



UNIVERSIDAD UTE

**FACULTAD DE CIENCIAS DE LA INGENIERÍA E
INDUSTRIAS**

**CARRERA DE INGENIERÍA AMBIENTAL Y MANEJO DE
RIESGOS NATURALES**

**RECUPERACIÓN DE SUELOS TROPICALES
CONTAMINADOS POR CADMIO (CD) APLICANDO DOSIS
VARIABLES DE ENMIENDAS ORGÁNICAS Y MINERALES.**

**TRABAJO DE TITULACIÓN PREVIO A LA OBTENCIÓN DEL TÍTULO
DE INGENIERA AMBIENTAL Y MANEJO DE RIESGOS NATURALES**

ROSARIO KATHERINE TORRES SANMARTÍN

DIRECTORA: Dra. LUZ MARÍA MARTÍNEZ BUÑAY, MsC.

Santo Domingo, noviembre 2020

© Universidad UTE. 2020

Reservados todos los derechos de reproducción

FORMULARIO DE REGISTRO BIBLIOGRÁFICO

TRABAJO DE TITULACIÓN

DATOS DE CONTACTO	
CÉDULA DE IDENTIDAD:	2350304487
APELLIDO Y NOMBRES:	Torres Sanmartín Rosario Katherine
DIRECCIÓN:	Ex fábrica de ladrillos y Av. Río Toachi.
EMAIL:	rkts40614@gmail.com
TELÉFONO FIJO:	-
TELÉFONO MÓVIL:	0990268163

DATOS DE LA OBRA				
TÍTULO:	Recuperación de suelos tropicales contaminados por cadmio (Cd) aplicando dosis variables de enmiendas orgánicas y minerales.			
AUTOR O AUTORES:	Torres Sanmartín Rosario Katherine			
FECHA DE ENTREGA DEL PROYECTO DE TITULACIÓN:	9 de noviembre 2020			
DIRECTOR DEL PROYECTO DE TITULACIÓN:	Dra. Martínez Buñay Luz María			
PROGRAMA	<table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <tr> <td style="width: 33%; text-align: center;">PREGRADO</td> <td style="width: 33%; text-align: center;">X</td> <td style="width: 33%; text-align: center;">POSGRADO</td> </tr> </table>	PREGRADO	X	POSGRADO
PREGRADO	X	POSGRADO		
TÍTULO POR EL QUE OPTA:	Ingeniera Ambiental y Manejo de Riesgos Naturales			
RESUMEN	El cadmio (Cd) es un metal pesado que está asociado a serios problemas de salud humana y contaminación de suelos agrícolas; debido a su gran movilidad y facilidad de ser absorbido por las plantas e ingresar a la cadena			

alimentaria. En el presente trabajo se investigó la transferencia del Cd de suelos hacia plantas indicadoras (arroz).

Esta investigación se realizó en el invernadero y laboratorio de metales pesados del Departamento de Manejo de Suelos y Aguas (DMSA) de la Estación Experimental Tropical Pichilingue (EETP) del Instituto Nacional de Investigaciones Agropecuarias (INIAP). Se utilizaron suelos de fincas cacaoteras procedentes de las provincias de Guayas, El Oro, Los Ríos, Manabí, Esmeraldas y Sucumbíos, los cuales fueron dosificados con 0.0, 2.5, 5.0 y 10.0 t ha⁻¹ de enmiendas de naturaleza orgánica (cáscara de plátano) y mineral (calcita). Se evaluaron 48 tratamientos resultantes de la combinación del factor: suelo (6), enmiendas (2) y dosis (4), con 3 réplicas cada uno, dando un total de 144 unidades experimentales.

Las variables evaluadas fueron pH de rizósfera y suelo; concentración y contenido de Cd en raíz y parte aérea y la tasa de transferencia de Cd. La enmienda que respondió de mejor manera a los tratamientos fue la calcita, misma que disminuyó notablemente la biodisponibilidad del Cd en las plantas de arroz. Se encontró que la dosis más

	<p>efectiva de enmienda fue la de 10 t ha⁻¹, por lo que se observó que la aplicación de enmiendas minerales y orgánicas pueden ser alternativas para disminuir la biodisponibilidad de Cd en los suelos.</p>
PALABRAS CLAVES:	<p>Contaminación, plátano, calcita, tasa de transferencia.</p>
ABSTRACT:	<p>Cadmium (Cd) is a heavy metal that is associated with serious human health problems and contamination of agricultural soils; due to its great mobility and ease of being absorbed by plants and entering the food chain. In the present work, the transfer of Cd from soils to indicator plants (rice) was investigated.</p> <p>This research was carried out in the greenhouse and heavy metal laboratory of the Department of Soil and Water Management (DMSA) of the Pichilingue Tropical Experimental Station (EETP) of the National Institute of Agricultural Research (INIAP). Soils from cocoa farms from the provinces of Guayas, El Oro, Los Ríos, Manabí, Esmeraldas and Sucumbíos were used, which were dosed with 0.0, 2.5, 5.0 and 10.0 t ha⁻¹ of amendments of organic nature (banana peel) and mineral (calcite). 48 treatments resulting from the combination of the factor: soil (6), amendments (2) and dose (4) were evaluated, with 3 replications each,</p>

	<p>giving a total of 144 experimental units. The variables evaluated were rhizosphere and soil pH; concentration and content of Cd in the root and aerial part and the transfer rate of Cd. The amendment that responded in the best way to the treatments was calcite, which notably decreased the bioavailability of Cd in rice plants. It was found that the most effective dose of amendment was that of 10 t ha⁻¹, which is why it is found that the application of mineral and organic amendments can be to reduce the bioavailability of Cd in soils</p> <p>Keywords: Pollution, banana, calcite, transfer rate.</p>
KEYWORDS:	Pollution, banana, calcite, transfer rate.

Se autoriza la publicación de este Proyecto de Titulación en el Repositorio Digital de la Institución.

f. Katherine T.

TORRES SANMARTIN ROSARIO KAHERINE

C.I. 2350304487

DECLARACIÓN Y AUTORIZACIÓN

Yo, **TORRES SANMARTÍN ROSARIO KATHERINE**, CI: 2350304487 autora del trabajo de titulación: **Recuperación de suelos tropicales contaminados por cadmio (Cd) aplicando dosis variables de enmiendas orgánicas y minerales.**, previo a la obtención del título de **INGENIERA AMBIENTAL Y MANEJO DE RECURSOS NATURALES** en la Universidad UTE.

1. Declaro tener pleno conocimiento de la obligación que tienen las Instituciones de Educación Superior, de conformidad con el Artículo 144 de la Ley Orgánica de Educación Superior, de entregar a la SENESCYT en formato digital una copia del referido trabajo de titulación de grado para que sea integrado al Sistema Nacional de información de la Educación Superior del Ecuador para su difusión pública respetando los derechos de autor.
2. Autorizo a la BIBLIOTECA de la Universidad UTE a tener una copia del referido trabajo de titulación de grado con el propósito de generar un Repositorio que democratice la información, respetando las políticas de propiedad intelectual vigentes.

Santo Domingo, noviembre del 2020

f: Katherine T.

TORRES KATHERINE TORRES SANMARTIN
C.I. 2350304487

CERTIFICACIÓN DEL TUTOR

En mi calidad de tutor, certifico que el presente trabajo de titulación que lleva por título **Recuperación de suelos tropicales contaminados por cadmio (Cd) aplicando dosis variables de enmiendas orgánicas y minerales**, para aspirar al título de **INGENIERA AMBIENTAL Y MANEJO DE RIESGOS NATURALES** fue desarrollado por **TORRES SANMARTÍN ROSARIO KATHERINE**, bajo mi dirección y supervisión, en la Facultad de Ciencias de la Ingeniería e Industrias; y que dicho trabajo cumple con las condiciones requeridas para ser sometido a la evaluación respectiva de acuerdo a la normativa interna de la Universidad UTE.



Dra. MARTÍNEZ BUÑAY LUZ MARÍA

DIRECTORA DE TRABAJO

C.I. 0601604473



CERTIFICACIÓN:

La Estación Experimental Tropical Pichilingue del INIAP, CERTIFICA que: la Srta. Rosario Katherine Torres Sanmartín, con C.C 2350304487, tesista de la Universidad UTE, realizó las actividades enmarcadas en el tema de tesis “**Recuperación de suelos tropicales contaminados por cadmio (Cd) aplicando dosis variables de enmiendas orgánicas y minerales**”, bajo la tutoría del Dr. Manuel Carrillo, Responsable del Departamento de Suelos y Aguas; cumpliendo con el trabajo de campo programado en el plan de tesis, por lo consiguiente puede hacer el uso de los datos de la investigación para los debidos procesos de titulación como Ingeniera Ambiental.



Mocache, 25 de septiembre de 2020

Atentamente



Firmado electrónicamente por:
CARLOS ALBERTO
MOLINA HIDROVO

Mgs. Carlos Molina Hidrovo
DIRECTOR DE LA ESTACIÓN EXPERIMENTAL
TROPICAL PICHILINGUE (E)

DEDICATORIA

“La dicha de la vida consiste en tener siempre algo que hacer, alguien a quien amar y alguna cosa que esperar”.

Thomas Chalmers

Dedico esta tesis a Dios, por darme la oportunidad de vivir y por estar conmigo en cada paso que doy, por fortalecer mi corazón e iluminar mi mente y guiarme por el buen camino, darme fuerzas para seguir adelante y no desmayar en los problemas que se presentan, enseñándome a encarar las adversidades sin perder nunca la dignidad y la fe ni desfallecer en el intento.

A mis padres Marden y Fabiola por su sacrificio y esfuerzo, por ser mi fuente de inspiración y motivación para poder superarme cada día más, por apoyarme en esta carrera para mi futuro y por creer en mi capacidad. A mí querido hermano Fernando por su respeto y cariño.

A mis compañeros y amigos presentes y pasados, quienes sin esperar nada a cambio compartieron su conocimiento, alegrías y tristezas y a todas aquellas personas que durante estos cinco años estuvieron a mi lado apoyándome para que este sueño se haga realidad.

AGRADECIMIENTOS

En el presente proyecto de investigación de tesis primero me gustaría agradecer a ti Dios por bendecirme para llegar hasta donde he llegado, porque hiciste realidad este gran sueño anhelado.

A la Universidad "UTE" por darme la oportunidad de estudiar y ser una profesional, en especial al Ing. Manuel Carrillo Zenteno, PhD; por su visión crítica de muchos aspectos cotidianos de la vida, por su rectitud en su profesión como docente, quien me ayudó con sus conocimientos para la elaboración de este presente proyecto de investigación.

También me gustaría agradecer a mi tutora la Dra. Luz María Martínez por su dedicación, esfuerzo y confianza. De igual manera gratificar a mis docentes que me han aportado con sus sabios conocimientos en el trayecto de la carrera para mi formación como profesional.

En especial a los técnicos del Departamento de Manejo de Suelos y Aguas (DMSA) de la Estación Experimental Tropical Pichilingue (EETP) del Instituto Nacional de Investigaciones Agropecuarias (INIAP), por brindarme incondicionalmente las facilidades para la elaboración de mi tesis. A los extraordinarios profesionales que con sus consejos me ayudaron a terminar mi trabajo; Israel Zambrano, Joffre Pincay, Karina Peña y Wuellins Durango, MSc.

Son muchas las personas que han formado parte de mi vida profesional a las que me encantaría agradecerles su amistad, consejos, apoyo, ánimo y compañía en los momentos más difíciles de mi vida. Algunas están aquí conmigo y otras en mis recuerdos y en mi corazón, sin importar donde estén quiero darles las gracias por formar parte de mí y por todo lo que me han brindado y por todas sus bendiciones. Para ellos: Muchas gracias y que Dios los bendiga.

ÍNDICE DE CONTENIDOS

	PÁGINA
RESUMEN	1
ABSTRACT	2
1.INTRODUCCIÓN	3
1.1 MARCO REFERENCIAL	5
1.1.1 ANTECEDENTES DE LA INVESTIGACIÓN	5
1.1.2 SUELOS TROPICALES	5
1.1.3 CADMIO	5
1.1.4 PRINCIPALES FUENTES DE EMISIÓN DEL CADMIO	6
1.1.5 CONTAMINACIÓN DEL SUELO POR CADMIO	6
1.1.6 FACTORES QUE AFECTAN LA BIODISPONIBILIDAD DEL CADMIO EN LOS SUELOS.	7
1.1.7 EFECTOS DEL CADMIO EN LAS PLANTAS	8
1.2 LEGISLACIONES PARA EL CADMIO	9
1.3 ENMIENDAS	9
1.3.1 MINERALES	9
1.3.1.1 Calcita (CaCO ₃)	10
1.3.2 ENMIENDAS ORGÁNICAS	10
1.3.3 CÁSCARA DE PLÁTANO	10
1.4 ABSORCIÓN DE METALES PESADOS	11
2. METODOLOGÍA	12
2.1. SITIO DEL ESTUDIO	12
2.2. FACTORES EN ESTUDIO	13
2.3. MANEJO DEL EXPERIMENTO	13
2.3.1 CONTAMINACIÓN E INCUBACIÓN DEL SUELO	13
2.3.2 APLICACIÓN DE LA ENMIENDA	14
2.3.3 SIEMBRA DE ARROZ	14
2.3.4 FERTILIZACIÓN	15
2.3.5 COSECHA DE LAS PLANTAS	15
2.3.6 LAVADO DE LAS MUESTRAS	15
2.3.7 DETERMINACIÓN DE LA MATERIA SECA	15
2.3.8 DETERMINACIÓN DEL PH	15
2.3.9 DETERMINACIÓN DE LA CONCENTRACIÓN DE CD	16
2.3.10 DETERMINACIÓN DEL CONTENIDO DE CADMIO	16
2.3.11 FACTOR DE TRANSLOCACIÓN	16
2.3.12 ANÁLISIS ESTADÍSTICO	17
3. RESULTADOS Y DISCUSIÓN	18
3.1 BIODISPONIBILIDAD DE CADMIO	18
3.1.1 EFECTO DEL PH EN EL SUELO	18

3.1.1.2 pH final	18
3.1.1.3 pH rizosférico.....	19
3.1.2 PRODUCCIÓN DE MATERIA SECA.....	20
3.1.2.1 Materia seca: parte aérea	20
3.1.2.2 Materia seca radical	21
3.1.3 BIODISPONIBILIDAD DE CADMIO.....	22
3.1.3.1 Concentración de Cd en parte aérea	22
3.1.3.2 Concentración de Cd en parte radical.....	22
3.1.3.3 Contenido de Cd en parte aérea	23
3.1.3.4 Contenido de Cd en parte radical.....	24
3.1.3.5 Contenido total de Cd en la planta.....	24
3.1.4 TASA DE TRANSLOCACIÓN DE CD.....	25
4. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES.....	26
4.1 CONCLUSIONES.....	26
4.2 RECOMENDACIONES.....	26
BIBLIOGRAFÍA.....	27
ANEXOS	31

ÍNDICE DE TABLAS

PÁGINA

Tabla 1. Tratamientos de evaluación de la variación en la biodisponibilidad de cadmio en suelos tratados con enmiendas orgánicas y minerales.	13
Tabla 2. Densidad aparente de los suelos tropicales utilizados en esta investigación.	14
Tabla 3. Cambios en el pH inicial de los suelos mezclados con las enmiendas.	18
Tabla 4. Variación de pH final de los suelos por efecto de la aplicación de las enmiendas.....	19
Tabla 5. Cambios en el pH Rizosférico de los suelos después de la cosecha	20
Tabla 6 Variación de producción de materia seca parte aérea (g) por la aplicación de dosis crecientes de enmiendas orgánica y mineral... 21	21
Tabla 7. Variación de la de materia seca radical (g) por efecto de la aplicación de dosis crecientes de enmiendas.	21
Tabla 8. Variación de la concentración de Cd en la parte aérea por las aplicaciones de dosis variables de enmiendas orgánica y mineral .	22
Tabla 9. Variación de la concentración de Cd parte radical por las aplicaciones variable de dosis crecientes de enmiendas orgánica y mineral.	23
Tabla 10. Variación de contenido de Cd parte aérea por las aplicaciones variable de dosis de enmiendas crecientes orgánica y mineral.	24
Tabla 11. Variación de contenido de Cd parte radical ($\mu\text{g vaso}^{-1}$) por las aplicaciones variable de dosis de enmiendas orgánica y mineral... 24	24
Tabla 12. Variación de contenido de Cd total ($\mu\text{g vaso}^{-1}$) por las aplicaciones variable de dosis de enmiendas crecientes orgánica y mineral.	25
Tabla 13. Variación en la tasa de translocación de Cd en plantas de arroz cultivadas en suelos contaminados con Cd.	25

ÍNDICE DE FIGURAS

PÁGINA

- Figura 1.** Mapa del Ecuador representando las seis provincias donde se colectaron los suelos utilizados en el estudio. (Valarezo, 2018). 12

ÍNDICE DE ANEXOS

PÁGINA

ANEXO 1. VARIACIÓN DEL pH INICIAL DE LOS SUELOS TROPICALES DEL ECUADOR, POR LA APLICACIÓN DE ENMIENDAS MINERALES Y ORGÁNICAS	31
ANEXO 2. VARIACIÓN DEL pH FINAL DE LOS SUELOS TROPICALES DEL ECUADOR, POR LA APLICACIÓN DE ENMIENDAS MINERALES Y ORGÁNICAS.	31
ANEXO 3. VARIACIÓN DEL pH RIZOSFÉRICO DE LOS SUELOS TROPICALES DEL ECUADOR, POR LA APLICACIÓN DE ENMIENDAS MINERALES Y ORGÁNICAS.	32
ANEXO 4. VARIACIÓN DE PRODUCCIÓN DE MATERIA SECA PARTE AÉREA (g) POR LA APLICACIÓN DE VARIABLE DE DOSIS DE ENMIENDAS ORGÁNICA Y MINERAL	32
ANEXO 5. VARIACIÓN DE PRODUCCIÓN DE MATERIA SECA PARTE RADICAL (g) POR LA APLICACIÓN DE VARIABLE DE DOSIS DE ENMIENDAS ORGÁNICA Y MINERAL	33
ANEXO 6. VARIACIÓN DE LA CONCENTRACIÓN DE Cd PARTE AÉREA (mg Kg ⁻¹) POR LAS APLICACIONES VARIABLE DE DOSIS DE ENMIENDAS ORGÁNICA Y MINERAL.	33
ANEXO 7. VARIACIÓN DE LA CONCENTRACIÓN DE Cd PARTE RADICAL (mg Kg ⁻¹) POR LAS APLICACIONES VARIABLE DE DOSIS DE ENMIENDAS ORGÁNICA Y MINERAL.	34
ANEXO 8. VARIACIÓN DE CONTENIDO DE Cd PARTE AÉREA (µg vaso ⁻¹) POR LAS APLICACIONES VARIABLE DE DOSIS DE ENMIENDAS ORGÁNICA Y MINERAL	34
ANEXO 9. VARIACIÓN DE CONTENIDO DE Cd PARTE RADICAL (µg vaso ⁻¹) POR LAS APLICACIONES VARIABLE DE DOSIS DE ENMIENDAS ORGÁNICA Y MINERAL.	35
ANEXO 10. VARIACIÓN DE CONTENIDO DE Cd TOTAL (µg vaso ⁻¹) POR LAS APLICACIONES VARIABLE DE DOSIS DE ENMIENDAS ORGÁNICA Y MINERAL.....	35
ANEXO 11. VARIACIÓN EN EL ÍNDICE DE TRANSLOCACIÓN DE Cd EN PLANTAS DE ARROZ CULTIVADAS EN SUELOS CONTAMINADOS CON Cd.	36

RESUMEN

El cadmio (Cd) es un metal pesado que está asociado a serios problemas de salud humana y contaminación de suelos agrícolas; debido a su gran movilidad y facilidad de ser absorbido por las plantas e ingresar a la cadena alimentaria. En el presente trabajo se investigó la transferencia del Cd de suelos hacia plantas indicadoras (arroz).

Esta investigación se realizó en el invernadero y laboratorio de metales pesados del Departamento de Manejo de Suelos y Aguas (DMSA) de la Estación Experimental Tropical Pichilingue (EETP) del Instituto Nacional de Investigaciones Agropecuarias (INIAP). Se utilizaron suelos de fincas cacaoteras procedentes de las provincias de Guayas, El Oro, Los Ríos, Manabí, Esmeraldas y Sucumbíos, los cuales fueron dosificados con 0.0, 2.5, 5.0 y 10.0 t ha⁻¹ de enmiendas de naturaleza orgánica (cáscara de plátano) y mineral (calcita). Se evaluaron 48 tratamientos resultantes de la combinación del factor: suelo (6), enmiendas (2) y dosis (4), con 3 réplicas cada uno, dando un total de 144 unidades experimentales.

Las variables evaluadas fueron pH de rizósfera y suelo; concentración y contenido de Cd en raíz y parte aérea y la tasa de transferencia de Cd. La enmienda que respondió de mejor manera a los tratamientos fue la calcita, misma que disminuyó notablemente la biodisponibilidad del Cd en las plantas de arroz. Se encontró que la dosis más efectiva de enmienda fue la de 10 t ha⁻¹, por lo que se observó que la aplicación de enmiendas minerales y orgánicas pueden ser alternativas para disminuir la biodisponibilidad de Cd en los suelos

Palabras claves: Contaminación, plátano, calcita, tasa de transferencia.

ABSTRACT

Cadmium (Cd) is a heavy metal that is associated with serious human health problems and contamination of agricultural soils; due to its great mobility and ease of being absorbed by plants and entering the food chain. In the present work, the transfer of Cd from soils to indicator plants (rice) was investigated.

This research was carried out in the greenhouse and heavy metal laboratory of the Department of Soil and Water Management (DMSA) of the Pichilingue Tropical Experimental Station (EETP) of the National Institute of Agricultural Research (INIAP). Soils from cocoa farms from the provinces of Guayas, El Oro, Los Ríos, Manabí, Esmeraldas and Sucumbíos were used, which were dosed with 0.0, 2.5, 5.0 and 10.0 t ha⁻¹ of amendments of organic nature (banana peel) and mineral (calcite). 48 treatments resulting from the combination of the factor: soil (6), amendments (2) and dose (4) were evaluated, with 3 replications each, giving a total of 144 experimental units.

The variables evaluated were rhizosphere and soil pH; concentration and content of Cd in the root and aerial part and the transfer rate of Cd. The amendment that responded in the best way to the treatments was calcite, which notably decreased the bioavailability of Cd in rice plants. It was found that the most effective dose of amendment was that of 10 t ha⁻¹, which is why it is found that the application of mineral and organic amendments can be to reduce the bioavailability of Cd in soils

Keywords: Pollution, banana, calcite, transfer rate.

1. INTRODUCCIÓN

1.INTRODUCCIÓN

Los elementos tóxicos, principalmente los metales pesados, se encuentran naturalmente en el ambiente en condiciones traza, sin embargo; a causa de las actividades antropogénicas su concentración ha incrementado, provocando perjuicios a la salud y al medio ambiente. Así, se considera también que existe contaminación del suelo cuando la estructura de este se desvía de su composición “normal”, denominado fondo biogeoquímico, ya que el suelo es el principal depósito de contaminantes químicos (Beltrán & Gómez, 2015).

El suelo funciona como un receptor y amortiguador de la contaminación, esto ocasiona que se encuentre en un nivel avanzado de degradación, especialmente por la contaminación química, que disminuye su capacidad y potencial para diferentes usos, convirtiéndose en un impacto negativo dentro de las actividades que regulan la funcionalidad del suelo, por efectos químicos como la acidificación o toxicidad por metales pesados (Pérez, Céspedes, & Núñez, 2010).

Cuando el contenido de cadmio (Cd) en el suelo alcanza niveles que rebasan los límites máximos permitidos, causan efectos en las plantas como disminución de fotosíntesis, azúcares, proteínas solubles y la actividad antioxidante de enzimas.

Una fuente de contaminación por Cd en humanos es la ingesta de alimentos contaminadas por el metal; por tal motivo, es importante conocer y entender los mecanismos de toxicidad del metal en los cultivos, así como los mecanismos de defensa de la planta (Mendoza, 2017).

Existe preocupación por la presencia de Cd en suelos agrícolas, debido a que es considerado un agente tóxico con impacto ambiental, social y económico, que causa diversas afecciones a la población humana (Herrera, 2011). En el Ecuador, se ha reportado altos contenidos de Cd en suelos a causa de la industria, minería y de diversas actividades agrícolas (Mite, Carrillo, & Durango, 2010).

Con el desarrollo de la presente investigación se determinó la dosis-enmienda que posibilite una disminución de la biodisponibilidad de Cd, con la final obtención de productos inocuos a la salud de los consumidores. Es por este motivo que el presente trabajo tuvo como objetivo general disminuir la disponibilidad de Cd en el suelo, mediante aplicaciones de enmiendas minerales y orgánicas para recuperar suelos tropicales contaminados.

Dentro de los objetivos específicos se pretende: a) conocer la enmienda que disminuye la disponibilidad del Cd y puede ser usada para recuperar suelos degradados; b) determinar a nivel de invernadero, la mejor dosis de enmienda para recuperación del suelo contaminado con Cd; c) conocer los cambios en el pH de seis suelos diferentes, por aplicación de enmiendas orgánica y mineral en dosis distintas.

1.1 MARCO REFERENCIAL

1.1.1 ANTECEDENTES DE LA INVESTIGACIÓN

El suelo desde el punto de vista físico es la interfase entre la biosfera y la litosfera, está constituido por minerales, materia orgánica, aire y agua.

En el desarrollo de la agricultura, se ha presentado la necesidad de recuperar suelos contaminados con metales pesados. Debido a la naturaleza no degradable de dichos elementos, tienen una alta movilidad y largos tiempo de permanencia en el suelo (López, 2006).

En 1965, el Ministerio de Sanidad y Asistencia Pública de Japón, comunicó que la ingestión masiva de Cd provocó más de 100 muertes, esto sucedió mediante las cadenas alimentarias (arroz cultivado en aguas contaminadas), como consecuencia se presentó también la enfermedad conocida como itay-itay, asociada con el Cd (Hurtado, 2012).

1.1.2 SUELOS TROPICALES

Los suelos tropicales suelen ser de color rojizo, poseen una alta acidez principalmente por las condiciones climáticas del trópico (altas precipitaciones y temperaturas), seguido por la formación geológica y su génesis que originan suelos ácidos (Osorno , 2012).

Es importante destacar que no todos los suelos tropicales son poco fértiles. Se piensa que los suelos de altura son poco productivos, pero la presencia de los andes ha permitido la existencia de microclimas que posibilitan la presencia de suelos muy productivos. Por la diversidad de características que tienen los suelos tropicales, surge la necesidad de que estos sean gestionados y trabajados de distintas maneras (Espinosa, 2008).

1.1.3 CADMIO

Según Pascual (1999), el Cd fue descubierto en 1817 como un componente de la smithsonita, naturalmente no se encuentra como un elemento puro, sino asociado con metales como zinc (Zn), cobre (Cu) y plomo (Pb).

Según Sarabia (2012), el Cd no se encuentra libre en la naturaleza, tiene un peso atómico de 48, masa atómica de 112.41, el punto de fusión es de 320.9 °C y punto de ebullición es de 767 °C. Por otro lado, Saldivar (2006) menciona que otra de las propiedades del Cd, es que cambia a vapor de forma sencilla, esto se debe a su fácil maleabilidad y resistencia a la corrosión; el cambio de fase produce óxido de cadmio (CdO), el cual permanece en el aire

Es un elemento tóxico que está asociado a la contaminación ambiental e industrial, la presencia de Cd en el medio ambiente se debe a las actividades forestales, volcánicas, erosión de rocas, incluso todos los suelos y abonos minerales contienen trazas de Cd (Huiracocha, 2018).

1.1.4 PRINCIPALES FUENTES DE EMISIÓN DEL CADMIO

Según Castro (2015), dentro de las principales fuentes de emisión de cadmio, podemos encontrar las siguientes:

- Baterías recargables de níquel/cadmio (Ni/Cd)
- Pigmentos y estabilizadores en plástico y PVC
- Pigmentos en pinturas
- Galvanización
- Catalizadores y conservadores de la industria del plástico
- Elaboración de pinturas
- Aleaciones

Con respecto a las actividades agrícolas, se ha encontrado que el uso de agroquímicos (fertilizantes y plaguicidas) promueven la contaminación de los suelos, debido a la composición química de sus productos y por la infiltración de los mismos en las capas del suelo, generando un impacto negativo en el suelo como en la capa freática.

1.1.5 CONTAMINACIÓN DEL SUELO POR CADMIO

Los vertidos industriales y urbanos incrementan el riesgo de contaminación de suelos por cadmio, los lodos producidos por las industrias y los vertidos que estas generan, pueden llegar a profundidades entre 35 y 40 cm

especialmente, la bioacumulación máxima de este metal se concentra en los primeros 5 cm de la capa del suelo (Hernández , 2016).

El cadmio (Cd) muestra concentraciones bajas, que van entre 2 a 6.9 $\mu\text{g L}^{-1}$. El incremento de los metales pesados como este, generan riesgos en la salud del ambiente, ya que no se degradan de forma sencilla, no tienen funciones metabólicas específicas para los seres vivos (Mancilla Villa, et al., 2012), resultando peligroso por su toxicidad sobre el suelo, agua y la combinación que se pueda dar con compuestos orgánicos.

La movilidad de Cd en el suelo depende no sólo de su especiación química, sino de parámetros del suelo tales como pH, materia orgánica, carbonatos, minerales de la arcilla, entre otros (Huertos & Romero, 2009).

Según Castro (2015). El cadmio puede incorporarse al suelo mediante cuatro diferentes vías:

- Puede quedar retenido en el suelo, ya sea disuelto en la solución del suelo o bien fijado por procesos de adsorción, complejación y precipitación.
- Puede ser absorbido por las plantas y así incorporarse a las cadenas tróficas.
- Puede pasar a la atmósfera por volatilización.
- Puede movilizarse a las aguas superficiales o subterráneas.

1.1.6 FACTORES QUE AFECTAN LA BIODISPONIBILIDAD DEL CADMIO EN LOS SUELOS.

pH: Por la solubilidad que muchos metales tienen, el pH puede aumentar (ácido) y disminuir (básico), ya que se precipitan como hidróxidos.

Textura: Los suelos que poseen una textura fina pueden ser procedentes de minerales que son fáciles de alterar, estos generalmente son la mayor fuente natural de metales pesados. Por otro lado, los suelos de textura gruesa son más difíciles de alterar.

Condiciones de óxido-reducción: Los metales como el Cd forma sulfuros que son relativamente insolubles en condiciones reductoras. Existen otros

metales que se pueden convertir más solubles en condiciones similares, como el Fe y Mn.

Materia Orgánica: Es un componente activo del suelo que tiene la capacidad de reaccionar con las sustancias que se encuentren presentes. Los componentes de las sustancias húmicas forman complejos con los metales pesados, lo que puede hacer que estos bajen a capas profundas o se mantengan en la solución del suelo.

Capacidad de intercambio catiónico: Esta depende de las partículas que conforman el suelo (en menor tamaño mayor capacidad de intercambio), del tipo de cationes y también del pH (los pH bajos retienen los hidrogeniones en la superficie de las partículas, pero a pH altos los grupos carboxílicos y oxidrilos producen intercambio de hidrógeno por cationes) que aumenta su capacidad de cambio (Jiménez, 2017).

1.1.7 EFECTOS DEL CADMIO EN LAS PLANTAS

En las plantas el Cd ocasiona clorosis, que es una condición anormal, en la cual el follaje produce insuficiente clorofila, cuando esto sucede las hojas sufren decoloración. Este metal también reduce la absorción de nitratos y su transporte desde la raíz hacia el tallo, a través de la inhibición en tallos de la actividad nitrato reductasa (Gouia, Ghorbal, & Meyer, 2000). La tasa de transferencia de Cd del suelo hacia la planta depende de sus propiedades fisicoquímicas, del pH, contenido de humus, disponibilidad de materia orgánica, uso de fertilizantes, entre otros (FAO, 2012).

Pernía et al. (2008), mencionan la sintomatología que presentan las plantas ante la presencia del Cd:

- Reducción en el crecimiento y elongación de las raíces
- Inhibición de la fotosíntesis
- Disminución en la tasa de transpiración
- Estrés exudativo y encimas antioxidantes
- Interferencia con la toma, transporte y uso de macro y micronutrientes.
- Disturbio en el control de redox y metabolismo.

1.2 LEGISLACIONES PARA EL CADMIO

La Autoridad Europea de Seguridad Alimentaria (EFSA), ha establecido medidas de prevención para la reducción de Cd en el medio ambiente y en alimentos contaminados por su presencia.

En vista de las disposiciones legislativas referidas al Cd, se están implementando acciones para reducir la movilidad de este elemento en el suelo y su biodisponibilidad en los cultivos. Entre las alternativas se encuentra la utilización de enmiendas que aplicadas en el suelo pueden lograr la mitigación de este metal pesado (Moulis & Thévenod, 2010).

A continuación, se describe la funcionalidad de las enmiendas, destacando la utilidad de la calcita y la cáscara de plátano, materiales que fueron utilizados en esta investigación.

1.3 ENMIENDAS

El uso de enmiendas es muy relevante dentro de la recuperación de los suelos, ya que permite optimizar los niveles productivos y reducir la biodisponibilidad de Cd en el suelo. Las enmiendas son consideradas prácticas agroecológicas que se utilizan con la finalidad de mejorar las propiedades físicas y químicas del suelo, consiguiendo así la productividad de los cultivos.

Las enmiendas modifican propiedades del suelo como pH, biodisponibilidad, porosidad entre otras. Estas enmiendas pueden ser orgánicas y minerales (Arévalo & Castellano, 2009).

1.3.1 MINERALES

Las enmiendas minerales pueden ser naturales o sintéticas y se utilizan para mejorar las condiciones químicas, físicas y biológicas del suelo (Delgado, 2017).

Su presencia puede tener efectos directos e indirectos sobre la movilidad y reactividad del Cd, a través de las interacciones superficiales de los minerales con el metal e indirectas a través de su efecto sobre el pH del suelo.

1.3.1.1 **Calcita (CaCO₃)**

Conocida también como carbonato de calcio, es uno de los minerales más abundantes en la naturaleza, siendo la principal fuente de carbonato de calcio para las industrias fabriles y químicas.

Los carbonatos de calcio tienen como componente principal la piedra caliza, esta enmienda se utiliza para neutralizar la acidez del suelo y también para mejorar los niveles de calcio (Ca) (Demagnet, 2017), aumenta el contenido de bases que neutralizan los protones resultantes del proceso de acidificación e incrementa el pH del suelo.

Al incorporar agregados de calcita al suelo, se mejora el uso del agua, la recuperación de nutrientes y el crecimiento de las plantas con un sistema radical saludable (Demagnet, 2017).

1.3.2 **ENMIENDAS ORGÁNICAS**

Las enmiendas orgánicas constituyen una importante fuente de nutrientes para plantas y microorganismos; mejora la estructura del suelo, la capacidad de retención de agua y aumenta la actividad y biomasa microbiana; además mejoran las capacidades físicas, químicas y biológicas del suelo. Algunas moléculas orgánicas forman compuestos estables con metales pesados para reducir su movilidad (Zornoza et al., 2013).

1.3.3 **CÁSCARA DE PLÁTANO**

Cerca del 95% de los residuos que se generan del plátano no son aprovechados eficientemente por el agricultor, ya que su producción se enfoca en la comercialización para la alimentación del hogar (Moreira, 2013).

Es importante tener en cuenta que la cáscara del plátano posee alta concentración de elementos minerales, azúcares totales y proteína propiedades que lo convierten en un gran potencial de uso como fuente de abono orgánico.

La cáscara de plátano no tiene costo alguno, esto permite que su uso como un adsorbente para la eliminación de metales pesados sea factible (Castro, 2015).

La mayoría de los residuos orgánicos tienen mejor capacidad de adsorción en relación con los carbonos activados. Es por ello, que diversas investigaciones han evaluado la capacidad de remoción de contaminantes con materiales orgánicos. En este sentido, se encontró que la cáscara de banano tiene la capacidad de limpiar aguas contaminadas con metales pesados de una manera eficaz y barata (Rios, 2014) .

1.4 ABSORCIÓN DE METALES PESADOS CON PLANTAS DE ARROZ

Una de las plantas de mayor uso en el estudio del Cd es el arroz que toma fácilmente del suelo este metal pesado (Jarvis, Jones, y Hopper, citado por Valarezo, 2018) siendo transportado a sus diferentes órganos. Según Yap et al. (2009), al ser absorbido el Cd por las raíces, se distribuye por todas partes de la planta, presentando mayor concentración en las raíces que en hojas y tallos, resultando ser una excelente bioindicadora.

El arroz tiene la capacidad de absorber de forma eficaz elementos tóxicos del suelo y el agua, ya que estas se cultivan en condiciones de inundación que facilitan la absorción de Cd por sus raíces, y la acumulación en sus órganos (Praveena & Omar, 2017).

Según Huiracocha (2018), El primer síntoma de toxicidad por cadmio registrado, se detectó alrededor del año 1920, en Toyama, una ciudad de Japón, en la cual, la población ingirió arroz contaminado con cadmio, el cual se encontraba en concentraciones promedio en arroz de 0.30 a 0.49 mg kg⁻¹.

2. METODOLOGÍA

2 METODOLOGÍA.

2.1. SITIO DEL ESTUDIO

Esta investigación fue desarrollada en el invernadero y laboratorio de metales pesados del Departamento de Manejo de Suelos y Aguas (DMSA) de la Estación Experimental Tropical Pichilingue (EETP) del Instituto Nacional de Investigaciones Agropecuarias (INIAP), ubicado en el km 5 vía Quevedo - El Empalme, cantón Mocache, provincia Los Ríos.

Los suelos utilizados en este estudio fueron colectados en Cerecita provincia de Guayas, Río Negro provincia de El Oro, Pichilingue provincia de Los Ríos, Canuto provincia de Manabí, San Lorenzo, provincia de Esmeraldas, y la provincia de Sucumbíos (Figura 1). Las características fisicoquímicas, textura y coordenadas de los suelos se encuentran en (Albán, 2017) y (Rubio, 2018).

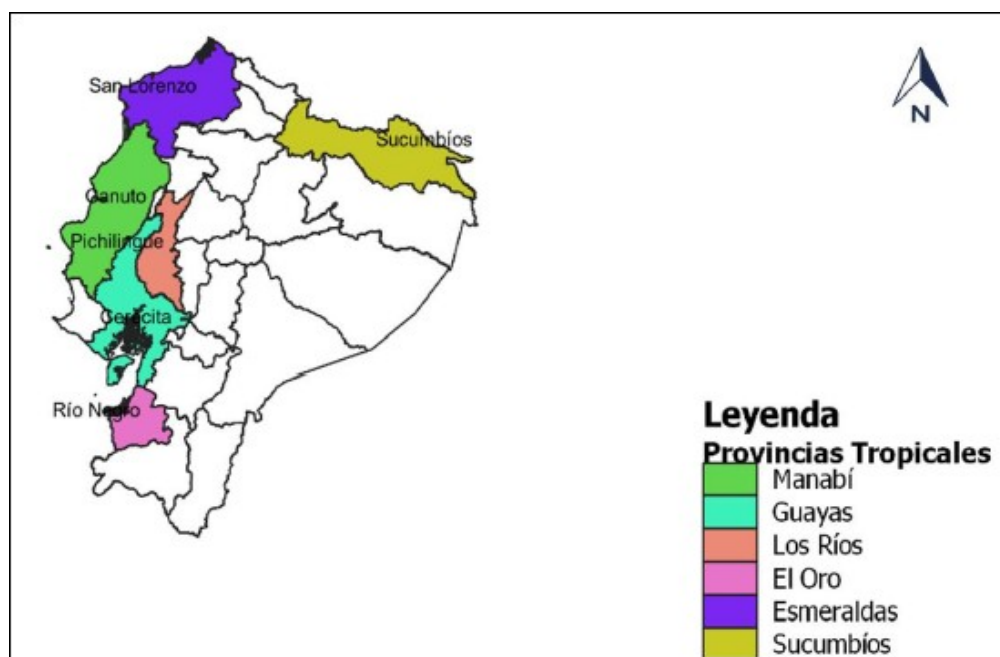


Figura 1. Mapa del Ecuador representando las seis provincias donde se colectaron los suelos utilizados en el estudio. (Valarezo, 2018).

La EETP, se encuentra localizada en las coordenadas 79° 28' longitud Oeste y 1° 06' Latitud Sur, a una altitud de 75 msnm. Presenta temperatura media anual de 26.7°C, humedad relativa de 85.84%, heliofanía de 898.66 horas luz año⁻¹ y precipitación anual acumulada de 2223.85 mm (INAMHI, 2016), corresponde a un bosque húmedo tropical (Cañadas, 1983).

2.2. FACTORES EN ESTUDIO

Se evaluaron tres factores; el factor A, seis suelos tropicales correspondientes a las provincias de Guayas, El Oro, Los Ríos, Manabí, Esmeraldas y Sucumbíos, el factor B correspondió a dos enmiendas (calcita y cáscara de plátano) y el factor C las dosis de enmiendas (0.0; 2.5; 5.0 y 10.0 t ha⁻¹). Su combinación resulta en un total de 48 tratamientos, teniendo tres replicas cada uno (Tabla 1).

Tabla 1. Tratamientos de evaluación de la variación en la biodisponibilidad de cadmio en suelos tratados con enmiendas orgánicas y minerales.

N°	Suelo	Enmienda	Dosis (t ha ⁻¹)	Cd*	N°	Suelo	Enmienda	Dosis (t ha ⁻¹)	Cd*
1	Guayas	-	0.0	+	25	Esmeraldas	-	0.0	+
2	Guayas	Calcita	2.5	+	26	Esmeraldas	Calcita	2.5	+
3	Guayas	Calcita	5.0	+	27	Esmeraldas	Calcita	5.0	+
4	Guayas	Calcita	10.0	+	28	Esmeraldas	Calcita	10.0	+
5	Guayas	-	0.0	+	29	Esmeraldas	-	0.0	+
6	Guayas	C. plátano	2.5	+	30	Esmeraldas	C. plátano	2.5	+
7	Guayas	C. plátano	5.0	+	31	Esmeraldas	C. plátano	5.0	+
8	Guayas	C. plátano	10.0	+	32	Esmeraldas	C. plátano	10.0	+
9	El Oro	-	0.0	+	33	Manabí	-	0.0	+
10	El Oro	Calcita	2.5	+	34	Manabí	Calcita	2.5	+
11	El Oro	Calcita	5.0	+	35	Manabí	Calcita	5.0	+
12	El Oro	Calcita	10.0	+	36	Manabí	Calcita	10.0	+
13	El Oro	-	0.0	+	37	Manabí	-	0.0	+
14	El Oro	C. plátano	2.5	+	38	Manabí	C. plátano	2.5	+
15	El Oro	C. plátano	5.0	+	39	Manabí	C. plátano	5.0	+
16	El Oro	C. plátano	10.0	+	40	Manabí	C. plátano	10.0	+
17	Los Ríos	-	0.0	+	41	Sucumbíos	-	0.0	+
18	Los Ríos	Calcita	2.5	+	42	Sucumbíos	Calcita	2.5	+
19	Los Ríos	Calcita	5.0	+	43	Sucumbíos	Calcita	5.0	+
20	Los Ríos	Calcita	10.0	+	44	Sucumbíos	Calcita	10.0	+
21	Los Ríos	-	0.0	+	45	Sucumbíos	-	0.0	+
22	Los Ríos	C. plátano	2.5	+	46	Sucumbíos	C. plátano	2.5	+
23	Los Ríos	C. plátano	5.0	+	47	Sucumbíos	C. plátano	5.0	+
24	Los Ríos	C. plátano	10.0	+	48	Sucumbíos	C. plátano	10.0	+

*, contaminado con 3 mg kg⁻¹ de cadmio.

2.3. MANEJO DEL EXPERIMENTO

2.3.1 CONTAMINACIÓN E INCUBACIÓN DEL SUELO

Se pesó 4 kg de suelo de cada una de las provincias muestreadas, repartiendo 1 kg en cuatro fundas de polipropileno transparentes previamente

identificadas. Inicialmente los suelos se llevaron a humedad cercana a capacidad de campo, previa a la incubación con Cd.

Los suelos se contaminaron con 3 mg L⁻¹ de Cd, usando una solución preparada a partir de cloruro de cadmio (CdCl₂) MERCK. Durante treinta días el suelo se mantuvo con humedad cercana a capacidad de campo, utilizando agua desionizada (aqua MAX Ultra 370), volteando diariamente las fundas. Finalizado el proceso de incubación se procedió a secar los suelos a temperatura ambiente, para proceder a dosificarlos con las enmiendas.

2.3.2 APLICACIÓN DE LA ENMIENDA

En las fundas que contenían los suelos contaminados, se aplicó la calcita y la cáscara de plátano respectivamente, en dosis variables según los tratamientos (0.0; 2.5; 5.0; 10.0 t ha⁻¹) de cada enmienda, calculadas a partir de la densidad de cada suelo y una profundidad de 0.20 m (Tabla 2).

Seguidamente, se procedió a colocar 100 g de cada tratamiento en vasos plásticos, los que permanecieron con humedad cercana a la capacidad de campo por 15 días, para garantizar la interacción entre el suelo y enmienda. De allí se realizó la siembra del arroz, para determinar la absorción de Cd.

Tabla 2. Densidad aparente de los suelos tropicales utilizados en esta investigación.

Suelos	Densidad (t m ⁻³)
Guayas	1.6
El Oro	1.5
Los Ríos	1.1
Manabí	1.5
Esmeraldas	1.2
Sucumbíos	1.3

2.3.3 SIEMBRA DE ARROZ

Se utilizaron semillas pregerminadas de arroz variedad INIAP-11, colocando 25 semillas por vaso (unidad experimental). Por 30 días tuvieron el respectivo mantenimiento, con aplicaciones de riego diario, en horas de la mañana y cuando fue necesario se repitió, según el clima, en las tardes.

2.3.4 FERTILIZACIÓN

Quince días después de la siembra se realizó una fertilización, aplicando fosfato monobásico (KH_2PO_4) (100 mg L^{-1} de P_2O_5) y sulfato de amonio (NH_4) $_2\text{SO}_4$ (50 mg L^{-1}) en solución para asegurar la producción de materia seca (Carrillo, 2003).

2.3.5 COSECHA DE LAS PLANTAS

Después de los 30 días de la siembra, las plantas de arroz dejaron de regarse, una vez que el suelo estuvo completamente seco, la parte aérea y parte radical fueron separadas del suelo.

2.3.6 LAVADO DE LAS MUESTRAS

Para eliminar el suelo adherido a las raíces de las plantas, se realizó un lavado con la secuencia agua de llave, sulfato de magnesio (MgSO_4), ácido clorhídrico (HCl 5%), agua destilada, agua de llave y por último agua desionizada (Carrillo, 2003).

2.3.7 DETERMINACIÓN DE LA MATERIA SECA

Una vez lavadas las plantas se realizó la separación de parte aérea y radical colocando en fundas de papel identificadas, estas fueron llevadas a la estufa por 72 horas a 70°C para ser secadas.

Para determinar el peso seco las raíces y la parte aérea se colocaron en un desecador hasta que se enfriaron y se pesaron en una balanza analítica (HR-200). Los resultados obtenidos fueron expresados en g vaso^{-1} de materia seca. Luego se molieron en un molino IKA WORK para luego almacenarlas en fundas pasticas identificadas hasta su posterior análisis en el laboratorio.

2.3.8 DETERMINACIÓN DEL PH

Se determinó los valores de pH Inicial y final de cada uno de los suelos evaluados, así también en la rizósfera. Para esto se utilizó un potenciómetro ORION STAR A111 marca Thermo SCIENTIFIC con electrodo de vidrio, que se calibró con soluciones buffer de pH 4, 7 y 10, empleando agua desionizada para su limpieza. La solución de lectura tenía la relación 1:2, se agitaron las

muestras por dos minutos, para luego proceder a medir el pH, sumergiendo el electrodo (Carrera de Pozo, 2001).

2.3.9 DETERMINACIÓN DE LA CONCENTRACIÓN DE CD

Para determinar la concentración de Cd se utilizó la metodología empleada por Carrillo (2003). Mediante la digestión nítrico-perclórica (relación 4:1) se logró extraer el Cd de las muestras vegetales. Para ello se colocó 0.5 g de cada tejido vegetal en matraces Erlenmeyer de 50 mL, se agregó 8 mL de ácido nítrico concentrado (HNO₃, 69%) y 2 mL de ácido perclórico concentrado (HClO₄, 70-72%). Las muestras fueron colocadas en la placa calentadora a ± 180 °C durante un periodo de 90 minutos hasta su digestión total (Mite, Carrillo, & Durango, 2010). Se retiraron de la placa y agregaron 10 mL de agua ultra pura, se filtraron sobre papel filtro en un balón de 25 mL y se aforaron con agua ultra pura.

La cuantificación de Cd se realizó en un espectrofotómetro de absorción atómica Perkin Elmer AAnalyst 400, con horno de grafito HGA 900, utilizando argón como gas de arrastre y a una longitud de onda de 228.8 nm.

2.3.10 DETERMINACIÓN DEL CONTENIDO DE CADMIO

Para determinar el contenido de Cd, se utilizaron los resultados obtenidos de la producción de materia seca y los valores de la concentración de Cd en los tejidos, separando la parte aérea y radical.

Los contenidos de Cd absorbido por las plantas fueron establecidos en los 100 g de suelo (Ecuación 1).

$$\text{Contenido de Cd (mg vaso}^{-1}\text{)} = \frac{(\text{Peso materia seca (g)} \times \text{Concentración de Cd (mg kg}^{-1}\text{)})}{1000} \quad [1]$$

2.3.11 FACTOR DE TRANSLOCACIÓN

El factor de translocación se obtuvo a partir de los valores numéricos del contenido de Cd radical y aéreo (Ecuación 2).

$$\text{Factor de translocación} = \frac{\text{Contenido de Cd en parte aérea (mg kg}^{-1}\text{)}}{\text{Contenido de Cd en raíz(mg kg}^{-1}\text{)}} \quad [2]$$

2.3.12 ANÁLISIS ESTADÍSTICO

Los datos obtenidos fueron sometidos a análisis de varianza siguiendo un diseño estadístico combinado de Bloques Completos al azar con esquema factorial 6x2x4, donde los tratamientos evaluados fueron los suelos, enmiendas y dosis. Para conocer las diferencias entre promedios, se utilizó la prueba de Tukey ($p < 0,05$) empleando el programa estadístico INFOSTAT (Di Rienzo et al., 2016).

3. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

3 RESULTADOS Y DISCUSIÓN

3.1 BIODISPONIBILIDAD DE CADMIO

3.1.1 EFECTO DEL pH EN EL SUELO

3.1.1.1 pH Inicial

El pH inicial determinado correspondió al suelo mezclado con la enmienda después de un mes de incubación y antes de proceder con la siembra de arroz. Donde se observó que el suelo de Sucumbíos presentó un promedio de 4.95 considerado como ácido; mientras que en el suelos de Guayas se obtuvo el valor más alto con 8.36 considerado como medianamente alcalino (Tabla 3); por otro lado, los demás suelos tuvieron pH de 7.66 (El Oro), 6.27 (Los Ríos), 6.40 (Manabí) y 6.30 (Esmeraldas). Además, se evidenció que el pH de los suelos tratados con calcita (6.67) resultó ligeramente superior con respecto a la cáscara de plátano (6.63).

Tabla 3. Cambios en el pH inicial de los suelos mezclados con las enmiendas.

Enmiendas	Suelos (Provincias)						Promedio factor enmiendas
	Guayas	El Oro	Los Ríos	Manabí	Esmeraldas	Sucumbíos	
Calcita	8.38 a	7.68 b	6.12 c	6.44 c	6.40 c	5.01 e	6.67 A
Cáscara de plátano	8.34 a	7.64 b	6.42 d	6.37 c	6.19 d	4.89 e	6.63 B
Promedio del factor suelos (Provincias)	8.36A	7.66B	6.27D	6.40C	6.30D	4.95E	

C.V. (%): 1.40; significancia 0,05. Interacción Suelos-Enmiendas.

3.1.1.2 pH final

El pH de los suelos después de la cosecha de las plantas fue mayor respecto al inicial en los suelos de Manabí y Sucumbíos. Los resultados reflejan que al final de la investigación el suelo de Sucumbíos tuvo el pH promedio más ácido (5.58) en relación con los demás y el suelo de Guayas mostró el pH promedio más alcalino (8.36) (Tabla 4).

El cambio del pH entre las condiciones iniciales y finales referentes a la absorción de Cd por las plantas se puede deber a las reacciones que involucran la protonación y neutralización de los grupos hidroxilos OH⁻ de los

suelos.

Este efecto del pH también se ha observado en otros trabajos, así Pérez de Mora et al. (2005) encontraron incrementos en el pH tras la aplicación de enmiendas orgánicas y minerales durante largos periodos de tiempo. Concluyeron que el aumento del pH se debió al contenido de CaCO_3 , mientras que, en el caso de las enmiendas orgánicas se atribuyó a su elevado contenido de cationes básicos.

En cuanto al efecto de las enmiendas, las tablas 3 y 4 muestran que independientemente de los suelos de las distintas provincias, las enmiendas a base de calcita con 6.97 y dolomita con 6.82 incrementaron el pH final en relación a la inicial

Tabla 4. Variación de pH final de los suelos por efecto de la aplicación de las enmiendas.

Enmienda s	Suelos (Provincias)						Promedio factor enmiendas
	Guaya s	El Oro	Los Ríos	Manabí	Esmeralda s	Sucumbíos	
Calcita	8.38 a	7.78 b	6.33 e	7.20 c	6.42 e	5.73 g	6.97 A
Cáscara de plátano	8.34 a	7.72 b	6.20 f	7.08 d	6.13 f	5.43 h	6.82 B
Promedio del factor suelos (Provincias)	8.36 A	7.75 B	6.26 D	7.14 C	6.27 D	5.58 E	

C.V. (%): 0.88; significancia 0,05. Interacción Suelos-Enmiendas.

3.1.1.3 pH rizosférico

De acuerdo con los resultados los valores obtenidos con la calcita y cáscara de plátano fueron similares. Aquí también se refleja el menor valor de pH para Sucumbíos (5.56) y Guayas (8.31) con el pH más alcalino (Tabla 5).

El pH rizosférico pudo estar influenciado por la solubilidad de los nutrientes y su absorción a través de la raíz (Seshadri, Bolan, & Naidu, 2015), mediante la exudación de sustancias bioquímicas originadas por cambios ambientales que producen respuestas fisiológicas en las plantas a través de las raíces, se provocan distintas reacciones químicas como cambios en el pH, liberación y transformación de nutrientes y el potencial de redox (Bais, Weir, Perry, Gilroy, & Vivanco, 2006).

La acidificación de las raíces de la planta está asociada a la aplicación de fertilizantes ácidos a o básicos, además, las raíces son capaces de modificar el pH del suelo mediante diversos procesos rizosféricos, como la asimilación y la producción de aniones, cationes y liberación de ácidos orgánicos (Barbaro, Karlanian & Mata, 2015).

Tabla 5. Cambios en el pH Rizosférico de los suelos después de la cosecha

Enmiendas	Suelos (Provincias)						Promedio factor enmiendas
	Guayas	El Oro	Los Ríos	Manabí	Esmeraldas	Sucumbíos	
Calcita	8.28 a	7.74 b	6.39 d	7.26 c	5.93 e	5.77 e	6.89 ^a
Cáscara de plátano	8.34 a	7.70 b	6.25 d	7.10 c	5.48 f	5.35 f	6.70 ^B
Promedio del factor suelos (Provincias)	8.31A	7.72B	6.32D	7.18C	5.70E	5.56F	

C.V. (%): 1.83; significancia 0,05. Interacción Suelos-Enmiendas.

3.1.2 PRODUCCIÓN DE MATERIA SECA

3.1.2.1 Materia seca: parte aérea

Se encontraron diferencias estadísticas entre las dosis aplicadas. Con 10 t ha⁻¹ de calcita y cáscara de plátano se obtuvieron los mayores pesos aéreos de 1.61 y 1.64 g vaso⁻¹ respectivamente (Tabla 6), elevando en 0.29 g vaso⁻¹ y 0.32 g vaso⁻¹, correspondientemente a sus tratamientos testigo.

Estas diferencias se deben posiblemente a que las enmiendas aportan diferentes elementos que la planta absorbe durante su desarrollo (FAO, 2013). Un claro ejemplo es la cáscara de plátano, la cual posee una mayor concentración de elementos minerales, azúcares totales y proteína bruta que sirven de abono para el crecimiento de la planta (Moreira, 2013). Por otro lado, la calcita se utiliza para neutralizar la acidez del suelo y también para mejorar los niveles de calcio (Ca) (Demagnet, 2017). La aplicación de estas enmiendas ha incrementado el peso hasta en un 22.7% con respecto al peso del tratamiento con dosis 0.0 t ha⁻¹.

Con respecto a las enmiendas, se evidenció que tanto la Calcita 1.48 y la cáscara de plátano con 1.48 presentaron el mismo resultado que mostró efecto en la producción de MS de la parte aérea de arroz.

Tabla 6 Variación de producción de materia seca parte aérea (g) por la aplicación de dosis crecientes de enmiendas orgánica y mineral.

Dosis (t ha ⁻¹)	Enmiendas (g vaso ⁻¹)		
	Calcita	Cáscara de plátano	Factor dosis (g vaso ⁻¹)
0.0	1.32 d	1.32 b	1.32 D
2.5	1.49 c	1.43 bc	1.45 C
5.0	1.52 bc	1.54 abc	1.53 B
10.0	1.61 ab	1.64 a	1.62 A
Factor enmienda	1.48 A	1.48 A	

C.V. (%): 7.46; significancia 0,05. Dosis-Enmiendas.

3.1.2.2 Materia seca radical

Se encontraron diferencias estadísticas significativas en la producción de materia seca radical por la aplicación de enmiendas (Tabla 7) y también respuesta a las dosis de enmiendas, siendo que con 10 t ha⁻¹ se obtuvo valor de 0.67 g vaso⁻¹, por otro lado, la dosis de 2.5 t ha⁻¹ generó la menor producción de materia seca radical con 0.52 g vaso⁻¹.

Tomando en cuenta la reducción de producción de materia seca radical entre las dosis 0.0 t ha⁻¹ y 2.5 t ha⁻¹, según Valerio (2012), esto puede darse por que la acidez en los suelos disminuye la producción debido a los problemas que ocurren en el sistema radical de las plantas de arroz. Es por esto que, la aplicación de enmiendas corrige la acidez, mejorando la producción de materia seca radical.

Tabla 7. Variación de la de materia seca radical (g) por efecto de la aplicación de dosis crecientes de enmiendas.

Dosis (t ha ⁻¹)	Enmiendas (g vaso ⁻¹)		
	Calcita	Cáscara de plátano	Factor dosis
0.0	0.55 cd	0.54 cd	0.55 BC
2.5	0.48 d	0.55 cd	0.52 C
5.0	0.54 cd	0.60 bc	0.57 B
10.0	0.66 ab	0.68 a	0.67 A
Factor enmienda	0.56 B	0.59 A	

C.V. (%): 12.99; significancia 0,05. Dosis-Enmiendas.

3.1.3 BIODISPONIBILIDAD DE CADMIO

3.1.3.1 Concentración de Cd en parte aérea

La concentración de Cd en la parte aérea de la planta de arroz fue menor a manera que se elevaba las dosis de enmiendas y con la aplicación de la dosis más altas (10 t ha^{-1}), se llegó a 1.87 mg kg^{-1} con calcita y para cáscara de plátano 2.44 mg kg^{-1} , provocando reducción del 54.8% y 39.6%, respectivamente comparados con sus tratamientos testigos que mostraron las mayores concentraciones con valores superiores a 4.0 mg kg^{-1} (Tabla 8).

Similar comportamiento se encontró en el trabajo realizado por Ruíz (2011), quien evaluó la biodisponibilidad de Cd en lechugas tratadas con calcita y materia orgánica, concluyó que, al aumentar la dosis de las enmiendas, la concentración del metal en los tejidos se redujo significativamente.

Tabla 8. Variación de la concentración de Cd en la parte aérea (mg kg^{-1}) por las aplicaciones de dosis variables de enmiendas orgánica y mineral

Dosis (t ha^{-1})	Enmiendas		
	Calcita (mg kg^{-1})	Cáscara de plátano (mg kg^{-1})	Promedio factor dosis (mg kg^{-1})
0	4.14 a	4.04 a	4.09 A
2.5	2.97 b	2.93 b	2.95 B
5	2.58 bc	2.64 bc	2.61 C
10	1.87 d	2.44 c	2.15 D
Promedio factor enmienda	2.89 A	3.01 A	

C.V. (%): 12.98; significancia 0,05. Dosis-Enmiendas.

3.1.3.2 Concentración de Cd en parte radical

Con la aplicación de la dosis 0.0 t ha^{-1} de enmiendas se obtuvo la mayor concentración de Cd (19.06 mg kg^{-1}) y con la dosis de 10 t ha^{-1} de calcita y cáscara de plátano, se redujeron a 8.73 mg kg^{-1} y 12.99 mg kg^{-1} respectivamente, lo que corresponde a una reducción del 54.2% y 31.8%, en su orden (Tabla 9). En general, se observa que, a mayor dosis de enmienda, se disminuye la absorción de Cd.

Los resultados obtenidos en este trabajo tienen relación con los reportados con Chandra, Kashem, & Towhid (2012), quienes, al aplicar cal y materia orgánica en cultivos de espinacas, las cuales tienen el mismo grado de

absorción que el arroz, encontraron que el Cd se redujo en un 82.3% en las raíces del cultivo, utilizando la dosis más alta (20 t ha⁻¹)

Posiblemente la baja concentración de Cd en las dosis altas de las enmiendas se produjo por la presencia de calcio (Ca) en la solución del suelo, el cual evita la absorción y acumulación del metal en las raíces de la planta (Han, Shan, Zhang, Wen, & Owens, 2006).

Tabla 9. Variación de la concentración de Cd parte radical (mg kg⁻¹) por las

Dosis (t ha ⁻¹)	Enmiendas		
	Calcita (mg kg ⁻¹)	Cáscara de plátano (mg kg ⁻¹)	Promedio factor dosis (mg kg ⁻¹)
0	19.06 a	19.06 a	19.06 A
2.5	16.91 bc	17.37 b	17.14 B
5	11.28 e	16.26 c	13.77 C
10	8.73 f	12.99 d	10.86 D
Promedio factor enmienda	13.99 B	16.42 A	

C.V. (%): 4.48; significancia 0,05. Dosis-Enmiendas.

aplicaciones variable de dosis crecientes de enmiendas orgánica y mineral.

3.1.3.3 Contenido de Cd en parte aérea

El contenido de Cd en la parte aérea presentó diferencias estadísticas significativas por efecto de las enmiendas con un coeficiente de variación de 17.49%; donde la dosis 0.0 t ha⁻¹ mostró los mayores contenidos de Cd (4.27 µg kg⁻¹) en cambio con 10 t ha⁻¹, se obtuvo 2.96 µg kg⁻¹ de Cd, que corresponde al 41.4% de reducción (Tabla 10). Por otro lado, con la cáscara de plátano se consiguió disminución del 17.8% entre el testigo (4.15 µg kg⁻¹) y el tratamiento de 10 t ha⁻¹, que alcanzó los 3.41 µg kg⁻¹.

De acuerdo con los resultados, la calcita tuvo mejor respuesta ante la inmovilización del metal, efecto encontrado también por Contreras (2005) al aplicar dosis variables de calcita en 2 suelos venezolanos contaminados con Cd de Cumbo y Tapipa, encontrando que en los suelos de Cumbo alcanzó un pH de 5.8 valor ligeramente ácido y en Tapipa el pH fue cercano a neutro con 6.7, donde las concentraciones de Cd en las hojas de cacao disminuyeron en un 48%.

Tabla 10. Variación de contenido de Cd parte aérea ($\mu\text{g vaso}^{-1}$) por las aplicaciones variable de dosis de enmiendas crecientes orgánica y mineral.

Dosis (t ha^{-1})	Enmiendas		
	Calcita ($\mu\text{g vaso}^{-1}$)	Cáscara de plátano ($\mu\text{g vaso}^{-1}$)	Promedio factor dosis ($\mu\text{g vaso}^{-1}$)
0	4.27 a	4.15 ab	4.21 A
2.5	3.21 c	3.57 bc	3.39 B
5	2.99 cd	3.54 bc	3.26 BC
10	2.50 d	3.41 c	2.96 C
Promedio factor enmienda	3.24 B	3.67 A	

C.V. (%): 17.49; significancia 0,05. Dosis-Enmiendas.

3.1.3.4 Contenido de Cd en parte radical

El contenido de Cd en la parte radical presentó un coeficiente de variación de 12.68%. La aplicación de 0.0 t ha^{-1} mostró un contenido de 10.03 $\mu\text{g kg}^{-1}$ de Cd y con la dosis de 10 t ha^{-1} se obtuvo 5.65 $\mu\text{g kg}^{-1}$ (Tabla 11).

El contenido de Cd en la raíz se redujo en 43.7% tras la aplicación de calcita, mientras que, utilizando cáscara de plátano, el contenido de Cd fue del 10.02% con respecto a la dosis 0.0 t ha^{-1} .

Tabla 11. Variación de contenido de Cd parte radical ($\mu\text{g vaso}^{-1}$) por las aplicaciones variable de dosis de enmiendas orgánica y mineral.

Dosis (t ha^{-1})	Enmiendas		
	Calcita ($\mu\text{g vaso}^{-1}$)	Cáscara de plátano ($\mu\text{g vaso}^{-1}$)	Promedio factor dosis ($\mu\text{g vaso}^{-1}$)
0	10.03 a	9.98 a	10.00 A
2.5	8.37 b	9.88 a	9.13 B
5	6.26 c	9.66 a	7.96 C
10	5.65 c	8.98 ab	7.32 C
Promedio factor enmienda	7.58 B	9.63 A	

C.V. (%): 12.68; significancia 0,05. Dosis-Enmiendas.

3.1.3.5 Contenido total de Cd en la planta

En cuanto al contenido total de Cd en la planta, se determinó que la acumulación del metal se redujo a medida que aumentaron las dosis de las enmiendas (Tabla 12). Para calcita cuando no se aplicó se obtuvo una

acumulación de 14.29 $\mu\text{g vaso}^{-1}$ y disminuyó a 8.16 $\mu\text{g vaso}^{-1}$, traduciéndose en 42.9% menos de Cd absorbido con aplicación de 10 t ha^{-1} . La misma situación ocurrió con la cáscara de plátano, donde de 14.13 $\mu\text{g vaso}^{-1}$, se redujo a 10.27 $\mu\text{g vaso}^{-1}$, que corresponde a reducción del 12.3%.

Tabla 12. Variación de contenido de Cd total ($\mu\text{g vaso}^{-1}$) por las aplicaciones variable de dosis de enmiendas crecientes orgánica y mineral.

Dosis (t ha^{-1})	Enmiendas		
	Calcita ($\mu\text{g vaso}^{-1}$)	Cáscara de plátano ($\mu\text{g vaso}^{-1}$)	Promedio factor dosis ($\mu\text{g vaso}^{-1}$)
0	14.29 a	14.13 a	14.21 A
2.5	11.58 c	13.45 ab	12.52 B
5	9.25 d	13.20 ab	11.22 C
10	8.16 d	12.39 bc	10.27 D
Promedio factor enmienda	10.82 B	13.29 A	

C.V. (%): 10.68; significancia 0,05. Dosis-Enmiendas.

3.1.4 TASA DE TRANSLOCACIÓN DE Cd

Los resultados encontrados determinaron que con la dosis de 10 t ha^{-1} de calcita se obtuvo la mayor tasa de translocación de Cd, la cual disminuyó a las menores dosis (Tabla 13). De acuerdo con Deng (2004) y Audet & Charest (2007), tasas de translocación menores a 1 indican que la absorción del metal en la planta es baja, es decir que los elementos quedan retenidos mayoritariamente en las raíces y puede ser utilizados en la técnica de fitoestabilización.

Tabla 13. Variación en la tasa de translocación de Cd en plantas de arroz cultivadas en suelos contaminados con Cd.

Dosis (t ha^{-1})	Enmiendas		
	Calcita	Cáscara de plátano	Promedio factor dosis
0	0.60 c	0.57 c	0.58 C
2.5	0.67 bc	0.55 c	0.61 BC
5	0.86 ab	0.58 c	0.72 AB
10	0.90 a	0.61 c	0.75 A
Promedio factor enmienda	0.76 A	0.58 B	

C.V. (%): 30.29; significancia 0,05. Dosis-Enmiendas.

4. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

4 CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

4.1 CONCLUSIONES

La aplicación de la enmienda mineral (calcita), provocó un incremento del pH en los seis suelos estudiados. En cuanto a la aplicación de la enmienda orgánica (cáscara de plátano) existió un aumento de pH en los suelos de Guayas, El Oro, Manabí y Sucumbíos; por otro lado, el pH disminuyó en las provincias de Los Ríos y Esmeraldas.

Con la aplicación edáfica cáscara de plátano en los suelos, se consiguió obtener una mínima diferencia en cantidad de materia seca en la raíz de las plantas indicadoras de arroz.

A mayor dosis de enmienda (10 t ha^{-1}) menor biodisponibilidad de Cd para las plantas de arroz, reflejada en menor concentración en tejidos de raíz y parte aérea.

La aplicación de calcita y cáscara de plátano provocan incremento en la tasa de translocación de Cd, desde la parte radical a la parte aérea, siendo que con cáscara de plátano es menor el efecto.

4.2 RECOMENDACIONES

Con los resultados obtenidos en esta investigación, se recomienda:

Evaluar la enmienda calcita, en parcelas demostrativas de cacao en el campo y conocer su efecto en la disminución del Cd en la almendra.

Evaluar dosis mayores de calcita en nuevas investigaciones, para encontrar el punto de inflexión de la curva.

Realizar análisis de difracción de rayos X (DRX), para conocer la mineralogía de la calcita empleada y de esa manera entender mejor los procesos que suscitaron entre el suelo y la planta.

BIBLIOGRAFÍA

BIBLIOGRAFÍA

- Albán, K. (2017). Variación de la disponibilidad de cadmio en suelos con distinto valor de pH. Santo Domingo de los Tsáchila, Ecuador: Universidad UTE.
- Alloway, B., & Steinnes, E. (1999). Anthropogenic Additions of Cadmium to Soils. (Vol. 85).
- Arévalo, G., & Castellano, M. (2009). Manual Fertilizantes y Enmiendas. Honduras, Centroamérica: Escuela Agrícola Panamericana- El Zamorano.
- Audet, P., & Charest, C. (2007). Heavy metal phytoremediation from a metaanalytical perspective.
- Bais, H., Weir, T., Perry, T., Gilroy, S., & Vivanco, J. (2006). The Role of Root Exudates in Rhizosphere Interactions with Plants and Other Organisms (Vol. LVII). Annu. Rev. Plant Biol.
- Barbaro, L., Karlanian, M., & Mata, D. (2015). Importancia del pH y la Conductividad Eléctrica (CE) en los sustratos para plantas. Argentina: Ministerio de Agricultura, Ganadería y Pesca.
- Báscones, I. S. (2003). Determinación de metales pesados en suelos de Mediana del Campo. Valladolid: Universidad de Valladolid.
- Beltrán, M., & Gómez, A. (2015). Metales pesados (Cd, Cr y Hg): su impacto en el ambiente y posibles estrategias biotecnológicas para su remediación. Colombia: Universidad de Boyacá.
- Cañadas, L. (1983). Mapa bioclimático y ecológico del Ecuador. Banco Central del Ecuador.
- Carrera de Pozo, G. (2001). Métodos de análisis de suelos, plantas y aguas utilizados en los Laboratorios del INIAP. Boliche.
- Carrillo, M. D. (2003). Caracterización das formas de metais pesado, sua biodisponibilidade e suas dinâmicas de adsorção e de mobilidade em solos do Equador. Brasil: Universidade Federal de Vicosa.
- Castro, B. (2015). USO DE LA CÁSCARA DE BANANO (*Musa paradisiaca*) maduro deshidratada (seca) como proceso de bioadsorción para la retención de metales pesados, plomo y cromo en aguas contaminadas. Guayaquil-Ecuador: Universidad de Guayaquil.
- César Guerrero, I. G.-S. (2014). El uso de enmiendas en la restauración de suelos quemados. Alicante-España: ResearchGate.
- Chandra, S., Kashem, A., & Towhid, K. (2012). Effect of lime and farmyard manure on the concentration of cadmium in water spinach (*Ipomoea aquatica*).
- Contreras, F., Herrera, T., & Izquierdo, A. (2005). Efecto de dos fuentes de carbonato de calcio (CaCO_3) sobre la disponibilidad de cadmio para plantas de cacao (*Theobroma cacao* L.) en suelos de Barlovento, estado Miranda (13 ed.). Venesuelos.

- Delgado, D. M. (2017). Aplicación de enmiendas orgánicas para la recuperación de propiedades físicas del suelo asociadas a la erosión hídrica. Medellín, Colombia: Universidad del Valle.
- Demagnet, R. (2017). Enmiendas calcáreas. Temuco, Chile: Plan Lechero Watt's.
- Deng, H., Ye, Z., & Wong, M. (2004). Accumulation of lead, zinc, copper and cadmium by 12 wetland plant species thriving in metal-contaminated sites in China. Guangzhou: Zhongshan University.
- Di Rienzo, J., Casanoves, F., Balzarini, M., Gonzalez, L., Tablada, M., & Robledo, W. (2016). InfoStat versión 2016 p.
- EFSA, A. E. (2015). Autoridad Europea de Seguridad Alimentaria (EFSA). Obtenido de <http://www.efsa.europa.eu/en/topics/>
- Espinosa, J. (2008). Distribución, uso y manejo de los suelos de la Región Andina. Quito: Sociedad Ecuatoriana de la Ciencia del Suelo.
- FAO. (2007). Cereales, Legumbres, Lleguminosas y Productos Proteínicos Vegetales (Vol. 1). Roma.
- FAO. (2012). Guía de fertilizantes y nutrición. Servicio de fertilizantes y nutrición de las plantas. Roma, Italia: Dirección de Fomento de Tierras y Aguas.
- FAO. (2013). El manejo del suelo en la producción de hortalizas con buenas prácticas agrícolas. Paraguay: Ministerio de Agricultura y Ganadería.
- Gouia, H., Ghorbal, M., & Meyer, C. (2000). Effects of cadmium on activity of nitrate reductase and others enzymes of nitrate assimilation pathway in bean. (Vol. 38). Plant physiol biochem.
- Han, F., Shan, X., Zhang, S., Wen, B., & Owens, G. (2006). Enhanced cadmium accumulation in maize roots: the impact of organic acids. Plant and Soil 289.
- Hernández, M. V. (2016). Bioacumulación de cadmio en RYE GRASS (*Lolium perenne* L. var. Nui) sembrado en tres sustratos en condiciones de invernaderos. Lima, Perú: Universidad Nacional Agraria La Molina.
- Herrera, T. M. (2011). La Contaminación con Cadmio en Suelos Agrícolas. Maracay.
- Huertos, G., & Romero, B. (2009). Contaminación de Suelos por Metales pesados. Contaminación de Suelos por Metales Pesados. (pág. 13). Sevilla: Revista de la sociedad española de mineralogía.
- Huiracocha, J. F. (2018). "Evaluación del riesgo toxicológico por cadmio y plomo en granos de arroz (*Oryza sativa*) comercializados en la ciudad de Cuenca". Cuenca-Ecuador: Universidad de Cuenca.
- Hurtado, L. E. (2012). Evaluación de varias enmiendas para recuperar suelos cacaoteros contaminados con cadmio (Cd) en condiciones de invernadero. Quevedo: Universidad Técnica Estatal de Quevedo.
- INAMHI. (2016). Obtenido de Instituto Nacional de Meteorología e Hidrología: http://www.serviciometeorologico.gob.ec/meteorologio/boletines/bol_a

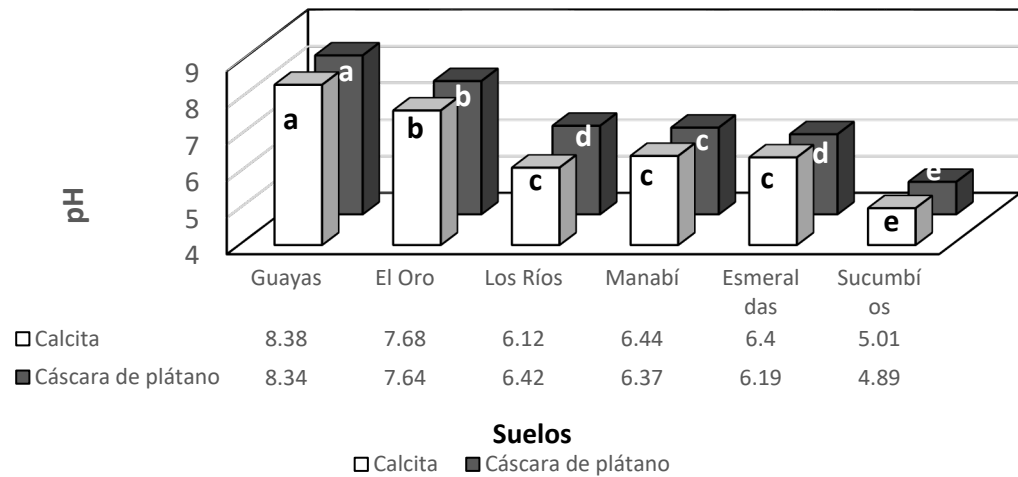
- INIAP. (2014). www.tecnologia.iniap.gob.ec. Obtenido de tecnologia.iniap.gob.ec/index.php/explore-2/mcereal/rarroz
- Jiménez, R. (2017). *Introducción a la contaminación de los suelos*. España: Mundi.Prensa.
- López, A. (2006). *Manual de Edafología*. Sevilla: Departamento de Cristalografía, Mineralogía y Química Agrícola de la Universidad de Sevilla.
- Madejón, E., Pérez de Mora, A., Felipe, E., Burgos, P., & Cabrera, F. (2005). Soil chemical properties and revegetation oatrace element contaminated soil after assistance natural remediation. *Environmental Pollution*.
- Mancilla Villa, O., Ortega Escobar, H., Ramirez Ayala, C., Uscanga Mortera, E., Ramos Bello, R., & Amanda, R. (2012). Metales pesados totales y arsénico en el agua para riego de Puebla y Veracruz., (pp. 39-48). México.
- McLaughlin, M., & Singh, B. (1999). *Cadmium in Soils and Plants* (1 ed., Vol. 85). Holanda: S. Netherlands.
- Mendoza, R. B. (2017). *Guía Técnica para muestreo de suelos*. Managua-Nicaragua: Universidad Nacional Agraria y Catholic Relief Services.
- Mite, F., Carrillo, M., & Durango, W. (2010). Avances del monitoreo de presencia de cadmio en almendras de cacao, suelo y agua en Ecuador. XII Congreso Ecuatoriano de la Ciencia del Suelo.
- Moreira, K. (2013). *Reutilización de residuos de la cáscara de bananos (musa paradisiaca) y plátanos (musa sapientum) para la producción de alimentos destinados al consumo humano*. Guayaquil-Ecuador: Universidad de Guayaquil.
- Moulis, J., & Thévenod, F. (2010). *New perspectives in cadmium toxicity*. Biometals.
- Osorno, H. (2012). *MITOS Y REALIDADES DE LAS CALES Y ENMIENDAS EN COLOMBIA*. Medellín: Universidad Nacional de Colombia sede Medellín.
- Pascual, P. (1999). *Elementos Químicos descubiertos en el siglo XIX (1801-1900)*. Alcalá-España: Noticias de la RSEQ.
- Pérez de mora, A., Burgos, P., Madejón, E., Cabrera, F., Jaeckel, P., & Schloter, M. (2006). Microbial community structure and function in a soil contaminated by heavy metals: effects of plant growth and different amendments. *Soil Biol*.
- Pérez, A., Céspedes, C., & Núñez, P. (29 de Octubre de 2010). *Caracterización física-química y biológica de enmiendas orgánicas aplicadas en la producción de cultivos*.
- Pernia, B., De Sousa, A., Reyes, R., & Castillo, M. (2018). *Bioindicadores de contaminación por cadmio en las plantas* (Vol. 33). Venezuela: Tesis de maestría de la Universidad Simón Bolívar.

- Pozo, W., Sanfeliu, T., & Carrera, G. (2011). Metales pesados en humedales de arroz en la cuenca baja del río Guayas. Guayaquil, Ecuador: Dirección de Investigación y Proyectos Académicos. Universidad de Guayaquil.
- Praveena, S., & Omar, N. (2017). Heavy metal exposure from cooked rice grain ingestion and its potential health risks to humans from total and bioavailable forms analysis. *Food Chemistry*, 203-211.
- Rios, P. E. (2014). Cinética de bioadsorción de arsénico utilizando cáscara de banano maduro en polvo. Machala-El Oro: Universidad Técnica de Machala .
- Rubio, A. (2018). Evaluación de métodos de análisis de suelos tropicales para determinar disponibilidad de cadmio. Santo Domingo de los Tsáchilas, Ecuador: Universidad UTE.
- Ruiz, J. (2011). Evaluación de tratamientos para disminuir cadmio en lechuga (*Lactuca sativa* L.) regada con agua del río Bogotá.
- Saldivar, L., Tovar, A., & Fortad, T. (2006). Cadmio. México DF: Facultad de Química.
- Sarabia, R. (2002). Toxicidad y acumulación de cadmio en poblaciones de diferentes especies de artemia. Valencia: Facultad de Ciencias Biológicas. Universidad de Valencia.
- Seshadri, B., Bolan, N., & Naidu, R. (2015). Rhizosphere-induced heavy metal (loid) transformation in relation to bioavailability and remediation. (Vol. XV). *Journal of Soil Science and Plant Nutrition*.
- Valarezo, J. (2018). Parcelas de omisión de macronutrientes para evaluar la biodisponibilidad de Cd en suelos tropicales del Ecuador. Santo Domingo: Universidad UTE.
- Valerio, J., & Molina, E. (2012). Evaluación de una fuente de enmienda líquida en el rendimiento de arroz en un ultisol de la zona norte de Costa Rica. Costa Rica: Universidad de Costa Rica.
- Yap, D., Adezrian, J., Khairiah, J., & Ismail. (2009). The Uptake of Heavy Metals by Paddy Plants (*Oryza sativa*) in Kota Marudu , Sabah , Malaysia. *American-Eurasian Journal of Agricultural & Environmental Sciences*.
- Zornoza, R., Faz, A., Carmona, D., Acosta, J., Martínez, S., & Vreng, A. (2013). Carbon mineralization, microbial activity and metal dynamics in tilling ponds amended with pig slurry and marble waste. (Vol. 90). *Chemosphere*.

ANEXOS

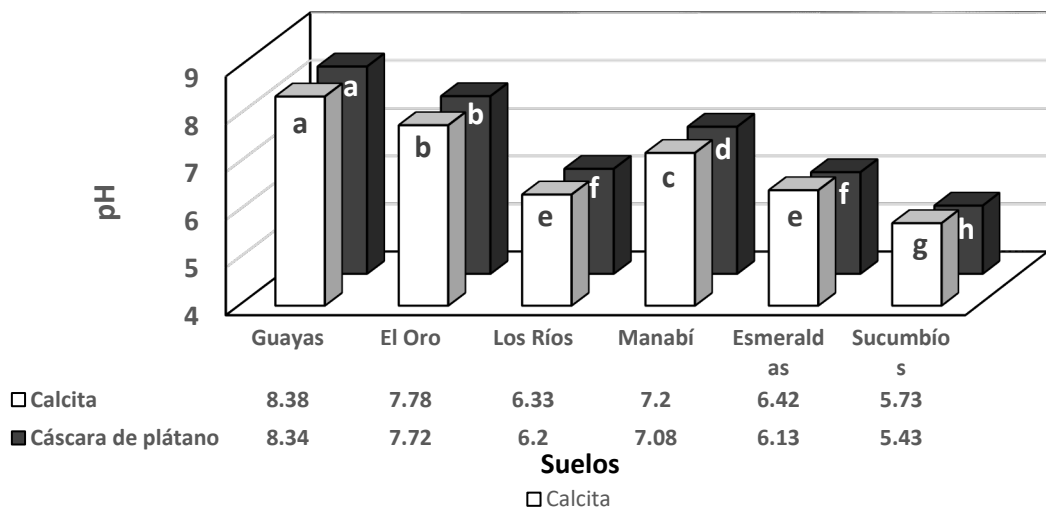
ANEXO 1.

VARIACIÓN DEL PH INICIAL DE LOS SUELOS TROPICALES DEL ECUADOR, POR LA APLICACIÓN DE ENMIENDAS MINERALES Y ORGÁNICAS.



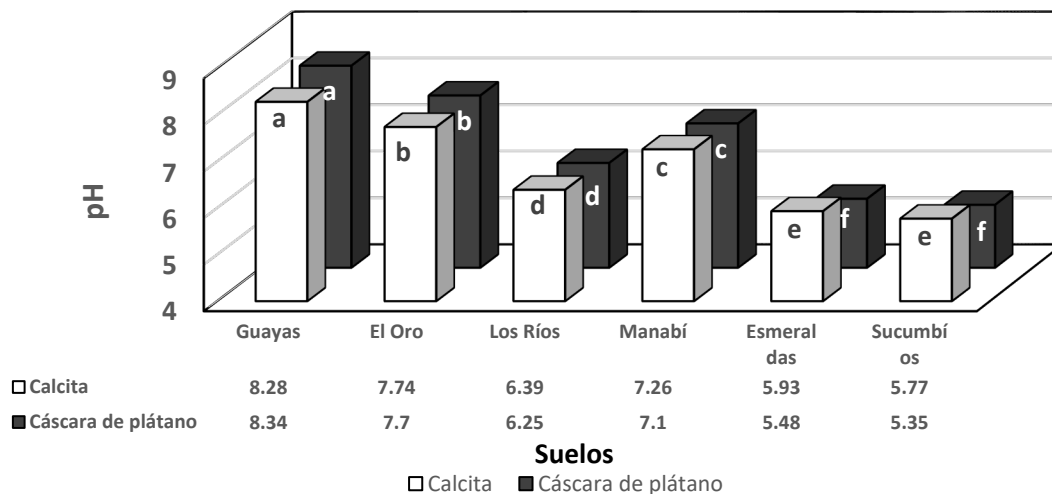
ANEXO 2.

VARIACIÓN DEL PH FINAL DE LOS SUELOS TROPICALES DEL ECUADOR, POR LA APLICACIÓN DE ENMIENDAS MINERALES Y ORGÁNICAS.



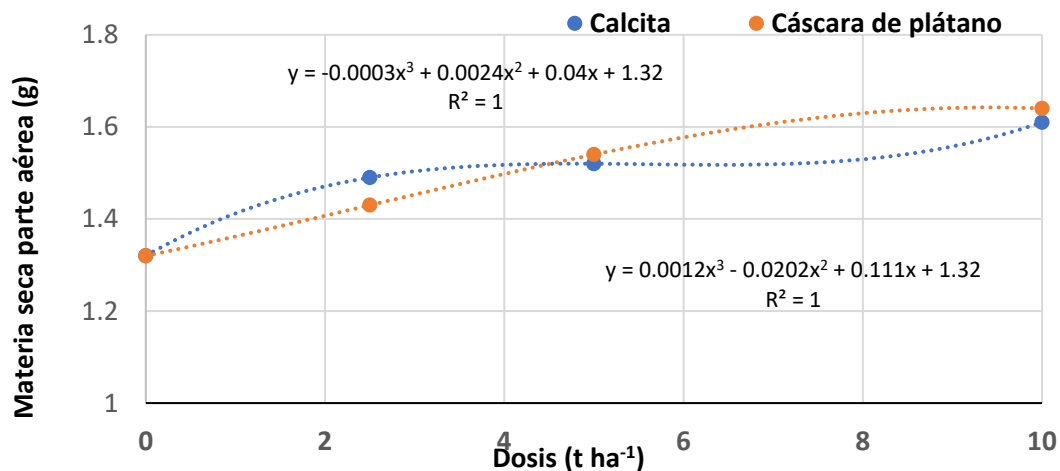
ANEXO 3.

VARIACIÓN DEL PH RIZOSFÉRICO DE LOS SUELOS TROPICALES DEL ECUADOR, POR LA APLICACIÓN DE ENMIENDAS MINERALES Y ORGÁNICAS.



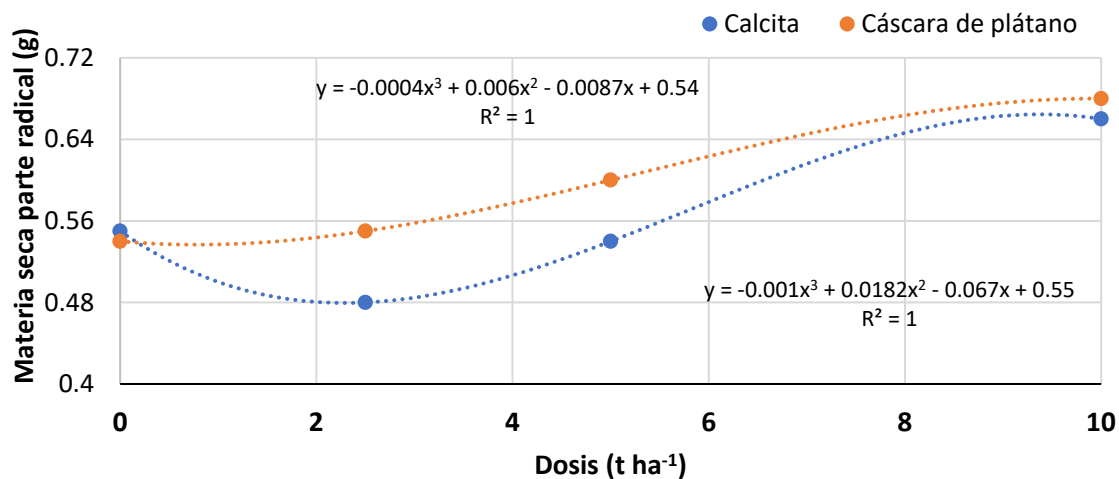
ANEXO 4.

VARIACIÓN DE PRODUCCIÓN DE MATERIA SECA PARTE AÉREA (g) POR LA APLICACIÓN DE VARIABLE DE DOSIS DE ENMIENDAS ORGÁNICA Y MINERAL.



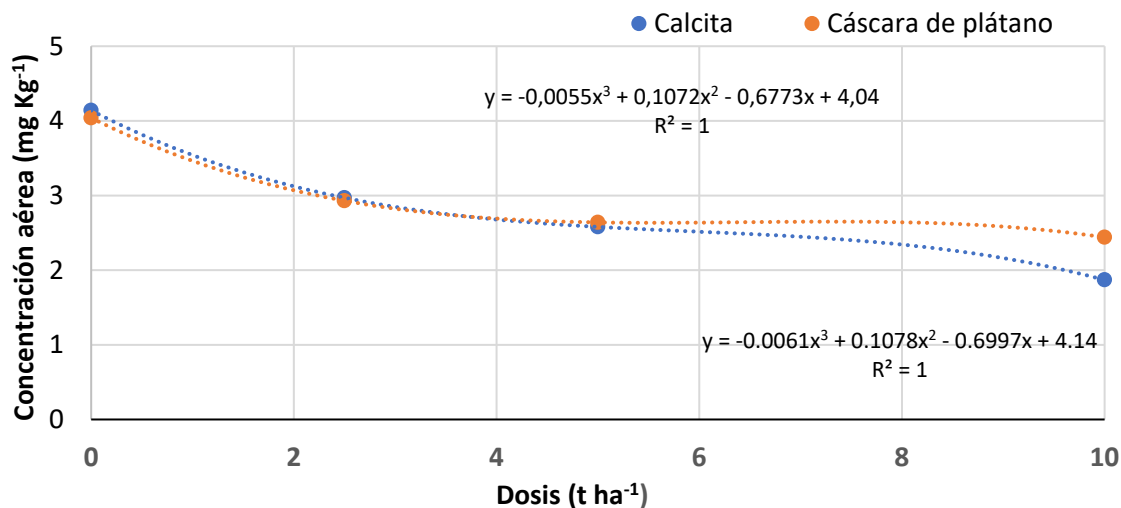
ANEXO 5.

VARIACIÓN DE PRODUCCIÓN DE MATERIA SECA PARTE RADICAL (g) POR LA APLICACIÓN DE VARIABLE DE DOSIS DE ENMIENDAS ORGÁNICA Y MINERAL.



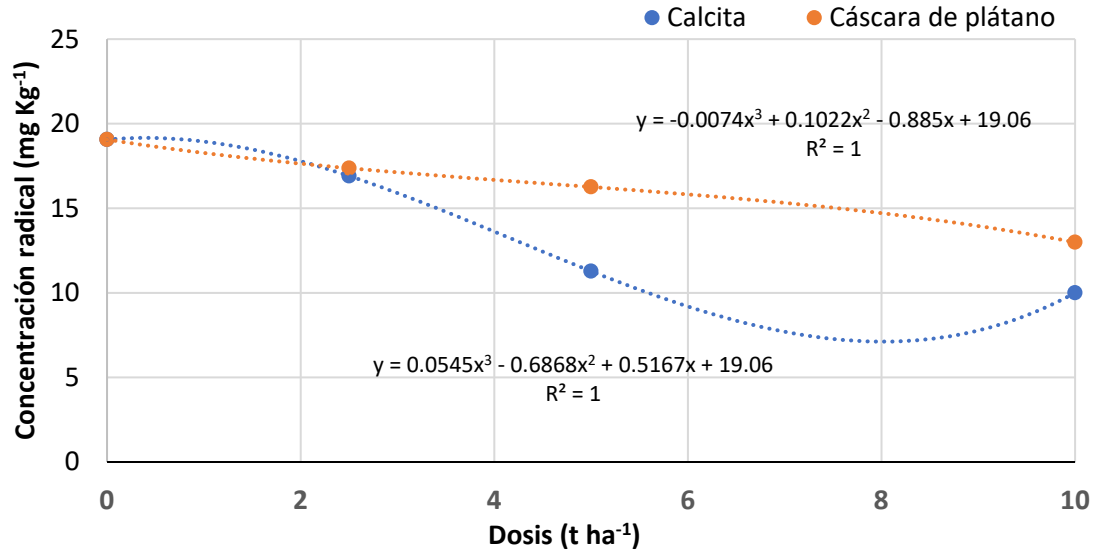
ANEXO 6.

VARIACIÓN DE LA CONCENTRACIÓN DE Cd PARTE AÉREA (mg Kg⁻¹) POR LAS APLICACIONES VARIABLE DE DOSIS DE ENMIENDAS ORGÁNICA Y MINERAL.



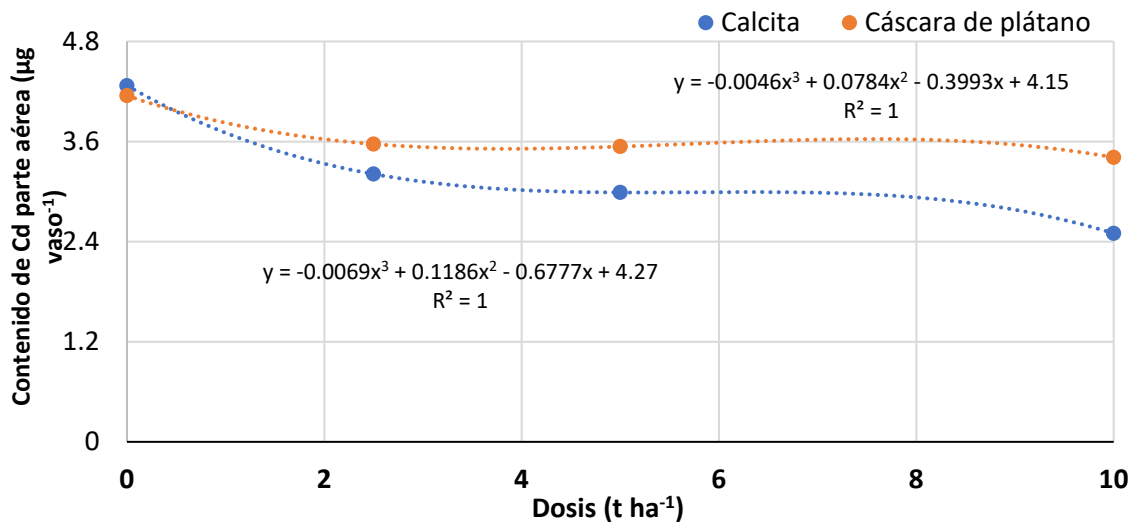
ANEXO 7.

VARIACIÓN DE LA CONCENTRACIÓN DE Cd PARTE RADICAL (mg Kg⁻¹) POR LAS APLICACIONES VARIABLE DE DOSIS DE ENMIENDAS ORGÁNICA Y MINERAL.



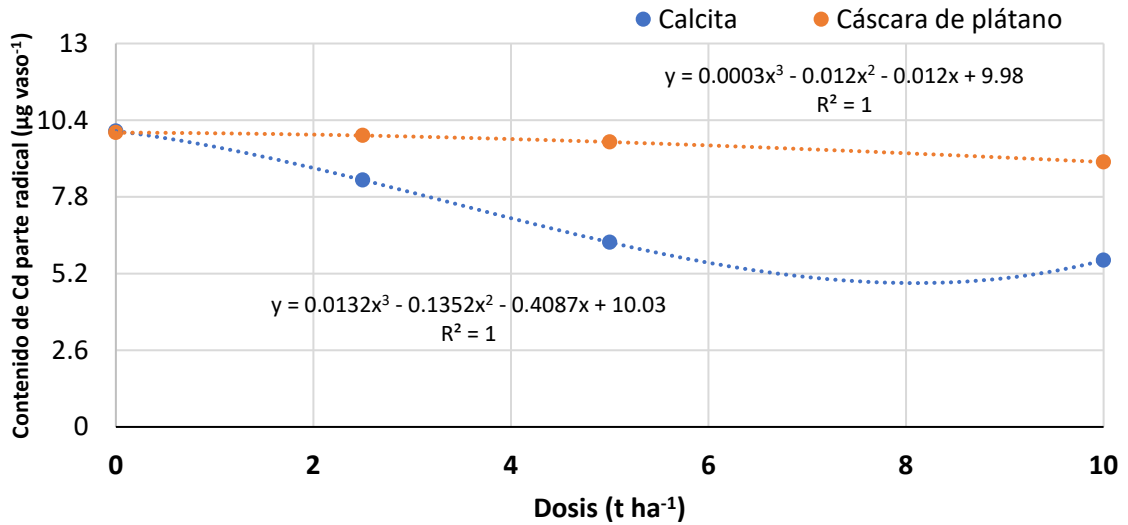
ANEXO 8.

VARIACIÓN DE CONTENIDO DE Cd PARTE AÉREA (µg vaso⁻¹) POR LAS APLICACIONES VARIABLE DE DOSIS DE ENMIENDAS ORGÁNICA Y MINERAL.



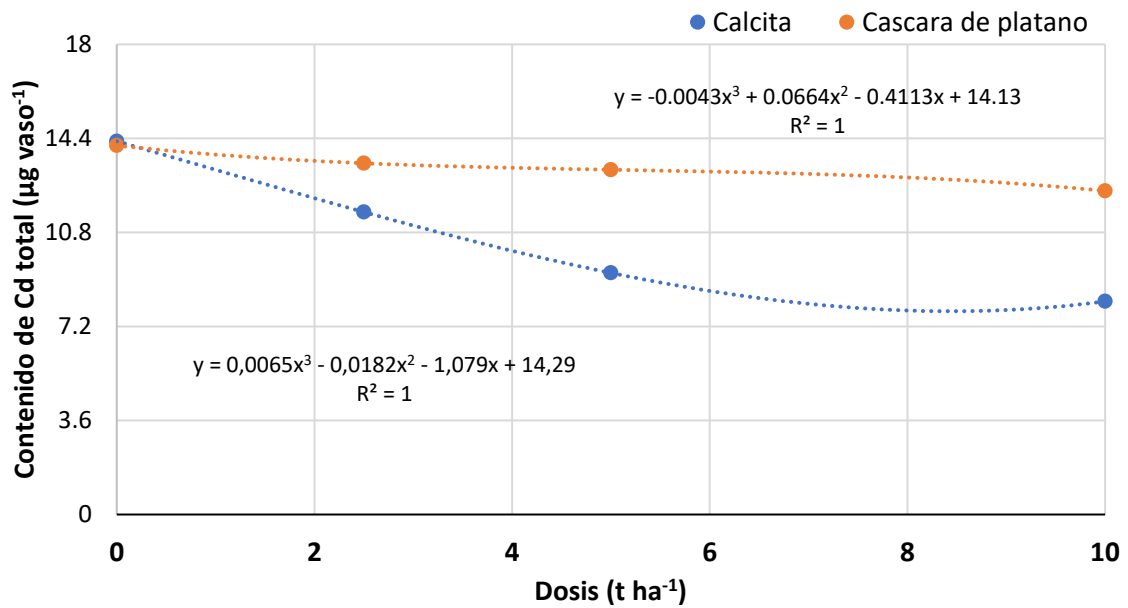
ANEXO 9.

VARIACIÓN DE CONTENIDO DE Cd PARTE RADICAL ($\mu\text{g vaso}^{-1}$) POR LAS APLICACIONES VARIABLE DE DOSIS DE ENMIENDAS ORGÁNICA Y MINERAL.



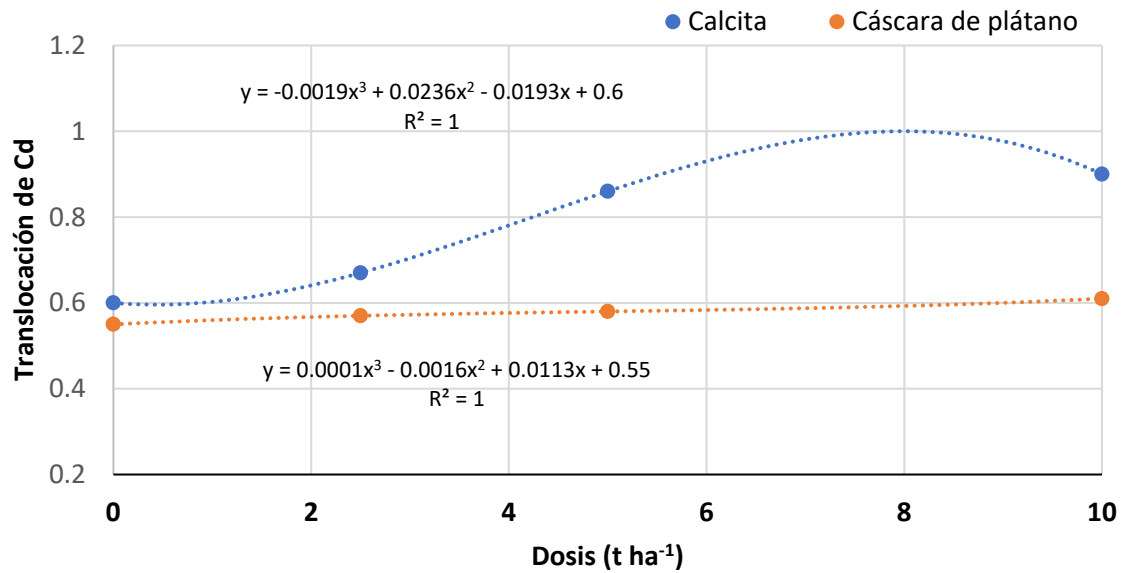
ANEXO 10.

VARIACIÓN DE CONTENIDO DE Cd TOTAL ($\mu\text{g vaso}^{-1}$) POR LAS APLICACIONES VARIABLE DE DOSIS DE ENMIENDAS ORGÁNICA Y MINERAL.



ANEXO 11.

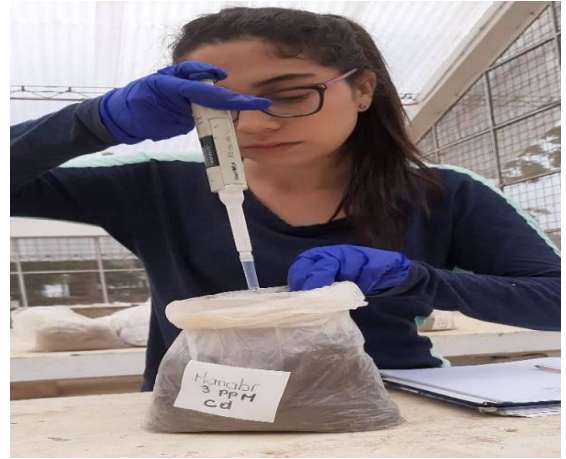
VARIACIÓN EN EL ÍNDICE DE TRANSLOCACIÓN DE Cd EN PLANTAS DE ARROZ CULTIVADAS EN SUELOS CONTAMINADOS CON Cd.



ANEXO 12 FOTOGRAFÍAS.



Incubación del suelo



Contaminación de suelos con 3 mg kg^{-1} de Cd.



Se mantuvo a capacidad de campo diariamente.



Secado de suelo contaminado.



Molida de suelo contaminado.



Enmiendas utilizadas.



Aplicación de las enmiendas en los suelos.



Homogenización suelo-enmienda por 15 días.



Semillas de arroz pregerminadas.



Trasplante de semillas de arroz en los 100 g de suelo contaminado con Cd.



Manejo de plantas de arroz.



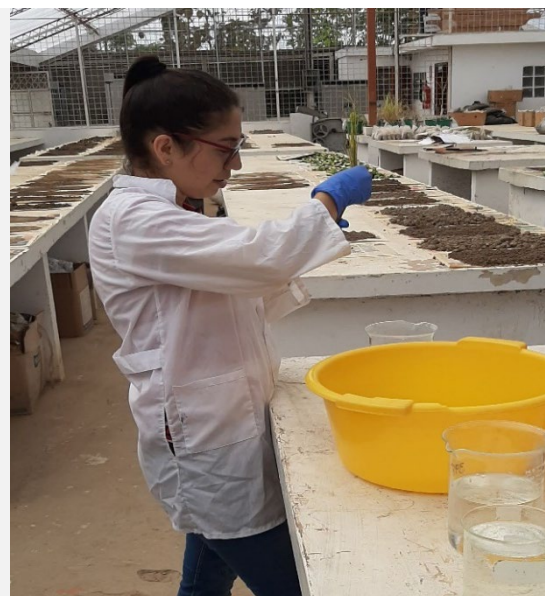
Aplicación de fertilizante.



Plantas de arroz a los 30 días después del trasplante.



Cosecha de plantas de arroz.



Lavado de raíces y parte foliar.



Raíces antes y después del lavado.



Separación de parte radical y aérea.



Secado en la estufa.



Molido de muestras.



Medición de pH de suelos.



Digestión de muestras.



Filtración de muestras.



Preparación de muestras para lectura en el horno de grafito.

Link análisis urkund:

<https://secure.orkund.com/old/view/74337035-532102-701065#DYsxDsMwDAP/4pkoRMmW4nylyFAYbeGhWTwW+Xs0HEDwyH/5rbI/KQpKgCSY0WrSwepJ1s1AT+XpQqBQgwaMMEWorcEc+YgDZc3vOT9zvM7xLrs8xEU2F9VqtXff4roB>