

**FORMULACIÓN DE UNA ALTERNATIVA PARA EL MANEJO SOSTENIBLE  
DEL CULTIVO DE CACAO (*Theobroma cacao L*) EN LA FINCA “SAN  
IGNACIO”, UBICADA EN EL MUNICIPIO DE EL CARMEN DE CHUCURÍ, QUE  
PERMITA LA DISMINUCIÓN DE LA CONCENTRACIÓN DE CADMIO EN LA  
ALMENDRA SECA DE CACAO**

**MARTHA Y. ACEVEDO V.**

**UNIVERSIDAD PONTIFICIA BOLIVARIANA  
FACULTAD DE INGENIERÍA AMBIENTAL  
BUCARAMANGA  
2016**

**FORMULACIÓN DE UNA ALTERNATIVA PARA EL MANEJO SOSTENIBLE  
DEL CULTIVO DE CACAO (*Theobroma cacao L*) EN LA FINCA “SAN  
IGNACIO”, UBICADA EN EL MUNICIPIO DE EL CARMEN DE CHUCURÍ, QUE  
PERMITA LA DISMINUCIÓN DE LA CONCENTRACIÓN DE CADMIO EN LA  
ALMENDRA SECA DE CACAO**

**MARTHA Y. ACEVEDO V.**

**Trabajo de grado presentado como requisito para optar al título de Ingeniera  
Ambiental**

**Directora:  
CLAUDIA SANTOYO MUÑOZ**

**UNIVERSIDAD PONTIFICIA BOLIVARIANA  
FACULTAD DE INGENIERÍA AMBIENTAL  
BUCARAMANGA  
2016**

**NOTA DE ACEPTACIÓN**

---

---

---

---

---

\_\_\_\_\_  
**Firma de Presidente del Jurado**

\_\_\_\_\_  
**Firma del jurado**

\_\_\_\_\_  
**Firma del jurado**

Bucaramanga, 2016

Dedicado a Dios y a mi Familia.

## **AGRADECIMIENTOS**

Primeramente, gracias a Dios por ser mi guía durante todo este proceso, por bendecirme, fortalecerme y darme sabiduría y entendimiento para culminar esta etapa de mi vida, porque solo con tu ayuda he logrado culminar una meta más en mi vida.

A mi madre Bárbara Vega Blanco y a mi padre Orlando Acevedo Rojas por brindarme la oportunidad de estudiar la carrera que siempre soñé y su apoyo incondicional en cada etapa de mi vida.

A mis hermanos Rafael Andrés Vega, Erick Acevedo Vega y Juliana Díaz, por su constante apoyo y conocimientos brindados durante mi carrera y así mismo a mis sobrinos Pablo Andrés Vega y Nicolás Parra, por otorgarme tanta felicidad y hacer brillar cada momento difícil durante mi carrera.

Agradezco a los profesores de la Facultad de Ingeniería Ambiental de la Universidad Pontificia Bolivariana Seccional Bucaramanga por guiarme y transmitirme todos los conocimientos y experiencias necesarias para consolidar mi formación integral como Ingeniera Ambiental.

A mi directora de tesis Claudia Santoyo por su constante ayuda, paciencia, y colaboración en el desarrollo del presente proyecto.

A mis compañeros de clase por su constante colaboración en todas las actividades que surgieron a lo largo de este gran camino.

Y a todas las personas que aportaron su granito de arena durante este proceso e hicieron posible la culminación de mis estudios.

## CONTENIDO

	Pág.
INTRODUCCIÓN .....	14
1. OBJETIVOS.....	15
1.1. OBJETIVO GENERAL .....	15
1.2. OBJETIVOS ESPECÍFICOS .....	15
2. MARCO TEÓRICO .....	16
2.1 PLANTA DE CACAO .....	16
2.1.1 Taxonomía .....	16
2.1.2 Características Morfológicas .....	17
2.1.3 Diversidad de cacao.....	19
2.2 CULTIVO DEL CACAO .....	21
2.2.1 Condiciones agroecológicas.....	21
2.2.2 Etapas del proceso productivo del cacao .....	22
2.3 EL CACAO EN EL CONTEXTO NACIONAL .....	27
2.3.1 El cacao en Colombia .....	28
2.3.2 El cacao en el departamento de Santander.....	30
2.4 CADMIO.....	32
2.4.1 Contaminación de suelos por cadmio.....	33
2.4.2 Biodisponibilidad del cadmio por las plantas .....	34
2.4.3 Toxicidad del cadmio en las plantas.....	36
2.4.4 Efectos del Cadmio sobre la salud .....	40
2.5 ANÁLISIS FÍSICOQUÍMICOS EN SUELOS.....	42
3. METODOLOGÍA .....	46
3.1. ETAPA 1. DETERMINACIÓN DE LA CONCENTRACIÓN DE CADMIO EN LA ALMENDRA SECA DE CACAO .....	47
3.2. ETAPA 2. DIAGNÓSTICO DE LAS CAUSAS DE CONTAMINACIÓN DE CADMIO EN LA ALMENDRA SECA DE CACAO EN LA FINCA CACAOTERA SAN IGNACIO.....	48
3.2.1 Análisis de cadmio en la almendra fresca de cacao .....	49
3.2.2 Determinación de la concentración de cadmio en el suelo .....	49
3.2.3 Identificación de los procesos realizados en la finca San Ignacio para el cultivo de cacao .....	50
3.3. ETAPA 3. FORMULACIÓN DE ALTERNATIVAS DEL MANEJO SOSTENIBLE DE CULTIVO Y PROCESAMIENTO DEL CACAO.....	51
4. RESULTADOS Y DISCUSIÓN.....	51

4.1 DETERMINACIÓN DE LA PRESENCIA DE CADMIO EN LA ALMENDRA SECA DE CACAO.....	51
4.1.1 Concentración de Cadmio en la almendra seca de cacao .....	53
4.2. DIAGNÓSTICO DE LAS CAUSAS DE CONTAMINACIÓN POR CADMIO EN LA FINCA CACAOTERA SAN IGNACIO.....	54
4.2.1 Contenido de cadmio en la almendra fresca .....	54
4.2.2. Determinación de la concentración de cadmio en el suelo .....	56
4.2.3 Propiedades físico-químicas del suelo .....	57
4.2.4 Identificación de los procesos realizados en la finca San Ignacio para el cultivo de cacao .....	72
4.3 DIAGNÓSTICO DE LAS FUENTES PRODUCTORAS DE CADMIO EN LA FINCA CACAOTERA SAN IGNACIO .....	76
5. CONCLUSIONES .....	85
6. RECOMENDACIONES .....	86
BIBLIOGRAFÍA .....	87
ANEXOS.....	92

## LISTA DE FIGURAS

	<b>Pág.</b>
Figura 1. Sistema radicular del cacao. ....	17
Figura 2. Tronco de planta de cacao reproducido sexualmente. ....	18
Figura 3. Fruto del cacao. ....	19
Figura 4. Proceso de fermentación de cacao en cajones de madera. ....	26
Figura 5. Secado de cacao sobre techo. ....	27
Figura 6. Producción de cacao por departamentos. ....	28
Figura 7. Comportamiento exportación de cacao. 2010-2015-1. ....	29
Figura 8. Municipios de mayor producción de cacao en Santander.....	30
Figura 9. Estructura química de los ácidos húmicos y fúlvicos. ....	34
Figura 10. Ingreso de cadmio a través de las células de la raíz. ....	38
Figura 11. Respuesta de la planta al cadmio de la planta ....	39
Figura 12. Triangulo Textural ....	43
Figura 13. Ubicación de la finca seleccionada, municipio El Carmen de Chucurí. ....	46
Figura 14. Metodología desarrollada. ....	47
Figura 15. Actividades desarrolladas en la etapa 1. ....	48
Figura 16. Procedimiento preparación de la muestra para detección de cadmio por absorción atómica. ....	48
Figura 17. Puntos para la toma de muestra de suelos. ....	49
Figura 18. Unidades de muestreo de las zonas de cultivo de la finca San Ignacio.....	52
Figura 19. Fermentación de la almendra de cacao ....	74
Figura 20. Secado de la almendra ....	76
Figura 21. Ubicación pila de compostaje.....	78
Figura 22. Diseño pila de compostaje de recirculación.....	80

## LISTA DE GRÁFICAS

	<b>Pág.</b>
Gráfica 1. Relación de la concentración de cadmio en la almendra seca de cacao. .....	53
Gráfica 2. Relación contenido de cadmio en la almendra fresca. ....	55
Gráfica 3. Relación contenido de cadmio en el suelo. ....	56
Gráfica 4. pH.....	58
Grafica 5 Relación nivel del pH con la concentración de cadmio en el suelo (mg/kg).....	58
Grafica 6. Relación contenido de cadmio en el suelo (mg/kg) con la clasificación textural de cada unidad de muestreo .....	61
Gráfica 7. Relación porcentajes de porosidad. ....	63
Grafica 8. Relación contenido de cadmio en el suelo con el porcentaje de porosidad de cada unidad de muestreo .....	64
Gráfica 9. Contenido de Humedad .....	66
Gráfica 10. Relación contenido de cadmio con el contenido de humedad en cada unidad de muestreo. ....	66
Gráfica 11. Capacidad de infiltración.....	68
Grafica 12. Relación contenido de cadmio en el suelo con la capacidad de infiltración de cada unidad de muestreo. ....	68
Gráfica 13. Capacidad de intercambio catiónico .....	69
Grafica 14. Relación contenido de cadmio en el suelo con la capacidad de intercambio catiónico de cada unidad de muestreo.....	70
Gráfica 15. Comparación contenido de cadmio en la almendra seca, fresca y en el suelo .....	76
Gráfica 16. Procedimiento del lavado de almendras .....	81
Gráfica 17. Procedimiento de Fito Extracción.....	84

## LISTA DE TABLAS

	<b>Pág.</b>
Tabla 1. Clasificación taxonómica del cacao.....	17
Tabla 2. Características de variedades de cacao cultivado en la Finca san Ignacio .....	20
Tabla 3. Enfermedades del cacao.....	23
Tabla 4. Plagas del cacao.....	24
Tabla 5. Características de la fermentación de almendras.....	25
Tabla 6. Concentraciones máximas de cadmio en productos de cacao. ....	31
Tabla 7. Finca seleccionada.....	46
Tabla 8 Análisis del suelo y métodos aplicados. ....	50
Tabla 9. Unidades de Muestreo (UM) identificadas en el área de cultivo de cacao. .....	51
Tabla 10. Contenido de cadmio de la almendra seca de cacao. ....	53
Tabla 11. Relación Contenido de cadmio en la almendra fresca.....	55
Tabla 12. Contenido de cadmio en el suelo. ....	56
Tabla 13. Resultados del pH en el suelo de la finca San Ignacio.....	58
Tabla 14. Resultados de textura del suelo de la Finca San Ignacio a los 40 segundos.....	59
Tabla 15. Resultados de textura del suelo de la Finca San Ignacio a las 2 horas	60
Tabla 16 Relación textural.....	60
Tabla 17. Relación densidad real, densidad aparente y porosidad del suelo.....	62
Tabla 18. Resultados de la humedad gravimétrica en las zonas de muestreo del suelo. ....	65
Tabla 19. Capacidad de Infiltración de cada estrato.....	67
Tabla 20. Capacidad de intercambio caitonico.....	69
Tabla 21. Clasificación del tipo de suelo según su coeficiente de curvatura.....	71
Tabla 22. Relación de la Información concerniente al cultivo de cacao de la finca San Ignacio.....	72
Tabla 23. Insumos usados en la finca San Ignacio.....	73
Tabla 24. Plantas fito extractoras.....	83

## LISTA DE ANEXOS

	<b>Pág.</b>
ANEXO A. Instrumento utilizado para recolectar información de la finca San Ignacio .....	92
ANEXO B. Cálculos de la densidad real y aparente .....	93
ANEXO C. Cálculos de Infiltración .....	94
ANEXO D. Cálculos de la capacidad de intercambio catiónico .....	95
ANEXO E. Curvas de granulometría .....	96

## RESUMEN GENERAL DE TRABAJO DE GRADO

**TITULO:** Formulación de una alternativa para el manejo sostenible del cultivo de cacao (*Theobroma cacao* L) en la finca “San Ignacio”, ubicada en el municipio de el Carmen de Chucurí, que permita la disminución de la concentración de cadmio en la almendra seca de cacao

**AUTOR(ES):** Martha Yaneth Acevedo Vega

**FACULTAD:** Facultad de Ingeniería Ambiental

**DIRECTOR(A):** CLAUDIA SANTOYO MUÑOZ

### RESUMEN

El presente trabajo de grado, tuvo como propósito formular una alternativa de manejo sostenible en la finca Cacaotera San Ignacio, ubicada en el municipio del Carmen de Chucurí, que permita la disminución de la concentración de cadmio en la almendra seca de cacao (*Theobroma cacao* L) y su exportación a la Unión Europea. Para dar cumplimiento a este objetivo, se realizó un análisis de la concentración de cadmio en la almendra seca, en la almendra fresca y en el suelo y un diagnóstico de la fuente productora de cadmio en la almendra de cacao, por medio del análisis de las características físico-químicas del suelo, los métodos, técnicas y procesos de cultivo, el manejo de insumos y procesamiento de cacao en la finca de estudio. Los resultados obtenidos mostraron que la fuente de contaminación de cadmio en la almendra seca es la utilización de fertilizantes y cal provenientes de roca fosfórica, generando niveles de contaminación en la almendra seca no aptos para ser utilizados en la elaboración de productos de cacao para el consumo humano según el Reglamento (UE) No 488/2014 de la comisión del 12 de mayo de 2014, lo que afectaría la comercialización del producto. Para dar solución a esta problemática se formuló cómo alternativas de producción más limpia la elaboración de compost con los residuos de cosecha y el lavado de la almendra y como alternativa de manejo sostenible la fito-extracción del cadmio

### PALABRAS CLAVES:

Cultivo de Cacao, Cadmio, Manejo sostenible, propiedades fisicoquímicas

V° B° DIRECTOR DE TRABAJO DE GRADO

## GENERAL SUMMARY OF WORK OF GRADE

**TITLE:** Formulation of an alternative for the sustainable management of cocoa (*Theobroma cacao* L) in the farm "San Ignacio" located in the municipality of El Carmen de Chucurí, allowing decreasing cadmium content in dry almond cocoa

**AUTHOR(S):** Martha Yaneth Acevedo Vega

**FACULTY:** Facultad de Ingeniería Ambiental

**DIRECTOR:** CLAUDIA SANTOYO MUÑOZ

### ABSTRACT

This bachelors thesis had the purpose to formulate an alternative sustainable management at the cocoa farm San Ignacio, located in the municipality of Carmen de Chucurí, allowing the reduction of the content of cadmium in the dry seed of cocoa (*theobroma cacao* L) and its exportation to the European Union. To achieve this objective, an analysis of the content of cadmium in dry and fresh cocoa seed and the soil was made; a diagnostic of the physico-chemical characteristics of the soil was made to the source producer of cadmium in almond cocoa; the methods, techniques and processes of cultivation, management of inputs and processing of cocoa farm in study. The results showed that the source of cadmium contamination in the dry almond is the use of fertilizers and lime from phosphate rock, generating pollution levels in dry almond unfit to be used in the production of cocoa products for human consumption under Regulation (EU) No 488/2014 commission of 12 May 2014, which would affect the marketing of the product. To solve this problem it was formulated as cleaner production alternatives making cleaner alternatives composting with crop residues and washing almond and as sustainable management an alternative extraction of cadmium phyto production.

### KEYWORDS:

Cocoa cultivation, Cadmium, Sustainable management, Physicochemical properties

**V° B° DIRECTOR OF GRADUATE WORK**

## INTRODUCCIÓN

La contaminación de suelos con metales pesados puede tener origen de tipo geogénico o antropogénico. El primero se relaciona con la roca madre en la que se formó el suelo, la actividad volcánica o el lixiviado de las mineralizaciones y el segundo tipo, por las diferentes actividades humanas, entre las cuales está la utilización de sustancias agroquímicas e insumos en los procesos de cultivo, que trae como consecuencia la afectación en los productos de consumo humano que van a ser comercializados.

En el caso del cacao, *Theobroma cacao L*, la Organización Internacional de Cacao- ICCO, ha reconocido el cacao colombiano como un producto fino por su aroma y sabor, siendo el departamento de Santander el primer productor, especialmente en los municipios de San Vicente y del Carmen de Chucurí, convirtiéndose su cultivo en una actividad de importancia social y económica para el departamento. Sin embargo, su exportación, principalmente a países europeos, puede verse afectada por la presencia de cadmio en la almendra seca, en concentraciones mayores a las exigidas por la Normativas alimentarias de la Comunidad Europea, que cada vez son más exigentes. Para el 1 de enero del 2019 entra en vigencia el Reglamento (UE) No 488/2014 de la comisión del 12 de mayo de 2014, el cual determina el contenido máximo de cadmio en los productos alimenticios y establece específicamente el contenido máximo de cadmio en los productos de cacao y chocolate.

Teniendo en cuenta lo anterior, existe una preocupación entre los cultivadores de cacao del departamento, lo que ha llevado a la necesidad de realizar estudios sobre la contaminación del cacao por cadmio. Por esta razón, el presente trabajo tiene como objetivo determinar la presencia de cadmio en la almendra seca en la finca cacaotera “San Ignacio” ubicada en el municipio del Carmen de Chucurí y diagnosticar el origen del metal, con el fin de establecer una alternativa para el manejo sostenible del cultivo que permita disminuir las concentraciones de cadmio en el producto.

## 1. OBJETIVOS

### 1.1. OBJETIVO GENERAL

Establecer una alternativa para el manejo sostenible del cultivo de cacao en la finca “San Ignacio”, ubicado en el municipio de El Carmen de Chucuri, que permita la disminución de la concentración de cadmio en la almendra seca de cacao.

### 1.2. OBJETIVOS ESPECÍFICOS

1. Determinar la presencia de cadmio de la finca en estudio mediante el análisis de la concentración de cadmio en la almendra seca.
2. Diagnosticar la fuente de cadmio en la almendra seca de cacao en la finca cacaotera San Ignacio por medio del análisis de las características físico-químicas del suelo; los métodos, técnicas y procesos de cultivo, el manejo de insumos y procesamiento de cacao de la finca en estudio.
3. Formular alternativas de manejo sostenible del cultivo y procesamiento del cacao, que permitan la reducción y /o eliminación del cadmio en los cultivos.

## 2. MARCO TEÓRICO

El cacao, de nombre científico *Theobroma cacao L*, que significa “fruto de los dioses”, es una planta oriunda de América. Aunque el cultivo del cacao es de origen americano, no se conoce exactamente donde se inició esta actividad, algunos afirman que fue en Ecuador bajo el imperio de los incas y otros que fue en la península de Yucatán con la cultura maya<sup>1</sup>.

En Colombia, el cacao se ha cultivado a escala comercial desde la época de la Colonia, inicialmente hacia ambos lados de la cordillera oriental y posteriormente se extendió hacia el occidente, consolidándose como un producto de exportación hasta casi el primer cuarto del siglo XX.

### 2.1 PLANTA DE CACAO

2.1.1 Taxonomía. La primera clasificación del cacao la realizó Carlos Linneo en 1737, identificándola como *Theobroma cacao*. En 1862, Benthán y Hooker, lo clasificaron dentro de la familia Sterculiaceae, la cual actualmente pertenece al orden Malvales. Cuatrecasas, en 1964, hizo la clasificación taxonómica del género *Theobroma*, agrupándolo en 6 secciones y 22 especies<sup>2</sup>. La tabla 1 muestra los principales niveles taxonómicos del cacao.

---

1 Servicio de información Agroalimentaria y Pesquera. Del cacao al chocolate. [En línea]. Disponible en: <http://www.siap.gob.mx/siaprendes/contenidos/3/02-cacao/contexto-2.html> [Citado el 22 de julio de 2016]

2 BATISTA Lépidio. Guía Técnica El Cultivo de Cacao. Centro para el Desarrollo Agropecuario y Forestal, Inc. República Dominicana, 2009.

Tabla 1. Clasificación taxonómica del cacao.

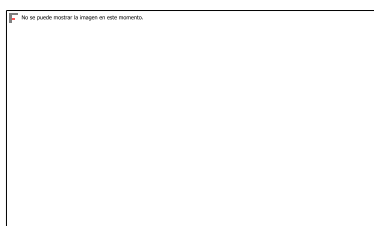
Taxón	Clasificación
Dominio	Eucarya
Reino	Plantae
Sub reino	Tracheobionta
Clase	Dicotiledónea
Orden	Malvales
Familia	Sterculiaceae
Género	Theobroma
Especie	<i>Cacao L.</i>

Fuente. La autora.

2.1.2 Características Morfológicas. La especie vegetal *Theobroma cacao* corresponde a un árbol de tamaño mediano de una longitud de 5 a 8 m, pero puede alcanzar alturas de hasta 20 m cuando crece libremente bajo sombra intensa. Su corona es densa, redondeada y con un diámetro de 7 a 9 m. Entre las principales características morfológicas están:

1. Sistema radicular. La estructura del sistema radicular está constituido por una raíz primaria o pivotante. En la parte superior de la raíz primaria se desarrollan la mayoría de raíces secundarias a unos 15 a 20 cm de profundidad y se extienden en forma horizontal a 5 y 6 metros del tronco. Las raíces secundarias que se encuentran en la parte inferior de la raíz primaria, tienen un crecimiento en dirección a la roca madre o hacia la capa freática, como se muestra en la figura 1.

Figura 1. Sistema radicular del cacao.



Fuente. LÓPEZ, M., Estudio Agromorfológico y fisicoquímico de ecotipos de cacao cultivados en los municipios de Usulután y California del Departamento de Usulután en El Salvador, 2011.

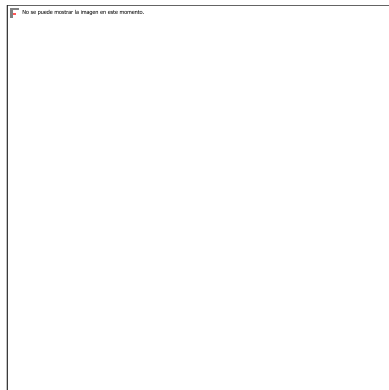
Las características del suelo pueden afectar la morfología de las raíces; en suelos profundos con buena aireación el crecimiento radicular puede alcanzar hasta 2 metros de

profundidad; en suelos pedregosos su crecimiento es tortuoso. Cuando el suelo es de una estructura granular uniforme y de textura arcillosa, la raíz crece erecta o derecha.<sup>3</sup>

2. **Tronco.** El tronco se puede desarrollar en formas muy variadas, según las condiciones ambientales y las formas de reproducción.

Cuando la planta se forma a partir de semilla, el tronco se desarrolla verticalmente hasta una altura de 0.80 a 1.50 metros. Luego se ramifica dando origen a 3, 4 o 5 ramas primarias distribuidas al mismo nivel. De estas ramas primarias se derivan las secundarias y de estas las terciarias, como se muestra en la figura 2. Del tronco se puede desarrollar otro tipo de órgano leñoso denominados chupones que se conocen por su crecimiento vertical y formación de tallos adicionales, los cuales se deben podar para mejorar el desarrollo óptimo de la planta<sup>4</sup>.

Figura 2. Tronco de planta de cacao reproducido sexualmente.



Fuente. El árbol del cacao. Disponible en: [http://www.bedri.es/Comer\\_y\\_beber/Chocolate/El\\_arbol\\_del\\_cacao.htm](http://www.bedri.es/Comer_y_beber/Chocolate/El_arbol_del_cacao.htm)

3. Hojas. Estructuras alargadas, de tamaño y color variable (café claro, morado o rojizo), unida al tallo o rama por el peciolo. Presenta un abultamiento visible denominado yema axial.

4. Flores. Las flores se organizan en racimos a lo largo del tronco y ramas, a donde se unen por medio de una estructura de 1 a 3 cm denominada pedicelo. El cáliz es de color rosa con segmentos puntiagudos; la corola es de color blancuzco, amarillo o rosa; las flores son de talla pequeña y tienen forma de estrella, que se abren durante las

---

3 Baptista.

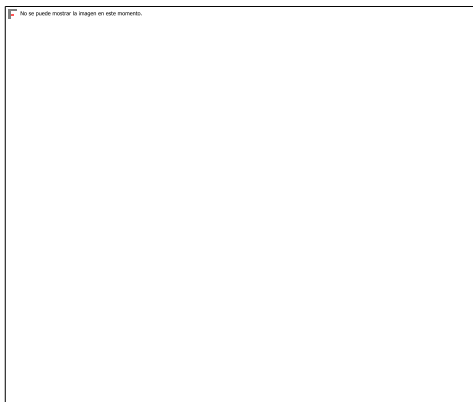
4 LÓPEZ, Mireya. Estudio Agro morfológico y fisicoquímico de ecotipos de cacao cultivados en los municipios de Usulután y California del Departamento de Usulután en El Salvador. Tesis de grado (Ingeniero en Agroindustria). Salvador. UNIVERSIDAD DR. JOSÉ MATÍAS DELGADO, 2011. 60 p.

tardes y pueden ser fecundadas durante todo el día siguiente. La polinización es entomófila destacando un díptero del género *Forcipomya*.<sup>5</sup>

5. Fruto. Comúnmente denominado “mazorca”, corresponde a una baya, carnosa, de forma oblonga a ovada, de color amarillo o purpúrea y grande, de aproximadamente 30 cm de largo y 10 cm de diámetro. Desde la parte interna hacia la parte externa del fruto se pueden diferenciar las siguientes estructuras: La semilla, la pulpa, la corteza interna y la corteza externa, como se muestra en la figura 3.

Cada mazorca contiene en general de 20 a 40 semillas, de forma plana o redondeadas y de color café o morado. Está cubierta por una pulpa mucilaginosa de color blanco y de sabor dulce y acidulado. Inmediatamente después de la pulpa se encuentra la testa. Prácticamente el volumen interno de la semilla corresponde a los dos cotiledones del embrión, llamados vulgarmente “habas” o “granos” de cacao, caracterizados por ser ricos en almidón, proteínas, ácidos grasos y polifenoles.

Figura 3. Fruto del cacao.



Fuente. Disponible en: <http://agenciadenoticias.unal.edu.co/detalle/article/>

2.1.3 Diversidad de cacao. Las 22 especies diferentes del género *Theobroma* se distinguen por el tamaño de crecimiento de la planta, la forma de la hoja, el volumen y coloración del fruto, la forma de las semillas y sus cualidades nutricionales. Del *Theobroma cacao* L. se han descrito dos subespecies; la primera es *T. Cacao* ssp. *Cacao*, caracterizado por presentar frutos alargados, con surcos pronunciados y semillas blancas, conocido como la variedad Criollo y la segunda es *T. Cacao* ssp. *SpHaerocarpum*, que presenta frutos redondeados con

---

<sup>5</sup> Comisión Nacional para el conocimiento y uso de la biodiversidad. *Theobroma cacao* L [En línea]. Disponible en: < [http://www.conabio.gob.mx/conocimiento/info\\_especies/arboles/doctos/68-sterc03m.pdf](http://www.conabio.gob.mx/conocimiento/info_especies/arboles/doctos/68-sterc03m.pdf)> [Citado el 22 de julio de 2016]

surcos escasamente evidentes, las semillas son de color púrpura y se conoce como Forastero. El cruce artificial de estos dos tipos de cacao dio origen a un tercer tipo denominado cacao Híbrido o Trinitario, siendo hoy en día el tipo de cacao que predomina en Colombia. (Fedecacao, 2013).

Las semillas del cacao se clasifican en tres variedades:

6. Variedad común. La producción de cacao a partir de esta semilla se da a los cinco años, con un máximo de producción a los 11 años, permaneciendo constante hasta los 25 años. Es una variedad susceptible a las enfermedades.
7. Híbridos. Es una variedad obtenida del cruce entre clones trinitarios y amazónicos. La producción de cacao a partir de esta variedad se da a los tres años, con un pico máximo a los 7 años hasta los 20 años. Se caracteriza por ser más resistente a las enfermedades.
8. Clones. Son semillas desarrolladas en laboratorio. Su producción es igual a la variedad híbrida. Es altamente resistente a enfermedades.

De acuerdo con la Compañía Nacional de Chocolates, el 30% de la superficie cacaotera está sembrada con materiales comunes, el 67% con híbridos y tan solo un 3% con clones<sup>6</sup>.

En la finca cacaotera denominada San Ignacio ubicada en el Municipio del Carmen de Chucuri, donde se realizó el presente estudio, se encuentran 8 variedades de cacao.

1. CCN 51
2. EET 8
3. FEC 2
4. CAUCACIA 39
5. ICS 60
6. FSV 41
7. CRIOLLO O COMÚN
8. CLONES REGIONALES

En la tabla No. 2 se relacionan algunas características de las variedades de cacao CCN 51, EET 8, ICS 60 y CRIOLLO O COMÚN.

Tabla 2. Características de variedades de cacao cultivado en la Finca san Ignacio

---

<sup>6</sup> ARBOLEDA Ricardo., GONZÁLEZ, Alejandro. Análisis socioeconómico del sector cacaotero colombiano Tesis de grado Ingeniería Administrativa. Colombia. Escuela de ingeniería de Antioquía, 2010. 113 p.

VARIEDAD	RENDIMIENTO (kg/Ha/año)	PROMEDIO (frutos/árbol)	&CASCARILLA	%GRASA	pH
CCN 51	1.562	22	14	55	5
EET 8	1.309	23	11	55	4.9
ICS 60	1.233	17	13	55	4.9
CRIOLLO	-	-	11	55	6.1

Fuente: SÁENZ CARDONA, Bernardo. Consejo Nacional Cacaotero. Acuerdo 003 “Clones para cacao en Colombia”. Disponible en:

<http://www.huila.gov.co/documentos/agricultura/CADENAS%20PRODUCTIVAS/CLONES%20DE%20CAO%20PARA%20COLOMBIA.pdf>

## 2.2 CULTIVO DEL CACAO

2.2.1 Condiciones agroecológicas. El cultivo del cacao requiere condiciones agroecológicas que le permitan su óptimo crecimiento como son:

9. **El clima.** Las condiciones climáticas óptimas para el desarrollo del cacao en Colombia se relacionan con el piso térmico cálido, correspondiente a las tierras ubicadas desde el nivel del mar hasta 1.300 m.s.n.m.

El cacao se desarrolla en temperaturas que van desde los 22°C y 30°C en promedio, precipitaciones de 2.500 mm anuales y una humedad relativa cercana al 80%. Zonas de vientos fuertes no son convenientes para el cultivo y se deben instalar barreras vivas<sup>7</sup>.

10. **Condiciones del suelo.** El cacao requiere suelos muy ricos en materia orgánica, profundos, franco arcillosos, con buen drenaje y topografía regular. El factor limitante del suelo en el desarrollo del cacao es la delgada capa húmica. Esta capa se degrada muy rápidamente cuando la superficie del suelo queda expuesta al sol, al viento y a la lluvia directa. Por ello es común el empleo de plantas leguminosas auxiliares que proporcionen la sombra necesaria y sean una fuente constante de sustancias nitrogenadas para el cultivo.

Las plantaciones están localizadas en suelos que varían desde arcillas pesadas muy erosionadas hasta arenas volcánicas recién formadas y limos, con pH que oscilan entre 4,0 y 7,0. Se puede decir que el cacao es una planta que prospera en una amplia diversidad de tipos de suelo.

---

<sup>7</sup> FEDECACAO. Federación Nacional De Cacaoteros. Fondo Nacional Del Cacao. Guía Ambiental Para El Cultivo Del Cacao. Segunda edición, diciembre de 2013.

El suelo es el medio fundamental en el desarrollo de cacaotales. Se debe proteger contra los rayos directos del sol ya que éstos degradan rápidamente la capa de humus que puedan contener. Por ello se recomienda un adecuado sombreado y el mantenimiento de la hojarasca, no practicar labores profundas y cortar las malas hierbas lo más bajo posible. La hojarasca y el sombreado ayudan a mantener la humedad necesaria durante los meses de sequía.

El cacao es una planta muy sensible a terrenos encharcados por lo que se recomienda el empleo de drenajes adecuados que impidan el anegamiento. Se recomienda la construcción de canales que recolecten y conduzcan el exceso de agua de lluvia para evitar que ésta elimine la hojarasca y el horizonte húmico del suelo.

2.2.2 Etapas del proceso productivo del cacao. Este proceso consta básicamente de cuatro etapas: Planeación, establecimiento, mantenimiento y cosecha y beneficio.

**2.2.2.1 Planeación:** Hace referencia a las actividades que se realizan antes de la plantación del cacao, que corresponden al análisis económico, metodológico y de las condiciones agroecológicas de la zona de cultivo seleccionada.

**2.2.2.2 Establecimiento.** Consiste en el conjunto de actividades que tienen como objetivo final la siembra de la planta. En esta etapa inicialmente se realiza el establecimiento de un vivero para la producción de las plántulas de cacao. Posteriormente se lleva a cabo el establecimiento del cultivo en la zona seleccionada, mediante la preparación del terreno, el trazado de la zona que garantice la densidad poblacional adecuada, el ahoyado, el trasplante o siembra de las plántulas y la fertilización.

**2.2.2.3 Mantenimiento.** En esta etapa se lleva a cabo la denominada fase de levante que corresponde al periodo desde que se siembra la plántula hasta que se inicia la cosecha; en esta fase no hay producción del fruto y es de un tiempo aproximado de dos años. Durante esta etapa se debe cuidar y mantener el cultivo, desarrollando actividades de poda, fertilización, controles de malezas y fitosanitario, drenajes y riego.

Los controles fitosanitarios son importantes desde el establecimiento en vivero y durante toda la vida productiva del cultivo ya que las enfermedades pueden aparecer en cualquier momento y ocasionar daños considerables. La tabla 3 resume las enfermedades más representativas<sup>8</sup> y la tabla 4 resume las plagas más significativas que afectan el cultivo de cacao<sup>9</sup>.

---

8 FEDECACAO. Federación Nacional De Cacaoteros. Fondo Nacional Del Cacao. Guía Ambiental Para El Cultivo Del Cacao. Segunda edición, diciembre de 2013.

9 Plagas y enfermedades. [En línea] Disponible en: <http://www.canacacao.org/cultivo/enfermedades/>

Tabla 3. Enfermedades del cacao.

Nombre de Enfermedad	Agente causante	Descripción
<b>Moniliasis</b>	Hongo <i>Moniliophthora roreri</i>	Se caracteriza por la presencia en las mazorcas afectadas de una mancha de color oscuro y borde irregular, que se cubren inicialmente de una estructura algodonosa blanca que luego se vuelve grisácea, desprendiéndose en forma de polvo. En frutos jóvenes se observan tumores antes de aparecer las manchas de color chocolate y una madurez prematura. Causa la pudrición de los granos
<b>Pudrición parda o Mazorca negra</b>	Hongo <i>Phytophthora</i>	Esta es la enfermedad más importante del cacao en todas las áreas cacaoteras del mundo. Es responsable de más pérdidas en las cosechas que cualquier otra enfermedad existente. Aunque el hongo puede atacar plántulas y diferentes partes del árbol de cacao, como cojines florales, chupones, brotes, hojas, ramas, tronco y raíces, la mayor afectación es la mazorca.
<b>Mal del machete</b>	Hongo <i>Ceratocystis fimbriata</i>	El hongo infecta al cacao por medio de lesiones en los troncos y ramas principales y puede matar a un árbol rápidamente. Si no se realiza un buen control de los árboles muertos por esta enfermedad, puede causar una pérdida de árboles muertos hasta del 10% a lo largo de varios años, principalmente en plantaciones abandonadas
<b>Antracnosis</b>	Hongo <i>Colletotrichum gloeosporoides</i>	El hongo ataca el tallo, hojas, chupones y frutos. El daño a las mazorcas no es económicamente importante, aunque sí lo es la lesión al tallo.
<b>Las bubas</b>	Hongo <i>Colonectria (Fusarium) rigidiuscula</i> ,	Se caracterizan por un abultamiento y crecimiento anormal de los cojines florales. Aunque se han identificado cinco tipos diferentes de bubas, solamente dos son importantes: la buba de puntos verdes y la buba floral.
<b>Escoba de bruja</b>	Hongo <i>Crinipellis perniciosa</i>	Esta enfermedad afecta a las plantas de cacao, especialmente a los brotes vegetativos, cojinetes florales y frutos jóvenes; es decir, ataca a tejidos meristemáticos en activo crecimiento

Fuente. La autora.

Tabla 4. Plagas del cacao

Nombre de Enfermedad	Agente causante	Descripción
<b>AFIDOS</b>	Hormigas <i>Crematogaster</i> , <i>Componotus</i> y <i>Ectatoma</i>	Estos insectos afectan los brotes, hojas y flores especialmente los frutos jóvenes hasta los 6 o 7 años de edad; es decir, atacan los frutos sin semilla produciendo el desarrollo por estímulo del ataque de los insectos a la flor ( <i>partenocárpico</i> )
<b>ÁCAROS</b>	Arañas	Se localizan en el envés de la hoja y atacan los brotes jóvenes, produciendo atrofia, malformación y defoliación de los brotes terminales.
<b>SALIVAZO</b>	<i>Clastoptera globosa</i>	Este insecto ataca principalmente las flores ocasionando destrucción de las mismas y cojines florales
<b>CHINCHES</b>		Los chinches se localizan en el pedúnculo de la mazorca; producen lesiones similares a chancros o llagas de poca profundidad; son transmisores de la Moniliasis
<b>ESCOLITIDOS</b>	<i>Xyleborus</i>	Este insecto produce la enfermedad denominada Mal de Machete, ataca los troncos de la planta.
<b>GUSANOS MEDIDORES O GUSANOS DEFOLIADORES</b>	Larvas de Lepidópteros	Atacan principalmente el follaje tierno, afectando la parte inter-venal de la hoja.

Fuente: La Autora

**2.2.2.4 Cosecha y beneficio.** La cosecha o recolección del cacao se realiza dos veces al año, siendo la principal época entre los meses de octubre y marzo. La mazorca madura a recolectar se identifica por la coloración externa de la misma, que varía dependiendo del tipo de cacao. El punto óptimo de recolección se produce cuando las variedades de fruto rojo han tomado un color anaranjado-bermellón y los de fruto amarillo un color amarillo-verdoso. Esta actividad se realiza de manera manual teniendo cuidado de no dañar el pedúnculo floral de donde se desarrollará la nueva flor. Después de recolectado el fruto o mazorca, se procede a abrirlo con el fin de separar la almendra (desengrullado) de las demás estructuras (pulpa y corteza), ya que esto influye en el proceso de fermentación posterior. Los frutos defectuosos, enfermos o agusanados se destruyen directamente en el campo y se entierran.

El beneficio o cura del cacao es el proceso que se le realiza a la almendra después de cosechada para que reúna las condiciones físicas, químicas y sensoriales que exige la industria y el consumidor final. Esta etapa comprende la fermentación, secado, limpieza y empaque, para finalmente ser comercializado el producto.

11. **La fermentación.** Es un proceso biológico que inicia con la degradación de los componentes de la pulpa mucilaginosa, la cual está constituida por agua (84%),

glucosa y fructuosa (10%), pectina (2.7%), proteínas (0.6%), sacarosa (0,7%) y ácido cítrico (0.7%).

Durante las primeras 48 horas del proceso de fermentación, las levaduras transforman los azúcares en etanol. Además, por acción de las enzimas pectinolíticas presentes en el hongo, ocurre la degradación de la pectina, lo que modifica la textura del grano y elimina el ácido cítrico. El cambio de las características físicas de la pulpa permite la entrada de aire, favoreciendo el desarrollo de las bacterias acetogénicas, que transforman el etanol en ácido acético, liberando calor y aumentando la temperatura de 45°C a 50°C. La elevada temperatura y la difusión del etanol al interior de la semilla, ocasiona la muerte celular del embrión.

Entre las 48 horas y 60 horas de iniciado el proceso, se presenta crecimiento de bacterias del género *Bacillus sp.*, que contienen enzimas que catalizan reacciones de transformación de los componentes propios del cotiledón. Las enzimas proteolíticas (degradan proteínas) y lipolíticas (degradan sustancias lipídicas) formando productos responsables del sabor y aroma del cacao<sup>10</sup>.

Del proceso de fermentación depende la calidad del grano. Cuando el proceso se realiza deficientemente se produce el llamado cacao corriente. La tabla 5 compara las características de la almendra seca fermentada y sin fermentar.

Tabla 5. Características de la fermentación de almendras

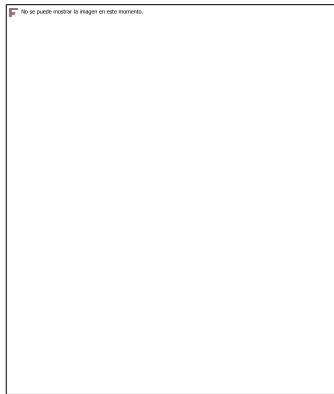
Almendra seca bien fermentada	Almendra seca sin fermentar o mal fermentada
Hinchada o más gruesa	Forma aplanada
La cáscara se separa fácilmente	Por lo general es difícil separar la cáscara
Color marrón o chocolate	Color violáceo en su interior o blanquecino
Naturaleza quebradiza	Naturaleza compacta
Sabor medianamente amargo	Sabor astringente
Aroma agradable	Aroma desagradable

Fuente. Disponible en: InfoAgro.com

Hay diferentes maneras de realizar el proceso de fermentación, a manera de pilas, en canastas o en cajones de madera (Ver Figura 4); este es el más utilizado en el departamento de Santander, donde se utiliza madera resistente a la humedad y que no desprenda olores.

10 WACHER RODARTE, María del Carmen. Microorganismos y chocolate En: Revista Digital Universitaria • Volumen 12 Número 41. (abril 201). ISSN: 1067-6079

Figura 4. Proceso de fermentación de cacao en cajones de madera.



Fuente. La Autora.

En algunos casos los granos se lavan al final de la fermentación para eliminar las partículas de pulpa. Los cacaos de tipo común generalmente no necesitan lavado, puesto que la fermentación prolongada ha desintegrado completamente la pulpa. Se ha identificado que existe cierta influencia del lavado sobre el aroma de las variedades forasteras. La tendencia actual es la de suprimir este proceso y transferir los granos directamente de los tanques de fermentación al proceso de secado.

12. **El secado.** Después del proceso de fermentación la semilla de cacao queda con una humedad de aproximadamente el 60%, lo que hace necesario que pase por un proceso de secado para reducir la humedad a un valor máximo del 8%. Si el contenido de humedad es mayor al 8% se desarrollan hongos que deterioran la calidad del grano y si es menor al 6% los granos se vuelven frágiles y quebradizos. Con porcentajes bajos de humedad se llevan a cabo reacciones bioquímicas que forman sustancias que inciden en el sabor, reduciendo la astringencia, amargor y acidez del grano<sup>11</sup>.

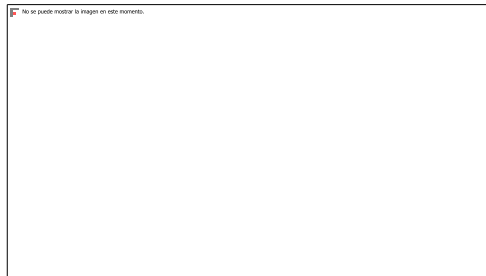
El proceso de secado más común es el secado natural que se realiza utilizando los rayos del sol. Se extiende el cacao sobre el suelo, plataformas o techos, como se observa en la figura 5. Sin embargo, en algunas regiones se utiliza el secado artificial utilizando máquinas secadoras que generan aire caliente.

Al terminar el secado la almendra toma una forma arriñonada, de color pardo, típico de un cacao bien beneficiado. (Ver figura 5)

---

<sup>11</sup> CUBILLOS Gabriel., MERIZALDE, Jaime., CORREA, Elizabeth. Manual de beneficio del cacao para: técnicos, profesionales del sector agropecuario y productores. Medellín, 2008. 17 p.

Figura 5. Secado de cacao sobre techo.



Fuente. La Autora.

13. **Limpieza.** Los granos secos se deben seleccionar para eliminar la tierra, las partículas sueltas de la cáscara de la semilla y los granos quebrados. Normalmente se emplean tamices que permiten hacer la separación y ventiladores para soplar el polvo y los pedazos de cascarilla.
14. **Empacado.** El grano seco, limpio y clasificado se empaca en sacos o costales de fique o yute nuevos o en perfecto estado, que no se hayan empleado antes para empacar productos con olores penetrantes (pescado, por ejemplo). Después de empacar el grano se pesa de tal manera que el peso neto de un saco sea de 62,5 kilogramos.<sup>12</sup>

## 2.3 EL CACAO EN EL CONTEXTO NACIONAL

En la actualidad el cacao se produce en países ubicados dentro del rango de 10° norte y 10° sur del Ecuador, donde las condiciones climáticas son óptimas para su crecimiento y se ubican zonas con bosques húmedos tropicales.

La producción mundial de cacao está distribuida entre los países de América del Sur, América Central, México, el Caribe, África, Asia y Oceanía. La Organización Internacional del Cacao – ICCO en el boletín trimestral de estadísticas del cacao 2014, informa una producción mundial de cacao entre los años 2013/2014 de 4.104 millones de toneladas,

---

<sup>12</sup> Ibid

donde el 72% es producido por el continente africano (2.942 millones de toneladas), el 16% por América latina (666.000 toneladas) y el 12% restante por Oceanía (496.000 toneladas).

Colombia ocupa el puesto 11 entre los principales productores mundiales de cacao, lo que representa el 2,5 % de la producción mundial<sup>13</sup>. Además, se ha posicionado como uno de los mejores productores de cacao fino y de aroma en el mundo. Sólo el 7% del cacao producido en el planeta presenta estas características y el 70% proviene de Colombia, Ecuador, Perú y Venezuela.

2.3.1 El cacao en Colombia. Debido a la posición geográfica, Colombia cuenta con las condiciones agroecológicas para la siembra de este fruto. Su cultivo está enmarcado en un sistema agroforestal conservacionista del medio ambiente. Se cultiva con otras especies vegetales de importancia económica como el plátano, café, árboles frutales y maderables, trayendo ventajas para el cultivo (genera sombra), para el agricultor por ser una fuente alternativa de ingreso y para el ambiente ya que permite la protección del suelo, generación de biomasa, captura de dióxido de carbono y liberación de oxígeno a la atmósfera.

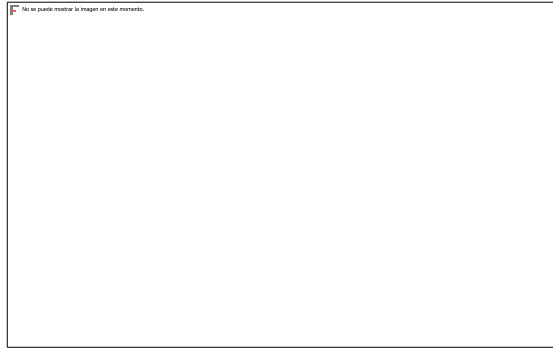
En los últimos años el sector de cacao ha venido recobrando su importancia en área cultivada y de producción. Entre el 2011 y el 2013 el área de siembra incrementó cerca de un 11,8%, resultado de la respuesta positiva de los cacaoteros colombianos frente al mercado nacional e internacional, el estímulo del gobierno y el alza de los precios internacionales. El área cultivada paso de 143.645 Ha cultivadas en el 2011 a 163.000 Ha en el 2013 y un aumento de la producción de 37.203 toneladas a 45.100 toneladas en el mismo periodo.

Los principales departamentos productores de cacao en el país son en su orden: Santander, Arauca, Huila, Antioquia y Nariño, como se observa en la figura 6.

Figura 6. Producción de cacaos por departamentos.

---

13 PROCOLOMBIA. El cacao colombiano. Oportunidades y retos en el mercado internacional. Bogotá D.C, septiembre, 2015. 29 p.



Fuente. Sistema De Información De Gestión Y Desempeño De Organizaciones de Cadenas-SIOC, 2012

En cuanto a la comercialización, según PROEXPORT afirma que en los últimos años se ha presentado también un comportamiento positivo en la exportación de cacao en grano, como se observa en la figura 7. Los principales compradores de cacao colombiano son Holanda, Estados Unidos, Alemania, Bélgica, Francia, España, Italia, Reino Unido, Canadá, Estonia, Suiza y México.

Figura 7. Comportamiento exportación de cacao. 2010-2015-1.



Fuente. Proexport, 2015.

El comportamiento positivo en los últimos años en cuanto a la siembra, producción y comercialización del cacao en Colombia ha traído grandes beneficios sociales y económicos al país. Según Fedecacao, cerca de 30.000 familias están vinculadas directamente en esta actividad. El 90% de los productores se consideran pequeños, ya que poseen entre 1 y 10 hectáreas. El cultivo del cacao es una alternativa atractiva para ayudar al desarrollo integral de la población rural y cuenta con el apoyo gubernamental a través de instrumentos y programas que buscan mejorar las condiciones actuales y futuras de estas comunidades<sup>14</sup>.

---

14 Ibid

2.3.2 El cacao en el departamento de Santander. El departamento de Santander es el primer productor de cacao en el país. Las zonas productoras se encuentran ubicadas en zona de montaña, en la vertiente occidental de la Cordillera Oriental o Región de los Yariguíez, que recorre al departamento de sur a norte bordeando el Río Magdalena, donde se encuentran ubicados los municipios de mayor producción como son San Vicente y el Carmen de Chucurí; que junto con los municipios de Landázuri, Rionegro y el Playón son los mayores exponentes de la producción y herencia de la calidad del cacao en Santander<sup>15</sup>. La figura 8 muestra los municipios donde más se produce cacao en el departamento.

Figura 8. Municipios de mayor producción de cacao en Santander.



Fuente. MOJICA, A y PAREDES, J., Características del cultivo del cacao en Santander, 2006.

En Santander se cultiva cacaos Forasteros, Criollos, Trinitarios, Híbridos y Clones, los mismos que se cultivan en el resto del país, pero que al estar influenciados por un clima y unas características específicas del suelo tienen un mejor sabor y aroma. A diferencia de otras regiones del país, Santander cumple con una serie de requisitos para lograr tener un cacao de excelente calidad, como son: una altitud indicada (rango de 400 – 1200 msnm, óptima para el cultivo de cacao.), con un suelo franco arcilloso el cual conserva la humedad y es rico en materia orgánica, temperatura entre los 25°C y 28°C y menos horas intensas de luz.<sup>1216</sup>

---

15MOJICA, A y PAREDES, J., Características del cultivo del cacao en Santander. Ensayos sobre economía regional. Centro Regional de Estudios Económicos. Bucaramanga, noviembre, 2006. 38 p.

16 SERRANO GÓMEZ, Carolina. Cacao Santander. Pontificia Universidad Javeriana. Facultad de Arquitectura y Diseño. Carrera de Diseño Industrial. Bogotá D.C. 2009. [n línea] Disponible en: <http://repository.javeriana.edu.co/bitstream/10554/4266/1/tesis164.pdf>

El cultivo de cacao es una de las actividades de mayor importancia económica y social en el departamento, debido a la demanda de la mano de obra que se necesita para esta actividad, que en la mayoría de los casos se realiza directamente por las familias campesinas o por contratación de jornaleros, siendo una actividad que genera trabajo en las zonas rurales, principalmente en aquellos municipios con problemáticas sociales, como pobreza, violencia y grupos armados, entre otros.

A pesar de que Colombia ocupa el puesto 11 de los países de mayor producción de cacao en el mundo y el departamento de Santander produce uno de los cacaos más finos y de mejor aroma, su comercialización puede verse afectada debido a las exigencias de los países compradores, especialmente los de la Comunidad Europea, por la contaminación del grano por metales pesados, entre los cuales está el cadmio.

Países como Estados Unidos, Hong Kong, México, Brasil, Ecuador, Chile, Bolivia y Perú, entre otros, no tienen establecido una normatividad que regule la concentración de cadmio en los productos de cacao. Sin embargo, algunos países han establecido los límites máximos de cadmio en estos productos, como son: Australia y Nueva Zelandia (0.5 mg/kg), Uruguay (0.2 mg/kg) y Argentina (0.2 mg/kg en productos con menos del 40% de cacao y 0.3 mg/kg en productos con más del 40% de cacao)<sup>17</sup>.

El Reglamento (UE) No 488/2014 de la comisión del 12 de mayo de 2014, que modifica el Reglamento (CE) No 1881/2006, determina el contenido máximo de cadmio en los productos alimenticios y establece específicamente el contenido máximo de cadmio en los productos de cacao y chocolate, lo cual se empezará a aplicar a partir del 1 de enero del 2019. La tabla 6 muestra el límite máximo de cadmio permitido en el producto procesado.

Tabla 9. Concentraciones máximas de cadmio en productos de cacao.

Producto	% total materia seca	Límite máximo de cadmio permitido
Chocolate de leche	< 30%	0,10 mg/kg
Chocolate de leche	≥30%	0,30 mg/kg

17 JIMÉNEZ TOBÓN, Claudia Stella. Estado legal mundial del cadmio en cacao (*Theobroma cacao*): fantasía o realidad. *Rev. P+L* [online]. 2015, vol.10, n.1 [cited 2016-06-24], pp.89-104. Disponible en: <[http://www.scielo.org.co/scielo.php?script=sci\\_arttext&pid=S1909-04552015000100009&lng=en&nrm=iso](http://www.scielo.org.co/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1909-04552015000100009&lng=en&nrm=iso)>. ISSN 1909-0455.

Chocolate	< 50%	0,30 mg/kg
Chocolate	≥50%	0,80 mg/kg
Cacao en polvo	-	0,60 mg/kg

Fuente: Reglamento (UE) No 488/2014 de la comisión del 12 de mayo de 2014,

En la actualidad los cultivos de cacao se encuentran altamente vulnerado por los niveles de cadmio encontrados en la materia seca, debido a la capacidad de la planta de absorber este metal presente en los suelos por causas naturales y/o antrópicas, transportándolo por su tallo, hojas, almendra, mucilago o pulpa hasta llegar a la semilla.

#### 2.4 CADMIO

El cadmio es un elemento químico de número atómico 48, peso atómico de 112.40 uma, densidad relativa de 8.65 g/cm<sup>3</sup> a 20°C (68 °F) y valencia química 2. Su punto de fusión de 320.9°C (610 °F) y de ebullición de 765°C (1410 °F). Es un metal pesado (densidad mayor a 6 g/cm<sup>3</sup>), dúctil, de color blanco argentino con un ligero matiz azulado (Yalçinkaya et al., 2001), considerado como un elemento traza en la corteza terrestre por encontrarse en bajas concentraciones (< 1mg\*kg<sup>1</sup>).

El cadmio generalmente no se encuentra en la naturaleza como un metal puro, sino asociado a minerales de zinc (como la esfalerita, ZnS), cobre y plomo. Presenta gran afinidad por el azufre, siendo su compuesto natural más común el sulfuro de cadmio (CdS). Otros compuestos comunes que forma son el óxido de cadmio (CdO), cloruro de cadmio (CdCl) e hidróxido de cadmio (Cd(OH)) y carbonato de cadmio (CdCO<sub>3</sub>), entre otros.

La principal forma de cadmio en la solución del suelo es Cd<sup>+2</sup>; sin embargo, puede formar complejos iónicos como el CdCl<sup>+</sup>, CdOH<sup>+</sup>, CdHCO<sup>+3</sup>, CdCl<sub>3</sub><sup>-</sup>, CdCl<sub>4</sub><sup>-2</sup>, Cd(OH)<sub>3</sub><sup>-</sup> y Cd(OH)<sub>4</sub><sup>-2</sup>; además puede formar complejos orgánicos<sup>18</sup>.

---

<sup>18</sup> GONZÁLEZ, Adela. Determinación y validación de cadmio total e intercambiable en algunos suelos cacaoteros del Departamento de Santander. Tesis de grado Químico. Universidad Industrial de Santander. Santander, 2010. 161 p.

2.4.1 Contaminación de suelos por cadmio. El cadmio se encuentra en la naturaleza asociado a minerales que constituyen la corteza terrestre. Este metal puede ser liberado al ambiente de manera natural o por actividades humanas.

De manera natural se da por la actividad volcánica o por desgaste y erosión de roca, como son la roca fosfórica y la roca madre durante el proceso de meteorización del suelo. Sin embargo, las actividades humanas son la principal causa de liberación y contaminación por cadmio al recurso agua, aire y suelo. Entre las principales actividades están los procesos metalúrgicos, las industrias de plateado y galvanizado, de esmaltado y vitrificado, de fundición de metales, las incineraciones municipales, las emisiones industriales procedentes de la producción de pigmentos para cristales, anticorrosivos, baterías Ni/Cd e insecticidas y utilización de combustibles fósiles.<sup>19</sup>

El suelo tiene una concentración promedio de cadmio entre 0,07 y 1,1 mg.kg<sup>-1</sup>, con un nivel base natural que no exceden de 0,5 mg.Kg<sup>-1</sup><sup>20</sup>. Algunos suelos pueden tener una concentración de cadmio mayor debido a que la roca madre de la que se formó tenía en su constitución este metal. Sin embargo, existen otras vías de tipo antropogénico que causan el aumento de las concentraciones de cadmio en el suelo como son:

1. Por deposición aérea
2. Por efluentes que contiene residuos líquidos y sólidos de plantas hidrometalúrgicas.
3. Por fertilización fosfática. Las rocas fosfóricas, que son la materia prima de todos los fertilizantes fosfáticos, contienen niveles de metales pesados, como el cadmio, que varían según su origen geográfico, pero que generalmente son superiores al promedio de la corteza terrestre. Los metales permanecen en una proporción importante en los fertilizantes industriales y posteriormente son aplicados al suelo junto con el fósforo<sup>21</sup>.
4. Por la utilización de lodos obtenidos del tratamiento de aguas residuales urbanas, que por su contenido de nutrientes son utilizados como fertilizantes. Cuando estos lodos provienen de aguas que han recibido efluentes industriales, su aplicación continua en áreas agrícolas puede producir la acumulación de metales pesados como el cadmio.

---

19 UNITED NATIONS ENVIRONMENT PROGRAMME Chemicals Branch, DTIE Final review of scientific information on cadmium Version of December 2010

20 ABATA-PENDÍAS S. y PENDÍAS, H. 1984. Trace elements in soils and plants. CRC Press, Boca Ratón, Florida

21 HERRERA, T. La contaminación con cadmio en suelos agrícolas. Revista Venesuelos, 8; 2000. pp. 42-46.

2.4.2 Biodisponibilidad del cadmio por las plantas. En el caso de los metales pesados, la biodisponibilidad hace referencia a la fracción del metal que está disponible para ser absorbido por la planta, lo cual depende de la solubilidad y movilidad de los metales en la solución del suelo. Para que una especie vegetal pueda extraer el cadmio del suelo este debe estar biodisponible.

Los metales en el suelo se pueden encontrar en solución como iones del metal libre y como complejos metálicos solubles; adsorbidos en los sitios de intercambio de los constituyentes inorgánicos del suelo; ligados a la materia orgánica; precipitados como óxidos, hidróxidos y carbonatos o formando la estructura de los minerales silicatados. Sólo cuando el metal se encuentra en solución o adsorbido están disponibles para las plantas. La biodisponibilidad depende de la solubilidad de los metales y de su capacidad de adsorción en la fracción coloidal del suelo y está influenciada por los siguientes factores<sup>22</sup>

1. **pH.** En suelos ácidos se produce una competencia entre los iones  $H^+$  y los cationes metálicos como el  $Cd^{+2}$ , por los sitios de intercambio catiónico, produciendo una desorción del metal, aumentando su concentración en la solución del suelo y por lo tanto la biodisponibilidad.

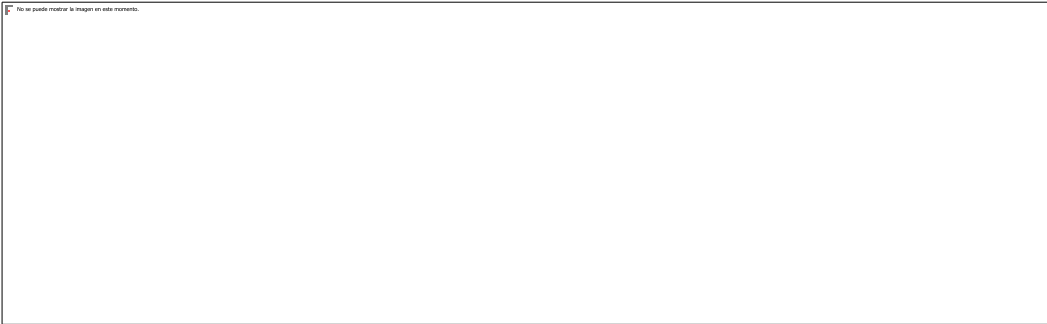
Al aumentar el pH los metales son removidos de la solución del suelo y adsorbidos por los coloides del suelo, disminuyendo su biodisponibilidad. A pH por encima de 7 el  $Cd^{+2}$  puede precipitar como hidróxidos insolubles, sulfuro, carbonato o fosfato.

2. **Contenido de materia orgánica (MO).** La materia orgánica en el suelo está formada por material no oxidable, oxidable y oxidado. El denominado humus es el resultado de la oxidación del material orgánico del suelo y está formado principalmente por ácidos húmicos y fúlvicos. Estos compuestos presentan en su estructura grupos funcionales (COOH, OH) (Figura 9 que presentan alta afinidad por los iones metálicos, formando complejos organometálicos

Figura 9. Estructura química de los ácidos húmicos y fúlvicos.

---

<sup>22</sup> Metales pesados en el suelo. [En línea] Disponible en: [http://biblioteca-digital.sag.gob.cl/documentos/medio\\_ambiente/criterios\\_calidad\\_suelos\\_aguas\\_agricolas/pdf\\_suelos/5\\_metales\\_pesados\\_suelo.pdf](http://biblioteca-digital.sag.gob.cl/documentos/medio_ambiente/criterios_calidad_suelos_aguas_agricolas/pdf_suelos/5_metales_pesados_suelo.pdf)



Fuente. Materia orgánica y sustancias húmicas. [En línea] Disponible en: <http://www.acidoshumicos.com/blog/materia-organica-y-sustancias-humicas/>

En el caso de los grupos funcionales COOH forman complejos estables con los metales quedando adsorbidos con la MO del suelo, disminuyendo la biodisponibilidad debido a que la planta no tiene la capacidad de absorber complejos metálicos grandes.

**1. Contenido y tipo de arcilla.** Las arcillas se caracterizan por tener cargas eléctricas negativas en su superficie. Las principales funciones de las cargas eléctricas negativas son:

1. Constituir un freno al movimiento de los cationes metálicos en la solución del suelo
2. Son responsables de la capacidad de intercambio catiónico
3. Hacen que los metales permanezcan por más tiempo en el suelo.
4. Disminuyen la solubilidad y biodisponibilidad de los metales del suelo.

El contenido y el tipo de arcillas son relevantes en la capacidad de retención de los iones; la estructura del suelo se deriva del tipo de arcilla, los tipos de arcilla según su carga son:

1. Arcillas con carga permanente. carga generada por sustitución isomorfica
2. Arcillas con carga variable o dependiente del pH. generada por la adsorción o remoción de iones de hidrogeno en la superficie de los coloides.

**2. Potencial redox.** La biodisponibilidad de los metales presentes en el suelo se puede influenciar por la condición redox en los siguientes aspectos:

1. Afecta el tipo de especies de metales
2. Altera la solubilidad de los metales

En los suelos con un porcentaje de porosidad alto se favorecen las condiciones de reducción incrementando la biodisponibilidad y toxicidad de metales como: cadmio, cobre, manganeso, cromo y zinc.

**3. Óxidos de hierro, manganeso y aluminio.** Los óxidos de hierro, manganeso y aluminio influyen los siguientes parámetros de los suelos:

1. Actúan en el intercambio catiónico
2. Co-precipitan a los iones metálicos
3. Los óxidos de Fe y Mn influyen la solubilidad de Pb, Zn, Cd, y Cu.
4. Los óxidos de Fe, Mn y Al a menor grado de cristalinidad, presentan mayor absorción de metales pesados en el suelo

**4. Presencia de cationes y aniones en la solución del suelo.** El proceso de absorción de los cationes metálicos depende de la carga y radio iónico de los cationes, por ejemplo, el  $\text{Ca}^{+2}$  compite con los cationes de metales pesados por sitios de adsorción, y esta competencia puede ser mayor para Zn y Cd que para Cu y Pb; esta relación ocurre porque el Zn y el Cd se encuentran retenidos en el suelo por reacciones de intercambio, y el Cu y el Pb forman complejos con la materia orgánica y con los óxidos de Fe, Mn y Al.

Los aniones orgánicos e inorgánicos presentes en el suelo también forman complejos con los cationes metálicos afectando la biodisponibilidad de los metales.

**1. Otros factores.** La solubilidad y la biodisponibilidad de los metales pesados presentes en el suelo también se pueden ver afectadas por los siguientes factores:

1. Actividad microbiana del suelo. inmoviliza los metales favoreciendo la precipitación de sulfatos y óxidos de Fe hidratados
2. Las bacterias del suelo. afectan la biodisponibilidad de los metales pesados presentes en el suelo ya que los absorben mediante grupos orgánicos funcionales de su pared celular.
3. Las propiedades físicas del suelo. el anegamiento y la compactación disminuyen el potencial redox del suelo
4. Actividad de las raíces. disminuye el pH de la rizosfera lo cual afecta la biodisponibilidad de los metales pesados.<sup>23</sup>

2.4.3 Toxicidad del cadmio en las plantas. El cadmio es un metal pesado que puede ser absorbido por las raíces de las plantas donde se acumula. La concentración de cadmio no es igual en todas las partes de la planta; generalmente la secuencia es: raíces > tallos > hojas > frutas > semillas; sin embargo, la cantidad de este metal puede alterarse según la especie y la etapa de crecimiento de la planta. El cadmio no presenta ninguna función

---

23 Metales pesados en el suelo. [En línea] Disponible en: [http://biblioteca-digital.sag.gob.cl/documentos/medio\\_ambiente/criterios\\_calidad\\_suelos\\_aguas\\_agricolas/pdf\\_suelos/5\\_metales\\_pesados\\_suelo.pdf](http://biblioteca-digital.sag.gob.cl/documentos/medio_ambiente/criterios_calidad_suelos_aguas_agricolas/pdf_suelos/5_metales_pesados_suelo.pdf)

fisiológica en los vegetales, y su presencia en los suelos puede limitar la absorción y translocación dentro de la planta de elementos como: calcio, magnesio, zinc, hierro y manganeso.

La presencia del cadmio en la planta interfiere en los procesos de respiración y fotosíntesis, debido a que este metal se combina con el azufre presente en las enzimas que tienen este elemento en su composición y da origen a un proceso de estrés oxidativo, produciendo un daño celular en los tejidos; las características del daño en los tejidos es el incremento de las concentraciones del peróxido de hidrógeno ( $H_2O_2$ ), iones peróxido ( $O^{2-}$ ) e hidróxido ( $OH^-$ ) y radicales libres (Lagriffoulet al., 1998).

Los principales síntomas de contaminación por cadmio en la planta son:

1. Disminución de crecimiento de las plantas
2. Clorosis
3. Hojas arrugadas y con coloración marrón-rojiza.
4. Modificación en la apertura estomática, fotosíntesis y transpiración
5. Alteraciones en la funcionalidad de la membrana plasmática
6. Reducción de la actividad ATPasa de la membrana plasmática
7. Desequilibrios en el metabolismo del cloroplasto, inhibiendo la síntesis de clorofila y reduciendo la actividad de enzimas implicadas en la fijación de  $CO_2$

Cabe resaltar que las plantas tolerantes al cadmio solo presentan los síntomas anteriormente mencionados en muy altas concentraciones de cadmio; por esta razón es posible la comercialización de sus frutos, como productos de aparente buena calidad.<sup>25</sup>

En general el cadmio interfiere en los siguientes aspectos:

1. Entrada, transporte y utilización de elementos esenciales para la planta (Ca, Mg, P y K) y del agua provocando desequilibrios nutricionales e hídricos en la planta.
2. Reduce la absorción y transporte de nitratos de la raíz al tallo.
3. Inhibe la actividad nitrato reductasa en los tallos

**1. Ingreso, transporte y acumulación del cadmio.** El cadmio no es un elemento esencial para la planta por consiguiente su entrada se puede presentar por diferentes

---

24 Ecosistema. [En línea] Disponible en: <http://www.revistaecosistemas.net/index.php/ecosistemas/article/download/409/393>

25 La contaminación con cadmio en suelos agrícolas. [En línea] Disponible en: [https://www.academia.edu/7195023/LA\\_CONTAMINACION\\_CON\\_CADMIUM\\_EN\\_SUELOS\\_AGRICOLAS](https://www.academia.edu/7195023/LA_CONTAMINACION_CON_CADMIUM_EN_SUELOS_AGRICOLAS)

mecanismos. Una de las proteínas responsables de la entrada de este metal a la célula es la IRT1, además entre los transportadores del cadmio se destacan los siguientes:

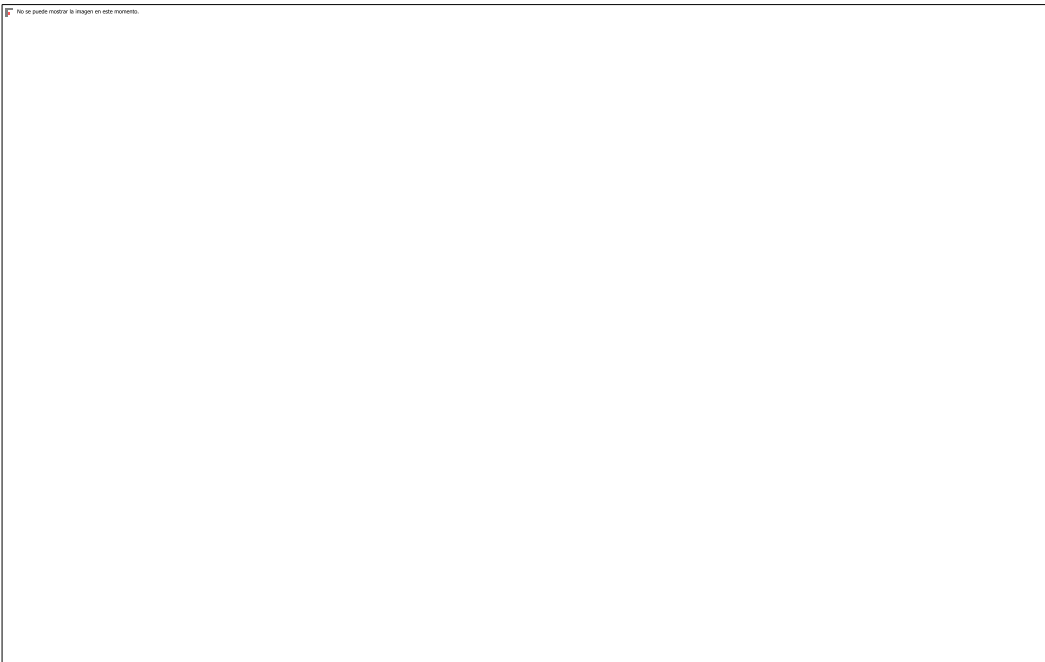
1. Transportador específico de calcio LCT1. pertenece a la familia de transportadores de Zn y Fe.
2. Familia de transportadores Nramp. se localiza en la membrana de la vacuola, por su ubicación probablemente tenga una función en la movilización del cadmio y no en su ingreso a través de la raíz.

En el momento en el cual el cadmio ingresa a la célula coordina con ligandos de S como glutatión (GSH) o fitoquelatinas (PCs) y ácidos orgánicos como el citrato.

Además cabe resaltar otras posibles moléculas responsables de la quelación del cadmio, son pequeñas proteínas ricas en cisteína denominadas metalotioneinas (MTs), de esta manera los complejos Cd-ligando son transportados al interior de la vacuola o a otras células.

La acumulación del cadmio en la planta se presenta en la raíz almacenado en la vacuola de las células, y solo una pequeña cantidad es transportada a la parte aérea de la planta. En la figura.10 se visualiza el ingreso del cadmio a través de las células de la raíz hasta llegar al xilema.

Figura 10. Ingreso de cadmio a través de las células de la raíz.

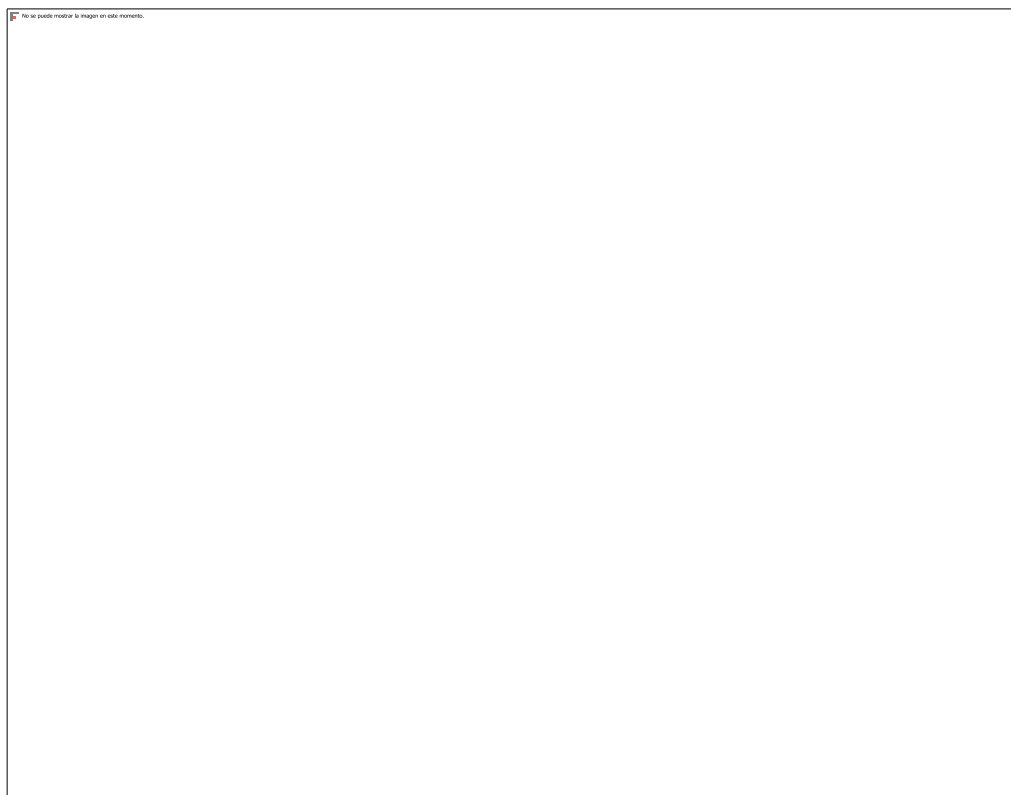


Fuente. Ecosistema. [En línea] Disponible en:  
<http://www.revistaecosistemas.net/index.pHp/ecosistemas/article/download/409/393>

2. **Respuesta al cadmio de la planta.** En la figura 11 se representa la respuesta que tiene la planta frente a este metal pesado; el cadmio podría inducir la NADPH oxidasa de membrana y las ROS que se formarían ( $O_2$  y  $H_2O_2$ ), podrían intervenir en la lignificación de la pared celular la cual actúa como barrera de entrada del metal. Además la eliminación de los ROS se puede presentar por los sistemas antioxidantes siempre y cuando la intensidad y duración del tratamiento supere la barrera antioxidante.

El daño producido a las membranas puede presentar un incremento en la síntesis de etileno y jasmonico (JA) que junto con el  $H_2O_2$  regulan la expresión de un gran número de proteínas de defensa (HSPs), quitinasa o antioxidantes, entre otras).

Figura 11. Respuesta de la planta al cadmio de la planta



Fuente. Ecosistema. [En línea] Disponible en:  
<http://www.revistaecosistemas.net/index.pHp/ecosistemas/article/download/409/393>

3. **Estrategias de tolerancia al cadmio.** La tolerancia de los metales pesados por las plantas va de la mano con la reducción del transporte de los mismos al interior de la célula y/o una mayor capacidad para almacenar estos metales.

La raíz hace parte de las principales barreras de defensa mediante la inmovilización del cadmio por medio de pectinas presentes en la pared celular.

Una manera de prevenir la toxicidad del cadmio es el aumento de la extrusión del cadmio por transportadores de cationes de la membrana plasmática; en el momento en el cual el cadmio entra a la célula puede ser almacenado por ácidos orgánicos, aminoácidos, fitoquelatinas y metalotioneinas, y posteriormente compartimentalizados en la vacuola.

La síntesis de las fitoquelatinas hace parte de los mecanismos de defensa frente a los metales pesados, su síntesis se presenta a partir del glutatión y se induce en presencia de metales pesados. 26

2.4.4 Efectos del Cadmio sobre la salud. Los metales pesados presentes en productos consumidos por los humanos, se ha convertido en una problemática mundial de salud pública, ya que la presencia de estos metales podría ser la causante de las alteraciones de salud en los seres humanos.27

Las tres vías de absorción de los metales pesados por el humano son:

4. Absorción gastrointestinal. La absorción del cadmio mediante la ingesta de alimentos se puede ver favorecida en personas con deficiencia de hierro en la sangre, proteínas, calcio entre otras.
5. Absorción respiratoria. El cadmio ingresa al organismo mediante su inhalación principalmente en forma de aerosol; entre el 10 y el 50% de las partículas de cadmio inhaladas por el individuo, se depositan en la parte alveolar de los pulmones. El porcentaje de absorción es el 15 al 30% en individuos de características normales, mientras que en fumadores y personas expuestas ocasionalmente, estos porcentajes varían en un 25 y 50%.

---

26 Ecosistema. [En línea] Disponible en: <http://www.revistaecosistemas.net/index.php/ecosistemas/article/download/409/393>

27 El daño que producen los metales pesados en la Salud. [En línea] Disponible en: <http://loalternativosana.com/el-dano-que-producen-los-metales-pesados-en-la-salud/>

6. Absorción cutánea. En la literatura no se encuentran estudios significativos referentes a la absorción del cadmio a través de la piel, sin embargo se encontró que el cloruro de cadmio se logra absorber en la piel después de cinco horas en un porcentaje del 4%<sup>28</sup>

Al ser introducidos los metales pesados por vía digestiva se transportan hacia el hígado por medio de la sangre, en este órgano se unen a las proteínas para formar complejos, los cuales son transportados hacia los riñones; donde se pueden almacenar desde 10 hasta 35 años; al presentarse acumulación del cadmio en los riñones se pueden producir daños en el mecanismo de filtración, por consiguiente se da la excreción de proteínas esenciales y azúcares del cuerpo y por ende el daño de estos órganos; además esta acumulación puede ocasionar una disfunción renal tubular, lo cual resulta un incremento de la excreción de proteínas de bajo peso molecular en la orina; cabe resaltar que este daño producido generalmente es irreversible; asimismo el alto consumo del cadmio podría ocasionar una distorsión en el metabolismo del calcio y la formación de cálculos renales; cabe resaltar que el cadmio además de afectar los órganos anteriormente mencionados también altera negativamente el sistema óseo y respiratorio.

El cadmio además de ingresar al cuerpo por la vía digestiva también puede ser introducido por las vías respiratorias; cuando las personas fuman el humo del tabaco transporta el Cadmio a los pulmones. La sangre se encarga de transportar el Cadmio al resto del cuerpo [12]

El cadmio al ingresar al cuerpo por sus diferentes mecanismos de absorción, presenta las siguientes manifestaciones clínicas según su vía:

1. **Manifestaciones clínicas por inhalación.** Las personas que han inhalado este metal pueden presentar síntomas como: fiebre, alteraciones digestivas, dolor torácico, disnea y edema agudo de pulmón, el cual puede ocasionar la muerte por insuficiencia respiratoria, irritaciones de las mucosas, dificultad respiratoria aguda, anemia, albuminuria, hepatitis que provocan la muerte por hepatonecrosis.
2. **Manifestaciones clínicas por ingestión.** Los síntomas que presentan las personas posteriormente a ingerir cadmio son: náuseas, vómitos, dolores abdominales, cefalea, diarrea intensa con colapso e intoxicación aguda en casos de ingerir altas concentraciones de cadmio.

---

28 BADILLO GERMAN, J. Francisco. Cadmio. [En línea] Disponible en: <http://www.bvsde.paho.org/bvsacd/eco/016750/016750-cadm.pdf>

Además altos contenidos de cadmio en el cuerpo humano pueden producir diferentes daños en las partes en las cuales sea almacenado; entre ellas están:

1. **Efectos en el riñón.** El cadmio depositado en este órgano afecta principalmente las funciones de reabsorción de los túbulos proximales. Generalmente el primer signo de esto es el aumento en la excreción de proteínas de bajo peso molecular, es decir proteína teinuria tubular.
2. **Efectos en el sistema óseo.** Los efectos producidos en el sistema óseo están relacionados con el daño en el riñón, debido a que el cadmio presente en el cuerpo interfiere en el metabolismo del calcio.
3. **Efectos carcinogénicos.** En el año 1965 se registró el primer caso de cáncer asociado con la exposición al cadmio.
4. **Otros efectos.** Otros efectos asociados a la intoxicación con cadmio son: ligera disminución de la hemoglobina, hipertensión y enfermedades arterioescleróticas del corazón.<sup>29</sup>

## 2.5 ANÁLISIS FÍSICOQUÍMICOS EN SUELOS.

Los análisis físico-químicos realizados a las muestras de suelo se relacionan a continuación:

5. **pH.** El pH es la medida de acidez o alcalinidad de una sustancia. En suelos con pH ácidos se facilita la asimilación del cadmio por la planta, y en suelos con pH alcalinos se presenta la retención del cadmio<sup>30</sup>
6. **TEXTURA.** La textura es la propiedad física que determina en porcentaje las partículas del suelo (arena, arcilla y limo). En el presente estudio se determinó numéricamente mediante las siguientes ecuaciones:

$$\%Arena = 100 - \frac{\text{lectura corregida a los 40 segundos} \times 100}{\text{Peso de la muestra}}$$

$$\%Arcilla = \frac{\text{lectura corregida a las 2 horas} \times 100}{\text{Peso de la muestra}}$$

---

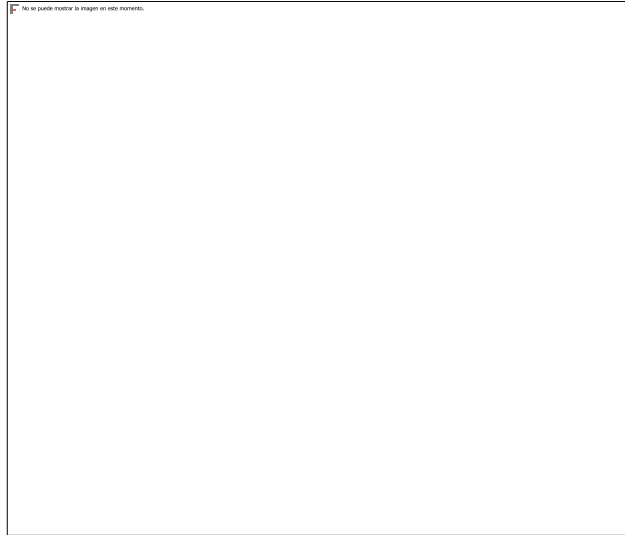
<sup>29</sup> Ibid

<sup>30</sup> La contaminación con cadmio en suelos agrícolas [En línea] Disponible en: [https://www.academia.edu/7195023/LA\\_CONTAMINACION\\_CON\\_CADMIO\\_EN\\_SUELOS\\_AGRICOLAS\\_Cadmiun\\_contamination\\_in\\_agricultural\\_soils](https://www.academia.edu/7195023/LA_CONTAMINACION_CON_CADMIO_EN_SUELOS_AGRICOLAS_Cadmiun_contamination_in_agricultural_soils)

$$\%Limo = 100 - (\%Arena + \%Arcilla)$$

Después de calculado el porcentaje de las partículas del suelo, se determina la textura del suelo mediante el triángulo textural, mostrado en la figura 12.

Figura 12. Triangulo Textural



Fuente. Propiedades físicas del suelo (estructura, textura, color, densidad y porosidad) [En línea] Disponible en: [http://datateca.unad.edu.co/contenidos/358013/ContenidoEnLinea/leccin\\_7\\_propiedades\\_fisicas\\_del\\_suelo\\_estructura\\_textura\\_color\\_densidad\\_y\\_porosidad.html](http://datateca.unad.edu.co/contenidos/358013/ContenidoEnLinea/leccin_7_propiedades_fisicas_del_suelo_estructura_textura_color_densidad_y_porosidad.html)

7. **Determinación de la granulometría.** Es la separación de las partículas constitutivas del agregado según sus tamaños.<sup>31</sup>

La gradación del suelo en el presente estudio se expresó numéricamente a través de la determinación de dos parámetros:

1. **Coficiente de uniformidad (Cu):** es el grado de la distribución de las partículas del suelo

$$Cu = \frac{D_{60}}{D_{10}}$$

---

31 Granulometría. Disponible en: <http://www.uca.edu.sv/mecanica-estructural/materias/materialesCostruccion/guiasLab/ensayoAgregados/GRANULOMETRIA.pd>

2. **Coefficiente de curvatura (Cc):** es el equilibrio entre los diversos tamaños de partícula y la homogeneidad de las mismas.

$$Cc = \frac{D_{30}^2}{(D_{10} \times D_{60})}$$

**Donde:**

$D_{10}$  = *Diametro de la partícula para el 10%*

$D_{30}$  = *Diametro de la partícula para el 30%*

$D_{60}$  = *Diametro de la partícula para el 60%*

La composición granulométrica del suelo es importante en la retención del cadmio ya que de esta depende la capacidad de adsorción de las arcillas<sup>32</sup>

3. **Densidad aparente.** Es la relación entre la masa del suelo seco y el volumen total o aparente del suelo. <sup>33</sup>

$$Densidad\ aparente = \frac{Peso\ muestra\ seca\ (g)}{Volumen\ Total\ (cm^3)}$$

4. **Densidad Real.** Es la relación entre la masa del suelo seco y el volumen ocupado por las partículas sólidas

$$Densidad\ real = \frac{Masa\ de\ suelo\ seco}{Volumen\ de\ suelos\ eco}$$

5. **Porosidad.** La porosidad se define como el volumen de espacios vacíos en el volumen total de la roca, y se estima en %<sup>34</sup>

$$Porosidad = 1 - \frac{DA}{DR} \times 100$$

---

32 GONZÁLEZ TÉLLEZ, Adela Isabel. Determinación y validación de cadmio total e intercambiable en algunos suelos cacaoteros del departamento de Santander. Universidad Industrial de Santander. Facultad de Ciencias. Escuela de Química. Laboratorio Químico de suelos. Bucaramanga. 2010. [En línea] Disponible en: <http://repositorio.uis.edu.co/jspui/bitstream/123456789/387/2/134703.pdf>

33 Relación agua-suelo-planta. [En línea] Disponible en: <https://www.researchgate.net/file.PostFileLoader.html?id=5489ccfad685cc2b7a8b45da&assetKey=AS%3A273650610049024%401442254797461>

34 Rocas carbonáticas. Porosidad. [En línea] Disponible en: <http://pendientedemigracion.ucm.es/info/petrored/rc/por/>

6. **Contenido de humedad.** Es la relación entre la masa de agua y la masa de suelo una vez seco.<sup>35</sup>

$$\%HG = \frac{\text{Peso muestra húmeda} - \text{Peso muestra seca (g)}}{\text{Peso muestra seca}} \times 100$$

7. **Infiltración.** La capacidad de Infiltración del suelo se mide a través de la velocidad del suelo a la cual el agua entra en él, esta característica física depende directamente del tipo de suelo, de su estructura o grado de agregación y del contenido previo del mismo.<sup>36</sup>

La infiltración depende del tipo de suelo, estructura o grado de agregación y del contenido previo de agua en el mismo.

8. **Capacidad de intercambio catiónico.** Es la medida de la cantidad de cargas negativas o posiciones intercambiables que pueden ser ocupadas por los cationes en la solución del suelo<sup>37</sup>. A mayor CIC Mayor será la capacidad del suelo de fijar los metales<sup>38</sup>.

$$CIC \left( \frac{meq}{100gr} \right) = 2(V - B)Soda$$

$V = \text{volumen de soda gastada en la muestra (mL)}$

$B = \text{volumen de soda gastada en el blanco (mL)}$

---

35 Relación agua-suelo-planta. [En línea] Disponible en: <https://www.researchgate.net/file.PostFileLoader.html?id=5489ccfad685cc2b7a8b45da&assetKey=AS%3A273650610049024%401442254797461>

36 LOWERY, B., M.A. Arshad, R. Lal, and W. J. Hickey. 1996. Soil water parameters and soil quality. P. 143-157. En: J.W. Doran and A. J. Jones (eds.) Methods for Assessing Soil Quality. Soil Sci. Soc. Am. Spec. Publi. 49. SSSA, Madison, WI. EE.UU.

37 Propiedades de los suelos. [En línea] Disponible en: <http://es.slideshare.net/jsaraviap2/propiedades-de-los-suelos-39760263>

38 GONZÁLEZ TÉLLEZ. Op. Cit.

### 3. METODOLOGÍA

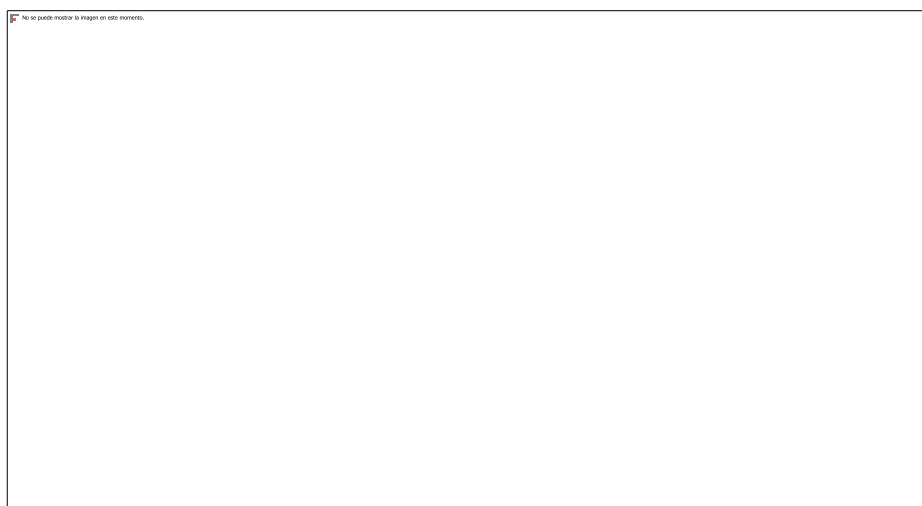
El área seleccionada para la ejecución del presente proyecto corresponde a la Finca San Ignacio, ubicada en el Municipio del Carmen de Chucurí. En la tabla 7 se resumen las generalidades de la finca y en la figura 13 la ubicación geográfica, donde se ha identificado con el número 3.

Tabla 7. Finca seleccionada.

<b>Nombre de la finca</b>	San Ignacio
<b>Nombre del propietario</b>	Gilberto García Ardila
<b>Dpto.</b>	Santander
<b>Municipio</b>	El Carmen de Chucurí
<b>Vereda</b>	Barranco Amarillo
<b>Altitud m.s.n.m.</b>	750
<b>Área total de la finca (Ha).</b>	190
<b>Área en cacao (Ha).</b>	20
<b>Estrato</b>	20
<b>Temperatura</b>	22-30°C

Fuente: BELTRÁN MARÍN, Miguel Ángel. Representante de los cultivadores de cacao. 2015.

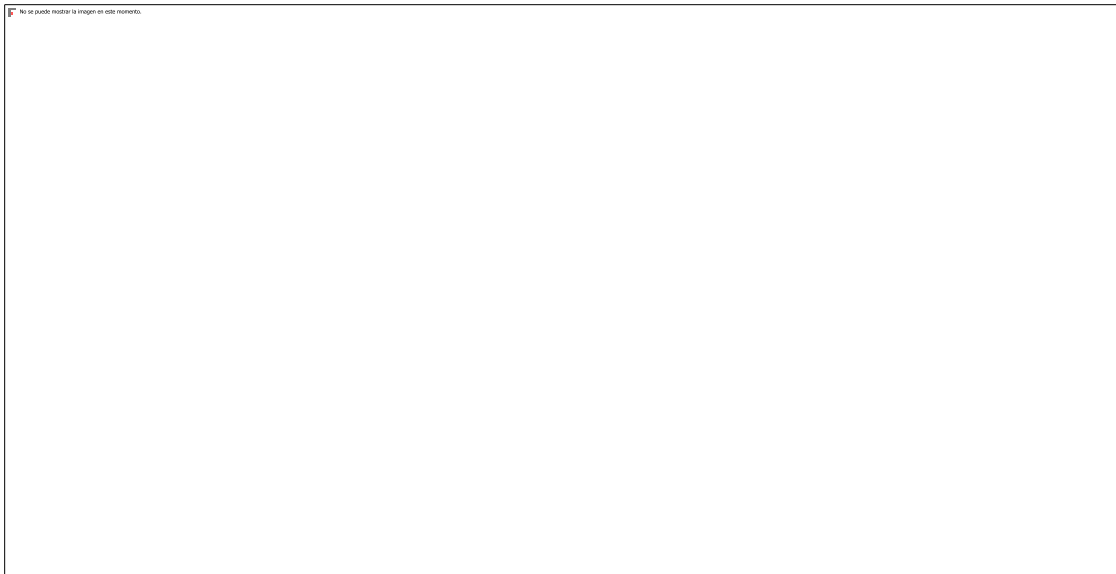
Figura 13. Ubicación de la finca seleccionada, municipio El Carmen de Chucurí.



Fuente: BELTRÁN MARÍN, Miguel Ángel. Representante de los cultivadores de cacao. 2015.

La metodología se desarrolló en tres etapas y se resume en la figura 14.

Figura 14. Metodología desarrollada.



Fuente. La Autora.

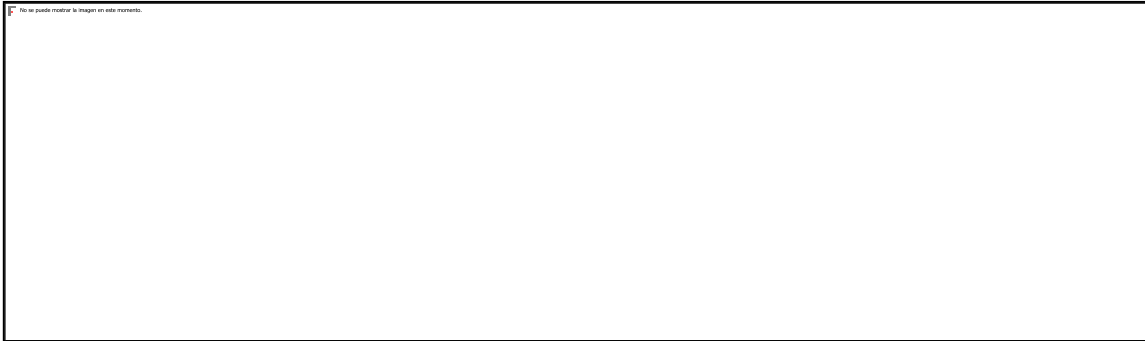
### 3.1. ETAPA 1. DETERMINACIÓN DE LA CONCENTRACIÓN DE CADMIO EN LA ALMENDRA SECA DE CACAO

Esta primera etapa permitió determinar si los cultivos de cacao de la finca en estudio, presentan la problemática de contaminación por cadmio en la almendra seca. El procedimiento a seguir fue el siguiente:

1. Se seleccionaron las Unidades de Muestreo (UM) en las zonas de cultivo de la finca San Ignacio, teniendo en cuenta la homogeneidad del terreno. Para esto se identificó la pendiente del terreno (plano vs inclinado), posición en el terreno (zona alta, media y baja) y variedad de cacao cultivado.
1. En cada Unidad de Muestreo se procedió a recolectar las almendras de cacao. Las plantas de donde se tomaron las almendras, se seleccionaron aplicando un muestreo aleatorio simple con un patrón de recorrido en zig zag, que permitió cubrir el total del área de cada UM, garantizando que el muestreo fuera representativo. (Sallete, V., 2013). En cada planta se recolectó una almendra madura.
2. Las almendras de cacao recolectadas se desengrullaron, secaron y fermentaron siguiendo los métodos propios del personal de la finca en estudio.

En la figura 15 se evidencia las actividades realizadas a la almendra de cacao en la etapa 1.

Figura 15. Actividades desarrolladas en la etapa 1.



Fuente. La Autora.

3. Al grano de cacao obtenido se le determinó la concentración de cadmio por el método de Absorción Atómica (Método USEPA 3050B). El equipo utilizado fue 'Absorción Atómica Espectrómetro AAnalyst 440'. El gas aplicado fue aire acetileno, con flujo de 1.86 Litros/minuto y aire, con un flujo de 10 Litros/minuto. En el proceso de digestión de las muestras de la almendra seca se utilizaron 2 mL de peróxido de hidrógeno al 30% y 2 ml de ácido nítrico al 65%.
4. El procedimiento utilizado en la almendra seca para la determinación de la concentración de cadmio se relaciona en la figura 16.

Figura 16. Procedimiento preparación de la muestra para detección de cadmio por absorción atómica.



Fuente. La Autora.

### 3.2. ETAPA 2. DIAGNÓSTICO DE LAS CAUSAS DE CONTAMINACIÓN DE CADMIO EN LA ALMENDRA SECA DE CACAO EN LA FINCA CACAOTERA SAN IGNACIO

Después de comprobar la presencia de cadmio en la almendra seca y evidenciándose la problemática en la finca de estudio, se desarrollaron las siguientes actividades:

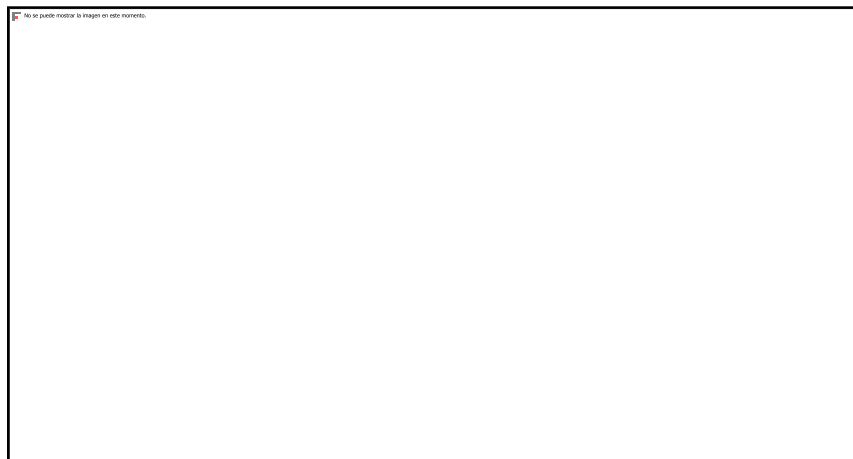
3.2.1 Análisis de cadmio en la almendra fresca de cacao. Durante la segunda visita técnica a la finca San Ignacio se recolectó la almendra de cacao en el mismo árbol muestreado en la primera visita. La metodología aplicada para la recolección y detección de cadmio de las muestra fue la misma utilizada en la etapa 1.

3.2.2 Determinación de la concentración de cadmio en el suelo. Se realizó la determinación de cadmio en el suelo de la siguiente manera:

5. **Toma de muestra.** Se tomaron las muestras de suelo en los mismos puntos donde se tomó la muestra de almendra, aplicando la metodología propuesta en la “Guía Metodológica para el muestreo y detección de cadmio en suelos, agua, fertilizantes, almendras de cacao y productos derivados” (Barrueta, 2013).

En cada sitio de muestreo se tomó cuatro muestras de suelo (de 100 a 200 g cada una) en la mitad de la proyección de la copa del árbol de cacao, como se ilustra en la figura 17, a una profundidad de 20 cm.

Figura 17. Puntos para la toma de muestra de suelos.



Fuente. BARRUETA, 2013

Las cuatro muestras se mezclaron y se empacaron en bolsas plásticas, obteniéndose las sub-muestras de cada punto.

Después de obtener todas las sub-muestras de toda la Unidad de Muestreo, se procedió a mezclarlas para obtener una sola muestra. Se realizó el cuarteo de la misma hasta obtener finalmente 2 kg de muestra, la cual fue empacada en bolsa plástica con cierre hermético.

6. **Análisis fisicoquímicos de la muestra obtenida.** La tabla 8 resume los análisis que se realizaron al suelo y los métodos aplicados para la medición de cada uno de los parámetros.

Tabla 8. Análisis del suelo y métodos aplicados.

Parámetro	Método empleado
pH	Medición con Potenciómetro en solución con Kcal y agua destilada.
Textura	Método de Bouyoucos (Bouyoucos, 1962)
Determinación de la Granulometría	Prueba de cribado – Tamizado
Densidad real	Volumen desplazado de agua por una cantidad conocida de suelo. Principio de Arquímedes
Densidad aparente	Método del cilindro, en campo. Relación entre el peso del suelo seco y el volumen del cilindro.
Contenido de Humedad	Método gravimétrico: diferencia entre el peso del suelo húmedo y seco.
Infiltración	
Cadmio	Absorción atómica. USEPA 3050B
Capacidad de Intercambio Catiónico	Método de desplazamiento por el acetato de amonio

Fuente. La Autora.

3.2.3 Identificación de los procesos realizados en la finca San Ignacio para el cultivo de cacao. Durante la segunda visita se realizó la recolección de información como: área cultivada, variedad de cacao cultivado, fertilizantes aplicados, uso de cal, tiempo de aplicación de insumos, manejo de residuos de cosecha, manejo de lixiviados del proceso de fermentación, método de fermentación y secado.

### 3.3. ETAPA 3. FORMULACIÓN DE ALTERNATIVAS DEL MANEJO SOSTENIBLE DE CULTIVO Y PROCESAMIENTO DEL CACAO

Con base en el diagnóstico realizado, se planteó una alternativa para el manejo sostenible del cultivo de cacao; además se plantearon 2 prácticas de producción más limpia.

## 4. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

### 4.1 DETERMINACIÓN DE LA PRESENCIA DE CADMIO EN LA ALMENDRA SECA DE CACAO.

La finca San Ignacio tiene un área total de 190 Ha de las cuales 20 Ha están cultivadas con cacao. Esta área cultivada está organizada por lotes identificados con nombres específicos, en donde se determinaron un total de 12 Unidades de Muestreo (UM).

La tabla 9 muestra la ubicación en cada lote de las unidades de muestreo y el tipo de cacao cultivado.

Tabla 9. Unidades de Muestreo (UM) identificadas en el área de cultivo de cacao.

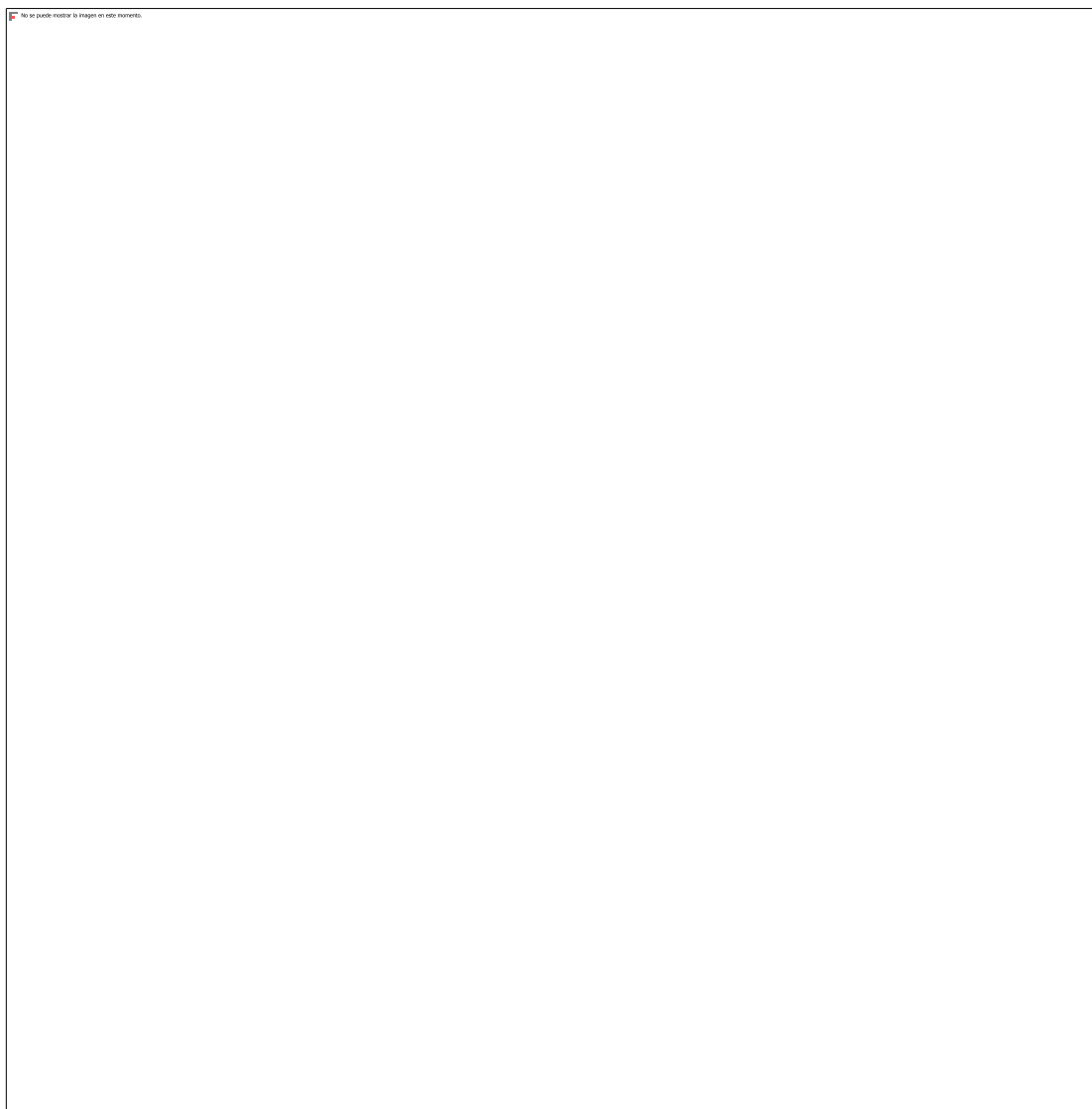
UNIDAD DE MUESTREO	LOTE	TIPO DE CACAO
1	La Vega	Común
2	La Esperanza	Común
3		CCFN 51
4	Rancho Quemado	ISC 60
5		FEC 2
6		FSV 41

7		CCN 51
8	Piedrón	EET 8
9		CAUCACIA 39
10		Clones Regionales
11		ISC 60
12	Birmania	Común

Fuente. La Autora.

La figura 18 corresponde a un esquema que ilustra las Unidades de Muestreo identificadas.

Figura 18. Unidades de muestreo de las zonas de cultivo de la finca San Ignacio



Fuente. La Autora.

4.1.1 Concentración de Cadmio en la almendra seca de cacao. Los resultados obtenidos a partir del análisis por Absorción Atómica de la concentración de cadmio en la almendra seca de cacao se relacionan en la tabla 10 y en la gráfica 1.

Tabla 10. Contenido de cadmio de la almendra seca de cacao.

UNIDAD DE MUESTREO	TIPO DE CACAO	CONCENTRACIÓN DE CADMIO mg/kg
1	Común	17.7929
2	Común	6.0276
3	CCN 51	3.7
4	ISC 60	4.4721
5	FEC 2	4.3124
6	FSV 41	4.3127
7	CCN 51	3.9637
8	EET 8	5.016
9	CAUCACIA 39	3.6483
10	CLONES REGIONALES	3.449
11	ISC 60	3.1063
12	Común	2.14

Fuente. La Autora.

Gráfica 1. Relación de la concentración de cadmio en la almendra seca de cacao.

Fuente. La

Autora.

Se observó que todas las muestras de almendras secas analizadas procedentes de las áreas identificadas presentaron concentraciones de cadmio. La menor concentración se presentó en el lote denominado Birmania con 2,14 mg/kg y la muestra con mayor contenido de cadmio fue de 17.7929 mg/kg, procedente del lote La Vega.

El Reglamento (UE) No 488/2014 de la comisión del 12 de mayo de 2014, establece que para chocolate con un contenido mayor del 50% de materia seca (cacao) el límite máximo de cadmio es 0,80 mg/kg. Teniendo en cuenta que en el mercado se puede obtener chocolate con un contenido de cacao de hasta el 80%, y si el producto se procesa con cacao procedente de la finca en estudio con la menor cantidad de cadmio (2,14 mg/kg), el chocolate tendría una concentración de cadmio de 1,712 mg de cadmio por cada gramo de chocolate, lo cual estaría excediendo el límite máximo permitido. Teniendo en cuenta lo anterior el cacao producido en la finca San Ignacio no cumple las exigencias de la Unión Europea para su comercialización, evidenciando una problemática por contaminación de este metal.

*Limite maximo permitido por la UE*

$$\begin{aligned} &= (\text{Contenido de cadmio en la semilla seca}) \times (\text{contenido de cacao en mater}) \\ &= 0.80 \end{aligned}$$

$$\text{Limite maximo permitido por la UE} = \left( 2.14 \frac{\text{mg}}{\text{kg}} \right) \times 0.80 = 1.712 \text{mg/kg}$$

#### 4.2. DIAGNÓSTICO DE LAS CAUSAS DE CONTAMINACIÓN POR CADMIO EN LA FINCA CACAOTERA SAN IGNACIO.

4.2.1 Contenido de cadmio en la almendra fresca. La concentración de cadmio en la almendra fresca se relaciona en la tabla 11 y se muestra en la gráfica 2.

Tabla 11. Relación Contenido de cadmio en la almendra fresca

UNIDADES DE MUESTREO	LOTE	TIPO DE CACAO	CONTENIDO DE CADMIO EN ALMENDRA FRESCA mg/kg
1	La Vega	Común	16.28
2	La Esperanza	Común	5.27
3		CCN 51	1.92
4	Rancho Quemado	ISC 60	1.92
5		FEC 2	4.22
6		FSV 41	8.79
7		CCN 51	4.5
8		Piedrón	EET 8
9	Piedrón	CAUCACIA 39	2.68
10		CIONES REGIONALES	5.37
11		ISC 60	5.32
12	Birmania	Común	1.95

Fuente. La Autora.

Gráfica 2. Relación contenido de cadmio en la almendra fresca.

Fuente. La

Autora.

En la gráfica 2 se observa que todas las muestras presentan la presencia de cadmio en concentraciones entre 1.92 y 16.28 mg/kg. La UM 1 presentó la mayor concentración de cadmio y la UM 3 y 4 la menor. En el presente estudio no se logró determinar la influencia de los procedimientos de fermentación y secado ya que las almendras recolectadas para el análisis de contenido de cadmio en la almendra seca y fresca no pertenecen a la misma mazorca, debido a que los muestreos se realizaron en diferentes periodos.

4.2.2. Determinación de la concentración de cadmio en el suelo. La determinación de la concentración de cadmio en el suelo se realizó en las muestras recolectadas a una profundidad de 0-20 cm.

En la tabla 12 y en la Gráfica. 3 se relaciona la concentración de cadmio en el suelo de la finca San Ignacio.

Tabla 12. Contenido de cadmio en el suelo.

UNIDAD DE MUESTREO	LOTE	TIPO DE CACAO	CONTENIDO DE CADMIO EN SUELO (0-20cm) (mg/kg)
1	La Vega	Común	14.59
2	La Esperanza	Común	2.14
3		CCN 51	0.96
4	Rancho Quemado	ISC 60	0.96
5		FEC 2	0.96
6		FSV 41	0.96
7		CCN 51	0.96
8	Piedrón	EET 8	0.96
9		CAUCACIA 39	0.96
10		CLONES REGIONALES	0.96
11		ISC 60	0.96
12	Birmania	Común	1.17

Fuente. La Autora.

Gráfica 3. Relación contenido de cadmio en el suelo.

Fuente. La

Autora.

Teniendo en cuenta que los suelos en general presentan una concentración promedio de cadmio entre 0,07 y 1,1 mg.kg<sup>-1</sup>, con un nivel base natural que no exceden de 0,5 mg. (kg<sup>-1</sup>)<sup>39</sup>, los resultados obtenidos del suelo tomado en las Unidades de Muestreo 3 hasta la 11, no presentaron una concentración significativa de cadmio. Sin embargo en las muestras tomadas en las UM 1, 2 y 12 presentan contenidos de cadmio de 2.14 mg/kg, 1.17 mg/kg y 14.59 mg/kg respectivamente, sobrepasando los límites característicos de los suelos, principalmente el suelo ubicado en el lote denominado La Vega (UM 1), donde la concentración de cadmio es significativa. Según la Organización Mundial de la Salud, este tipo de suelos que contienen concentraciones de cadmio superiores a 3 mg/kg son considerados Fito tóxicos<sup>40</sup>.

4.2.3 Propiedades físico-químicas del suelo. Los resultados obtenidos de los análisis físico-químicas realizados a las muestras de suelo de la finca San Ignacio son:

1. **pH.** El pH del suelo se determinó en medio acuoso y medio KCl, con el fin de analizar por medio del  $\Delta$ pH la capacidad del suelo de ser intercambiador aniónico o catiónico. La tabla 13 y la gráfica 4 muestran los resultados obtenidos. En la gráfica 5 se muestra

---

39 ABATA-PENDÍAS S. y PENDÍAS, H. 1984. Trace elements in soils and plants. CRC Press, Boca Ratón, Florida

40 Organización mundial de la salud. Informe Cadmio. Ginebra: OMS. 1972.

la comparación entre los resultados obtenidos de pH y la concentración de cadmio en el suelo.

Tabla 13. Resultados del pH en el suelo de la finca San Ignacio

UNIDAD DE MUESTREO	pH en agua	pH en KCl	$\Delta$ pH
1	5.37	4.74	-0.63
2	4.97	4.7	-0.27
3	5.93	5.15	-0.78
4	6.03	4.69	-1.34
5	4.2	3.5	-0.7
6	3.95	3.63	-0.32
7	4.45	3.44	-1.01
8	5.1	4.5	-0.6
9	5.9	5.2	-0.7
10	5.6	4.37	-1.23
11	4.34	3.53	-0.81
12	4.38	4.02	-0.36

Fuente. La Autora.

Gráfica 4. pH

Fuente. La

Autora.

Gráfica 5. Comparación nivel del pH con la concentración de cadmio en el suelo (mg/kg)

Fuente. La

Autora.

Se evidenció que la mayoría de los suelos tienen un pH ácido, exceptuando las unidades de muestreo 3, 4, 9 y 10 que presentaron un pH ligeramente ácido. El  $\Delta\text{pH}$  en todos los sitios muestreados dio negativo, lo que indica que en el suelo predomina la carga negativa, por consiguiente, es un intercambiador catiónico. Los resultados de pH favorecen la biodisponibilidad del cadmio por la planta ya que aumenta la movilidad del metal en la fase acuosa del suelo y una mayor capacidad de intercambio del catión. En el caso de suelos ácidos se recomienda alcalinizarlos con el fin de reducir la movilidad y la biodisponibilidad del cadmio para las plantas. 41 , 42 . En la finca San Ignacio actualmente se está implementando la alcalinización del suelo, por medio de la cal dolomita; sin embargo este producto no es óptimo para este proceso, ya que en su composición presenta la roca fosfórica, la cual está relacionada con la concentración de cadmio; por consiguiente este metal pesado se introduce al suelo a través del insumo mencionado, por esta razón se recomienda sustituir la cal dolomita por una cal orgánica libre de roca fosfórica.

**4.2.2.1 Textura.** En las tablas 14 y 15 se relacionan los resultados registrados de las lecturas del hidrómetro a los 40 segundos y a las 2 horas.

Tabla 14. Resultados de textura del suelo de la Finca San Ignacio a los 40 segundos

---

41 Determinación de metales pesados en suelos de medina del campo [En línea] Disponible en: File:///E:/Users/USUARIO/Downloads/determinacion-de-metales-pesados-en-suelos-de-medina-del-campo-valladolid-contenidos-extraibles-niveles-fondo-y-de-referencia--0.pdf

42 GONZÁLEZ TÉLLEZ. Op. Cit.

UNIDAD DE MUESTREO	LOTE	Temperatura °C	Corrección de la temperatura	Lectura del Hidrómetro	Corrección
1	La Vega	23	1.28	34	35.28
2	La Esperanza	22	0.92	34	34.92
3		23	1.28	34	35.28
4	Rancho Quemado	23	1.28	38	39.28
5		23	1.28	36	37.28
6		23	1.28	36	37.28
7		23	1.28	25	26.28
8	Piedrón	23	1.28	31	32.28
9		23	1.28	34	35.28
10		23	1.28	34	35.28
11		23	1.28	25	26.28
12	Birmania	22	0.92	28	28.92

Fuente. La Autora.

Tabla 15. Resultados de textura del suelo de la Finca San Ignacio a las 2 horas

UM	LOTE	TIPO DE CACAO	Temperatura °C	Corrección de la temperatura	hidrómetro	corrección
1	La Vega	Común	24	1.64	22	23.64
2	La Esperanza	Común	24	1.64	11	12.64
3		CCN 51	23	1.28	12	13.28
4	Rancho Quemado	ISC 60	23	1.28	25	26.28
5		FEC 2	24	1.64	20	21.64
6		FSV 41	24	1.64	20	21.64
7		CCN 51	23	1.28	12	13.28
8	Piedrón	EET 8	23	1.28	17	18.28
9		CAUCACIA 39	23	1.28	18	19.28
10		CLONES REGIONALES	24	1.64	20	21.64
11		ISC 60	23	1.28	13	14.28
12	Birmania	Común	23	1.28	15	16.28

Fuente. La Autora.

A partir de los datos relacionados en las tablas 14 y 15, se calculó los porcentajes texturales correspondientes. En la tabla 16 se relaciona la textura de cada Unidad de muestreo.

Tabla 16. Relación textural

UNIDAD DE MUESTREO	LOTE	TIPO DE CACAO	TEXTURA
1	La Vega	Común	Arcilloso
2	La Esperanza	Común	franco arcillosa
3		CCN 51	franco arcilloso
4	Rancho Quemado	ISC 60	franco arcillosa
5		FEC 2	franco arcilloso
6		FSV 41	franco arcilloso
7		CCN 51	arcilloso
8	Piedrón	EET 8	Arcilloso
9		CAUCACIA 39	franco arcilloso
10		CLONES REGIONALES	franco arcilloso
11		ISC 60	franco arcilloso
12	Birmania	Común	franco arcilloso

Fuente. La Autora.

La tendencia de la textura de las muestras analizadas en la tabla. 16 es franco arcillosa – arcillosa; los suelos arcillosos retienen más metales por adsorción o en el complejo de cambio de los minerales de la arcilla<sup>43</sup>; por esta razón se relaciona que este tipo de textura favorece una mayor presencia de cadmio disponible el cual estaría adsorbido a la matriz del suelo; en este caso la arcilla.

Además, las partículas de arcilla, por su capacidad de retención de agua, intercambian iones de la disolución del suelo, lo cual facilita la retención del cadmio.<sup>44</sup>

En la gráfica No. 6 se muestra la comparación la concentración de cadmio con la clasificación textural de cada unidad de muestreo.

Grafica 6. Comparación de cadmio en el suelo (mg/kg) con la clasificación textural de cada unidad de muestreo

---

43 Metales pesados. [En línea] Disponible en: [https://redcacaoychocolateperu.blogspot.com.co/2015\\_03\\_01\\_archive.html](https://redcacaoychocolateperu.blogspot.com.co/2015_03_01_archive.html)

44 GONZÁLEZ TÉLLEZ. Op. Cit.

Fuente. La

Autora.

**4.2.2.2 Densidad real y Densidad aparente.** La densidad real y la densidad aparente del suelo se determinaron numéricamente.

Posteriormente se procedió a calcular la porosidad del suelo con relación a la densidad real y la densidad aparente.

La porosidad se determinó con el fin de analizar la capacidad de escorrentía que presentan los tipos de suelo de la finca. En el Anexo A. Se registran los cálculos de la densidad real y densidad aparente. En la tabla 17 se relaciona la densidad real y aparente y la porosidad del suelo.

Tabla 17. Relación densidad real, densidad aparente y porosidad del suelo

UM	LOTE	TIPO DE CACAO	DENSIDAD REAL	DENSIDAD APARENTE	POROSIDAD	CLASIFICACIÓN
1	La Vega	Común	3.016	0.691	77.078	Suelos turbosos
2	La Esperanza	Común	2.315	0.700	69.767	Suelos pesados

3		CCN 51	1.717	0.700	59.230	
4	Rancho Quemado	ICS 60	1.717	0.751	56.276	Suelo pesado
5		FEC 2	2.340	0.703	69.951	
6		FSV 41	2.327	0.666	71.392	
7		CCN 51	2.407	0.694	71.162	
8		EET 8	2.000	0.754	62.301	
9	Piedrón	CAUCACIA 39	2.738	0.741	72.944	Suelo pesado
10		CLONES REGIONALES	2.407	0.638	73.502	
11		ICS 60	2.222	0.758	65.895	
12	Birmania	Común	1.939	0.721	62.833	Suelo pesado

Fuente. La Autora.

La tendencia del tipo de suelo según su porosidad corresponde a suelos pesados, caracterizados por:

1. Partículas pequeñas
2. Gran área de interface
3. Gran retención de agua y nutrientes
4. Baja penetrabilidad
5. Percolación lenta
6. Dificil penetración de raíces 45

En la gráfica 7 se relaciona la porosidad y en la gráfica 8 se muestra la comparación entre el porcentaje de porosidad y la concentración de cadmio en el suelo de cada unidad de muestreo

Gráfica 7. Relación porcentajes de porosidad.

---

45 Tipos de suelos. [En línea] Disponible en: <http://www.guiambiental.com.ar/conocimiento-ciencias-de-la-tierra-tipos-de-suelos.html>

Fuente. La

Autora.

De acuerdo a los porcentajes de porosidad se evidenció que todos los puntos de muestreo tienen un nivel que sobrepasa el límite alto correspondiente a un 40%, predominando el tipo de suelo pesado; la fina textura de este tipo de suelo le otorga una elevada retención de agua y nutrientes. No obstante, la porosidad es baja y carece de buenas posibilidades de aireación. Dificulta mucho el drenaje<sup>46</sup>.

Grafica 8. Comparación concentración de cadmio en el suelo con el porcentaje de porosidad de cada unidad de muestreo

---

46 Bricolaje. [En línea] Disponible en:  
<http://www.consumer.es/web/es/bricolaje/jardin/2005/06/15/142946.pHp>

Fuente. La

Autora.

**4.2.2.3 Contenido de Humedad.** La humedad gravimétrica se determinó numéricamente En el Anexo B se reportan los cálculos del contenido de humedad de los Unidades de muestreo (UM) de la finca San Ignacio.

En la tabla 18, en la gráfica 9 se relaciona el contenido de humedad y en la gráfica 10 se muestra la comparación del contenido de humedad con la concentración de cadmio de cada unidad de muestreo

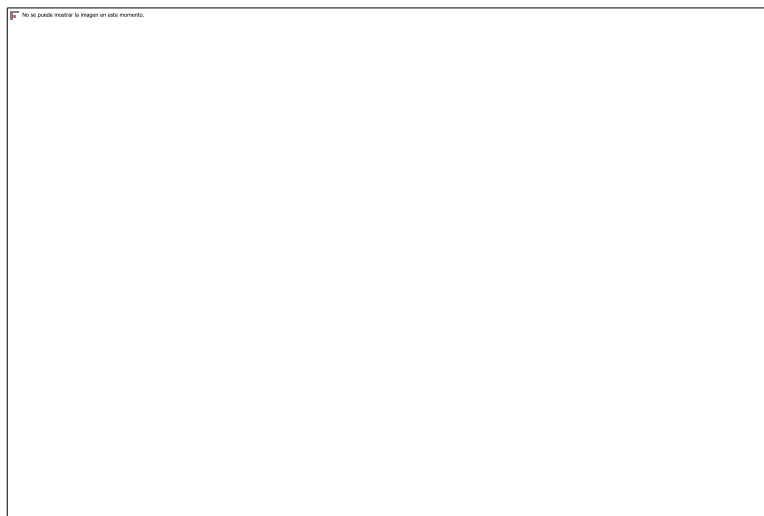
Tabla 18. Resultados de la humedad gravimétrica en las zonas de muestreo del suelo.

UNIDAD DE MUESTREO	LOTE	TIPO DE CACAO	CONTENIDO DE HUMEDAD
1	La Vega	Común	27.88
2	La Esperanza	Común	23.46
3		CCN 51	26.58
4	Rancho Quemado	ICS 60	29.87
5		FEC 2	33.69
6		FSV 41	32.28

UNIDAD DE MUESTREO	LOTE	TIPO DE CACAO	CONTENIDO DE HUMEDAD
7		CCN 51	38.12
8	Piedrón	EET 8	23.76
9		CAUCACIA 39	28.53
10		CLONES REGIONALES	42.86
11		ICS 60	28.87
12	Birmania	Común	24.07

Fuente. La Autora.

Gráfica 9. Contenido de Humedad



Fuente. La Autora.

A pesar de que las muestras de suelo analizadas en general posean una densidad aparente menor a  $1 \text{ g/cm}^3$ , textura franco arcillosa y porosidad alta, el contenido de humedad se encuentra en grado medio debido a diferentes factores; entre ellos las condiciones de temperatura del área (promedio entre  $28^{\circ}\text{C}$ - $30^{\circ}\text{C}$ ), la ausencia de riego y no se ha implementado un sistema agroforestal que permita dar sombra al cultivo.

Gráfica 10. Comparación concentración de cadmio con el contenido de humedad en cada unidad de muestreo.

Fuente. La

Autora.

**4.2.2.4 Infiltración.** En la tabla 19, en la gráfica 11 y en la gráfica 12 se muestra la comparación de la concentración de cadmio con la Infiltración de cada unidad de muestreo se relaciona los resultados obtenidos de la capacidad de Infiltración y en el Anexo C se registran los cálculos realizados.

La infiltración de las diferentes Unidades de muestreo (UM) de la finca es baja, lo cual se relaciona con el análisis textural del suelo, que corresponde a arcilloso en dos unidades de muestreo y franco arcilloso en las 10 unidades restantes. En suelos con infiltración baja la permeabilidad es muy lenta.

Tabla 19. Capacidad de Infiltración de cada Unidad de muestreo.

UNIDADES DE MUESTREO	LOTE	TIPO DE CACAO	INFILTRACIÓN	CLASIFICACIÓN
1	La Vega	Común	0.004	ARCILLOSO
2	La Esperanza	Común	0	
3		CCN 51	0.001	

UNIDADES DE MUESTREO	LOTE	TIPO DE CACAO	INFILTRACIÓN	CLASIFICACIÓN
4	Rancho Quemado	ICS 60	0.001	
5		FEC 2	0.002	
6		FSV 41	0.003	
7		CCN 51	0.002	
8	Piedrón	EET 8	0.001	
9		CAUCACIA 39	0.001	
10		CLONES REGIONALES	0.001	
11		ICS 60	0.001	
12	Birmania	Común	0.002	

Fuente. La Autora.

Gráfica 11. Capacidad de infiltración

Fuente. La

Autora.

Gráfica 12. Comparación concentración de cadmio en el suelo con la capacidad de infiltración de cada unidad de muestreo.

Fuente. La

Autora.

**4.2.2.5 Capacidad de intercambio catiónico.** En el Anexo D se registran los cálculos de la capacidad de intercambio catiónico. En la tabla 20, en la gráfica 13 y en la gráfica 14 se muestra la comparación de la concentración de cadmio y la capacidad de intercambio catiónico de cada unidad de muestreo se relacionan los niveles de capacidad de intercambio catiónico.

Tabla 20. Capacidad de intercambio catiónico

UNIDADES DE MUESTREO	LOTE	TIPO DE CACAO	CIC
1	La Vega	Común	46.8
2	La Esperanza	Común	36.6
3		CCN 51	31.8
4	Rancho Quemado	ICS 60	32.8
5		FEC 2	48.8
6		FSV 41	48.8
7		CCN 51	25.6
8	Piedrón	EET 8	36.8
9		CAUCACIA 39	38.2
10		CLONES REGIONALES	41.8
11	Birmanía	ICS 60	40.4
12		Común	38.8

Fuente. La Autora.

Gráfica 13. Capacidad de intercambio catiónico

Fuente. La

Autora.

Grafica 14. Comparación concentración de cadmio en el suelo con la capacidad de intercambio catiónico de cada unidad de muestreo.

Fuente. La

Autora.

A partir del análisis de la capacidad de intercambio catiónico del suelo se determinó la capacidad del suelo para retener cationes e intercambiarlos con la solución del suelo.

Cabe resaltar que las partículas de arcilla son los componentes de carga negativa del suelo.

Se observó una tendencia alta de la capacidad de intercambio catiónico en las muestras de suelos; favoreciendo la acumulación de cadmio.<sup>47</sup> En general, a mayor capacidad de intercambio catiónico mayor será la capacidad del suelo de fijar los metales pesados. <sup>48</sup>

**4.2.2.6 Determinación de la granulometría: Prueba de cribado – Tamizado.** El análisis de la granulometría del suelo permitió determinar la proporción de los granos de cada tipo de suelo en función de su tamaño, es decir, la gradación del suelo, clasificando en general los suelo de todas las unidades de muestreo como suelo bien graduado, excepto la unidad de muestreo 3, como se evidencia en la tabla 21- En el Anexo E se relacionan los resultados de granulometría en el suelo de la finca en estudio.

Tabla 21. Clasificación del tipo de suelo según su coeficiente de curvatura

UNIDADES DE MUESTREO	LOTE	TIPO DE CACAO	CU	CC	CLASIFICACIÓN SEGÚN EL COEFICIENTE DE CURVATURA
1	La Vega	común	7.14	1.14	SUELO BIEN GRADUADO
2	La Esperanza	Común	9.5	1.28	SUELO BIEN GRADUADO
3		CCN 51	47.5	0.75	-
4	Rancho	ICS 60	38.75	1.06	SUELO BIEN GRADUADO

<sup>47</sup>GONZÁLEZ TÉLLEZ. Op. Cit.

<sup>48</sup> Determinación de metales pesados en suelos de medina del campo. [En línea] Disponible en: <File:///E:/Users/USUARIO/Downloads/determinacion-de-metales-pesados-en-suelos-de-medina-del-campo-valladolid-contenidos-extraibles-niveles-fondo-y-de-referencia--0.pdf>

5	Quemado	FEC 2	12.91	0.93	SUELO BIEN GRADUADO
6		FSV 41	2.07	1.1	SUELO BIEN GRADUADO
7		CCN 51	10	0.98	SUELO BIEN GRADUADO
8	Piedrón	EET 8			SUELO BIEN GRADUADO
9		CAUCACIA 39	22.5	0.92	SUELO BIEN GRADUADO
10		CLONES REGIONALES	23.75	0.93	SUELO BIEN GRADUADO
11		ICS 60	40	0.97	SUELO BIEN GRADUADO
12	Birmania	común	34	1	SUELO BIEN GRADUADO

Fuente. La Autora.

4.2.4 Identificación de los procesos realizados en la finca San Ignacio para el cultivo de cacao. Durante la visita técnica se identificaron los manejos que se le dan al cultivo de cacao, los insumos y el procesamiento aplicado en la finca San Ignacio. En la tabla 22 se relaciona la información recolectada.

Tabla 22. Relación de la Información concerniente al cultivo de cacao de la finca San Ignacio

UNIDAD DE MUESTREO	LOTE	PENDIENTE DEL SUELO	COLOR DEL SUELO	FERTILIZACIÓN	CAL (DOLOMITA)	TIPO DE CACAO
1	La Vega	Semiplano	Negro	ABONO ORGÁNICO (5 2 aplicaciones de cal en años)	2 aplicaciones de cal en 20 años	Común
2	La Esperanza	Taraceado	negro más claro	ABONO ORGÁNICO (5 2 aplicaciones de cal en años)	2 aplicaciones de cal en 20 años	Común
3		Taraceado	negro más claro	ABONO ORGÁNICO (4 2 aplicaciones de cal en años)	2 aplicaciones de cal en 20 años	CCN 51
4	Rancho Quemado	Pendiente	Marrón	A.O. (3 años)	2 vez por semestre	ISC 60
				SOLUBAN (actual)		
5		Pendiente	Marrón	A.O. (3 años)	2 vez por semestre	FEC 2
				SOLUBAN (actual)		

UNIDAD DE MUESTREO	LOTE	PENDIENTE DEL SUELO	COLOR DEL SUELO	FERTILIZACIÓN	CAL (DOLOMITA)	TIPO DE CACAO
6		Pendiente	Marrón	A.O. (3 años)	2 vez por semestre	FSV 41
				SOLUBAN(actual)		
7		Pendiente	Marrón	A.O. (3 años)	2 vez por semestre	CCN 51
				SOLUBAN (actual)		
8		Pendiente	Marrón	A.O. (3 años)	2 vez por semestre	EET 8
				SOLUBAN (actual)		
9	Piedrón	Pendiente	Marrón	A.O. (3 años)	2 vez por semestre	CAUCACIA 39
				SOLUBAN (actual)		
10		Pendiente	Marrón	A.O. (3 años)	2 vez por semestre	CLONES REGIONALES
				SOLUBAN (actual)		
11		Pendiente	Marrón	A.O. (3 años)	2 vez por semestre	ISC 60
				SOLUBAN (actual)		
12	Birmania	Pendiente	Marrón	SOLUBAN	cada 2 años	Común

Fuente. La Autora.

Según la información suministrada por el propietario de la finca, en el cultivo de cacao se retira la maleza cada 6 meses; durante este procedimiento se retiran las ramas secas, enfermas o rotas de las plantas de cacao, con el fin de estimular el crecimiento de la misma. En la tabla 23. Se relacionan los insumos usados en la Finca San Ignacio.

Tabla 23. Insumos usados en la finca San Ignacio

INSUMO	COMPOSICIÓN	DESCRIPCIÓN
Fertilizante ABOB	nitrógeno total(N)	2.0%
	Fosforo total (P205)	5.0%
	Potasio soluble en agua	3.0%
	Calcio (CaO)	10.0%
	Silicio (SIO2)	24.0%
	Materia orgánica	35.0%
	Carbono organico oxidable	9.0%
	Relación carbono/nitrógeno	7.5
	Cenizas	52.0%
	Humedad Máxima	13.0%
		El componente roca fosfórica en el fertilizante; del cual se atribuye la introducción o el incremento del cadmio en el suelo y por consiguiente la absorción del metal por las plantas

INSUMO	COMPOSICIÓN	DESCRIPCIÓN
	pH 7.5 Densidad 0.71g/cm <sup>3</sup> Capacidad de intercambio catiónico 25.0mEq/100g Capacidad de retención de humedad 87.0% Compost preparado a partir de caprinaza, bagazo de caña de azúcar, gallinaza, roca fosfórica, y carbonato de calcio	
Fertilizante mezclas nórdicas SOLUBAN	Nitrógeno total 13.0% Fosforo asimilable 2.0% Potasio soluble en agua 30.0% Calcio (CaO) 3.0% Magnesio 2.0%	Fertilizante actual
Cal dolomita	Calcio soluble en ácido 31.9% (CaO) Magnesio soluble en ácido 15.7% (MgO) Humedad máxima 5.0%	La cal dolomita es un material compuesto por carbonatos de calcio y magnesio, obtenido después de moler y cernir la roca dolomítica en su estado natural, enriquecida además con roca fosfórica <sup>49</sup> . De lo anterior se induce que la cal también está aportando cadmio al suelo de la finca cacaotera.

Fuente. La Autora.

**1. Identificación del proceso del cacao en la finca San Ignacio.** Las almendras cosechadas de los cultivos son cortadas cerca del tallo del árbol, cada cosecha se produce 1 vez al mes; posteriormente se agrupan todas las almendras recolectadas en un lote cerca al cultivo de cacao, allí se lleva el proceso de desengrullado de las mazorcas de cacao; posteriormente las almendras son almacenadas en costales y son llevadas a los cajones de fermentación en donde perduran durante 7 días; durante este tiempo la almendra desarrolla las enzimas que introducen el olor y sabor particular. En la figura 19 se muestra el proceso de fermentación.

Figura 19. Fermentación de la almendra de cacao

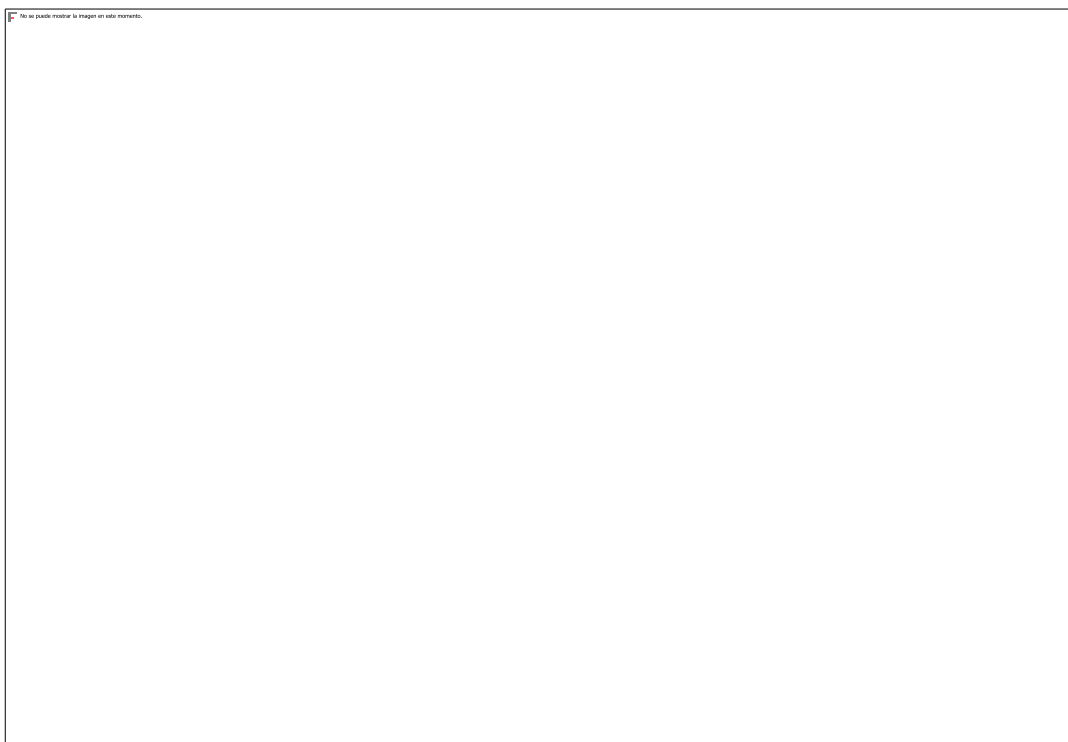
<sup>49</sup> Cal dolomita [En línea] Disponible en: <http://www.artex-us.com/Descargas/Cales/Cal%20Dolomita.pdf>



Fuente. La Autora.

Finalmente, se procede al secado de la almendra el cual dura aproximadamente 4 días, este proceso se realiza sobre un techo de madera con el fin de aprovechar el calor solar como se observa en la figura 20.

Figura 20. Secado de la almendra



Fuente. La Autora.

#### 4.3 DIAGNÓSTICO DE LAS FUENTES PRODUCTORAS DE CADMIO EN LA FINCA CACAOTERA SAN IGNACIO

Después de analizar la concentración de cadmio en la almendra seca y fresca, la concentración de cadmio en las muestras de suelo y sus propiedades físico-químicas se procede a diagnosticar la fuente productora de cadmio en la finca cacaotera San Ignacio.

En la gráfica 10 se relacionan los contenidos de cadmio en la almendra seca, fresca y en el suelo.

Gráfica 15. Comparación concentración de cadmio en la almendra seca, fresca y en el suelo

Fuente. La

Autora.

La presencia de cadmio en la almendra fresca de cacao, así como la presencia de este metal pesado en el suelo, el manejo de los insumos usados en los cultivos y la ubicación de cada unidad de muestreo indican que la fuente productora de este metal pesado en la almendra seca de cacao se originó por la introducción de este metal a los cultivos mediante sus fertilizantes y la cal dolomita; de igual forma se resalta el lavado del mismo ya que en las Unidades de muestreo (UM) de la zona baja A (lote La Vega) y B (lote La Esperanza Baja) se visualizó mayor cantidad de cadmio en el suelo.

De igual manera las propiedades físico-químicas del suelo como: su pH ácido, textura franco arcillosa, porosidad alta, tendencia para retener el agua y su capacidad de intercambio catiónico indican la disponibilidad de cadmio para su extracción del suelo por la planta híper-acumuladora de cadmio.

**Etapa 4. Formulación de una alternativa del manejo sostenible de cultivo y prácticas de producción más limpia.** De acuerdo a el análisis de los niveles de cadmio en la almendra fresca y seca de cacao y del suelo; de la evaluación de las propiedades físico-químicas del suelo, y del diagnóstico de la fuente productora de cadmio en la Finca cacaotera San Ignacio se formuló una alternativa de manejo sostenible y 2prácticas de producción más limpia, basadas en fuentes bibliográficas y condiciones de fácil aplicación en la finca San Ignacio; las cuales permiten la reducción de la cantidad de la concentración de cadmio en la almendra del cacao.

Los encargados de los cultivos de cacao en la finca San Ignacio tienen un manejo inadecuado en el proceso de cosecha y fermentación de cacao, selección de los insumos y la disposición de cacao afectado por las enfermedades.

Por lo anteriormente expuesto, es necesario que en la finca San Ignacio se establezca un manejo de los residuos generados en la cosecha de cacao, los cuales presentan niveles de cadmio que afectan directamente el sitio de disposición final, que es el suelo. Por esta razón, se propone realizar una pila de compostaje para los residuos de la cosecha, como práctica de producción más limpia.

**Prácticas de Producción más limpia.** A continuación se relacionan las dos prácticas de producción más limpia propuestas para la reducción y/o eliminación de la concentración de cadmio en la almendra seca de cacao.

**1. Pila de compostaje.** El cadmio en la planta de cacao se distribuye de manera desigual, sin embargo se resalta que en la vena y en la parte interna de la mazorca se acumula una gran cantidad de este metal; por este motivo se recomienda recoger todos los residuos generados tras la cosecha y desengrullado del cacao en una pila de compostaje, de tal forma que el lote quede totalmente libre de residuos orgánicos que puedan generar la reincorporación de este metal por su descomposición en el suelo.

**1. Parámetros pila de compostaje.** La pila de compostaje deberá cumplir con los siguientes parámetros propuestos con el fin de evitar la reincorporación del cadmio a los cultivos de cacao

**1. Ubicación.** La pila de compostaje se deberá realizar en una zona apartada a los lotes cultivados de cacao; se recomienda realizarse en la parte baja de la finca como se indica en la figura 21.

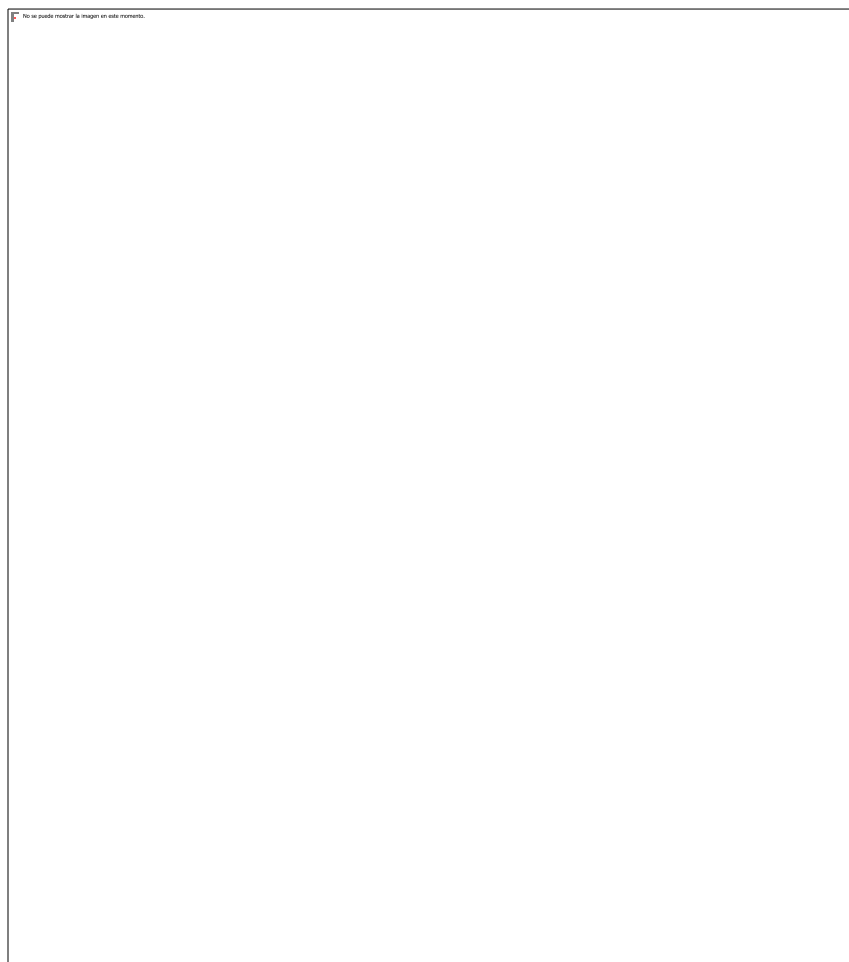
Figura 21. Ubicación pila de compostaje



Fuente. La Autora.

**2. Diseño piloto:** en la figura 22 se muestra un diseño piloto de una pila de compostaje de recirculación

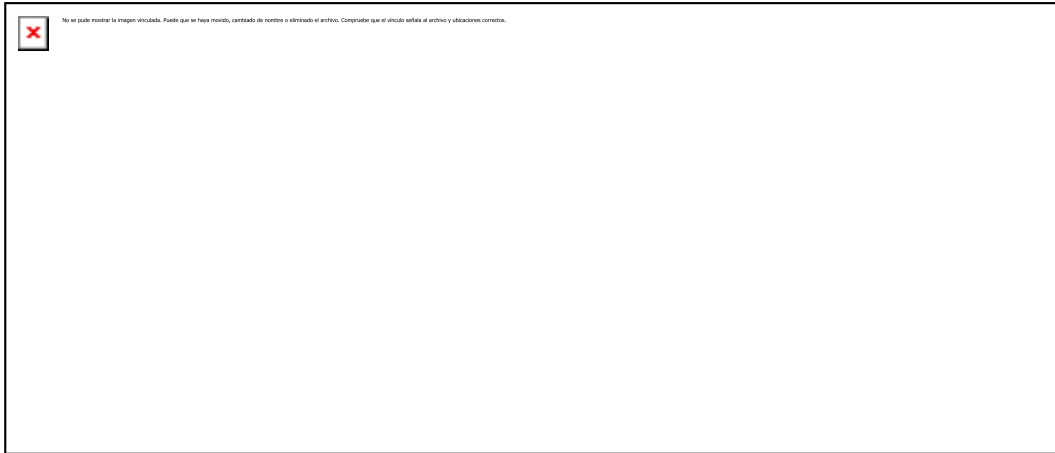
Figura 22. Diseño pila de compostaje de recirculación



Fuente. Degradación y estabilización acelerada de residuos sólidos urbanos (rsu) por tratamientos aerobios y anaerobios. [En línea] Disponible en: File: [http://www2.inecc.gob.mx/dgcenica/descargas/informe\\_tecnico\\_dgcenica\\_2007\\_08.pdf](http://www2.inecc.gob.mx/dgcenica/descargas/informe_tecnico_dgcenica_2007_08.pdf)

En la figura 23 se representa el correcto estado en el cual se deben mantener los lotes de cacao.

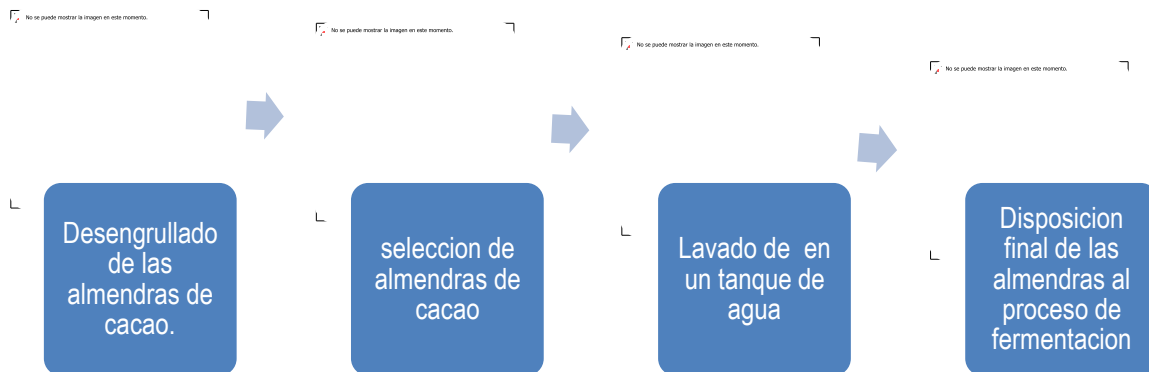
Figura 23. Correcto estado de los lotes de cacao



Fuente. La Autora.

**2. Lavado de la semilla:** Además se propone como práctica de producción más limpia, lavar las almendras antes de someterlas al proceso de fermentación ya que la mayor cantidad de cadmio se acumula en la pulpa (mucilago) del cacao<sup>50</sup>. En la gráfica 16 se relaciona el procedimiento del lavado de las almendras.

Gráfica 16. Procedimiento del lavado de almendras



Fuente. La Autora.

---

50 Metales pesados en cacao, perspectivas y posible manejo. [En línea] Disponible en: [http://nla.ipni.net/ipniweb/region/nla.nsf/e0f085ed5f091b1b852579000057902e/049b3f076c63e02705257e0e005767b1/\\$FILE/AA%20-%207%20Julio-2015.pdf](http://nla.ipni.net/ipniweb/region/nla.nsf/e0f085ed5f091b1b852579000057902e/049b3f076c63e02705257e0e005767b1/$FILE/AA%20-%207%20Julio-2015.pdf)

Además es de vital importancia analizar otros insumos; en cuanto a los fertilizantes utilizados en la finca actualmente son válidos ya que no están compuestos por roca fosfórica, sin embargo en lo concerniente a la cal dolomita utilizada está aumentando el nivel de cadmio en el suelo, empeorando la problemática de la contaminación por cadmio presente en la finca; se propone usar cal orgánica la cual no perturba el cultivo de cacao. (El principal objetivo de la aplicación de cal alrededor del árbol es inmovilizar el cadmio en el suelo para que no esté disponible para la planta de cacao).

**Alternativa de manejo sostenible.** Se propone como alternativa de manejo sostenible la Fito extracción la cual permite la eliminación y/o reducción del nivel del cadmio en el suelo.

La remoción del cadmio en el suelo, requiere del uso de técnicas remediadoras de metales pesados, con el fin de dar cumplimiento al Reglamento (UE) No 488/2014 de la comisión del 12 de mayo de 2014 de contenido de cadmio en la almendra seca de cacao; entre estas técnicas se resaltan:

1. Inmovilización: reduce la movilidad y solubilidad de los contaminantes
2. Movilización: lavar el suelo con agentes quelantes
3. Destrucción: por medio de la incineración
4. Desplazamiento de iones: por medio de la disolución electrolítica
5. Fito-remediación; la Fito extracción consiste en la captación y acumulación de metales contaminantes por las raíces de las plantas y su translocación a tallos y hojas (EPA, 1996).

Para la selección de la técnica remediadora de cadmio se debe analizar la efectividad, costos y el tiempo de remoción de la misma, además se debe tener en cuenta las consecuencias que se generan tras la aplicación de estas técnicas a largo plazo:

6. Infertilidad del terreno
7. Afectación de la biodiversidad

En lo concerniente a la inversión necesaria para la aplicación de la técnica remediadora de cadmio, se resalta que en la finca San Ignacio no poseen suficiente dinero para tal fin. Por esta razón la Fito remediación por medio de la Fito extracción es una técnica favorable para estos agricultores, ya que es una técnica ambientalmente amigable, de bajos costos, fácil aplicación en suelos

contaminados, evita excavaciones profundas, mortandad de la macro y micro fauna de la zona y la utilización de productos químicos que alteren las propiedades físico-químicas del suelo.

La Fito remediación es una técnica considerada sostenible ya que es un proceso no invasivo para el suelo, debido a que se acerca con los procesos ecológicos del ecosistema edáfico. De igual forma es una técnica que no requiere de altos costos, mano de ingeniería, baja demanda de energía; sin embargo en relación a los tiempos de remediación presenta una falencia ya que es un proceso lento en comparación con otras técnicas de remediación.

La Fito extracción es realizada por plantas híper-acumuladoras de metales pesados; su función es transportar el metal desde el suelo al tejido joven; la concentración transportada de cadmio es de 100mg/kg (chaney et al., 1995).

La selección de las plantas híper acumuladoras dependen de los siguientes factores:

1. Condiciones climáticas
2. Propiedades físico-químicas del suelo
3. Uso del suelo
4. Contenido de cadmio
5. Absorción de nutrientes
6. Precios
7. Compatibilidad con los cultivos de la zona

En la tabla 24 se relacionan algunas plantas que se acomodan a los factores anteriormente mencionados de la finca cacaotera San Ignacio.<sup>51</sup>

Tabla 24. Plantas fito extractoras.

<b>PLANTA</b>	<b>GENERO</b>	<b>CARACTERÍSTICA</b>
LECHUGA ROMANA	<i>Lactuca sativa</i>	Presenta alta acumulación de Cd en su tejido vegetal y es empleada como un cultivo indicador, determina cuanto Cd asimilan otras especies vegetales

---

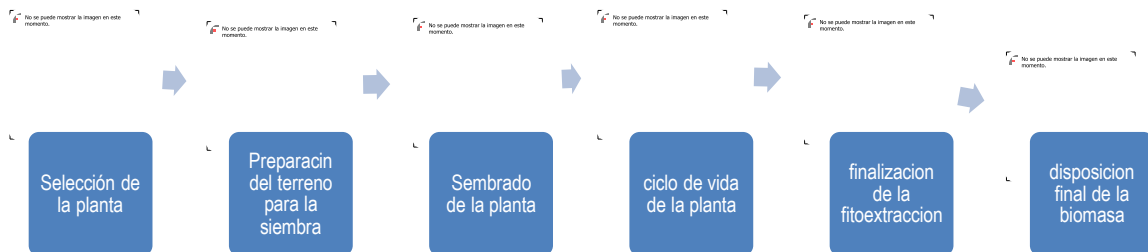
51 BELTRÁN VILLAVICENCIO, Margarita. Fitoextracción en suelos contaminados con cadmio y zinc usando especies vegetales comestibles. 2001. [En línea] Disponible en: <http://zaloamati.azc.uam.mx/bitstream/handle/11191/185/Fitoextraccion%20en%20suelos%20contaminados.pdf?sequence=1>

LA AVENA	<i>Avena sativa</i>	Es Fito extractora de metales pesados como cadmio, cobre y zinc, tolera altas concentraciones de los mismos y los acumulan principalmente en su tallo
CALABACÍN	<i>Cucurbita moschata</i>	Es una planta Fito extractora de cadmio, hace procesos de Bio concentración y Bio-asimilación de cadmio y zinc
GIRASOL	<i>Helianthus annus</i>	Es una planta Fito extractora de cadmio, hace procesos de bioconcentración y bio-asimilación de cadmio y zinc
BARRERAS	<i>Chrysopogon zizanioides</i>	Ocupa poco espacio y no compite con otras plantas. Las raíces se desarrollan verticalmente y se extiende aproximadamente 0.5m alrededor de la planta, esta planta absorbe entre el 45-48mg/kg de cadmio en un umbral en el suelo de 20-60mg/kg

Fuente. La autora

El procedimiento de inicio a fin de la Fito extracción se relaciona en la gráfica 17.

Gráfica 17. Procedimiento de Fito Extracción



Fuente. La Autora.

## 5. CONCLUSIONES

1. Se estableció como alternativa para el manejo sostenible del cultivo de cacao en la finca 'San Ignacio' Ubicada en el municipio de El Carmen de Chucuri la técnica de fito-extracción utilizando plantas *Lactuca sativa*, *Avena sativa*, *Cucurbita moschata*, *Helianthus annuus*, y *Chrysopogon zizanioides*, que por sus características agroecológicas se adaptan fácilmente a la zona, permitiendo la disminución de la concentración de cadmio en la almendra seca de cacao
2. La concentración de cadmio determinado en la almendra seca de cacao de las muestras obtenidas en las doce (12) Unidades de Muestreo identificadas, mostraron concentraciones entre 2.14-17.79 mg/kg, evidenciando la problemática de contaminación por cadmio en los cultivos de la finca San Ignacio, afectando la exportación del producto con base en el reglamento europeo (UE) No. 488/2014 de la comisión del 12 de mayo de 2014.
3. La fuente de contaminación por cadmio en la almendra seca de cacao en la finca San Ignacio se debe al uso de fertilizantes y cal dolomita constituidos por roca fosfórica, que introducen cadmio al suelo, el cual es absorbido por la planta de cacao.
4. La implementación de una pila de compostaje de recirculación con los residuos de cosecha y el lavado de la almendra antes del proceso de fermentación son alternativas de producción más limpia que permitirían disminuir las concentraciones de cadmio en la almendra de cacao seca.
5. Las propiedades físico-químicas del suelo pH ácido, textura franco-arcilloso, arcilloso, baja Infiltración, y alta porosidad facilitan la disponibilidad de cadmio para su extracción del suelo por la planta de cacao.

## 6. RECOMENDACIONES

Se recomienda implementar la técnica de fitoextracción de cadmio utilizando plantas *Lactuca sativa*, *Avena sativa*, *Cucurbita moschata*, *Helianthus annuus*, y *Chrysopogon zizanioides*; con el fin de reducir y/o eliminar la concentración de cadmio en los cultivos de cacao de la finca 'San Ignacio'

Una de las fuentes productoras de cadmio en los cultivos de cacao de la Finca 'San Ignacio' es la cal Dolomita utilizada para alcalinizar los suelos, por consiguiente se recomienda cambiarla por una cal orgánica con el fin de eliminar una de las fuentes productoras de dicho metal.

Se sugiere realizar un manejo adecuado de los residuos generados durante la cosecha de cacao, mediante la implementación de una pila de compostaje; con el fin evitar la reincorporación del cadmio al suelo por la descomposición de los mismos.

## BIBLIOGRAFÍA

ABATA-PENDÍAS S. y PENDÍAS, H. 1984. Trace elements in soils and plants. CRC Press, Boca Ratón, Florida

ARBOLEDA Ricardo., GONZÁLEZ, Alejandro. Análisis socioeconómico del sector cacaoero colombiano Tesis de grado Ingeniería Administrativa. Colombia. Escuela de ingeniería de Antioquía, 2010.

BADILLO GERMAN, J. Francisco. Cadmio. [En línea] Disponible en: <http://www.bvsde.paho.org/bvsacd/eco/016750/016750-cadm.pdf>

BATISTA Lépidio. Guía Técnica El Cultivo de Cacao. Centro para el Desarrollo Agropecuario y Forestal, Inc. República Dominicana, 2009.

BELTRÁN VILLAVICENCIO, Margarita. Fitoextracción en suelos contaminados con cadmio y zinc usando especies vegetales comestibles. 2001. [En línea] Disponible en: <http://zaloamati.azc.uam.mx/bitstream/handle/11191/185/Fitoextraccion%20en%20suelos%20contaminados.pdf?sequence=1>

Bricolaje. [En línea] Disponible en: <http://www.consumer.es/web/es/bricolaje/jardin/2005/06/15/142946.pHp>

Cal dolomita [En línea] Disponible en: <http://www.artex-us.com/Descargas/Cales/Cal%20Dolomita.pdf>

Comisión Nacional para el conocimiento y uso de la biodiversidad. *Theobroma cacao* L [En línea]. Disponible en: <

[http://www.conabio.gob.mx/conocimiento/info\\_especies/arboles/doctos/68-sterc03m.pdf](http://www.conabio.gob.mx/conocimiento/info_especies/arboles/doctos/68-sterc03m.pdf)> [Citado el 22 de julio de 2016]

CUBILLOS Gabriel., MERIZALDE, Jaime., CORREA, Elizabeth. Manual de beneficio del cacao para: técnicos, profesionales del sector agropecuario y productores. Medellín, 2008.

Degradación y estabilización acelerada de residuos sólidos urbanos (rsu) por tratamientos aerobios y anaerobios. [En línea] Disponible en: File: [http://www2.inecc.gob.mx/dgcenica/descargas/informe\\_tecnico\\_dgcenica\\_2007\\_08.pdf](http://www2.inecc.gob.mx/dgcenica/descargas/informe_tecnico_dgcenica_2007_08.pdf)

Determinación de metales pesados en suelos de medina del campo [En línea] Disponible en: File:///E:/Users/USUARIO/Downloads/determinacion-de-metales-pesados-en-suelos-de-medina-del-campo-valladolid-contenidos-extraibles-niveles-fondo-y-de-referencia--0.pdf

Determinación de metales pesados en suelos de medina del campo. [En línea] Disponible en: File:///E:/Users/USUARIO/Downloads/determinacion-de-metales-pesados-en-suelos-de-medina-del-campo-valladolid-contenidos-extraibles-niveles-fondo-y-de-referencia--0.pdf

Ecosistema. [En línea] Disponible en: <http://www.revistaecosistemas.net/index.php/ecosistemas/article/download/409/393>

El daño que producen los metales pesados en la Salud. [En línea] Disponible en: <http://loalternativosana.com/el-dano-que-producen-los-metales-pesados-en-la-salud/>

FEDECACAO. Federación Nacional De Cacaoteros. Fondo Nacional Del Cacao. Guía Ambiental Para El Cultivo Del Cacao. Segunda edición, Diciembre de 2013.

GONZÁLEZ TÉLLEZ, Adela Isabel. Determinación y validación de cadmio total e intercambiable en algunos suelos cacaoteros del departamento de Santander. Universidad Industrial de Santander. Facultad de Ciencias. Escuela de Química. Laboratorio Químico de suelos. Bucaramanga. 2010. [En línea] Disponible en: <http://repositorio.uis.edu.co/jspui/bitstream/123456789/387/2/134703.pdf>

HERRERA, T. (2000): La contaminación con cadmio en suelos agrícolas. Revista Venesuelos, 8.

JIMÉNEZ TOBÓN, Claudia Stella. Estado legal mundial del cadmio en cacao (*Theobroma cacao*): fantasía o realidad. *Rev. P+L* [online]. 2015, vol.10, n.1 [cited 2016-06-24], Disponible en: [http://www.scielo.org.co/scielo.php?script=sci\\_arttext&pid=S1909-04552015000100009&lng=en&nrm=iso](http://www.scielo.org.co/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1909-04552015000100009&lng=en&nrm=iso). ISSN 1909-0455.

La contaminación con cadmio en suelos agrícolas [En línea] Disponible en: [https://www.academia.edu/7195023/LA\\_CONTAMINACION\\_CON\\_CADMIO\\_EN\\_SUELOS\\_AGRICOLAS\\_Cadmium\\_contamination\\_in\\_agricultural\\_soils](https://www.academia.edu/7195023/LA_CONTAMINACION_CON_CADMIO_EN_SUELOS_AGRICOLAS_Cadmium_contamination_in_agricultural_soils)

La contaminación con cadmio en suelos agrícolas. [En línea] Disponible en: [https://www.academia.edu/7195023/LA\\_CONTAMINACION\\_CON\\_CADMIO\\_EN\\_SUELOS\\_AGRICOLAS\\_Cadmium\\_contamination\\_in\\_agricultural\\_soils](https://www.academia.edu/7195023/LA_CONTAMINACION_CON_CADMIO_EN_SUELOS_AGRICOLAS_Cadmium_contamination_in_agricultural_soils)

LÓPEZ, Mireya. Estudio Agro morfológico y fisicoquímico de ecotipos de cacao cultivados en los municipios de Usulután y California del Departamento de Usulután en El Salvador. Tesis de grado (Ingeniero en Agroindustria). Salvador. Universidad Dr. José Matías Delgado, 2011.

LOWERY, B., M.A. Arshad, R. Lal, and W. J. Hickey. 1996. Soil water parameters and soil quality. En: J.W. Doran and A. J. Jones (eds.) *Methods for Assessing Soil Quality*. Soil Sci. Soc. Am. Spec. Publ. 49. SSSA, Madison, WI. EE.UU.

Metales pesados en cacao, perspectivas y posible manejo. [En línea] Disponible en:

[http://nla.ipni.net/ipniweb/region/nla.nsf/e0f085ed5f091b1b852579000057902e/049b3f076c63e02705257e0e005767b1/\\$FILE/AA%20-%207%20Julio-2015.pdf](http://nla.ipni.net/ipniweb/region/nla.nsf/e0f085ed5f091b1b852579000057902e/049b3f076c63e02705257e0e005767b1/$FILE/AA%20-%207%20Julio-2015.pdf)

Metales pesados en el suelo. [En línea] Disponible en: [http://biblioteca-digital.sag.gob.cl/documentos/medio\\_ambiente/criterios\\_calidad\\_suelos\\_aguas\\_agricolas/pdf\\_suelos/5\\_metales\\_pesados\\_suelo.pdf](http://biblioteca-digital.sag.gob.cl/documentos/medio_ambiente/criterios_calidad_suelos_aguas_agricolas/pdf_suelos/5_metales_pesados_suelo.pdf)

Metales pesados. [En línea] Disponible en: [https://redcacaoychocolateperu.blogspot.com.co/2015\\_03\\_01\\_archive.html](https://redcacaoychocolateperu.blogspot.com.co/2015_03_01_archive.html)

MITE, Francisco; CARRILLO, Manuel; y DURANGO, Wuellins. Avances del monitoreo de presencia de cadmio en almendras de cacao, suelos y aguas en Ecuador [En línea] Disponible en: <http://www.secsuelo.org/wp-content/uploads/2015/06/6.-Francisco-Mite.-Cadmio.-INIAP.pdf>

MOJICA, A y PAREDES, J., Características del cultivo del cacao en Santander. Ensayos sobre economía regional. Centro Regional de Estudios Económicos. Bucaramanga, noviembre, 2006.

Organización mundial de la salud. Informe Cadmio. Ginebra: OMS. 1972.

Plagas y enfermedades. [En línea] Disponible en: <http://www.canacacao.org/cultivo/enfermedades/>

PROCOLOMBIA. El cacao colombiano. Oportunidades y retos en el mercado internacional. Bogotá D.C, septiembre, 2015.

Propiedades de los suelos. [En línea] Disponible en: <http://es.slideshare.net/jsarviap2/propiedades-de-los-suelos-39760263>

Relación agua-suelo-planta. [En línea] Disponible en:  
<https://www.researchgate.net/file.PostFileLoader.html?id=5489ccfad685cc2b7a8b45da&assetKey=AS%3A273650610049024%401442254797461>

Relación agua-suelo-planta. [En línea] Disponible en:  
<https://www.researchgate.net/file.PostFileLoader.html?id=5489ccfad685cc2b7a8b45da&assetKey=AS%3A273650610049024%401442254797461>

Rocas carbonáticas. Porosidad. [En línea] Disponible en:  
<http://pendientedemigracion.ucm.es/info/petrosed/rc/por/>

SERRANO GÓMEZ, Carolina. Cacao Santander. Pontificia Universidad Javeriana. Facultad de Arquitectura y Diseño. Carrera de Diseño Industrial. Bogotá D.C. 2009. [n línea] Disponible en:  
<http://repository.javeriana.edu.co/bitstream/10554/4266/1/tesis164.pdf>

Servicio de información Agroalimentaria y Pesquera. Del cacao al chocolate. [En línea]. Disponible en: <http://www.siap.gob.mx/siaprendes/contenidos/3/02-cacao/contexto-2.html> [Citado el 22 de julio de 2016]

Tipos de suelos. [En línea] Disponible en:  
<http://www.guiaambiental.com.ar/conocimiento-ciencias-de-la-tierra-tipos-de-suelos.html>

UNITED NATIONS ENVIRONMENT PROGRAMME Chemicals Branch, DTIE Final review of scientific information on cadmium Version of December 2010

WACHER RODARTE, María del Carmen. Microorganismos y chocolate En: Revista Digital Universitaria. Volumen 12 Número 41. (Abril 201). ISSN: 1067-6079

Modificado

ANEXOS

ANEXO A. Instrumento utilizado para recolectar información de la finca San Ignacio

<b>PREGUNTAS</b>	<b>RESPUESTAS</b>
Área cultivada de cacao	
variedades de cacao	
Área de cada lote	
fertilizantes aplicados	
cal aplicada	
tiempo de aplicación de insumos	
manejo de residuos	
manejo de lixiviados	
proceso de fermentación	
proceso de secado	

ANEXO B. Cálculos de la densidad real y aparente

**DENSIDAD REAL**

VOLUMEN 1	VOLUMEN 2	VOLUMEN 3	PESO MUESTRA SUELO (gr)	DENSIDAD 1	DENSIDAD 2	DENSIDAD 3	DENSIDAD REAL
7	7	6	20	2.86	2.86	3.33	3.02
8	9	9	20	2.50	2.22	2.22	2.31
12	11	12	20	1.67	1.82	1.67	1.72
12	12	11	20	1.67	1.67	1.82	1.72
8.7	8	9	20	2.30	2.50	2.22	2.34
8.5	8.9	8.4	20	2.35	2.25	2.38	2.33
8	9	8	20	2.50	2.22	2.50	2.41
10	10	10	20	2.00	2.00	2.00	2.00
7	7	8	20	2.86	2.86	2.50	2.74
8	9	8	20	2.50	2.22	2.50	2.41
9	9	9	20	2.22	2.22	2.22	2.22
10	11	10	20	2.00	1.82	2.00	1.94

**DENSIDAD APARENTE**

CILINDRO VACÍO	PESO CILINDRO + SUELO	PESO CILINDRO + SUELO SECO	DENSIDAD APARENTE
124.3	480.7	407.8	0.69
124.2	481.3	411.2	0.70
113.4	476.2	400.5	0.70
123	478.1	430.9	0.75
130	515.8	418.4	0.70
130.2	490.2	403.2	0.67
116.3	501.3	401	0.69
114.8	493.4	424	0.75
122.7	465	426.5	0.74
127	465.3	388.6	0.64
123.9	502.9	434.7	0.76
126.6	487.9	422.2	0.72

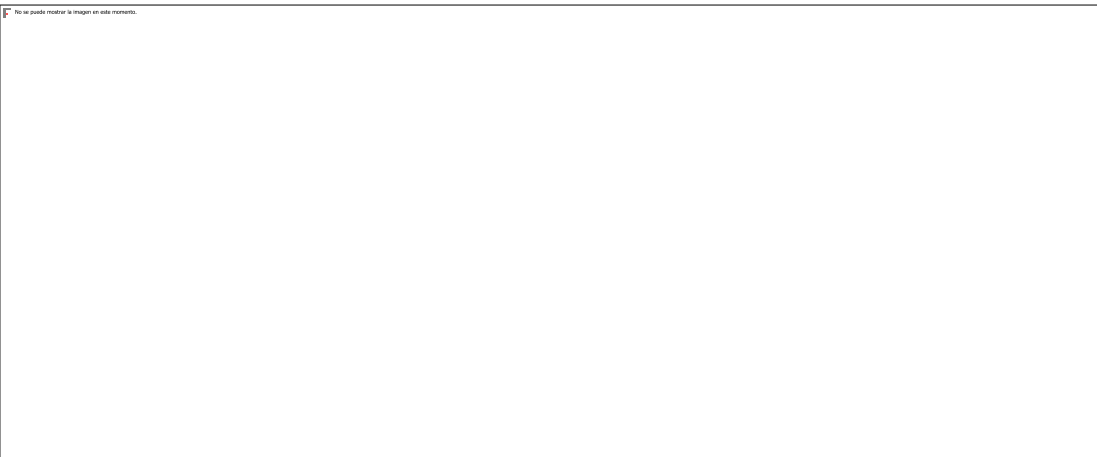
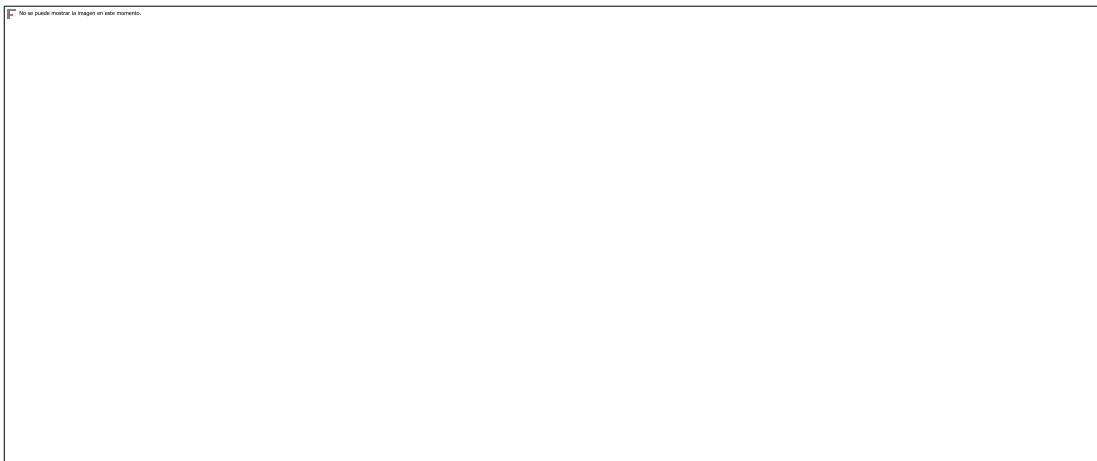
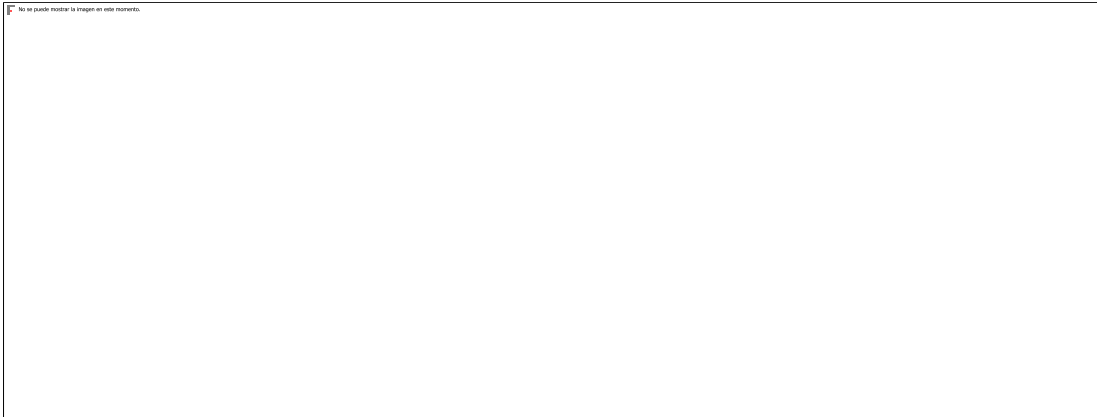
ANEXO C. Cálculos de Infiltración

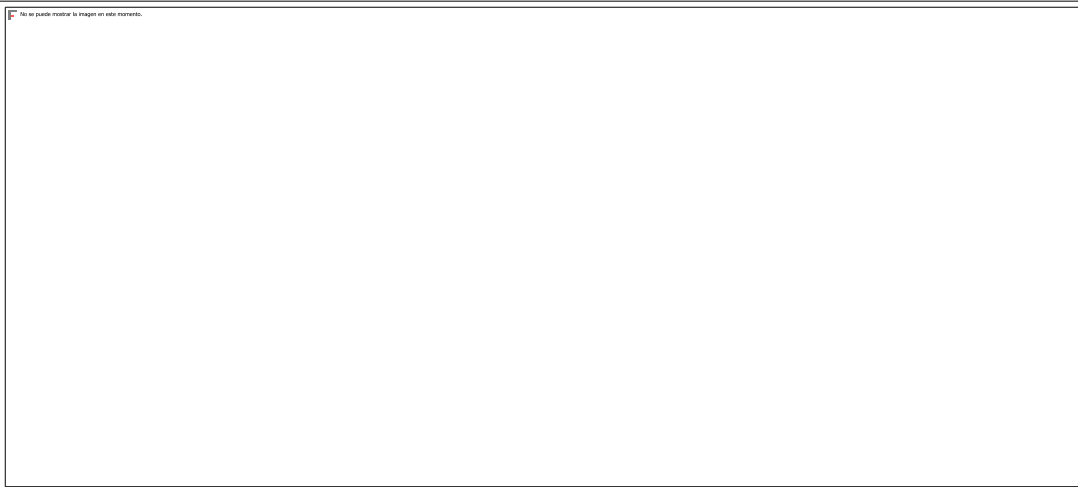
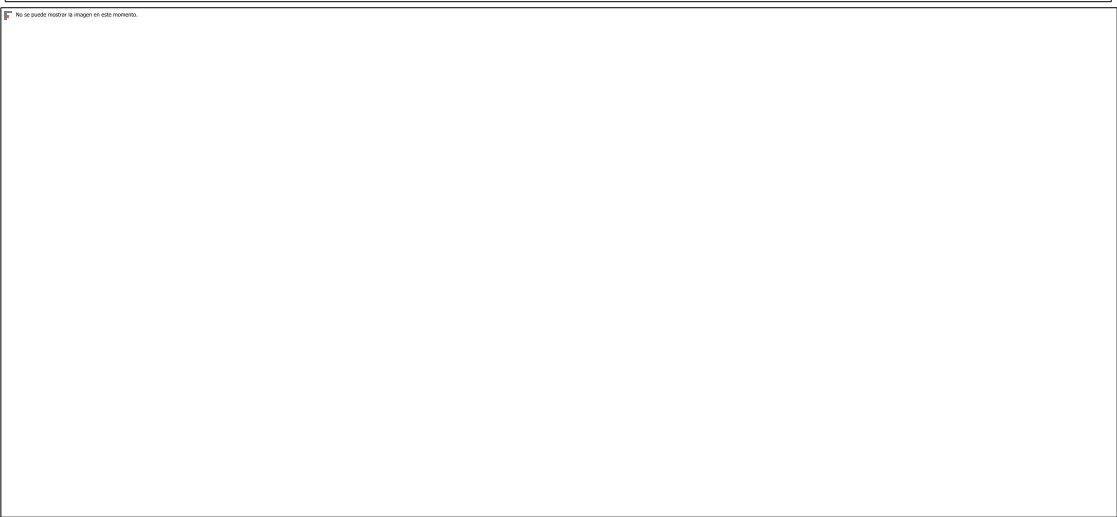
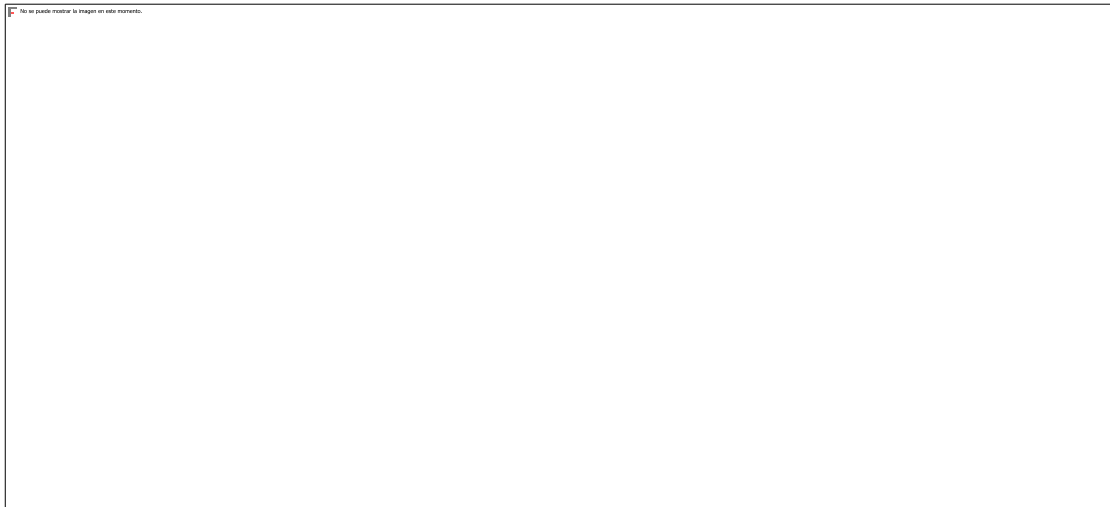
<b>VELOCIDAD (seg)</b>	<b>VELOCIDAD (Hora)</b>	<b>CAPACIDAD DE INFILTRACION</b>
5.4	0.002	0.004
0.7	0.000	0.000
1.4	0.000	0.001
1.08	0.000	0.001
3.3	0.001	0.002
3.6	0.001	0.003
2.5	0.001	0.002
1.08	0.000	0.001
1.3	0.000	0.001
1.6	0.000	0.001
1.9	0.001	0.001
2.2	0.001	0.002

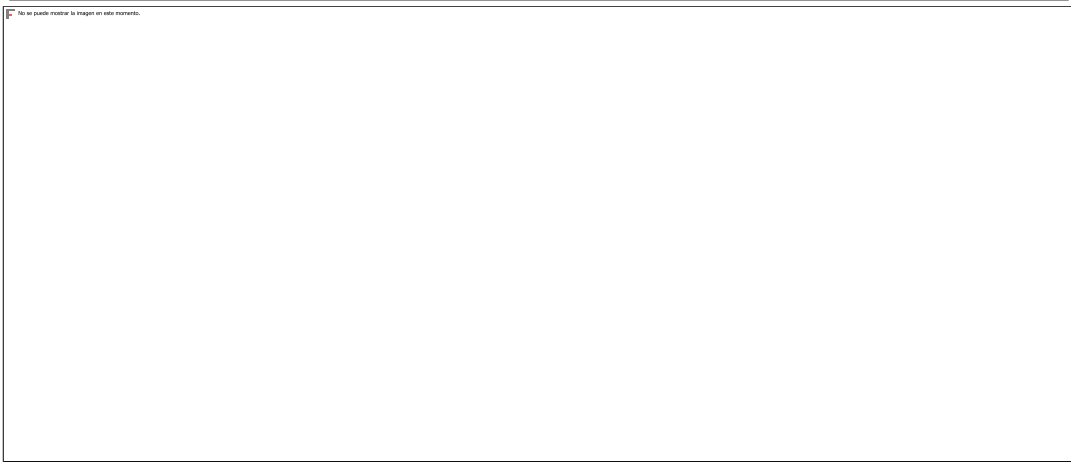
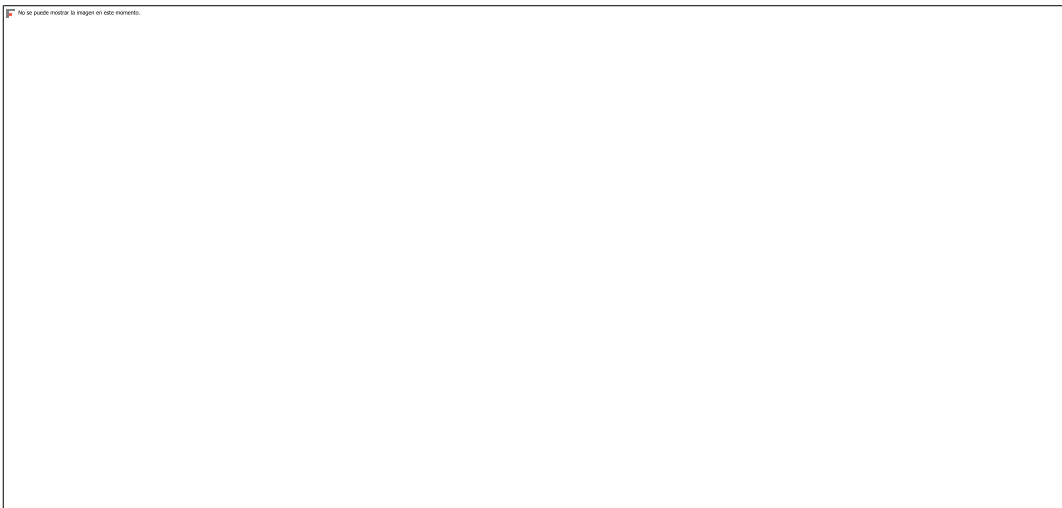
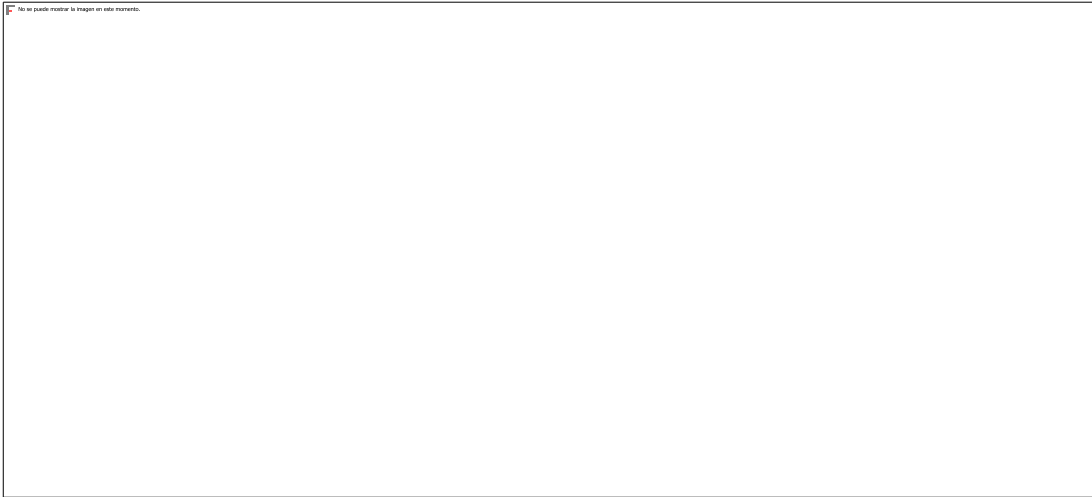
ANEXO D. Cálculos de la capacidad de intercambio catiónico

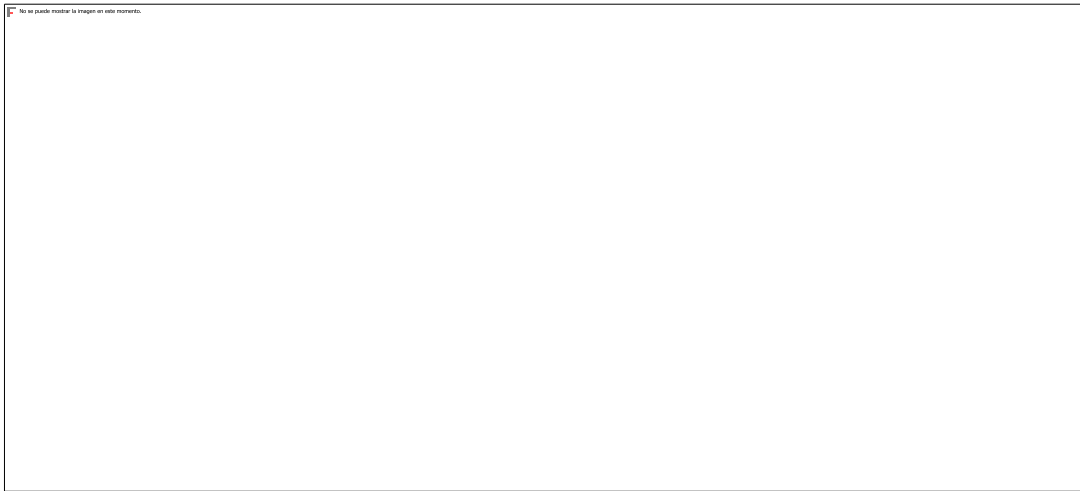
<b>Volumen de soda gastada en el blanco</b>	<b>Concentración Normal de la soda</b>	<b>CIC</b>
0.6	0.1	46.8
0.6	0.1	36.6
0.6	0.1	31.8
0.6	0.1	32.8
0.6	0.1	48.8
0.6	0.1	48.8
0.6	0.1	25.6
0.6	0.1	36.8
0.6	0.1	38.2
0.6	0.1	41.8
0.6	0.1	40.4
0.6	0.1	38.8

## ANEXO E. Curvas de granulometría

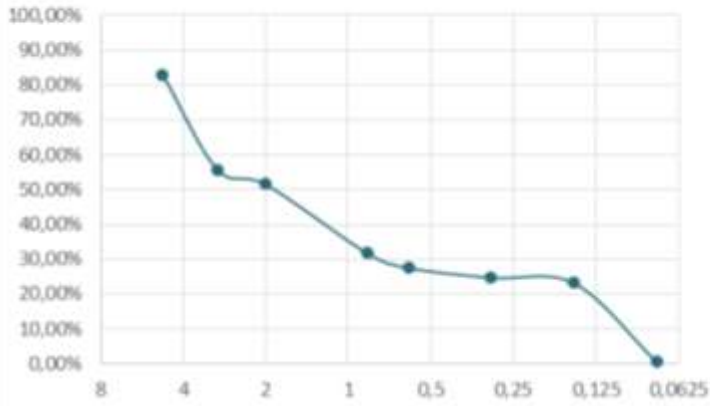






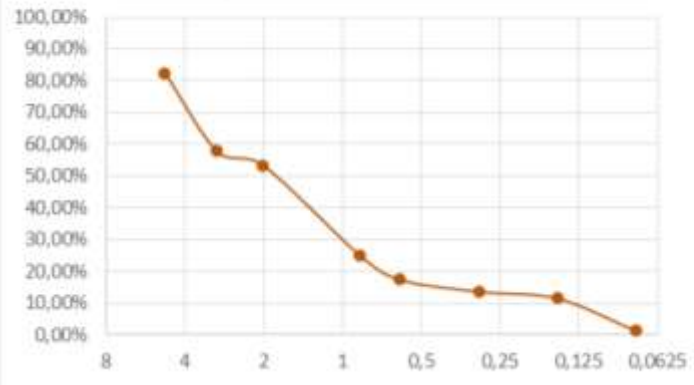


curva granulometrica del estrato K



d10	0.09
d30	0.90
d60	3.40
cu	40.00
cc	0.97

curva granulometrica del estrato L



d10	0.1
d30	1
d60	3.4
cu	34
cc	1

## ANEXO F. Contenido de cadmio en la almendra fresca

1. DESCRIPCIÓN DE LA MUESTRA	
Cliente:	Proyecto de investigación BIT-005-0815-IM
Dirección:	Universidad Pontificia Bolivariana – Seccional Bucaramanga Oficina K-406
Código:	88
Tipo de muestra:	CACAO PEPA FRESCA
Lugar de Muestreo:	FINCA SAN IGNASIO - ZONA A
Fecha de Muestreo:	N/A
Fecha de Recepción:	2016-03-14
Fecha de Reporte:	2016-04-06

## 2. REPORTE DE RESULTADOS

VARIABLE	UNIDADES	RESULTADO	FECHA DE ANALISIS	METODO
Cadmio*	mg Cd/Kg	16.28	2016-04-05	S.M. 3111-B – AOAC 999.10

\*Parámetro no acreditado

1. DESCRIPCIÓN DE LA MUESTRA	
Cliente:	Proyecto de investigación BIT-005-0815-IM
Dirección:	Universidad Pontificia Bolivariana – Seccional Bucaramanga Oficina K-406
Código:	87
Tipo de muestra:	CACAO PEPA FRESCA
Lugar de Muestreo:	FINCA SAN IGNASIO - ZONA B
Fecha de Muestreo:	N/A
Fecha de Recepción:	2016-03-14
Fecha de Reporte:	2016-04-06

## 2. REPORTE DE RESULTADOS

VARIABLE	UNIDADES	RESULTADO	FECHA DE ANALISIS	METODO
Cadmio*	mg Cd/Kg	1.92	2016-04-05	S.M. 3111-B – AOAC 999.10

\*Parámetro no acreditado

1. DESCRIPCIÓN DE LA MUESTRA	
Cliente:	Proyecto de investigación BIT-005-0815-IM
Dirección:	Universidad Pontificia Bolivariana – Seccional Bucaramanga Oficina K-406
Código:	89
Tipo de muestra:	CACAO PEPA FRESCA
Lugar de Muestreo:	FINCA SAN IGNASIO - ZONA D
Fecha de Muestreo:	N/A
Fecha de Recepción:	2016-03-14
Fecha de Reporte:	2016-04-06

**2. REPORTE DE RESULTADOS**

VARIABLE	UNIDADES	RESULTADO	FECHA DE ANALISIS	METODO
Cadmio*	mg Cd/Kg	1.95	2016-04-06	S.M. 3111-B – AOAC 999.10

\*Parámetro no acreditado

1. DESCRIPCIÓN DE LA MUESTRA	
Cliente:	Proyecto de investigación BIT-005-0815-IM
Dirección:	Universidad Pontificia Bolivariana – Seccional Bucaramanga Oficina K-406
Código:	90
Tipo de muestra:	CACAO PEPA FRESCA
Lugar de Muestreo:	FINCA SAN IGNASIO - ZONA E
Fecha de Muestreo:	N/A
Fecha de Recepción:	2016-03-14
Fecha de Reporte:	2016-04-06

**2. REPORTE DE RESULTADOS**

VARIABLE	UNIDADES	RESULTADO	FECHA DE ANALISIS	METODO
Cadmio*	mg Cd/Kg	4.22	2016-04-06	S.M. 3111-B – AOAC 999.10

\*Parámetro no acreditado

1. DESCRIPCIÓN DE LA MUESTRA	
Cliente:	Proyecto de investigación BIT-005-0815-IM
Dirección:	Universidad Pontificia Bolivariana – Seccional Bucaramanga Oficina K-406
Código:	91
Tipo de muestra:	CACAO PEPA FRESCA
Lugar de Muestreo:	FINCA SAN IGNASIO - ZONA F
Fecha de Muestreo:	N/A
Fecha de Recepción:	2016-03-14
Fecha de Reporte:	2016-04-06

## 2. REPORTE DE RESULTADOS

VARIABLE	UNIDADES	RESULTADO	FECHA DE ANALISIS	METODO
Cadmio*	mg Cd/Kg	8.79	2016-04-06	S.M. 3111-B – AOAC 999.10

\*Parámetro no acreditado

1. DESCRIPCIÓN DE LA MUESTRA	
Cliente:	Proyecto de investigación BIT-005-0815-IM
Dirección:	Universidad Pontificia Bolivariana – Seccional Bucaramanga Oficina K-406
Código:	92
Tipo de muestra:	CACAO PEPA FRESCA
Lugar de Muestreo:	FINCA SAN IGNASIO - ZONA G
Fecha de Muestreo:	N/A
Fecha de Recepción:	2016-03-14
Fecha de Reporte:	2016-04-06

## 2. REPORTE DE RESULTADOS

VARIABLE	UNIDADES	RESULTADO	FECHA DE	METODO
----------	----------	-----------	----------	--------

## ANEXO G. Contenido de cadmio en el suelo

1. DESCRIPCIÓN DE LA MUESTRA	
Cliente:	Proyecto de investigación BIT-005-0815-IM
Dirección:	Universidad Pontificia Bolivariana – Seccional Bucaramanga Oficina K-406
Código:	74
Tipo de muestra:	SUELO
Lugar de Muestreo:	FINCA SAN IGNASIO - ZONA A
Fecha de Muestreo:	N/A
Fecha de Recepción:	2016-03-14
Fecha de Reporte:	2016-04-06

## 2. REPORTE DE RESULTADOS

VARIABLE	UNIDADES	RESULTADO	FECHA DE ANALISIS	METODO
Cadmio*	mg Cd/Kg	14.59	2016-04-05	S.M. 3111-B – EPA 3051A

\*Parámetro no acreditado

1. DESCRIPCIÓN DE LA MUESTRA	
Cliente:	Proyecto de investigación BIT-005-0815-IM
Dirección:	Universidad Pontificia Bolivariana – Seccional Bucaramanga Oficina K-406
Código:	75
Tipo de muestra:	SUELO
Lugar de Muestreo:	FINCA SAN IGNASIO - ZONA B
Fecha de Muestreo:	N/A
Fecha de Recepción:	2016-03-14
Fecha de Reporte:	2016-04-06

## 2. REPORTE DE RESULTADOS

VARIABLE	UNIDADES	RESULTADO	FECHA DE ANALISIS	METODO
Cadmio*	mg Cd/Kg	2.14	2016-04-05	S.M. 3111-B – EPA 3051A

\*Parámetro no acreditado

