



**ESPE**

**UNIVERSIDAD DE LAS FUERZAS ARMADAS**  
**INNOVACIÓN PARA LA EXCELENCIA**

**VICERRECTORADO DE INVESTIGACIÓN, INNOVACIÓN Y  
TRANSFERENCIA DE TECNOLOGÍA**

**MAESTRÍA EN AGRICULTURA SOSTENIBLE**

**TRABAJO DE TITULACIÓN, PREVIO A LA OBTENCIÓN DEL TÍTULO  
DE MAGISTER EN AGRICULTURA SOSTENIBLE**

**TEMA: DETERMINACIÓN DE LOS NIVELES DE CADMIO EN  
DIFERENTES PROFUNDIDADES DEL SUELO Y SU RELACIÓN CON  
LAS CARACTERÍSTICAS FISICOQUÍMICAS, EN EL CULTIVO DE  
CACAO EN CINCO CANTONES DE LA PROVINCIA DE GUAYAS –  
ECUADOR**

**AUTOR: JARAMILLO CHAMBA, RUSBEL ANTONIO**

**DIRECTORA: MGS. KOCH KAISER, ALMA**

**SANGOLQUÍ**

**2018**



**VICERRECTORADO DE INVESTIGACIÓN, INNOVACIÓN Y  
TRANSFERENCIA DE TECNOLOGÍA  
CENTRO DE POSGRADOS**

**CERTIFICACIÓN**

Certifico que el trabajo de titulación, “**DETERMINACIÓN DE LOS NIVELES DE CADMIO EN DIFERENTES PROFUNDIDADES DEL SUELO Y SU RELACIÓN CON LAS CARACTERÍSTICAS FÍSICO-QUÍMICAS, EN EL CULTIVO DE CACAO EN CINCO CANTONES DE LA PROVINCIA DE GUAYAS – ECUADOR**” fue realizado por el señor **Jaramillo Chamba, Rusbel Antonio** el mismo que ha sido revisado en su totalidad, analizado por la herramienta de verificación de similitud de contenido; por lo tanto cumple con los requisitos teóricos, científicos, técnicos, metodológicos y legales establecidos por la Universidad de Fuerzas Armadas ESPE, razón por la cual me permito acreditar y autorizar para que lo sustente públicamente.

Sangolquí, 28 de agosto de 2018

Firma:

Alma Koch Kaiser, Mgs.

C.C.: 1708880792



## VICERRECTORADO DE INVESTIGACIÓN, INNOVACIÓN Y

### TRANSFERENCIA DE TECNOLOGÍA

### CENTRO DE POSGRADOS

### AUTORÍA DE RESPONSABILIDAD

Yo, **Jaramillo Chamba, Rusbel Antonio**, con cédula de ciudadanía n° 1103869648, declaro que el contenido, ideas y criterio del trabajo de titulación: ***Determinación de los niveles de cadmio en diferentes profundidades del suelo y su relación con las características físico-químicas, en el cultivo de cacao en la provincia de Guayas – Ecuador*** es de mi autoría y responsabilidad, cumpliendo con los requisitos teóricos, científicos, técnicos, metodológicos y legales establecidos por la Universidad de Fuerzas Armadas ESPE, respetando los derechos intelectuales de terceros y referenciando las citas bibliográficas.

Consecuentemente el contenido de la investigación mencionada es veraz.

Sangolquí, 28 de agosto del 2018

Firma:

  
-----  
**Rusbel Antonio Jaramillo Chamba**

C.C.: 1103869648



**VICERRECTORADO DE INVESTIGACIÓN, INNOVACIÓN Y  
TRANSFERENCIA DE TECNOLOGÍA  
CENTRO DE POSGRADOS**

**AUTORIZACIÓN**

Yo, *Jaramillo Chamba, Rusbel Antonio* autorizo a la Universidad de las Fuerzas Armadas ESPE publicar el trabajo de titulación: *Determinación de los niveles de cadmio en diferentes profundidades del suelo y su relación con las características físico-químicas, en el cultivo de cacao en la provincia de Guayas – Ecuador* en el repositorio institucional, cuyo contenido, ideas y criterios son de mi responsabilidad.

Sangolquí, 28 de agosto de 2018

Firma:

  
-----  
**Rusbel Antonio Jaramillo Chamba**

C.C.: 1103869648

## DEDICATORIA

Esta investigación la dedico a mis hijos y esposa por estar cada día a mi lado y apoyarme en todo lo que hago.

*“El éxito no es tan deslumbrante como el brillo de cada meta alcanzada y el sacrificio ofrendado”*

Mats Hummels

## AGRADECIMIENTO

Dios por darme la fe, la paciencia, las fuerzas, la perseverancia y por permitirme soñar y hacer esos sueños realidad, gracias por poner en mi camino a todas las personas (familia, amigos) que me han apoyado incondicionalmente creyendo en mí.

A mi Pa y mi Ma por educarme bajo los principios de la nobleza y amor siendo un gran apoyo y ejemplo que cada segundo de mí vida me lo han brindado sobre todo sus sabios concejos que me orientaron por el camino recto los quiero mucho.

A Joaquinal y Agus por estar en mi vida y ser mi motivo de superación permitiéndome guiarlos de la mejor manera enseñándoles que a la cima no se llega superando a los demás sino superándose uno mismo.

A mi esposa, compañera y amiga de la vida CRIS por el soporte y aguante para salir adelante ya que ella es la historia más bonita que el destino escribió en mi vida.

A Yani y Edwin por enseñarme que lo bonito de la vida siempre es la familia y sobre todo los hermanos; por su apoyo y guía incondicional gracias por estar ahí siempre para mí.

A mis amigos (Suneo, Parce, Madrina, Doña Matty), por toda su colaboración, apoyo y su amistad sincera, como siempre les digo los buenos amigos son hermanos que Dios no nos dio, pero que los puso en el camino y son contados con los dedos gracias mil.

A la Universidad de las Fuerzas Armadas ESPE por contar con excelentes profesionales como la Dra. Almita, Andrés y Jessy quienes abrieron un mundo nuevo e interesante de creatividad con un alto estímulo, curiosidad y motivación de investigación. Mi eterno agradecimiento por cada palabra de aliento y por nunca desampararme ante las adversidades.

## ÍNDICE DE CONTENIDOS

<b>CERTIFICACIÓN .....</b>	<b>I</b>
<b>AUTORÍA DE RESPONSABILIDAD .....</b>	<b>II</b>
<b>AUTORIZACIÓN .....</b>	<b>III</b>
<b>ÍNDICE DE CONTENIDOS .....</b>	<b>VI</b>
<b>LISTA TABLAS .....</b>	<b>VIII</b>
<b>LISTA DE FIGURAS .....</b>	<b>IX</b>
<b>RESUMEN .....</b>	<b>XI</b>
<b>ABSTRACT .....</b>	<b>XII</b>
<b>CAPÍTULO 1 .....</b>	<b>1</b>
<b>INTRODUCCIÓN .....</b>	<b>1</b>
1.1 Formulación del problema .....	1
1.2 Justificación del problema .....	2
1.3 Objetivos de la investigación .....	5
1.3.1 Objetivo General .....	5
1.3.2 Objetivos Específicos .....	6
1.4 Marco teórico .....	7
1.4.1 Origen, historia e importancia del cultivo de cacao .....	7
1.4.2 Tipos de cacao .....	9
1.4.3 Características de la planta de cacao .....	10
1.4.4 Plagas y enfermedades del cacao .....	11
1.4.5 Condiciones físicas y químicas para el cultivo de cacao .....	12
1.4.6 Cadmio en el cacao .....	13
1.4.7 Legislación .....	15
1.4.8 Agricultura sostenible y metales pesados .....	20
1.5 Hipótesis .....	22
<b>CAPÍTULO 2 .....</b>	<b>23</b>
<b>MATERIALES Y MÉTODOS .....</b>	<b>23</b>

	vii
2.1 Participantes .....	23
2.2 Zona de estudio .....	23
2.2.1 Localización del estudio.....	23
2.2.2 Georreferenciación de la zona.....	24
2.3 Desarrollo de la investigación .....	31
2.3.1 Trabajo de campo .....	31
2.3.2 Trabajo de laboratorio .....	32
2.4 Área de influencia .....	37
2.5 Tratamiento y análisis estadístico .....	38
2.5.1 Procesamiento de la información: .....	38
<b>CAPÍTULO 3.....</b>	<b>46</b>
<b>RESULTADOS.....</b>	<b>46</b>
<b>CAPÍTULO 4.....</b>	<b>57</b>
<b>DISCUSIÓN.....</b>	<b>57</b>
<b>CAPÍTULO 5.....</b>	<b>63</b>
<b>CONCLUSIONES.....</b>	<b>63</b>
<b>RECOMENDACIONES.....</b>	<b>65</b>
<b>BIBLIOGRAFÍA.....</b>	<b>66</b>



## LISTA TABLAS

<b>Tabla 1</b> Factor uno en estudio .....	38
<b>Tabla 2</b> Factor dos en estudio.....	39
<b>Tabla 3</b> Tratamientos en estudio .....	39
<b>Tabla 4</b> Esquema del ADEVA para comparar Fincas vs. Profundidad vs. Parámetros + Cadmio, Cantón Milagro (2 de Mayo).....	42
<b>Tabla 5</b> Esquema del ADEVA para comparar Fincas vs. Profundidad vs. Parámetros + Cadmio, Cantón El Empalme (Buena Suerte) .....	42
<b>Tabla 6</b> Esquema del ADEVA para comparar Fincas vs. Profundidad vs. Parámetros + Cadmio, Cantón Yaguachi (El Deseo).....	43
<b>Tabla 7</b> Esquema del ADEVA para comparar Fincas vs. Profundidad vs. Parámetros + Cadmio, Cantón Milagro (Tomás Arboleda) .....	43
<b>Tabla 8</b> Esquema del ADEVA para comparar Fincas vs. Profundidad vs. Parámetros + Cadmio, Cantón Milagro (2 de Mayo).....	44
<b>Tabla 9</b> Esquema del ADEVA para comparar Fincas vs. Profundidad vs. Parámetros + Cadmio, Cantón Guayaquil - Tenguel (Voluntad de Dios) .....	44

## LISTA DE FIGURAS

<b>Figura 1</b> Mapa del Ecuador, Prov. Del Guayas-Fincas-UNOCACE .....	24
<b>Figura 2</b> Provincia del Guayas-Fincas-UNOCACE.....	25
<b>Figura 3</b> Naranjal, Prov. del Guayas-Fincas-UNOCACE.....	26
<b>Figura 4</b> Yaguachi, Prov. del Guayas-Fincas-UNOCACE .....	27
<b>Figura 5</b> Milagro, Prov. del Guayas-Fincas-UNOCACE.....	28
<b>Figura 6</b> El Empalme, Prov. del Guayas-Fincas-UNOCACE.....	29
<b>Figura 7</b> Tenguel, Cantón Guayaquil. Prov. del Guayas-Fincas-UNOCACE .....	30
<b>Figura 8</b> Concentración pH vs Rangos de Profundidades de Muestreo. Prov. del Guayas-Fincas-UNOCACE .....	46
<b>Figura 9</b> Conductividad Eléctrica vs Profundidades de Muestreo. Prov. del Guayas-Fincas-UNOCACE .....	47
<b>Figura 10</b> Clasificación del Suelo en la Provincia del Guayas por Organizaciones de Acuerdo al Triángulo de Texturas. Prov. del Guayas-Fincas-UNOCACE .....	49
<b>Figura 11</b> Concentración de Cadmio por Organizaciones a Diferentes Rangos de Profundidades. Prov. del Guayas-Fincas-UNOCACE .....	49
<b>Figura 12</b> Porcentaje de Materia Orgánica vs Rangos de Profundidades de Muestreo. Prov. del Guayas-Fincas-UNOCACE .....	50
<b>Figura 13</b> Concentración de Nitrógeno vs Rangos de Profundidades de Muestreo. Prov. del Guayas-Fincas-UNOCACE .....	51
<b>Figura 14</b> Concentración de Fósforo vs Rangos de Profundidades de Muestreo. Prov. del Guayas-Fin cas-UNOCACE.....	51
<b>Figura 15</b> Concentración de Potasio vs Rangos de Profundidades de Muestreo. Prov. del Guayas-Fincas-UNOCACE.....	52
<b>Figura 16</b> Concentración de Calcio vs Rangos de Profundidades de Muestreo. Prov. del Guayas-Fincas-UNOCACE.....	53
<b>Figura 17</b> Concentración de Magnesio vs Rangos de Profundidades de Muestreo. Prov. del Guayas-Fincas-UNOCACE.....	53
<b>Figura 18</b> Concentración de Hierro vs Rangos de Profundidades de Muestreo. Prov. del Guayas-Fincas-UNOCACE.....	54
<b>Figura 19</b> Concentración de Manganeso vs Rangos de Profundidades de Muestreo. Prov. del Guayas-Fincas-UNOCACE .....	55

	x
<b>Figura 20</b> Concentración de Cobre vs Rangos de Profundidades de Muestreo. Prov. del Guayas-Fincas-UNOCACE.....	55
<b>Figura 21</b> Concentración de Zinc vs Rangos de Profundidades de Muestreo. Prov. del Guayas-Fincas-UNOCACE.....	56

## RESUMEN

El cadmio es un metal pesado que provoca serios daños a la salud humana. Su presencia natural o antropogénica en agua y suelo es motivo de preocupación debido, en gran medida, a la posibilidad de acumularse en alimentos, entre ellos el cacao, uno de los principales productos de exportación ecuatorianos. Con el objetivo de conocer las concentraciones de cadmio en suelos de zonas donde se produce cacao, se muestrearon y analizaron tierras de terrenos agrícolas de seis organizaciones que conforman la asociación Unión de Organizaciones Campesinas Cacaoteras (UNOCACE), en la provincia de Guayas. Se analizaron las características fisicoquímicas más relevantes a distintos rangos de profundidad y se determinó su contenido de cadmio. En total, se tomaron y analizaron 897 muestras compuestas de suelo. Casi la totalidad presentaron concentraciones de cadmio total por debajo de 0,4 mg/kg, cumpliendo con el criterio establecido por la legislación ambiental ecuatoriana (0,5 mg/kg). Solo en una organización, ubicada en el cantón Naranjal, se observó un valor promedio por encima del mismo criterio (0,62 mg/kg). Se observó que las concentraciones más altas de cadmio estaban en las muestras en rango de profundidades más superficial (0-20 y 20-40 cm), lo que hace presumir que el metal se encuentra asociado a la materia orgánica. La información obtenida servirá de base para futuros estudios de evaluación de la biodisponibilidad del cadmio presente en el suelo junto a plantas y a parámetros de exportación.

### ***PALABRAS CLAVE:***

- **BIODISPONIBILIDAD.**
- **METALES PESADOS.**
- **PRODUCCIÓN DE CACAO.**
- **CONTAMINACIÓN.**
- **TULAS.**
- **CODEX ALIMENTARIUS.**

## ABSTRACT

Cadmium is a heavy metal that produces serious damage to human health. Its natural or anthropogenic occurrence in water and soil is subject of concern due to the possibility of accumulation in foodstuffs, among them, cacao, which is one of the main Ecuadorian products of exportation. With the goal of knowing the concentration of cadmium in soil of farmlands destined to cacao production, soil samples were collected and analyzed. Farmlands of six organizations of cocoa producers in the Guayas province, which are associated to the "Unión de Organizaciones Campesinas Cacaoteras" (UNOCACE) were considered in this study. The most relevant physicochemical characteristics of the soil samples (at different deep levels) and its cadmium content were determined. In total, 897 composite soil samples were taken and analyzed. Nearly all samples showed cadmium total concentration below to 0,4 mg/kg, therefore fulfilling the quality criteria established by the Ecuadorian environmental legislation (0,5 mg/kg). Only in one organization located in the Naranjal County, an average concentration above the legal criteria (0,62 mg/kg) was observed. It was also observed that the highest cadmium concentrations were in the samples taken in the lower range of deep (0 – 20 and 20 – 40 cm). This may be explained by the possible association of the metal to the organic matter. The information obtained could be used as a background data for future studies. Future studies should also evaluate the bioavailability of cadmium in soil, plants and export parameters.

### **KEYWORDS:**

- **BIODISPONIBILITY.**
- **HEAVY METALS.**
- **COCOA PRODUCTION.**
- **CONTAMINATION.**
- **TULAS.**
- **CODEX ALIMENTARIUS.**

# CAPÍTULO 1

## INTRODUCCIÓN

### 1.1 Formulación del problema

En virtud de que la Unión Europea (UE) consideró en el año 2012 la definición de Límites Máximos de Referencia (LMR) para el cadmio en chocolates, es prioritario evaluar el contenido de cadmio en suelos y agua de fincas cacaoteras, así como en granos secos de cacao nacional y CCN-51, a fin de que sirvan de base para sustentar de la mejor manera ante la UE una propuesta de LMR de cadmio, conforme a los intereses del Ecuador, así como también asegurar y fortalecer el comercio del cacao ecuatoriano hacia el exterior bajo parámetros internacionales al constituir uno de los principales productos ecuatorianos de exportación.

Ante la presión internacional, AGROCALIDAD a partir del año 2012 inició con el proyecto “Diagnóstico, evaluación y mitigación del contenido de cadmio en las zonas cacaoteras a nivel nacional”, el cual consta de varios componentes, entre los que están la evaluación del contenido de cadmio en almendras de cacao en lotes de exportación; determinación de los niveles de cadmio a diferentes profundidades del suelo y su relación con el pH, salinidad, textura, nutrientes y calidad de agua de riego en cultivos de cacao nacional en la Provincia del Guayas; evaluación del contenido de cadmio en fertilizantes recomendados para producción de cacao; correlación entre las concentraciones de cadmio en suelo, agua, planta de cacao y almendras a nivel nacional, así como la definición de estrategias de mitigación del problema.

## 1.2 Justificación del problema

Más del 50% de la producción mundial de cacao fino y de aroma utilizado en la fabricación de chocolates de alta calidad es producido en Ecuador, constituyéndolo a este como el primer productor.

En los últimos años, la presencia de cadmio en el cacao y sus derivados, ha generado gran preocupación tanto en los países productores como en los países importadores, así como también en los organismos de Regulación Internacional como la OMS y la FAO. La Unión Europea (UE) pide limitar los restos de cadmio en el cacao. En la Cumbre del Cacao llevada a cabo en Bali, el 03 de abril de 2013, se debatió sobre los límites de cadmio que afectarían las exportaciones de cacao latinoamericano. El Ministerio de Agricultura, Ganadería, Acuicultura y Pesca (MAGAP) de Ecuador propuso un debate sobre la definición de los límites del cadmio en el cacao según el requerimiento de la Unión Europea. La delegación ecuatoriana estuvo presidida por el viceministro, Luis Valverde, también Presidente del Comité Económico de la Organización Internacional del Cacao (ICCO).

En este marco se analizó la legislación europea sobre niveles máximos de cadmio en el chocolate y productos del cacao ([www.agricultura.gob.ec/](http://www.agricultura.gob.ec/)). Ecuador sostuvo que el cadmio es un metal natural del suelo americano, entonces su restricción podría representar un riesgo para las exportaciones de la región al bloque comunitario. África, entonces, podría suplantarlos en el comercio internacional porque no tiene el problema del cadmio en el suelo.

El 16 de septiembre de 2013, la Unión Europea notificó al Comité de Medidas Sanitarias y Fitosanitarias de la Organización Mundial del Comercio (OMC) la Enmienda al Reglamento Europeo No. 1881/2006, en la cual se establecen niveles máximos (NM) de cadmio para el chocolate y productos derivados del cacao, que entrarán en vigor a partir del 1 de enero del 2019, considerando como contenidos máximos de cadmio en diversos productos de cacao en un rango de 0.10 a 0.80 mg/kg.

Sin embargo, con los límites impuestos por la Comunidad Europea, la ley determinaba niveles muy pequeños de cadmio en chocolate *dark* (puro) y en polvo. Si eso hubiera sido puesto ya en vigencia, probablemente el 70% o 75% del cacao ecuatoriano no hubiera podido entrar a Europa.

AGROCALIDAD, como autoridad de control que apoya la actividad agropecuaria y contribuye a la soberanía alimentaria, se encuentra realizando el levantamiento de información con el fin de mapear la concentración de cadmio en los suelos cacaoteros a diferentes profundidades para contar con información científica que permita establecer las condiciones de cultivo, proponer correctivos y poder plantear una legislación acorde con las condiciones naturales de la producción del país, tomando en cuenta la legislación aprobada por la Comunidad Europea y que deberá ser acatada desde el año 2019. Esta investigación también servirá de base cierta para la planificación de trabajos en pro de mitigar o remediar el problema tomando en cuenta los principios de la agricultura sostenible ([balcon.magap.gob.ec/](http://balcon.magap.gob.ec/)).

Al ser el cacao uno de los principales productos de exportación del Ecuador, se vuelve indispensable la evaluación de los factores que puedan alterar su calidad. Existen varios trabajos



reportados en los que se analiza la presencia de cadmio en distintas partes de las plantas de cacao, incluidos los granos (Kirkham, 2006); su acumulación puede tener serias implicaciones para los países productores de cacao. El contenido de cadmio en el cacao puede desencadenar restricción comercial que afectaría directamente a la exportación y, por ende, a los ingresos económicos de las familias ecuatorianas que viven del cultivo.

La evaluación del cadmio en cuanto a presencia, concentración y disponibilidad es ineludible tanto en suelo como en agua de uso agrícola. Su contenido a nivel subterráneo o superficial puede ser de origen natural o antropogénico (Ogunlade et al., 2011) y es necesario conocer la concentración independientemente del origen del metal. Si la concentración de cadmio y otros metales pesados es suficientemente alta, pueden acumularse en niveles tóxicos en plantas y animales, muchas veces sin observarse síntomas (Bingham, 1975; De Conto Cinier, 1997; Moreno-Caselles, 2008).

Al cadmio se lo ha asociado con un aumento en la incidencia de enfermedades humanas: cardíacas y cáncer, efectos negativos en el sistema inmunológico, disfunción renal, crecimiento de la próstata, debilitamiento de los huesos, anemia, osteoporosis, pérdida del sentido del olfato, entre otros (Satarug, 2003; Von Sperling, 2005). El chocolate es un alimento que empieza a ser relacionado con intoxicaciones alimentarias. Aunque son pocos los casos en los que de forma directa provoca problemas tras su ingesta, no está exento de riesgos. Uno de estos problemas está asociado con la presencia de metales pesados y plaguicidas. En el primer caso, sobresale el cadmio, el más común en el cultivo de cacao (Loyola & Ramírez, 2007).

En el periodo 2003 a 2007, el Panel Científico sobre Contaminantes en la Cadena Alimentaria (CONTAM), comprobó que el chocolate es uno de los alimentos con mayor concentración de cadmio, por lo que se establecieron normas estrictas para minimizar la exposición humana al metal. La Comisión del Codex Alimentarius, en su Norma General para los Contaminantes y las Toxinas en los Alimentos, establece una ingesta semanal tolerable provisional de 7 mg/kg de peso corporal. En este análisis, los alimentos con más contenido de cadmio son las algas, pescados, mariscos y chocolates ([www.codexalimentarius.org](http://www.codexalimentarius.org)).

Como prioridad nacional, se realizará una comparación de los valores obtenidos científicamente en campo y laboratorio con la legislación internacional sobre la incidencia del cadmio en los suelos cacaoteros, así como a otros componentes de la producción del cacao, información que servirá para implementar una línea base para la elaboración de una política y normativa ambiental en el Ecuador.

### **1.3 Objetivos de la investigación**

#### **1.3.1 Objetivo General**

Determinar los niveles de cadmio en diferentes profundidades del suelo y su relación con las características fisicoquímicas, en el cultivo de cacao en cinco cantones de la Provincia de Guayas – Ecuador.

### 1.3.2 Objetivos Específicos

- 1) Caracterizar los suelos en el estudio con parámetros fisicoquímicos mediante la evaluación de pH, conductividad eléctrica, textura, materia orgánica, nutrientes asimilables (P, K, Ca, Mg, Fe, Cu, Zn, Mn) y cadmio en muestras obtenidas a profundidades de 0-20 / 20-40 / 40-60 / 60-80 / 80-100 y a 100-150 cm.
- 2) Relacionar *a priori* las características fisicoquímicas con las concentraciones de cadmio encontradas a las diferentes profundidades de muestreo.
- 3) Comparar los resultados en el contexto del proyecto de prioridad nacional: Determinación de los niveles de cadmio en diferentes profundidades del suelo y su relación con pH, salinidad, textura y nutrientes, en el cultivo de cacao en cinco catones de la Provincia del Guayas – Ecuador, como componente básico del proyecto de prioridad nacional AGROCALIDAD : “Diagnóstico, evaluación y mitigación del contenido de cadmio en las zonas cacaoteras a nivel nacional”, con el fin de proponer límites de concentración de cadmio en el cacao ecuatoriano de exportación y, si es del caso, fundamentar teóricamente la mitigación de los excedentes del metal a nivel del cultivo.

## 1.4 Marco teórico

### 1.4.1 Origen, historia e importancia del cultivo de cacao

Los indígenas toltecas, aztecas y mayas en México y Centroamérica domesticaron y cultivaron para su consumo al cacao, mucho tiempo antes de la llegada de los españoles a América. Preparaban una bebida llamada xocoatl; sin embargo, recientes investigaciones revelan el origen del cacao en la amazonia de al menos una variedad. (PROECUADOR, 2015).

Cuando los españoles llegaron a América, los granos de cacao eran usados como moneda y alimento. Cien años después, las semillas fueron llevadas a Europa. El cultivo y exportación de cacao fueron concedidos para México, Centroamérica y Países del Caribe. A finales del siglo XVI era tan rentable el negocio del cacao, que atrajo el interés de empresarios guayaquileños, a pesar de las prohibiciones de las Cédulas Reales. En 1623, el Corregidor de Guayaquil, don Diego de Portugal, informó a la Corte de España que en esta ciudad existían plantaciones de cacao y que su producto era comercializado furtivamente desde Guayaquil, pasando por Acapulco hacia España. A la postre, salía por puertos de Nicaragua y Guatemala.

La producción y comercio clandestino desde Guayaquil se incrementó, a través de puertos peruanos, lo que generó protestas en el Cabildo de Caracas entre 1593 a 1778 para detener la producción y el negocio de cacao en Guayaquil, pero sin éxito. Por último, en 1789, el Rey Carlos IV concedió la Cédula Real para el cultivo y exportación de cacao desde el Ecuador. Cuenta la historia que en 1600 ya existían plantaciones de cacao en las orillas del río Guayas que

se extendieron a las riveras del Daule y el Babahoyo, ríos arriba, por lo que se le conoce como “cacao arriba” en el mercado internacional, nombre ligado a su denominación de origen, la variedad se llama “nacional” y botánicamente corresponde a los “forasteros amazónicos”, es reconocido a nivel mundial por su aroma floral y producido exclusivamente por Ecuador (Soria, 2001).

La producción de cacao produjo la mayoría de los recursos para el financiamiento de las guerras de independencia (1800-1822). Para esa época, el cacao constituía hasta el 60% de las exportaciones nacionales y hasta el 68% de los impuestos al Estado. Con el advenimiento de la República, aparecieron los latifundios llamados Grandes Cacaos en Los Ríos, Guayas y El Oro. Entre 1880 a 1890, el Ecuador fue el mayor exportador mundial de cacao. Hacia finales del siglo 19, Ghana tomó ese puesto (Flores Gonzáles, 2007).

Con las divisas generadas por el cacao, se crearon los primeros bancos ecuatorianos y además se sostuvieron la administración política y financiera. Al finalizar 1915, el país cae en una crisis social y económica; de igual forma llegan las enfermedades de la Monilia (*Moniliophthora roreri*) y la escoba de bruja (*Crinipellis perniciosa*) las cuales destruyeron el 70% de la producción del cacao ecuatoriano, provocando que los agricultores siembren otros cultivos, como banano, café y arroz (CACAO ECUADOR, 2012).

El ambateño Homero Castro realizó varias investigaciones acerca del grano del cacao y el resultado fue el cacao tipo 51, tolerante a las enfermedades, con alta producción y calidad. Luego de varias pruebas, obtuvo el tipo CCN51 (Colección Castro Naranjal). Con esta variedad, en la

década de los 1980s la producción llegó a 85 000 TM (Vasco, 2000). Su procedencia genética es el cruzamiento entre cacao IMC-67 (Amazónico) con cacao ICS-95 (Trinitario), y su descendencia cruzada con otro cacao del Oriente colectado por Castro al que denominó canelos por su lugar de origen. En el año 2005, el tipo CCN51 es declarado por el Ministerio de Agricultura como grano de alta calidad y productividad, muy cotizado por los países extranjeros por su aroma y diversos sabores, logrando así que las exportaciones del Ecuador sigan en aumento (Estrada, Romero Castellano, & Moreno Peraza, 2011).

El análisis estadístico de la producción de cacao en el Ecuador realizado en el año 2007 por Loyola y Ramírez, expone que el cultivo, producción, comercialización, industrialización y exportación del cacao, sobre todo del cacao fino y de aroma, constituyen un sector relevante de la economía de nuestro país. En el mercado mundial el Ecuador ocupa el sexto puesto (Loyola & Ramírez, 2007).

#### 1.4.2 Tipos de cacao

Existen variedades de cacao dependiendo de sus características y aromas (Paredes, 2009), entre las más conocidas están las siguientes:

- Cacao criollo: árboles de estatura baja, el chocolate fabricado con este cacao tiene un buen sabor a fruta y nueces por lo que se cataloga como un producto fino.
- Cacaos forasteros amazónicos: también llamado cacao ordinario, su fruto es verde cuando está en fase inmadura y amarillo en fase madura.
- Cacao trinitario: mezcla entre los anteriores, su calidad de grano es intermedia.

- Cacao nacional del Ecuador: resultado de varios cruces entre otros cacaos por lo que su grano es de alta calidad, y tanto su sabor como aroma floral hace que el chocolate sea muy cotizado.

### 1.4.3 Características de la planta de cacao

El cacao es una planta que requiere sombra para su crecimiento. Su sistema radicular posee una raíz principal pivotante que puede ingresar a una profundidad de 1,20 a 2,00 m. La altura promedio de la planta es de 20 m; sus hojas son enteras de color verdoso y de forma simple; las flores son pequeñas; sus frutos son de variable forma, color y tamaño; las semillas están recubiertas por una sustancia ácida azucarada; posee entre 20 a 50 unidades de semillas, el color y la forma pueden variar dependiendo de la especie del cacao (Paredes, 2009).

**Clasificación taxonómica del cacao:** El "padre de la taxonomía", el sueco Carlos Linneo clasifica la planta de cacao como:

Familia	Sterculiaceae
Género	<i>Theobroma</i>
Especie	<i>cacao</i>
Nombre científico	<i>Theobroma cacao</i> L.
Nombre vulgar	Cacao

(Green, 1929)

En el Ecuador, la superficie plantada de cacao es de 521093 ha aproximadamente, aunque se ha visto que, al pasar los años, las plantaciones han ido aumentando en un 10%. Las pérdidas por sequías, heladas, plagas, enfermedades e inundaciones, entre otras causas, fueron aproximadamente de 40150 ha (Méndez, Ramírez, & Gutiérrez, 2009).

#### **1.4.4 Plagas y enfermedades del cacao**

Entre las plagas se tienen las hormigas arrieras que afectan principalmente a las hojas tiernas de la planta, también los pulgones que pueden ser vectores virales de otras enfermedades graves, las chinches de cacao pueden dañar al fruto maduro atacando las mazorcas y los trips que afectan las flores, hojas y las mazorcas (Estrada, Romero Castellano & Moreno Peraza, 2011).

En cuanto a las enfermedades, las más severas son: la escoba de bruja que causa deformaciones a las hojas, ramas, flores y frutos reduciendo la fotosíntesis con una baja producción de la planta, la monilia también afecta el interior de los frutos de cacao; el mal de machete que afecta a las plantas jóvenes dañando el sistema vascular y dejando a la planta expuesta a enfermedades fúngicas severas; mazorca negra, enfermedad que puede afectar a plantas jóvenes y a la vez a diferentes partes pero en especial a las mazorcas generando una pudrición (Ayala Benítez, 2008).

Entre las medidas de prevención de las enfermedades y plagas anteriormente mencionadas se pueden usar controles de malezas para evitar la competencia de nutrientes, podas para estimular nuevos crecimientos y evitar la reproducción de partes enfermas en toda la planta, también una buena fertilización con una buena absorción de los nutrientes para el crecimiento y producción.



Se utilizan también abonos orgánicos como una buena opción en la recuperación de las condiciones del suelo en cuanto a fertilidad y riqueza de los nutrientes necesarios en el desarrollo de la planta (De Conto Cinier, Petit - Ramel, Faure, & Garin, 1997).

#### **1.4.5 Condiciones físicas y químicas para el cultivo de cacao**

Las condiciones climáticas ideales para que se produzca el cacao en el Ecuador corresponden a la zona tropical cálida en donde las precipitaciones están entre 1600 a 2500 mm, y la temperatura de 23 a 32 °C, ideal para dar frutos. Los vientos no deben ser fuertes para evitar caída prematura de hojas y frutos, la luminosidad en 50% hasta que alcance un buen crecimiento, la humedad en un rango del 70-80%, ya que fuera de este parámetro, el cultivo es propenso a enfermedades. La altitud debe ser entre 250 a 900 msnm (Crespo Andía, 1997).

Enríquez, en 2004, indica que el las condiciones óptimas del suelo para el desarrollo de este cultivo debe cumplir con lo siguiente: profundidad adecuada, no rocoso, buen drenaje y poca pendiente. El cacao se adapta a muchos tipos de suelo, inclusive a aquellos con contenidos bajos de minerales. Los suelos considerados óptimos para cacao son de texturas francas, franco arcillosas y franco arenosas, con pH entre 6,5 – 6,8. La altura máxima sobre el nivel del mar a la que crece está entre 1000 m y 1200 m; y la óptima entre 600 y 800 msnm (Paredes, 2009). El cultivo de cacao puede requerir algún nutriente limitante de su desarrollo normal, la fertilización es necesaria y debe ser aplicada en paralelo con reducción de sombra, control de malezas, riego control de enfermedades, plagas y otras. La cantidad o dosis de fertilizantes es variable y depende del tipo del suelo, el material sombreado, el estado de desarrollo de la planta, la intensidad de la

sombra y otras. La cantidad exacta de nutrientes removida por un cultivo en particular depende del estado nutricional de la plantación, pero, en promedio, 1000 kg de semilla de cacao extraen 30 kg de N, 8 kg  $P_2O_5$ , 40 kg de  $K_2O$ , 13 kg de CaO y 10 kg de MgO. Además, también se remueven nutrientes en la cáscara de la mazorca que es rica en K y se requieren nutrientes para construir el cuerpo del árbol. Todos los macros y micro nutrientes deben ser considerados al diseñar una recomendación de fertilización en una plantación de cacao base a análisis fisicoquímicos del suelo para la fertilización, control del cultivo y determinación de elementos tóxicos (Estrada, Romero Castellano & Moreno Peraza, 2011).

Las aguas utilizadas para riego en la zona de estudio, provienen del cauce de los ríos Chimbo, Coyo y Tenguel, además de pozos que los productores perforan en sus terrenos. Estas condiciones repercuten en la producción de los cultivos, por la salinidad de las aguas y su acumulación creciente en el suelo. Por tratarse de un área agrícola que recibe aproximadamente 1300 mm de lluvias en la época invernal y, 500 mm de lluvias en época seca, puede existir concentración de sales y metales pesados debido al agua de escorrentía manteniéndolos al alcance de las raíces de las plantas.

#### **1.4.6 Cadmio en el cacao**

La presencia de concentraciones altas de metales en el suelo es tóxica para los seres vivos, ya que bloquean grupos funcionales de moléculas, sustituyen iones esenciales para las células, desnaturalizan enzimas y afectan la integridad de las membranas y orgánulos citoplasmáticos

(Bagjuz & Hayat, 2009). El cadmio es un metal pesado que en determinadas concentraciones es dañino para los riñones y puede producir cáncer (Järup & Åkesson, 2009)

La absorción de cadmio por las plantas en suelos que lo contienen naturalmente o que están contaminados y su incorporación en la cadena alimenticia es un tema científico y de salud que preocupa actualmente a la comunidad internacional (Galán, 2000).

Del Ecuador se tienen reportes de Hewitt y Candy, citados por Sánchez- Dubón (1994), de que los suelos contienen de 0.20 – 0.27 mg/kg de cadmio. Así mismo, Mite (s/a) observó en suelos del Litoral Ecuatoriano cantidades de cadmio en forma total y biodisponible, mayores a las permitidas por el Texto Unificado de Legislación Ambiental Secundario TULAS; sin embargo, califica al suelo y al agua como óptimos para uso agrícola (Sánchez & Dubón , 1994).

Por otro lado, el chocolate es un alimento que apenas se relaciona con intoxicaciones alimentarias. Sin embargo, puede existir el riesgo asociado con la presencia de metales pesados y plaguicidas. En cuanto a los metales, el cadmio es el más habitual en el cultivo de cacao (Loyola & Ramírez, 2007).

El cadmio existe en otros alimentos además del cacao, pero con el chocolate ocurre una circunstancia especial ya que es consumido especialmente por niños lo que provoca que el tema sea particularmente delicado en términos de la salud y la opinión pública. La presencia natural de cadmio en el cacao latinoamericano podría deberse a los suelos volcánicos, al tipo de vegetación y a raíces muy profundas. Además, el agua transporta cadmio a zonas carentes de él (Adeyeye &

P. A. Ajibade, 2005). Las investigaciones han detectado menos cadmio en las plantas más viejas mientras que las plantaciones nuevas presentan mayor contenido. Asimismo, se ha demostrado mayor concentración de cadmio en el cacao en polvo (Codex Alimentarius). Por otro lado, el cacao orgánico muestra el mismo nivel del metal en comparación con el cacao normal.

La contaminación de suelos con cadmio se debe también a la actividad antropogénica. El cadmio es utilizado en varios procesos industriales, como por ejemplo en la elaboración de plásticos, pilas y vidrios, vías principales por las cuales es liberado al ambiente, acumulándose tanto en el agua como en el suelo y, a continuación, en las plantas, animales terrestres y peces. Es así que la exposición humana al cadmio se da por la ingesta de alimentos contaminados, como el cacao (Pinto, Mota, De Varennes, & Pinto, 2004).

#### **1.4.7 Legislación**

La legislación alimentaria se fundamenta en el análisis de riesgos mediante pruebas científicas disponibles. Se establece el principio de precaución cuando una evaluación expone la probabilidad de efectos negativos en la salud. Si persiste la incertidumbre científica, los Estados miembros y la Comisión Europea están capacitados para adoptar medidas de gestión provisionales para luego sentar formalmente una legislación internacional.

No se debe comercializar ningún alimento si es peligroso, es decir, si es perjudicial para la salud o no es apto para el consumo humano o animal. En todas las etapas de la cadena alimentaria, las empresas deben velar porque los alimentos o los piensos cumplan los requisitos

de la legislación alimentaria y verifiquen su observancia así como apliquen las medidas y sanciones en caso de incumplimiento. La trazabilidad de los alimentos y de cualquier otra sustancia que se incorpore a los alimentos debe estar establecida en todas las etapas de la producción, transformación y distribución; por tanto, todos los involucrados están en la obligación de contar con procesos para este fin (Norvell, Wu, Hopkins, & Welch, 2000).

Desde hace aproximadamente 12 años existe discusión sobre los niveles de cadmio detectados en el cacao importado por Europa y procedente de Latinoamérica. Si bien no se han establecido acciones específicas para limitar o prohibir el ingreso de cacao latinoamericano, es necesario prevenir problemas de aceptación del producto ecuatoriano mediante la consideración de los argumentos expuestos por las autoridades europeas. La Unión Europea pretende desde hace años bajar los mínimos aceptables de las cantidades de cadmio que suelen depositarse en la cáscara del cacao producido en Perú, Ecuador, Colombia, Brasil y Centroamérica (PNUMA, 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, 2010).

Sobre la inocuidad de los alimentos, existe legislación a nivel mundial que establece requisitos a ser cumplidos en todas las etapas de la cadena alimentaria, por ejemplo, el Reglamento de la Comunidad Europea (CE) No. 178/2002. Para que los alimentos importados a la Unión Europea (UE) sean comercializados dentro de ella deberán cumplir los requisitos pertinentes de la legislación alimentaria o las condiciones que la Comunidad Europea (CE) reconozca. La UE adoptó el Reglamento (CE) No. 178/2002 en el que se constituyen los requisitos generales de la

legislación alimentaria para la protección de la salud y funcionamiento efectivo del mercado interno.

La industria alemana del chocolate, una de las más importantes del mundo, ha expresado su preocupación debido a que se ha detectado la presencia de cadmio en el cacao latinoamericano lo que podría poner en serio riesgo las exportaciones de cacao de nuestros países. Frente a las posibles consecuencias en el mercado, el Ecuador debe enfrentar el problema de manera oportuna y efectiva. La preocupación de los industriales alemanes en relación al cacao latinoamericano nace de la publicación de una investigación realizada por el Instituto Federal de Evaluación de Riesgos de Alemania (BfR), en el que se establece la presencia de cadmio en el cacao latinoamericano y se sugieren límites máximos del metal en los chocolates (0.3 mg/kg). El estudio del BfR constituye una primera alarma para la industria del cacao de América Latina, por lo tanto, no sería razonable la indiferencia y confiar en que nada pase. Además del estudio del BfR, algunas revistas especializadas en chocolates han publicado artículos sobre la presencia del cadmio en nuestros cacaos. Los italianos han sido los primeros en mencionar el tema del cadmio en el cacao latinoamericano. La Comunidad Europea solicitó que los países productores de cacao realicen mapeos de las zonas cacaoteras de acuerdo a la concentración de cadmio. El mapeo podría probar que no todo el cacao de nuestros países está contaminado frente a la Unión Europea (Arias Leiton, 2008).

Según las normas revisadas en 2014 por la Unión Europea, los contenidos máximos en metales pesados en productos alimenticios determinan que los productos específicos de cacao y chocolate

enumerados a continuación deberán cumplir desde el año 2019 con límites de concentraciones de cadmio como sigue:

1. Chocolate con leche con un contenido en materia seca total de cacao < 30% y cadmio de 0,10 mg/kg a partir 01-01-2019.
2. Chocolate con un contenido de materia seca total de cacao < 50%; chocolate con leche con un contenido en materia seca total de cacao  $\geq$  30% y cadmio 0,30 mg/kg, a partir 01-01-2019.
3. Chocolate con un contenido de materia seca total de cacao  $\geq$  50% y cadmio de 0,80 mg/kg a partir 01-01-2019.
4. Cacao en polvo vendido al consumidor final o como ingrediente en cacao en polvo edulcorado vendido al consumidor final (chocolate para beber) con 0,60 mg/kg, a partir 01-01-2019.

En el caso de los productos específicos de cacao y chocolate, se aplican las definiciones establecidas en los puntos A2, A3 y A4 del Anexo I de la Directiva 2000/36/CE del Parlamento Europeo y del Consejo, de 23 de junio de 2000, relativa a los productos de cacao y de chocolate destinados al consumo humano (Diario Oficial de las Comunidades Europeas, 3-8-2000).

En el 2014, el Consejo Internacional de la Organización Internacional del Cacao (ICCO) y sus órganos subsidiarios se reunieron en Londres para sesión ordinaria. Durante esta reunión se eligió al Presidente y Vicepresidente del Comité Económico Mundial para el año cacaotero 2014-2015, directiva de la que Ecuador resultó Vicepresidente (Ministerio de Agricultura, 2014).

Además de la concentración de cadmio, los Requisitos Legales del Producto Cacao (Proecuador.gob.ec, 2015), mínimos establecidos por la UE y que los exportadores ecuatorianos están obligados a cumplir son (textualmente):

- **Estándares del producto** – basado en Codex Alimentarius, la UE establece nombres, definiciones, características y especificaciones de etiquetado para productos específicos de chocolate y cacao. Los requisitos de los compradores pueden estar por encima de estos requisitos.  
– Codex Alimentarius – Legislación de la UE: productos de cacao y chocolate.

- **Requisitos de aprobación** – la UE regula lo que puede ser añadido a los productos de alimentos y establece estándares específicos para los ingredientes en términos modificación genética y producción orgánica. Estos estándares también se aplican para productos de chocolate.  
– Additives, enzymes and flavourings in food – Organic.

- **Límites de la seguridad alimenticia** – la UE establece umbrales máximos para una variedad de residuos pesticidas, contaminantes y microorganismos que puede significar una amenaza a la salud de los consumidores; cumplir con estos estándares para el chocolate es crucial – Microbiological criteria – Maximum Residue Levels (MRLs) – Contaminants Normas y regulaciones 12 Requisitos legales (Proceso) – APPCC es un estándar mínimo a cumplir:

- **Trazabilidad** – Responsabilidad de los operadores de alimentos (productores, exportadores)
- APPCC – Análisis de Peligros y Puntos Críticos de Control (HACPP): Obligatorio para los productos de chocolate.



- **Pasos del procedimiento** – 7 principios APCC en la industria del chocolate: peligros potenciales a ser prevenidos
- **Biológico:** *Salmonella*; otras contaminaciones biológicas (granos de cacao, nueces, leche en polvo, trabajadores, proceso de producción, roedores, insectos, harina).

- **Físico:** metal, proyectiles, vidrio, madera, piedras (prácticas inapropiadas de los trabajadores, instalaciones pobremente diseñadas, materia prima, falla en los procedimientos).

- **Químico:** metales pesados (mayormente mercurio, cadmio y plomo), pesticidas, toxinas, limpiador de químicos, lubricantes, alérgenos (equipo de limpieza en malas condiciones, ingredientes, toxinas, proceso de producción)

13 Normas y regulaciones Gestión de calidad – yendo más allá de la APPCC”.

#### 1.4.8 Agricultura sostenible y metales pesados

Según la Federación Internacional de Movimientos de Agricultura Orgánica (IFOAM), entre los objetivos de la agricultura sostenible están trabajar con los ecosistemas conociendo sus características, promover los ciclos biogeoquímicos en el sistema agrícola con microorganismos propios, fauna y flora, así como producir alimentos de calidad nutritiva y libres de sustancias tóxicas. Tomando en consideración estos principios de la agricultura ecológica, dirigidos a minimizar el impacto ambiental, hay que destacar el efecto de los metales pesados del suelo en la agricultura mundial.

Las concentraciones anormales de metales pesados en los suelos se deben a dos clases de factores: causas naturales y causas antropogénicas. Los naturales corresponden a fenómenos geológicos como actividad volcánica, procesos de formación de suelos, meteoritos, erosión, terremotos, entre otros. En el suelo agrícola, el contenido de metales pesados debería corresponder únicamente a fuentes naturales de la zona y a los ciclos biogeoquímicos (Barros, 1981).

La contaminación de los suelos por metales pesados, de origen humano, ha aumentado en los últimos años, debido a actividades industriales, fertilizantes químicos, pesticidas, lodos residuales y aguas de desecho producidos por la minería, extracción de petróleo, combustión de carburantes fósiles, entre otros (Puga, Sosa, Lebgue, Quintana, & Campos, 2006).

La absorción de metales pesados por las plantas constituye su ingreso en la cadena alimentaria. A continuación, los metales pesados están disponibles para los herbívoros, carnívoros y humanos directamente o a través de la cadena alimentaria (Méndez, Ramírez & Gutiérrez, 2009).

La Agricultura Sostenible maneja conceptos agroecológicos sobre el ecosistema como fundamento (Leiva, Osorio & Ramírez, 2007). La Agroecología constituye un paradigma productivo reciente, compuesto por ciencias, técnicas y prácticas combinadas; además, considera opciones a los procedimientos agrícolas tradicionales. La agricultura ecológica plantea la producción sostenible prescindiendo de la aplicación de sustancias químicas tóxicas, se fundamenta en la planificación a largo plazo del manejo del suelo, rotación de cultivos, incorporación de materia orgánica, uso de cultivos de cobertura y abonos verdes, prácticas

culturales, conservación de suelos y agua, control biológico de plagas y enfermedades; así como la utilización de recursos propios, reciclaje de nutrientes, diversificación de la producción, diversidad de vida y conservación del medio ambiente (Enríquez & Gustavo, 2004).

### 1.5 Hipótesis

En los suelos de los distintos agricultores de cada cantón de la provincia del Guayas existen diferentes concentraciones de cadmio y correlaciones con el pH, salinidad, textura y nutrientes en los suelos cacaoteros de la Provincia del Guayas – Ecuador.

A distintas profundidades existen diferentes concentraciones de cadmio y relaciones con el pH, salinidad, textura y nutrientes en los suelos cacaoteros de la Provincia del Guayas – Ecuador.

## **CAPÍTULO 2**

### **MATERIALES Y MÉTODOS**

#### **2.1 Participantes**

Las empresas auspiciantes del proyecto de tesis fueron AGROCALIDAD por medio de la Coordinación de Servicios de Laboratorios, La Coordinación Distrital del Guayas y La Unión de Organizaciones Campesinas Cacaoteras UNOCASE.

En el estudio participó como directora, Alma Koch Kaiser MSc., docente de la Carrera de Ingeniería en Biotecnología y en calidad de tesista el Sr. Ing. Rusbel Jaramillo Chamba, egresado de la Maestría en Agricultura Sostenible III de la Universidad de las Fuerzas Armadas – ESPE.

La ejecución del presente trabajo de investigación se llevó a cabo en dos partes que se fueron desarrollando paralelamente tanto en campo como laboratorio.

#### **2.2 Zona de estudio**

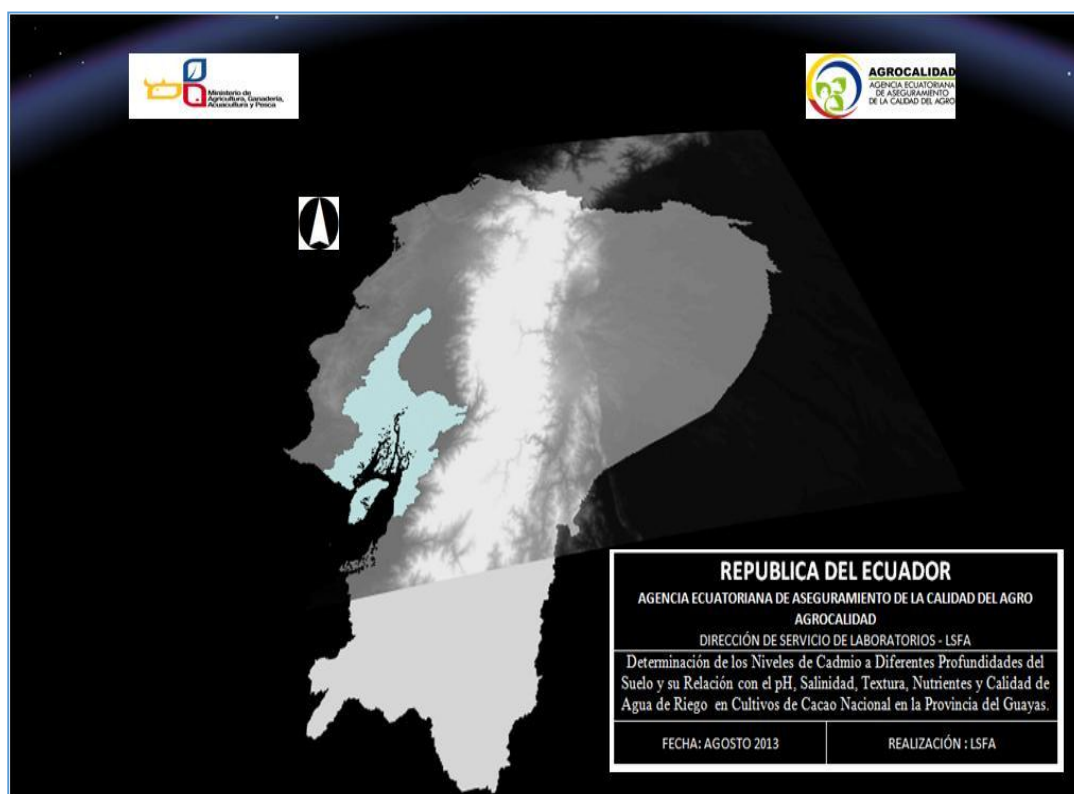
##### **2.2.1 Localización del estudio**

El presente estudio se desarrolló en la Provincia del Guayas localizada en la región litoral del Ecuador, en un rango de Latitud: S 1° 0' / S 0° 50' y Longitud: W 79° 45' / W 79° 30';

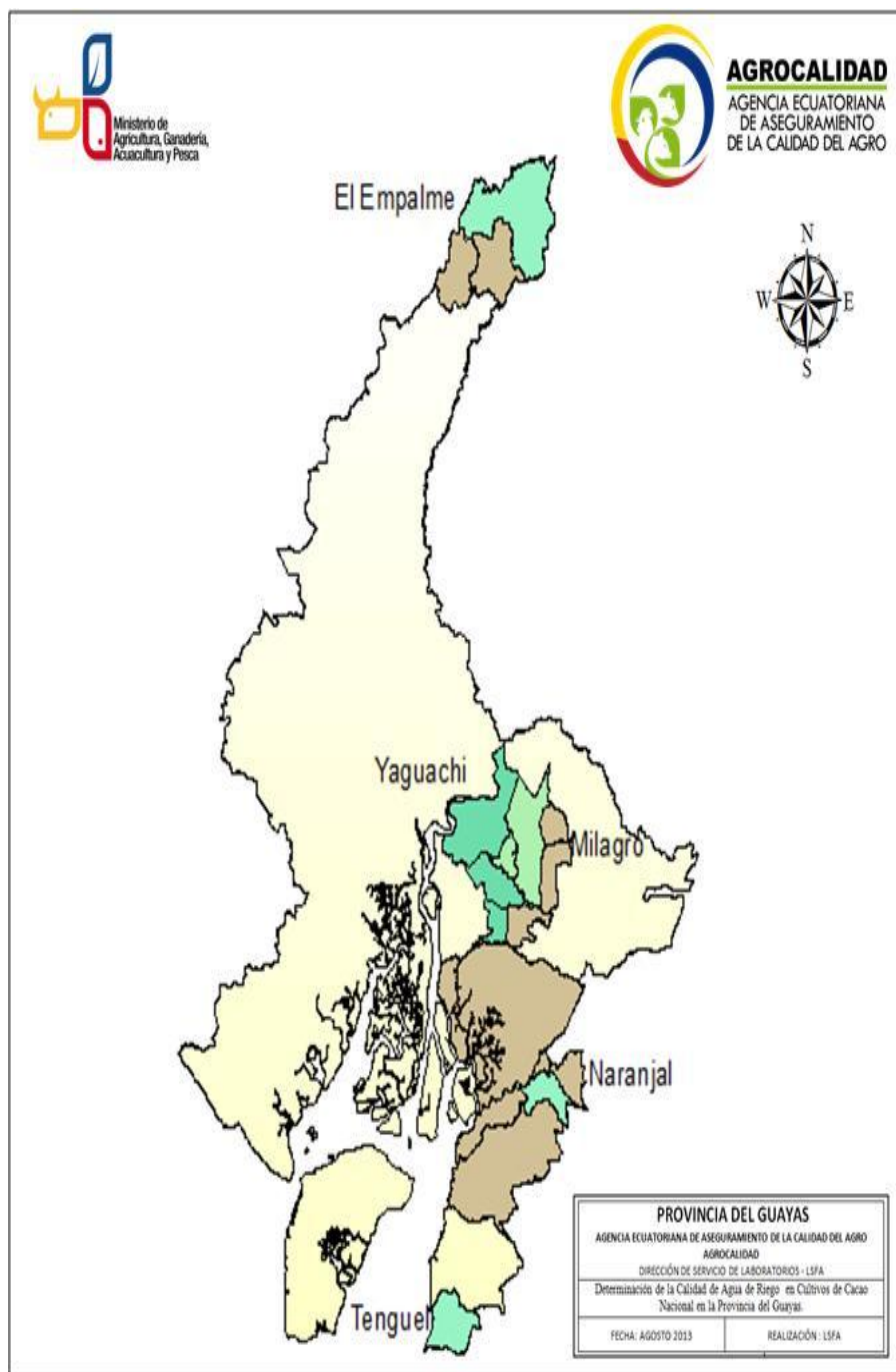
coordenadas planas UTM aproximadamente: Norte: 9889440 / 9907850 y Este: 639080 / 666920, y conforme a lo mencionado anteriormente el estudio de caracterización de suelos fue realizado en los lugares identificados en la Figura 1.

### 2.2.2 Georreferenciación de la zona

Se realizó la georreferenciación y análisis de la caracterización de los suelos basados en las áreas geográficas y coordenadas que se tomaron por cada sub muestra de los diferentes productores de la zona en estudio a nivel de parroquia y cantón.



*Figura 1.* Mapa del Ecuador, Prov. Del Guayas-Fincas-UNOCACE

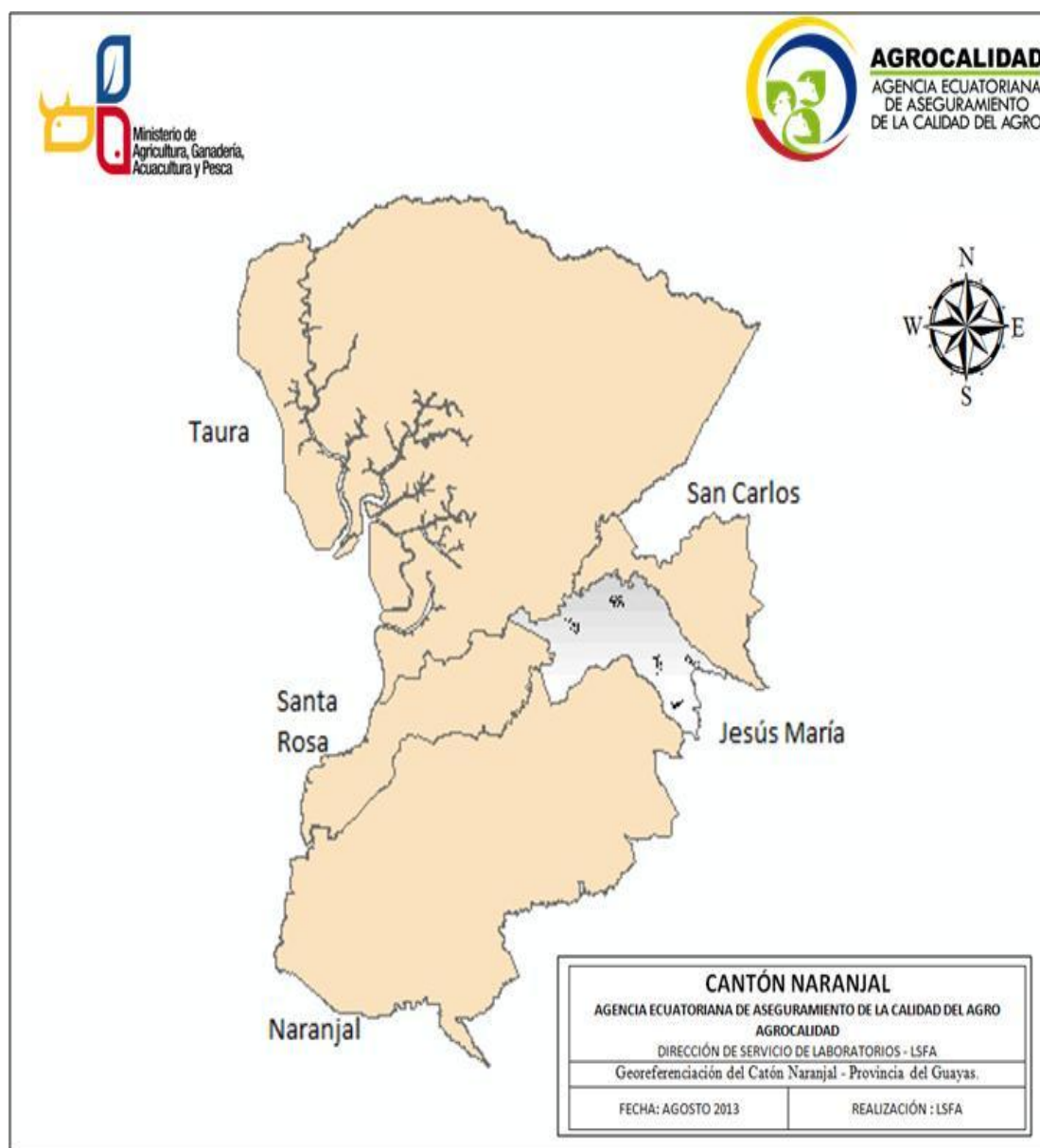


**Figura 2.** Provincia del Guayas-Fincas-UNOCACE

En las Figura 1 y 2 se pueden apreciar las zonas de estudio en la Provincia del Guayas: Milagro, El Empalme, Yaguachi, Naranjal y la parroquia Tenguel del Cantón Guayaquil.

## Caracterización del suelo del cantón Naranjal

La zona georreferenciada en estudio del Cantón Naranjal (Figura 3) se ubica en la parroquia Jesús María en la cual la organización muestreada fue la de Villanueva.

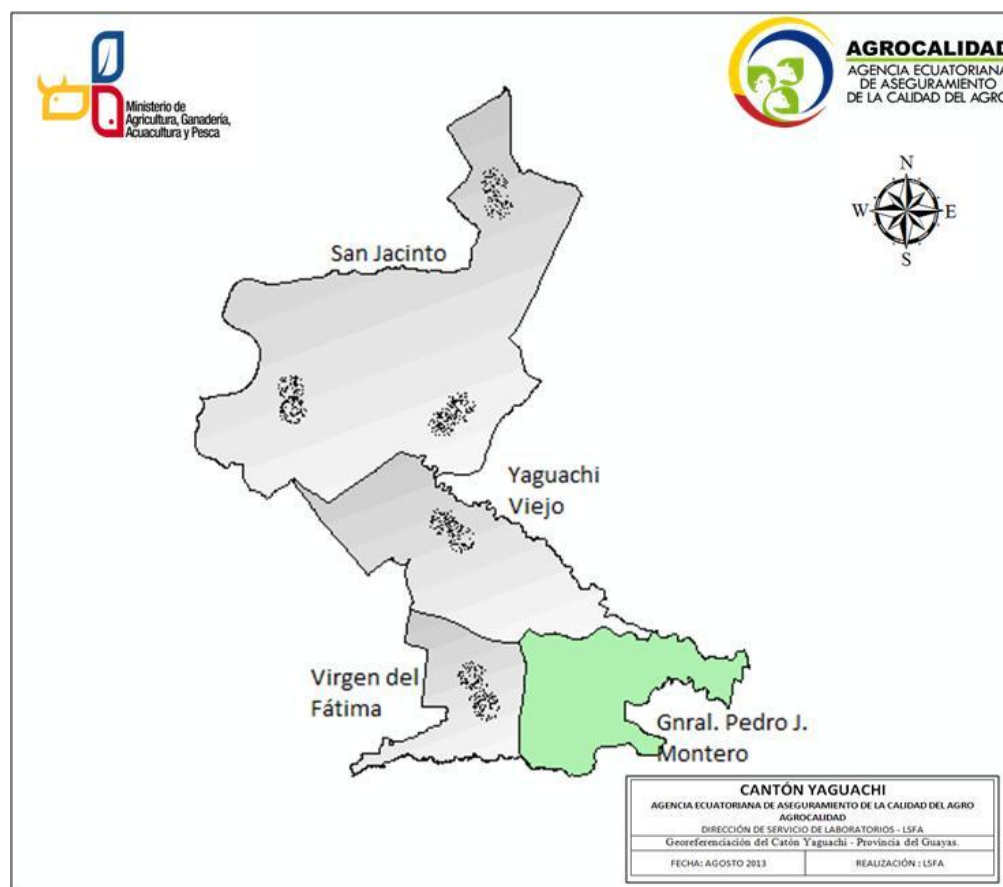


**Figura 3.** Naranjal, Prov. del Guayas-Fincas-UNOCACE

Son suelos formados por sedimentación aluvial de materiales volcánicos, de color amarillo, rojizo o pardo, con piedra arena y profundidad variable pH neutros no salinos (Instituto Geográfico Militar, 1966).

### Caracterización del suelo del Cantón Yaguachi

La zona georreferenciada en estudio del Cantón Yaguachi (Figura 4) se ubica en las parroquias San Jacinto, El Deseo y Virgen de Fátima. En esta zona estudiada se encuentra la organización de El Deseo.



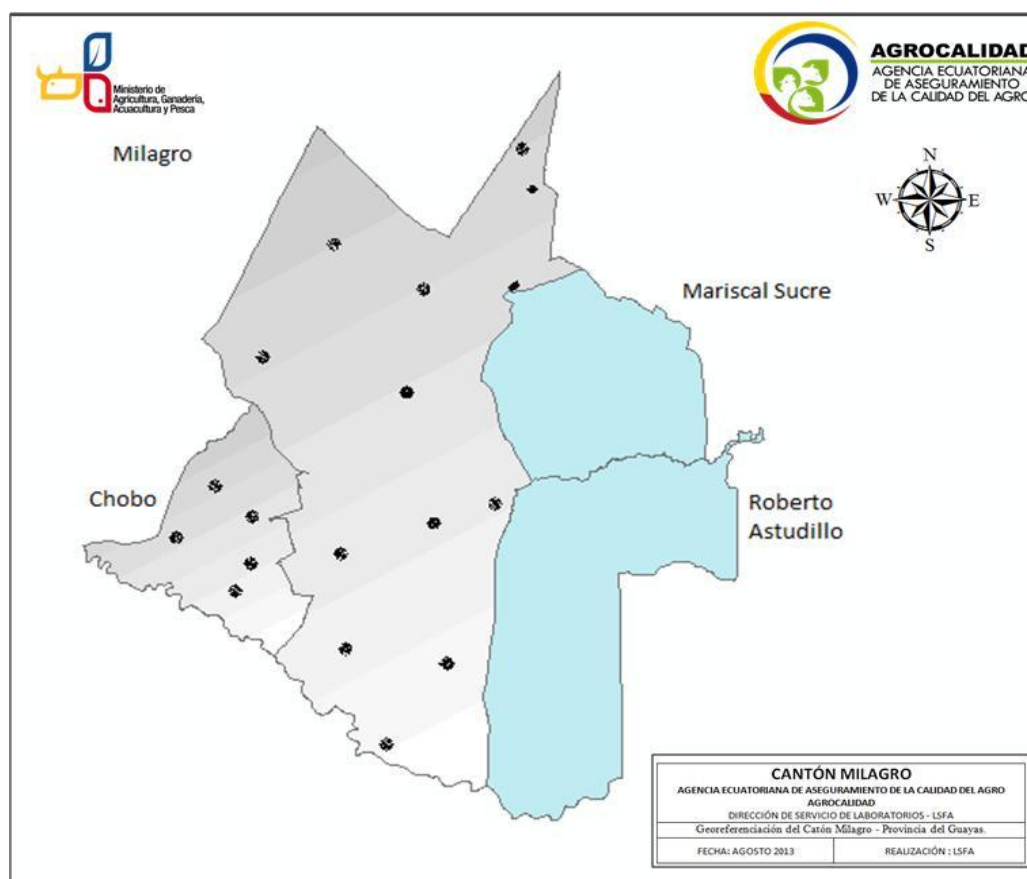
**Figura 4.** Yaguachi, Prov. del Guayas-Fincas-UNOCACE



Son suelos pocos desarrollados muy arcillosos con dominancia de montmorillonita y poca materia orgánica; con alta saturación de bases y densidades aparentes, formadas por sedimentos aluviales con poco carbonato de calcio y a veces saturados (Instituto Geográfico Militar, 1966).

### Caracterización del suelo del Cantón Milagro.

La zona georreferenciada en estudio del Cantón Milagro (Figura 5) se ubica en las parroquias Milagro y Chobo. En esta zona se encuentran las organizaciones 2 de Mayo y Tomás Arboleda.



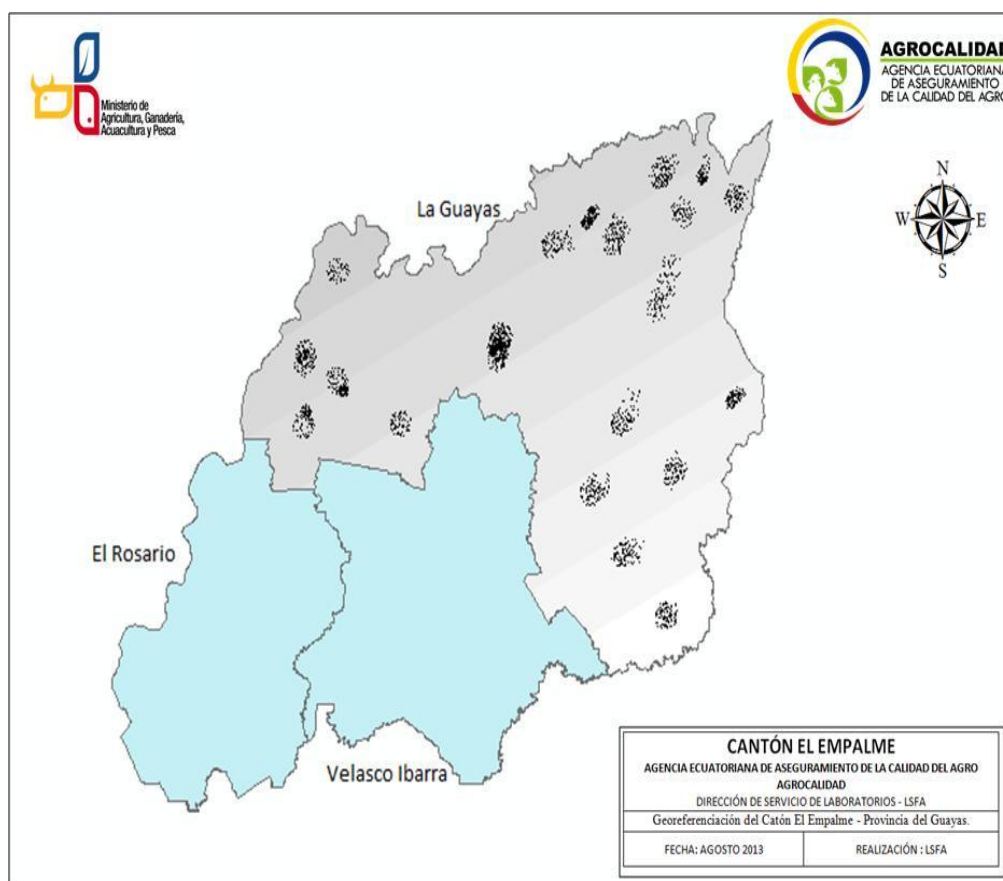
**Figura 5.** Milagro, Prov. del Guayas-Fincas-UNOCACE

## Organización 2 de Mayo y Tomás Arboleda

Suelos con pH neutros no salinos, suelos minerales poco desarrollados muy arcillosos con dominancia de montmorillonita, poca cantidad de materia orgánica, alta en saturación de bases, a veces saturados con agua. Son valles costeros aluviales (Instituto Geográfico Militar, 1966).

## Caracterización de suelos del Cantón El Empalme.

La zona georreferenciada en estudio del Cantón El Empalme (Figura 6) se ubica en la parroquia La Guayas (Pueblo Nuevo), corresponde a la organización de Buena Suerte.



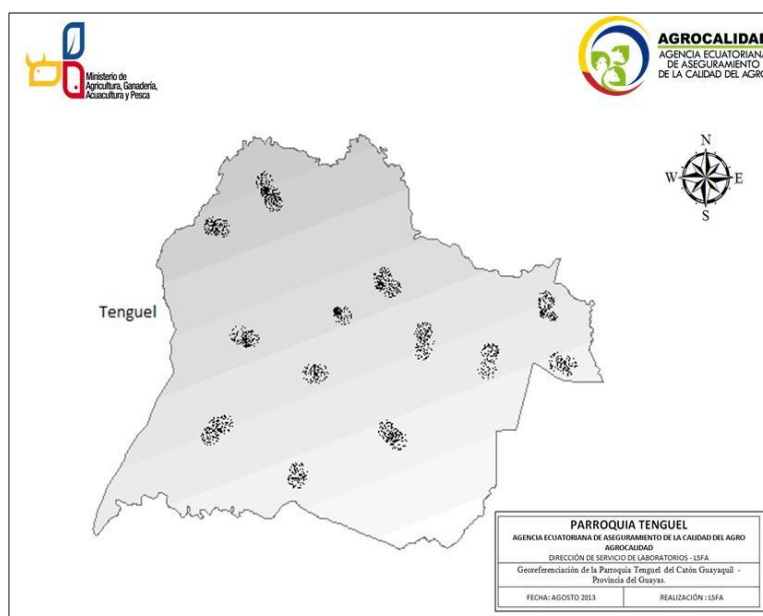
**Figura 6.** El Empalme, Prov. del Guayas-Fincas-UNOCACE

Son suelos libres de sales, con pH neutro y alto contenido de materia orgánica, por su contenido de sedimentos volcánicos se encuentran minerales como el Cu y el Zn naturalmente en el suelo (Instituto Geográfico Militar, 1966).

### Caracterización del suelo del Cantón Guayaquil (Tenguel)

La zona georreferenciada en estudio corresponde al Cantón Guayaquil (Figura 7) y se ubica en la parroquia Tenguel. La organización es Voluntad de Dios.

Son suelos minerales poco desarrollados muy arcillosos con dominancia de montmorillonita y poca materia orgánica. Altas bases saturadas y densidad aparente. Medianamente profundos con rocas, piedras y poco carbonato de calcio. Suelos neutros no salinos (Instituto Geográfico Militar, 1966).



**Figura 7.** Tenguel, Cantón Guayaquil. Prov. del Guayas-Fincas-UNOCACE

## **2.3 Desarrollo de la investigación**

### **2.3.1 Trabajo de campo**

Se llevó a cabo por la Coordinación Provincial del Guayas de AGROCALIDAD, en conjunto con UNOCACE, entre los meses de enero y junio del 2015, en época lluviosa, durante el cual se tomaron 897 muestras de suelos en fincas cacaoteras de los cantones Naranjal, Milagro, Yaguachi y El Empalme y la parroquia Tenguel del cantón Guayaquil, de la Provincia del Guayas.

#### **2.3.1.1 Selección de las fincas y colecta de las muestras**

Basándose en el procedimiento de toma de muestras de suelos PEM-LS-01 (Anexo 1), el muestreo de suelos se desarrolló mediante barrenaciones en zig-zag a seis diferentes profundidades que van desde los 0 a 20 / 20 a 40 / 40 a 60 / 60 a 80 / 80 100 y 100 a 150 cm, con ayuda de barrenos de tornillo.

Tomando en consideración la tabla de muestreo de la ISO/INEN 2859 (Anexo 2), y todas las organizaciones que conforman la UNOCACE, se llevó a cabo un manejo estratificado de la zona y de los productores, siendo éstos grandes o pequeños, para seleccionar muestras representativas que abarcaran toda la zona en estudio.

En base a la tabla de muestreo se tomaron por cada productor un número representativo de submuestras para formar muestras compuestas; por ejemplo para la finca del Sr. Reyes Caicedo

Víctor Gaudencio que cuenta con un área registrada de producción de 16 ha, la tabla de muestreo indica que se debe muestrear 5 ha, seis profundidades, un total de 30 muestras compuestas. El número de muestras y submuestras se encuentra detallado en el Anexo 3.

Las muestras de suelos fueron transportadas en recipientes tolerantes a golpes manteniendo la cadena de frío hasta los 4 °C y etiquetados para saber su ubicación y no alterar sus componentes fisicoquímicos.

#### **2.3.1.2 Materiales de Campo**

En la toma de muestras se contó con los siguientes materiales: barreno, palas saca bocados, azadones, machetes, fundas plásticas, termos, geles refrigerantes, GPS, libro de campo, marcadores, esferográficos, material volumétrico, etiquetas, cajas de cartón.

#### **2.3.2 Trabajo de laboratorio**

Las muestras se analizaron en el Laboratorio de Suelos, Foliare y Aguas de la Coordinación de Servicios de Laboratorio de la Agencia Ecuatoriana de Aseguramiento de la Calidad del Agro.

Se realizaron los análisis de: pH, conductividad eléctrica, textura, materia orgánica, nitrógeno, fósforo, potasio, calcio, magnesio, hierro, cobre, manganeso, zinc y cadmio en la matriz suelo y

pH, conductividad eléctrica, sodio, potasio, calcio, magnesio, hierro, cobre, manganeso, zinc, cadmio, dureza, cloruros y alcalinidad para la matriz aguas.

La metodología para la realización de los ensayos se referenció en el Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater, Sampling and Analysis Methods-Compilation of EPA's y en las Metodologías Unificadas de la Red de Laboratorios de Suelos del Ecuador (RELEASE).

#### **2.3.2.1 Materiales de laboratorio**

Los materiales que se utilizaron en las diferentes determinaciones son: vasos plásticos, espátula, embudo buchner, material volumétrico, papel filtro, capsulas de porcelana, desecador, gradillas, tubos de ensayo, micro pipeta, puntas para pipetas, cilindros bouyoucos, termómetro, piceta, tampón de caucho, embudo de vidrio, porta embudos.

#### **2.3.2.2 Equipos de laboratorio**

Para la medición de los parámetros fisicoquímicos se utilizó equipos que se encuentran instalados en el laboratorio de suelos, foliares y aguas de AGROCALIDAD y estos son: Absorción atómica marca PerkinElmer PinAAcle 900F, Espectrofotómetro UV-vis Jasco, Campana de gases, Plancha de calentamiento y agitación, Agitador orbital, Potenciómetro –

Conductímetro marca Mettler Toledo, Balanza analítica, Bomba de vacío, Sistema de filtración en serie, Estufa, Agitador magnético, Vortex, Batidoras, Cronómetro.

### 2.3.2.3 Reactivos

Los reactivos que se utilizó en la preparación de soluciones para cada una de las determinaciones son: Ácido sulfúrico,  $\text{H}_2\text{SO}_4$  (95-97%, Merck), Dicromato de potasio,  $\text{K}_2\text{Cr}_2\text{O}_7$  (99.9%, Merck), Sulfato ferroso amónico,  $(\text{NH}_4)_2\text{Fe}(\text{SO}_4)_2 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$  (85%, Fisher Scientific), Ácido fosfórico,  $\text{H}_3\text{PO}_4$  (85%, Fisher Scientific), molibdato de amonio,  $(\text{NH}_4)_2\text{MoO}_4$  (99%, Merck), Ácido ascórbico,  $\text{C}_6\text{H}_8\text{O}_6$  (100.1%, J.T Baker), Goma arábica, Fosfato monobásico de potasio,  $\text{KH}_2\text{PO}_4$  (99.8%, J.T Baker), Bicarbonato de sodio  $\text{NaHCO}_3$  (99.8%, Fermont), Ácido etil diamino tetra acético,  $\text{C}_{10}\text{H}_{16}\text{N}_2\text{O}_8$  (100.8%, Fisher Scientific), Óxido de lantano,  $\text{La}_2\text{O}_3$  (10%), Ácido clorhídrico,  $\text{HCl}$  (37.2%, Fermont), Estándar comercial para K, Ca, Mg, Mn, Fe, Cu, Zn y Na, Hidróxido de sodio,  $\text{NaOH}$  (99%), Cloruro de bario,  $\text{BaCl}_2$  (99.6%, Fisher Scientific), Sulfato de magnesio hepta hidratado,  $\text{MgSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$  (100%, Merck), Hexametáfosfato de sodio  $(\text{NaPO}_3)_6$  (Fisher Scientific), Alcohol amílico,  $\text{CH}_3(\text{CH}_2)_3\text{CH}_2\text{OH}$ , Ácido nítrico,  $\text{HNO}_3$  (65%, Merck), Solución estándar de cadmio de 1000 mg/l (Accustandard). El agua utilizada en todas las soluciones y ensayos fue tipo I.

### 2.3.2.4 Análisis de muestras de suelo

#### 2.3.2.4.1 Preparación de las muestras

Las muestras de suelos se prepararon de acuerdo a los requerimientos del laboratorio. Se secaron en una estufa de aire forzado a una temperatura aproximada de 60 °C, posteriormente se molieron en un disgregador de suelo de mandíbulas y se tamizaron a un tamaño de partícula de 2 mm.

#### 2.3.2.4.2 Determinación de las características físicas

La caracterización física de las 897 muestras de suelos agrícolas tomadas en la provincia del Guayas se basa en la determinación de:

- pH (potencial de hidrógeno), utilizando el método potenciométrico se midió con un equipo marca Mettler-Toledo, el cual fue calibrado y verificado diariamente con las soluciones amortiguadoras de pH  $4.0 \pm 1\%$ ,  $7.0 \pm 1\%$  y  $10.0 \pm 2\%$ . y una relación de suelo: agua 1:2.5.
- Textura (cantidad de arena, limo y arcilla), usando el método de Bouyoucos.
- Conductividad eléctrica (salinidad presente en el suelo), mediante pasta saturada con el método conductimétrico y se midió con un equipo de marca Mettler-Toledo, calibrado y



verificado diariamente con los estándares de  $1288 \mu\text{s}/\text{cm} \pm 2\%$   $25^\circ\text{C}$  y  $1413 \mu\text{s}/\text{cm} \pm 2\%$   $25^\circ\text{C}$ .

#### **2.3.2.4.3 Determinación de las características químicas**

Para realizar la caracterización química, se analizó:

- Materia orgánica (MO), por el método de titulación Walkley – Black (Galantini, 1994).
- Nitrógeno (N), mediante el cálculo a partir de la materia orgánica.
- Fósforo (P), por colorimetría con un espectrofotómetro UV – VIS marca Jasco y con extracción en Olsen modificado.
- Potasio (K), calcio (Ca), magnesio (Mg), cobre (Cu), manganeso (Mn), hierro (Fe) y zinc (Zn) se utilizó un equipo de absorción atómica marca PerkinElmer, modelo PinAAcle 900F, con extracción en Olsen modificado.

#### **2.3.2.4.4 Determinación del metal pesado cadmio (Cd)**

Para la determinación de cadmio en suelos (Anexo 4), se realizó una digestión ácida, utilizando agua regia (mezcla de ácido nítrico y clorhídrico en relación 1:3), para luego ser cuantificado por espectroscopía de absorción atómica-llama.

La técnica de absorción atómica utilizada para la cuantificación de cadmio en suelos se desarrolló en un equipo marca PerkinElmer, modelo PinAAcle 900F, con un rango lineal entre 75 y 500  $\mu\text{g}/\text{kg}$ , con un límite de detección y cuantificación en muestra de 0.19 y 0.40  $\text{mg}/\text{kg}$ , respectivamente.

## 2.4 Área de influencia

Este proyecto de tesis de maestría es parte de un macro proyecto de prioridad nacional llevado a cabo en AGROCALIDAD (Agencia Ecuatoriana de Aseguramiento de la Calidad del Agro).

El área de influencia es el Ecuador y los países compradores de cacao ecuatoriano.

Los principales beneficiarios son las Organizaciones Campesinas Cacaoteras (UNOCACE) en la provincia de Guayas y todas las instituciones interesadas en la producción y comercialización de cacao, que pretenden disminuir las pérdidas de cultivo por la contaminación de cadmio en los suelos influyendo directamente en pérdidas económicas y restricciones tanto de compra como de exportación.

## 2.5 Tratamiento y análisis estadístico

### 2.5.1 Procesamiento de la información:

a) **Diseño experimental.** - Se realizó un diseño de bloques completamente al azar (DBCA)

AxB, con tres repeticiones en seis localidades.

b) **Factores en estudio.** - Se tienen los siguientes factores:

**Tabla 1**

*Factor uno en estudio F1(A). - Está compuesta por el número de agricultores o productores de las seis Asociaciones en estudio.*

<b>Cantón</b>	<b>Asociaciones</b>	<b>Agricultores o productores</b>
<b>Milagro</b>	2 de Mayo	13
<b>El Empalme</b>	Buena Suerte	20
<b>Yaguachi</b>	El Deseo	8
<b>Milagro</b>	Tomás Arboleda	13
<b>Naranjal</b>	Villanueva	5
<b>Tenguel (Guayaquil)</b>	Voluntad de Dios	13

**Tabla 2**

*Factor dos en estudio F2 (B). - el siguiente factor está compuesta por seis profundidades en que se toma las muestras.*

<b>Código</b>	<b>Profundidades de muestreo (cm)</b>
<b>P1</b>	0-20
<b>P2</b>	20-40
<b>P3</b>	40-60
<b>P4</b>	60-80
<b>P5</b>	80-100
<b>P6</b>	100-150

**Tabla 3**

*Tratamientos en estudio F3(C) Tratamientos. - Los tratamientos a probados en esta investigación son la combinación entre el F1 (Agricultores) x F2 (Profundidades).*

<b>Asociaciones</b>	<b>Combinación de factores</b>	<b>Número total de tratamientos</b>
<b>2 de Mayo</b>	F1XF2 13x6	78
<b>Buena Suerte</b>	F1XF2 20x6	120
<b>El Deseo</b>	F1XF2 8x6	48
<b>Tomás Arboleda</b>	F1XF2 13x6	78
<b>Villanueva</b>	F1XF2 5x6	30
<b>Voluntad de Dios</b>	F1XF2 13x6	78

- c) **Tipo de Diseño.** - Se utilizó seis localidades además con dos factores en estudio (Agricultores x Profundidades), con un diseño de bloques completos al azar (DBCA), con tres repeticiones.

$$X_{ij} = \mu + T_i + B_j + E_{ij}$$

Dónde:

$X_{ij}$  = variable dependiente de respuesta a las concentraciones de cadmio

$\mu$  = Media general

$T_i$  = Efecto de tratamientos

$B_j$  = Efecto de repeticiones

$E_{ij}$  = Error de los tratamientos y las repeticiones

- d) **Características de la unidad experimental.** - Cada unidad experimental está conformada por cada uno de los agricultores que se encuentran ubicados en las asociaciones 2 de Mayo, Buena Suerte, El Deseo, Tomás Arboleda, Villanueva y Voluntad de Dios ubicadas en los cantones Milagro, El Empalme, Yaguachi, Naranjal y la parroquia de Tenguel en el cantón Guayaquil de la Provincia del Guayas.

- e) **Las variables a analizarse:** El proyecto contempló las siguientes variables:

- Potencial de Hidrógeno (pH)
- Conductividad eléctrica (C.E.)
- Clase Textural (Tx)
- Cantidad de materia orgánica (M.O.)

- Fósforo (P)
- Potasio (K)
- Calcio (Ca)
- Magnesio (Mg)
- Hierro (Fe)
- Cobre (Cu)
- Manganeso (Mn)
- Zinc (Zn)
- Cadmio (Cd)

**f) Análisis estadístico.** - Se realizó un análisis de varianza (ADEVA) para las variables consideradas en este estudio, mencionadas en el punto anterior.

**g) Esquema del análisis de varianza.** - Se analizó para cada uno de las localidades el análisis de la varianza considerando los dos factores en estudio con tres repeticiones que se detalla a continuación:

**Tabla 4**

*Esquema del ADEVA para comparar Fincas vs. Profundidad vs. Parámetros + Cadmio, Cantón Milagro (2 de Mayo).*

<b>Fuente de Variabilidad</b>	<b>Grados de Libertad</b>
<b>Tratamiento</b>	77
<b>Productor o fincas</b>	12
<b>Profundidad</b>	5
<b>Productor x profundidad</b>	60
<b>Repetición</b>	2
<b>Error</b>	155
<b>Total</b>	232

**Tabla 5**

*Esquema del ADEVA para comparar Fincas vs. Profundidad vs. Parámetros + Cadmio, Cantón El Empalme (Buena Suerte)*

<b>Fuente de Variabilidad</b>	<b>Grados de Libertad</b>
<b>Tratamiento</b>	119
<b>Productor o fincas</b>	19
<b>Profundidad</b>	5
<b>Productor x profundidad</b>	95
<b>Repetición</b>	2
<b>Error</b>	240
<b>Total</b>	359

**Tabla 6**

*Esquema del ADEVA para comparar Fincas vs. Profundidad vs. Parámetros + Cadmio, Cantón Yaguachi (El Deseo)*

<b>Fuente de Variabilidad</b>	<b>Grados de Libertad</b>
<b>Tratamiento</b>	47
<b>Productor o fincas</b>	7
<b>Profundidad</b>	5
<b>Productor x profundidad</b>	35
<b>Repetición</b>	2
<b>Error</b>	96
<b>Total</b>	143

**Tabla 7**

*Esquema del ADEVA para comparar Fincas vs. Profundidad vs. Parámetros + Cadmio, Cantón Milagro (Tomás Arboleda)*

<b>Fuente de Variabilidad</b>	<b>Grados de Libertad</b>
<b>Tratamiento</b>	77
<b>Productor o fincas</b>	12
<b>Profundidad</b>	5
<b>Productor x profundidad</b>	60
<b>Repetición</b>	2
<b>Error</b>	155
<b>Total</b>	232



**Tabla 8**

*Esquema del ADEVA para comparar Fincas vs. Profundidad vs. Parámetros + Cadmio, Cantón Milagro (2 de Mayo)*

<b>Fuente de Variabilidad</b>	<b>Grados de Libertad</b>
<b>Tratamiento</b>	29
<b>Productor o fincas</b>	4
<b>Profundidad</b>	5
<b>Productor x profundidad</b>	20
<b>Repetición</b>	2
<b>Error</b>	60
<b>Total</b>	89

**Tabla 9**

*Esquema del ADEVA para comparar Fincas vs. Profundidad vs. Parámetros + Cadmio, Cantón Guayaquil - Tenguel (Voluntad de Dios)*

<b>Fuente de Variabilidad</b>	<b>Grados de Libertad</b>
<b>Tratamiento</b>	77
<b>Productor o fincas</b>	12
<b>Profundidad</b>	5
<b>Productor x profundidad</b>	60
<b>Repetición</b>	2
<b>Error</b>	155
<b>Total</b>	232

**h) Coeficiente de variación. -**

$$CV = \frac{\sqrt{CMEE}}{\text{promedio}}$$

Dónde:

CV: Coeficiente de variación

CMEE: Cuadrados medios del error experimental

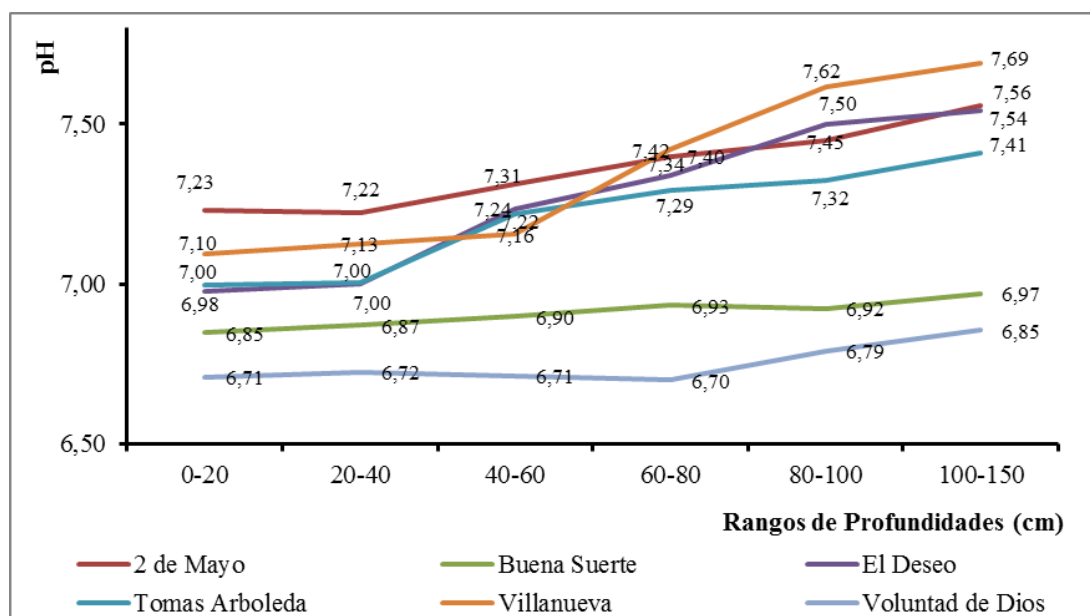
- i) **Análisis funcional.** - Se realizaron pruebas de significación de Scheffé al 5% con el programa estadístico STATA 12.

## CAPÍTULO 3

### RESULTADOS

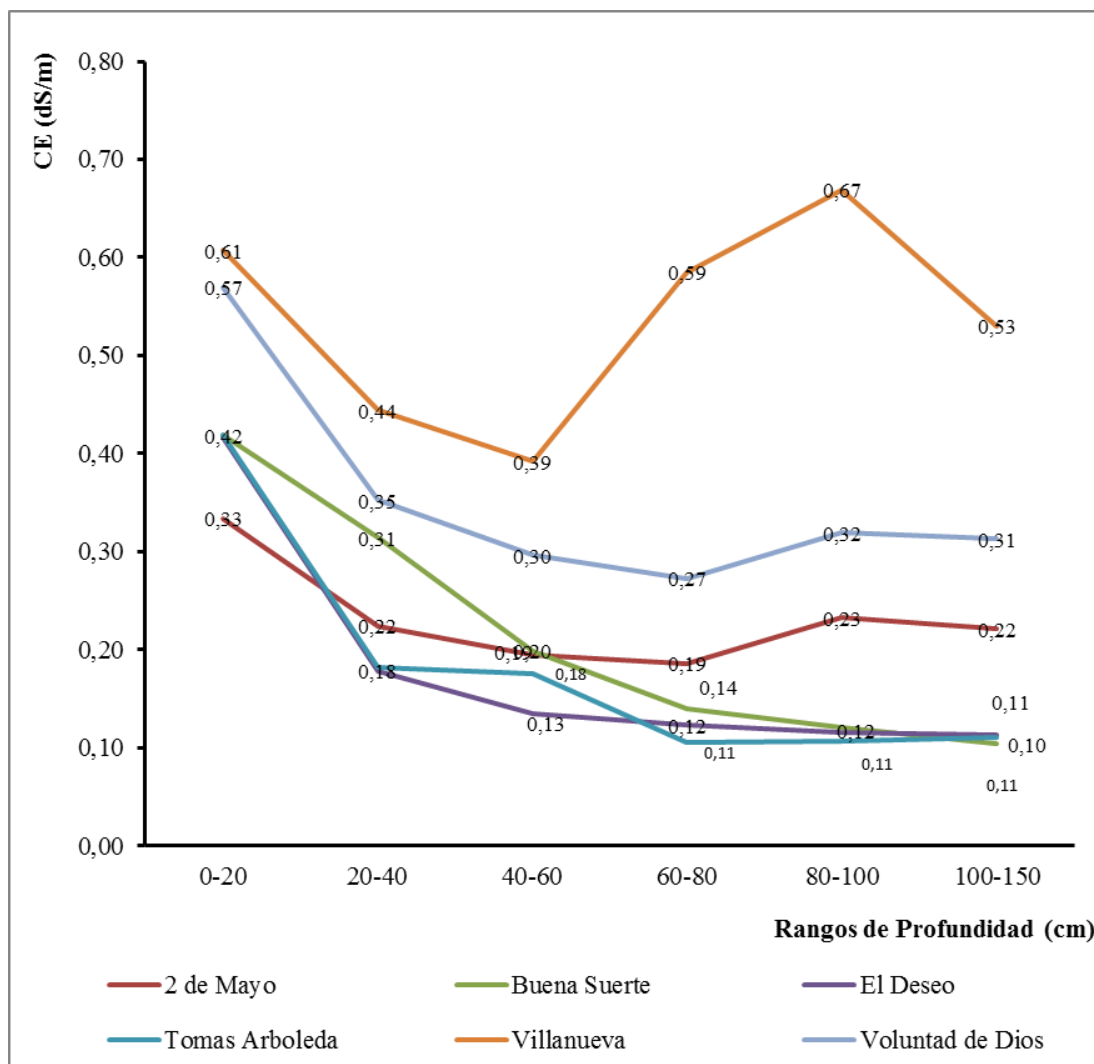
Con el objetivo de analizar el comportamiento de las variables fisicoquímicas medidas en las muestras de suelo respecto a diferentes profundidades de muestreo, se realizaron gráficas de variables versus rangos de profundidad de muestreo, en promedio por organizaciones que conforman la asociación UNOCACE.

Para interpretar los criterios de calidad de suelos muestreados en las organizaciones (2 de Mayo, Voluntad de Dios, Villanueva, Thomas Arboleda, Buena Suerte y El Deseo), se tomó como base el Texto Unificado de Legislación Ambiental Secundario, Libro VI, Anexo 2, Tabla 2, "Criterios de Calidad de Suelo" (Anexo 5) y niveles de interpretación para los resultados de análisis de suelos (Anexo 6) según los criterios de (HUNTER, 1977), utilizados por la Red de Laboratorios de Suelos del Ecuador RELASE.



**Figura 8.** Concentración pH vs Rangos de Profundidades de Muestreo. Prov. del Guayas-Fincas-UNOCACE.

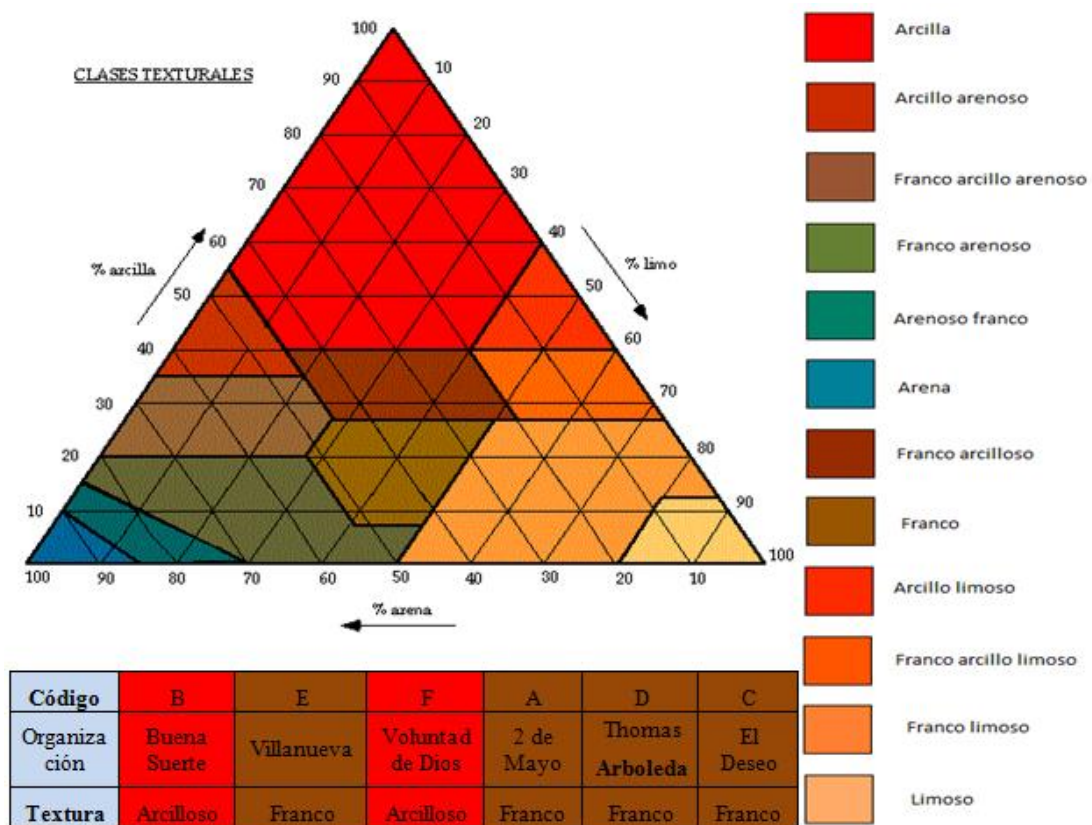
En la Figura 8 se presenta las concentraciones de pH en las muestras tomadas en diferentes profundidades en los cantones donde se sitúan las organizaciones que conforman la UNOCACE.



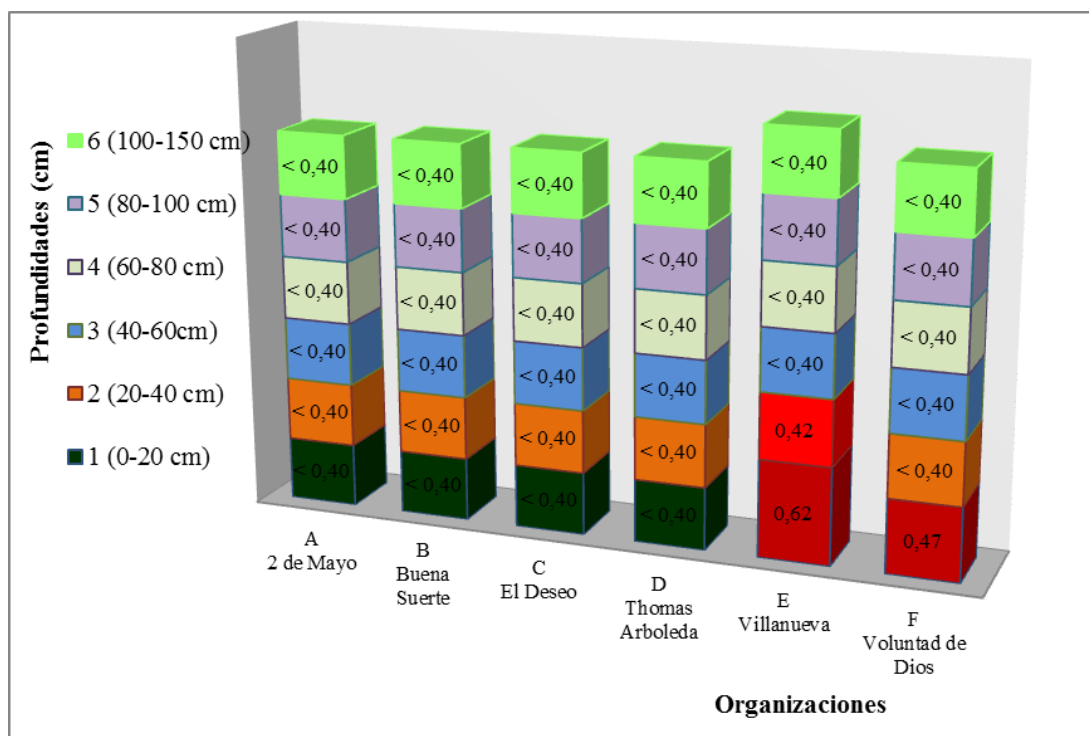
**Figura 9.** Conductividad Eléctrica vs Profundidades de Muestreo. Prov. del Guayas-Fincas-UNOCACE.

En la Figura 9, se presentan los datos de conductividad eléctrica de las muestras tomadas a diferentes profundidades en los cinco cantones de la provincia del Guayas.

Según el reporte de resultados emitidos por el laboratorio la clase textural de los suelos de la UNOCACE se encuentran en un rango que van de franco a arcillosos, como se puede apreciar en la Figura 10.



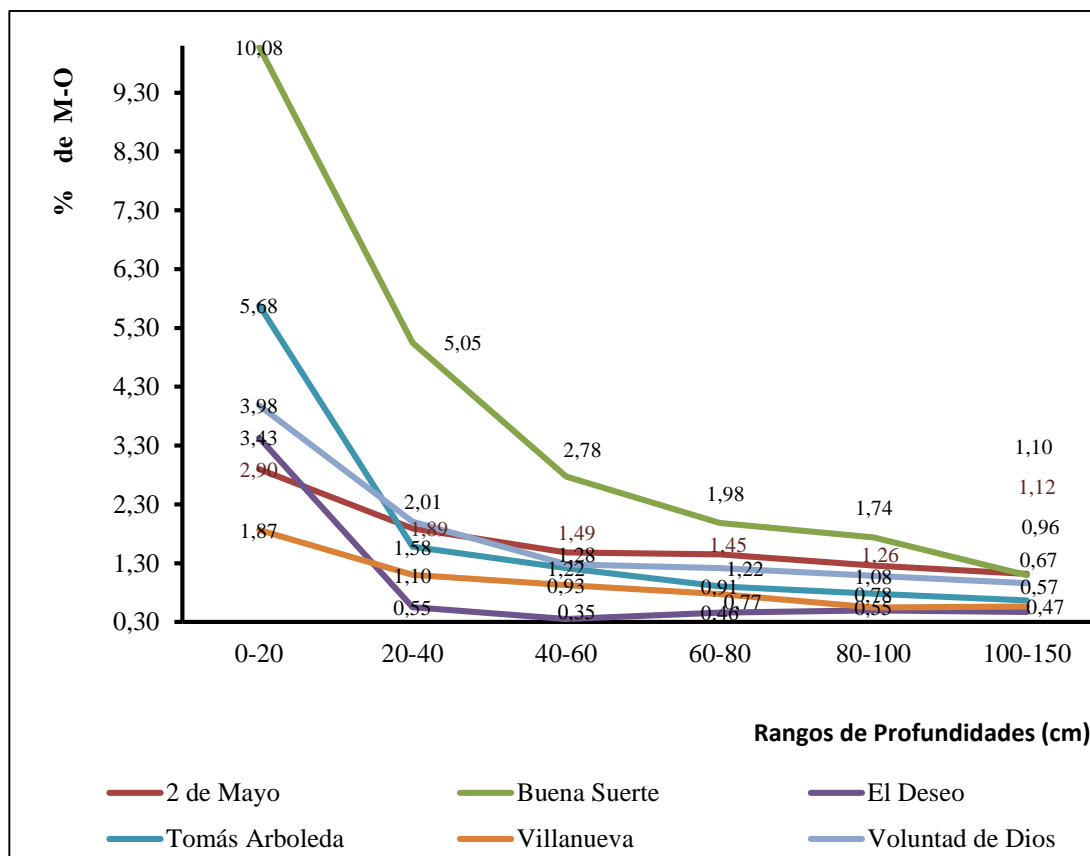
**Figura 10 .** Clasificación del Suelo en la Provincia del Guayas por Organizaciones de Acuerdo al Triángulo de Texturas. Prov. del Guayas-Fincas-UNOCACE.



**Figura 11.** Concentración de Cadmio por Organizaciones a Diferentes Rangos de Profundidades. Prov. del Guayas-Fincas-UNOCACE.

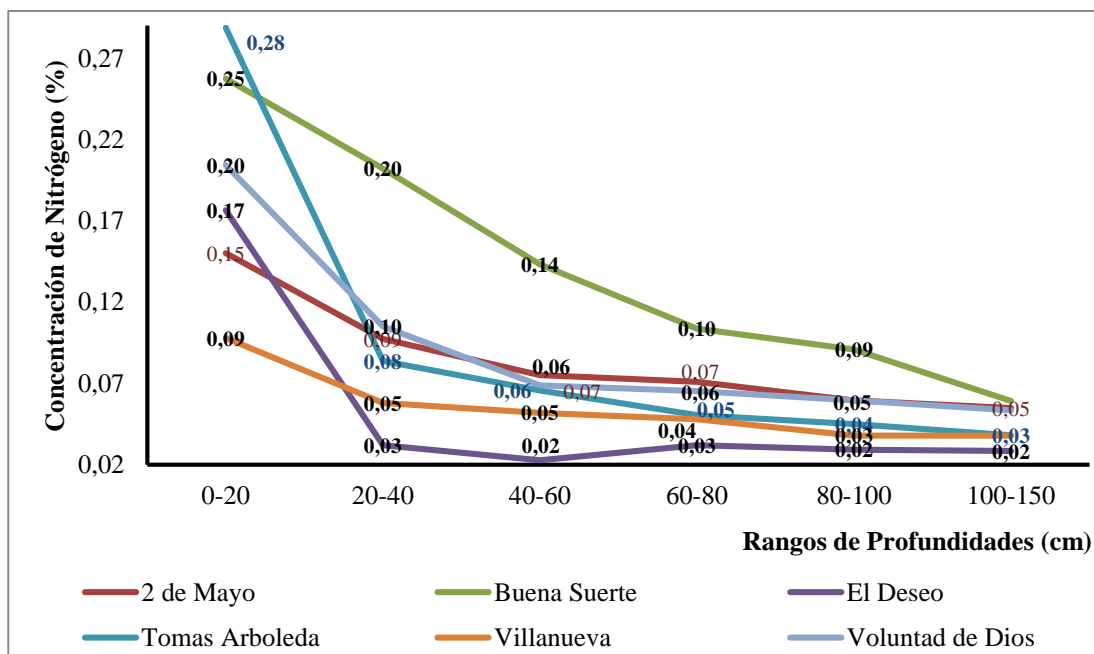
En la presente investigación se encontraron concentraciones de cadmio entre 0.42 a 0.62 mg/kg en las muestras tomadas en las dos primeras profundidades de las organizaciones E y F, en las demás organizaciones y en las diferentes profundidades se encontraron concentraciones menores a 0.40 mg/kg como se puede apreciar en la Figura 11.

En la Figura 12 se evidencia la alta cantidad de materia orgánica existente en las dos primeras profundidades del suelo y la cantidad de materia orgánica empieza a disminuir desde la tercera hasta la última profundidad de muestreo.



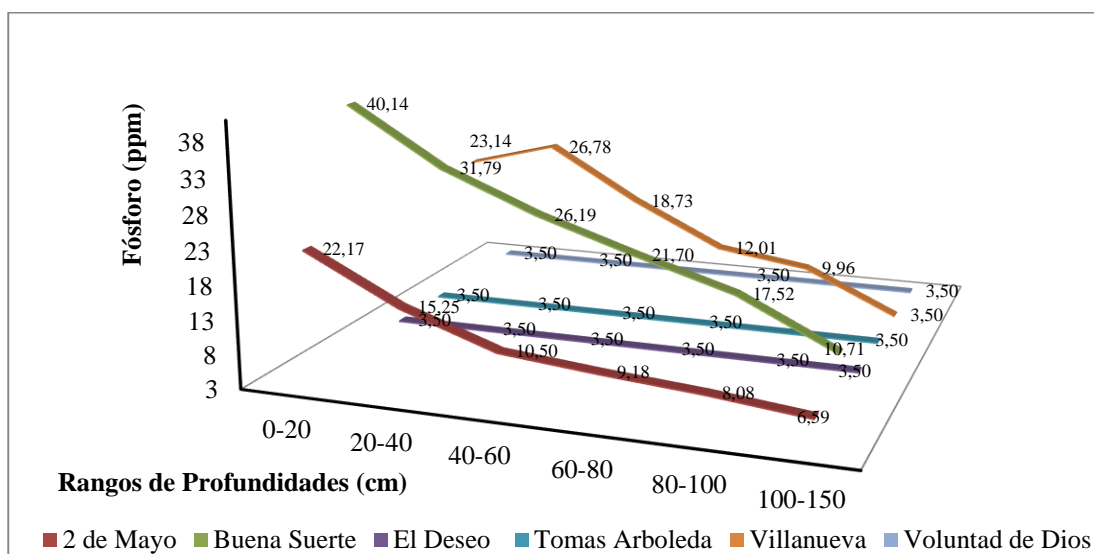
**Figura 12.** Porcentaje de Materia Orgánica vs Rangos de Profundidades de Muestreo. Prov. del Guayas-Fincas-UNOCACE.

En la Figura 13 se presenta las concentraciones de nitrógeno total en la que se puede observar las mayores concentraciones a una profundidad de 0 a 20 cm en todas las organizaciones donde se realizó el muestreo.



**Figura 13.** Concentración de Nitrógeno vs Rangos de Profundidades de Muestreo. Prov. del Guayas-Fincas-UNOCACE

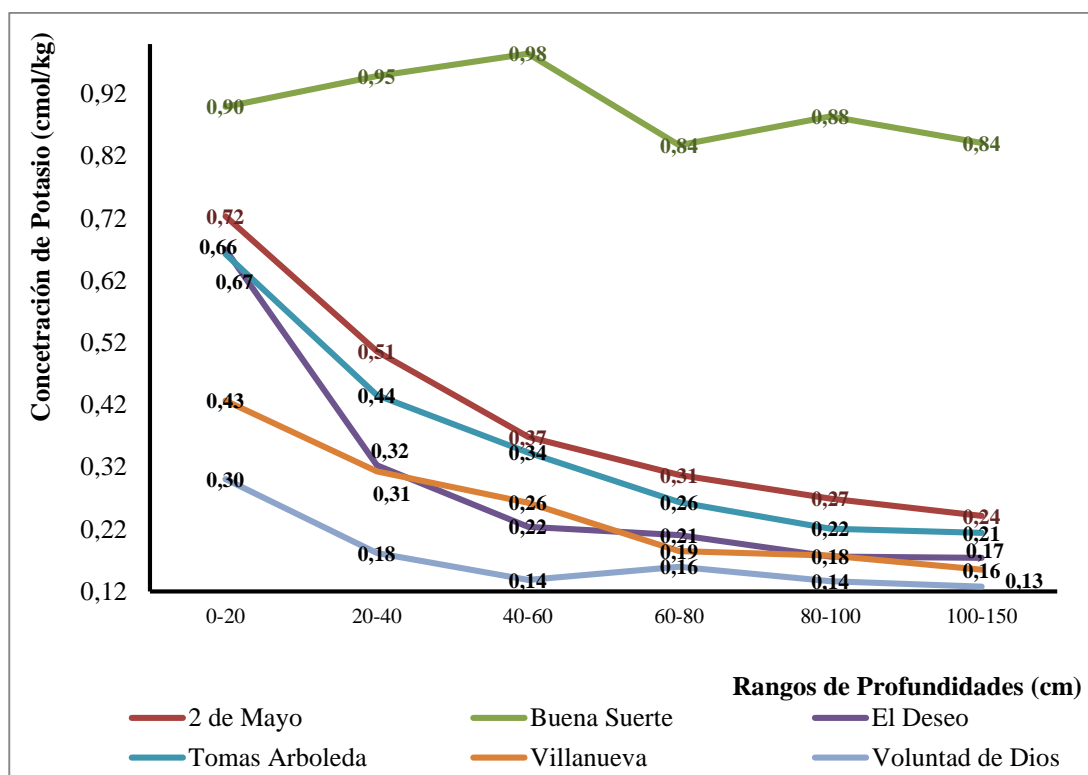
La Figura 14 muestra las concentraciones de fósforo asimilable en las diferentes organizaciones en las seis profundidades de muestreo.



**Figura 14.** Concentración de Fósforo vs Rangos de Profundidades de Muestreo. Prov. del Guayas-Fin cas-UNOCACE

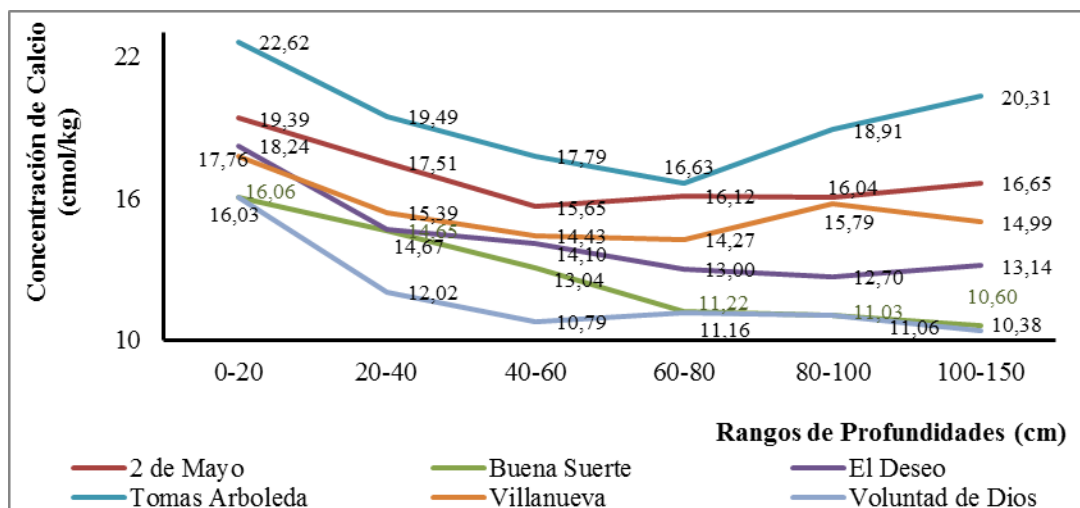


La Figura 15 presenta las diferentes concentraciones de potasio asimilable en las muestras tomadas en diferentes profundidades en las distintas organizaciones.

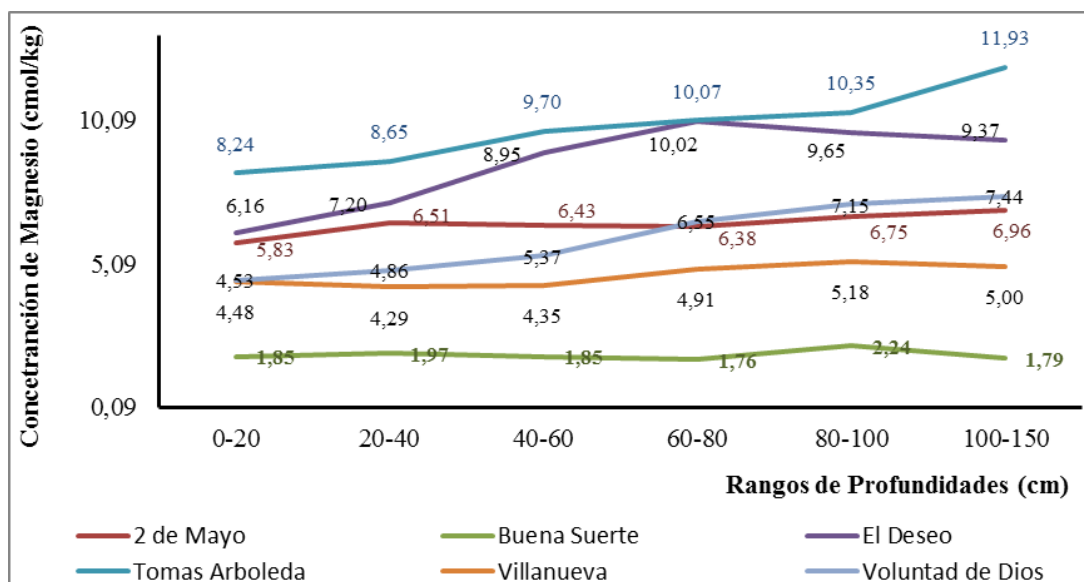


**Figura 15.** Concentración de Potasio vs Rangos de Profundidades de Muestreo. Prov. del Guayas-Fincas-UNOCACE.

En la Figura 16 se observa las concentraciones de calcio asimilable en las distintas profundidades de muestreo en las diferentes asociaciones.



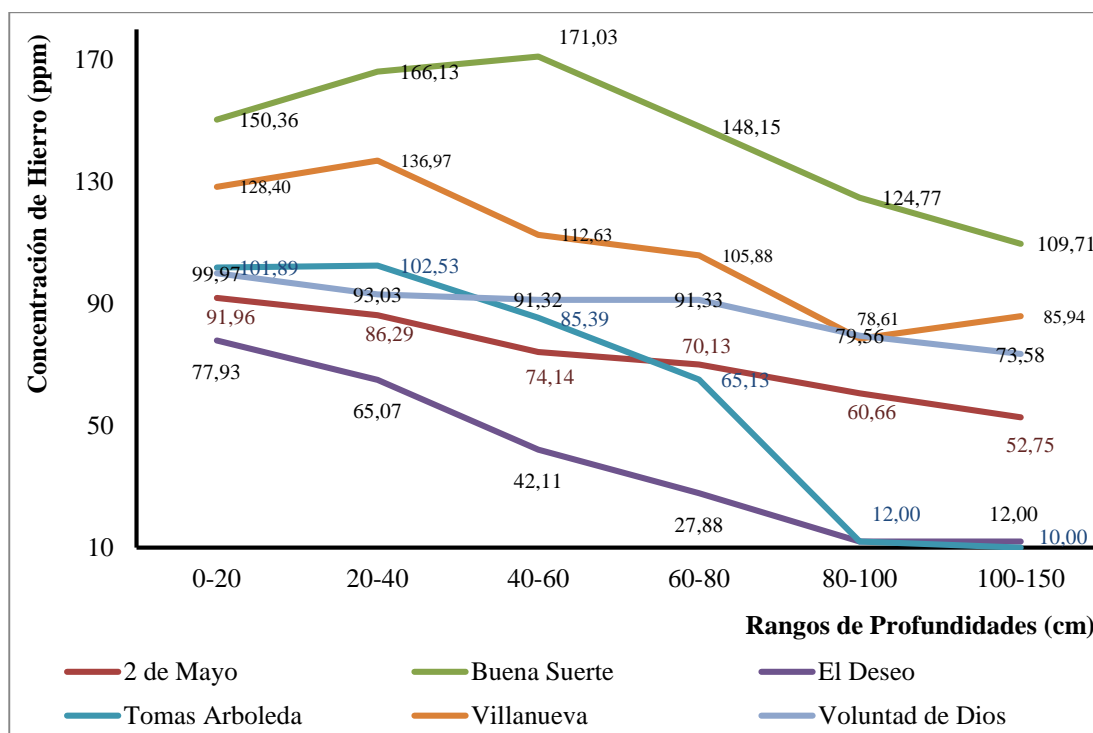
**Figura 16.** Concentración de Calcio vs Rangos de Profundidades de Muestreo. Prov. del Guayas-Fincas-UNOCACE.



**Figura 17.** Concentración de Magnesio vs Rangos de Profundidades de Muestreo. Prov. del Guayas-Fincas-UNOCACE

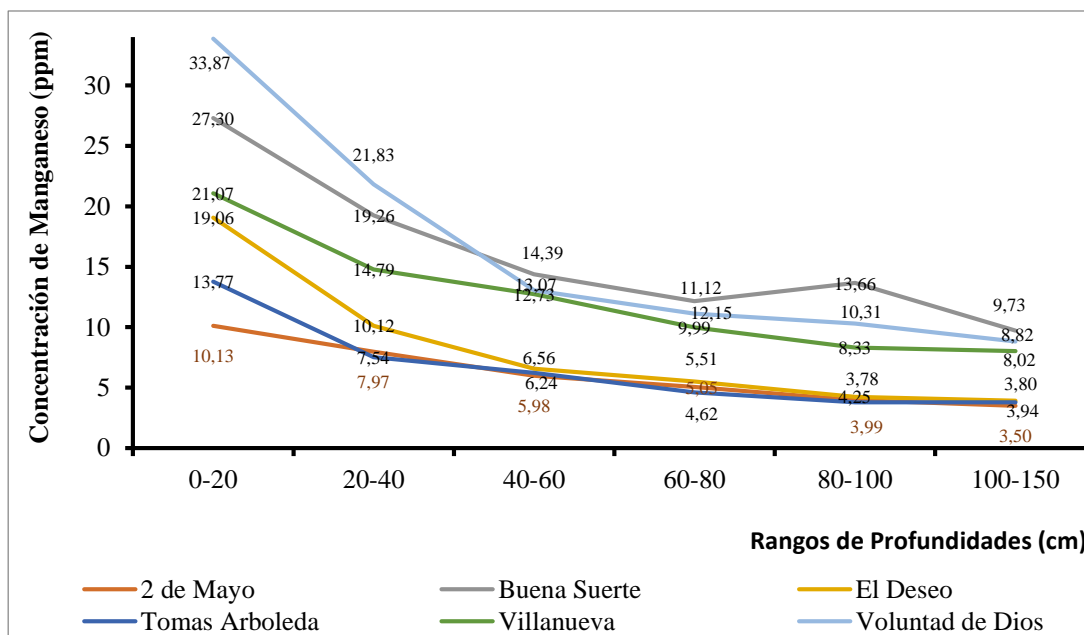
En la Figura 17 se encuentran las concentraciones de magnesio asimilable en las seis organizaciones en cada profundidad de muestreo.

En la Figura 18 se reportan las concentraciones de hierro asimilable para cada profundidad de muestreo en las diferentes organizaciones que conforman la UNOCACE.



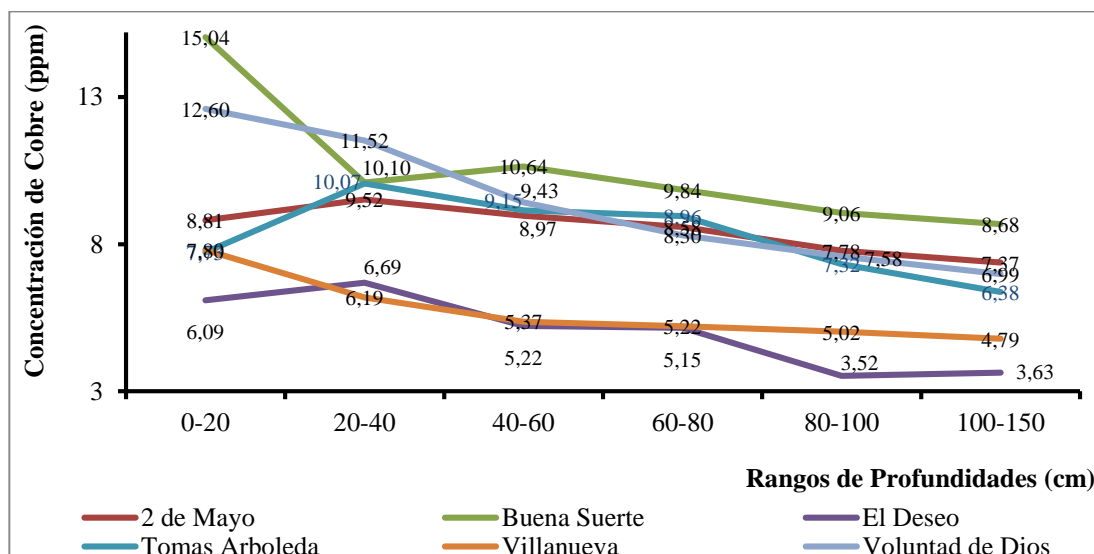
**Figura 18.** Concentración de Hierro vs Rangos de Profundidades de Muestreo. Prov. del Guayas-Fincas-UNOCACE

En la Figura 19 se puede observar las concentraciones de manganeso en las profundidades del suelo para cada organización en estudio.



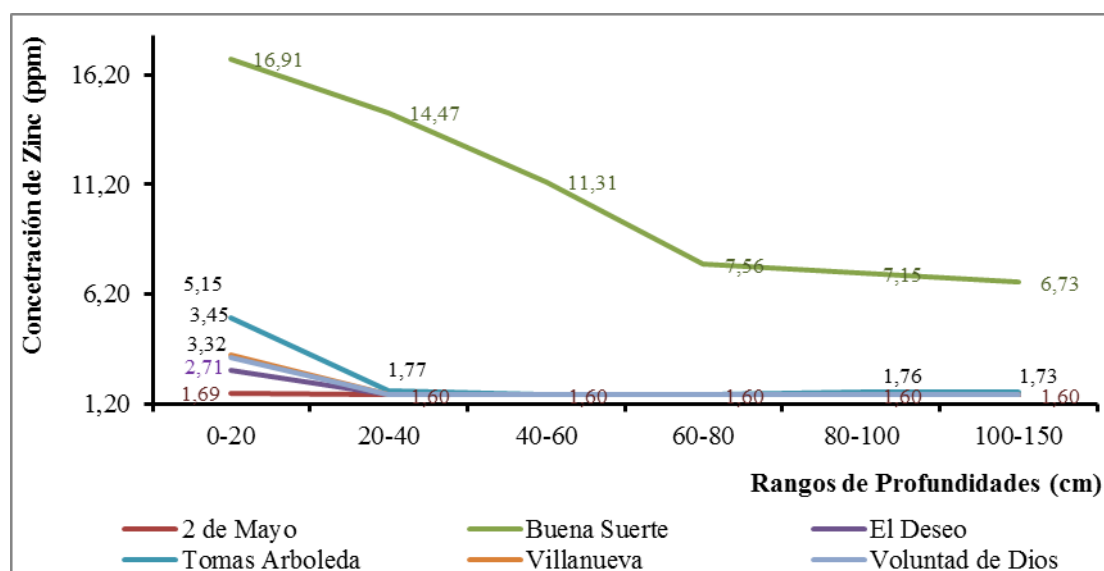
**Figura 19.** Concentración de Manganeso vs Rangos de Profundidades de Muestreo. Prov. del Guayas-Fincas-UNOCACE

En la Figura 20 se observa las concentraciones de cobre asimilable encontradas en cada profundidad de muestreo de cada organización que conforman la UNOCACE.



**Figura 20.** Concentración de Cobre vs Rangos de Profundidades de Muestreo. Prov. del Guayas-Fincas-UNOCACE

En la Figura 21 se presenta las concentraciones de zinc asimilable para las diferentes organizaciones en cada profundidad de muestreo.



**Figura 21.** Concentración de Zinc vs Rangos de Profundidades de Muestreo. Prov. del Guayas-Fincas-UNOCACE

## CAPÍTULO 4

### DISCUSIÓN

La concentración de cadmio en suelos de distintas regiones del planeta es muy variable; un estudio de suelos realizado con muestras obtenidas en Granadina, Malasia, Trinidad y Tobago Venezuela y Ecuador revelaba concentraciones en el rango 0,66 y 2,60 mg/kg (Augstburger et al., 2000).

Como se muestra en la Figura 11, las concentraciones promedio de cadmio a distintas profundidades y para cada organización son, por lo general, menores a 0,40 mg/kg (por debajo del límite de cuantificación del método). Solo en dos organizaciones (E y F) se observaron valores promedios por encima de 0,40 mg/kg.

En general, las concentraciones están por debajo de 0,5 mg/kg, que es la concentración para cadmio en los criterios de calidad de suelo establecidos en la legislación ambiental ecuatoriana, (Ministerio del Ambiente del Ecuador, 2003) mismos que también son tomados como referencia por la Red de Laboratorios de Suelos del Ecuador (RELASE). Únicamente en el caso de la organización E, ubicada en el Cantón Naranjal se encontraron valores de hasta 0,92 mg/kg, con un promedio de 0,62 mg/kg. Considerando que la toma de muestras se llevó a cabo en época lluviosa, no se puede descartar efectos de lavado del suelo.

Los suelos estudiados en el presente trabajo fueron principalmente francos, esto significa que el contenido en porcentaje de arcilla fue menor a 25%. Solo en dos organizaciones las muestras

de suelo fueron clasificadas como arcillosos (más del 40% en arcilla). Los suelos de la UNOCACE poseen minerales como la Montmorillonita e Illita, minerales con gran área superficial, lo que permitiría la retención y acumulación del cadmio en el suelo. Estudios previos, como el de Romero et al. (2008), dan cuenta de una mayor retención de cadmio por adsorción cuanto mayor sea la superficie activa de un filo silicato.

Los valores de pH en todas las profundidades fueron neutros y con baja variabilidad, tal como se muestra en la Figura 8. Estos valores de pH se encuentran en el rango óptimo para el cultivo de cacao. (Hunter, 1977).

Además, según lo mencionado por Galán et al. (2000) & Albert et al. (1997) a pH ácidos aumenta la biodisponibilidad del metal pesado cadmio, debido a su solubilidad en agua.

Se suele interpretar que la fracción de una especie química que está biodisponible es aquella que está disuelta en el agua de los poros. (Tørsløv & Larsen, 1997). De hecho, la evaluación de la fracción biodisponible de metales en suelo se basa en la múltiple extracción de la muestra de suelo con distintos tratamientos. Tessier et al. (1979) propuso métodos extractivos para obtener cinco fracciones, y la última de las cuales contiene los metales asociados a la estructura cristalina y, por tanto, no se espera que puedan disolverse en agua en un tiempo razonablemente largo de contacto.

De acuerdo con los resultados de conductividad eléctrica que se muestran en la Figura 2, los rangos de conductividad en la primera profundidad fueron de 0,33 a 0,61 dS/m y a medida que

ésta aumentó, se observa una disminución notablemente de 0,11 a 0,53 dS/m, la cantidad de sales en el suelo se la estima en bajas concentraciones, por lo que encontramos que los límites de salinidad están dentro de los rangos establecidos (<2,0 no salino) en la interpretación de resultados de análisis de suelos (Hunter, 1977).

Se sabe que el contenido de cadmio y zinc en el suelo se puede correlacionar con la conductividad eléctrica, (Fauziah, 2001) razón por la cual este parámetro podría ser útil para estimar la distribución del cadmio en la columna de suelo.

En la Figura 12 se observa la variabilidad del contenido de materia orgánica con la profundidad. Es posible observar altos contenidos de materia orgánica en las capas superficiales y, a medida que se alcanzan mayores profundidades, los contenidos de materia orgánica van disminuyendo drásticamente. Este comportamiento es esperado, debido a que la actividad biológica en el suelo se concentra en la superficie, donde además existe gran actividad microbiológica.

Al igual que la arcilla presente en el suelo, la materia orgánica también favorece la retención del cadmio en la estructura del suelo. Galán, (2000) atribuye esta retención a la formación de un complejo quelante muy estable.

Las concentraciones de cadmio en las muestras de suelo obtenidas tienen, en general, valores bajos no solo comparados con el valor establecido en los criterios de calidad de suelo de la legislación ambiental ecuatoriana, sino comparado (en valores absolutos) con otros países



productores de cacao (Aikpokpodion et al., 2012a; Aikpokpodion et al., 2012b). La legislación de otros países contempla límites más bajos para cadmio en suelo, es el caso de Malasia, donde se estableció un límite de 0,12 mg/kg, por lo que es necesario realizar una evaluación los límites ecuatorianos.

De acuerdo a la estadística planteado para esta investigación la mayor concentración de nutrientes y cadmio como se muestra en todas las figuras de los resultados se encuentran entre las profundidades de 0 a 40 cm, debido a la presencia de raíces fisiológicamente activas en estas profundidades, esto se evidencio en el muestreo ya que en los dos primeros horizontes se encuentran las mayores concentraciones de macro y micro elementos. Según (Chan y Hale 2004), el cadmio se acumula en la raíz y de forma decreciente en los demás órganos de la planta.

De la misma manera, la mayor relación de elementos con las concentraciones de cadmio se las encuentra en el análisis de potencial de hidrógeno (pH), materia orgánica (M.O.), conductividad eléctrica (C.E.) y textura o clase textural (Tx). En concordancia con Christensen & Haung (1999), donde menciona que uno de los principales factores de relación de biodisponibilidad de cadmio es el pH del suelo, además de las interacciones químicas, textura, carga orgánica así como el agua.

La Figura 14 muestra que los niveles de fósforo se encuentran entre altos y bajos, según la tabla de interpretación de suelos (Anexo 6). El alto nivel de fósforo en las organizaciones 2 de Mayo, Buena Suerte y Villanueva se debe a la relación antagónica que posee el hierro el cual no lo deja asimilar y lo retiene en el suelo en alto contenido. En cambio, los bajos niveles de fósforo

en el resto de las asociaciones se deben al nivel de pH, ya que en suelos con  $\text{pH} > 7.2$ , es una característica para que el suelo sea pobre en fósforo, según “El manual de Agronomía de Laboratorios A-L de México” (Sequi, 2004).

Las Figuras 15 y 16 muestran que los niveles de potasio en las tres primeras profundidades son altos – medios, según la tabla de interpretación de suelos (Anexo 6). Se deben posiblemente a la gran cantidad de frutos que los agricultores proporcionan al suelo por la incorporación de sus restos como abono orgánico, esta condición según el “Manual de Agronomía de Laboratorios A-L de México” (Sequi, 2004), se relaciona con la presencia de material viejo como hojarasca en el suelo y minerales propios de la zona.

En la Figura 19 se puede observar que los niveles de manganeso en los primeros niveles del suelo se encuentran entre medio – bajos, según la tabla de interpretación de suelos (Anexo 6). Esto se debe según el manual de “Micro elementos de nutrición vegetal” (Sequi, 2004), a condiciones de alta humedad y pH mayores a 7; condiciones que se encontraron en cada una de las asociaciones al realizar el muestreo.

Como se observa en la Figura 18, los niveles de hierro en las tres primeras profundidades son altos, según la tabla de interpretación de suelos (Anexo 6). En el manual “Soil Survey Laboratory Methods Manual” (Burt, 2004), dice “El hierro alto se debe a condiciones reducidas por mucha humedad o inundación”, condiciones características de la zona al momento del muestreo.

En la Figura 19 se puede observar que los niveles de manganeso en los primeros niveles del suelo se encuentran entre medio – bajos, según la tabla de interpretación de suelos (Anexo 6). Esto se debe según el manual de “Micro elementos de nutrición vegetal” (Sequi, 2004), a condiciones de alta humedad y pH mayores a 7; condiciones que se encontraron en cada una de las asociaciones al realizar el muestreo.

En la Figura 20, los niveles de cobre son altos, según la tabla de interpretación de suelos (Anexo 6). El manual de “Micro elementos en la nutrición vegetal” (Sequi, 2004), dice, “que estos niveles de cobre son característicos de suelos del orden inceptisoles (suelos minerales con un incipiente desarrollo de horizontes pedogenéticos) predominantes en la zona muestreada”.

## **CAPÍTULO 5**

### **CONCLUSIONES**

1. La mayor concentración de nutrientes y cadmio se encuentran entre las profundidades de 0 a 40 cm, debido a la presencia de raíces fisiológicamente activas, en los dos primeros horizontes se encuentran las mayores concentraciones de macro y micro elementos.
  
2. La mayor relación de elementos con las concentraciones de cadmio se la obtuvo en el análisis de potencial de hidrógeno (pH), materia orgánica (M.O.), conductividad eléctrica (C.E.) y textura o clase textural (Tx).
  
3. Los niveles de fósforo varían entre altos y bajos según la tabla de interpretación de suelos (Anexo 6); alto en las organizaciones 2 de Mayo, Buena Suerte y Villanueva bajo en el resto de las asociaciones.
  
4. Los niveles de potasio en las tres primeras profundidades son altos – medios, según la tabla de interpretación de suelos (Anexo 6) debido a la gran cantidad de restos de frutos que los agricultores proporcionan al suelo como abono orgánico.
  
5. Los niveles de magnesio se encuentran entre los niveles altos, según la tabla de interpretación de suelos (Anexo 6).
  
6. Los niveles de hierro en las tres primeras profundidades son altos, según la tabla de interpretación de suelos (Anexo 6).

7. Los niveles de manganeso en los primeros niveles del suelo se encuentran entre medio – bajos, según la tabla de interpretación de suelos (Anexo 6).
  
8. Los niveles de cobre son altos, según la tabla de interpretación de suelos (Anexo 6).

## RECOMENDACIONES

Tomando en cuenta los resultados obtenidos de acuerdo a la estadística planteada en esta investigación se recomienda la toma de muestras de suelos en un rango de profundidad de 0 a 40 cm, esto se demuestra en todas las figuras de los resultados ya que en los dos primeros horizontes no solo se encuentran las mayores concentraciones de macro y micro elementos, sino también se determinaron las mayores concentraciones de cadmio; con la finalidad de realizar programas de fertilización y determinaciones de metales contaminantes de suelo.

Esta evaluación debería hacerse considerando, además de las concentraciones totales de cadmio, la especiación del cadmio en el suelo. Se recomienda que este tipo de estudios se realice en futuros trabajos de investigación sobre suelos agrícolas ecuatorianos.

Así mismo, se sugiere establecer la relación entre el contenido de cadmio en el suelo y en distintas partes de la planta de cacao (incluido el fruto).

**BIBLIOGRAFÍA**

Adeyeye, E. I., Ajibade, P. A., & Temola, A. F. (Febrero de 2005). *Metal concentration in cocoa seeds shell ash, liquid effluent, soil sediments and associated plants in a cocoa processing industry in Nigeria*. Int. J. Environ. Stud., 62(2), 171-180.

Lee, C. K., & Low, K. S. (Febrero de 1985). *Determination of cadmium, lead, copper and arsenic in raw cocoa, semifinished and finished chocolate products*. Pertanika, 8(2), 243-250.

Adeyeye, E., & P. A. Ajibade, A. (2005). *Temola, Metal concentration in cocoa seeds shell ash, liquid effluent, soil sediments and associated plants in a cocoa processing industry in Nigeria* (Vol. vol. 62). Nigeria: Int. J. Environ. Stud.

Aikpokpodion, P. E., Lajide, L., & Aiyesanmi, A. F. (2012). *In Situ Remediation Activities of Rock Phosphate In Heavy-Metal Contaminated Cocoa Plantation Soil In Owena, South Western, Nigeria*. Global J. Environ. Res., 6(1), 51-57.

Aikpokpodion, P. E., Lajide, L., & Aiyesanmi, A. F. (2012). *Assessment of Heavy Metals Mobility in Selected Contaminated Cocoa Soils in Ondo State, Nigeria*. Global J. Environ. Res., 6(1), 30-35.

Arias Leitón, C. (2008). *Promotora del Comercio Exterior de Costa Rica Dirección Estudios Económicos Perfil Producto Cacao*. Costa Rica.

Augstburger, F. B. (2000). *Agricultura Orgánica en el Trópico y Subtrópico. Cacao*. Asociación Naturland., 39.

Ayala Benítez, M. F. (2008). *Manejo integrado de Monilias en el cultivo de Cacaomediante el uso de fungicidas combinado con labores culturales*. Guayaquil: Escuela Superior Politécnica del Litoral.

Bagjuz, A., & Hayat, S. (2009). *Effects of brassinosteroids on the plant responses to environmental stresses*. Plant Physiol Biochem.

Bingham, F. T., Page, A. L., Mahler, R. J., & Gan, T. J. (Abril de 1975). *Growth and Cadmium Accumulation of Plants Grown on a Soil Treated with a Cadmium-Enriched Sewage Sludge*. J. Environ. Qual, 4(2), 207-211.

Burt, R. (2004). *Soil Survey Laboratory Methods Manual. Soil Survey Investigations Report No 42. Version 4.0*. Natural Resources Conservation Service.

Carrillo, M. (2003). *Caracterización de formas de metales pesados, su biodisponibilidad y sus dinámicas de adsorción y de movilidad en suelos del Ecuador*. Departamento de Suelos. . MG-Brasil.: Universidad Federal de Viçosa.

Crespo Andía, F. (1997). *Cultivo y beneficio del cacao CCN51* (Vol. 1a edición). Quito, Ecuador: Conejo.

De Conto Cinier, M., Petit - Ramel, R., Faure, D., & Garin. (1997). *Cadmium Bioaccumulation in Carp (Cyprinus carpio) Tissues during Long - Term High Exposure: Analysis by Inductively Coupled Plasma - Mass Spectrometry* (Vol. 38). (Saf, Ed.) Ecotoxil. Environ.

Diario Oficial de las Comunidades Europeas. (3-8-2000). Directiva 2000/36/CE del Parlamento Europeo y del Consejo. *Productos de cacao y de chocolate destinados a la alimentación humana* (pág. 19). L 197.

Enriquez , C., & Gustavo, J. (2004). *Cacao orgánico. Guía para productores ecuatoriano*. <http://agris.fao.org/aos/records/EC2005000005AGRIS>: International Information System for the Agricultural Science and Technology. Obtenido de fao.org: 10. Enriquez C, Gustavo J. (2004.) Cacao orgánico. Guía para productores ecuatoriano.

Estrada, J., Romero Castellano, X. G., & Moreno Peraza, J. A. (2011). *Guía técnica del cultivo de cacao manejado con técnicas agroecológicas*. San Salvador, El Salvador: CATIE - CONFRAS.

Fauziah, C. I., Rozita, O., Zauyah, S., & Anuar, A. R. (2001). *Heavy metals content in soil of peninsular Malaysia grown with cocoa and cocoa tissues*. Malaysian Journal of Soil Science, 5, 47-58.



Félix B, I., Mite , F., Carrillo, M., & Pino, M. (s.f.). *Avances de Investigacion del Proyecto Determinacion de Metales Contaminantes en Cultivos de Exportacion y su Repercusion sobre la Calidad de los Mismos*. Ecuador.

Flores Gonzáles, M. (2007). *La protección jurídica para el cacao fino y de aroma del Ecuador*. Quito: Universidad Andina Simon Bolívar del Ecuador.

Galán, E. (2000). *The role of clay mineral in removing and immobilizing heavy metal from contaminated soil* (Vol. 1). Funchal.

Galantini, J. A., Rosell, R. A., & Iglesias, J. O. (1994). *Determinación de materia orgánica empleando el método de Walkley y Black en fracciones granulométricas del suelo*. *Ciencia del Suelo*, 12(1), 81-83.

Green, M. (Agosto de 1929). *The International Plant Names Index*. Obtenido de [http://www.ipni.org/ipni/idPlantNameSearch.do;jsessionid=09378A786E5DDA9A2C1BECD8B54D240C?id=30005713-2&back\\_page=%2Fipni%2FeditAdvPlantNameSearch.do%3Bjsessionid%3D09378A786E5DDA9A2C1BECD8B54D240C%3Ffind\\_infragenus%3D%26find\\_isAPNIRRecord%3Dtrue%26find\\_g](http://www.ipni.org/ipni/idPlantNameSearch.do;jsessionid=09378A786E5DDA9A2C1BECD8B54D240C?id=30005713-2&back_page=%2Fipni%2FeditAdvPlantNameSearch.do%3Bjsessionid%3D09378A786E5DDA9A2C1BECD8B54D240C%3Ffind_infragenus%3D%26find_isAPNIRRecord%3Dtrue%26find_g)  
e

Hanafi, M. M., & G. J. , M. (Noviembre de 2008). *Cadmium and zinc in acid tropical soils: III. Response of cocoa seedlings in a greenhouse experiment*. *Commun. Soil Sci. Plant Anal.*, 29(11-14), 1949-1960.

Hunter, A. (1977). *Técnicas de laboratorio o invernadero para estudios de nutrientes con miras a determinar las enmiendas del suelo requeridas para un óptimo crecimiento de las plantas*. USA: 1° Edición.

Instituto Geográfico Militar, I. (1966). *Mapa General de Suelos del Ecuador*. Quito, Ecuador.

Larison, J. R., Likens, G. E., Fitzpatrick, J. W., & Crock, J. G. (Mayo de 2000). *Cadmium toxicity among wildlife in the Colorado Rocky Mountains*. *Nature*, 181-183.

Järup, L., & Åkesson, A. (Abril de 2009). *Current status of cadmium as an environmental health problem*, *Toxicol. (Appl, Ed.) vol. 238*, pp. 201-208.

Kirkham, M. B. (Septiembre de 2006). *Cadmium in plants on polluted soils: Effects of soil factors, hyperaccumulation, and amendments*. *Geoderma*, 137(1-2), 19-32.

Kos, B., Greman, H., & Lestan, D. (2003). *Phytoextraction of lead, zinc and cadmium from soil by selected plant*. *Plant Soil Environ.*, 49(12), 548-553.

Leiva, E., Osorio, M., & Ramírez, R. (2007). *21. Microorganismos asociados a la rizosfera del cacao (Theobroma cacao L) en condiciones de bosque húmedo premontano (Bh-PM)*. Artículo de investigación científica. Colombia: Sociedad Colombiana de la Ciencia del Suelo.

Loyola, K., & Ramírez, J. (2007). *Análisis Estadístico de la Producción de Cacao en el Ecuador*. Guayaquil: Escuela Politécnica del Litoral.

M. Meybeck, E. K. (1996). *Water quality monitoring - Practical guide to the design and implementation of freshwater quality studies and monitoring programmes*. Reino Unido: J. Bartram & R. Ballance.

Méndez, J., Ramírez, C., & Gutiérrez, A. (2009). *Contaminación y fitotoxicidad en plantas por metales pesados provenientes de suelos y agua*. redalyc.org.

Méndez, J., Ramírez, C., & Gutiérrez, A. (2009). *Contaminación y fitotoxicidad en plantas por metales pesados provenientes de suelos y agua*. *Tropical and Food*.

Ministerio de Agricultura, G. A. (15 de Oct. de 2014). Entrevista, diario El Telégrafo, al viceministro de Agricultura, Luis Valverde. Oct 15 2014. Quito, Pichincha, Ecuador.

Ministerio del Ambiente, D. (2003). Libro VI, Anexo 2, Decreto Ejecutivo # 3516, registro Oficial Suplemento #2. En *Texto Unificado de Legislación Ambiental Secundaria*.

Mite, F. (2010). *XII Congreso Ecuatoriano de la Ciencia del Suelo*. INIAP Estación Experimental Pichilingue, Quevedo.

Moreno, J., Caselles, R., Moral, A., & Pérez-Espinosa, M. (2008). *Cadmium accumulation and distribution in cucumber plant*. *J. Plant Nutr.*, 23(2), 243-250.

Norvell, W., Wu, J., Hopkins, D., & Welch, R. (2000). *Association of cadmium in durum wheat grain with soil chlorine and chelate - extractable soil cadmium*. Soil Science Society of America Journal, 64.

Ogunlade, M. O., & Agbeniyi, S. O. (Agosto de 2011). *Impact of pesticides use on heavy metals pollution in cocoa soils of Cross-River State, Nigeria*. Afr. J. Agric. Res., 6(16), 3725-3728.

Paredes Arce, M., & Montero Palacios, O. R. (2002). *Requerimientos de suelos para el cultivo de cacao*. Perú.

Paredes, N. (2009). *Manual de cultivo de cacao para la Amazonia Ecuatoriana*. Quito, Ecuador.

Pinto, A., Mota, A., De Varennes, A., & Pinto, F. (2004). *Influence of organic matter on the uptake of cadmium, zinc, copper and iron by sorghum plants*. Science of the total Environment, 240-273.

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*. Programa de Naciones Unidas para el Medio Ambiente, 9-192.

PROECUADOR. (2015). *Proecuador.gob.ec*. Obtenido de [Proecuador.gob.ec/wpcontent/uploads/2015/01/PROEC\\_PPM2013\\_CHOCOLATE\\_REINOUNIDO\\_II.pdf](http://Proecuador.gob.ec/wpcontent/uploads/2015/01/PROEC_PPM2013_CHOCOLATE_REINOUNIDO_II.pdf).

Puga, S., Sosa, M., Lebgue, T., Quintana, C., & Campos, A. (2006). *Contaminación por metales pesados en suelo provocada por la industria minera. Heavy metals pollution in soils damaged by mining industry* *Ecología Aplicada*. Ecol. apl, 5(1-2).

Romero, A., & Galán, E. (2008). *Departamento de Cristalografía y Química Agrícola*. En U. d. Sevilla, *Facultad de Química*. Sevilla - España.

Romero, A., & Galan, E. (2008). *Departamento de Cristalografía y Química Agrícola. Facultad de Química. Universidad de Sevilla*. Revista de la Sociedad Española de Mineralogía.

Sánchez, C., Sánchez, M., & L.F, L. (1994). *Lead and cadmium in soils and vegetables from urban gardens of Salamanca (Spain)*. The Science of the Total Environment, 147 - 168.

Sánchez, J., & Dubón, A. (1994). *Establecimiento y manejo de cacao con sombra: guía técnica para el extensionista forestal*. Ecuador

Satarug, S., Baker, J. R., Urbenjapol, S., Haswell-Elkins, M., Reilly, P. B., Williams, D. J., & Moore, M. R. (2003). *A global perspective on cadmium pollution and toxicity in non-occupationally exposed population*. *Toxicology Letters*, 137(1-2), 65-83.

Sequi, P. (2004). *Los Microelementos en la Nutrición Vegetal*. 17- 55 - 33 - 38.

Soria, J. (2001). *Breve historia del cacao en el Ecuador: Origen del cultivo y exportación en América Tropical*. Quito: MAG.

Von Sperling, M., & De Lemos Chernicharo, C. A. (2005). *Biological wastewater treatment in warm climate regions* (1° ed.). Reino Unido: Padstow.