



**UNIVERSIDAD TECNOLÓGICA EQUINOCCIAL**

**Sede Santo Domingo**

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

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

Informe del trabajo experimental para la obtención del título de:

**INGENIERA AMBIENTAL Y MANEJO DE RIESGOS NATURALES**

**VARIACIÓN DE LA DISPONIBILIDAD DE CADMIO EN SUELOS CON  
DISTINTO VALOR DE pH**

**Autora**

**KARLA ESTEFANÍA ALBÁN SOLARTE**

**Director**

**ING. MANUEL DANILO CARRILLO ZENTENO, *PhD***

Santo Domingo de los Tsáchilas – Ecuador

Diciembre-2017

VARIACIÓN DE LA DISPONIBILIDAD DE CADMIO EN SUELOS CON  
DISTINTO VALOR DE pH

Dr. Manuel Carrillo Zenteno , *PhD*

**DIRECTOR**

---

**APROBADO**

Lcdo. Marco Jácome Rivera, *M.Sc.*

**PRESIDENTE TRIBUNAL**

---

Ing. Wilson Rivas Pacheco, *M.Sc.*

**MIEMBRO DEL TRIBUNAL**

---

Ing. Paúl González Dávila, *M.C.*

**MIEMBRO DEL TRIBUNAL**

---

Santo Domingo..... de ..... de 2017.

Autor: **KARLA ESTEFANÍA ALBÁN SOLARTE**

Institución: **UNIVERSIDAD TECNOLÓGICA EQUINOCCIAL**

Título: **VARIACIÓN DE LA DISPONIBILIDAD DE  
CADMIO EN SUELOS CON DISTINTO VALOR DE  
pH.**

Fecha: **DICIEMBRE, 2017**

El contenido del presente trabajo está bajo la responsabilidad del autor y no ha sido plagiado.



Karla Estefanía Albán Solarte

C.I.2300257991

**UNIVERSIDAD TECNOLÓGICA EQUINOCCIAL**

**Sede Santo Domingo**

**INFORME DEL DIRECTOR**

Santo Domingo, 24 de noviembre de 2017

Señor Licenciado

Marco Jácome Rivera, M.Sc.

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

Presente.

Señor(a) Coordinador(a).-

Mediante la presente tengo a bien informar que el trabajo investigativo realizado por la estudiante *KARLA ESTEFANÍA ALBÁN SOLARTE*, cuyo título es *VARIACIÓN DE LA DISPONIBILIDAD DE CADMIO EN SUELOS CON DISTINTO VALOR DE pH.*; ha sido elaborado bajo mi supervisión y revisado en todas sus partes, *el mismo que no ha sido plagiado*, por lo cual autorizo su respectiva presentación.

Particular que informo para fines pertinentes.

Cordialmente,



Ing. Manuel Carrillo Zenteno, PhD  
**DIRECTOR DEL TRABAJO  
DE TITULACIÓN**

# *Dedicatoria*

A mis padres, Néstor Salomón Albán Molina y Blanca Gloria Solarte Caicedo, por su amor, consejos, sacrificios y paciencia a lo largo de mi carrera, por su apoyo incondicional y enseñarme que cada esfuerzo y sacrificio tiene su recompensa. Dios me ha bendecido siendo su hija, los amo.

# *Agradecimiento*

A Dios, quien es amor y bondad; siempre con tu ayuda puedo sentirme feliz de mis logros, y cuando tropiezo con tus pruebas comprendo que son para mejorar como ser humano y crecer de diversas maneras.

A mis padres, Néstor y Gloria, por ser tan fundamentales en este largo camino, dándome consejos, amor y motivación constante en cada etapa de mi tesis; a mis familiares más cercanos, mis tíos, primos, por estar siempre pendientes de mí, en todo lo que hacía.

A mi tutor de tesis Manuel Carrillo, PhD; por su dedicación, esfuerzo y confianza; por compartir conmigo sus conocimientos que fueron esenciales en mi trabajo de tesis.

A la Estación Experimental Tropical Pichilingue, en especial al Departamento de Suelos y Aguas; y a la Universidad Tecnológica Equinoccial, Sede Santo Domingo por el apoyo y facilidades brindadas para desarrollar mi tesis.

A las personas que me ayudaron a realizar este trabajo; Jorge por haberme apoyado en las buenas y en las malas, y por tu amor incondicional; Jessy, por tu conocimiento, apoyo y tiempo que supiste compartir conmigo, muchas gracias! Indy y Viky por motivarme a seguir adelante en los momentos difíciles y formar una muy buena amistad.

Finalmente a todas las personas que me apoyaron de una u otra manera, dándome conocimientos, consejos y ánimos para que culmine mí trabajo, gracias por su confianza.

**FORMULARIO DE REGISTRO BIBLIOGRÁFICO****PROYECTO DE TITULACIÓN**

ATOS DE CONTACTO	
CÉDULA DE IDENTIDAD:	2300257991
APELLIDO Y NOMBRES:	Albán Solarte Karla Estefanía
DIRECCIÓN:	Urb. El Centenario, Mz:2, Cs:9
EMAIL:	<a href="mailto:keas3006@gmail.com">keas3006@gmail.com</a>
TELÉFONO FIJO:	(02) 2758895
TELÉFONO MOVIL:	0988098489

DATOS DE LA OBRA	
TÍTULO:	Variación de la disponibilidad de cadmio en suelos con distinto valor de pH
AUTOR:	Karla Estefanía Albán Solarte
FECHA DE ENTREGA DEL TRABAJO DE TITULACIÓN:	Diciembre, 2017
DIRECTOR DEL TRABAJO DE TITULACIÓN:	Ing. Manuel Danilo Carrillo Zenteno, <i>PhD</i>
PROGRAMA	PREGRADO <input checked="" type="checkbox"/> POSGRADO <input type="checkbox"/>
TÍTULO POR EL QUE OPTA:	Ingeniera Ambiental y Manejo de Riesgos Naturales
RESUMEN:	El cadmio es un metal pesado tóxico para los seres bióticos, persistente en el suelo y su biodisponibilidad cambia dependiendo de la forma que se encuentra en el suelo. Conociendo que los suelos cacaoteros del Ecuador, presentan alta disponibilidad de Cd para las plantas y que a futuro podría generar problemas en la comercialización de

	<p>los productos, se desarrolló esta investigación a nivel de invernadero y laboratorio, en el Departamento de Manejo de Suelos y Aguas de la EETP del INIAP, con el objetivo de conocer el efecto de la aplicación de <math>\text{CaCO}_3</math>, en dosis variables sobre la biodisponibilidad de Cd en cuatro suelos de las provincias de Manabí, El Oro, Guayas y Esmeraldas. Se evaluaron dosis de 0, 1, 2, 3, 4, 5, 10 <math>\text{t ha}^{-1}</math> de <math>\text{CaCO}_3</math> en suelos contaminados con <math>3 \text{ mg kg}^{-1}</math> de Cd y un tratamiento testigo (sin contaminar), determinando la concentración y biodisponibilidad de Cd. Se utilizó un Diseño de Bloques Completos al Azar con análisis grupal y tres repeticiones. Las medias fueron comparadas con la Prueba de Tukey<sub>0,05</sub>, en el Programa INFOSTAT. Los efectos de la aplicación del <math>\text{CaCO}_3</math>, fueron estadísticamente significativos para Esmeraldas, Manabí y El Oro, con dosis de <math>2 \text{ t ha}^{-1}</math>, donde se logró reducciones en la disponibilidad de Cd en el orden de 15,8%; 20,68% y 6,58%, mientras que en Guayas, se observó diferencias estadísticas con la aplicación de <math>10 \text{ t ha}^{-1}</math>, con 5,41% de disminución.</p>
<b>PALABRAS CLAVES:</b>	Suelos, cadmio, carbonato de calcio, pH, materia seca, biodisponibilidad.
<b>ABSTRACT:</b>	Cadmium is a toxic heavy metal for biotic beings, persistent in the soil and its bioavailability changes depending on how it is found in the soil. Knowing that Ecuadorian cocoa soils have high availability of Cd for plants and that in the future could cause problems in the commercialization of products, this research was developed at the greenhouse and



	<p>laboratory level in the Soil in the Water Management Department of the EETP of the INIAP, with the objective of knowing the effect of the application of <math>\text{CaCO}_3</math>, in variable doses on the bioavailability of Cd in four soils of the provinces of Manabí, El Oro, Guayas and Esmeraldas. Dose of 0, 1, 2, 3, 4, 5, 10 <math>\text{t ha}^{-1}</math> of <math>\text{CaCO}_3</math> was evaluated in contaminated soils with <math>3 \text{ mg kg}^{-1}</math> of Cd and a control treatment (without contamination), determining the concentration and bioavailability of Cd. A Random Complete Block Design was used with group analysis and three repetitions. The means were compared with the Tukey Test<sub>0,05</sub>, in the INFOSTAT Program. The effects of <math>\text{CaCO}_3</math> application were statistically significant for Esmeraldas, Manabí and El Oro, with doses of 2 <math>\text{t ha}^{-1}</math>, where reductions in Cd availability were achieved in the order of 15.8%; 20.68% and 6.58%, while in Guayas, statistical differences were observed with the application of 10 <math>\text{t ha}^{-1}</math>, with 5.41% decrease.</p>
<b>KEYWORDS:</b>	Soils, cadmium, calcium carbonate, pH, dry matter, bioavailability

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



KARLA ESTEFANÍA ALBÁN SOLARTE

C.I. 2300257991

## DECLARACIÓN Y AUTORIZACIÓN

Yo, **ALBÁN SOLARTE KARLA ESTEFANÍA**, CI 2300257991, autora del trabajo experimental titulado: **Variación de la disponibilidad de cadmio en suelos con distinto valor de pH** previo a la obtención del título de **INGENIERA AMBIENTAL Y MANEJO DE RIESGOS NATURALES** en la Universidad Tecnológica Equinoccial.

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 experimental 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 Tecnológica Equinoccial a tener una copia de la referida propuesta tecnológica con el propósito de generar un Repositorio que democratice la información, respetando las políticas de propiedad intelectual vigentes.

Santo Domingo, 07 de diciembre de 2017



ALBÁN SOLARTE KARLA ESTEFANÍA

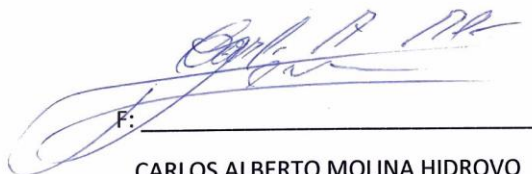
C.I. 2300257991

## CARTA DE AUTORIZACIÓN

Noviembre 8 del 2016

### CARTA DE AUTORIZACIÓN

Yo, **Carlos Alberto Molina Hidrovo** con cédula de identidad N° 1307209526 en calidad de Director (E) de la Estación Experimental Tropical Pichilingue (EETP) del INIAP, autorizo a la Srta. Karla Estefanía Albán Solarte, realizar la investigación para la elaboración de su proyecto de titulación "Variación de la disponibilidad de Cadmio en suelos con distinto valor de pH", en los campos, laboratorios e invernadero de la EETP.

  
F: \_\_\_\_\_

CARLOS ALBERTO MOLINA HIDROVO

CI: 1307209526



## ÍNDICE DE CONTENIDO

<b>Contenido</b>	<b>Pág.</b>
Portada.....	I
Sustentación y aprobación de los integrantes del tribunal.....	II
Responsabilidad del autor.....	III
Aprobación del director.....	IV
Dedicatoria.....	V
Agradecimiento.....	VI
Formulario de biblioteca.....	VII
Declaración y autorización.....	X
Carta de Autorización.....	XI
Índice de contenido.....	XII
Índice de tablas.....	XIII
Índice de figuras.....	XIV
I. INTRODUCCIÓN.....	1
II. MATERIALES Y MÉTODOS.....	4
2.1 Sitio de estudio.....	4
2.2 Diseño del muestreo.....	7
2.3 Medición de variables.....	10
2.4 Análisis estadístico.....	12
III. RESULTADOS Y DISCUSIÓN.....	13
IV. CONCLUSIONES.....	22
REFERENCIAS.....	23
ANEXOS.....	27

## ÍNDICE DE TABLAS

1	Análisis físico-químico y coordenadas de ubicación de los cuatro suelos de estudio.....	5
2	Tratamientos evaluados en variación de la disponibilidad de Cd en suelos con distinto valor de pH.....	8
3	Variación de la concentración de Cd en suelos de cuatro provincias del Ecuador, sometidos a dosis crecientes de CaCO <sub>3</sub> .....	14
4	Variación del pH inicial en suelos de cuatro provincias del Ecuador, sometidos a dosis crecientes de CaCO <sub>3</sub> .....	15
5	Variación en el pH final (luego de cosecha de arroz) en suelos de cuatro provincias del Ecuador, sometidos a dosis crecientes de CaCO <sub>3</sub> ..	16
6	Variación en la producción de materia seca de plantas de arroz sembradas en suelos contaminados con Cd de cuatro provincias del Ecuador y sometidas a dosis crecientes de CaCO <sub>3</sub> .....	17
7	Variación en la concentración de Cd en el tejido de arroz cultivado en suelos de cuatro provincias de Ecuador y sometidos a dosis crecientes de CaCO <sub>3</sub> .....	18
8	Variación del contenido de Cd ( $\mu\text{g vaso}^{-1}$ ) en suelos de cuatro provincias del Ecuador, sometidos a dosis crecientes de CaCO <sub>3</sub> .....	19
9	Correlación de Pearson entre variables en suelos de cuatro provincias del Ecuador, sometidos a dosis crecientes de CaCO <sub>3</sub> .....	20
10	Correlación de Pearson entre variables en suelos de Esmeraldas y Manabí, provincias del Ecuador, sometidos a dosis crecientes de CaCO <sub>3</sub> .....	21
11	Correlación de Pearson entre variables en suelos de Guayas y El Oro, provincias del Ecuador, sometidos a dosis crecientes de CaCO <sub>3</sub> .....	21

## ÍNDICE DE FIGURAS

1	Mapa del Ecuador, representando las cuatro provincias donde se colectaron los suelos utilizados en el estudio.....	4
---	--	---

## I. INTRODUCCIÓN

En el medio ambiente, el cadmio (Cd) es un metal pesado, tóxico para los seres bióticos, siendo persistente y no se descompone en sustancias menos tóxicas, su nivel de biodisponibilidad y el potencial de efectos cambian dependiendo de la forma que se encuentra en el suelo (Programa de las Naciones Unidas para el Medio Ambiente [PNUMA], 2010).

Este metal pesado se almacena fácilmente en el suelo por lo que puede ser tóxico para la salud humana (Jalali y Khanlari, 2008), ingresa al organismo principalmente por vía oral y en menor proporción por inhalación. El ingreso por vía oral ocurre generalmente a través de la ingesta de alimentos contaminados por este metal y en la actualidad ha tomado importancia por los trastornos a la salud humana, provocando enfermedades como la conocida Itai-Itai (Rizwan et al., 2017).

Durante los últimos años se ha reportado un aumento continuo en los valores de Cd en ciertos suelos agrícolas como resultado de una prolongada fertilización fosfatada (Herrera, 2011) y de fuentes antropogénicas de este metal que están relacionadas con las actividades mineras, industriales y aplicación de materiales de enmienda para mejorar las propiedades fisicoquímicas del suelo (Sánchez et al., 2011).

El Cd se encuentra en séptimo lugar entre los metales más tóxicos y considerando los materiales de origen del suelo, en lugares no contaminados, los niveles de concentración pueden ser inferiores a  $0,5 \text{ mg kg}^{-1}$ , pudiendo llegar hasta  $3,0 \text{ mg kg}^{-1}$  (Nazar et al., 2012).

En investigación realizada en el 2010 por el Instituto Nacional Autónomo de Investigaciones Agropecuarias (INIAP), con el financiamiento de varias instituciones, se publicaron los primeros mapas de disponibilidad de Cd, en suelos y granos de cacao del Ecuador, los que sirven de referencia para estudios dedicados a la descontaminación, prevención y remediación de suelos mediante el uso de enmiendas (Mite et al., 2010).

El Ecuador es productor de cacao y ocupa el quinto lugar en importancia dentro de sus exportaciones agrícolas luego del banano, acuicultura, pesca y flores (PRO

ECUADOR, 2017), generando empleo directo e indirecto a aproximadamente 100 mil familias (Ministerio de Agricultura y Ganadería [MAGAP], s/f). Actualmente la exportación de cacao se ve afectada principalmente por indicios de contaminación por metales pesados como el Cd, el cual se encuentra en la mayoría de suelos, debido a la meteorización de las rocas y a la actividad humana; además, son de interés ambiental por su facilidad de absorción por las plantas, movilidad y lixiviación en el suelo (Sánchez et al., 2011).

Este metal pesado habitualmente es absorbido por las plantas y en el caso del cacao, puede almacenarse en las almendras provocando afectación en la salud de los consumidores de los subproductos (Agencia Iberoamericana para la Difusión de la Ciencia y la Tecnología [DICYT], 2014).

La concentración total de metales en el suelo, frecuentemente es usada en los estándares de calidad ambiental; sin embargo, su utilidad para pronosticar la disponibilidad para la planta es cuestionada, debido a que la biodisponibilidad del Cd en el suelo generalmente depende de la textura y otras propiedades físico-químicas (Jalali y Khanlari, 2008).

La biodisponibilidad, depende de la movilidad y solubilidad de los metales en la solución del suelo; responden a factores físicos, químicos y biológicos que modifican su solubilidad y el estado del metal, siendo estos el pH del suelo, potencial redox, temperatura, contenido en arcillas, materia orgánica y agua (Rodríguez et al., 2008). El incremento del pH del suelo es la técnica de inmovilización más utilizado, por elevar el contenido de iones calcio en el suelo, ocasionando un efecto antagónico sobre la absorción de Cd (Herrera, 2011).

La toxicidad del Cd, en el suelo es mayor en suelos con pH's bajos o pobres en materia orgánica (PNUMA, 2010); sin embargo, en lugares contaminados podría utilizarse estrategias de remediación, como la siembra de plantas acumuladoras de este metal (International Plan Nutrition Institute [IPNI], 2015).

Los cultivos en suelos contaminados con metales pesados como el Cd, absorben estos metales y los acumulan en sus partes comestibles afectando la calidad de los productos (Rahman et al., 2012); de esta manera las investigaciones dirigidas a



disminuir la biodisponibilidad del Cd en los suelos, incrementará las posibilidades de que los productos consigan otros mercados, con consecuente mayor ingreso de divisas para el país y por ende, mejoras de las condiciones de vida de los productores.

Conocedores de que los suelos cacaoteros del Ecuador, presentan alta disponibilidad de este metal para las plantas, lo cual en el futuro podría generar problemas en la comercialización de los productos agrícolas, se desarrolló esta investigación y sus resultados servirán como fuente de conocimiento y base para toma de decisiones por los productores agrícolas, para lo que fueron planteados como objetivos:

**Objetivo general:**

Conocer el efecto de la aplicación de  $\text{CaCO}_3$ , en dosis variables, sobre la biodisponibilidad del cadmio en cuatro suelos diferentes.

**Objetivos específicos:**

- Determinar la dosis de  $\text{CaCO}_3$ , adecuada para disminuir la disponibilidad de Cd en cuatro suelos diferentes.
- Conocer los cambios en el pH de cuatro suelos diferentes, por aplicación de dosis variables de  $\text{CaCO}_3$ .
- Disminuir el contenido de Cd asimilado por las plantas de arroz, con el uso de  $\text{CaCO}_3$ .

## II. MATERIALES Y MÉTODOS

### 2.1. Sitio del estudio

Esta investigación se realizó desde febrero hasta octubre del año 2017 en el invernadero y laboratorio del Departamento de Manejo de Suelos y Aguas (DMSA) de la Estación Experimental Tropical Pichilingue (EETP) del Instituto Nacional de Investigaciones Agropecuarias (INIAP), ubicada en el km 5 vía Quevedo - El Empalme, cantón Mocache, provincia Los Ríos. La EETP, se encuentra localizada en las coordenadas 79° 27' longitud Oeste y 1° 06' Latitud Sur, con altitud de 75 msnm. Presenta temperatura media anual de 26,7°C, humedad relativa de 85,84%, heliofanía de 898,66 horas luz año<sup>-1</sup> y precipitación anual acumulada de 2223,85 mm (Instituto Nacional de Meteorología e Hidrología [INAMHI], 2016). De acuerdo a la zona de vida de Holdridge, corresponde a un bosque semi húmedo tropical (Cañadas et al., 2013). En la figura 1, se observa la ubicación de las provincias donde se colectaron los suelos utilizados en el presente estudio y en tabla 1 los resultados del análisis físico-químico y coordenadas de los cuatro suelos del estudio.

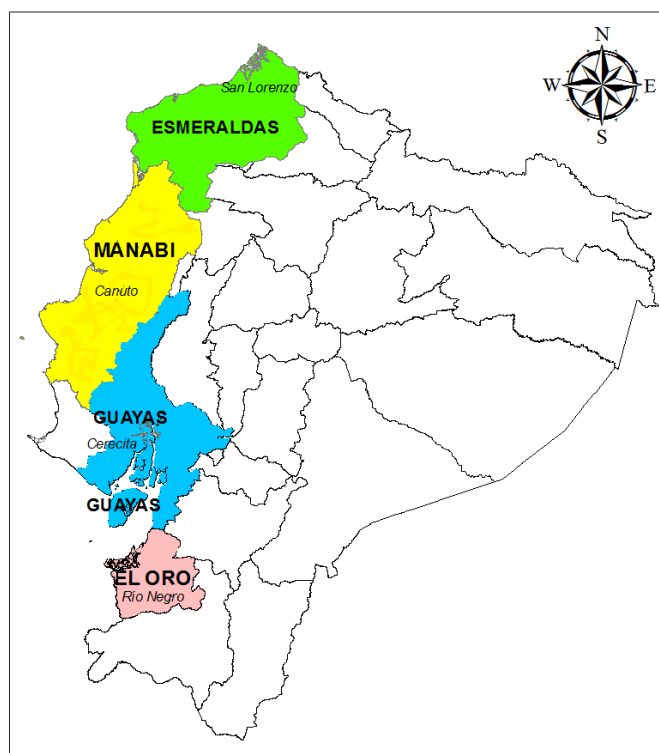


Figura 1. Mapa del Ecuador, representando las cuatro provincias donde se colectaron los suelos utilizados en el estudio.

Tabla 1. Análisis físico-químico y coordenadas de ubicación de los cuatro suelos de estudio

Provincia	Horizonte	Clase Textural	Coordenadas	Profundidad	pH	CE	MO	Arena	Arcilla	Limo	N	P	K	Ca	Mg	S	Zn	Cu	Fe	Mn	B
				cm		$\text{dS m}^{-1}$	$\text{dag kg}^{-1}$	$\text{dag kg}^{-1}$			$\text{mg kg}^{-1}$		$\text{meq/100ml}$			$\text{mg kg}^{-1}$					
Esmeraldas	Ap	Arcilloso	N 01° 13' 17.7" O 078°45'55.5"	0-9	4,7	0,28	3,4	29	45	26	15	2	0,51	7	2	13	4,3	2,6	153	10,3	0,32
	A2	Franco-Arcilloso		9-28	4,2	0,13	1,6	47	35	18	17	2	0,39	4	1	10	3,2	2,9	127	3,3	0,34
	B1	Arcilloso		28-64	4,0	0,15	0,8	19	71	10	14	2	0,13	4	1	10	4,9	4,2	89	2,1	0,58
	B2	Arcilloso		>64	4,0	0,15	0,6	31	59	10	16	2	0,10	3	1	14	5,4	5,1	76	2,8	0,61
Manabí	Ap	Franco-Arcillo-Limoso	S 00° 47' 58.8" O 080° 08' 08.0"	0-12	6,8	0,00	2,1	15	39	46	27	89	2,00	19	6	14	1,2	4,6	22	2,4	0,29
	B	Franco-Arcillo-Limoso		12-32	6,5	0,69	1,0	13	35	52	31	49	1,03	19	7	18	0,9	6,7	13	2,7	0,30
	A1	Arcilloso		32-42	6,3	0,39	0,6	15	47	38	20	18	0,43	19	7	15	0,8	6,0	7	4,1	0,46
	A2	Arcilloso		>42	6,6	1,07	0,6	15	49	36	17	16	0,34	18	7	24	0,8	8,0	6	2,6	0,36
Guayas	Ap	Franco-Limoso	S 2° 22' 21" O 80° 14' 23"	0-12	7,9	0,76	1,0	15	27	58	7	48	1,54	20	3	5	1,5	4,3	47	3,8	0,64
	A2	Franco-Arcillo-Limoso		12-32	8,1	0,29	1,0	9	29	62	10	18	0,52	21	4	6	1,3	3,8	65	3,9	0,44
	B1	Arcilloso		32-42	7,4	0,57	1,6	11	65	24	9	48	0,60	21	5	4	2,4	6,1	110	3,9	0,32
	B2	Arcilloso		>42	7,5	0,71	1,1	13	79	8	10	46	0,66	21	5	15	2,5	7,1	72	4,1	0,26
El Oro	Ap	Franco-Arcilloso	S 3° 23' 29.256" O 079° 50' 33.136"	0-7	6,2	0,31	2,3	31	29	40	22	23	0,49	19	3	6	8,2	13,4	220	13,5	0,40
	A1	Franco-Arcilloso		7-24	6,3	0,25	2,1	31	31	38	7	13	0,30	18	3	9	3,4	10,6	167	5,3	0,26
	B	Franco-Arcilloso		24-40	6,7	0,20	1,1	25	39	36	7	7	0,19	17	3	11	1,2	4,3	74	4,0	0,58
	B1	Arcilloso		40-56	7,0	0,26	1,1	25	45	30	13	5	0,16	17	4	27	1,2	3,8	67	3,8	0,87
	B2	Arcilloso		>56	7,1	0,34	1,0	25	43	32	9	5	0,14	16	5	10	0,9	2,9	60	3,8	0,34

El suelo de la provincia de Esmeraldas está clasificado como Cambisol dístico, presentando saturación de bases menor del 50% entre las profundidades de 20 y 100 cm; mientras que los suelos de las provincias de Manabí y Guayas están clasificados como Cambisol éutrico, con saturación de bases del 50% o más entre las profundidades de 20 y 100 cm; además, estos suelos desarrollan cambios en profundidad que se pueden evidenciar por el contenido de arcilla, carbonatos y el color. El suelo de la provincia de El Oro está clasificado como Fluvisol éutrico, con saturación de bases del 50% o más entre las profundidades de 20 y 100 cm; estos son suelos desarrollados en depósitos aluviales, lo que provoca que regularmente se inunden de forma natural, encontrando en la capa superficial gran cantidad de humus (Gardi et al., 2014).

Según Vallejo (1997), el suelo de la provincia de Esmeraldas corresponde a la Unidad de suelo Cahik, siendo aquellos que tienen >35% de arcilla denominada 1:1 tipo caoliníticos, presentan toxicidad de aluminio y pH muy ácido, haciendo que su fertilidad natural sea baja, presentan coloración roja por la influencia del hierro, deficiencia de potasio debido a las precipitaciones, afectando el crecimiento de las plantas y su producción; son de fácil laboreo debido a que tienen una buena aireación, permeabilidad, infiltración de agua y retención de humedad. El suelo de la provincia Manabí, corresponde a la Unidad de suelo C (Arcilloso), donde predominan las arcillas tipo 2:1, denominadas Montmorillonitas que se los identifica a través de la región costera, su materia orgánica es baja, presentan problemas de aireación, teniendo problemas de laboreo, por ser muy firmes cuando secos y en húmedo son muy duros (Vallejo, 1997).

El suelo de la provincia del Guayas corresponde a la Unidad de suelo C'dvd, siendo suelos arcillosos que se encuentran en zona secas o muy secas de la región costera, son de difícil laboreo debido a que presentan defectos de aireación por ser muy pesados cuando están húmedos y muy firmes cuando están secos, muestran acumulación de carbonatos debido a que se encuentran en zonas áridas. Por el bajo contenido de materia orgánica su estructura no se desarrolla, siendo plásticos cuando húmedos por la presencia de arcillas montmorilloníticas y cuando mojados tienen la particularidad de que se hinchan y la infiltración de agua es lenta (Vallejo, 1997).

Según Vallejo (1997), el suelo de la provincia de El Oro corresponde a la Unidad de suelo Lcik, siendo suelos de textura franca, con adecuado contenido arena, limo y arcilla, presentan facilidad de laboreo debido a que tienen propiedades físicas favorables como buena retención de agua y permeabilidad. El encalado en estos suelos no es una buena enmienda debido a que poseen una alta capacidad de fijación de fósforo y el incremento del pH lo reduce muy poco. Presentan deficiencia de potasio por lavado, debido a las elevadas precipitaciones, lo que perjudica el crecimiento y producción de la planta.

## **2.2. Diseño de muestreo**

La investigación se ejecutó en cuatro suelos procedentes de fincas cacaoteras de las provincias de El Oro, Guayas, Manabí y Esmeraldas, que luego de ser colectados y trasladados al invernadero de la EETP, fueron secados al ambiente, molidos y tamizados sobre malla de 0,002 m. Tratamientos evaluados en variación de la disponibilidad de Cd en suelos con distinto valor de pH (Tabla 2).

Tabla 2. Tratamientos evaluados en variación de la disponibilidad de Cd en suelos con distinto valor de pH

Nº	Suelo	Cd	CaCO <sub>3</sub>	Nº	Suelo	Cd	CaCO <sub>3</sub>
1	Esmeraldas	0 mg kg <sup>-1</sup>	0 t ha <sup>-1</sup>	17	Guayas	0 mg kg <sup>-1</sup>	0 t ha <sup>-1</sup>
2	Esmeraldas	3 mg kg <sup>-1</sup>	0 t ha <sup>-1</sup>	18	Guayas	3 mg kg <sup>-1</sup>	0 t ha <sup>-1</sup>
3	Esmeraldas	3 mg kg <sup>-1</sup>	1 t ha <sup>-1</sup>	19	Guayas	3 mg kg <sup>-1</sup>	1 t ha <sup>-1</sup>
4	Esmeraldas	3 mg kg <sup>-1</sup>	2 t ha <sup>-1</sup>	20	Guayas	3 mg kg <sup>-1</sup>	2 t ha <sup>-1</sup>
5	Esmeraldas	3 mg kg <sup>-1</sup>	3 t ha <sup>-1</sup>	21	Guayas	3 mg kg <sup>-1</sup>	3 t ha <sup>-1</sup>
6	Esmeraldas	3 mg kg <sup>-1</sup>	4 t ha <sup>-1</sup>	22	Guayas	3 mg kg <sup>-1</sup>	4 t ha <sup>-1</sup>
7	Esmeraldas	3 mg kg <sup>-1</sup>	5 t ha <sup>-1</sup>	23	Guayas	3 mg kg <sup>-1</sup>	5 t ha <sup>-1</sup>
8	Esmeraldas	3 mg kg <sup>-1</sup>	10 t ha <sup>-1</sup>	24	Guayas	3 mg kg <sup>-1</sup>	10 t ha <sup>-1</sup>
9	Manabí	3 mg kg <sup>-1</sup>	0 t ha <sup>-1</sup>	25	El Oro	3 mg kg <sup>-1</sup>	0 t ha <sup>-1</sup>
10	Manabí	3 mg kg <sup>-1</sup>	0 t ha <sup>-1</sup>	26	El Oro	3 mg kg <sup>-1</sup>	0 t ha <sup>-1</sup>
11	Manabí	3 mg kg <sup>-1</sup>	1 t ha <sup>-1</sup>	27	El Oro	3 mg kg <sup>-1</sup>	1 t ha <sup>-1</sup>
12	Manabí	3 mg kg <sup>-1</sup>	2 t ha <sup>-1</sup>	28	El Oro	3 mg kg <sup>-1</sup>	2 t ha <sup>-1</sup>
13	Manabí	3 mg kg <sup>-1</sup>	3 t ha <sup>-1</sup>	29	El Oro	3 mg kg <sup>-1</sup>	3 t ha <sup>-1</sup>
14	Manabí	3 mg kg <sup>-1</sup>	4 t ha <sup>-1</sup>	30	El Oro	3 mg kg <sup>-1</sup>	4 t ha <sup>-1</sup>
15	Manabí	3 mg kg <sup>-1</sup>	5 t ha <sup>-1</sup>	31	El Oro	3 mg kg <sup>-1</sup>	5 t ha <sup>-1</sup>
16	Manabí	3 mg kg <sup>-1</sup>	10 t ha <sup>-1</sup>	32	El Oro	3 mg kg <sup>-1</sup>	10 t ha <sup>-1</sup>

### **Incubación para contaminación del suelo.**

En fundas plásticas con dimensión de 0,20x0,38 m, se colocaron 500,0 g de cada suelo, para seguidamente contaminar con una solución de 3 mg kg<sup>-1</sup> de Cd, utilizando Cd(NO<sub>3</sub>)<sub>2</sub>, según el tratamiento se mantuvo con humedad cercana a capacidad de campo por un mes, reponiendo diariamente la humedad perdida, por diferencia de masa de agua evaporada. Terminada la incubación, los suelos fueron secados en el invernadero a temperatura ambiente, molidos, tamizados y colocados nuevamente en su respectiva funda plástica identificada según el tratamiento (sin y con Cd).

### **Incubación para corrección del pH**

En cada funda resultante de la fase anterior, de acuerdo a los tratamientos indicados en la tabla 1, se realizó la corrección del pH de los suelos, indiferente del pH inicial, aplicando dosis crecientes de CaCO<sub>3</sub> equivalentes a 0, 1, 2, 3, 4, 5, 10 t ha<sup>-1</sup>, considerando la densidad del suelo y una profundidad de 0,20 m.

### **Biodisponibilidad de Cd**

Los suelos resultantes de la incubación con  $\text{CaCO}_3$ , fueron secados y molidos y de cada funda se pesaron 100 g de suelo en plásticos pequeños con capacidad para  $100 \text{ cm}^3$ . En cada vaso fueron sembradas 50 semillas de arroz pre germinadas de la variedad INIAP-12. Estas sirven como plantas indicadoras al utilizar el método de Neubauer empleado por Carrillo (2003).

Las plantas crecieron en invernadero y los primeros cinco días, mantenidos con humedad en capacidad de campo y luego hasta los 30 días después de la siembra con una lámina de agua de 0,02 m, sobre la superficie del suelo, usando agua desionizada (agua Aquamax, Ultra 370 Series).

Para asegurar el contenido de materia seca, se fertilizó a los quince días después de la siembra con fosfato monobásico ( $\text{KH}_2\text{PO}_4$ ) ( $100 \text{ mg kg}^{-1}$  de  $\text{P}_2\text{O}_5$  y  $125,8 \text{ mg kg}^{-1}$   $\text{K}_2\text{O}$ ) en solución, y a los 20 días se aplicó sulfato de amonio ( $\text{NH}_4$ ) $_2\text{SO}_4$  ( $50 \text{ mg kg}^{-1}$  de N y  $57 \text{ mg kg}^{-1}$  de S).

Para la colecta de plantas, se dejó secar el suelo por cinco días más y fue separado el suelo de las plantas sobre un tamiz donde se recogieron las raíces más pequeñas desprendidas. Para asegurar la eliminación del suelo y tener las raíces limpias, estas fueron lavadas en una secuencia de agua de la llave, agua destilada y agua desionizada, de igual forma con la parte aérea.

Posteriormente raíces y parte aérea, fueron secadas y en su totalidad, molidas en un molino analítico (IKA WORK). Previo a cada molida de las plantas y raíces, el molino se limpió con toallas absorbentes, agua regia diluida (10%), agua deionizada y con papel higiénico para evitar la contaminación. La muestra molida fue colocada, en fundas plásticas identificadas.

En el suelo se determinó el pH y el Cd semitotal y en las plantas la producción de materia seca, concentración de Cd en los tejidos (planta entera), por medio de la mineralización nítrico-perclórica.

### **2.3. Medición de variables**

#### **2.3.1. Cadmio en suelo**

El Cd suele ser retenido en la superficie del suelo y las actividades antropogénicas prácticas agrícolas, transporte, actividades industriales y eliminación de residuos urbanos, han provocado su incremento en los últimos tiempos, generando preocupación ambiental por su movilidad y lixiviación (Sánchez et al., 2011).

Este metal se acumula en la capa superficial del suelo, siendo absorbido por las raíces de las plantas y solo una pequeña parte es transportada a la parte aérea, concentrándose en los tallos, hojas, frutos y semillas, introduciéndose de esta forma en la cadena trófica (Rodríguez et al., 2008).

Para determinar las formas semitotales de Cd en el suelo, se usó el método de extracción con agua regia (HCl:HNO<sub>3</sub> en relación 3:1), según Bacon y Hudson (2001) y usado por Carrillo (2003). Que consistió en colocar 0,5 g de suelo, en un matraz Erlenmeyer de 125 mL, añadir 1 mL de agua desionizada y enseguida 5 mL de agua regia. Se dejaron en reposo por 16 horas y posteriormente se colocaron en una placa calentadora a  $\pm 105$  °C por 2 h. Transcurrido este tiempo, se retiraron y dejaron enfriar. Las muestras digeridas se filtraron en papel filtro rápido y el filtrado se colectó en un matraz aforado de 25 mL. Los residuos del matraz y del papel filtro fueron lavados con HNO<sub>3</sub> 2 mol L<sup>-1</sup>, se dejaron enfriar y llevaron a volumen, con esta misma solución. Luego las muestras fueron colocadas en envases plásticos identificados y refrigeradas a 4 °C hasta el momento del análisis o lectura en espectrofotómetro de absorción atómica marca Perkin Elmer AAnalyst 400, acoplado con horno de grafito HGA 900. Las lecturas se realizaron con una longitud de onda de 228,8 nm.

#### **2.3.2. pH en suelo**

Esta es una de las propiedades químicas más importantes debido a que controla la movilidad de los iones, la precipitación y disolución de minerales, las reacciones redox, el intercambio iónico, la actividad microbiana y la disponibilidad de nutrientes, siendo la aplicación frecuente de fertilizantes la principal causa de disminución el pH del suelo (Sainz et al., 2011).



El pH indica el estado de acidez o alcalinidad e influye sobre la fertilidad de los suelos, siendo responsable del desarrollo de la planta. El método que más se aproxima a las condiciones del suelo es la relación suelo-agua (1:2,5), siendo determinado en solución a través del potenciómetro (Paneque et al., 2010).

Para determinar el pH se pesó 10 g de suelo dentro de un vaso plástico de 100 mL debidamente identificado, se adicionó 25 mL de agua destilada, seguidamente se agitó la muestra con una varilla de vidrio hasta tener una mezcla homogénea y dejó reposar durante una hora. Posteriormente se sumergió el electrodo de un potenciómetro (Thermo Scientific) en la suspensión homogeneizada y se realizó la lectura del pH (Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária [Embrapa], 2011).

El pH inicial fue cuantificado cuando concluyó la fase de incubación con  $\text{CaCO}_3$ ; mientras que, el pH final fue medido en el suelo resultante después de la cosecha de las plantas de arroz.

### **2.3.3. Determinación de la materia seca**

Para determinar la materia seca, las plantas cosechadas de los vasos fueron lavadas y secadas en estufa con circulación forzada de aire, por 72 h a  $70^\circ\text{C}$ , posteriormente, las plantas secas se trasladaron del invernadero al laboratorio en una olla desecadora, para evitar que estas adquieran humedad; se registró el peso de materia seca en gramos, utilizando una balanza analítica (HR-200) (Cargua, 2010).

### **2.3.4. Determinación de biodisponibilidad de cadmio**

El contenido total de metales pesados no es suficiente para evaluar la contaminación del suelo (Carrillo 2003), siendo importante conocer su biodisponibilidad (Vullo 2003), que no es más que la cantidad del metal que se encuentra disponible en el suelo para ser absorbida por la planta (Sánchez et al., 2011) y el Cd en suelos ácidos es mayormente biodisponible que en suelos calcáreos (Yang et al., 2015), siendo que a mayor pH, la movilidad y biodisponibilidad del metal se disminuye (Cortés et al., 2017).

Para determinar las concentraciones de Cd en los tejidos, las muestras molidas fueron colocadas, en fundas plásticas identificadas, para luego ser mineralizada usando una

mezcla nítrico-perclórico en relación (4:1) utilizada por Carrillo (2003). Este método consistió en colocar 0,5 g de tejido en un matraz erlenmeyer de 50 mL, añadir una mezcla nítrica-perclórica, HNO<sub>3</sub> (8 mL) y HClO<sub>4</sub> (2 mL), inmediatamente se colocó en un placa calentadora a 180 °C, por aproximadamente 90 min hasta la digestión total. La digestión estuvo lista cuando emergió humo blanco y el líquido se tornó cristalino. Las muestras de tejidos digeridas, se filtraron con ayuda de papel filtro rápido, colocados en matraz aforado de 50 mL y llevado a volumen con agua desionizada. Las muestras fueron trasvasadas en envases plásticos identificados y almacenadas en refrigeración a 4 °C hasta el análisis o lectura en espectrofotómetro de absorción atómica marca Perkin Elmer AAnalyst 400, acoplado con horno de grafito HGA 900, con lecturas realizadas con longitud de onda de 228.8 nm.

Con los datos de producción de materia seca y concentración de Cd en los tejidos, se obtuvo el dato de contenido de Cd (representa el Cd biodisponible) por unidad experimental (vaso), con ayuda de la ecuación:

$$Cd \text{ biodisponible } (\mu g \text{ vaso}^{-1}) = \frac{M \text{ Seca (g)} \times Conc. Cd \text{ tejidos (mg kg}^{-1})}{1000000}$$

#### 2.4. Análisis estadístico

Los resultados de cada variable, fueron analizados bajo Diseño experimental de Bloques Completos al Azar con análisis grupal (DBCA) con tres réplicas y para identificar diferencias y similitudes entre promedios, se utilizó la Prueba de comparación Tukey<sub>0,05</sub>, empleando el Programa INFOSTAT (Di Rienzo, 2016).

### III. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

#### 3.1. Cadmio en el suelo

El análisis de varianza aplicado a la variable concentración de Cd, en suelos de cuatro provincias de Ecuador contaminados con este metal y enmendados con la aplicación de dosis crecientes de  $\text{CaCO}_3$ , reportó diferencias estadísticas significativas dentro de cada provincia (Tabla 3), observando que hubo reducción de las concentraciones de Cd, por efecto del incremento de las dosis de  $\text{CaCO}_3$ . Los coeficientes de variación oscilaron entre 2,03% y 6,74%.

El suelo de la provincia de El Oro presentó una mayor concentración de Cd nativo de  $3,32 \text{ mg kg}^{-1}$ , coincidiendo con los resultados de Félix et al., (2003), quienes reportaron valores de  $3,94 \text{ mg kg}^{-1}$  en suelos cacaoteros.

La concentración de Cd, de los suelos de las provincias de Guayas y El Oro, se encuentran por encima del  $1 \text{ mg kg}^{-1}$ , superando el nivel crítico de  $0,43 \text{ mg kg}^{-1}$  para suelos agrícolas señalado por la Agencia del Medio Ambiente de los Estados Unidos de Norteamérica (USEPA) 2002, citado por Arévalo et al. (2016); mientras que los suelos de las provincias de Esmeraldas y Manabí con  $0,03$  y  $0,27 \text{ mg kg}^{-1}$ , respectivamente, están por debajo del nivel crítico antes citado.

Los efectos de la aplicación del  $\text{CaCO}_3$  sobre la disponibilidad de cadmio, resultó estadísticamente significativo para los suelos de las provincias de Esmeraldas, Manabí y El Oro, con dosis de  $2 \text{ t ha}^{-1}$ , donde se logró reducciones en la disponibilidad en el orden de 15,8%, 20,68% y 6,58%, siendo que para Guayas, se observó diferencias estadísticas apenas con la aplicación de  $10 \text{ t ha}^{-1}$ , donde la reducción fue de 5,41%.

Tabla 3. Variación de la concentración de Cd en suelos de cuatro provincias del Ecuador, sometidos a dosis crecientes de CaCO<sub>3</sub>. Pichilingue, 2017

Tratamientos	Concentración de Cd en el suelo ( mg kg <sup>-1</sup> )							
	Esmeraldas		Manabí		Guayas		El Oro	
0 t ha <sup>-1</sup> CaCO <sub>3</sub> + Cd	3,16	a <sup>1/</sup>	2,34	a	4,43	a	6,33	a
1 t ha <sup>-1</sup> CaCO <sub>3</sub> + Cd	2,93	ab	1,93	b	4,21	ab	6,35	a
2 t ha <sup>-1</sup> CaCO <sub>3</sub> + Cd	2,66	b	1,90	b	4,33	ab	5,82	b
3 t ha <sup>-1</sup> CaCO <sub>3</sub> + Cd	2,73	ab	2,03	b	4,27	ab	5,86	b
4 t ha <sup>-1</sup> CaCO <sub>3</sub> + Cd	2,80	ab	1,93	b	4,23	ab	5,83	b
5 t ha <sup>-1</sup> CaCO <sub>3</sub> + Cd	2,83	ab	2,09	b	4,24	ab	5,88	b
10 t ha <sup>-1</sup> CaCO <sub>3</sub> + Cd	2,50	b	2,12	ab	4,19	b	5,71	b
Testigo	0,03	c	0,27	c	1,15	c	3,32	c
Promedio	2,46		1,83		3,88		5,64	
Tukey 0,05%	0,47664**		0,23611**		0,22683**		0,42339**	
C.V. %	6,74		4,49		2,03		2,61	

C.V. (%): Coeficiente de variación, \*\* Significativo al 1%, <sup>1/</sup> Medias dentro de columnas con letras distintas son significativamente diferentes de acuerdo a la prueba de Tukey P≤0,05.

### 3.2. pH del suelo

El análisis de varianza aplicado al pH de suelos inicial y el colectado después de la cosecha de las plantas de arroz mostraron diferencias estadísticas significativas (p≤0,05) dentro de cada provincia (Tabla 4 y 5), indicativo de respuesta en el pH por efecto de las dosis de CaCO<sub>3</sub>. Los coeficientes de variación oscilaron entre 0,54% y 1,59%, para el pH inicial y entre 0,69 % y 1,29 % para el pH final.

En la tabla 4, se aprecia que en los suelos de todas las provincias, el pH se incrementa a medida que se aumentaron las dosis de CaCO<sub>3</sub> en relación al testigo sin enmienda, siendo que el menor efecto se registró en el suelo de Guayas, lo cual puede deberse a la capacidad tampón específica de los suelos debido a que estos tienen alto contenido de carbonatos (Gardi et al., 2014), que al aplicarle las dosis en cada tratamiento, provocan saturación del suelo. En este sentido Pinochet et al. (2005) indican que un suelo que tiene mayor capacidad tampón requiere más aplicación de ácidos o bases para modificar significativamente su pH. Castro y Munevar (2013) en un suelo ácido de horizonte óxico y un sulfatado ácido improductivo lograron incrementar el pH cercano a 5,5, aplicando entre 4 y 15 t ha<sup>-1</sup> de CaCO<sub>3</sub>.

Tabla 4. Variación del pH inicial en suelos de cuatro provincias del Ecuador, sometidos a dosis crecientes de CaCO<sub>3</sub>. Pichilingue, 2017

Tratamientos	pH Inicial							
	Esmeraldas		Manabí		Guayas		El Oro	
0 t ha <sup>-1</sup> CaCO <sub>3</sub> + Cd	4,44	e <sup>1/</sup>	6,36	e	7,96	b	7,06	e
1 t ha <sup>-1</sup> CaCO <sub>3</sub> + Cd	4,48	e	6,47	de	8,08	ab	7,14	de
2 t ha <sup>-1</sup> CaCO <sub>3</sub> + Cd	4,57	de	6,66	d	8,07	ab	7,26	cd
3 t ha <sup>-1</sup> CaCO <sub>3</sub> + Cd	4,70	cd	6,88	c	8,07	ab	7,32	bc
4 t ha <sup>-1</sup> CaCO <sub>3</sub> + Cd	4,87	bc	7,04	bc	8,08	ab	7,39	ab
5 t ha <sup>-1</sup> CaCO <sub>3</sub> + Cd	5,04	b	7,13	ab	8,09	a	7,43	ab
10 t ha <sup>-1</sup> CaCO <sub>3</sub> + Cd	5,67	a	7,32	a	8,13	a	7,50	a
Testigo	4,39	e	6,55	de	7,74	c	6,74	f
Promedio	4,77		6,80		8,03		7,23	
Tukey 0,05%	0,21893**		0,21162**		0,12408**		0,12386**	
C.V. %	1,59		1,08		0,54		0,59	

C.V. (%): Coeficiente de variación, \*\* Significativo al 1%, <sup>1/</sup> Medias dentro de columnas con letras distintas son significativamente diferentes de acuerdo a la prueba de Tukey P≤0,05.

En la tabla 5 se aprecia que para todas las provincias el pH final se incrementó conforme aumentaron las dosis de CaCO<sub>3</sub> en relación al testigo sin enmienda, a excepción de la provincia de Guayas en el cual no varió, posiblemente debido a la capacidad tampón y elevados niveles de carbonatos de estos suelos (Gardi et al., 2014).

Al comparar el pH inicial (Tabla 4) con el pH final (Tabla 5), se encontraron disminuciones en la última fase del estudio en Manabí, Guayas y El Oro, contrario al suelo de Esmeraldas, esto se justifica por haber mantenido el suelo en condiciones anaeróbicas (inundación), durante el desarrollo del arroz y que según Morales (2004) y el Centro Internacional de Agricultura Tropical (CIAT) (1981), el pH de los suelos se modifica durante el proceso de inundación dando como resultado incremento de pH en los suelos ácidos y disminución de pH en los suelos alcalinos, buscando valores de neutralidad. En el primer caso por efecto de la captación de electrones y reducción de óxidos mangánicos e hidróxidos férricos, donde utilizan protones adicionales y al eliminar más protones (OH) durante el proceso que elevan el pH. Para el segundo caso, los microorganismos anaeróbicos comienzan a reproducirse rápidamente y descomponen la materia orgánica utilizando compuestos del suelo

como nitratos, óxidos de manganeso, óxidos férricos, reduciendo el pH por aumento en la concentración de CO<sub>2</sub>.

Tabla 5. Variación en el pH final (luego de cosecha de arroz) en suelos de cuatro provincias del Ecuador, sometidos a dosis crecientes de CaCO<sub>3</sub>. Pichilingue, 2017

Tratamientos	pH Final							
	Esmeraldas		Manabí		Guayas		El Oro	
0 t ha <sup>-1</sup> CaCO <sub>3</sub> + Cd	4,63	ef <sup>1/</sup>	6,14	f	7,75	ab	7,04	d
1 t ha <sup>-1</sup> CaCO <sub>3</sub> + Cd	4,67	e	6,29	ef	7,75	ab	7,10	cd
2 t ha <sup>-1</sup> CaCO <sub>3</sub> + Cd	4,72	e	6,45	de	7,76	ab	7,18	bcd
3 t ha <sup>-1</sup> CaCO <sub>3</sub> + Cd	4,87	d	6,65	cd	7,78	a	7,22	bcd
4 t ha <sup>-1</sup> CaCO <sub>3</sub> + Cd	4,99	c	6,82	bc	7,80	a	7,28	bcd
5 t ha <sup>-1</sup> CaCO <sub>3</sub> + Cd	5,13	b	6,96	b	7,81	a	7,32	ab
10 t ha <sup>-1</sup> CaCO <sub>3</sub> + Cd	5,77	a	7,24	a	7,86	a	7,43	a
Testigo	4,53	f	6,13	f	7,61	b	6,66	e
Promedio	4,91		6,59		7,77		7,15	
Tukey 0,05%	0,11993**		0,22992**		0,15351**		0,14992**	
C.V. %	0,85		1,21		0,69		0,73	

C.V. (%): Coeficiente de variación, \*\* Significativo al 1%, <sup>1/</sup> Medias dentro de columnas con letras distintas son significativamente diferentes de acuerdo a la prueba de Tukey P≤0,05.

### 3.3. Biodisponibilidad de cadmio

#### 3.3.1. Materia Seca

El análisis de varianza de la variable materia seca de plantas, presentó coeficiente de variación que osciló entre 7,54% y 15,46% y no mostró diferencias estadísticas significativas dentro de cada provincia (Tabla 6), indicando que las dosis de CaCO<sub>3</sub> evaluadas y las variaciones en el pH del suelo, no influenciaron en el crecimiento de las plantas de arroz. Este efecto resulta contrario a lo encontrado por Contreras et al. (2011), que trabajando en un suelo venezolano, con pH inicial de 5,8, encontró diferencias estadísticas significativas en la producción de materia seca del arroz, usando dosis crecientes de enmienda.

Tabla 6. Variación en la producción de materia seca de plantas de arroz sembradas en suelos contaminados con Cd de cuatro provincias del Ecuador y sometidas a dosis crecientes de CaCO<sub>3</sub>. Pichilingue, 2017

Tratamientos	Materia seca (g)							
	Esmeraldas		Manabí		Guayas		El Oro	
0 t ha <sup>-1</sup> CaCO <sub>3</sub> + Cd	1,79	a <sup>1/</sup>	1,99	a	1,37	a	1,33	a
1 t ha <sup>-1</sup> CaCO <sub>3</sub> + Cd	1,84	a	2,00	a	1,58	a	1,41	a
2 t ha <sup>-1</sup> CaCO <sub>3</sub> + Cd	1,86	a	1,83	a	1,30	a	1,30	a
3 t ha <sup>-1</sup> CaCO <sub>3</sub> + Cd	1,63	a	2,02	a	1,29	a	1,34	a
4 t ha <sup>-1</sup> CaCO <sub>3</sub> + Cd	1,59	a	1,94	a	1,26	a	1,41	a
5 t ha <sup>-1</sup> CaCO <sub>3</sub> + Cd	1,76	a	1,84	a	1,28	a	1,43	a
10 t ha <sup>-1</sup> CaCO <sub>3</sub> + Cd	1,79	a	1,89	a	1,26	a	1,54	a
Testigo	1,74	a	1,96	a	1,13	a	1,51	a
Promedio	1,75		1,93		1,31		1,41	
Tukey 0,05%	0,32898 <sup>NS</sup>		0,42032 <sup>NS</sup>		0,44476 <sup>NS</sup>		0,62758 <sup>NS</sup>	
C.V. %	6,52		7,54		11,81		15,46	

C.V. (%): Coeficiente de variación, NS: no significativo al 5%, <sup>1/</sup> Medias dentro de columnas con letras distintas son significativamente diferentes de acuerdo a la prueba de Tukey P≤0,05.

### 3.3.2. Concentración de Cd en el tejido de arroz

El análisis de varianza aplicado a la concentración de Cd en el tejido de arroz cultivado en suelos de cuatro provincias de Ecuador, contaminados con Cd y sometidos a la aplicación de dosis crecientes de CaCO<sub>3</sub>, determinó diferencias estadísticas significativas dentro de cada provincia (Tabla 7). Siendo que hubo disminución en la absorción de Cd por efecto de las dosis de enmiendas aplicadas y los coeficientes de variación que oscilaron entre 4,79% y 7,74%, respaldan la información.

Los tejidos de arroz cultivados en el suelo de la provincia de El Oro presentaron mayor concentración de Cd en el testigo (1,42 mg kg<sup>-1</sup>) que los restantes suelos, esto debido a la alta concentración inicial del metal en el suelo. Este valor aún resulta menor a los 5,6 mg kg<sup>-1</sup> de Cd indicados por Cargua, (2010), para estos mismos suelos.

Este valor y los 0,29 y 0,36 mg kg<sup>-1</sup> encontrado en los suelos de Manabí y Guayas, respectivamente, superan a los rangos medios de 0,07 a 0,27 mg kg<sup>-1</sup> de Cd reportados para gramíneas por Nazar et al. (2012); en tanto que, el Cd de tejidos de suelos de Esmeraldas, con 0,25 mg kg<sup>-1</sup> de Cd, se encuentra dentro de este rango.

En general, las concentraciones de Cd en el tejido reportadas en esta investigación, no superan los 5 mg kg<sup>-1</sup> de Cd considerados como nivel mínimo crítico de toxicidad para las plantas, indicado por Carrillo (2003).

Tabla 7. Variación en la concentración de Cd en el tejido de arroz cultivado en suelos de cuatro provincias de Ecuador y sometidos a dosis crecientes de CaCO<sub>3</sub>, Pichilingue, 2017

Tratamientos	Concentración de Cd en el tejido de arroz (mg kg <sup>-1</sup> )							
	Esmeraldas		Manabí		Guayas		El Oro	
0 t ha <sup>-1</sup> CaCO <sub>3</sub> + Cd	1,53	a <sup>1/</sup>	1,76	a	1,55	a	1,32	ab
1 t ha <sup>-1</sup> CaCO <sub>3</sub> + Cd	1,45	ab	1,71	ab	1,47	a	1,17	b
2 t ha <sup>-1</sup> CaCO <sub>3</sub> + Cd	1,43	ab	1,49	bcd	1,38	ab	1,20	bc
3 t ha <sup>-1</sup> CaCO <sub>3</sub> + Cd	1,38	ab	1,70	ab	1,38	ab	1,17	bc
4 t ha <sup>-1</sup> CaCO <sub>3</sub> + Cd	1,34	ab	1,63	abc	1,23	b	1,13	c
5 t ha <sup>-1</sup> CaCO <sub>3</sub> + Cd	1,37	ab	1,46	cd	1,20	b	1,18	bc
10 t ha <sup>-1</sup> CaCO <sub>3</sub> + Cd	1,24	b	1,36	d	1,18	b	1,13	c
Testigo	0,25	c	0,29	e	0,36	c	1,42	a
Promedio	1,25		1,43		1,22		1,22	
Tukey 0,05%	0,27834**		0,21643**		0,21357**		0,16766**	
C.V. %	7,74		5,27		6,07		4,79	

C.V. (%): Coeficiente de variación, \*\* Significativo al 1%, <sup>1/</sup> Medias dentro de columnas con letras distintas son significativamente diferentes de acuerdo a la prueba de Tukey P≤0,05.

### 3.3.3. Contenido de Cd (µg vaso<sup>-1</sup>) en tejido de arroz

El análisis de varianza del contenido de Cd (µg vaso<sup>-1</sup>) en tejidos de arroz cultivados en suelos de cuatro provincias de Ecuador, contaminados con Cd, luego de haber sido sometido a la aplicación de dosis crecientes de CaCO<sub>3</sub>, mostró diferencias estadísticas significativas dentro de las provincias Esmeraldas, Manabí y Guayas; no así para El Oro, donde aunque disminuyó el contenido de Cd, las diferencias no fueron estadísticamente significativas, oscilando entre 2,75 y 1,59 µg vaso<sup>-1</sup> de Cd (Tabla 8). Los coeficientes de variación oscilaron entre 8,12% y 15,78%, respaldando la validez de la información.

Los altos contenidos de Cd en el tejido de arroz cultivados en suelos de la provincia de El Oro en el tratamiento testigo (suelo natural) que fue de 2,15 µg vaso<sup>-1</sup> de Cd, valor que coincide con los resultados obtenidos por Carrillo (2003) en lechuga y Cargua (2010) en arroz.



En la misma tabla 8, se observa que en la provincia del Guayas, los contenidos de Cd disminuyeron secuencialmente conforme aumentaron las dosis de  $\text{CaCO}_3$ ; mientras que, en las otras provincias no presenta una tendencia definida.

Si se considera una aplicación posible de  $2 \text{ t ha}^{-1}$  de  $\text{CaCO}_3$ , la disminución de los contenidos de Cd en los suelos sigue el orden de Esmeraldas (26,7%) > Manabí (22,2%) > Guayas (16,0%) > El Oro (9,8%).

Tabla 8. Variación del contenido de Cd ( $\mu\text{g vaso}^{-1}$ ) en suelos de cuatro provincias del Ecuador, sometidos a dosis crecientes de  $\text{CaCO}_3$ . Pichilingue, 2017

Tratamientos	Contenido de Cd $\mu\text{g vaso}^{-1}$							
	Esmeraldas		Manabí		Guayas		El Oro	
$0 \text{ t ha}^{-1} \text{ CaCO}_3 + \text{Cd}$	2,81	a <sup>1/</sup>	3,51	a	2,13	ab	1,77	a
$1 \text{ t ha}^{-1} \text{ CaCO}_3 + \text{Cd}$	2,65	a	3,43	a	2,33	a	1,66	a
$2 \text{ t ha}^{-1} \text{ CaCO}_3 + \text{Cd}$	2,06	ab	2,73	a	1,79	abc	1,56	a
$3 \text{ t ha}^{-1} \text{ CaCO}_3 + \text{Cd}$	2,60	bc	3,45	a	1,76	abc	1,57	a
$4 \text{ t ha}^{-1} \text{ CaCO}_3 + \text{Cd}$	2,12	bc	3,18	a	1,53	bc	1,59	a
$5 \text{ t ha}^{-1} \text{ CaCO}_3 + \text{Cd}$	2,12	abc	2,70	a	1,52	bc	1,69	a
$10 \text{ t ha}^{-1} \text{ CaCO}_3 + \text{Cd}$	2,54	c	2,57	a	1,49	c	1,73	a
Testigo	0,43	d	0,56	b	0,41	d	2,15	a
Promedio	2,17		2,77		1,62		1,72	
Tukey 0,05%	0,50678**		0,94104**		0,61154**		0,77881 <sup>NS</sup>	
C.V. %	8,12		11,81		13,1		15,78	

C.V. (%): Coeficiente de variación, NS no significativo al 5%, \*\* Significativo al 1%, <sup>1/</sup> Medias dentro de columnas con letras distintas son significativamente diferentes de acuerdo a la prueba de Tukey  $P \leq 0,05$ .

### 3.4. Correlaciones

Se encontró alta correlación entre las variables dependientes en los cuatro suelos (Tabla 9), de esta forma los altos contenidos de Cd (biodisponibilidad) encontrados en los tejidos del arroz, mostró dependencia directa y significativa con la producción de materia seca (0,90) y negativa altamente significativa para el pH inicial y el pH final (-0,40 y -0,44), respectivamente; ocurriendo lo mismo con la materia seca que presentó negativa altamente significativa con el pH inicial (-0,46) y el pH final (-0,50) así, elevando el pH del suelo disminuye la producción de materia seca al igual que la concentración en los tejidos, sin embargo, la disponibilidad del Cd en el suelo se eleva.

Tabla 9. Correlación de Pearson entre variables en suelos de cuatro provincias del Ecuador, sometidos a dosis crecientes de  $\text{CaCO}_3$ . Pichilingue, 2017

	pH Inicial	pH final	Materia seca	Concentración de Cd suelo	Concentración de Cd tejido	Contenido de Cd
<b>pH Inicial</b>						
<b>pH final</b>	0,99**					
<b>Materia seca</b>	-0,46***	-0,50***				
<b>Conc. Cd suelo</b>	0,47***	0,51***	-0,68**			
<b>Conc. Cd tejido</b>	-0,24*	-0,28**	0,54***	-0,65		
<b>Contenido de Cd</b>	-0,40***	-0,44***	0,90**	-0,75	0,84	

\*, \*\*, \*\*\* Significancia al 5%, 1% y 0,1%, respectivamente.

Realizando las correlaciones individualmente por suelo, se encontró que para el suelo de Esmeraldas (Tabla 10) la aplicación de  $\text{CaCO}_3$  para elevar el pH, provoca disminución en la concentración de Cd en el suelo, tejido y el contenido en las plantas de arroz. Igualmente sucede en el suelo de El Oro, solo que no llega a afectar al contenido de Cd en los tejidos (Tabla 11).

En los suelos de Manabí y Guayas, los contenidos de Cd en los tejidos del arroz, son dependientes directos de la producción de materia seca y concentración de Cd en los tejidos, más el pH del suelo no disminuye la disponibilidad del Cd en el suelo (Tabla 10 y 11, respectivamente).

Tabla 10. Correlación de Pearson entre variables en suelos de Esmeraldas y Manabí, provincias del Ecuador, sometidos a dosis crecientes de CaCO<sub>3</sub>. Pichilingue, 2017

	pH Inicial	pH final	Materia seca	Concentración de Cd suelo	Concentración de Cd tejido	pH Inicial	pH final	Materia seca	Concentración de Cd suelo	Concentración de Cd tejido
<b>pH Inicial</b>	<b>Esmeraldas</b>					<b>Manabí</b>				
<b>pH final</b>	0,92**					0,95***				
<b>Materia seca</b>	-0,04	-0,03				-0,002	-0,07			
<b>Conc. Cd suelo</b>	-0,53**	-0,50*	-0,01			-0,17	-0,10	0,13		
<b>Conc. Cd tejido</b>	-0,61**	-0,73***	-0,05	0,22		-0,47*	-0,52*	0,54**	0,09	
<b>Contenido de Cd</b>	-0,55**	-0,63***	0,57**	0,19	0,79***	-0,27	-0,33	0,87***	0,13	0,88***

\*, \*\*, \*\*\* Significancia al 5%, 1% y 0,1%, respectivamente.

Tabla 11. Correlación de Pearson entre variables en suelos de Guayas y El Oro, provincias del Ecuador, sometidos a dosis crecientes de CaCO<sub>3</sub>. Pichilingue, 2017

	pH Inicial	pH final	Materia seca	Concentración de Cd suelo	Concentración de Cd tejido	pH Inicial	pH final	Materia seca	Concentración de Cd suelo	Concentración de Cd tejido
<b>pH Inicial</b>	<b>Guayas</b>					<b>El Oro</b>				
<b>pH final</b>	0,31					0,96***				
<b>Materia seca</b>	0,17	-0,59**				0,21	0,14			
<b>Conc. Cd suelo</b>	0,04	-0,57**	-0,30			-0,70***	-0,68***	0,02		
<b>Conc. Cd tejido</b>	-0,45*	-0,25	0,09	0,38		-0,58**	-0,50*	-0,25	0,46*	
<b>Contenido de Cd</b>	-0,12	-0,61**	0,85***	-0,07	0,60**	-0,02	-0,07	0,92***	0,22	0,16

\*, \*\*, \*\*\* Significancia al 5%, 1% y 0,1%, respectivamente.

#### IV. CONCLUSIONES

La aplicación de  $\text{CaCO}_3$  en sus diferentes dosis elevó el pH del suelo de las cuatro provincias.

Para disminuir la disponibilidad de Cd en suelos de las provincias del Guayas, es necesario  $10 \text{ t ha}^{-1}$  y para los suelos de las provincias de Esmeraldas, El Oro y Manabí  $2 \text{ t ha}^{-1}$ .

En suelos de las provincias de El Oro, Esmeraldas y Manabí el incremento del pH del suelo disminuye la disponibilidad de Cd, concentración en tejidos y el contenido en las plantas, siendo este último, además depende directamente de la producción de materia seca.

La disponibilidad de cadmio en el suelo de Manabí, no fue dependiente del pH; sin embargo, hubo respuesta a la aplicación del  $\text{CaCO}_3$  probablemente por elevar el contenido de Ca en el suelo.

Las concentraciones de Cd en los tejidos de arroz, disminuyeron en secuencia de  $\text{MA} > \text{GU} \geq \text{EO} > \text{E}$ .

La disminución en los contenidos de Cd en los tejidos de arroz, siguió la secuencia de  $\text{E} > \text{MA} > \text{GU} > \text{EO}$ .

## REFERENCIAS

- Agencia Iberoamericana para la Difusión de la Ciencia y la Tecnología (DICYT). (2014). Recuperan suelos cacaoteros contaminados por cadmio. Recuperado de <http://www.dicyt.com/noticias/recuperan-suelos-cacaoteros-contaminados-por-cadmio>
- Arévalo-Gardini, E., Obando-Cerpa, M. E., Zúñiga-Cernades, L. B., Arévalo-Hernández, C. O., Baligar, V., y He, Z. (2016). Metales pesados en suelos de plantaciones de cacao (*Theobroma cacao* L.) en tres regiones del Perú. *Ecología Aplicada*, 15(2), 81-89.
- Cañadas, A., Rade, D., Zambrano C., Molina C., y Arce L. (2013). Evaluación y manejo de fuentes semilleras de Teca (*Tectona grandis* L. f.) en la Estación Experimental Tropical Pichilingue, Ecuador. *Avances*, 5(1), 2.
- Cargua Chávez, J. E. (2010). Determinación de las formas de Cd, Cu, Ni, Pb y Zn y su biodisponibilidad en suelos agrícolas del Litoral ecuatoriano. (No. Tesis N° 110). Universidad Tecnológica Equinoccial.
- Carrillo, M. D. (2003). Caracterização das formas de metais pesados, sua biodisponibilidade e suas dinâmicas de adsorção e de mobilidade em solos do Equador (Tese de Magister Scientiae). Universidade Federal de Viçosa, Brasil.
- Castro, H., y Munevar, Ó. (2013). Mejoramiento químico de suelos ácidos mediante el uso combinado de materiales encalantes. *Revista UDCA Actualidad & Divulgación Científica*, 16(2), 409-416.
- Centro Internacional de Agricultura Tropical (CIAT). (1981). *Química de los suelos inundados*. Colombia, Cali: FERIVA, p. 9-11.
- Cortés, L. E., Martín, F. J., y Sarria, M. M. (2017). Evaluación de la toxicidad de metales pesados en dos suelos agrícolas de Colombia mediante bioensayos. *Temas Agrarios*, 22(2), 42-45.
- Contreras, F., Herrera, T., e Izquierdo, A. (2011). Efecto de dos fuentes de carbonato de calcio ( $\text{CaCO}_3$ ) sobre la disponibilidad de cadmio para plantas de cacao (*Theobroma cacao* L.) en suelos de Barlovento, estado Miranda. *Venesuelos*, 13(1), 52-63.

- Di Rienzo, JA., Casanoves, F., Balzarini, MA., Gonzalez, L., Tablada, M., y Robledo., W. 2016. InfoStat versión 2016 p.
- Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária (Embrapa). (2011). Manual de métodos de análise de solo. Río de Janeiro, Brasil: Embrapa, p. 97.
- Félix, I., Mite, F., Carrillo M., y Pino M. (2003). Avances de investigación del proyecto de determinación de metales contaminantes en cultivos de exportación y su repercusión sobre la calidad de los mismos. In VII congreso Ecuatoriano de la Ciencia del Suelo, 1.
- Gardi, C., Angelini, M., Barceló, S., Comerma, J., Cruz Gaistardo, C., Encina Rojas, A., Jones, A., Krasilnikov, P., Mendonça Santos Brefin, M. L., Montanarella, L., Muñoz Ugarte, O., Schad, P., Vara Rodríguez, M.I., Vargaz, R. (eds), 2014. Atlas de suelos de América Latina y El Caribe, Comisión Europea - Oficina de Publicaciones de la Unión Europea, L-2995 Luxembourg, 176 pp
- Herrera, T. M. (2011). La contaminación con cadmio en suelos agrícolas. Academia, 42. Recuperado de: [https://www.academia.edu/7195023/LA\\_CONTAMINACION\\_CON\\_CADMIO\\_EN\\_SUELOS\\_AGRICOLAS\\_Cadmium\\_contamination\\_in\\_agricultural\\_soils](https://www.academia.edu/7195023/LA_CONTAMINACION_CON_CADMIO_EN_SUELOS_AGRICOLAS_Cadmium_contamination_in_agricultural_soils).
- Instituto Nacional de Meteorología e Hidrología (INAMHI). (2016). Boletín climatológico anual. Recuperado de [http://www.serviciometeorologico.gob.ec/meteorologia/boletines/bol\\_anu.pdf](http://www.serviciometeorologico.gob.ec/meteorologia/boletines/bol_anu.pdf)
- IPNI. (20 de Marzo de 2015). Metales pesados en Cacao, perspectivas y posible manejo. International Plan Nutrition Institute (IPNI), p. 2.
- Jalali, M., y Khanlari, Z. V. (2008). Cadmium availability in calcareous soils of agricultural lands in Hamadan, western Iran. *Soil & Sediment Contamination*, 17(3), 256-268.
- Ministerio de Agricultura y Ganadería (MAGAP). (s/f). MAGAP impulsa proyecto de reactivación del Cacao Fino y de Aroma. Recuperado de <http://www.agricultura.gob.ec/magap-impulsa-proyecto-de-reactivacion-del-cacao-fino-y-de-aroma/#>
- Mite, F., Carrillo, M., y Durango, W. (2010). Avances del monitoreo de presencia de cadmio en almendras de cacao, suelos y agua en Ecuador. In XII Congreso Ecuatoriano de la Ciencia del Suelo, 1.

- Morales, L. A. (2004). Análisis estadísticos y geoestadísticos en diferentes estádios de algunas propiedades de un suelo bajo cultivo de arroz (Doctoral dissertation, Universidade da Coruña).
- Nazar, R., Iqbal, N., Masood, A., Khan, M. I. R., Syeed, S., y Khan, N. A. (2012). Cadmium toxicity in plants and role of mineral nutrients in its alleviation. *American Journal of Plant Sciences*, 3(10), 1476.
- Paneque, V., Calaña, J., Calderón, M., Borges, Y., Hernández, T., y Caruncho, M. (2010). Manual de técnicas analíticas para análisis de suelo, foliar, abonos orgánicos y fertilizantes químicos. La Habana, Cuba: INCA, p. 12-13.
- Pinochet, T., Ramírez, R., y Suárez, F. (2005). Variación de la capacidad tampón en suelos derivados de cenizas volcánicas. *Agricultura Técnica*, 65(1), 55-64.
- PRO ECUADOR. (2017, septiembre - octubre). Boletín Mensual de Comercio Exterior. Recuperado de <http://www.proecuador.gob.ec/pubs/boletin-de-comercio-exterior-septiembre-octubre-2017/>.
- Programa de las Naciones Unidas para el Medio Ambiente (PNUMA). (2010). Análisis del flujo del comercio y revisión de prácticas de manejo ambientalmente racionales de productos conteniendo cadmio, plomo y mercurio en América Latina y el Caribe, p 35-37.
- Rahman, S. H., Khanam, D., Adyel, T. M., Islam, M. S., Ahsan, M. A., y Akbor, M. A. (2012). Assessment of heavy metal contamination of agricultural soil around Dhaka Export Processing Zone (DEPZ), Bangladesh: implication of seasonal variation and indices. *Applied sciences*, 2(3), 584-601.
- Rodríguez, M., Martínez, N., Romero, M., Del Río, L., y Sandalio, L. (2008). Toxicidad del cadmio en plantas. *Revista Ecosistemas*, 17(3), 140.
- Rizwan, M., Ali, S., Adrees, M., Ibarhim, M., Tsang, D.C.W., Zia-ur-Rehman, M., Zahir, Z.A., Rinklebe, J., Tack, F.M.G. 2017. A critical review on effects, tolerance mechanisms and management of cadmium vegetables. *Chemosphere*. 182:90-115.
- Sainz, R., Echeverria, E., y Angelini, H. (2011). Niveles de carbono orgánico y pH en suelos agrícolas de las regiones pampeana y extrapampeana Argentina. *Ciencias del suelo*, 29, (1), 30.

- Sánchez, N., Subero, N., y Rivero, C. (2011). Determinación de la adsorción de cadmio mediante isotermas de adsorción en suelos agrícolas venezolanos. *Acta Agronómica*, 60(2).
- Vallejo, L. M. (1997). Suelos del Ecuador: reconocimiento general en base a su capacidad-fertilidad y mapa general de clasificación por capacidad-fertilidad: una interpretación básica sobre las características de los suelos del Ecuador. Instituto Geográfico Militar.
- Vullo, D. L. (2003). Microorganismos y metales pesados: una interacción en beneficio del medio ambiente. *Química viva*, 2(3).
- Yang, J., Wang, L., Li, J., Wei, D., Chen, S., Guo, Q., y Ma, Y. (2015). Effects of rape straw and red mud on extractability and bioavailability of cadmium in a calcareous soil. *Frontiers of Environmental Science & Engineering*, 9(3), 419-428.



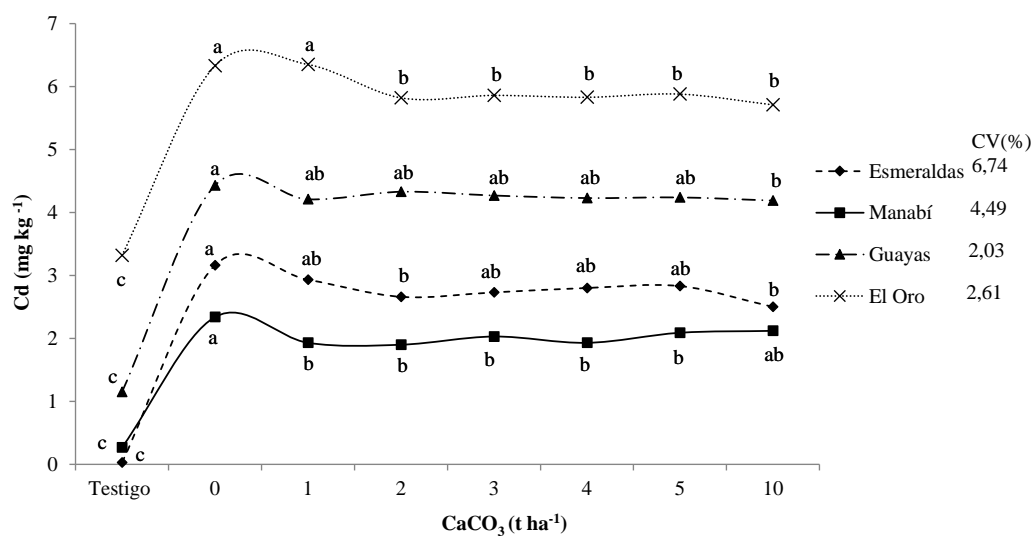
## ANEXOS

Anexo 1. Análisis de la variancia de las variables en suelos de cuatro provincias del Ecuador sometidos a dosis crecientes de  $\text{CaCO}_3$ . Pichilingue, 2017.

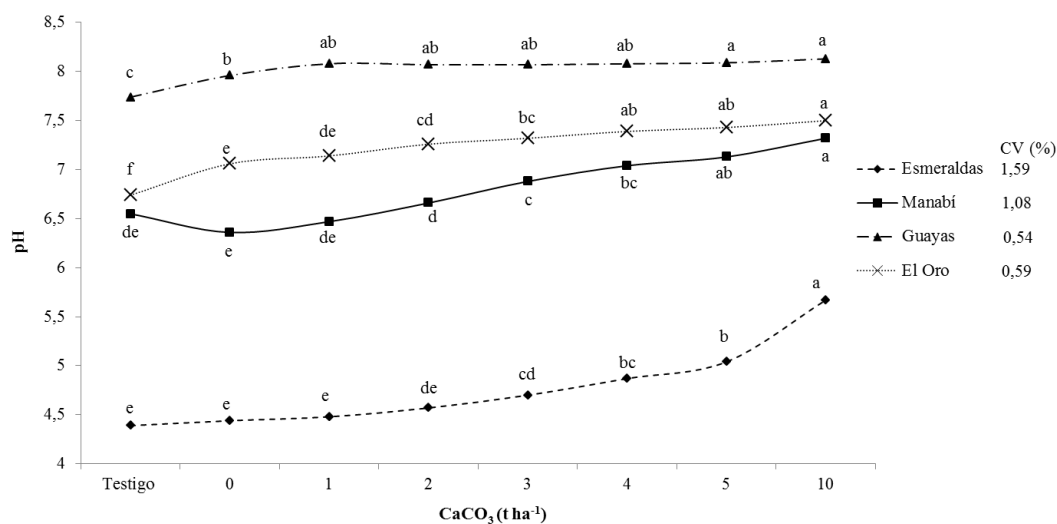
Fuente de variación	Grado de Libertad	Cuadrados Medios					
		Conc. Cd suelo ( $\text{mg kg}^{-1}$ )	pH Inicial	pH Final	Materia Seca (g)	Conc. Cd tejido ( $\text{mg kg}^{-1}$ )	Cont. Cd ( $\mu\text{g vaso}^{-1}$ )
Total	95						
Tratamientos	31	9,08	4,72	3,74	0,23	0,40	1,91
Grupo Esmeraldas		2,99	0,54	0,48	0,03	0,51	1,72
Contraste testigo vs tratamientos Esmeraldas		20,15	0,49	0,50	0,00078	3,43	10,34
CV (%)		6,74	1,59	0,85	6,52	7,74	8,12
Grupo Manabí		1,24	0,35	0,49	0,02	0,69	2,80
Contraste testigo vs tratamientos Manabí		8,27	0,21	0,72	0,0025	4,44	16,89
CV (%)		4,49	1,08	1,21	7,54	5,27	11,81
Grupo Guayas		3,68	0,05	0,02	0,05	0,41	22,04
Contraste testigo vs tratamientos Guayas		25,63	0,29	0,08	0,11	2,52	5,02
CV (%)		2,03	0,54	0,69	11,81	6,07	13,10
Grupo El Oro		2,8	0,18	0,17	0,02	0,03	0,11
Contraste testigo vs tratamientos El Oro		18,42	0,83	0,84	0,03	0,15	0,66
CV (%)		2,61	0,59	0,73	15,46	4,79	15,78
Contraste entre grupos		68,80	46,19	36,02	2,06	0,24	6,59
Repeticiones	2	0,12	0,15	0,13	0,39	0,0025	0,69
Error	62	0,02	0,01	0,01	0,03	0,01	0,08

CV (%): Coeficiente de variación, Conc. Cd suelos: Concentración de Cd en suelos, Conc. Cd tejidos: Concentración de Cd en tejidos, Cont. Cd  $\mu\text{g vaso}^{-1}$ : Contenido de Cd  $\mu\text{g vaso}^{-1}$ .

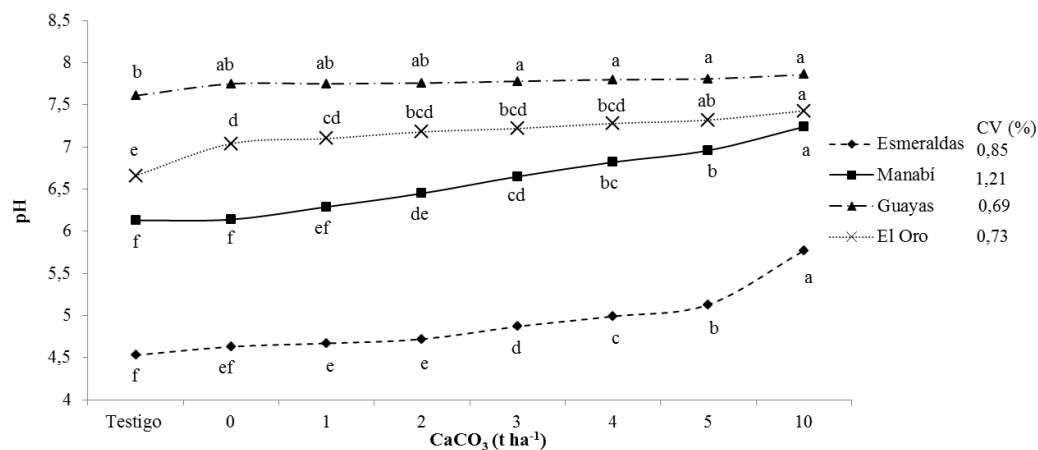
Anexo 2. Concentración de Cd en suelos de cuatro provincias del Ecuador sometidos a dosis crecientes de  $\text{CaCO}_3$ . Pichilingue, 2017.



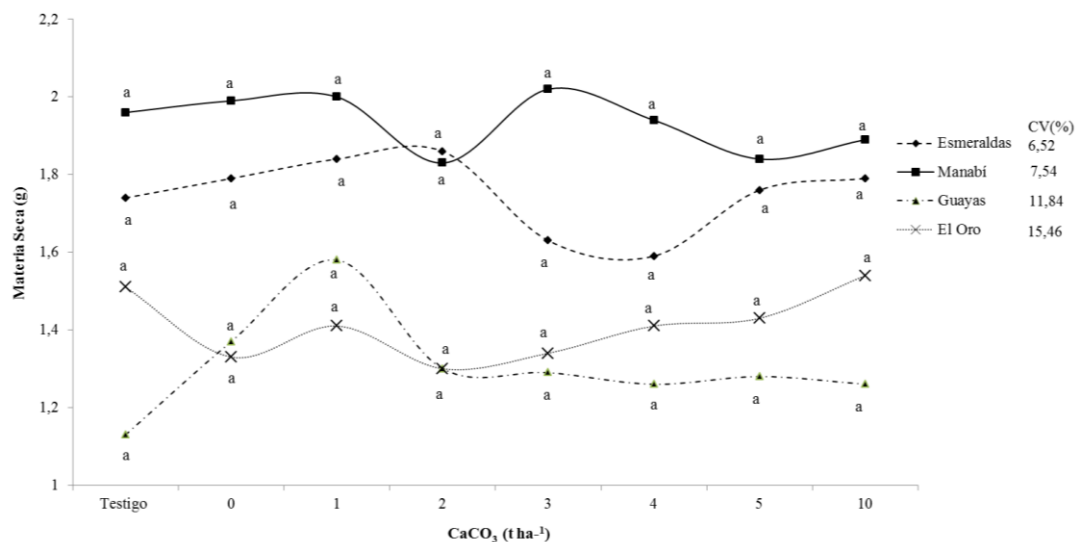
Anexo 3. Cambios en el pH (inicial, antes de la siembra del arroz) en suelos de cuatro provincias del Ecuador, sometidos a dosis crecientes de  $\text{CaCO}_3$ . Pichilingue, 2017.



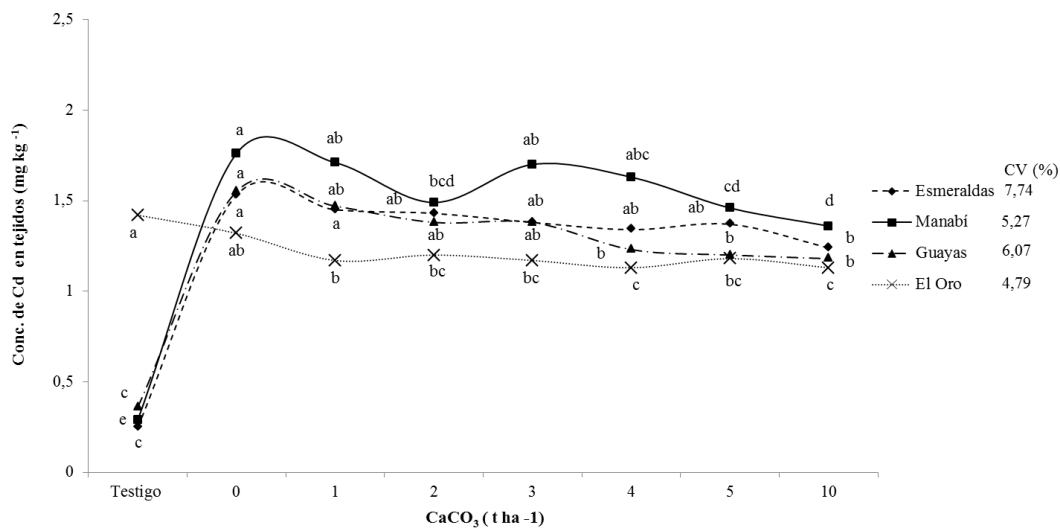
Anexo 4. Cambios en el pH (final, después de la cosecha del arroz) en suelos de cuatro provincias del Ecuador sometidos a dosis crecientes de  $\text{CaCO}_3$ . Pichilingue, 2017.



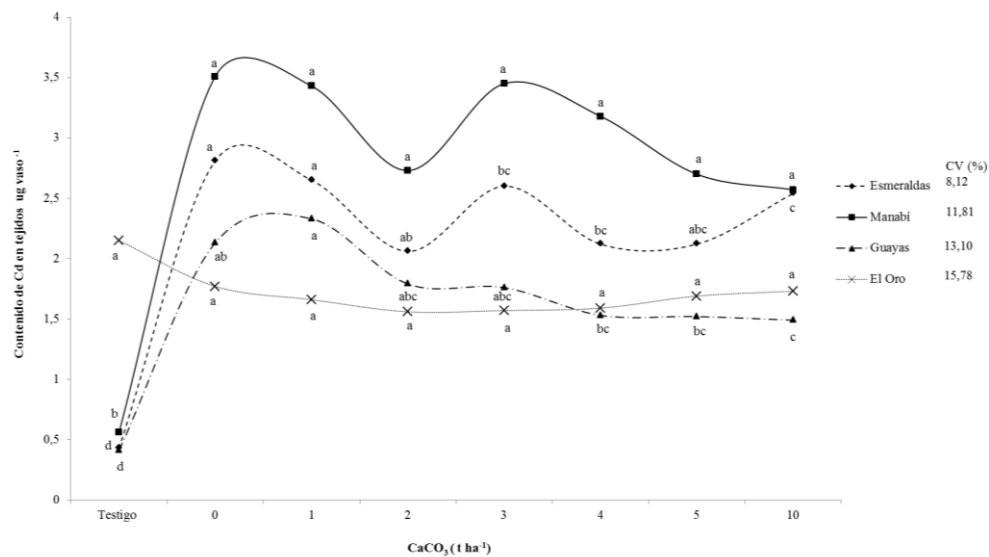
Anexo 5. Producción de materia seca de plántulas de arroz establecidas en suelos contaminados con Cd de cuatro provincias del Ecuador sometidas a dosis crecientes de  $\text{CaCO}_3$ . Pichilingue, 2017.



Anexo 6. Concentración de Cd en el tejido de arroz cultivado en suelos de cuatro provincias de Ecuador sometidos a dosis crecientes de  $\text{CaCO}_3$ . Pichilingue, 2017.



Anexo 7. Contenido de Cd ( $\mu\text{g vazo}^{-1}$ ) en suelos de cuatro provincias del Ecuador sometidos a dosis crecientes de  $\text{CaCO}_3$ . Pichilingue, 2017.



Anexo 8. Fotografías



Molida de suelos en molino automático



Tamizado de suelos



Pesado (500 g) de suelo para contaminarlos con Cd



Contaminación de suelo con Cd



Secado de suelos al ambiente para la segunda fase de incubación



Molida y tamizado de suelo



Corrección de pH de suelos con  $\text{CaCO}_3$



Secado de suelos al ambiente previa a la siembra de plantas de arroz



Pesado (100 g) de suelo para la siembra de arroz



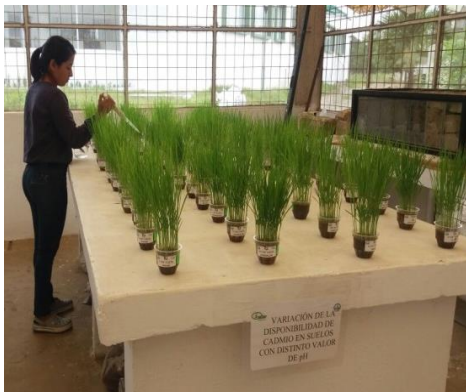
Muestras de suelos para análisis



Pregerminación de semillas de arroz



Trasplante de semillas pregerminadas usando el método de Neubauer



Fertilización a las plantas de arroz con fosfato monobásico a los 15 DDS



Fertilización a las plantas de arroz con sulfato de amonio a los 20 DSS

### Determinación de Cd en el suelo



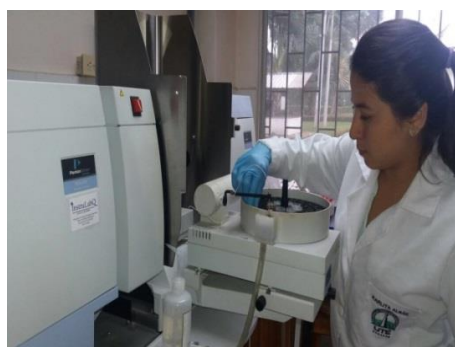
Pesado (0,5 g) de suelo



Adición mezcla de agua regia y agua deionizada



Filtrado de la muestra del suelo digerido



Cuantificación de las muestras de suelo digeridas en el espectrofotómetro de absorción atómica

### Determinación de pH



Pesado (10 g) de cada suelo



Lectura del pH en el potenciómetro

### Determinación de la biodisponibilidad del cadmio



Separado de la planta y raíz del suelo



Lavado de plantas y raíces





Secado de plantas en estufa



Pesado de materia seca



Molida de materia seca



Limpieza de molino



Digestión de materia seca



Cuantificación de Cd en muestras de tejidos digeridas en el espectrofotómetro de absorción atómica