



FACULTAD DE CIENCIAS AMBIENTALES

CARRERA PROFESIONAL DE INGENIERÍA  
AGROFORESTAL

“EFECTO DEL ENCALADO Y ENMIENDAS ORGÁNICAS EN EL  
NIVEL DE CADMIO EN PLANTAS DE CACAO DEL CLON CCN-51”

Tesis para optar el título profesional de:  
INGENIERO AGROFORESTAL

Presentado por:

Josselyn Alexandra Revollar Mateo (0000-0002-1107-959X)

Asesor:

Mg Sc. Santiago Pastor Soplin (0000-0001-7109-417X)

Co-Asesor:

Mg Sc. César O. Arévalo Hernández (0000-0002-1390-3503)

Lima – Perú  
2020

### ACTA DE SUSTENTACIÓN DE TESIS

Lima, 3 de diciembre de 2020.

Los integrantes del Jurado de tesis:

Presidente: Dra. HÉCTOR ALONSO APONTE UBILLÚS
Miembro: Mg. LUIS PAUL QUIRÓS ROSSI
Miembro: Mg. DANIEL ENCARNACIÓN CHÁVEZ BOCANEGRA

Se reúnen para evaluar la tesis titulada:

**“EFECTO DEL ENCALADO Y ENMIENDAS ORGÁNICAS EN EL NIVEL DE CADMIO EN PLANTAS DE CACAO DEL CLON CCN-51”**

Presentada por la/el estudiante/bachiller:

- **JOSELYN ALEXANDRA REVOLLAR MATEO**

Para optar el Título Profesional de Ingeniero Agroforestal

Asesorada por: Santiago Hilarión Pastor Soplin

Luego de haber evaluado el informe final de tesis y evaluado el desempeño de el/la estudiante de la carrera de Ingeniería Agroforestal en la sustentación, concluyen de manera unánime (X) por mayoría simple ( ) calificar a:

Tesista: <b>JOSELYN ALEXANDRA REVOLLAR MATEO</b>	Nota (en letras): 17 (diecisiete)
Aprobado ( ) Aprobado - Muy buena (x)	Aprobado - Sobresaliente ( ) Desaprobado ( )

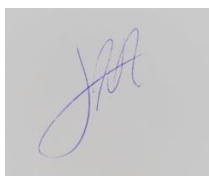
Los miembros del jurado firman en señal de conformidad.



**Dr. HÉCTOR ALONSO APONTE UBILLÚS**  
Presidente



**MG. SANTIAGO HILARIÓN PASTOR SOPLÍN**  
Asesor



**Mg. LUIS PAUL QUIRÓS ROSSI**  
Miembro 1



**Mg. DANIEL ENCARNACIÓN CHÁVEZ BOCANEGRA**  
Miembro 2

Para mis padres, por su amor, trabajo y sacrificio durante todos estos años, son el mejor ejemplo de fortaleza, perseverancia y humildad para nuestra familia.

## **AGRADECIMIENTOS**

Al Instituto de Cultivos Tropicales (I.C.T) por darme la oportunidad y brindarme las facilidades para desarrollar esta investigación.

A mi co-asesor Ing. Mg Sc. César Arévalo Hernández, por guiarme y asesorarme durante todo el proceso de investigación y por compartirme sus conocimientos.

A mi asesor Mg Sc. Santiago Pastor Soplin por dedicar su tiempo y conocimientos para esta investigación.

Al Ing. Mg Sc. Abel Farfán Pinedo, por su invaluable tiempo e incondicional apoyo durante el proceso de investigación y a mis compañeros del Instituto de Cultivos Tropicales, por su apoyo durante la realización de la investigación tanto en campo como en el procesamiento de muestras de laboratorio.

A mis incondicionales amigos por su apoyo durante todo el tiempo que estuve lejos de casa.

## ÍNDICE GENERAL

	Pág.
RESUMEN.....	10
ABSTRACT.....	11
1. INTRODUCCIÓN.....	12
2. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA .....	13
3. MARCO TEÓRICO.....	15
3.1 Cacao ( <i>Theobroma cacao</i> L.) .....	15
3.2 Enmiendas orgánicas .....	17
a. <i>Compost</i> .....	18
b. <i>Dolomita</i> .....	19
c. <i>Biochar</i> .....	19
d. <i>Zeolita</i> .....	20
3.3 Metales pesados en suelos agrícolas.....	21
3.4 Cadmio.....	21
a. <i>Cadmio en los suelos</i> .....	22
b. <i>Cadmio en plantas</i> .....	23
c. <i>Factores que afectan la biodisponibilidad de cadmio en el suelo a las plantas de cacao</i> .....	24
4. OBJETIVOS E HIPÓTESIS .....	25
4.1 Objetivos .....	25
4.2 Hipótesis.....	26
5. METODOLOGÍA .....	26
5.1 Materiales .....	26
a. <i>Material genético</i> .....	26
b. <i>Materiales de campo</i> .....	26
c. <i>Insumos</i> .....	27

d.	<i>Equipos</i> .....	27
5.2	<b>Ubicación del ensayo</b> .....	<b>27</b>
5.3	<b>Diseño experimental</b> .....	<b>28</b>
5.4	<b>Tratamientos en la investigación</b> .....	<b>28</b>
5.5	<b>Distribución de los tratamientos</b> .....	<b>29</b>
5.6	<b>Manejo de la investigación</b> .....	<b>30</b>
a.	<i>Preparación del sustrato</i> .....	30
b.	<i>Preparación de la solución contaminante</i> .....	31
c.	<i>Contaminación del sustrato</i> .....	31
d.	<i>Aplicación de los tratamientos</i> .....	31
e.	<i>Obtención de semillas</i> .....	33
f.	<i>Pre-germinado</i> .....	34
g.	<i>Siembra</i> .....	35
h.	<i>Mantenimiento</i> .....	36
i.	<i>Sacrificio</i> .....	36
5.7	<b>Evaluación de los parámetros</b> .....	<b>36</b>
a.	<i>Diámetro de tallo y altura de los plantones</i> .....	36
b.	<i>Biomasa seca aérea y biomasa seca raíz (BSA/BSR)</i> .....	38
c.	<i>Concentración de cadmio en tejidos vegetales</i> .....	39
d.	<i>pH en suelos</i> .....	40
e.	<i>Cadmio disponible en suelos</i> .....	40
f.	<i>Análisis estadístico</i> .....	41
6.	<b>RESULTADOS</b> .....	<b>42</b>
7.	<b>DISCUSIÓN</b> .....	<b>55</b>
8.	<b>CONCLUSIONES</b> .....	<b>61</b>
9.	<b>RECOMENDACIONES</b> .....	<b>62</b>
10.	<b>REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS</b> .....	<b>63</b>
11.	<b>ANEXOS</b> .....	<b>73</b>

## ÍNDICE DE FIGURAS

	<b>Pág.</b>
Figura 1. Zonas productoras de cacao en el Perú .....	17
Figura 2. Vivero de la estación experimental "Juan Bernito" .....	28
Figura 3. Distribución de los tratamientos en las camas en el vivero. Los códigos de los tratamientos se encuentran en el anexo 13. ....	30
Figura 4. Recolección, tamizado y distribución de sustrato .....	31
Figura 5. Pesado de enmiendas orgánicas.....	32
Figura 6. Mazorcas recolectadas .....	33
Figura 7. Selección de semillas en el tercio de la mazorca .....	34
Figura 8. Pregerminado.....	35
Figura 9. Siembra de granos de cacao .....	35
Figura 10. Sacrificio de los plantones .....	36
Figura 11. Vernier Stanley 6 PGDS .....	37
Figura 12. Toma de datos de la altura de los plantones .....	37
Figura 13. Etiquetado y empaquetado de partes aéreas.....	38
Figura 14. Limpieza de las muestras vegetales.....	39
Figura 15. Lectura de las muestras en el espectrofotómetro de absorción atómica .....	40
Figura 16. Medias del parámetro altura .....	43
Figura 17. Medias del parámetro biomasa aérea .....	45
Figura 18. Medias del parámetro biomasa radicular.....	46
Figura 19. Medias de biomasa total .....	48
Figura 20. Resultados de la prueba de Duncan (cadmio foliar).....	49
Figura 21. Prueba de Duncan (parámetro radicular) .....	51
Figura 22. Prueba de Duncan (parámetro pH de suelos).....	52
Figura 23. Prueba de Duncan (cadmio disponible).....	54

## ÍNDICE DE TABLAS

	Pág.
<b>Tabla 1.</b> <i>Tratamientos en la investigación</i> .....	28
<b>Tabla 2.</b> Análisis fisicoquímico del sustrato .....	30
<b>Tabla 3.</b> Análisis químico de las enmiendas orgánicas .....	33
<b>Tabla 4.</b> Prueba de Dunnett aplicada al parámetro altura .....	42
<b>Tabla 5.</b> Prueba de Dunnett aplicada al parámetro diámetro .....	43
<b>Tabla 6.</b> Prueba de Dunnett aplicada al parámetro biomasa aérea .....	44
<b>Tabla 7.</b> Prueba de Dunnett aplicada al parámetro biomasa radicular .....	46
<b>Tabla 8.</b> Prueba de Dunnett aplicada al parámetro biomasa total .....	47
<b>Tabla 9.</b> Prueba de Dunnett aplicada al parámetro cadmio foliar .....	48
<b>Tabla 10.</b> Prueba de Dunnett aplicada al parámetro cadmio radicular .....	50
<b>Tabla 11.</b> Prueba de Dunnett aplicada al parámetro pH .....	52
<b>Tabla 12.</b> Prueba de Dunnett aplicada al parámetro cadmio disponible .....	53



## ANEXOS

	<b>Pág.</b>
Anexo 1. Tamizado de sustrato, relleno y pesado de macetas. ....	73
Anexo 2. Pesado de cloruro de cadmio para la contaminación del sustrato .....	73
Anexo 3. Obtención de mazorcas de la estación experimental “El Choclino” .....	73
Anexo 4. Extracción del mucilago de las semillas de cacao y pregerminado .....	74
Anexo 5. Recolección de compost de la estación experimental Juan Bernito .....	74
Anexo 6. Procesamiento de las enmiendas orgánicas para su análisis en laboratorio .....	74
Anexo 7. Incorporación de enmiendas al sustrato y etiquetado de macetas .....	75
Anexo 8. Crecimiento de plántones .....	75
Anexo 9. Riego de plántones .....	75
Anexo 10. Lavado de raíces y etiquetado de muestras .....	76
Anexo 11. Pesado de biomasa seca aérea y radicular .....	76
Anexo 12. Procesamiento de muestras .....	77
Anexo 13. Código de tratamientos .....	77
Anexo 14. Prueba de normalidad, de homocedasticidad y análisis de varianza (ANOVA) para todos los parámetros evaluados .....	80

## RESUMEN

Las exportaciones de cacao pueden verse afectadas por el reglamento de la Unión Europea, la cual regula los niveles de cadmio en distintos derivados de cacao generando un posible problema de tipo socioeconómico en las familias de pequeños productores que se dedican a este cultivo. Actualmente se buscan soluciones mediante la aplicación de productos que puedan inmovilizar el cadmio en los suelos. El objetivo de esta investigación fue determinar el efecto de la aplicación del encalado (dolomita) y las enmiendas orgánicas (biochar, compost, gallinaza y zeolita) en el nivel de cadmio en plantas de cacao del clon CCN-51. Esta investigación se realizó en el Instituto de cultivos tropicales (ICT), ubicado en la ciudad de Tarapoto. Se utilizó el diseño completamente al azar (DCA), se incorporó a cada tratamiento 15 g de dolomita y 5 dosis (0 g, 1.29 g, 2.62 g, 5.23 g y 10.47 g) de cada enmienda. Se tuvo un tratamiento testigo el cual fue contaminado al igual que todos los tratamientos con cloruro de cadmio ( $\text{CdCl}_2$ ) a 15 ppm. Todos los tratamientos tuvieron 5 repeticiones. Se evaluaron los parámetros de: altura, diámetro, biomasa (aérea, radicular y total), pH, contenido de cadmio disponible en suelos, contenido de cadmio parte aérea y radicular. El tratamiento dolomita y gallinaza (10.47 g) presentó mejores resultados, obtuvo el valor de pH más alto, menor contenido de cadmio disponible y cadmio foliar.

**Palabras claves:** gallinaza, dolomita, metales pesados.

## ABSTRACT

Cocoa exports may be affected by the European Union regulation, which regulates cadmium levels in different cocoa derivatives, generating a possible socio-economic problem in the families of small producers who are dedicated to this crop. Solutions are currently being sought through the application of products that can immobilize cadmium in soils. This research was carried out at the Tropical Crops Institute, located in the city of Tarapoto. The objective was to determine the effect of the application of liming (dolomite) and organic amendments (biochar, compost, chicken manure and zeolite) on the level of cadmium in cacao plants from clone CCN-51. The completely randomized design (CRD) was used, 15 g of dolomite and 5 doses (0 g, 1.29 g, 2.62 g, 5.23 g and 10.47 g) of each amendment were incorporated into each treatment. There was a control treatment which was contaminated like all the treatments with cadmium chloride ( $\text{CdCl}_2$ ) at 15 ppm. All treatments had 5 repetitions. Parameters of height, diameter, biomass (aerial, root and total), pH, cadmium content available in soils, cadmium content aerial and root part were evaluated. The dolomite and chicken manure treatment (10.47 g) obtained the best results, which presented the highest pH value, the lowest content of cadmium available and cadmium in the leaf part.

**Keywords:** chicken manure, dolomite, heavy metals