

**UNIVERSIDAD NACIONAL DE TUMBES**

**FACULTAD DE CIENCIAS AGRARIAS**



Evaluación experimental de la capacidad fitorremediadora de  
*Ricinus communis* asociado a cepas bacterianas de suelos  
agrícolas cacaoteros contaminados con cadmio

**Tesis**

Para optar el título profesional en ingeniería forestal y medio ambiente

**Autor**

Br. Merli Clarita Peña Zárate

**Tumbes – 2023**

# UNIVERSIDAD NACIONAL DE TUMBES

## FACULTAD DE CIENCIAS AGRARIAS



Evaluación experimental de la capacidad fitorremediadora de  
*Ricinus communis* asociado a cepas bacterianas de suelos  
agrícolas cacaoteros contaminados con cadmio

Tesis aprobada en forma y estilo por:

---

Dr. Francisco Alburquerque Viera  
Presidente

---

Mg. Luis Alberto Bermejo Requena  
Secretario

---

Dr. Alduvar Neptalí López Celi  
Vocal

Tumbes – 2023

# UNIVERSIDAD NACIONAL DE TUMBES

## FACULTAD DE CIENCIAS AGRARIAS



Evaluación experimental de la capacidad fitorremediadora de  
*Ricinus communis* asociado a cepas bacterianas de suelos  
agrícolas cacaoteros contaminados con cadmio

Los suscritos declaramos que la tesis es original en su contenido y  
forma:

---

Br. Merli Clarita Peña Zarate

---

Dr. Cruz Cerro, Gerardo

---

Mg. Silva Álvarez, Jean Carlos

---

Mg. Rimaycuna Ramírez, John Henry

Tumbes – 2023



UNIVERSIDAD NACIONAL DE TUMBES  
FACULTAD DE CIENCIAS AGRARIAS  
ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERIA FORESTAL  
Y MEDIO AMBIENTE  
TUMBES - PERÚ



*"Año de la Unidad, la Paz y el Desarrollo"*

### ACTA DE SUSTENTACION DE TESIS

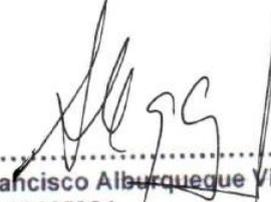
En la Ciudad de Tumbes, siendo las ..... 10:03 ..... horas con ..... 20 ..... minutos del día ..... 19 ..... del mes de ..... mayo ..... del dos mil veintitrés, se reunieron presencialmente los integrantes del Jurado Evaluador designados con Resolución N°019-2022/UNTUMBES-VRACAD-FCA-D, de fecha veintiocho de marzo de dos mil veintidós conformada por: **Dr. Francisco Alburquerque Viera** (Presidente); **Mg. Luis Alberto Bermejo Requena** (Secretario); **Mg. Alduvar Neptali López Celi** (Vocal); con la finalidad de evaluar y calificar la sustentación y defensa del informe final de la tesis titulada: "Evaluación experimental de la capacidad fitorremediadora de *Ricinus communis* asociado a cepas bacterianas de suelos agrícolas cacaoteros contaminados con cadmio" presentado y desarrollado por el **Br. PEÑA ZÁRATE MERLI CLARITA**, para optar el título profesional de Ingeniería Forestal y Medio Ambiente.

Concluida la sustentación, la formulación y absolución de las preguntas y después de la deliberación, el jurado evaluador en concordancia con el artículo 65 del reglamento de tesis para pre grado y posgrado de la Universidad Nacional de Tumbes, lo declaran ..... aprobada ..... por ..... unanimidad ..... con el calificativo de ..... muy bueno .....

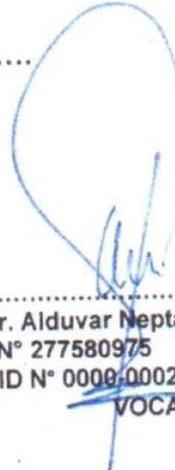
Por lo tanto, el Br. Merli Clarita Peña Zárate queda APTA para que el Consejo Universitario de la Universidad Nacional de Tumbes le expida el título profesional de Ingeniera Forestal y Medio Ambiente de conformidad con el Artículo 90 del estatuto y a lo normado en el reglamento de grados y títulos

Siendo las ..... once ..... horas con ..... 42 ..... del mismo día, mes y año, el Presidente del Jurado evaluador dio por culminado el presente acto académico y en señal de conformidad se firma la presente.

Tumbes, 19 de mayo de 2023.

  
.....  
Dr. Francisco Alburquerque Viera  
DNI N° 00225904  
ORCID N° 0000-0002-50088085  
PRESIDENTE

  
.....  
Mg. Luis Alberto Bermejo Requena  
DNI N° 00223850  
ORCID N° 0000-0003-0841-3064  
SECRETARIO

  
.....  
Dr. Alduvar Neptali López Celi  
DNI N° 277580975  
ORCID N° 0000-0002-2275-9937  
VOCAL

## Tesis

### INFORME DE ORIGINALIDAD

13%

INDICE DE SIMILITUD

12%

FUENTES DE INTERNET

6%

PUBLICACIONES

%

TRABAJOS DEL  
ESTUDIANTE

### FUENTES PRIMARIAS

1

[hdl.handle.net](https://hdl.handle.net)

Fuente de Internet

1%

2

[repositorio.unan.edu.ni](https://repositorio.unan.edu.ni)

Fuente de Internet

1%

3

[erp.untumbes.edu.pe](https://erp.untumbes.edu.pe)

Fuente de Internet

1%

4

[www.microimages.com](http://www.microimages.com)

Fuente de Internet

1%

5

慎一 渡邊 "オーニングによる暑熱緩和および紫外線遮蔽効果の実証的研究", 環境情報科学論文集, 2018

Publicación

<1%

6

[repositorio.untumbes.edu.pe](https://repositorio.untumbes.edu.pe)

Fuente de Internet

<1%

7

[pdffox.com](https://pdffox.com)

Fuente de Internet

<1%

8

[repositorio.unac.edu.pe](https://repositorio.unac.edu.pe)

Fuente de Internet

<1%

9	Christian Völlmecke. "Spectroscopic investigation of the reaction mechanism of CopB-B, the catalytic fragment from an archaeal thermophilic ATP-driven heavy metal transporter", FEBS Journal, 11/2009	<1%
Publicación		
10	<a href="http://www.stata-press.com">www.stata-press.com</a>	<1%
Fuente de Internet		
11	<a href="http://1library.co">1library.co</a>	<1%
Fuente de Internet		
12	Contreras Ramirez Perla Guadalupe. "Embutidos crudos, cocidos y escaldados (revisión bibliografica)", TESIUNAM, 2005	<1%
Publicación		
13	<a href="http://eprints.ucm.es">eprints.ucm.es</a>	<1%
Fuente de Internet		
14	<a href="http://repositorio.unal.edu.co">repositorio.unal.edu.co</a>	<1%
Fuente de Internet		
15	RAYMONDI QUISPE WILLIAM PEDRO. "ITS del Proyecto de Modificación y Ampliación del Proyecto Iniciado en el Establecimiento de Venta de Combustibles Líquidos con Gasocentro de GLP y GNV-IGA0020441", R.D. N° 043-2021-MINEM/DGAAH, 2022	<1%
Publicación		



16	Chen, Yanfei, Nan Qin, Jing Guo, Guirong Qian, Daiqiong Fang, Ding Shi, Min Xu, Fengling Yang, Zhili He, Joy D Van Nostrand, Tong Yuan, Ye Deng, Jizhong Zhou, and Lanjuan Li. "Functional gene arrays-based analysis of fecal microbiomes in patients with liver cirrhosis", BMC Genomics, 2014.	<1%
Publicación		
17	<a href="http://repositorio.ucv.edu.pe">repositorio.ucv.edu.pe</a>	<1%
Fuente de Internet		
18	<a href="http://www.edu.lahti.fi">www.edu.lahti.fi</a>	<1%
Fuente de Internet		
19	<a href="http://es.scribd.com">es.scribd.com</a>	<1%
Fuente de Internet		
20	Nancy Lizbeth Hernández-Valladares, Francisco Palemón-Alberto, Agustín Damián-Nava, Blas Cruz-Lagunas et al. "INOCULACIÓN DE BACTERIAS PROMOTORAS DE CRECIMIENTO VEGETAL Y SU EFECTO EN ECOTIPOS DE TOMATE", Revista Fitotecnia Mexicana, 2021	<1%
Publicación		
21	<a href="http://www.scribd.com">www.scribd.com</a>	<1%
Fuente de Internet		
22	<a href="http://repositorio.upeu.edu.pe:8080">repositorio.upeu.edu.pe:8080</a>	<1%
Fuente de internet		



23	<a href="http://documentop.com">documentop.com</a> Fuente de Internet	<1%
24	<a href="http://idoc.pub">idoc.pub</a> Fuente de Internet	<1%
25	<a href="http://dspace.espoch.edu.ec">dspace.espoch.edu.ec</a> Fuente de Internet	<1%
26	<a href="http://www.coursehero.com">www.coursehero.com</a> Fuente de Internet	<1%
27	<a href="http://accedacris.ulpgc.es">accedacris.ulpgc.es</a> Fuente de Internet	<1%
28	<a href="http://repositorio.lamolina.edu.pe">repositorio.lamolina.edu.pe</a> Fuente de Internet	<1%
29	<a href="http://www.sitioperu.com">www.sitioperu.com</a> Fuente de Internet	<1%
30	<a href="http://repositorio.unap.edu.pe">repositorio.unap.edu.pe</a> Fuente de Internet	<1%
31	<a href="http://cgspace.cgiar.org">cgspace.cgiar.org</a> Fuente de Internet	<1%
32	<a href="http://patents.google.com">patents.google.com</a> Fuente de Internet	<1%
33	<a href="http://2ttp344999.redalyc.org">2ttp344999.redalyc.org</a> Fuente de Internet	<1%
34	<a href="http://purl.org">purl.org</a> Fuente de Internet	<1%

35	repositorio.unas.edu.pe Fuente de Internet	<1%
36	repositorio.untrm.edu.pe Fuente de Internet	<1%
37	revistas.itm.edu.co Fuente de Internet	<1%
38	ECOLOGIA Y TECNOLOGIA AMBIENTAL S.A.C. "ITS para la Modificación del Programa de Monitoreo Ambiental de la Refinería La Pampilla-IGA0013178", R.D. N° 182-2020- MINEM/DGAAH, 2021 Publicación	<1%
39	repositorio.cinvestav.mx Fuente de Internet	<1%
40	repositorio.xoc.uam.mx Fuente de Internet	<1%
41	Cruz Moreno Jorge Eduardo de la. "Extracción y recuperación del elemento estratégico indio, a partir de residuos mineros de jarosita", TESIUNAM, 2019 Publicación	<1%
42	repositorio.untels.edu.pe Fuente de Internet	<1%
43	prezi.com Fuente de Internet	<1%

44	Betzabe Ebenhezer López-Corona, Iram Mondaca-Fernández, Pablo Gortáres-Moroyoqui, María Mercedes Meza-Montenegro et al. "Enraizamiento de esquejes de <i>Salicornia bigelovii</i> (Torr.) por quitosano como un bioproducto de origen marino.", REVISTA TERRA LATINOAMERICANA, 2019 Publicación	<1%
45	López Montes Rebeca. "El clima espacial y su impacto sobre la ionosfera terrestre a latitudes medias", TESIUNAM, 2015 Publicación	<1%
46	<a href="http://dspace.otalca.cl">dspace.otalca.cl</a> Fuente de Internet	<1%
47	<a href="http://repositorio.iniap.gob.ec">repositorio.iniap.gob.ec</a> Fuente de Internet	<1%
48	<a href="http://repositorio.uap.edu.pe">repositorio.uap.edu.pe</a> Fuente de Internet	<1%
49	<a href="http://scielo.unam.mx">scielo.unam.mx</a> Fuente de Internet	<1%
50	<a href="http://visorsig.oefa.gob.pe">visorsig.oefa.gob.pe</a> Fuente de Internet	<1%
51	<a href="http://www.ecologistasenaccion.org">www.ecologistasenaccion.org</a> Fuente de Internet	<1%
52	<a href="http://repositorio.unprg.edu.pe">repositorio.unprg.edu.pe</a> Fuente de Internet	<1%

53	<a href="http://www.no-burn.org">www.no-burn.org</a> Fuente de Internet	<1%
54	Estudillo Claveria Magali Jazmin. "Contenido de arsenico en suelos agricolas regados con aguas residuales no tratadas", TESIUNAM, 2004 Publicación	<1%
55	Vilchis Ramirez Leopoldo. "Primera fase del estudio de produccion de bencidin bismaleimida para la funcionalizacion de polimeros", TESIUNAM, 1993 Publicación	<1%
56	<a href="http://archive.org">archive.org</a> Fuente de Internet	<1%
57	<a href="http://dspace.unitru.edu.pe">dspace.unitru.edu.pe</a> Fuente de Internet	<1%
58	<a href="http://hemeroteca.unad.edu.co">hemeroteca.unad.edu.co</a> Fuente de Internet	<1%
59	<a href="http://repositorio.unapiquitos.edu.pe">repositorio.unapiquitos.edu.pe</a> Fuente de Internet	<1%
60	<a href="http://www.frontiersin.org">www.frontiersin.org</a> Fuente de Internet	<1%
61	Juana Inés Machuca-Guevara, Erick Antonio Suárez-Peña, Emmerik Motte Darricau, Eric Louis Mialhe-Matonnier. "Caracterización molecular de los microorganismos presentes	<1% 

durante el proceso fermentativo de los granos de cacao (*Theobroma cacao*)", Revista Peruana de Biología, 2019

Publicación

---

62 Pérez Sosa Eduardo. "Estudio agroclimático del cacao en el estado de Tabasco", TESIUNAM, 2016

Publicación

<1 %

---

63 [dspace.pucesi.edu.ec](https://dspace.pucesi.edu.ec)

Fuente de Internet

<1 %

---

64 [repositorio.unfv.edu.pe](https://repositorio.unfv.edu.pe)

Fuente de Internet

<1 %

---

65 [repositorio.usfq.edu.ec](https://repositorio.usfq.edu.ec)

Fuente de Internet

<1 %

---

66 [ri-ng.uaq.mx](https://ri-ng.uaq.mx)

Fuente de Internet

<1 %

---

67 [worldwidescience.org](https://worldwidescience.org)

Fuente de Internet

<1 %

---

68 ERM PERU S.A.. "Modificación de la DIA de la Planta Solar Fotovoltaica Repartición 20T-IGA0014188", R.D. N° 0112-2020-MINEM/DGAAE , 2021

Publicación

<1 %

---

69 Fernando Abasolo Pacheco, Carlos Michel Ojeda Silvera, Jonathan Enrique Cervantes Molina, Enma Moran Villacreses et al.

<1 %



"Respuesta agronómica del Nabo (*Brassica napus* L.) a la aplicación de medicamentos homeopáticos", REVISTA TERRA LATINOAMERICANA, 2020

Publicación

---

**70** Medrano Pérez Pablo Andrés. "Determinación de cromo y plomo por el método de especiación química en los sedimentos del Lago de Guadalupe, ubicado en el Municipio de Cuautitlán Izcalli, Estado de México", TESIUNAM, 2014

Publicación

---

**71** Nelino Florida Rofner. "Revisión sobre límites máximos de cadmio en cacao (*Theobroma cacao* L.)", La Granja, 2021

Publicación

---

**72** Trejo Aguilar Dora. "Efecto de la endomicorriza arbuscular sobre el desarrollo de nematodos fitopatógenos en plántulas de café", TESIUNAM, 2003

Publicación

---

**73** [core.ac.uk](http://core.ac.uk)  
Fuente de Internet

---

**74** [dokumen.pub](http://dokumen.pub)  
Fuente de Internet

---

**75** [qdoc.tips](http://qdoc.tips)  
Fuente de Internet



76	<a href="http://repositorio.pucp.edu.pe">repositorio.pucp.edu.pe</a> Fuente de Internet	<1 %
77	<a href="http://repositorio.ucss.edu.pe">repositorio.ucss.edu.pe</a> Fuente de Internet	<1 %
78	<a href="http://repositorio.utn.edu.ec">repositorio.utn.edu.ec</a> Fuente de Internet	<1 %
79	<a href="http://repository.unad.edu.co">repository.unad.edu.co</a> Fuente de Internet	<1 %
80	<a href="http://ri.conicet.gov.ar">ri.conicet.gov.ar</a> Fuente de Internet	<1 %
81	<a href="http://www.cacic2016.unsl.edu.ar">www.cacic2016.unsl.edu.ar</a> Fuente de Internet	<1 %
82	<a href="http://www.dspace.uce.edu.ec">www.dspace.uce.edu.ec</a> Fuente de Internet	<1 %
83	<a href="http://zaguan.unizar.es">zaguan.unizar.es</a> Fuente de Internet	<1 %
84	Enrique Lozano-Bilbao, Joana Raimundo, Alba Jurado-Ruzafa, Gonzalo Lozano et al. "Comparing Element Content in Small Pelagic Fish Species from Different Fishing Grounds in the Central-East Atlantic Ocean. Risk Assessment", <i>Thalassas: An International Journal of Marine Sciences</i> , 2021 Publicación	<1 %



**85** SNC LAVALIN PERU S.A.. "Segundo ITS de la MEIA de la Unidad Minera Cerro Lindo-IGA0002175", R.D. N° 134-2019-SENACE-PE/DEAR, 2020 <1%  
Publicación

---

**86** [bdigital.unal.edu.co](http://bdigital.unal.edu.co) <1%  
Fuente de Internet

---

**87** [doczz.net](http://doczz.net) <1%  
Fuente de Internet

---

Excluir citas

Apagado

Excluir coincidencias

Apagado

Excluir bibliografía

Activo



## DEDICATORIA

Al Señor, por haberme iluminado en  
cada paso que he dado, por la  
fortaleza brindada en cada etapa y  
por salvaguardarme siempre.

A mis padres por ser la motivación  
constante en mi vida y a toda mi familia,  
quienes con su fortaleza siempre me  
han enseñado que el esfuerzo es  
requisito indispensable para alcanzar  
nuestras metas.

## AGRADECIMIENTO

A la empresa INCABIOTEC S.A.C por permitirme ser parte del equipo de trabajo del proyecto “Evaluación de la fitorremediación para el control de cadmio en suelos agrícolas cacaoteros empleando *Ricinus communis* asistido por microorganismos bioacumuladores” del cual se desprende este tema de tesis.

A la ONG Agronomes Et Vétérinaires Sans Frontières – AVSF y a Stichting Rabo Foundation – Rabobank por originar el convenio y ser quienes financiaron este proyecto que estuvo dirigido a beneficiar a los miembros de la Asociación de Productores Nativos Wampis Awajún del Río Santiago – APRONATIVOS, quienes también fueron un componente clave y facilitaron el acceso a los recursos de sus parcelas.

Asimismo, un agradecimiento especial a mi asesor y co asesores por las observaciones críticas que realizaron para que este trabajo resulte de calidad. A mi equipo de trabajo en INCABIOTEC S.A.C. por el asesoramiento y ayuda en las actividades de laboratorio. Y finalmente, a todas aquellas personas que de una u otra forma han sido esa ayuda, ese consejo, ese aliento para seguir adelante con mis objetivos personales.

## INDICE

RESUMEN .....	xxiii
SUMMARY .....	xxiv
CAPÍTULO I	
INTRODUCCIÓN .....	25
CAPÍTULO II	
REVISIÓN DE LITERATURA.....	28
2.1. Antecedentes del estudio .....	28
2.1. Marco conceptual.....	30
2.1.1. Contaminación por metales pesados.....	30
2.1.2. Cadmio (Cd).....	30
2.1.3. Biodisponibilidad del Cd .....	30
2.1.4. Efectos del Cd en el ambiente .....	31
2.1.5. Toxicidad del Cd.....	32
2.1.6. Cultivo de microorganismos .....	32
2.1.7. Antagonismo bacteriano.....	32
2.1.8. Consorcio bacteriano .....	33
2.1.9. Fitorremediación.....	33
2.1.10. Ricinus communis .....	33
2.1.11. Theobroma cacao L. ....	34
CAPÍTULO III	
MATERIALES Y MÉTODOS.....	36
3.1. Muestreo de parcelas cacaoteras .....	36
3.2. Aislamiento de bacterias del suelo en diferentes concentraciones de cadmio .....	39
3.3. Bacterias promotoras de crecimiento vegetal .....	41
3.4. Identificación de las cepas seleccionadas.....	42
3.5. Proteómica .....	43
3.6. Formulación de consorcios.....	44
3.7. Masificación de bacterias .....	45
3.8. Selección y cálculo del suelo para el plan experimental .....	46
3.9. Determinación del cadmio inicial.....	46
3.10. Cálculo de adición de Cd para cada tratamiento.....	46
3.11. Establecimiento del experimento .....	47
3.12. Monitoreo y caracterización morfométrica del Ricinus.....	49

3.13.	Evaluación de la tolerancia y nivel de absorción .....	50
CAPÍTULO IV		
RESULTADOS Y DISCUSIÓN.....		51
4.1.	Contenido de cadmio en suelo y grano de las parcelas muestreadas .....	51
4.2.	Selección de bacterias aisladas de las muestras de suelo.....	52
4.3.	Identificación de las mejores cepas bacterianas .....	54
4.4.	Bacterias seleccionadas por medio de Proteómica .....	55
4.5.	Elección del consorcio bacteriano .....	57
4.6.	Análisis completo en la muestra inicial de suelo .....	58
4.6.1.	Determinación del contenido inicial de cadmio .....	58
4.6.2.	Resultados del análisis completo en suelo .....	58
4.7.	Resultados de concentración de Cd en los tratamientos .....	59
4.8.	Caracterización morfométrica de <i>Ricinus communis</i> .....	60
4.8.1.	Longitud del tallo principal .....	60
4.8.2.	Longitud de raíz principal .....	61
4.8.3.	Peso fresco y seco de la raíz de <i>Ricinus communis</i> .....	62
4.9.	Resultados de concentración de Cd y % de remoción en los meses de evaluación.....	63
4.9.1.	Resultados de concentración de Cd.....	63
4.9.2.	Porcentaje de reducción de Cd en los tratamientos.....	64
4.9.3.	Análisis de varianza (ANOVA) 3 factores sin replicación .....	65
4.10.	Discusión de resultados.....	68
CAPÍTULO V		
CONCLUSIONES .....		71
CAPÍTULO VI		
RECOMENDACIONES.....		71
CAPÍTULO VII		
REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....		73
CAPÍTULO VIII		
ANEXOS .....		77

## ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1:	Concentración de Cd en muestras de suelo y fruto de las parcelas cacaoteras .....	51
Tabla 2:	Codificación, tinción Gram y actividad promotora de crecimiento vegetal de bacterias provenientes de muestras de suelo agrícola .....	52
Tabla 3:	Codificación, tinción Gram y actividad promotora de crecimiento vegetal de bacterias provenientes de muestras de suelo de Ricinus .....	53
Tabla 4:	Resultados del secuenciamiento molecular de las bacterias de interés.....	54
Tabla 5:	Resultados de secuencias obtenidas por Proteómica .....	55
Tabla 6:	Resultados del enfrentamiento bacteriano para desarrollo de consorcios ..	57
Tabla 7:	Parámetros fisicoquímicos y principales elementos disponibles .....	58
Tabla 8:	Análisis textural.....	59
Tabla 9:	Capacidad de Intercambio Catiónico meq/100 gr .....	59
Tabla 10:	Elementos disponibles mg/Kg .....	59
Tabla 11:	Longitud del tallo principal de <i>Ricinus communis</i> en cada tratamiento .....	60
Tabla 12:	Longitud de la raíz principal de <i>Ricinus communis</i> en cada tratamiento ....	61
Tabla 13:	Peso fresco y seco de la raíz de <i>Ricinus communis</i> en cada tratamiento ..	62
Tabla 14:	Concentraciones de Cd (mg/kg) durante los meses de evaluación .....	63
Tabla 15:	Porcentajes de reducción de Cd durante los meses de evaluación .....	64
Tabla 16:	Factores del experimento.....	65
Tabla 17:	Planteamiento de hipótesis .....	66
Tabla 18:	Análisis de varianza 3 factores sin replicación.....	66
Tabla 19:	Resumen del modelo .....	66

## ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 01: Mapa de ubicación de parcelas agrícolas muestreadas .....	37
Figura 02: Realización del hoyo (a) y extracción del perfil del suelo (b) .....	38
Figura 03: Realización del cuarteo (a), rotulado y almacenado de las .....	38
Figura 04: Pesado de suelo (a) y adición de caldo LB a las muestras (b) .....	40
Figura 05: Preparación de diluciones (a) y selección de bacterias (b).....	41
Figura 06: Colocación de discos (a) e inoculación de la bacteria al medio .....	41
Figura 07: Crecimiento bacteriano en los 3 medios selectivos NBRIP (a), BSK (b) y ASBHY (c) respectivamente .....	42
Figura 08: Cuantificación de ADN bacteriano (a) y visualización del gel de migración en electroforesis (b).....	43
Figura 09: Corte de bandas (a) y spoteo de muestras con matriz en placa OPTI TOF (b) .....	44
Figura 10: Colocación de discos para inoculación (a) y medición de crecimiento (b) ..	45
Figura 11: Homogenización del suelo (a) y llenado de macetas (b) .....	47
Figura 12: Planta (a) y semilla (b) de <i>Ricinus communis</i> .....	49
Figura 13: Crecimiento del Ricinus en el 1er (a), 2do (b) y.....	50
Figura 14: Longitud del Ricinus según los meses de .....	60
Figura 15: Longitud de la raíz principal de Ricinus según los meses .....	61
Figura 16: Peso fresco de la raíz de Ricinus según los meses .....	62
Figura 17: Peso seco de la raíz de Ricinus según los meses.....	63
Figura 18: Concentraciones de Cd (mg/kg) en tratamientos evaluados .....	64
Figura 19: Porcentajes de reducción de Cd en los tratamiento .....	65
Figura 20: Grafica de la distribución F.....	66
Figura 21: Diagrama de Pareto de efectos estandarizados.....	67
Figura 22: Efectos principales según el porcentaje de absorción .....	67
Figura 23: Grafica de la interacción AC.....	68
Figura 24: Grafica de la interacción BC.....	68

## ÍNDICE DE ANEXOS

Anexo 1: Matriz de consistencia.....	77
Anexo 2: Estándares De Calidad Ambiental (ECA) para el suelo aprobados por el DS N° 011-2017-MINAM.....	78
Anexo 3: Anexo del Reglamento (CE) N°1881/2006 modificado por el REGLAMENTO (UE) No 488/2014 DE LA COMISIÓN. ....	79
Anexo 4: Concentraciones de Cd en suelo y fruto de parcelas muestreadas .....	80
Anexo 5: Análisis completo en la muestra inicial de suelo.....	82
Anexo 6: Protocolo de identificación molecular de bacterias en base a la secuencia parcial del gen del ADNr 16S .....	83
Anexo 7: Protocolo de Proteómica para muestra de cepas bacterianas .....	86
Anexo 8: Cálculos de adición de concentraciones de Cd .....	89
Anexo 9: Resultados de tratamientos iniciales de Cd.....	90
Anexo 10: Resultados finales de concentraciones de Cd en los tratamiento .....	91

## RESUMEN

La concentración de cadmio reportada en los suelos agrícolas cacaoteros representa una grave problemática para las exportaciones de este sector productivo de nuestro país. Es por ello que la finalidad de este estudio fue el evaluar el potencial fitorremediador de la especie *Ricinus communis* asociado a un consorcio bacteriano de cepas aisladas de suelos cacaoteros con presencia de este metal. Las muestras provinieron de comunidades nativas pertenecientes a la asociación APRONATIVOS del Río Santiago, departamento de Amazonas. La selección de las bacterias se realizó a través de la siembra en medio Luria Bertani (LB) suplementado con diferentes concentraciones de cadmio, el crecimiento en medios específicos para bacterias que solubilicen el fósforo, el potasio y fijen el nitrógeno (NBRIP, BSK y ASBHY respectivamente), la detección de genes de interés mediante Proteómica y la conformación de consorcios obtenidos luego de un enfrentamiento bacteriano. Para el diseño experimental se trabajó con un sistema factorial 3x3. Los factores trabajados fueron: el tiempo de evaluación, los grupos experimentales y las concentraciones de Cd. De acuerdo al análisis estadístico se concluye que el orden de reducción de los tratamientos fue el siguiente: G3 (el consorcio bacteriano), G1 (el cultivo de *Ricinus*) y G2 (*Ricinus* suplementado con el consorcio bacteriano). El mayor porcentaje de remoción fue de 25,61% correspondiente al tratamiento G1. Los meses de evaluación de mayor a menor (remoción) presentaron la siguiente tendencia: mes 3, mes 2 y mes 1. Por último, al realizar los contrastes con el nivel de significancia de 0,05 se determina que es significativo sólo el efecto del factor C (las concentraciones de Cd). Sin embargo, al considerar los demás efectos debido al corto tiempo del experimento, se obtiene una combinación final de mayor efectividad con los siguientes factores: 3er mes de evaluación con el consorcio bacteriano a 1,64 ppm de Cd.

**Palabras clave:** Fitorremediación, cadmio, aislamiento bacteriano, *Ricinus communis*, consorcio bacteriano, diseño factorial.

## SUMMARY

The concentration of cadmium reported in cocoa agricultural soils represents a serious problem for the exports of this productive sector of our country. Therefore, the purpose of this study was to evaluate the phytoremediation potential of *Ricinus communis* species associated with a bacterial consortium of strains isolated from cocoa soils with the presence of this metal. The samples came from native communities belonging to the APRONATIVOS association of the Santiago River, department of Amazonas. Bacteria were selected by sowing in Luria Bertani (LB) medium supplemented with different concentrations of cadmium, growth in specific media for bacteria that solubilize phosphorus, potassium and fix nitrogen (NBRIP, BSK and ASBHY, respectively), detection of genes of interest by Proteomics and the conformation of consortia obtained after bacterial confrontation. For the experimental design, a 3x3 factorial system was used. The factors used were: evaluation time, experimental groups and Cd concentrations. According to the statistical analysis it was concluded that the order of reduction of the treatments was as follows: G3 (the bacterial consortium), G1 (the *Ricinus* culture) and G2 (*Ricinus* supplemented with the bacterial consortium). The highest percentage of removal was 25.61% corresponding to treatment G1. The evaluation months from highest to lowest showed the following trend: month 3, month 2 and month 1. Finally, when carrying out the contrasts with a significance level of 0.05, it is determined that only the effect of factor C (Cd concentrations) is significant. However, when considering the other effects due to the short time of the experiment, a final combination of greater effectiveness is obtained with the following factors: 3rd month of evaluation with the bacterial consortium at 1.64 ppm of Cd.

**Key words:** Phytoremediation, cadmium, bacterial isolation, *Ricinus communis*, bacterial consortium, factorial design.