.
3. En base a nuestro mejor nivel obtenida, promover el estudio para evaluar el efecto en otros clones de cacao y en diferentes edades
4. Aplicar otras dosis de enmiendas orgánicas con la finalidad de incremental la fertilidad del suelo y disminuir el contenido de Cd en suelo y órganos del cultivo de cacao.

## VII. BIBLIOGRAFÍA

- Alloway, B y Steiness, E. (1999). Anthropogenic additions of cadmium to soils. En Cadmium in Soils and Plants (eds. McLaughlin, M.J. y Singh, B.R.), pp. 97-123. Kluwer Academic Publishers. Dordrecht, The Netherlands
- ADEX (Asociación de Exportadores). (2015). ADEX DATA TRADE, <http://www.adexdatatrade.com> biorremediación de metales pesados Cd (Cd), cromo (Cr) y mercurio (Hg) mecanismos bioquímicos e ingeniería. ISSN 1900-4699, Volumen 12, Número 2, Páginas 172-197 DOI: <http://dx.doi.org/10.18359/rfcb.2027>
- Arévalo, M., Gonzales, D., Maroto, S., Delgado, T y Montoya, P. (2017). Manual Técnico del cultivo de cacao prácticas latinoamericanas. Costa Rica. ISBN. 978-32-9248-732-4. 143 p.
- Asociación Nacional del Café. Cultivo de cacao (ANACAFE). (2004). Programa de diversificación de ingresos en la empresa cafetalera. 24 p. <http://infocafes.com/portal/wp-content/uploads/2016/05/Cultivo-de-Cacao.pdf>
- Cardenas, A. (2012). Presencia de Cd en Algunas Parcelas de Cacao Orgánico en la Cooperativa Agraria Industrial Naranjillo - Tingo María - Perú. Tesis para optar el Título de: Ingeniero Agrónomo. 113 p. <http://repositorio.unas.edu.pe/bitstream/handle/UNAS/153/AGR-596.pdf?sequence=1&isAllowed=y>
- Cerrón, G. (2012). Asistencia técnica dirigida en manejo del cultivo de cacao. Guía técnica. 38 p. [https://www.agrobanco.com.pe/wp-content/uploads/2017/07/010-f-cacao\\_CULTIVOS\\_.pdf](https://www.agrobanco.com.pe/wp-content/uploads/2017/07/010-f-cacao_CULTIVOS_.pdf)
- Christensen, T y Haung, P. (1999). Solid phase cadmium and the reactions of aqueous cadmium with soil surfaces. En: Cadmium in Soils and Plants (eds. McLaughlin, M.J. y Singh, B.R.), 65-96 p. Kluwer Academic Publishers. Dordrecht, The Netherlands.
- Codex Alimentarius (2015). Anteproyecto de niveles máximos para el Cd en el chocolate y productos derivados de cacao. En línea: CODEX ALIMENTARIUS [ftp://ftp.fao.org/codex/meetings/cccf/cccf9/cf09\\_06s.pdf](ftp://ftp.fao.org/codex/meetings/cccf/cccf9/cf09_06s.pdf)
- COOPAIN (Cooperativa Agraria Industrial Naranjillo). (2013). Productos de uso orgánico: cacao y café. Tingo María (Perú). Boletín técnico. 9 p.
- Correa, J. A. (2018). Efecto de enmiendas cálcicas y orgánicas en la absorción de Cd en plantones de cacao (*Theobroma cacao* L.) en la Región San Martín. [Universidad Nacional De San Martín-Tarapoto]. Tesis para optar el título profesional de Ingeniero Agrónomo. Tarapoto – Perú. 83 p. <http://tesis.unsm.edu.pe/bitstream/>.

- Dávila, E. C. (2019). Uso de enmiendas en la reducción del contenido de Cd en el suelo y en los granos del cacao (*Theobroma cacao* L.) Clon CCN-51. Tesis para obtener el grado de maestro en ciencias agrarias mención: cultivos tropicales. [Universidad Nacional Agraria de la Selva]. Tingo María – Perú. 127 p. [https://repositorio.unas.edu.pe/bitstream/handle/UNAS/1623/TS\\_ECDZ\\_2019.pdf?sequence=4&isAllowed=y](https://repositorio.unas.edu.pe/bitstream/handle/UNAS/1623/TS_ECDZ_2019.pdf?sequence=4&isAllowed=y)
- Delgado, D. M. (2017). Aplicación de enmiendas orgánicas para la recuperación de propiedades físicas del suelo asociadas a la erosión hídrica. no. 17, Pp 77-83, 2017 DOI: <http://dx.doi.org/10.21501/21454086.1907>
- Dickson, T. (2013). Química Enfoque Ecológico. 2 ed. México D.F. (México): Limusa, Noriega Editores, 102 p.
- Dionisio, E. E. (2020). Impacto de productos biodegradables aplicados al suelo sobre la acumulación de Cd en cacao (*Theobroma cacao* L.). tesis para optar el título de: Ingeniero Agrónomo. [Universidad Nacional Agraria La Molina]. Lima – Perú. 79 p. <https://repositorio.lamolina.edu.pe/bitstream/>.
- Durango, W., Carrillo, M., Peña, K. (2021). Mitigación de Cd en el suelo mediante enmiendas orgánicas. Ministerio de Agricultura y Ganadería. Ecuador. ISBN: 978-9942-22-524-5. 36 p. <https://balcon.mag.gob.ec/mag01/magapaldia/>.
- Eurachem, G. (2014). The Fitness for Purpose of Analytical Methods A Laboratory Guide to Method Validation and Related Topics. 2 ed. Ohio (USA): 52.73 p.
- García, I y Dorronsoro, C. (2002). Contaminación por metales pesados. 73 p. <http://www.idiaf.gov.do/publicaciones/publications/cacao/>
- Gordón, R., Camargo, I. (2005). selección de estadísticos para la estimación de la precisión experimental en ensayos de maíz. Agron. Mesoam. 26(1):55-63. 2015 ISSN 2215-3608 doi 10.15517/am. v26i1.16920.
- Hernández, A. (2011). Determinación de metales pesados en suelos de Natividad Ixtlán de Juárez Oaxaca [Tesis de Licenciatura]. Oaxaca (México): Universidad de la Sierra, Facultad de Ingeniería, 87 p
- Huaman., L (2019). Evaluación del nivel contaminación por metales pesados en la población infantil del centro poblado de Paragsha para determinar la incidencia probable de la exposición ambiental frente a las sustancias producidas por la actividad minera - Distrito de Simon Bolivar- Cerro de Pasco – 2018. Tesis para optar el título de Ingeniero Ambiental. 126 p. [http://repositorio.undac.edu.pe/bitstream/undac/1663/1/T026\\_45157188\\_T.pdf](http://repositorio.undac.edu.pe/bitstream/undac/1663/1/T026_45157188_T.pdf)



- Huamaní, H. (2016). Difusión de resultados preliminares del proyecto “Desarrollo de un plan de manejo de la fertilidad orgánica de los suelos para reducir la acumulación de Cd en las almendras de cacao en el ámbito de la Cooperativa Agraria Industrial Naranjillo Ltda.” En: TALLER: Contenido de metales pesados en cacaotales de Tingo María. Tingo María. Perú.
- Huamani, H., Huauya, M., Mansilla, L., Florida, N y Neira, G. (2012). Presencia de metales pesados en cultivo de cacao (*Theobroma cacao*) orgánico. *Acta Agronómica*. Tingo María, Perú. 61(4):339-344.
- Huaraca, J. N., Pérez, L., Bustinza, L. S., Pampa, N. B. (2020). Enmiendas orgánicas en la inmovilización de Cd en suelos agrícolas contaminados: una revisión. *Información Tecnológica* Vol. 31(4), 139-152. <https://www.scielo.cl/pdf/infotec/v31n4/0718-0764-infotec-31-04-139.pdf>
- Invima (Instituto Nacional de Vigilancia de Medicamento y Alimentos). (2020). Plan nacional de vigilancia en productos derivados de cacao para exportación. Cra. 10 n° 64 – 28 Bogota. <https://www.invima.gov.co/documents/20143/3846926/PLAN+CD+EN+CACAO+EXPORTACION++2020+VFv.pdf>
- López, M., Jaimez, R., Orozco, L. (2021). Cd en el cultivo de cacao. Ministerio de Agricultura y Ganadería. ISBN: 978-9942-22-514-6. [https://balcon.mag.gob.ec/mag01/magapaldia/Caja%20de%20Herramientas\\_Cd\\_Cacao/Guia\\_1.pdf](https://balcon.mag.gob.ec/mag01/magapaldia/Caja%20de%20Herramientas_Cd_Cacao/Guia_1.pdf)
- Martínez, D. E., Marrugo, J. L. (2020). Efecto de la adición de enmiendas en la inmovilización de metales pesados en suelos mineros del sur de Bolívar, Colombia. *Cienc. Tecnol. Agropecuaria*,22(2): e2272DOI: [https://doi.org/10.21930/rcta.vol22\\_num2\\_art:2272](https://doi.org/10.21930/rcta.vol22_num2_art:2272).
- McLaughlin, M y Singh, B. (1999). *Cadmium in Soils and Plants*. Kluwer Academic Publishers. Dordrecht, The Netherlands
- Mendoza, K.L., Mostacero, J., López, S. E., Gil, A. E., De La Cruz, A., Villena, L. (2021). Cd en plantaciones de *Theobroma cacao* L. "cacao" en la región San Martín (Lamas), Perú. *Manglar* 18(2): 169-173. DOI: <http://dx.doi.org/10.17268/manglar.2021.022>.
- Ministerio de Agricultura y riego (MINAGRI). (2016). Estudio del cacao en el Perú y el mundo. Un análisis de la producción y el comercio 90 p. <https://camcafeperu.com.pe/admin/recursos/publicaciones/Estudio-cacao-Peru-y-Mundo.pdf>
- Ministerio de Agricultura. (2003). PROAMAZONIA (Programa para el desarrollo de la amazonia). Manual de cultivo de cacao. 100 p.
- Mite, F. (2013). Situación de Cd en cacao. Conferencia mundial del cacao. Guayaquil.

- Monty's. (2022). Monty's liquid carbon. proprietary activated humic technology. <https://montysplantfood.com/products/montys-liquid-carbon/>. 2 p.
- Munive, R., Gamarra, G., Munive, Y., Puertas, F., Valdiviezo, L., Cabello, R. (2020). Absorción de plomo y Cd por girasol de un suelo contaminado y remediado con enmiendas orgánicas en forma de compost y vermicompost. *Scientia Agropecuaria* 11(2): 177 – 186. <http://www.scielo.org.pe/pdf/agro/v11n2/2077-9917-agro-11-02-177.pdf>
- Ortega, H., Benavides, A., Arteaga, R., Zermeño, A. (2007). Fitorremediación de suelos contaminados con metales pesados. Coahuila. México. 112 p. [http://www.abenmen.com/a/Nutricion\\_Vegetal-4.pdf](http://www.abenmen.com/a/Nutricion_Vegetal-4.pdf)
- Peris, M. (2006). Estudio de metales pesados en suelos bajo cultivos hortícolas de la provincia de Castellon (España) [PhD. Tesis, Ingeniera Química]. Valencia (España): Universidad de Valencia, Facultad de Ingeniería, 247 p.
- Pinto, A., Mota, A., De Varennes, A y Pinto, F. (2004). Influence of organic matter on the uptake of cadmium, zinc, copper and iron by sorghum plants. *Science of the Total Environment* 326:239-274.
- Ramírez, A. (2002). Toxicología del Cd. Conceptos actuales para evaluar exposición ambiental u ocupacional con indicadores biológicos. Universidad Mayor de San Marcos. Lima. Vol 63. N° 01. 51 – 64 p. [https://sisbib.unmsm.edu.pe/bvrevistas/anales/v63\\_n1/pdf/toxicologia\\_Cd.pdf](https://sisbib.unmsm.edu.pe/bvrevistas/anales/v63_n1/pdf/toxicologia_Cd.pdf)
- Sánchez, G. 2016. Ecotoxicología del Cd. Riesgo para la salud de la utilización de suelos ricos en Cd. 23 p. <http://147.96.70.122/Web/TFG/TFG/Memoria/GARA%20SANCHEZ%20BARRON.pdf>
- Sapaico, Y. (2020). Efecto de la cal, materia orgánica y EM en el contenido de Cd de un suelo contaminado en el centro poblado de Huancaní, distrito de Leonor Ordoñez, provincia de Jauja – 2019. Tesis Para optar el título Profesional de Ingeniero Ambiental. [Universidad Continental]. Huancayo – Perú. 85 p. [https://repositorio.continental.edu.pe/bitstream/20.500.12394/8166/3/IV\\_FIN\\_107\\_TE\\_Sapaico\\_Chancasanampa\\_2020.pdf](https://repositorio.continental.edu.pe/bitstream/20.500.12394/8166/3/IV_FIN_107_TE_Sapaico_Chancasanampa_2020.pdf).
- Sun, M., Obregón, D., Pinedo, Á., Paredes, A. L., Aylas, L. (2014). Adsorción de metales pesados empleando carbones activados preparados a partir de semillas de aguaje. *Rev Soc Quím Perú*. 80 (4). <http://www.scielo.org.pe/pdf/rsqp/v80n4/a02v80n4.pdf>

- Wasson, S., Linak, W., Gullett, B., King, C., Touati, A., Huggins, F., Chen, Y., Shah, N. y Huffman, G. (2005). Emission of chromium, copper, arsenic and PCDD's/Fs from open burning of CCA-treated wood. *Environmental Science Technology*, 3(5), 8865-8876 p.
- Zamora, F., Rodríguez, N., Torres, R y Yendis, H. (2008). Efecto del riego con aguas residuales sobre propiedades químicas de suelos de la planicie de Coro. Estado Falcón (Venezuela): Bioagro, 193-199 p.

## **ANEXO**

**Tabla 19.** Análisis de Cd en suelo y plantas del cultivo de cacao

RESULTADOS							
CÓDIGO	LUGAR	BLOQUE	TRATAMIENTO	Cd TOTAL SUELOS (ppm)	Cd DISPONIBLE SUELOS (ppm)	Cd TOTAL HOJAS (ppm)	Cd TOTAL ALMENDRAS (ppm)
1	RIO ESPINO	BI	INICIAL	0.240	0.042	1.040	
2	RIO ESPINO	BII	INICIAL	0.135	0.036	0.500	
3	RIO ESPINO	BIII	INICIAL	0.210	0.053	0.780	
4	RIO ESPINO	BI	T1R1	0.170	0.050	0.605	0.230
5	RIO ESPINO	BII	T1R2	0.170	0.050	0.475	0.400
6	RIO ESPINO	BIII	T1R3	0.195	0.040	0.425	0.510
7	RIO ESPINO	BI	T2R1	0.060	0.032	0.390	0.235
8	RIO ESPINO	BII	T2R2	0.080	0.030	0.465	0.327
9	RIO ESPINO	BIII	T2R3	0.105	0.036	0.420	0.225
10	RIO ESPINO	BI	T3R1	0.140	0.074	0.300	0.210
11	RIO ESPINO	BII	T3R2	0.120	0.067	0.400	0.085
12	RIO ESPINO	BIII	T3R3	0.155	0.084	0.440	0.060
13	RIO ESPINO	BI	T4R1	0.260	0.075	0.385	0.075
14	RIO ESPINO	BII	T4R2	0.312	0.077	0.330	0.395
15	RIO ESPINO	BIII	T4R3	0.230	0.066	0.415	0.145
16	RIO ESPINO	BI	T5R1	0.130	0.027	0.400	0.145
17	RIO ESPINO	BII	T5R2	0.130	0.020	0.465	0.324
18	RIO ESPINO	BIII	T5R3	0.175	0.026	0.395	0.115
19	RIO ESPINO	BI	T6R1	0.330	0.045	0.445	0.095
20	RIO ESPINO	BII	T6R2	0.200	0.048	0.685	0.100
21	RIO ESPINO	BIII	T6R3	0.295	0.038	0.635	0.120
22	RIO ESPINO	BI	T7R1	0.365	0.203	0.821	0.993
23	RIO ESPINO	BII	T7R2	0.401	0.194	0.785	0.483
24	RIO ESPINO	BIII	T7R3	0.302	0.182	0.823	0.712
25	RIO ESPINO	BI	T8R1	0.210	0.060	0.375	0.723
26	RIO ESPINO	BII	T8R2	0.235	0.048	0.440	0.080
27	RIO ESPINO	BIII	T8R3	0.170	0.050	0.520	0.070
28	RIO ESPINO	BI	T9R1	0.105	0.042	0.458	0.563
29	RIO ESPINO	BII	T9R2	0.140	0.098	0.560	0.320
30	RIO ESPINO	BIII	T9R3	0.185	0.037	0.490	0.432
31	RIO ESPINO	BI	T10R1	0.100	0.051	0.525	0.673
32	RIO ESPINO	BII	T10R2	0.178	0.060	0.455	0.294
33	RIO ESPINO	BIII	T10R3	0.190	0.040	0.400	0.389



**Figura 14.** Cálculo de las dosis de las enmiendas orgánicas



**Figura 15.** Mezcla de las dosis de enmiendas orgánicas





**Figura 16.** Identificación de plantas a evaluar



**Figura 17.** Aplicación de enmiendas orgánicas





**Figura 18.** Muestreo de mazorcas de cacao



**Figura 19.** Muestreo de suelo.





**Figura 20.** Muestra de suelo, hojas y almendras de cacao.