

**DIAGNÓSTICO DE LA FUENTE DE CADMIO EN LA ALMENDRA SECA DE  
CACAO EN LA FINCA CACAOTERA “TRES PIEDRAS”, UBICADA EN EL  
MUNICIPIO DE EL CARMEN DE CHUCURÍ.**

**JULIETH PAOLA FRANCO CARRILLO**

**UNIVERSIDAD PONTIFICIA BOLIVARIANA  
ESCUELA DE INGENIERIAS  
FACULTAD DE INGENERIA AMBIENTAL  
FLORIDABLANCA  
2016**

**DIAGNÓSTICO DE LA FUENTE DE CADMIO EN LA ALMENDRA SECA DE  
CACAO EN LA FINCA CACAOTERA “TRES PIEDRAS”, UBICADA EN EL  
MUNICIPIO DE EL CARMEN DE CHUCURÍ.**

**JULIETH PAOLA FRANCO CARRILLO**

*Trabajo de grado como requisito para optar al título de*  
**INGENIERO AMBIENTAL**

**DIRECTORA  
PH.D. MARÍA KOPYTKO**

**UNIVERSIDAD PONTIFICIA BOLIVARIANA  
ESCUELA DE INGENIERIAS  
FACULTAD DE INGENERIA AMBIENTAL  
FLORIDABLANCA  
2016**

**NOTA DE ACEPTACIÓN**

---

---

---

---

---

---

**Firma de Presidente del Jurado**

---

**Firma del jurado**

---

**Firma del jurado**

Bucaramanga, 2016

Dedicado a Dios y a mi familia, los amo.

## **AGRADECIMIENTOS**

Primeramente, gracias a Dios por ser mi guía durante todo este camino, por bendecirme y darme sabiduría para estar hoy donde estoy, porque gracias a Ti, he cumplido uno de mis principales sueños.

A mi padre Luis Eduardo Franco Fuentes y a mi madre Miriam Carrillo Landazábal por brindarme la oportunidad de realizarme como profesional y su apoyo incondicional en todo momento.

A mis hermanos Giovanni Franco, Jhon Freddy Franco y Eduard Franco, por sus conocimientos brindados durante mi carrera, y así mismo a mis sobrinos, Jhon David Franco, Alejandro Franco y Thiago Franco por brindarme tanta felicidad durante este proceso.

Agradezco a mis maestros y a la universidad en general por haberme transmitido sus diversos conocimientos y por darme una formación integral.

A mi directora de tesis, María Kopitko, por su paciencia y su valiosa tutoría en todo el proceso de la realización de este proyecto.

A Edgar Fabian Solano y Diana Rangel por su gran colaboración en el laboratorio y durante el desarrollo del escrito.

Y a todas las personas que me acompañaron durante este proceso y que en algún momento me dieron su apoyo.

## CONTENIDO

	Pág.
INTRODUCCION .....	14
1. OBJETIVOS .....	15
1.1. OBJETIVO GENERAL .....	15
1.2. OBJETIVOS ESPECÍFICOS .....	15
2. MARCO TEORICO .....	16
2.1 ¿QUE ES EL CACAO? .....	16
2.1.1 Descripción del árbol de cacao .....	16
2.1.2 Usos del cacao. ....	17
2.1.3 Tipos de cacao.....	18
2.1.3.1 Cacao criollo: .....	18
2.1.3.2 Cacao el Forastero .....	19
2.1.3.3 Cacao El Trinitario. ....	19
2.1.3.4 Cacao CCN51 .....	19
2.2 PRODUCTIVIDAD CULTIVO DE CACAO .....	20
2.3 CACAO EN COLOMBIA .....	21
2.3.1 Áreas cultivadas en Colombia. ....	21
2.3.2 Producción de cacao en Colombia.....	23
2.3.3 Demanda de cacao en Colombia. ....	24
2.3.4 Exportaciones de cacao. ....	24
2.4. PROCESO DEL CULTIVO DEL CACAO .....	25
2.4.1 Selección del terreno para el cultivo de cacao.....	26
2.4.1.1 Altitud .....	27
2.4.1.2 Precipitación. ....	27
2.4.1.3 Temperatura: .....	27
2.4.1.4 Humedad.....	28
2.4.1.5 Vientos .....	28
2.4.1.6 Propiedades físicas. ....	28
2.4.1.7 Propiedades químicas .....	29

2.4.2 Preparación del suelo para el cultivo de cacao.....	29
2.4.3 Siembra del cacao. ....	30
2.4.3.1 Clones .....	31
2.4.4 Eliminación de la hierba y poda.....	32
2.4.5 Recolección del cacao.....	33
2.4.6 Partición y desgranado de Mazorcas del árbol de cacao. ....	33
2.4.7 Fermentación y lavado de las semillas de cacao .....	34
2.4.8 Secado y selección de las semillas de cacao.....	35
2.4.9 Almacenamiento de las semillas del cacao. ....	35
2.5 PROBLEMAS EN LOS CULTIVOS DE CACAO.....	36
2.5.1 Enfermedades y Plagas del Cultivo de Cacao.....	36
2.5.2 Contenido de Metales pesados en el suelo del cultivo del cacao. ....	37
2.5.2.1 Fuentes del cadmio en cultivo de cacao: .....	39
2.5.2.2 Efectos del Cadmio sobre la salud.....	40
2.5.2.3 Efectos ambientales del Cadmio.....	41
2.5.2.4 Regulaciones para la exportación de cacao a los mercados internacionales referentes al metal pesado, cadmio.....	42
3. METODOLOGIA .....	44
3.1 IDENTIFICACIÓN DE LOS PROCESOS DE CULTIVO, MANEJO DE INSUMOS Y PROCESAMIENTO DE CACAO EN LA FINCA TRES PIEDRAS.....	46
3.2. DIAGNÓSTICO DE LA FUENTE DE CADMIO EN ALMENDRA SECA DE CACAO EN LA FINCA TRES PIEDRAS. ....	46
3.2.1 Análisis de cadmio en almendra seca de cacao.....	46
3.2.2. Análisis de cadmio en almendra fresca cacao.....	50
3.2.3 Análisis de las propiedades fisicoquímicas del suelo. ....	51
3.2.4. Análisis de cadmio en las muestras de suelo. ....	52
3.3. PROPUESTA DE MANEJO SOSTENIBLE DE CULTIVO DE CACAO EN LA FINCA TRES PIEDRAS.....	54
4. RESULTADOS Y ANALISIS.....	55
4.1 IDENTIFICACIÓN DE LOS PROCESOS DE CULTIVO, MANEJO DE INSUMOS Y PROCESAMIENTO DE CACAO EN LA FINCA TRES PIEDRAS.....	55
4.1.1 Identificación de los procesos de cultivo.....	56
4.1.2 Identificación de procesos de manejo de insumos para el cultivo de cacao en la finca Tres Piedras.....	56

4.1.3 Identificación de proceso del cacao en la finca Tres Piedras.....	57
4.2. DIAGNÓSTICO DE LA FUENTE DE CADMIO EN ALMENDRA SECA DE CACAO EN LA FINCA TRES PIEDRAS. ....	57
4.2.1 Análisis de cadmio en almendra seca de cacao.....	58
4.2.2 Análisis de cadmio en almendra fresca de cacao.....	59
4.2.3. Análisis de propiedades fisicoquímicas del suelo de la finca Tres Piedras. ....	62
4.2.4 Análisis de cadmio en el suelo de la finca Tres Piedras.....	77
4.3. PROPUESTA DE MANEJO SOSTENIBLE DE CULTIVO DE CACAO EN LA FINCA TRES PIEDRAS.....	81
5. CONCLUSIONES .....	87
6. RECOMENDACIONES.....	89
BIBLIOGRAFÍA .....	90
ANEXOS .....	97

## LISTA DE TABLAS

	Pág.
Tabla 1. Áreas productoras de cacao .....	22
Tabla 2. Producción nacional registrada de cacao en grano por departamentos 2002-2014. ....	23
Tabla 3. Requerimientos para el cultivo de cacao en colombia .....	29
Tabla 4. Controles para enfermedades del cultivo de cacao .....	37
Tabla 5. Concentraciones máximas de cadmio en productos de cacao. ....	43
Tabla 6. Coordenadas de las submuestras de cada estrato. ....	47
Tabla 7. Parámetros y métodos aplicados a las muestras de suelo. ....	51
Tabla 8. Características de la finca. ....	55
Tabla 9. Resultados de análisis de cadmio en almendra seca de cacao. ....	58
Tabla 10. Resumen de análisis de cadmio en almendra fresca de cacao. ....	59
Tabla 11. Resultados del ph en el suelo de la finca tres piedras. ....	62
Tabla 12. Resultados de textura en el suelo de la finca tres piedras. ....	64
Tabla 13. Resultado clase textural del suelo .....	64
Tabla 14. Resultados de granulometría en suelo de la finca tres piedras. ....	65
Tabla 15. Resultados de granulometría en suelo de la finca tres piedras. ....	66
Tabla 16. Resultados coeficiente de uniformidad y de curvatura. ....	70
Tabla 17. Resultado densidad real del suelo .....	71
Tabla 18. Resultados densidad aparente del suelo. ....	72
Tabla 19. Resultados de la humedad gravimétrica en las zonas de muestreo del suelo. ....	74
Tabla 20. Resultados de la capacidad de infiltración en el suelo. ....	75
Tabla 21. Resultados capacidad de intercambio catiónico en el suelo. ....	77
Tabla 22. Concentraciones de cadmio en muestras de suelo .....	77

## LISTA DE FIGURA

	<b>Pág.</b>
Figura 1. Árbol de cacao .....	17
Figura 2. Exportación colombiana de cacao por país destino Enero a Diciembre 2011 .....	25
Figura 3. Descripción del proceso del cultivo de cacao .....	26
Figura 4. Resumen de la metodología Aplicada .....	44
Figura 5. Ubicación finca "Tres Piedras" .....	45
Figura 6. Proceso del cacao en la Finca .....	48
Figura 7. Preparación de la muestra para absorción atómica.....	49
Figura 8. Preparación de la muestra para análisis de cadmio por absorción atómica.....	51
Figura 9. Zona de muestreo para suelos de cacao.....	52
Figura 10. Cuarteo de muestras de suelo.....	53
Figura 11. Comparación de la concentración de cadmio en almendra fresca y seca de cacao.....	61
Figura 12. Curva Granulométrica Zona A. ....	66
Figura 13. Curva Granulométrica Zona B. ....	67
Figura 14. Curva Granulométrica Zona C. ....	68
Figura 15. Curva Granulométrica Zona D. ....	68
Figura 16. Curva Granulométrica Zona E. ....	69
Figura 17. Comparación del contenido de cadmio en el suelo a profundidad de 0- 20cm y 20-40cm.....	78
Figura 18. Comparación de contenido de cadmio en almendra fresca, seca y en el suelo de la Finca Tres Piedras .....	79

## LISTA DE ANEXOS

Pág.

Anexo A. Métodos aplicados para la absorción atómica en cacao fresco, seco y suelo. ....	97
Anexo B. Resultados de concentración de cadmio en almendra seca. ....	100
Anexo C. Resultados de concentración de cadmio en almendra fresca ....	105
Anexo D. Resultados de concentración de cadmio en el suelo. ....	110
Anexo E. Formación roca Fosfórica en el Municipio el Carmen de Chucuri. ....	120

## RESUMEN GENERAL DE TRABAJO DE GRADO

**TITULO:** DIAGNÓSTICO DE LA FUENTE DE CADMIO EN LA ALMENDRA SECA DE CACAO EN LA FINCA CACAOTERA "TRES PIEDRAS", UBICADA EN EL MUNICIPIO DE EL CARMEN DE CHUCURÍ.

**AUTOR(ES):** Julieth Paola Franco Carrillo

**FACULTAD:** Facultad de Ingeniería Ambiental

**DIRECTOR(A):** Maria I. Kopytko

### RESUMEN

Este estudio diagnosticó la fuente de cadmio en la almendra seca de cacao en la finca cacaotera Tres Piedras, ubicada en el municipio de el Carmen de Chucurí. Este diagnóstico se realizó bajo la Guía metodológica para el muestreo y detección de cadmio en suelos, agua, fertilizantes, almendras de cacao y productos derivados. Así mismo, se realizaron los análisis de almendra seca y fresca por Absorción Atómica con el método por llama STÁNDAR METHODS 3111B y AOAC999.10 y los análisis de suelo por absorción atómica por llama STÁNDAR METHODS 3111B y EPA 3051<sup>a</sup>, con el objetivo de identificar la concentración de cadmio en estos. Los resultados en los análisis de cadmio en cacao fresco, seco y en el suelo dieron positivo en cuanto a concentraciones de cadmio. En la almendra seca se encuentran concentraciones entre 1,2465-1,5625 mg/kg. En almendra fresca valores entre 1,5802 y 2.1579 mg/kg. Y en el suelo a una profundidad de 0-20cm valores de 1.3142-1.967 mg/kg de cadmio y profundidad de 20-40cm 1.0917-1,8159 mg/kg de cadmio. Estos resultados indican que la fuente de este metal en fruto seco está relacionada con la formación geomorfológica del suelo, es decir, la roca fosfórica La finca Tres Piedras no presenta un manejo sostenible de procedimiento de cultivo, el uso de insumos y procesamiento de cacao. Por ende, se propusieron alternativas sostenibles para disminuir estas concentraciones, implementando la fitoremediación con *Heliconia psittacorum*, *Arracacia xanthorrhiza* y *Chrysopogon zizanioides*, la recirculación de los lixiviados y el manejo de insumos con cal. Todo esto con el objetivo de cumplir la normativa vigente para la exportación del producto. Todo esto con el objetivo de cumplir con el reglamento (UE) No 488/2014 de la comisión del 12 de mayo de 2014, para la exportación del producto.

### PALABRAS CLAVES:

Diagnóstico, cultivos de cacao, metales pesados, cadmio, sostenibilidad, fitoremediación.

V° B° DIRECTOR DE TRABAJO DE GRADO

## GENERAL SUMMARY OF WORK OF GRADE

**TITLE:** DIAGNOSIS OF THE SOURCE OF CADMIUM IN DRY COCOA ALMOND IN THE COCOA FARM "TRES PIEDRAS", SITUATED IN THE MUNICIPALITY OF "EL CARMEN DE CHUCURÍ."

**AUTHOR(S):** Julieth Paola Franco Carrillo

**FACULTY:** Facultad de Ingeniería Ambiental

**DIRECTOR:** Maria I. Kopytko

### ABSTRACT

This study diagnosed the source of cadmium in dry almond cocoa in the cocoa farm Tres Piedras, located in the municipality of El Carmen de Chucurí. The diagnosis was made under the methodological guide for sampling and detection of cadmium in soil, water, fertilizers, cocoa beans and timber products. Also, analyzes of fresh and dry almond was made by atomic absorption method were performed with the flame Standard Methods 3111B and AOAC999.10 and soil analysis by flame atomic absorption EPA and Standard Methods 3111B 3051<sup>a</sup>, with the aim of identifying the cadmium concentration in these. The results of cadmium in fresh, dry cocoa and soil tested positive in terms of concentrations of cadmium. In the dry almond concentrations between 1.2465 to 1.5625 mg / kg are. In fresh almond values between 1.5802 and 2.1579 mg / kg. And in the soil to a depth of 0-20cm values 1.3142-1.967 mg / kg of cadmium and 20-40cm profundidad 1.0917-1,8159 mg / kg of cadmium. These results indicate that the source of this metal nut is related to the geomorphology soil formation, phosphate rock. The farm Tres Piedras no sustainable management culture process input use and processing of cocoa. Therefore, they proposed to reduce these concentrations sustainable alternatives, implementing phytoremediation with *Heliconia psittacorum*, *Arracacia xanthorrhiza* and *Chrysopogon zizanioides*, recirculation of leachate and management inputs with lime. All this in order to comply with Regulation (EU) No 488/2014 of the Commission of 12 May 2014, product for export.

### KEYWORDS:

Diagnosis, cacao, heavy metals, cadmium, sustainability, phytoremediation.

V° B° DIRECTOR OF GRADUATE WORK

## INTRODUCCION

Colombia es uno de los principales productores de cacao en el mundo, ocupando el puesto 11 a nivel mundial en la producción del mismo. El cacao colombiano es reconocido por ser de gran calidad, exclusivo para el uso de chocolates finos por su punto de acidez y equilibrio. Debido a lo anterior, es altamente demandado en Europa. Colombia compite en este mercado principalmente con Venezuela, Ecuador, Perú y República Dominicana. Así mismo, Santander es el departamento con mayor producción de cacao en Colombia, por lo tanto, es pionero para la exportación de productos a base del mismo.

Teniendo en cuenta que Colombia es uno de los mayores productores de cacao y de mejor calidad, este producto es muy apetecido por parte de varias industrias; pero esta característica no ha sido suficientemente aprovechada, debido a varios factores, como el precio, la reglamentación para exportaciones, abastecimiento de cultivos, entre otros.

En la actualidad el cacao colombiano ha sido estigmatizado en los mercados internacionales como consecuencia del reporte de la presencia de altos niveles de metales pesados, como el cadmio y plomo los cuales son perjudiciales para la Salud.

El presente proyecto pretende identificar los procesos del cultivo, manejo de insumos y procesamiento de cacao en la finca de interés, y de esta manera obtener el diagnóstico de la fuente generadora de cadmio en la almendra seca de cacao y así, proponer alternativas de manejo sostenible de cultivo y procesamiento del cacao.

## **1. OBJETIVOS**

### **1.1. OBJETIVO GENERAL**

Diagnosticar la fuente de cadmio en la almendra seca de cacao en la finca cacaotera “Tres Piedras”, ubicada en el municipio de El Carmen de Chucurí.

### **1.2. OBJETIVOS ESPECÍFICOS**

- Identificar los procesos de cultivo, manejo de insumos y procesamiento de cacao en la finca de interés.
- Establecer la fuente generadora de cadmio en la almendra seca de cacao en la finca cacaotera “Tres Piedras”.
- Proponer las alternativas del manejo sostenible de cultivo y procesamiento del cacao, evaluando la concentración y fuente de cadmio en almendra seca de cacao en la finca seleccionada.

## 2. MARCO TEORICO

### 2.1 ¿QUE ES EL CACAO?

El cacao es una planta que se encuentra de manera natural en los bosques de América del Sur, en las regiones del Amazonas y Orinoco. El cacao se conoce científicamente como *Theobroma cacao*. Su nombre procede del griego "Theos" que significa "Dios" y "broma" que significa "alimento". Este nombre fue acuñado así por el botánico Lineo en referencia a la importancia que esta planta tenía para los nativos americanos.<sup>1</sup>

Existen aproximadamente 20 especies del género *Theobroma*, entre ellas la más importante por su valor comercial es el cacao (*Theobroma cacao*) porque a partir de sus semillas se obtienen productos tan apreciados como el polvo de cacao o la manteca de cacao de los cuales se elabora el chocolate.<sup>1</sup>

**2.1.1 Descripción del árbol de cacao.** En estado silvestre el cacao alcanza una altura máxima de 9 metros, aunque los árboles cultivados son más pequeños para facilitar su recolección y cultivo y no suelen sobrepasar los 2 o 3 metros de altura.

El árbol de cacao posee troncos erectos y lisos de color marrón pálido casi blanco y hojas ovales con ápice (el extremo superior de la hoja) bien marcado de hasta 25 cm de longitud de un color rojizo cuando están jóvenes y verdes brillantes cuando son adultas. Las flores son pequeñas con pétalos de color amarillo cremoso y sépalos rosados. Crecen sobre los troncos o las ramas más gruesas.

El árbol de cacao produce frutos, los cuales son unas bayas alargadas y con costillas de hasta 30 cm de largo que se vuelven de un marrón rojizo brillante, marronáceo oscuro o negro café cuando maduran.

En su interior, envueltas en una pulpa lechosa, se encuentran unas de 20 o 40 semillas, a partir de las cuales se elabora el polvo de cacao.<sup>1</sup> En la figura 1, se observa el árbol de cacao con sus frutos en proceso de maduración.

**Figura 1.** Árbol de cacao



Fuente: Propia. Tomada en la finca "Tres Piedras"

**2.1.2 Usos del cacao.** La principal utilidad del fruto del cacao es la producción de polvo de cacao y grasa de cacao, ambos empleados principalmente para la producción de chocolate. Las dos terceras partes de cacao producidas en el mundo se utilizan para confeccionar este producto. No obstante, otra serie de productos obtenidos en el proceso de preparación del chocolate, se pueden aprovechar para otras finalidades, las cuales se especifica a continuación:

---

<sup>1</sup> MAIER, Camelia. «Botanical [en línea] [citado 25 de enero de 2016]. <http://www.botanical-online.com/cacao.htm>

- **Manteca de cacao:** La manteca de cacao es la grasa natural proveniente del cacao y es utilizada por la industria farmacéutica para la producción de medicamentos; por la industria de los cosméticos, para la fabricación de productos de belleza, limpiadores de la piel, mascarillas, entre otros. Desde un punto de vista medicinal, se puede utilizar para curar heridas, quemaduras, reuma, entre otros.
- **Cacao en polvo:** El cacao en polvo es la parte carente de su manteca de cacao. Este, además de usarse para la producción de chocolate, se utiliza para aromatizar galletas, pasteles, bebidas o tartas heladas.
- **Pulpa de cacao:** Es la pulpa adherida a las semillas de cacao; a partir de la pulpa del cacao se pueden elaborar bebidas, algunas con alcohol.
- **Cascara del fruto:** La cascara del fruto es aprovechada para la alimentación animal y con el jugo se pueden confeccionar mermeladas.<sup>2</sup>

**2.1.3 Tipos de cacao.** Existen tres variedades tradicionales de la planta de cacao, las cuales se especifican a continuación.

**2.1.3.1 Cacao criollo:** De este tipo de cacao se obtiene el cacao de mayor calidad, pero su producción representa menos de un 10% del total mundial. Se cultiva principalmente en México, Guatemala y Nicaragua en pequeñas cantidades. Venezuela, Colombia, islas del Caribe, Trinidad, Jamaica e isla de Granada. En Madagascar, Java e islas Comoras (Sureste de África). Este tipo de cacao se caracteriza por poseer un amargor suave, sabores ácidos y afrutados. Son poco astringentes, poseen una sutileza y delicadeza aromática. Esta variedad de cacao se suele demandar para chocolatería fina y elaboraciones más selectas,

---

<sup>2</sup> Ibid

además los árboles de esta variedad son más delicados y propensos a plagas, por lo cual se está disminuyendo su área de cultivo en general.<sup>3</sup>

**2.1.3.2 Cacao el Forastero:** Son los cacaos más corrientes y su producción alcanza el 70% del total mundial. Se cultivan en Ghana, Nigeria, Costa de Marfil, Brasil, Costa Rica, República Dominicana, Colombia, Venezuela y Ecuador y también se encuentran plantaciones en el sudeste asiático. Este tipo de cacao se caracteriza por tener un sabor fuerte, amargo y ligeramente ácido. Tienen una gran potencia aromática, pero sin finura ni diversidad de sabores. Hoy en día Costa de Marfil lidera la producción mundial de este tipo de cacao que se exporta principalmente a Europa y Estados Unidos, para la producción que podemos llamar de consumo popular.<sup>4</sup>

**2.1.3.3 Cacao El Trinitario.** Son híbridos obtenidos a partir de las variedades criollas y forasteras, pero con un rendimiento superior a éstas. Además, son más resistentes a las enfermedades que los criollos y tienen un aroma más fino que los forasteros. Actualmente representan el 20% de la producción mundial. Se cultivan básicamente en las mismas zonas productoras de cacao criollo. Este tipo se caracteriza por ser afrutado y perfumado, posee un amplio rango de sabores y es aromático.<sup>5</sup>

Así mismo, existen nuevas variedades obtenidas por hibridación, la cual se destaca:

**2.1.3.4 Cacao CCN51:** Es una variedad obtenida en el Ecuador. Se caracteriza por su resistencia a las enfermedades y por la gran productividad de los árboles

---

<sup>3</sup> ROSAS, María Alejandra Perdomo. «Pontificia Universidad Javeriana.» *Caracterización De La Cadena De Abastecimiento Y La Cadena De.* 2012. <http://repository.javeriana.edu.co/bitstream/10554/13670/1/PerdomoRosasMariaAlejandra2012.pdf> (último acceso: 25 de 01 de 2016).

<sup>4</sup> Ibid

<sup>5</sup> Ibid

obtenidos que superan en 4 veces el rendimiento de las variedades clásicas. Los frutos contienen una proporción muy elevada de grasa y muy poca cascara. A partir de él se obtienen chocolates muy finos. Indonesia es uno de los países donde más se cultiva esta variedad.<sup>6</sup>

## **2.2 PRODUCTIVIDAD CULTIVO DE CACAO**

El árbol del cacao es una planta perenne que rinde varias cosechas al año. A pesar que los frutos maduran a lo largo del año, normalmente se llevan a cabo dos cosechas en un año: la cosecha principal y la cosecha intermedia. La cosecha intermedia es en general menor que la cosecha principal, sin embargo, el tamaño relativo varía según cada país. En Colombia, por lo general el árbol de cacao presenta picos o épocas del año de mayor producción y épocas de baja o ninguna producción. La de mayor producción empieza desde principio de octubre a mediados de enero.

Antes de sembrar el cacao es necesario sembrar árboles de sombra temporal y permanente de 6 a 9 meses. La siembra del cacao debe realizarse en la primera mitad de la temporada de lluvia para tener suficiente tiempo para que el árbol se establezca antes de la siguiente temporada seca. A pesar de que el cacao madura 24 meses después de la siembra inicial, los árboles llegan a ser productivos únicamente después de cinco años.

Los rendimientos son máximos entre el octavo y décimo año, pero se pueden obtener buenos rendimientos durante varias décadas. En condiciones normales, una hectárea sembrada en árboles tradicionales produce entre 300 y 500 kg/ha por año. Una hectárea sembrada en árboles híbridos presenta rendimientos

---

<sup>6</sup> MAIER, Camelia. «Botanical [en línea] [citado 25 de enero de 2016]. <http://www.botanical-online.com/cacao.htm>

mayores, por encima de los 1000 kg/ha, incluso hay árboles que han llegado a 2.000Kg /ha.

El cacao es una planta umbrófila, por lo cual en los primeros años de vida la planta necesita mayor cantidad de sombra (70%); después del tercer año y a medida que sus copas se agrandan y cierran los requerimientos de sombrero disminuyen (30%) y los rendimientos aumentan<sup>7</sup>.

## **2.3 CACAO EN COLOMBIA**

En Colombia los órganos que representan a los productores y procesadores de Cacao son la Federación Nacional de Cacaoteros (FEDECACAO) creada en 1960 como un organismo que representa los intereses de los cacaoteros, y la ANDI. Adicionalmente, en 2001 se firmó el Acuerdo de Competitividad de Cacao y su Agroindustria, con el cual se creó el Consejo Nacional Cacaotero. FEDECACAO administra el Fondo Nacional del Cacao, constituido como una cuenta especial para recaudar y manejar los recursos que se derivan de la cuota de fomento cacaotero<sup>8</sup>.

**2.3.1 Áreas cultivadas en Colombia.** El sistema de producción de cacao en Colombia es desarrollado por cerca del 90% de pequeños agricultores, es decir, alrededor de 25.000 familias campesinas, destacándose la participación del departamento de Santander que aporta cerca del 38% de la producción nacional. (Ver tabla 1)

---

<sup>7</sup> ORTIZ, Javier Jose Benitez. «blogspot.» 14 de 07 de 2012. [en línea] [citado enero 28 de 2016]. Disponible en: <http://cultivosdecacao.blogspot.com.co/2012/07/cuales-el-impacto-que-genera-la-siembra.html>

<sup>8</sup> ECONOMICOS, Grupo de estudios. «Estudio sobre el sector cacaotero.» *Estudios de mercados*. 10 de 2012. [http://www.sic.gov.co/recursos\\_user/documentos/promocion\\_competencia/Estudios\\_Economicos/Estudios\\_Economicos/Estudiosobreelsectorcacaotero.pdf](http://www.sic.gov.co/recursos_user/documentos/promocion_competencia/Estudios_Economicos/Estudios_Economicos/Estudiosobreelsectorcacaotero.pdf) (último acceso: 29 de 01 de 2016).

**Tabla 1. Áreas productoras de cacao**

<b>Departamento</b>	<b>2008 (ha)</b>	<b>2009 (ha)</b>	<b>2010 (ha)</b>	<b>2011* (ha)</b>
Santander	47.646	48.044	49.429	53.929
Nariño	9.855	10.458	10.940	12.440
Huila	12.305	11.045	11.200	12.180
Norte de Santander	9.541	9.978	10.190	11.390
Antioquia	7.608	8.045	8.290	10.870
Tolima	9.869	10.006	10.140	10.215
Arauca	8.064	8.304	8.460	8.510
Otros	19.141	22.108	22.991	24.111
<b>Total</b>	<b>124.029</b>	<b>127.988</b>	<b>131.640</b>	<b>143.645</b>

Fuente: ROSAS, María. Caracterización de la cadena de abastecimiento y la cadena de valor en Colombia, 2012

Santander es la subregión que acoge la mayor área establecida del cultivo en el país, con 53.929 hectáreas a 2011, lo que representa alrededor de 37% de la producción nacional. Los departamentos de Huila, Tolima, Nariño, Norte de Santander, Arauca y Antioquia aportan aproximadamente el 46% de la producción nacional y a futuro se consolidan como regiones con amplias expectativas para difundir el cultivo de cacao, debido a sus condiciones de suelos y clima. Actualmente Colombia cuenta con 147 mil hectáreas sembradas entre cacao común, híbridos y clonados. El Plan Nacional De Desarrollo Cacaotero 2012-2021, plantea la necesidad de modernizar 130 mil hectáreas, pasando todos los cultivos a clones y de esta manera garantizar cacao de clase mundial y mejorar la producción actual.<sup>9</sup>

<sup>9</sup> ROSAS, María Alejandra Perdomo. «Pontificia Universidad Javeriana.» *Caracterización De La Cadena De Abastecimiento Y La Cadena De.* 2012. [en línea] [citado 25 enero 01 de 2016]. Disponible en: <http://repository.javeriana.edu.co/bitstream/10554/13670/1/PerdomoRosasMariaAlejandra2012.pdf>

**2.3.2 Producción de cacao en Colombia.** El cacao ha tomado fuerza estos últimos años, y tiene un potencial grande de crecimiento y expansión, utilizando nuevas tecnologías y buscando ser más competitivo y valorado económicamente en el exterior.<sup>10</sup>

La producción del grano de Cacao a nivel nacional ha estado concentrada en aproximadamente seis departamentos: Antioquia, Arauca, Huila, Nariño, Cundinamarca, Santander y Tolima. La Tabla 2 muestra la producción del grano de cacao desde el año 2002 hasta el 2014.

**Tabla 2. Producción nacional registrada de cacao en grano por departamentos 2002-2014.**

DEPTO/AÑO	2002	2003	2004	2005	2006	2007	2008	2009	2010	2011	2012	2013	2014
SANTANDER	16.280	19.719	16.803	17.974	15.017	16.723	18.178	17.272	19.411	16.165	16.225	19.517	19.085
HUILA	2.817	3.558	4.170	3.998	3.265	3.535	3.323	3.009	4.237	2.172	3.708	3.166	3.301
N.SDER	3.100	4.024	2.389	1.638	1.831	1.756	1.454	1.339	1.609	1.002	2.153	1.779	1.428
TOLIMA	1.323	2.131	1.883	1.277	670	1.596	2.114	2.059	2.892	1.569	1.986	3.054	2.515
ARAUCA	2.552	3.249	3.357	3.489	2.350	1.889	4.179	3.967	3.988	6.495	4.501	4.532	5.448
ANTIOQUIA	1.700	2.101	2.296	2.100	1.824	2.133	2.052	2.030	3.254	2.537	3.377	3.478	3.553
NARIÑO	1.209	1.884	1.864	2.854	1.831	1.660	1.970	1.795	1.152	2.289	2.882	2.711	2.763
CALDAS	444	548	565	500	473	545	600	491	497	166	287	561	421
CUND/MARCA	1.195	795	546	499	1.025	1.066	849	551	957	630	944	1.477	1.573
VALLE	698	831	552	942	696	513	353	452	716	913	725	527	953
BOYACA	116	149	134	127	54	57	100	219	201	563	446	810	683
META	553	702	460	424	488	652	622	676	965	199	1.023	1.155	1.486
RISARALDA	383	344	175	139	161	270	37	238	405	256	508	308	394
CHOCO	85	50	97	32	22	31	20	61	19	24	212	322	385
CORDOBA	75	98	67	30	23	92	118	81	216	221	249	358	437
CESAR	1.125	1.094	513	750	350	559	944	882	735	729	914	1.178	1.243
CAQUETA	75	68	65	76	86	73	106	139	123	145	149	149	207
CAUCA	49	123	250	152	105	173	286	263	331	287	373	310	414
QUINDIO	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	4	9
GUAINIA	20	48	25	7	1	4	2	12	5	0	0	77	-
MAGDALENA	199	148	120	76	66	140	194	192	238	181	230	186	162
BOLIVAR	4	20	12	11	13	10	212	314	213	197	307	420	349
SUCRE	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	1
PUTUMAYO	0	0	0	0	1	0	0	10	126	437	330	503	590
VAUPES	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	-
CASANARE	0	0	0	3	6	6	6	56	4	12	82	151	247
ATLANTICO	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	-
AMAZONAS	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	-
GUAJIRA	0	19	10	0	0	0	0	8	0	0	1	5	2
GUAVIARE	0	0	0	0	0	0	0	0	0	14	58	0	83
<b>TOTAL NACIONAL</b>	<b>34.002</b>	<b>41.704</b>	<b>36.356</b>	<b>37.099</b>	<b>30.357</b>	<b>33.482</b>	<b>37.718</b>	<b>36.118</b>	<b>42.294</b>	<b>37.203</b>	<b>41.670</b>	<b>46.739</b>	<b>47.732</b>

Fuente: FEDECACAO. Economía Nacional.

<sup>10</sup> Ibid

En la tabla 2 se observa que el departamento de Santander es el mayor productor de cacao en Colombia generando en el 2014 cantidad de 19.085 toneladas. Igualmente se observa que la producción a nivel nacional del grano del cacao ha aumentado al pasar los años; así mismo, ha tenido sus bajas, pero en los últimos 2 años (2012-2014) ha aumentado significativamente. De igual, los departamentos con mayor producción en Colombia aumentan la producción del grano de cacao anualmente.

Por las condiciones climáticas en los departamentos de Sucre, Putumayo, Vaupés, Casanare, Atlántico, Amazonas, Guajira y Guaviare son muy bajos y casi nulos la producción de grano del cacao.

Santander es el departamento con mayor área sembrada, participando con un 40% en el año 2002 y un 33% en el año 2011.<sup>11</sup>

**2.3.3 Demanda de cacao en Colombia.** El eslabón industrial de Cacao en Colombia está dominado por dos compañías, Nutresa S.A. y Casa Luker S.A., las cuales procesan alrededor del 87% del Cacao producido en Colombia. Cabe anotar, que estas empresas no solo procesan en Colombia, también lo hacen en otros países a nivel mundial.<sup>12</sup>

**2.3.4 Exportaciones de cacao.** Las exportaciones de grano siguen incrementándose llegando en los primeros 9 meses del año a 2.771 Toneladas, cifra mayor en un 23% a las transadas en el mismo periodo del 2011. Por lo anterior la balanza comercial es positiva en 1.156 toneladas. La anterior tendencia muestra la senda que será común los próximos años, cuando entre en plena producción las hectáreas de cacao sembradas en los últimos 7 años y las

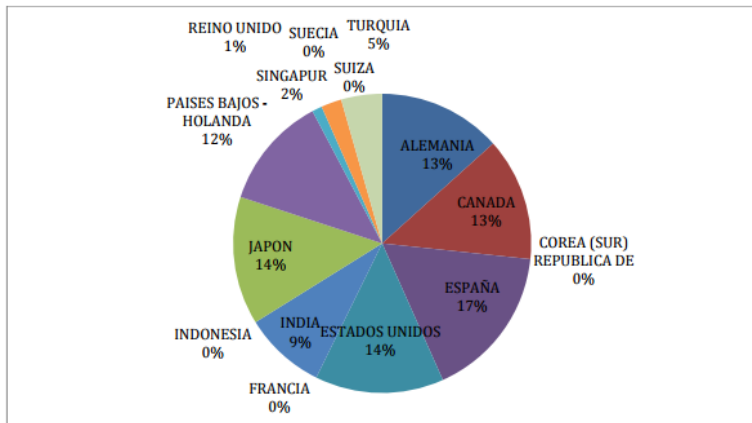
---

<sup>11</sup> ECONÓMICOS, Grupo de estudios. «Estudio sobre el sector cacaotero.» *Estudios de mercados*. 10 de 2012. [http://www.sic.gov.co/recursos\\_user/documentos/promocion\\_competencia/Estudios\\_Economicos/Estudios\\_Economicos/Estudiosobreelsectorcacaotero.pdf](http://www.sic.gov.co/recursos_user/documentos/promocion_competencia/Estudios_Economicos/Estudios_Economicos/Estudiosobreelsectorcacaotero.pdf) (último acceso: 29 de 01 de 2016).

<sup>12</sup> Ibid

proyecciones previstas en el Plan decenal. Los destinos principales de las exportaciones son: Turquía, Malasia, Italia y Japón, que han reconocido con sus compras la calidad de cacao colombiano. Los departamentos con mayores niveles de ventas en el exterior son Caldas, Cundinamarca, Santander y Cauca. El departamento cafetero participa en más del 65% de las exportaciones, en tanto Santander en el tercer puesto sólo participa con un 6%<sup>13</sup>.

**Figura 2. Exportación colombiana de cacao por país destino Enero a Diciembre 2011**



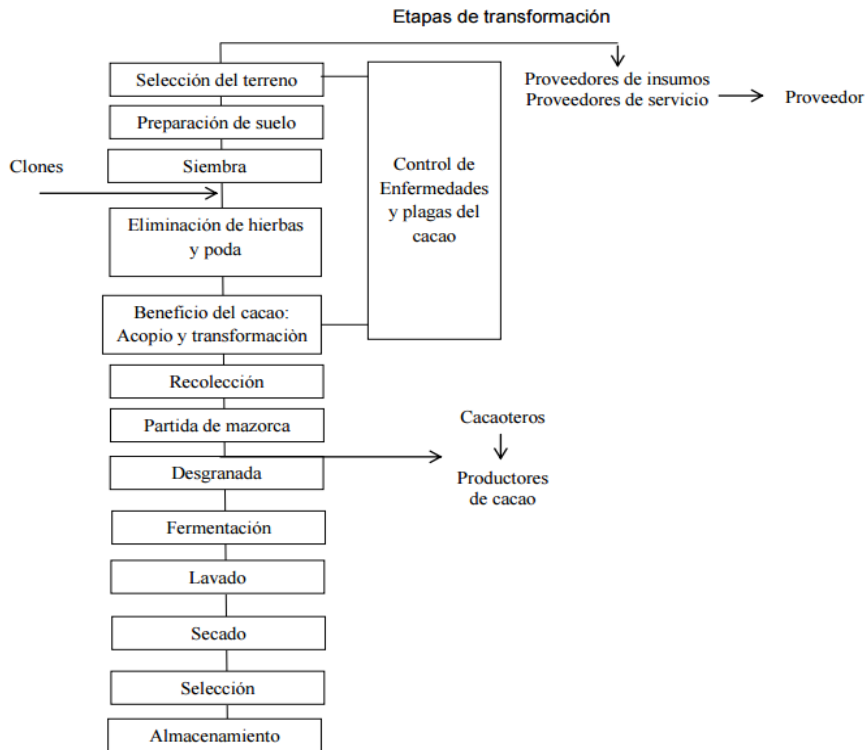
Fuente: FEDECACAO (2011).

## 2.4. PROCESO DEL CULTIVO DEL CACAO

En la figura 3 se describe el proceso del cultivo de cacao desde la selección del terreno hasta la entrega final del producto, el cual se da al proveedor.

<sup>13</sup> ROSAS Op cit.

**Figura 3. Descripción del proceso del cultivo de cacao**



Fuente: ROSAS, María. Caracterización de la cadena de abastecimiento y la cadena de valor en Colombia, 2012.

Teniendo en cuenta la figura 4, mostrada anteriormente, se describirá detalladamente a continuación cada paso del proceso del cultivo de cacao.

**2.4.1 Selección del terreno para el cultivo de cacao.** El terreno adecuado debe contar con las características necesarias para el desarrollo óptimo de los cultivos. Para realizar esta selección es necesario analizar algunos factores que intervienen como son: Altitud, precipitación, temperatura, humedad, vientos, propiedades físicas y químicas del suelo; los cuales se describen a continuación:

**2.4.1.1 Altitud:** El terreno debe encontrarse entre un rango óptimo de 0 y 1200 metros sobre el nivel del mar. Colombia cuenta con amplias zonas de cultivo donde se presenta un extraordinario desarrollo de los árboles de cacao, como es el caso de los departamentos de Arauca, Magdalena y Nariño. De igual manera se considera que el rango entre los 400 y 800 metros sobre el nivel del mar es el óptimo para establecer los cultivos, ya que ofrece las mejores condiciones para el desarrollo de la planta de cacao. Cuando los cultivos de cacao se encuentran a una altura mayor a 1200 metros sobre el nivel del mar, estos presentan condiciones marginales para su crecimiento, pues las temperaturas son muy bajas para garantizar una buena productividad de las plantaciones. Para el buen desarrollo del cultivo se debe evitar variaciones excesivas de temperaturas y vientos permanentes que pueden causar el rompimiento de las ramas y la pérdida de forraje.<sup>14</sup>

**2.4.1.2 Precipitación.** El cacao se recomienda sembrar en zonas donde las precipitaciones anuales varíen entre 1.500 y 3.000 mm, siendo el rango óptimo entre 1.800 y 2.600 mm donde mejor se desarrolla las plantaciones de cacao. Entre 1.500 y 1.800 mm se considera moderadamente apto, entre 2.600 y 3.200 se pueden desarrollar los cultivos con algún tipo de limitaciones. En zonas de menor precipitación puede cultivarse el cacao con la implementación artificial de riego y en zonas con altas precipitaciones existe un alto riesgo de que se presenten problemas fitosanitarios.<sup>15</sup>

**2.4.1.3 Temperatura:** El rango de temperatura para los cultivos de cacao está entre 18°C y 32°C, donde entre los 24°C y 30°C se encuentran las temperaturas más aptas. Condiciones moderadamente aptas se encuentran en rangos entre los

---

<sup>14</sup> ROJAS, Fernando, y SANCHEZ Edwin Javier. «GUÍA AMBIENTAL PARA EL CULTIVO DEL.» *fedecacao*. Diciembre de 2013. [http://www.fedecacao.com.co/site/images/recourses/pub\\_doctecnicos/fedecacao-pub-doc\\_05B.pdf](http://www.fedecacao.com.co/site/images/recourses/pub_doctecnicos/fedecacao-pub-doc_05B.pdf) (último acceso: 28 de 01 de 2016).

<sup>15</sup> ROSAS, Maria Alejandra Perdomo. «Pontificia Universidad Javeriana.» *Caracterización De La Cadena De Abastecimiento Y La Cadena De*. 2012. [en línea] [citado: enero 25 de 2016] Disponible en: <http://repository.javeriana.edu.co/bitstream/10554/13670/1/PerdomoRosasMariaAlejandra2012.pdf>

20°C a 24°C y 28°C a 30°C. La temperatura es importante para el cultivo del cacao ya que si existen variaciones mayores a 9°C entre el día y la noche afectan la polinización y la formación de los frutos. De la misma forma, con temperaturas inferiores a 25°C se afecta la formación de las flores del cacao.<sup>16</sup>

**2.4.1.4 Humedad.** Según algunos autores el cacao necesita de una alta humedad relativa para su pleno desarrollo, sin embargo otros afirman que no existe evidencia de esto y que la humedad relativa del aire puede bajar hasta un 40 a 50% sin afectar negativamente a la planta siempre y cuando haya suficiente agua en el suelo. Esta es una de las razones por las cuales el cacao puede ser cultivado en zonas secas donde haya la posibilidad de aplicarle riego suplementario, como es el caso de los Valles Interandinos Secos.<sup>17</sup>

**2.4.1.5 Vientos.** La literatura reporta, que los vientos que presentan una velocidad mayor a los >4 m/seg son perjudiciales, ya que aumentan la desecación de las hojas, e impiden la polinización. Sin embargo, este efecto es mínimo ya que una vez que el cultivo cierra, el efecto de barrera de los mismos árboles de cacao y de los sombríos hace que la influencia del viento prácticamente solo se presente solo en los bordes de los lotes.<sup>18</sup>

**2.4.1.6 Propiedades físicas.** El suelo debe ser suelto y profundo (al menos 1.5 metros de profundidad) para que la raíz pueda penetrar fácilmente y se distribuyan sin dificultad. No debe contener rocas o capas endurecidas, ya que pueden ser un impedimento para el buen desarrollo del cultivo. El suelo debe contener un buen drenaje de aguas para evitar los encharcamientos, al tiempo que una buena retención de humedad<sup>19</sup>.

---

<sup>16</sup> Ibid

<sup>17</sup> ROJAS, Op cit.

<sup>18</sup> ROSAS, María Alejandra Perdomo. «Pontificia Universidad Javeriana.» *Caracterización De La Cadena De Abastecimiento Y La Cadena De*. 2012. [en línea] [citado: enero 25 de 2016] Disponible en: [http://repository.javeriana.edu.co/bitstream/10554/13670/1/PerdomoRosasMariaAlejandra 2012.pdf](http://repository.javeriana.edu.co/bitstream/10554/13670/1/PerdomoRosasMariaAlejandra%202012.pdf)

<sup>19</sup> Ibid

**2.4.1.7 Propiedades químicas:** Las características químicas del suelo en relación con los nutrientes de elementos mayores (potasio (K), fósforo (P), nitrógeno (N)), de los elementos intermedios (magnesio (Mg), calcio (Ca), azufre (S)), y los elementos menores (zinc (Zn), níquel (Ni), cobalto (Co), boro (Bo), hierro (Fe), molibdeno (Mo)), los cuales ayudan al desarrollo de la planta. El agrónomo debe estudiar las características del suelo para identificar el proceso de abono que permita satisfacer las necesidades nutricionales de la planta<sup>20</sup>.

En la tabla 3 se muestra un resumen de los requerimientos para el cultivo de cacao en Colombia.

**Tabla 3. Requerimientos para el cultivo de cacao en Colombia**

Características	Apta	Moderadamente apta	Marginalmente apta	No apta
Altura sobre el nivel del mar (m.s.n.m)	400-800	0-400 y 800-1000	1000-1200	<1200
Temperatura media anual (°C)	24 a 28	28 a 30 y 24 a 20	30 a 32 y 20 a 18	>18 y <32
Máximo y mínimo		> 9		< 9
Precipitación anual (mm)	1800-2600	2600-3200 y 1800-1500	3200-3800 y 1500-1200	>1200 y <3800
Drenaje natural del suelo		Moderadamente o bien drenado	moderadamente excesivo drenado	Muy pobre o excesivo
Profundidad efectiva del suelo (cm)	<100	50-100	25-50	>25
Acides (ph)	5.5 -6.5	6.8 -7.0 y 5.5 - 5.0	7.0-8.0 y 5.0-4.5	<8 y >4.5
Materia orgánica (%total)	<5%	4 a 5	3 a 4	>3%
P2O5 (Kg/ha)	<69	69 a 57	57 a 46	>46
K (meq/100 gr)		<0.3		>0.15
Ca (meq/100 gr)	3.5 a 4	4 a 8	8 a 12	>2 y <12
Mg (meq/100 gr)		1 a 1.5		>1
Ca/Mg (meq/100 gr)		3:1		Relación <3:1
cm= centímetros, mm=milímetros, °C= Grados centígrados, meq= miliequivalentes, m.s.n.m=metros sobre el nivel del mar, Kg/ha= kilogramos por hectárea				

Fuente: Guía ambiental del cacao 2013. Fedecacao.

**2.4.2 Preparación del suelo para el cultivo de cacao.** Esta preparación comienza con el derribe de la vegetación existente en el terreno, la cual será

<sup>20</sup> Ibid

reemplazada por las plantas de cacao y siembra de las plantas que darán sombra al cultivo. Es aconsejable dejar descomponer la vegetación derribada, ya que ayuda a mejorar las condiciones fisicoquímicas del suelo (materia orgánica del suelo). Después de que el área se encuentre despejada, se continúa con el trazado en el cual se determina de manera definitiva en qué lugares van a quedar las plantas de cacao.

Al ser el cacao una especie que necesita sombra, esta se garantiza a través de la implementación de sistemas agroforestales. De esta manera se logra un beneficio adicional por ingresos extras derivados de los otros cultivos implementados, además del aporte de biomasa y nutrientes que les pueden contribuir las especies acompañantes. De la misma manera se llega a lograr la conservación del agua y el aprovechamiento de las interacciones que se dan entre las diferentes especies que acompañan al cacao, entre otras ventajas<sup>21</sup>. Así mismo al cultivo de cacao se asocian especies de ciclo corto, de sombrío temporal o transitorio y especies de sombrío permanente, las cuales son especies maderables o frutales. Generalmente los otros cultivos que se implementan en el sistema agroforestal son de aguacate, mandarinas, naranjas, plátano, entre otros.

**2.4.3 Siembra del cacao.** Se inicia el proceso con la siembra de los árboles que darán sombra al cacao, los cuales tardan aproximadamente 6 meses en crecer. De manera simultánea se realiza otras actividades fundamentales, como la plantación de las semillas dentro de los viveros donde se cuidan las plantas germinadas de cacao durante los primeros meses, de plagas y enfermedades.

El cultivo de cacao se puede propagar en forma sexual (por semilla botánica) y en forma asexual (estacas, acodos e injertos). La Propagación Sexual es el método en el cual se utiliza semilla botánica para la propagación del cacao. Cuando el cultivo se va a propagar por semilla, es necesario conocer el biotipo y las

---

<sup>21</sup> Ibid

principales características de las plantas productoras de semillas para que reciban un adecuado tratamiento con la finalidad que éstas puedan crecer bien conformadas, uniformes y con alta producción. Preferentemente, las semillas deben ser adquiridas de campos productores oficiales. En caso de no contar con campos productores de semillas oficiales, se puede suplir esta carencia haciendo una buena selección de las “plantas madres” a partir de las cuales se obtendrá la semilla.<sup>22</sup>

La Propagación Asexual se realiza por medio de partes vegetativas de la planta seleccionada. Este proceso no implica un cambio en la constitución genética de la nueva planta, ya que todas las características de la planta madre se presentan en la nueva planta. Sin embargo, factores del clima, tipo de suelo, ataque de enfermedades pueden modificar la apariencia de la planta, flores, o de los frutos, sin que se haya dado un cambio genético. La propagación asexual se puede realizar por medio de estacas o ramillas. Existen varios métodos siendo el más usado el de los injertos ya que no requiere de instalaciones costosas y permite aprovechar el material vegetativo de la “planta madre” al máximo posible. Este proceso es reconocido con el nombre de clonación, donde los clones son un conjunto de individuos genéticamente idénticos que descienden de un mismo individuo por mecanismos de reproducción asexual.<sup>23</sup>

En este ámbito se abarcará el siguiente tema:

**2.4.3.1 Clones:** Los clones introducidos a Colombia, proceden principalmente de Ecuador, Trinidad y Costa Rica. Estos materiales (clones) han sido la base para construir las semillas híbridas y desde los años 90, se han estado realizado

---

<sup>22</sup> ROSAS, María Alejandra Perdomo. «Pontificia Universidad Javeriana.» *Caracterización De La Cadena De Abastecimiento Y La Cadena De*. 2012. [en línea] [citado: enero 25 de 2016] Disponible en: [http://repository.javeriana.edu.co/bitstream/10554/13670/1/PerdomoRosasMariaAlejandra 2012.pdf](http://repository.javeriana.edu.co/bitstream/10554/13670/1/PerdomoRosasMariaAlejandra%202012.pdf)

<sup>23</sup> Ibid

investigaciones de campo en las granjas experimentales del ICA (Instituto Colombiano Agropecuario), Nacional de Chocolates y Casa Luker.

Fedecacao, el Ministerio de Agricultura, Corpoica y los departamentos técnicos de la Industria, han identificado los clones para la siembra, que, por sus características de producción, calidad física y organoléptica (sensorial) son destacados y se utilizan en los cultivos modernos.

En el país se encuentran clones regionales y universales definidos, los cuales han sido seleccionados por sus características de productividad y por resultados de la investigación física, morfológica y molecular de las diferentes poblaciones de cacao finos y de aroma. El cacao que se siembra en Colombia corresponde a clones de origen trinitario como los ICS-TSH y clones regionales seleccionados en Colombia bajo los mismos parámetros de calidad y productividad<sup>24</sup>.

**2.4.4 Eliminación de la hierba y poda.** La planta de cacao, dos años después de su plantación definitiva está preparada para dar sus primeros frutos, mientras esto pasa debe protegerse de la maleza con el deshierbe. Ésta actividad se puede hacer con machete a manera de plateo, que consiste en mantener la zona de raíces de la planta alrededor del tallo, también se debe dar la poda de formación tanto al árbol de cacao como a sus sombríos, para evitar plantas mal formadas o mal ubicadas, e impedir también que las ramas de las plantas de sombrío tapen el cacao y retrasen su crecimiento. La poda debe hacerse dos veces al año, una principal y otra centralizada, iniciando por las partes más altas, luego las ramas laterales, después hacer el realce y por último entresacar las partes sobrantes. A lo largo del crecimiento del árbol de cacao y durante su vida se deben aplicar fertilizantes y plaguicidas para controlar plagas y enfermedades<sup>25</sup>.

---

<sup>24</sup> Ibid

<sup>25</sup> Ibid

**2.4.5 Recolección del cacao.** La recolección es una fase muy importante ya que se deben identificar las mazorcas maduras, éstas se conocen dependiendo de su color externo que varía dependiendo del tipo y diversidad de cacao. El corte de los frutos debe hacerse cerca de la mazorca ayudándose con un machete. Por ningún motivo deben arrancarse los frutos y sólo deben cortarse aquellas mazorcas maduras y sanas (libres de enfermedades). Los árboles de cacao florecen dos veces al año, el periodo principal de floración se da entre junio y julio y la segunda floración se da entre los meses de septiembre y octubre, que es más pequeña. El periodo de maduración de los frutos se da entre los cuatro y seis meses dependiendo de la altura sobre el nivel del mar y la temperatura del lugar. Es así que la primera cosecha de frutos se da entre los meses de octubre, noviembre y diciembre, y la segunda se da durante los meses de marzo y abril. La recolección de los frutos puede ser semanalmente, según la disponibilidad de mano de obra que se tenga. Durante la recolección de los frutos comúnmente se aplica un desinfectante en el extremo del pedicelo del fruto, para evitar la transmisión de enfermedades por medio de las herramientas de trabajo que pudieran estar contaminadas.<sup>26</sup>

**2.4.6 Partición y desgranado de Mazorcas del árbol de cacao.** Seguido de la recolección de los frutos, estos se agrupan, y se separa los que puedan estar dañados y los que no tengan el grado de madurez necesario, ya que esto genera un producto con sabor amargo. Los frutos de cacao se ubican en un lote para que luego la partida de las mazorcas se realice de manera fácil. La partida de las mazorcas generalmente se hace con un machete y en algunos casos con máquinas. Los frutos contaminados se destruyen en el campo y se entierran, los frutos sanos se abren y se extraen las semillas para continuar con el proceso de fermentación.

---

<sup>26</sup> Ibid

A la extracción de las semillas del fruto se denomina desgranada, “desengullada” o “deguyada”, y se hace después de tener abierta la mazorca, deslizando los dedos de la mano a lo largo de la vena central de la misma, realizándolo de manera precavida para no combinarla con las semillas, ya que afecta en la calidad del producto. Las cascaras resultantes se pueden amontonar para su descomposición y así mismo utilizarlo como abono orgánico en los cultivos.

**2.4.7 Fermentación y lavado de las semillas de cacao.** Durante esta fase del proceso se desarrolla el sabor y el aroma del producto. En este proceso se quitan las cáscaras, las semillas, y la pulpa, posteriormente se guardan durante 5 días en un lugar bien ventilado y tapadas con hojas. Este proceso permitirá que se desarrollen bacterias y levaduras que permiten una buena fermentación, si no se lograra esto, se tendría como resultado el cacao corriente. Para saber que se encuentra bien fermentado el cacao, la semilla deberá estar hinchada, su color será marrón intenso y se romperá con facilidad obteniéndose un aroma agradable y un sabor amargo. Durante la fermentación los granos de cacao deben depositarse en cajones o recipientes de madera que deben poseer orificios en el fondo y a los lados para que puedan salir fácilmente los líquidos o baba que se desprenden. Los cajones deben estar colocados entre 10 o 15 centímetros sobre la superficie del suelo, para que puedan drenarse fácilmente los líquidos. Así también los cajones deben colocarse en sitios cubiertos y abrigados para protegerlos de las corrientes de aire frías, ya que se requiere de una temperatura leve y constante, para que el proceso de fermentación sea completo y parejo.

Al finalizar el proceso de fermentación, se debe verificar que los granos de cacao no contengan partículas de pulpa por lo que es necesario lavarlos, aunque en algunos casos el proceso de fermentación desintegra completamente la pulpa<sup>27</sup>.

---

<sup>27</sup> Ibid

**2.4.8 Secado y selección de las semillas de cacao.** En este proceso el grano de cacao termina de perder el exceso de humedad. Para la realización del secado del grano de cacao existen dos métodos: natural y artificial. El primero se realiza utilizando los rayos del sol; el segundo utiliza estufas o secadoras mecánicas que hacen pasar una corriente de aire seco y caliente por la masa de cacao, siempre y cuando se controle la temperatura, la cual no debe sobrepasar los 60°C. En Colombia predomina el secado natural, ya que los cultivadores tienen una zona exclusiva en donde extienden las semillas de cacao al sol.

Durante el proceso de selección de la semilla, se debe asegurar de eliminar las impurezas, como los granos mohosos, tierra, los granos partidos o sin almendras. Éste proceso puede realizarse de manera manual o por medio de mallas dispuestas en series, por medio de las cuales pasan los granos mientras que una corriente de aire caliente elimina impurezas<sup>28</sup>.

**2.4.9 Almacenamiento de las semillas del cacao.** El almacenamiento del cacao juega un papel preponderante. Si no es realizado en perfectas condiciones todo el esfuerzo realizado en obtener un producto de calidad puede perderse. Después de la selección los granos se envasan en costales de yute y si todavía están calientes producto del secado al aire libre, se deja enfriar antes de ensacarlos. El ambiente donde se va almacenar debe estar exento de olores extraños, como los provenientes de pesticidas, combustible, alimentos con olores penetrantes, etc. Se debe evitar del todo la contaminación por humo. El cacao es altamente higroscópico, es decir absorbe la humedad con suma rapidez. Si se almacenan almendras con menos de 8% de humedad, pueden mantenerse en buen estado por unos cinco meses, en medios menores de 75% de humedad relativa. Cuando la almendra seca es almacenada en ambientes con 95% de humedad relativa en 10 días puede superar el 15 % de humedad. Como en la selva alta se tiene la

---

<sup>28</sup> Ibid

humedad relativa por encima del 90% es necesario secar las almendras cada cierto tiempo para evitar la infestación de mohos.<sup>29</sup>

## **2.5 PROBLEMAS EN LOS CULTIVOS DE CACAO**

Los productores de cultivos de cacao se enfrentan a diferentes problemas que estos les pueden ocasionar, el caso es, las enfermedades y las plagas en el cultivo, ya que estos les pueden generar hasta un 80% de pérdidas en la producción. Otra problemática que presentan, es el contenido de metales pesados en la mazorca de cacao; en el momento que el productor quiera exportar cacao, este se verá obligado a reducir las concentraciones de estos, en especial la del cadmio, ya que existe una regulación para esto.

**2.5.1 Enfermedades y Plagas del Cultivo de Cacao.** Es muy importante el control de plagas y enfermedades desde el vivero y durante toda la vida productiva del cultivo ya que estas pueden aparecer en cualquier momento y ocasionar daños considerables.

A continuación, se encuentra la tabla 4, la cual especifica los tipos de controles que se deben utilizar para cada una de las enfermedades del cultivo del cacao.

---

<sup>29</sup> ROSAS, Maria Alejandra Perdomo. «Pontificia Universidad Javeriana.» *Caracterización De La Cadena De Abastecimiento Y La Cadena De*. 2012. [en línea] [citado: enero 25 de 2016] Disponible en: <http://repository.javeriana.edu.co/bitstream/10554/13670/1/PerdomoRosasMariaAlejandra 2012.pdf>

**Tabla 4. Controles para enfermedades del cultivo de cacao**

TIPOS DE CONTROLES PARA LAS ENFERMEDADES DEL CACAO					
ENFERMEDAD	CULTURAL	FISICO	GENETICO	BIOLOGICO	QUIMICO
<b>MONILIASIS</b>	Reducir la humedad en el lote realizando drenajes que sean necesarios, podas, regulación de sombrío, cosechar en forma oportuna.	Remoción de mazorcas enfermas a intervalos de 8 días al inicio de lluvias/floración y en época más seca cada 15 días.	Uso de clones con tolerancia. CCN51 FLE 2 ICS 95	Biocontroladores: trichoderma sp. Clonostachys rasea T. harzianum Bacillus subtilis B.mycoides, B.megaterium	El clorotaloril (Bravo Dacoril). Oxidloruro de cobre o sulfato de cobre cada 15 o 20 días
<b>ESCOBA DE BRUJA</b>	Realizar las podas antes de iniciar la época de lluvias, regular la sombra y controlar las ARVENSES	Cortar las escobas por lo menos 2 veces al año junto con la poda y antes de que las escobas alcancen las 17 semanas	Utilización de clones tolerantes: CCN-5, ICS-1, ICS-95	Aplicación de biocontroladores: T.harzianum Arthrobacter sp.	
<b>PUDRICIÓN PARDA O MAZORCA NEGRA</b>	Disminuir humedad interna, control de la sombra, podar y fertilizar bien. Remoción de las mazorcas enfermas	Cortar los frutos infectados, cubrirlos y agregarles cal para acelerar su descomposición	Clones tolerantes: ICS-60 CCN-51 ICS-1	Biocontroladores: Bacillus subtilis Streptomyces sp	Usar Metalaxyl con la pasta cicatrizante sobre el tronco cuando se realizan los cortes para retirar el tejido del tallo afectado
<b>ROSELINA O LLAGA ESTRELLADA</b>	Manejo de sombrío y fertilización adecuada. Mantener equilibrio biológico del suelo	Eliminación de arboles que transmitan el hongo por contacto entre raíces		Se recomienda hacer fumigaciones del hongo Trichoderma harzianum al suelo	Usar un herbicida que termine rápidamente con los arboles afectados. Glifosato o Picloram inyectado puro 10cc/árbol enfermo
<b>MAL DE MACHETE</b>	Evitar heridas en los arboles durante las limpiezas, podas o cosechas. Realizar buenas prácticas de fertilización.	Realizar podas fitosanitarias	Utilizar clones resistentes: CCN-51 ICS-95 ICS-60	Tratamiento con Bacillus subtilis Streptomyces sp y con Bisabol cumarina	Heridas deben cubrirse con pasta cicatrizante (oxidloruro de cobre o metataxil). Desinfección de herramientas con hipoclorito de sodio o formol al 4%
<b>MAL ROSADO</b>	Prevenir condiciones de excesiva humedad dentro de la plantación que se logra drenando y regulando el sombrío.			Tratamiento con Bacillus cubitis streptomyces sp	Preparación de pasta con cal, sulfato de cobre y agua fungicida a base de cobre Methalaxyl

Fuente: ROSAS, María. Caracterización de la cadena de abastecimiento y la cadena de valor en Colombia, 2012.

**2.5.2 Contenido de Metales pesados en el suelo del cultivo del cacao.** La planta de cacao absorbe ligeramente los metales pesados que existen por naturaleza en los suelos y los concentra en las semillas grasosas. Según las regiones, el grado de concentración de metales pesados es diferente. En el caso del cacao es posible que la contaminación del producto se de en las etapas de cultivo, producción y transformación. Se conoce que el cacao es uno de los productos en el sector alimenticio que posee una alta demanda, por lo tanto es importante conocer el origen de la contaminación en estos alimentos para determinar las acciones a seguir y para establecer la calidad del producto (Rivera 2013). Entre los principales metales pesados que se encuentran en este tipo de productos es el cadmio, sobre el cual se hará énfasis a continuación.

El cadmio es un elemento que se encuentra en forma natural en la corteza terrestre. El cadmio puro es un metal suave y de color blanco plateado. Por lo general, el cadmio no se encuentra en el ambiente como un metal puro, sino como un mineral combinado con otros elementos como el oxígeno (óxido de cadmio), el cloro (cloruro de cadmio) o el sulfuro (sulfato o sulfuro de cadmio). Este es más abundante en la naturaleza en la forma de óxidos complejos, sulfuros y carbonatos en el zinc, el plomo y las menas (es un mineral del que se puede extraer un metal, por contenerlo en cantidad suficiente para ser aprovechado) de cobre. En raras ocasiones se encuentra en grandes cantidades como cloruros y sulfatos. En sus distintas formas, estos compuestos de cadmio son sólidos que se disuelven en el agua de diferentes maneras. Los cloruros y sulfatos son las formas que más fácilmente se disuelven en agua. El cadmio puede cambiar a otras formas, pero el metal de cadmio no desaparece del medio ambiente. Por ende, es muy importante conocer en qué forma se encuentra el cadmio para determinar el riesgo potencial de efectos adversos en la salud. Los compuestos de cadmio se encuentran a menudo en pequeñas partículas en el aire o adheridos a ellas. La mayoría de la gente no puede oler ni percibir el cadmio en el aire o el agua, porque éste no tiene un olor o sabor característico. Los suelos y las rocas contienen cadmio en diversas cantidades, generalmente pequeñas, aunque a veces puede encontrarse en cantidades más grandes (por ejemplo, en algunos combustibles fósiles o fertilizantes).<sup>30</sup>

A nivel experimental, el análisis de metales pesados en alimentos y suelos involucra recolección, preparación de muestras, extracción de los metales, eliminación de interferencias y finalmente detección y cuantificación mediante técnicas analíticas instrumentales<sup>31</sup>. Los métodos de análisis para determinar el

---

<sup>30</sup> AMBIENTAL, División de Toxicología y Medicina. «Resumen de Salud Pública.» *Agencias para sustancias tóxicas y el registro de enfermedades*. 07 de 1999. [en línea] [citado enero 28 de 2016]. Disponible en: [http://www.atsdr.cdc.gov/es/phs/es\\_phs5.pdf](http://www.atsdr.cdc.gov/es/phs/es_phs5.pdf)

<sup>31</sup> MARTINEZ, Genny Rocio, y PALACIO Carolina. «Determinación de metales pesados cadmio y plomo en suelos y granos de cacao frescos y fermentados, mediante espectroscopia de absorción atómica de llama.»

cadmio en cacao incluyen espectrometría de absorción atómica de llama (F-AAS), espectrometría de absorción atómica con horno de grafito (GF-AAS), espectrometría de emisión óptica con plasma acoplado inductivamente (ICP -OES) y espectrometría de masas con plasma acoplado inductivamente (ICP-MS).<sup>32</sup>

**2.5.2.1 Fuentes del cadmio en cultivo de cacao:** Las fuentes naturales de cadmio incluyen actividad volcánica, la erosión de las rocas que contienen cadmio, la espuma del mar, y la movilización de cadmio depositado en suelos, sedimentos, vertederos, etc. Las fuentes antropogénicas de cadmio incluyen la extracción y fundición de minerales que contienen zinc, la quema de combustibles fósiles, la incineración de residuos y emisiones procedentes de pilas desechadas o vertederos municipales. Estas fuentes contribuyen a los niveles de cadmio en el suelo y en los sedimentos. El vertido húmedo o seco de cadmio atmosférico en las plantas y en el suelo puede conducir al cadmio a entrar en la cadena alimentaria a través de la absorción foliar o absorción radicular. La tasa de transferencia de cadmio depende de una variedad de factores, incluyendo los índices de depósito, tipo de suelo y la planta, el pH del suelo, contenido de humus, la disponibilidad de la materia orgánica, el tratamiento del suelo con fertilizantes, la meteorología, y la presencia de otros elementos como el zinc<sup>33</sup>.

La principal fuente de contaminación de cadmio es la utilización los fertilizantes provenientes de roca fosfórica. Por estas razones se hace necesario determinar cuál es la condición actual de los suelos y de algunos productos agrícolas que por su alto consumo podrían representar un peligro para la salud humana. Estudios realizados en Estados Unidos muestran que el factor que más contribuye a la concentración de cadmio en cultivos es el pH del suelo. Considerando que los

---

repositorio UIS. 2010.[en línea] [citado enero 28 de 2016] Disponible en: <http://repositorio.uis.edu.co/jspui/bitstream/123456789/397/2/136115.pdf>.

<sup>32</sup> Ibid

<sup>33</sup> CODEX. «Anteproyecto De Niveles Máximos Para El Cadmio En El Chocolate Y Productos.» 06 de 12 de 2014. [en línea] [citado enero 28 de 2016] Disponible en: [ftp://ftp.fao.org/codex/meetings/cccf/cccf9/cf09\\_06s.pdf](ftp://ftp.fao.org/codex/meetings/cccf/cccf9/cf09_06s.pdf).

suelos donde se cultiva el cacao son de tendencia ácida, lo cual hace que haya mayor facilidad de presencia de este metal en ellos. Experimentos realizados en suelos de Estados Unidos muestran que la aplicación de cal para la corrección del pH reduciendo la acidez, disminuye significativamente la adsorción de cadmio<sup>34</sup>.

**2.5.2.2 Efectos del Cadmio sobre la salud:** La contaminación de metales pesados en los productos consumidos en la dieta humana, se ha convertido en un tema que genera preocupación en muchos países alrededor del mundo, ya que la alta concentración de metales pesados en los alimentos podría causar problemas en la salud de los seres humanos.<sup>35</sup>

La asimilación de cadmio por los seres humanos se lleva a cabo por medio de la cadena alimenticia. Alimentos con altos contenidos de Cadmio pueden en gran medida incrementar la concentración de este metal pesado en los seres humanos. Ejemplos de alimentos con contenido de cadmios son: patés, champiñones, mariscos, mejillones, cacao y algas secas.

Introducidos los metales pesados en el cuerpo humano, estos se transportan hacia el hígado por medio de la sangre. Allí se unen a proteínas para formar complejos que son transportados hacia los riñones, donde puede permanecer entre 10 a 35 años. El Cadmio se acumula en los riñones, donde causa daños en el mecanismo de filtración, por ende, se da la excreción de proteínas esenciales y azúcares del cuerpo y el consecuente daño de éstos órganos. El cadmio permanece mucho tiempo en los riñones antes de ser expulsado del cuerpo humano.

Esta acumulación puede llevar a una disfunción renal tubular, lo cual resulta en un incremento de la excreción de proteínas de bajo peso molecular en la orina. Esto es generalmente irreversible. Un alto consumo de cadmio puede llevar a una

---

<sup>34</sup> BARRUETA. RIVERA, Sayet V. «Guía Metodológica para el Muestreo y Detección de Cadmio en Suelos, Agua, Fertilizantes, Almendras de Cacao y Productos Derivados.» lima, 2013.

<sup>35</sup> CODEX. Op cit.

distorsión en el metabolismo del calcio y la formación de cálculos renales, el cadmio, además afecta al sistema óseo y respiratorio<sup>36</sup>.

**2.5.2.3 Efectos ambientales del Cadmio:** Se calcula que cada año se liberan al medio ambiente entre 25,000 y 30,000 toneladas de cadmio, alrededor de la mitad proviene de la erosión de las rocas que llegan a los ríos y posteriormente a los océanos. Los incendios forestales y los volcanes también liberan al aire algunas cantidades de cadmio. Se calcula que anualmente se liberan entre 4,000 y 13,000 toneladas de cadmio como consecuencia de actividades humanas como la minería y el consumo de combustibles fósiles<sup>37</sup>.

El cadmio puede entrar al aire por la quema de combustibles fósiles (por ejemplo, plantas de carbón para la generación eléctrica) y la incineración de desechos domésticos. Así mismo, puede entrar al suelo o al agua a través de derrames o fugas en sitios de desechos peligrosos, si en éstos hay grandes cantidades de cadmio disuelto. Hay que tener en cuenta que los fertilizantes contienen ciertas cantidades de cadmio que se filtran al suelo durante la aplicación en los cultivos<sup>38</sup>.

Las aguas residuales con Cadmio procedentes de las industrias, generalmente terminan en suelos. Las causas de estas corrientes de residuos son por ejemplo la producción de Zinc, minerales de fosfato y las bioindustrias del estiércol. Las nuevas reglamentaciones son más estrictas en cuanto a<sup>39</sup> vertimientos de aguas residuales de casas o industrias, por lo cual está permitido 0,01mg/L<sup>40</sup> de cadmio en el agua.

---

<sup>36</sup> Ibid

<sup>37</sup> AMBIENTAL, División de Toxicología y Medicina. «Resumen de Salud Pública.» *Agencias para sustancias tóxicas y el registro de enfermedades*. 07 de 1999. [en línea] [citado enero 28 de 2016]. Disponible en: [http://www.atsdr.cdc.gov/es/phs/es\\_phs5.pdf](http://www.atsdr.cdc.gov/es/phs/es_phs5.pdf).

<sup>38</sup> Ibid

<sup>39</sup> Ibid

<sup>40</sup> FENAVI. Resolución 0631 del 2015. [en línea] [citado enero 28 de 2016]. Disponible en: [http://www.fenavi.org/index.php?option=com\\_content&view=article&id=3167:resolucion-0631-de-2015&catid=393:uso-de-recursos](http://www.fenavi.org/index.php?option=com_content&view=article&id=3167:resolucion-0631-de-2015&catid=393:uso-de-recursos)

El cadmio que se encuentra en pequeñas partículas o adherido a ellas puede ingresar al aire y viajar grandes distancias antes de regresar a la tierra como polvo, lluvia o nieve. El metal de cadmio no se descompone en el medio ambiente, pero puede cambiar a diferentes formas. La mayoría de las formas de cadmio permanecen por un largo tiempo en el mismo lugar donde se depositaron originalmente en el medio ambiente. Algunas formas de cadmio se fijarán al suelo, pero otras permanecerán en el agua, así mismo, pueden ser absorbidas por las plantas. Algunas formas de cadmio pueden entrar en los organismos de los peces, las plantas y los animales a través del aire, el agua o los alimentos. El cadmio puede cambiar de forma en el cuerpo, pero a la vez permanece en el cuerpo por mucho tiempo (años)<sup>41</sup>.

Los suelos ácidos, aumentan la toma de Cadmio por las plantas. Esto es un daño potencial para los animales que dependen de las plantas para sobrevivir. El Cadmio puede acumularse en sus cuerpos, especialmente cuando estos comen muchas plantas diferentes. Las vacas pueden tener grandes cantidades de Cadmio en sus riñones debido a esto.

Las lombrices y otros animales esenciales para el suelo son extremadamente sensibles al envenenamiento por Cadmio. Pueden morir a muy bajas concentraciones y esto tiene consecuencias en la estructura del suelo. Cuando las concentraciones de Cadmio en el suelo son altas esto puede influir en los procesos del suelo de microorganismos y amenazar a todo el ecosistema del suelo.<sup>42</sup>

**2.5.2.4 Regulaciones para la exportación de cacao a los mercados internacionales referentes al metal pesado, cadmio:** El Reglamento (UE) No. 488/2014 de la comisión del 12 de mayo de -2014, la cual modifica el reglamento

---

<sup>41</sup> Ibid

<sup>42</sup> LENNTECH. «cadmio.» *lenntech BV*. s.f. [en línea] [citada enero 29 de 2016] Disponible en: <http://www.lenntech.es/periodica/elementos/cd.htm>.

(CE) No. 1881/2006, por lo que respecta al contenido máximo de cadmio en los productos alimenticios, y establece el contenido máximo de cadmio en los productos de cacao y chocolate.

**Tabla 5. Concentraciones máximas de cadmio en productos de cacao.**

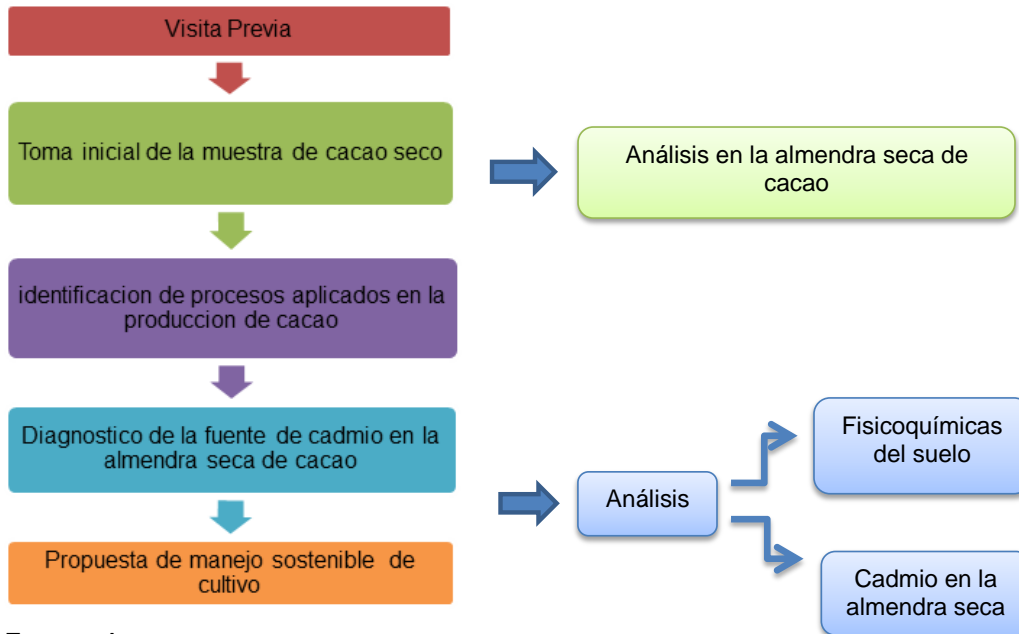
<b>Producto</b>	<b>% total materia seca</b>	<b>Límite máximo de cadmio permitido</b>
Chocolate de leche	< 30%	0,10 mg/kg
Chocolate de leche	≥30%	0,30 mg/kg
Chocolate	< 50%	0,30 mg/kg
Chocolate	≥50%	0,80 mg/kg
Cacao en polvo	-	0,60 mg/kg

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

### 3. METODOLOGIA

En la figura 4 se observa de forma resumida la metodología que se aplicó en el proyecto.

**Figura 4. Resumen de la metodología Aplicada**



Fuente: Autor

El proyecto fue desarrollado en la finca, llamada "Tres Piedras", perteneciente al señor Rodrigo Toloza Cárdenas, quien solicitó el estudio con el fin de diagnosticar la presencia de cadmio en la almendra de cacao seco. La finca cuenta con 8 hectáreas de cultivo de cacao y se encuentra ubicada en la vereda Cirales en el municipio del Carmen de Chucuri, Santander.

En la figura 5 se muestra la ubicación de la finca.

**Figura 5. Ubicación finca "Tres Piedras".**



Fuente: Alcaldía de El Carmen de Chucurí – Santander, 2016.

Para realizar el diagnóstico de la fuente de la presencia de cadmio en la almendra seca de cacao, fue necesario realizar la visita previa, durante la cual se obtuvo la información de los procesos de cultivo, manejo de insumos y procesamiento de cacao en la finca. Así mismo, se recolectaron las muestras de almendra de cacao seco.

### **3.1 IDENTIFICACIÓN DE LOS PROCESOS DE CULTIVO, MANEJO DE INSUMOS Y PROCESAMIENTO DE CACAO EN LA FINCA TRES PIEDRAS.**

La identificación de los procesos de cultivo, manejo de insumos y procesamiento de cacao, se inició con un recorrido de la zona de cultivo, con el administrador de la finca Tres Piedras. Durante este tiempo se obtuvo la información necesaria, la cual se reporta en el capítulo de resultados y análisis de este trabajo.

### **3.2. DIAGNÓSTICO DE LA FUENTE DE CADMIO EN ALMENDRA SECA DE CACAO EN LA FINCA TRES PIEDRAS.**

Para realizar el análisis de la fuente de cadmio en almendra seca de cacao fue necesario identificar la presencia de este metal en ella.

Una vez identificado el problema se procedió a verificar la presencia del cadmio en el suelo, y almendra fresca. De igual manera se confrontaron estos análisis con la información sobre la geomorfología de la zona y manejo de cultivo en general.

**3.2.1 Análisis de cadmio en almendra seca de cacao.** Durante la primera vista técnica se tomó la muestra de cacao para analizar la presencia de cadmio en la almendra seca.

Para este fin fue necesario seleccionar los estratos en el área cultivada, teniendo en cuenta el tipo de cacao, tiempo de producción y la pendiente del terreno para su diferenciación. De esta manera se identificaron seis estratos de muestreo, de los cuales solo cinco tenían el fruto maduro para la recolección. En uno de los estratos no fue posible la recolección de la muestra debido a que en días anteriores habían cortado los frutos maduros de cacao. En todo proceso de

muestreo se aplicó la guía metodológica para el muestreo y detección de cadmio en suelos, agua, fertilizantes, almendras de cacao y productos derivados.<sup>43</sup>

Los puntos de muestreo fueron identificados por medio de GPS, para replicar en el mismo sitio el muestreo de suelo y almendra fresca. (Ver tabla 6)

**Tabla 6. Coordenadas de las submuestras de cada estrato.**

Estrato	N° de muestras	Coordenadas de cada submuestra						Tipo de cacao	Descripción del área
		CODIGO	Norte	Este	CODIGO	Norte	Este		
A	6	FTA1	06°42'2,7928"	73°30'34,2408"	FTA4	06°40'56,3262"	73°31'34,1053"	Criollo	Zona con bastante roca y gran pendiente
		FTA2	06°40'55,8336"	73°31'345,2091"	FTA5	06°40'56,9848"	73°31'34,2248"		
		FTA3	06°40'55,7791"	73°31'35,3911"	FTA6	06°41'1,1972"	73°31'32,3437"		
B	4	FTB1	06°40'56,5000"	73°31'36,8093"	FTB3	06°41'45,3892"	73°30'34,9999"	Criollo	Zona con bastante roca y gran pendiente
		FTB2	06°40'56,1284"	73°31'36,7879"	FTB4	06°40'59,2189"	73°31'35,1098"		
C	5	FTC1	06°41'3,2916"	73°31'28,2734"	FTC4	06°41'45,3892"	73°31'36,7879"	Criollo	Zona con bastante roca y gran pendiente
		FTC2	06°41'3,5606"	73°31'28,1355"	FTC5	06°42'5,5513"	73°30'33,7433"		
		FTC3	06°41'1,6640"	73°31'27,7402"					
D	3	FTD1	06°40'55,9886"	73°39'21,2052"	FTD3	06°41'9,3322"	73°37'24,3070"	Criollo	Zona con bastante roca y gran pendiente
		FTD2	06°41'2,59"	73°31'20,04"					
E	3	FTE1	06°41'3,8103"	73°31'22,0465"	FTE3	06°41'2,9398"	73°31'20,8679"	CCN 51	Zona con bastante roca y gran pendiente
		FTE2	06°41'3,1122"	73°31'20,8830"					

Fuente: Autora.

<sup>43</sup> BARRUETA. RIVERA, Sayet V. «Guía Metodológica para el Muestreo y Detección de Cadmio en Suelos, Agua, Fertilizantes, Almendras de Cacao y Productos Derivados.» lima, 2013.

Una vez recolectadas las muestras de mazorca fresca de cada estrato, se procedió a su deguyado y las semillas se depositaron de manera separada en pequeños costales, con el fin de no combinarse con las que ya estaban en las pilas de fermentación. Durante 6 días la semilla fue sometida al proceso de fermentación y seguido, se procedió a su secado durante 4 días. Finalmente fue empacado en bolsas de papel para el respectivo análisis de cadmio en almendra seca. En la figura 6 se muestra el proceso señalado anteriormente.

**Figura 6. Proceso del cacao en la Finca.**



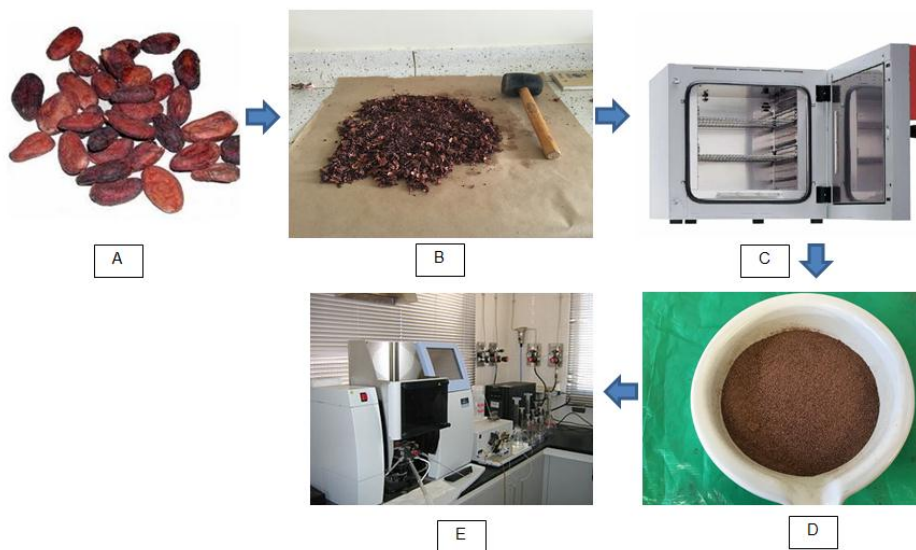
Fuente: Autora.

En el proceso de análisis de cadmio en las muestras de mazorca seca, el equipo utilizado fue "Absorción Atómica Espectrómetro AAnalyst 440", con el método por llama STÁNDAR METHODS 3111B y AOAC999.10 en control de alimentos. El

gas aplicado fue aire acetileno, con un flujo de 1,86 Litros/minuto y aire, con un flujo de 10 Litros/minuto. En el proceso de digestión de las muestras de mazorca seca se utilizaron 2 mL de peróxido de hidrogeno al 30% y 2 ml de ácido nítrico al 65%.

**Preparación de la muestra de mazorca seca para análisis en absorción atómica.** Para la determinación de la concentración de cadmio en la almendra seca de cacao se realizaron los siguientes pasos: se desempacó la almendra seca (A), seguido se maceró (B). Posteriormente se realizó el secado en el horno a 105°C (C) y se pasó por un tamiz No 40 (D). Finalmente se depositó la muestra fría en los vasos para digestión previa al análisis (E). En la figura 7 se representa el proceso anterior.

**Figura 7. Preparación de la muestra para absorción atómica.**



Fuente: Autora.

Al encontrar concentraciones de cadmio en la almendra seca de cacao, fue necesario realizar los análisis de mazorca fresca y en el suelo para detectar la presencia de cadmio en estos medios. Así mismo, se realizó el análisis de las propiedades fisicoquímicas del suelo. En ambos casos (análisis de mazorca fresca y seca) se aplicó la guía metodológica para el muestreo y detección de cadmio en suelos, agua, fertilizantes, almendras de cacao y productos derivados.<sup>44</sup>

**3.2.2. Análisis de cadmio en almendra fresca cacao.** Durante la segunda visita técnica se recolectaron las muestras de almendra fresca en los mismos sitios de muestreo de la almendra seca, donde cada punto de muestreo se encontró por medio de las coordenadas arrojadas por el GPS. Esto permitió tener un punto de comparación de análisis de cadmio en la almendra fresca, el suelo y la almendra seca.

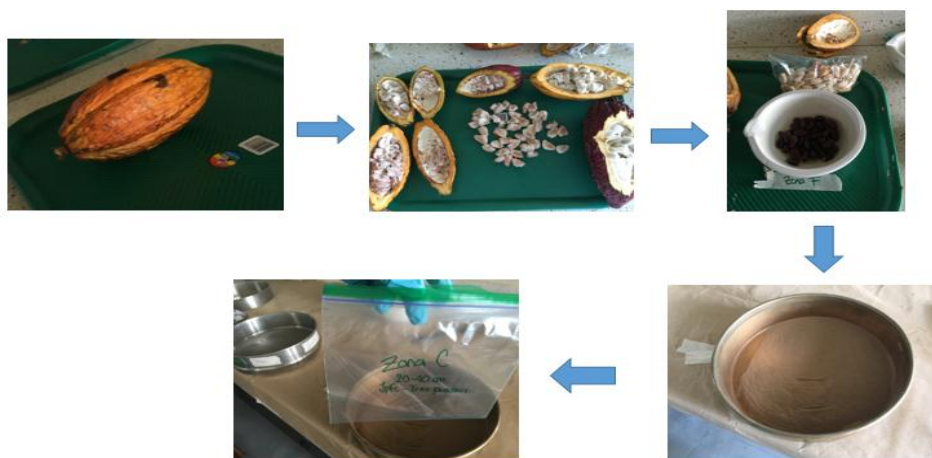
La metodología aplicada en la recolección de muestra de almendra fresca de cacao, fue la misma que se utilizó para la recolección de muestras de suelo en los mismos arboles identificado previamente.

Reuniendo las almendras frescas de cada estrato, se dispusieron en costales, se rotularon debidamente y se transportaron al laboratorio a temperatura ambiente. Seguidamente en el laboratorio, las almendras frescas se deguyaron y se les eliminó manualmente la pulpa de la semilla de cacao. Luego se secaron las semillas al sol en las bandejas plásticas por tres días, se maceraron y se llevaron al horno por 24 horas a 105°C, con el fin de eliminar por completo la humedad en las mismas. Finalmente se pulverizó la muestra a través de un tamiz número 40 y se dispuso para su análisis de cadmio por absorción atómica. (Ver figura 8)

---

<sup>44</sup> BARRUETA. RIVERA, Sayet V. «Guía Metodológica para el Muestreo y Detección de Cadmio en Suelos, Agua, Fertilizantes, Almendras de Cacao y Productos Derivados.» lima, 2013.

**Figura 8. Preparación de la muestra para análisis de cadmio por absorción atómica**



Fuente: Autora.

**3.2.3 Análisis de las propiedades fisicoquímicas del suelo.** Los parámetros fisicoquímicos analizados en las muestras compuestas y sus respectivos métodos se indican en la tabla 7.

**Tabla 7. Parámetros y métodos aplicados a las muestras de suelo.**

Parámetro	Método empleado
pH	Medición con Potenciómetro en solución con KCl y agua destilada.
Textura	Método de Bouyoucos (Bouyoucos, 1962)
Determinación de la Granulometría	Prueba de cribado – Tamizado (ASTM D-422)
Densidad real	Volumen desplazado de agua por una cantidad conocida de suelo. Principio de Arquímedes. La medición se realizó por triplicado por la recomendación de la literatura. (USDA)
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.

Capacidad de campo	de	Infiltración. Se realizó por duplicado.
Capacidad Intercambio Catiónico	de	Método de desplazamiento por el acetato de amonio

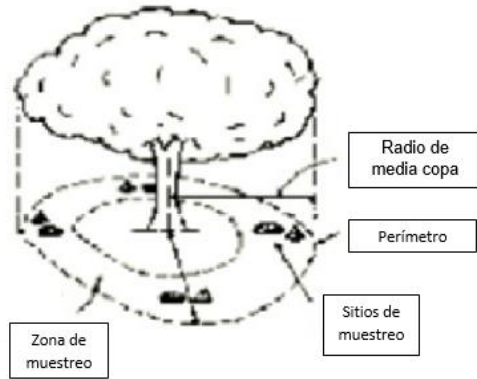
Fuente: Autora.

**3.2.4. Análisis de cadmio en las muestras de suelo.** Las muestras de suelo tomadas en la finca Tres Piedras, se analizaron con el fin de determinar las características fisicoquímicas, así como la identificación de la presencia de cadmio en el mismo. Cabe mencionar que la toma de muestras de suelo, se realizó en simultaneidad con la toma de muestras de almendra fresca.

Se inició con la localización de los árboles previamente señalados durante el primer muestreo. Luego se limpió la maleza, la hojarasca y las raíces del área alrededor del árbol identificado.

Aplicando la guía metodológica, se tomaron cuatro sub-muestras de suelo a las profundidades de 0-20cm y de 20-40 cm, respectivamente, por cada árbol identificado. Además, se tuvo en cuenta la recomendación de tomar las submuestras a la mitad de la proyección de la sombra de la copa del árbol. (ver figura 9).

**Figura 9. Zona de muestreo para suelos de cacao.**



Fuente: Guía metodológica para el muestreo y detección de cadmio en suelos, agua, fertilizantes, almendras de cacao y productos derivados 2013.

Las cuatro submuestras del mismo árbol y de igual profundidad, se mezclaron y se adicionaron con las otras muestras así formadas del mismo estrato, generando mediante un cuarteo la muestra compuesta de 2 kg, mencionado así en la guía de muestreo.

El método de cuarteo se ilustra en la figura 10.

**Figura 10. Cuarteo de muestras de suelo.**



Fuente: Guía Metodológica para el Muestreo y Detección de Cadmio, 2013.

Todas las muestras se empacaron en bolsas herméticas, se identificaron debidamente y fueron transportadas a laboratorio en las neveras de icopor.

Para el análisis de cadmio en las muestras de suelo, se utilizó el equipo de "Absorción Atómica Espectrofotómetro AAnalyst 400", aplicando el método por llama STÁNDAR METHODS 3111B y EPA 3051A. El proceso de digestión de las muestras de suelo se realizó con 10 ml de ácido nítrico al 65%. (Ver Anexo A)

### **3.3. PROPUESTA DE MANEJO SOSTENIBLE DE CULTIVO DE CACAO EN LA FINCA TRES PIEDRAS.**

La propuesta de manejo sostenible de cultivo de cacao en la finca Tres Piedras se realizó con base a los análisis fisicoquímicos del suelo y de la concentración de cadmio en la almendra seca de cacao, almendra fresca de cacao y en el suelo. Igualmente se consideró la viabilidad del tratamiento para un manejo sostenible de cultivo y en consenso con el dueño de la finca.

#### 4. RESULTADOS Y ANALISIS

A continuación, en la tabla 8 se resumen las características que tiene la finca Tres Piedras.

**Tabla 8. Características de la finca.**

Nombre de la finca	Nombre del propietario	Altitud msnm	Vereda	Municipio	Departamento	Área en cacao (Ha).	Área total de la finca (Ha).
Tres Piedras	Rodrigo Toloza Cárdenas	800	Cirales	El Carmen de Chucurí	Santander	15	8

Fuente: Autora.

La finca Tres Piedras está ubicada en el departamento de Santander y es de propiedad del señor Rodrigo Toloza Cárdenas, tiene 15 hectáreas de cacao cultivado y se encuentra a la altura de 800 msnm, lo cual es apropiado para el cultivo de cacao. En el manejo del cultivo se aprovechan los desechos orgánicos, sin embargo, en los últimos meses se han implementado algunos insumos complementarios.

##### **4.1 IDENTIFICACIÓN DE LOS PROCESOS DE CULTIVO, MANEJO DE INSUMOS Y PROCESAMIENTO DE CACAO EN LA FINCA TRES PIEDRAS.**

Durante la visita a la finca, se identificaron la preparación del terreno para la siembra, la elección de tipo de cacao a cultivar y el tipo de siembra aplicado. De igual manera, se observaron los tipos de insumos aplicados en el cultivo y el procesamiento de cacao aplicado en la finca Tres Piedras.

**4.1.1 Identificación de los procesos de cultivo.** Antes de sembrar el cacao en la finca Tres Piedras, el terreno se prepara para el cultivo, garantizando la sombra por medio de los árboles frutales como la mandarina, aguacate, plátano y naranjas. Mientras los árboles frutales van creciendo, se planta el cacao por medio de semilla y se deja crecer en el vivero para evitar que las plagas afecten su crecimiento. Finalmente, después de aproximadamente 24 meses se realiza la siembra de la planta de cacao en el terreno preparado. El tipo de cacao sembrado en la finca Tres Piedras es Criollo y CNN 51.

Según la información provista por el propietario de la finca, en el cultivo de cacao macanean (quita maleza) cada 4 meses, es decir, 3 veces al año. La poda del cultivo, hace referencia a cortar la planta en cuanto a ramas secas, enfermas o rotas, con el fin de estimular el crecimiento de la misma, lo hacen una vez al año.

**4.1.2 Identificación de procesos de manejo de insumos para el cultivo de cacao en la finca Tres Piedras.** En la finca Tres Piedras hace 5 meses se viene implementando el sistema de abono y la corrección de la acidez del suelo por medio de los siguientes insumos:

- El fertilizante complejo granulado N-P-K 176182, el cual es obtenido mediante reacción química y cuya composición señalada en el producto es: Nitrógeno total (N) 17.0 %, Nitrógeno Amoniacal (N) 10.4 %, Nitrógeno Nítrico (N) 6.6 % Fósforo asimilable ( $P_2O_5$ ) 6.0 % Potasio soluble en agua ( $K_2O$ ) 18.0 % Magnesio (MgO) 2.0 % Azufre total (S) 2.0 % Boro (B) 0.2 % Zinc (Zn) 0.1 %. <sup>45</sup>
- La cal para alcalinizar el suelo, con el fin de subir su pH. Este 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

---

<sup>45</sup> MONOMEROS. Marca Comercial Nutrimon. [en línea] [citado 06 de enero de 2016] Disponible en: [http://www.monomeros.com/descargas/FT\\_17-6-18-2.pdf](http://www.monomeros.com/descargas/FT_17-6-18-2.pdf)

fosfórica. Su composición es la siguiente: CaO (Soluble en ácido) 32,5% MgO (Soluble en ácido) 17,5% P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> Total (de lenta asimilación) 1.0% Carbonato de Calcio (CaCO<sub>3</sub>) 57,8 % Carbonato de Magnesio 36,7%, Humedad Max. 1.0%

46

Estos insumos se aplican en la finca cada 6 meses.

**4.1.3 Identificación de proceso del cacao en la finca Tres Piedras.** Una vez el cacao está maduro, se corta con machete, cerca del tallo del árbol evitando que se lastime la almendra de cacao. Este proceso se lleva a cabo cada 30 días aproximadamente. Posteriormente se agrupan todos los frutos cerca de los árboles y se recolectan en costales para llevarlos a deguyar. Seguido se llevan las semillas de cacao a las pilas de fermentación donde perduran 6 días. Durante este tiempo la semilla va desarrollando las enzimas que introducen el olor y sabor particular. Finalmente, se procede al secado de almendra de cacao durante 3 a 4 días en el techo de madera aprovechando el calor del sol.

#### **4.2. DIAGNÓSTICO DE LA FUENTE DE CADMIO EN ALMENDRA SECA DE CACAO EN LA FINCA TRES PIEDRAS.**

Para establecer la presencia de cadmio en la almendra seca, se realizó el análisis químico correspondiente.

En caso de un resultado positivo se procedió a establecer un diagnóstico de la fuente de este metal en la almendra seca de cacao, teniendo en cuenta las características de suelo y la presencia del cadmio en la almendra fresca. Así

---

<sup>46</sup> COMCEMENTOS. Cal Dolomita. [en línea] [citado 06 de enero de 2016] Disponible en: <http://www.artexus.com/Descargas/Cales/Cal%20Dolomita.pdf>

mismo, con las informaciones dadas sobre el proceso de cultivo, manejo de insumos y procesamiento de cacao por parte del dueño de la finca.

**4.2.1 Análisis de cadmio en almendra seca de cacao.** En la tabla 9 se reportan los resultados de análisis de cadmio en la almendra seca de cacao. (Ver Anexo B)

**Tabla 9. Resultados de análisis de cadmio en almendra seca de cacao.**

Estrato	N° de muestras	Coordenadas de cada submuestra						Contenido Cadmio (mg/kg)
		CODIGO	Norte	Este	CODIGO	Norte	Este	
A	6	FTA1	06°42'2,7928"	73°30'34,2408"	FTA4	06°40'56,3262"	73°31'34,1053"	1,5016
		FTA2	06°40'55,8336"	73°31'345,2091"	FTA5	06°40'56,9848"	73°31'34,2248"	
		FTA3	06°40'55,7791"	73°31'35,3911"	FTA6	06°41'1,1972"	73°31'32,3437"	
B	4	FTB1	06°40'56,5000"	73°31'36,8093"	FTB3	06°41'45,3892"	73°30'34,9999"	1,5625
		FTB2	06°40'56,1284"	73°31'36,7879"	FTB4	06°40'59,2189"	73°31'35,1098"	
C	5	FTC1	06°41'3,2916"	73°31'28,2734"	FTC4	06°41'45,3892"	73°31'36,7879"	1,5619
		FTC2	06°41'3,5606"	73°31'28,1355"	FTC5	06°42'5,5513"	73°30'33,7433"	
		FTC3	06°41'1,6640"	73°31'27,7402"				
D	3	FTD1	06°40'55,9886"	73°39'21,2052"	FTD3	06°41'9,3322"	73°37'24,3070"	1,2465
		FTD2	06°41'2,59"	73°31'20,04"				
E	3	FTE1	06°41'3,8103"	73°31'22,0465"	FTE3	06°41'2,9398"	73°31'20,8679"	1,3519
		FTE2	06°41'3,1122"	73°31'20,8830"				

Fuente: Autora.

En la tabla 9 se observa que todos los estratos de la finca presentan una cantidad de cadmio que sobrepasa la norma europea (UE) No 488/2014 de la comisión del

12 de mayo de 2014. En donde el límite permisible para chocolate con un total de materia seca mayor o igual al 50% es de 0,80 mg/kg y menor al 50% es de 0,30 mg/kg

En el siguiente ejemplo se tuvo en cuenta el valor más pequeño de la concentración de cadmio en 1 kg de almendra seca de cacao, el cual equivale a 1,2465 mg/kg, correspondiente a la zona D de la finca Tres Piedras. Aplicando el reglamento (UE) No 488/2014, se puede analizar que el caso en donde cualquier producto que contenga mayor del 50% de cacao no puede contener mas 0,80 mg/kg cadmio en el producto señalado. Es decir, si por ejemplo un chocolate de peso de 1 kg contiene 70 % u 80 % cacao, el contenido de cadmio correspondería a:  $1,2465 \text{ mg/kg} \times 0.7 = 0.8848 \text{ mg}$  de cadmio en 1 kg de chocolate, lo cual excede el límite permitido. Con lo anterior, al estar utilizando el menor valor de concentración de cadmio que se encuentra en la finca Tres Piedras, por ende, los demás estratos igualmente superarían el límite permitido.

En la tabla 9 se observan que los valores de la concentración de cadmio en almendra seca de cacao son muy parecidos y oscilan entre 1,2465-1,5625 mg/kg.

Según los resultados reportados en la tabla 9, se evidencia un problema por la presencia de cadmio en el producto a exportar, lo cual requiere una solución y para ello es necesario realizar el diagnóstico de la fuente de metal pesado.

**4.2.2 Análisis de cadmio en almendra fresca de cacao.** En la tabla 10 se resumen los resultados de análisis de cadmio en almendra fresca de cacao. (ver anexo C)

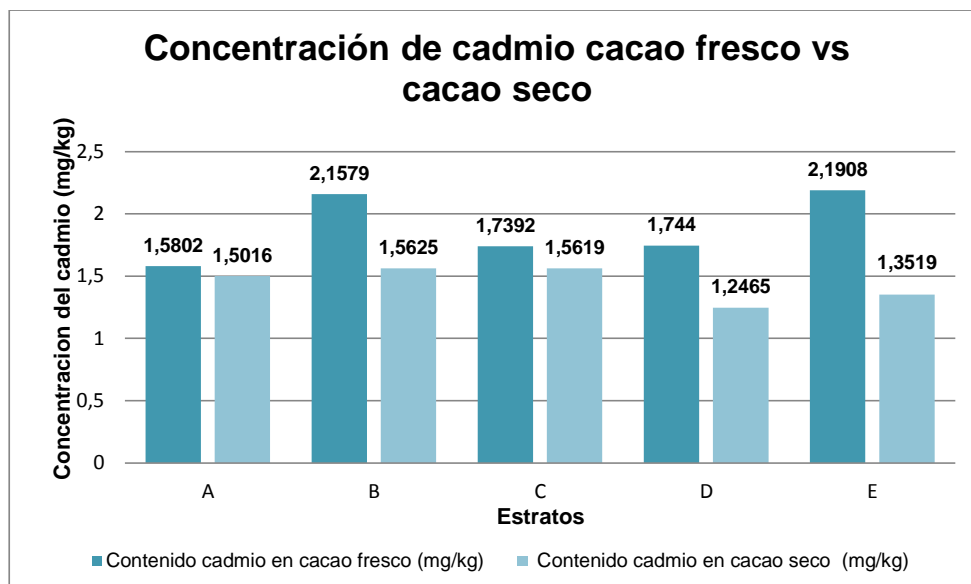
**Tabla 10. Resumen de análisis de cadmio en almendra fresca de cacao.**

Estrato	N° de muestras	Coordenadas de cada submuestra						Contenido Cadmio (mg/kg)
		CODIGO	Norte	Este	CODIGO	Norte	Este	
A	6	FTA1	06°42'2,7928"	73°30'34,2408"	FTA4	06°40'56,3262"	73°31'34,1053"	1,5802
		FTA2	06°40'55,8336"	73°31'345,2091"	FTA5	06°40'56,9848"	73°31'34,2248"	
		FTA3	06°40'55,7791"	73°31'35,3911"	FTA6	06°41'1,1972"	73°31'32,3437"	
B	4	FTB1	06°40'56,5000"	73°31'36,8093"	FTB3	06°41'45,3892"	73°30'34,9999"	2,1579
		FTB2	06°40'56,1284"	73°31'36,7879"	FTB4	06°40'59,2189"	73°31'35,1098"	
C	5	FTC1	06°41'3,2916"	73°31'28,2734"	FTC4	06°41'45,3892"	73°31'36,7879"	1,7392
		FTC2	06°41'3,5606"	73°31'28,1355"	FTC5	06°42'5,5513"	73°30'33,7433"	
		FTC3	06°41'1,6640"	73°31'27,7402"				
D	3	FTD1	06°40'55,9886"	73°39'21,2052"	FTD3	06°41'9,3322"	73°37'24,3070"	1,7440
		FTD2	06°41'2,59"	73°31'20,04"				
E	3	FTE1	06°41'3,8103"	73°31'22,0465"	FTE3	06°41'2,9398"	73°31'20,8679"	2,1908
		FTE2	06°41'3,1122"	73°31'20,8830"				

Fuente: Autora

En la tabla 10 se observa que todas las muestras marcan la presencia de cadmio en concentraciones entre 1,5802 y 2.1579 mg/kg. La zona B presentó la mayor concentración de cadmio y la zona A la menor. Adicionalmente se visualiza que cada muestra de la almendra fresca de cacao presenta mayor concentración de cadmio que la almendra seca de cacao. (Ver figura 11)

**Figura 11. Comparación de la concentración de cadmio en almendra fresca y seca de cacao.**



En la figura 11 se observa que el cadmio en cacao fresco supera su concentración en comparación con el cacao seco en todos los estratos. La mayor concentración se encuentra en la zona E, llegando a un valor de cadmio en almendra fresca de 2,1908 mg/kg.

Como la diferencia entre el cacao fresco y el cacao seco, se encuentra en el proceso de fermentación, siendo éste aplicado en procesamiento de cacao, se puede suponer que parte de concentración de cadmio queda junto con los jugos y la pulpa de cacao de almendra fresca. De esta manera el fruto seco obtiene menor concentración de cadmio.

De este modo se podría sugerir realizar una optimización del proceso de fermentación para lograr una mayor cantidad de cadmio lixiviado sin afectar la calidad del producto.

Para poder determinar el diagnóstico de la fuente de cadmio en la almendra seca de cacao fue necesario complementar los análisis para confirmar la presencia de este metal en el suelo. De la misma manera, se integraron estos análisis con la caracterización fisicoquímica del suelo presente en cada estrato de área de cultivo de cacao.

**4.2.3. Análisis de propiedades fisicoquímicas del suelo de la finca Tres Piedras.** A continuación, se indican las propiedades fisicoquímicas analizadas y la relación que guarda con las permanencias de cadmio en el suelo.

- **Determinación del pH del suelo**

El pH de suelo se analizó en medio acuoso y medio KCl, esto con el fin de determinar por medio del  $\Delta$ pH la característica de suelo de ser un intercambiador aniónico o catiónico.

En la Tabla 11 se resumen los valores de pH en agua y pH en KCl en el suelo de todos los estratos.

**Tabla 11. Resultados del pH en el suelo de la finca Tres Piedras.**

	Zona A	Zona B	Zona C	Zona D	Zona E
Valor de pH H <sub>2</sub> O	4,55	4,16	4,25	4,06	4,40
Valor de pH KCL 1N	3,74	3,48	3,47	3,35	3,58
$\Delta$ pH	-0,81	-0,68	-0,78	-0,71	-0,82

Fuente: Autora

En la tabla 11 se puede observar que el pH en la solución suelo-agua se encuentra en rangos entre 4,06 a 4,55 lo cual indica un suelo extremadamente ácido. Esta condición facilita la disponibilidad de cadmio en su forma iónica,

haciendo que aumente su movilidad dentro de la zona acuosa del suelo, facilitando de esta manera la absorción de este metal por la planta de cacao.<sup>47</sup>

El  $\Delta pH$  en todas las zonas de cultivo analizadas fue negativo, esto indica que en el suelo predomina este tipo de carga negativa, por lo tanto, es un intercambiador anionico.<sup>48</sup>. Según lo anterior, hay una capacidad de intercambiar el catión de cadmio con la fase acuosa del suelo. Aumentando de esta manera su disponibilidad para la planta de cacao.

La literatura recomienda en estos casos la alcalinización para reducir la movilidad de cadmio y permitir su adsorción en los poros del suelo<sup>49, 50</sup>. En la Finca Tres Piedras se está implementando la alcalinización del suelo, por medio de la cal dolomítica, pero este insumo no es el más adecuado para este proceso, ya que la dolomita en su composición posee la roca fosfórica, la cual está relacionada con el contenido de cadmio. Por ende, este metal pesado se introduce al suelo a través del insumo.

- **Determinación de textura del suelo.**

En la Tabla 12 se disponen los resultados registrados de las lecturas del hidrómetro a los 40 segundos y a las 2 horas.

---

<sup>47</sup> SURVEY Soil. Division Staff. 1993. Soil survey manual. Soil Conservation Service. U.S. Department of Agriculture Handbook 18. [en línea] [citado 06 de enero de 2016] Disponible en: [http://www.nrcs.usda.gov/wps/portal/nrcs/detail/soils/ref/?cid=nrcs142p2\\_054262](http://www.nrcs.usda.gov/wps/portal/nrcs/detail/soils/ref/?cid=nrcs142p2_054262)

<sup>48</sup> JARAMILLO, Daniel F. Introducción a la Ciencia del Suelo. En: Universidad Nacional de Colombia, 2002.

<sup>49</sup> BÁSCONES, María Isabel Sánchez. «Determinación de Metales Pesados en Suelos de Medina del Campo (Valladolid).» Tesis Doctoral, Valladolid, 2003. [en línea] [citado 10 de enero de 2016] 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>

<sup>50</sup> TELLEZ, Adela GONZALEZ Isabel. «determinación y validación de cadmio total e intercambiable en algunos suelos cacaoteros del departamento de Santander.» tesis de grado, Bucaramanga, 2010. [en línea] [citado 14 de enero de 2016] Disponible en: <http://repositorio.uis.edu.co/jspui/bitstream/123456789/387/2/134703.pdf>

**Tabla 12. Resultados de textura en el suelo de la finca Tres Piedras.**

Zonas	LECTURA A LOS 40 SEGUNDOS			LECTURA A LAS 2 HORAS		
	Hidrómetro	termómetro (°C)	Hidrómetro corregida	Hidrómetro	termómetro (°C)	Hidrómetro corregida
<b>A</b>	18	26	20,36	4	26	6,36
<b>B</b>	18	24	19,64	3	26	5,36
<b>C</b>	19	24	20,64	4	26	6,36
<b>D</b>	22,5	26	24,86	4	28	7,08
<b>E</b>	20,5	26	22,86	3	28	6,08

Fuente: Autora.

A partir de los datos anteriores, se calcularon los porcentajes correspondientes aplicando las siguientes formulas y los cuales se encuentran resumidos en la Tabla 13.

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

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

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

**Tabla 13. Resultado clase textural del suelo**

Zonas	CONTENIDO DE LOS SEPARADOS			CLASE TEXTURAL
	% Arena	% Limo	% Arcilla	
A	59,28	12,72	28	Suelo Arcilloso
B	60,72	10,72	28,56	
C	58,72	12,72	28,56	
D	50,28	14,16	35,56	
E	54,28	12,16	33,56	

Fuente: Autora

Según los resultados anteriores, el tipo de suelo al que pertenece el área del cultivo de cacao es Arcilloso.

La arcilla tiene un papel fundamental a la hora de caracterizar la contaminación de metales pesados en los suelos, ya que influye sobre su movilidad. Tiende a adsorber a los metales pesados, que quedan retenidos en sus poros.<sup>51</sup>

Además, las partículas de arcilla, por su capacidad de retención de agua, intercambian iones de la disolución del suelo, lo que hace que se puede retener cadmio muy fácilmente en el mismo. En la literatura se ha encontrado correlación entre el contenido de arcilla y los parámetros de retención de cadmio y plomo al estudiar las isotermas de adsorción.<sup>52</sup>

- **Determinación de Granulometría de suelo.**

Los resultados se registran en la tabla 14 y 15.

**Tabla 14. Resultados de granulometría en suelo de la finca Tres Piedras.**

---

<sup>51</sup> Ibid

<sup>52</sup> Ibid

Tamiz No	Diámetro del tamiz (mm)	Zona A			Zona B			Zona C		
		Masa de suelo retenido (g)	Porcentaje retenido	Porcentaje que pasa	Masa retenida	%Que retenido	%Que pasa	Masa retenida	%Que retenido	%Que pasa
3/8 pulg	9,5	0	0	100%	0	0	100%	0	0	100%
4	4,75	79	30,8%	69,2%	57	26,3%	73,7%	49	19,9%	80,1%
8	2,36	39	15,2%	54,1%	55,7	25,7%	48,0%	44	17,9%	62,2%
10	2	7,6	3,0%	51,1%	9,4	4,3%	43,6%	10,5	4,3%	57,9%
40	0,425	56,3	21,9%	29,2%	43,8	20,2%	23,4%	53,9	21,9%	36,0%
60	0,25	13	5,1%	24,1%	7,3	3,4%	20,0%	15,8	6,4%	29,6%
80	0,18	12,2	4,7%	19,4%	7,7	3,6%	16,5%	16	6,5%	23,1%
100	0,15	9,5	3,7%	15,7%	5,8	2,7%	13,8%	11,7	4,8%	18,3%
200	0,075	37,6	14,6%	1,1%	28,2	13,0%	0,8%	41,1	16,7%	1,6%
Fondo		2,7	1,1%		1,7	0,8%		4	1,6%	
Masa Total (g)		256,9			216,6			246		

Fuente: Autora

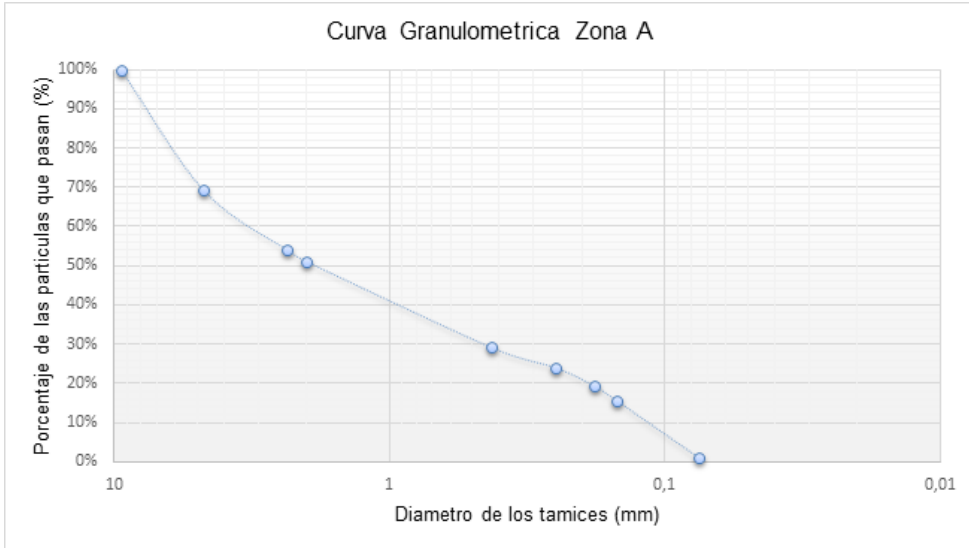
**Tabla 15. Resultados de granulometría en suelo de la finca Tres Piedras.**

Tamiz No	Diámetro del tamiz (mm)	Zona D			Zona E		
		Masa retenida	%Que retenido	%Que pasa	Masa retenida	%Que retenido	%Que pasa
3/8 pulg	9,5	0	0	100%	0	0	100%
4	4,75	8,8	5,3%	94,7%	22,4	13,8%	86,2%
8	2,36	27,6	16,5%	78,3%	18,4	11,3%	74,9%
10	2	10,9	6,5%	71,7%	4,1	2,5%	72,4%
40	0,425	47,5	28,4%	43,4%	30,6	18,8%	53,6%
60	0,25	12,8	7,6%	35,7%	12,3	7,6%	46,0%
80	0,18	12,1	7,2%	28,5%	13,2	8,1%	37,9%
100	0,15	8,6	5,1%	23,4%	10,1	6,2%	31,7%
200	0,075	37,7	22,5%	0,8%	50,8	31,2%	0,5%
Fondo		1,4	0,8%		0,8	0,5%	
Masa Total (g)		167,4			162,7		

Fuente: Autora.

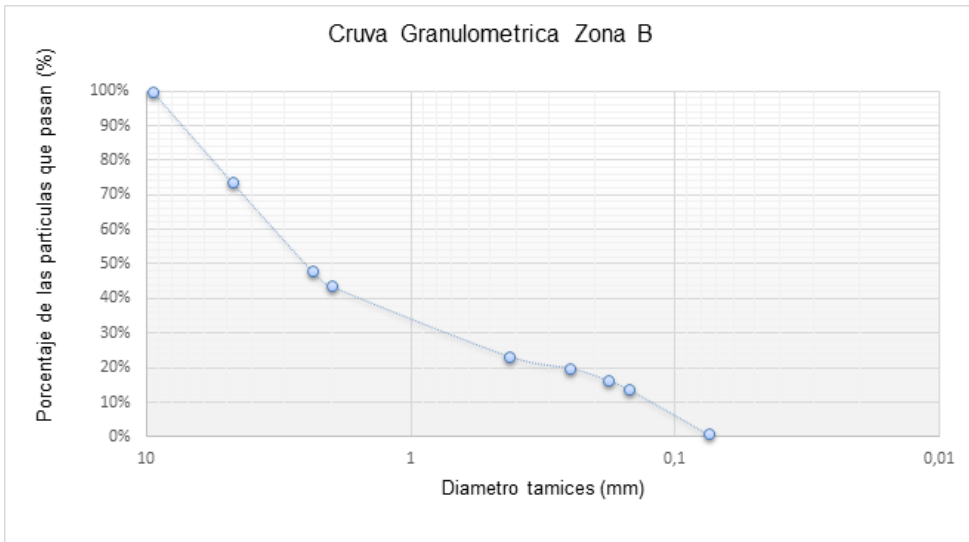
Sus respectivas gráficas se encuentran ilustradas a continuación:

**Figura 12. Curva Granulométrica Zona A.**



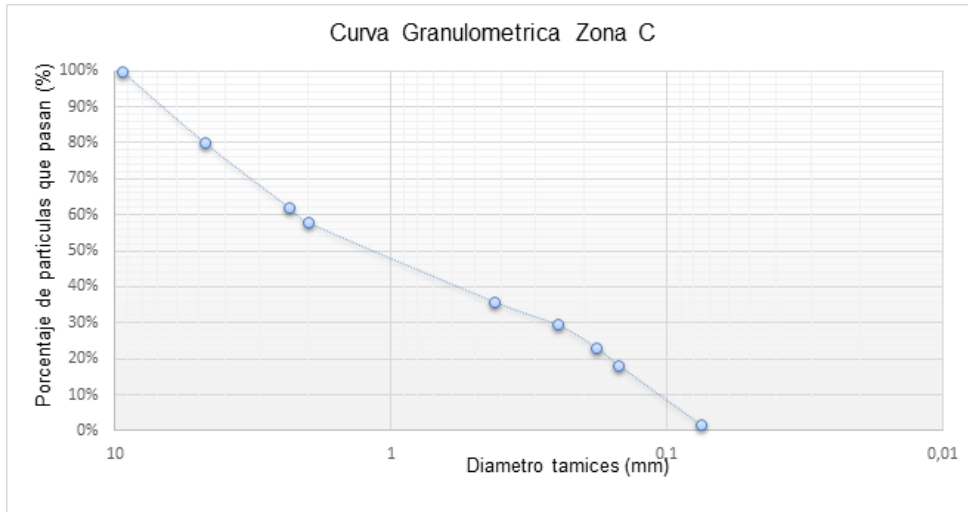
Fuente: Autora

**Figura 13. Curva Granulométrica Zona B.**



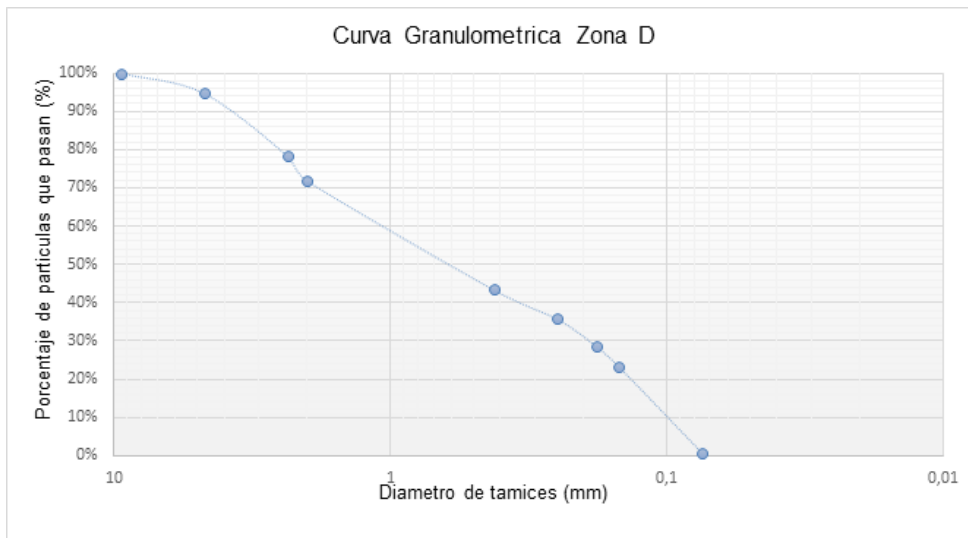
Fuente: Autora.

**Figura 14. Curva Granulométrica Zona C.**



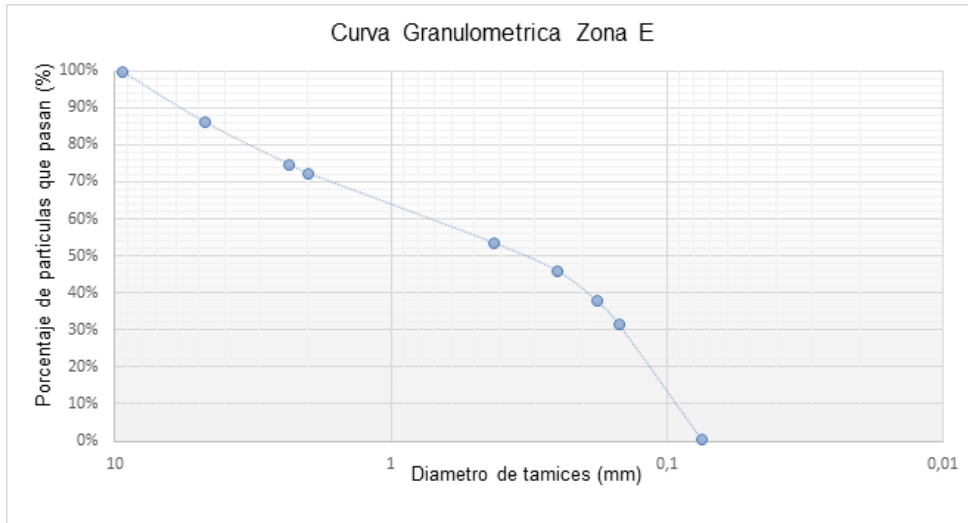
Fuente: Autora

**Figura 15. Curva Granulométrica Zona D.**



Fuente: Autora.

**Figura 16. Curva Granulométrica Zona E.**



Fuente: Autora

El análisis de la granulometría del suelo permitió determinar la proporción de los granos del suelo en función de su tamaño, es decir, la gradación del suelo. Teniendo en cuenta las figuras (12-16). Se puede observar que la curva de granulometría ilustradas entre las zonas A-C tiende a ser semejantes, el mismo caso para las zonas D-E.

En el momento en que se realiza el lavado del suelo por el tamiz No 200 (tamiz de lavado), los limos y las arcillas del mismo se pierden en el proceso. Por ende, lo que se reflejará en las gráficas será la proporción de arenas y las gravas presentes en el suelo.

En este proceso influye el número de tamices empleados. Entre más tamices de menor diámetro se utilicen, se reflejarán los puntos de arcilla en las gráficas.

La gradación del suelo se puede expresar numéricamente a través de la determinación del coeficiente de uniformidad (Cu) y el coeficiente de curvatura (Cc). El coeficiente de uniformidad (Cu) hace referencia al grado de distribución de las partículas de un suelo, y el coeficiente de curvatura (Cc) al equilibrio entre los diversos tamaños de partícula y la homogeneidad de éstas. Estos se hallan a través de las siguientes ecuaciones:

$$\text{Coeficiente de uniformidad (Cu)} = \frac{D_{60}}{D_{10}}$$

$$\text{Coeficiente de curvatura (Cc)} = \frac{D_{30}^2}{D_{10} * D_{60}}$$

Dónde:

D10 = Diámetro de la partícula para el 10%

D30 = Diámetro de la partícula para el 30%

D60 = Diámetro de la partícula para el 60%

Teniendo en cuenta los cálculos anteriores, en la tabla 16 se observan los resultados del coeficiente de uniformidad y el coeficiente de curvatura.

**Tabla 16. Resultados coeficiente de uniformidad y de curvatura.**

	<b>Zona A</b>	<b>Zona B</b>	<b>Zona C</b>	<b>Zona D</b>	<b>Zona E</b>
<b>Cu</b>	24,475	25,4648787	15,3706205	10,991386	7,86610561
<b>Cc</b>	2,1615	2,17755206	0,2586515	0,20319187	0,16922624

Fuente: Autora

Según la tabla 16, los valores de Cu indican rangos de gran tamaño de suelo, lo cual confirma un suelo bien gradado, por lo tanto, se analiza que en el terreno la distribución de las partículas en cuanto al tamaño se encuentra bien distribuido.

En la Zona A y B, según el rango óptimo del coeficiente de curvatura, presenta una buena gradación, es decir, tiene un amplio margen de tamaños de partículas y cantidades apreciables de cada tamaño intermedio. En la zona C, D y E, no hay un amplio margen de tamaño de partículas.

- **Determinación de la densidad real del suelo. (Dr)**

Los resultados de la densidad del suelo se resumen en la tabla 17.

Para hallar la densidad real se utilizó la siguiente ecuación:

$$Dr = \frac{\text{Masa de suelo seco}}{\text{Volumen de suelo seco}}$$

**Tabla 17. Resultado densidad real del suelo**

Zonas	Peso de la muestra de suelo (g)	Volumen de líquido desplazado (ml)	densidad real de cada muestra (g/ml)	densidad promedio (g/ml)
<b>A</b>				
1	20	16	1,25	1,20
2	20	18	1,11	
3	20	16	1,25	
<b>B</b>				
1	20	18,5	1,08	1,21
2	20	14,5	1,38	
3	20	17	1,18	
<b>C</b>				
1	20	17	1,18	1,18
2	20	16	1,25	
3	20	18	1,11	
<b>D</b>				
1	20	18	1,11	1,11
2	20	19	1,05	
3	20	17	1,18	
<b>E</b>				
1	20	16,5	1,21	1,20
2	20	16	1,25	
3	20	17,5	1,14	

Fuente: Autora.

Según los datos dispuestos por la tabla 17, la densidad promedio del suelo se encuentra en un rango de 1.11 y 1.21 g/ml. La zona D posee una baja densidad en relación con las otras zonas, y esto se debe a que tiene menor porcentaje de arenas. Por lo general, una densidad real adecuada para suelos minerales varía entre 2,6 y 2,75 g/ml. Los valores por debajo del promedio pueden indicar la presencia de altos contenidos de materia orgánica, lo cual está acorde con lo que se observó en la zona.<sup>53</sup>

- **Determinación de la densidad aparente del suelo. (Da)**

Este se determinó por el método del cilindro biselado, teniendo en cuenta el peso del suelo uno vez seco y el volumen total del cilindro, es decir, se tuvo en cuenta el espacio ocupado por la fase sólida y los poros, lo cual depende de la organización del suelo. La Tabla 18 presenta los resultados obtenidos de la densidad aparente.

Para hallar la densidad aparente se utilizó la siguiente ecuación:

$$Da = \frac{\text{Peso muestra seca (g)}}{\text{Volumen total (cm}^3\text{)}}$$

**Tabla 18. Resultados densidad aparente del suelo.**

---

<sup>53</sup> JARAMILLO, Daniel F. Introducción a la Ciencia del Suelo. En: Universidad Nacional de Colombia, 2002.

	Zona A	Zona B	Zona C	Zona D	Zona E
<b>Peso del cilindro (g)</b>	117,6	124,1	113,1	126,7	130,1
<b>Peso del cilindro + muestra húmeda (g)</b>	569,9	672,9	545,8	595,1	589,1
<b>Peso del cilindro + muestra seca (g)</b>	491,9	589	476,7	523,9	518,5
<b>Peso de la muestra seca (g)</b>	374,3	464,9	363,6	397,2	388,4
<b>diámetro del cilindro (cm)</b>	5,08	5,08	5,08	5,08	5,08
<b>Longitud del cilindro (cm)</b>	14,7	14,7	14,0	14,5	14,5
<b>Volumen del cilindro (cm<sup>3</sup>)</b>	297,94	297,94	283,75	293,88	293,88
<b>Densidad aparente (g/cm<sup>3</sup>)</b>	1,26	1,56	1,28	1,35	1,32

Fuente: Autora.

La densidad aparente del suelo tiene relación con el crecimiento radicular de las plantas, teniendo en cuenta el tipo de suelo, en este caso, las densidades aparentes reportadas pueden afectar el crecimiento radicular, según la USDA.

Según fuentes bibliográficas la densidad aparente se puede relacionar con la porosidad del suelo, ya que, cuanto mayor es la densidad aparente, menor es el espacio poroso para el movimiento del agua, crecimiento y penetración de raíces, y el desarrollo de las plántulas.<sup>54</sup> De acuerdo a este caso, la densidad aparente se encuentra en un rango entre 1.26 y 1.56 (g/cm<sup>3</sup>), lo cual significa que el suelo es disgregable con alta materia orgánica, lo que concuerda con lo observado en el campo. Así mismo, los valores de densidad aparente concuerdan con la textura del suelo.

- **Determinación del contenido de humedad del suelo**

La humedad gravimétrica del suelo es una medida de la proporción de agua por unidad de suelo seco y se utiliza para conocer la cantidad de agua disponible para las plantas.

---

<sup>54</sup> USDA. Guía para la Evaluación de la Calidad y Salud del Suelo. Departamento de Agricultura de los Estados Unidos. 1994.

La determinación del contenido de humedad se halló relacionando el peso del suelo húmedo y una vez secado al horno por 24 horas a 105°C, expresando el resultado en porcentaje (%HG), como se muestra en la Tabla 19.

Para hallar la humedad gravimétrica se utilizó la siguiente ecuación:

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

**Tabla 19. Resultados de la humedad gravimétrica en las zonas de muestreo del suelo**

	Zona A	Zona B	Zona C	Zona D	Zona E
<b>Peso del crisol (g)</b>	37,7	36,1	36	53,9	51,6
<b>Peso del crisol + muestra húmeda (g)</b>	47,7	46,2	46	64	61,6
<b>Peso de la muestra húmeda (g)</b>	10	10	10	10	10
<b>Peso del crisol + muestra seca (g)</b>	45,6	44,4	44,3	62,4	60
<b>Peso de la muestra seca (g)</b>	7,9	8,3	8,3	8,5	8,4
<b>% Humedad gravimétrica</b>	26,58	20,48	20,48	17,65	19,05

Fuente: Autora

Los resultados del contenido de humedad en el suelo fueron entre un rango de 17,65% y 26,58%, esto se consideran adecuado para el tipo de suelo analizado.

Al ser el suelo de tipo arcilloso, este tiene mayor contenido de arcillas y/o materia orgánica, por ende, la cantidad de agua que retenida es mayor y esta se refleja con un significativo porcentaje de humedad.

- **Determinación de capacidad de infiltración del suelo.**

La infiltración se mide a través de la velocidad del suelo a la cual el agua entra en el suelo, esta es la velocidad de infiltración y depende del tipo de suelo, de su estructura o grado de agregación y del contenido previo de agua en el mismo<sup>55</sup>. En la tabla 20 se registran los resultados de la prueba.

**Tabla 20. Resultados de la capacidad de infiltración en el suelo.**

Zonas	Velocidad de Infiltración (cm/hora)	Clase de infiltración
A		ARCILLOSO
1	0,012629	
2	0,033726	
B		
1	0,01651	
2	0.049601	
C		
1	0,00604	
2	0,011359	
D		
1	0,006618	
2	0,01524	
E		
1	0,010795	
2	0,02032	

Fuente: Autora.

En base a la tabla anterior, la clase de infiltración es arcillosa, lo cual concuerda con el tipo de textura del suelo. Al ser baja la velocidad de infiltración, la permeabilidad es muy lenta, por ende, su retención de humedad es muy alta, y esto se ve reflejado por los resultados obtenidos en la prueba de humedad gravimétrica. Así mismo, la erodabilidad por agua es alta y su fertilidad natural es media a alta.

<sup>55</sup> 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. Publ. 49. SSSA, Madison, WI. EE.UU.

Así mismo, se supone, en base a la bibliografía<sup>56</sup>, que por el tipo de suelo obtenido, arcilloso, la permeabilidad es baja, por ende, su retención de humedad es muy alta, y esto se ve reflejado por los resultados obtenidos en la prueba de humedad gravimétrica.

La infiltración en el suelo se encuentra afectada por el uso del suelo, por el desarrollo de las raíces de las plantas, excavaciones de lombrices, agregación del suelo, la textura o porcentaje de arena, limo y arcilla, y por un incremento general de la materia orgánica estable.<sup>57</sup>

- **Determinación de la capacidad de intercambio catiónico en el suelo.**

La capacidad de intercambio catiónico (C.I.C) es la capacidad del suelo para retener e intercambiar cationes y dependerá del número de cargas negativas existentes en la superficie de la arcilla y de la materia orgánica.

A partir del análisis de la CIC se determinó la capacidad del suelo para retener cationes e intercambiarlos con la solución del suelo. Las partículas de arcilla son los componentes de carga negativa del suelo. La Tabla 21 muestra los resultados obtenidos para el suelo en estudio.

Para hallar la C.I.C se utilizó la siguiente ecuación:

$$CIC (meq / 100gr) = 2 (V - B) \text{ Soda}$$

*V: Volumen de soda gastada en la muestra (mL).*

*B: Volumen de soda gastada en el blanco (mL).*

---

<sup>56</sup> CASTRO FRANCO Hugo Eduardo, 1998

<sup>57</sup> SARRANTONIO, M., J.W. Doran, M.A. Liebig and J.J. Halvorson. 1996. On farm assessment of soil quality and health. p. 83-105. In J.W. Doran and A.J. Jones (ed.) Methods for assessing soil quality. SSSA. Spec. Publ. 49. SSSA, Madison, WI.

**Tabla 21. Resultados capacidad de intercambio catiónico en el suelo.**

PARAMETRO	Zona A	Zona B	Zona C	Zona D	Zona E
volumen de soda gastada en la muestra (ml)	7	4,6	10,4	7,5	7,8
Volumen de soda gastada en el blanco (ml)	0,9	0,9	0,9	0,9	0,9
normalidad de la soda	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1
CIC (meq/100g)	12,2	7,4	19	13,2	13,8

Fuente: Autora.

Dados los resultados, la capacidad de intercambio catiónico del suelo se encuentra en rangos de 7,4 hasta 19 (meq/100g). Según el Instituto Geográfico Agustín Codazzi IGAC, un suelo con un resultado entre 10 y 20 meq/100g, se califica como mediana Capacidad de Intercambio Catiónico, el cual es el caso de las zonas A, C, D, E, el caso de la zona B, se considera baja.

En general cuanto mayor sea la capacidad de intercambio catiónico mayor será la capacidad del suelo de fijar metales.<sup>58</sup>

Por lo tanto, se espera una capacidad para retener el cadmio en este tipo de suelo y hacerlo disponible para la planta de cacao.

**4.2.4 Análisis de cadmio en el suelo de la finca Tres Piedras.** En la tabla 22, se muestra los resultados de la concentración de cadmio en el suelo. (Ver anexo D)

**Tabla 22. Concentraciones de cadmio en muestras de suelo**

<sup>58</sup> BÁSCONES, Maria Isabel Sánchez. «Determinación De Metales Pesados En Suelos De Medina Del Campo (Valladolid).» Tesis Doctoral, Valladolid, 2003. [en línea] [citado 10 de enero de 2016] 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

Zonas	Contenido cadmio mg/kg	
	Profundidad 0-20cm	Profundidad 20-40 cm
<b>A</b>	1,7191	1,3312
<b>B</b>	1,967	1,6458
<b>C</b>	1,9359	1,4317
<b>D</b>	1,3142	1,0917
<b>E</b>	1,8482	1,8159

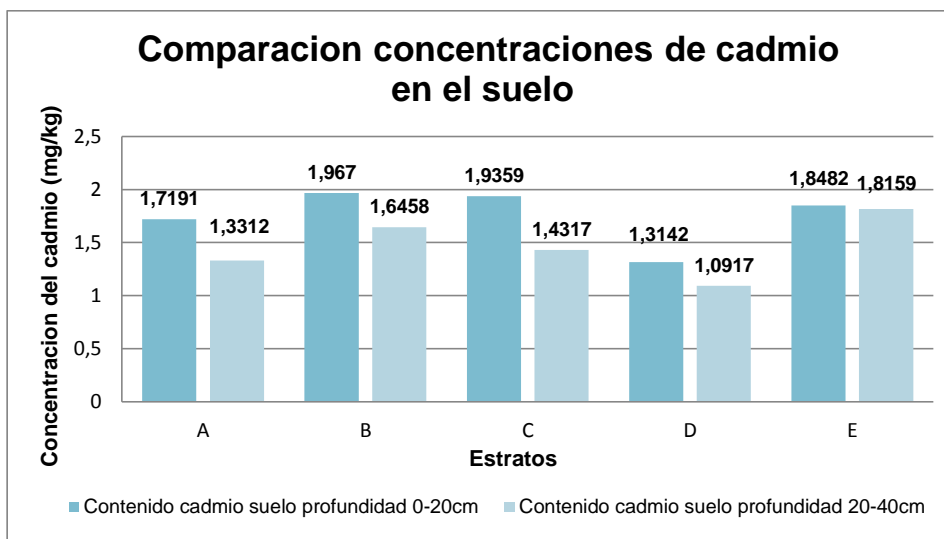
Fuente: Autora

Según los resultados resumidos en la tabla anterior se observa que a una profundidad de 0-20 cm se encuentran concentraciones de cadmio entre 1.3142-1.967 mg/kg de cadmio, y a una profundidad de 20-40 cm hay valores entre 1.0917-1,8159 mg/kg de cadmio.

La zona D es la que tiene menor concentración de cadmio con un valor de 1.3142 mg/kg y la zona B es la de mayor concentración con un valor de 1,967 mg/kg. Cabe resaltar que, durante la toma de las muestras de suelo, se tuvo una dificultad por la presencia de rocas, que se supone por su aspecto, fueron fosfóricas. Esto puede indicar el origen de cadmio en el terreno de la finca Tres Piedras.

En la figura 17 se compara la concentración de cadmio a las dos profundidades de suelo analizado.

**Figura 17. Comparación del contenido de cadmio en el suelo a profundidad de 0-20cm y 20-40cm.**



Fuente: Autora

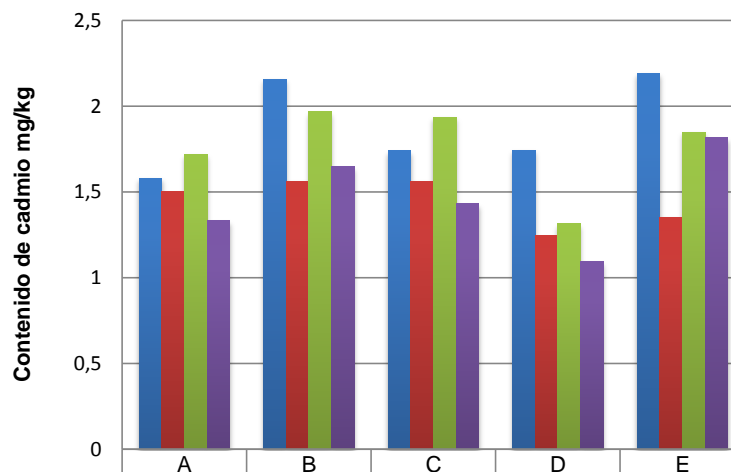
En la figura 17 se puede detectar mayor concentración de cadmio a profundidad de 0-20 cm. Según investigaciones realizadas en Ecuador y Perú, se ha demostrado que el cadmio se concentra en los primeros 20 cm del suelo<sup>59</sup>.

Las diferencias en la concentración a las dos profundidades pueden estar relacionadas con las propiedades fisicoquímicas del suelo de cada zona.

**Figura 18. Comparación de contenido de cadmio en almendra fresca, seca y en el suelo de la Finca Tres Piedras**

<sup>59</sup> BARRUETA RIVERA, Sayet V. «Guía Metodológica para el Muestreo y Detección de Cadmio en Suelos, Agua, Fertilizantes, Almendras de Cacao y Productos Derivados.» Lima, 2013.

### Comparación concentraciones de cadmio en almendra fresca, seca y en el suelo



■ Contenido cadmio en cacao fresco (mg/kg)	1,5802	2,1579	1,7392	1,744	2,1908
■ Contenido cadmio en cacao seco (mg/kg)	1,5016	1,5625	1,5619	1,2465	1,3519
■ Contenido cadmio suelo profundidad 0-20cm	1,7191	1,967	1,9359	1,3142	1,8482
■ Contenido cadmio suelo profundidad 20-40cm	1,3312	1,6458	1,4317	1,0917	1,8159

Estratos

La presencia de cadmio en almendra fresca de cacao, así como la presencia de este metal en el suelo, indica que la fuente de este metal en almendra seca está relacionada con la formación geomorfológica del suelo, ante todo. De igual manera las propiedades fisicoquímicas del suelo como: su bajo pH, su textura arcillosa, una tendencia para retener el agua y su capacidad de intercambio catiónico indican la disponibilidad de cadmio para su extracción del suelo por la planta de cacao.

De acuerdo a la figura 18, la zona A y C, contiene mayor concentración de cadmio en el suelo que en la almendra fresca, esto ratifica que el problema de la concentración de cadmio en la almendra seca proviene del suelo, es decir, la presencia de roca fosfórica en el terreno de cultivo. Así mismo, la planta de cacao está extrayendo este metal del suelo y su biodisponibilidad en la misma puede variar.

#### **4.3. PROPUESTA DE MANEJO SOSTENIBLE DE CULTIVO DE CACAO EN LA FINCA TRES PIEDRAS.**

Durante la visita técnica realizada en la finca Tres Piedras se observó una tendencia a realizar manejo sostenible por el reúso de la capota de cacao como abono orgánico para el cultivo de cacao, plátano y el jardín.

Sin embargo se observó simultáneamente un manejo inadecuado en el proceso de fermentación, selección de los insumos y la disposición de cacao afectado por enfermedades.

Por lo anterior, es evidente que la finca Tres Piedras debe corregir el manejo de los lixiviados en el proceso de fermentación. Como ya se señaló en este documento, durante este procedimiento se presenta lixiviado de cadmio, el cual es de carácter toxico, y deja menor concentración de este metal en almendra seca de cacao. La alta concentración de cadmio que contienen estos residuos, afecta a los suelos donde se desecha este lixiviado, por lo cual, se propone la reutilización de estos líquidos para el siguiente ciclo de fermentación. Esto permite además mejorar la eficiencia del proceso, debido a la presencia de las bacterias adaptadas a las condiciones de fermentación, que permiten así, la aceleración del mismo.

Se considera importante la reevaluación del uso de los insumos, dado a que dentro de su composición se encuentra el cadmio, lo cual aumenta la concentración del mismo al suelo, agravando la problemática presente en la finca. Para solucionar lo anterior, se debe buscar un balance entre los cultivos de cacao y la concentración de cadmio en el suelo del mismo, a través de la implementación de cal, disminuyendo la acidez del área de cultivo de cacao. Se propone aplicar cierta cantidad de esta cal alrededor del árbol sin perturbar el desarrollo del mismo, con el objetivo de inmovilizar el cadmio en el suelo y no hacerlo disponible para la planta de cacao.

Así mismo, el manejo de la disposición de los cacaos afectados por el hongo de la moniliasis debería ser mejorado para evitar que la enfermedad se disipe en el aire y en el suelo, pudiendo afectar a los cacaos sanos. Una mazorca esporulada ubicada a una altura de dos metros es capaz de infectar al 40% de las mazorcas vecinas que estén a 20 metros de distancia.<sup>60</sup> Para evitar la disipación del hongo, es necesario recolectar semanalmente todas las mazorcas que presenten los síntomas de la moniliasis. Además, es necesario adecuar el árbol a una menor altura, con el fin de facilitar el alcance de las mazorcas y modificar las condiciones ambientales al interior de la plantación haciendo desfavorable el crecimiento del hongo.

La acumulación de cadmio en el suelo, mazorca fresca y mazorca seca, requiere el uso de una técnica para la disminución de la concentración del cadmio con el fin de cumplir con las normas europeas para su exportación. Para llevar a cabo las técnicas de descontaminación con el requerimiento de un manejo sostenible en los cultivos de cacao, se consideraron algunos métodos de descontaminación como: Inmovilización, reduciendo la movilidad y solubilidad de los contaminantes. Movilización, lavando el suelo con agentes quelante. Destrucción, por medio de la

---

<sup>60</sup>ICA. Manejo fitosanitario del cultivo del cacao, Medidas para la temporada invernal, Bogotá –Colombia 2012. [en línea] [citado 10 de enero de 2016] Disponible en: <http://www.ica.gov.co/getattachment/c01fa43b-cf48-497a-aa7f-51e6da3f7e96/-nbsp;M;anejo-fitosanitario-del-cultivo-de-Cacao.aspx>

incineración y desplazamiento de iones por disolución electrolítica, y por último el método de fitoremediación. Dichas técnicas pueden ejecutarse de manera inmediata situ y ex situ.

En términos de efectividad y tiempo estos métodos son favorables para descontaminar el área afectada, pero con consecuencias a largo plazo, como la infertilidad del terreno y la afectación a la biodiversidad. De igual manera la implementación de estos métodos requiere de una inversión económica significativa. Es esta la principal razón por la cual no es favorable su ejecución en la finca Tres Piedras, cuya finalidad es producir la mayor cantidad de cacao con la menor inversión posible para generar un manejo sostenible.

La fitoremediación es una técnica ambientalmente amigable, con una versatilidad para el tratamiento de suelos contaminados con compuestos peligrosos, evitando excavaciones y la utilización de productos químicos que alteren el uso del suelo.

La fitoremediación se considera sostenible debido a que es un proceso no invasivo, ya que se acerca con los procesos ecológicos del ecosistema edáfico. Así mismo, es una técnica que requiere de bajos costos, baja demanda de energía y además tiene una alta aceptación por parte de la sociedad. Pero su principal limitante es que es un proceso lento en comparación a las técnicas fisicoquímicas.

Para considerar una planta como una fitorremediadora eficiente, tendrá que tener capacidad para hiperacumular y tolerar metaloides, además de tener una pequeña cantidad de biomasa, a ser posible ser repulsiva para los herbívoros para evitar de esta manera perjudicar la cadena alimenticia, ser fácil de cultivar y ser susceptible de transformación genética<sup>61</sup>.

---

<sup>61</sup> TORRADO RODRÍGUEZ Noemí, ORTEGA FERNÁNDEZ Francisco, MARTÍNEZ HUERTA Gemma Marta, FERNÁNDEZ Ignacio. Análisis del ciclo de vida de la fitoremediación en vertederos industriales, Cor, XIV Congreso Internacional de Proyectos de Ingeniería, 2010 Madrid, pp 1524-1523. [en línea] [citado 10 de febrero de 2016] Disponible en: <http://www.aepro.com/index.php/es/repository/func-startdown/2864/>

Para tener en cuenta esta propuesta se debe considerar la siembra de la planta a utilizar en la fitorremediación y la cual debe estar a una cercanía considerable de la planta de cacao, sin interferir en el desarrollo de la misma. Así mismo, el mecanismo de una planta fitorremediadora se da en tres fases: Absorción, excreción y desintoxicación de contaminantes. La absorción de contaminantes se realiza a través de las raíces y las hojas mediante los estomas y la cutícula de la epidermis. La excreción se realiza por medio de las hojas y la desintoxicación se lleva a cabo por la vía de mineralización hasta dióxido de carbono.<sup>62</sup>

Para poder mitigar la problemática junto con un manejo sostenible del cultivo se propone aplicar la fitorremediación, por medio de uso de *Heliconia psittacorum*, *Arracacia xanthorrhiza* y *Chrysopogon zizanioides*, las cuales se adaptan fácilmente a las condiciones climáticas, del suelo y del cultivo.

La *Heliconia psittacorum* Especie Vegetal Familia, su distribución geográfica está en Brasil, Colombia, Guayana Francesa, Guayana, Surinam, Trinidad y Venezuela<sup>63</sup> Las características morfológicas son las siguientes: sus hojas tienen peciolos de 11 – 32 cm de largo y una lámina de 37-60 cm por 6 – 10 cm. Inflorescencia erecta de 8-18 cm de largo. Hábitat: se desarrolla en piso tropical y de transición al pre montano y su uso es ornamental (SIAC, 2008).

La *Arracacia xanthorrhiza* es una planta herbácea, caulescente. Usualmente alcanza altura de alrededor de 1.0 m y puede variar entre 0.50 y 1.50 metros. Sus hojas son compuestas, de 3 a 7 folíolos y el número de hojas por planta varía de

---

<sup>62</sup> LOPEZ MARTINEZ Sugely . L PÉREZ-FLORES aura J. . Mecanismos de fitorremediación de suelos contaminados con moléculas orgánicas xenobióticas. 2004. [en línea] [citado 6 de enero de 2016] Disponible en: [https://www.researchgate.net/publication/26475497\\_Mecanismos\\_de\\_fitorremediacion\\_de\\_suelos\\_contaminados\\_con\\_moleculas\\_organicas\\_xenobioticas](https://www.researchgate.net/publication/26475497_Mecanismos_de_fitorremediacion_de_suelos_contaminados_con_moleculas_organicas_xenobioticas)

<sup>63</sup> AULESTIA AGUILAR Kelly Lorena. Respuesta fisiológicas de tres especies vegetales nativas sometidas a tratamiento con lixiviado de relleno Sanitario. Facultad de ciencias, Santiago de Cali 2012. [en línea] [ citado 10 de marzo de 2016] Disponible en: <http://bibliotecadigital.univalle.edu.co/bitstream/10893/3903/4/CB-0463669.pdf>

55 a 95, con pecíolos largos y envainadores. Los pecíolos generalmente son de color verde oscuro, verde glauco, verde limón, púrpura, violáceo o vinoso, con la base más oscura o más clara. Las diferentes formas hortícolas se diferencian por el color del follaje y el color externo e interno de la raíz, de la que se encuentran amarillas, blancas y moradas.<sup>64</sup>

La *Chrysopongon zizanioides* es una planta herbácea, gramínea, perenne, sin tallo aparente. Tiene hojas largas, rígidas y sencillas, de 0,3 m-1 m de largo y de 4-10 mm de ancho, glabras, sin aristas, muy resistentes y de bordes ásperos. La planta puede alcanzar los 2 m de altura. Posee raíces muy fuertes, rígidas, muy largas, verticales y de grosor uniforme, similares a alambres que forman una masa esponjosa, y muy ramificada. Las raíces pueden alcanzar las 4 m de profundidad, siendo 2 m-3 m común. Los rizomas son muy cortos y no invasivos. No desarrolla estolones.<sup>65</sup> La *Chrysopongon zizanioides* prefiere suelos profundos y arenosos, pero se adapta a todo tipo de suelos, incluso poco profundos, pedregosos o rocosos. Sus raíces se desarrollan verticalmente, pudiendo llegar hasta los 4 m de profundidad, o hasta el nivel freático. Por la profundidad de las raíces es que aguanta bien las épocas de sequía.

En cultivo, las plantas o barreras de *Chrysopongon zizanioides* ocupan muy poco espacio y no compiten con otras plantas. Las raíces se desarrollan verticalmente y se extienden sólo unos 0,5 m alrededor de la planta. Esta planta absorbe el 45-48 mg/kg de cadmio en un umbral en el suelo de 20-60 mg/kg.

De igual manera, se propone la búsqueda de nuevas plantas, de las cuales, puedan ser más eficientes que las anteriores mencionadas y puedan ser comestibles, como por ejemplo el caso de la lechuga.

---

<sup>64</sup> BARRERA Víctor, TAPIA César, MONTEROS. Raíces y Tubérculos Andinos: Alternativas para la conservación y uso sostenible en el Ecuador Alvaro 2003. [en línea] [citado 6 de enero de 2016] Disponible en: <http://www.iniap.gob.ec/nsite/images/documentos/Ra%C3%ADces%20y%20Tub%C3%A9rculos%20Alternativas%20para%20el%20uso%20sostenible%20en%20Ecuador.pdf>

<sup>65</sup> WILDSCHEIT Louw Mercados Potenciales de Tecnologías de Biorremediación [en línea] [citado 06 de enero de 2016] Disponible en: [http://api.eoi.es/api\\_v1\\_dev.php/fedora/asset/eoi:80157/EOI\\_Biorremediacion\\_Vetiver\\_2013.pdf](http://api.eoi.es/api_v1_dev.php/fedora/asset/eoi:80157/EOI_Biorremediacion_Vetiver_2013.pdf)

Se considera que los dueños de la finca Tres Piedras deberían tener conciencia que sus tierras están situadas sobre una zona geomorfológica con rocas fosfóricas, (ver Anexo E), los cuales en su composición contienen el cadmio. Por consiguiente, el suelo de esta zona evidencia la presencia de este metal en el cultivo de cacao. Como en la zona de cultivo el suelo de la finca siempre tendrá concentraciones de cadmio, por ende, este tipo de técnica, la fitoremediación, no pueden dejar de realizarse.

## 5. CONCLUSIONES

La presencia de cadmio en la almendra fresca de cacao, así como la presencia de este metal en el suelo, indican que la fuente de este metal en la almendra seca de cacao, está relacionada con la formación geomorfológica del suelo.

Los insumos manejados para el sistema de abono en la finca Tres Piedras son el complejo granulado N-P-K 176182 y la cal dolomita, la cual en su composición posee concentraciones de cadmio.

En la finca Tres Piedras se presentan seis estratos, los cuales se diferencian por el tipo de cacao cultivado, pendiente del terreno y tiempo de producción de cacao. Pero de los cuales solo cinco fueron analizados, ya que inicialmente en uno de los estratos no se encontraron frutos maduros para la determinación del contenido de cadmio.

El contenido de cadmio en la almendra seca de cacao en todos los estratos presenta concentraciones entre 1,2465-1,5625 mg/kg que sobrepasa la norma europea (UE) No 488/2014 de la comisión del 12 de mayo de 2014.

El contenido de cadmio en la almendra fresca de cacao en todos los estratos, presenta concentraciones entre 1,5802 y 2.1579 mg/kg.

Las muestras de suelo analizadas en los cinco estratos de la finca cacaotera Tres Piedras, presentan una concentración de cadmio entre 1.3142-1.967 mg/kg a una profundidad de 0-20 cm y valores entre 1.0917-1,8159 mg/kg una profundidad de 20-40 cm.

La cantidad de cadmio se distribuye de manera desigual en el fruto de cacao fresco, almacenándose en mayor cantidad en la pulpa y el jugo del cacao, por lo

cual resulta determinante el proceso de fermentación para la reducción de la concentración de cadmio en la almendra seca de cacao.

Las propiedades fisicoquímicas del suelo como: su bajo pH, su textura arcillosa, una tendencia para retener el agua y su capacidad de intercambio catiónico facilitan la disponibilidad de cadmio para su extracción del suelo por la planta de cacao.

La finca Tres Piedras no presenta un manejo sostenible de procedimiento de cultivo, el uso de insumos y procesamiento de cacao.

Una de las alternativas para un manejo sostenible de cultivo, cual permite mitigar la fuente de cadmio de la almendra seca de cacao en la finca Tres Piedras, puede ser la Fitoremediación, utilizando las plantas *Heliconia psittacorum*, *Arracacia xanthorrhiza* y *Chrysopogon zizanioides* que se adaptan en la zona.

## **6. RECOMENDACIONES**

Realizar un análisis de la concentración de cadmio en la zona rocosa de la finca Tres Piedras para obtener la seguridad sobre la fuente de cadmio presente en el suelo cultivado con cacao.

Se recomienda una reutilización de los jugos de fermentación, aprovechando la presencia de los microorganismos adaptados a las condiciones de la fermentación cuales pueden acelerar el proceso mejorando su eficiencia.

Ajustar el manejo de insumos en la finca Tres Piedras para no agravar el problema de acumulación de cadmio en el suelo y su transferencia hacia la almendra de cacao.

Buscar una manera adecuada de la disposición de los frutos dañados por la enfermedad moniliasis para evitar su propagación.

Al aplicar la técnica de fitoremediación, busca la manera de la disposición final de la biomasa con alto contenido de cadmio generada en este proceso.

## BIBLIOGRAFÍA

ALCALDIA MUNICIPAL DEL CARMEN DE CHUCURI Esquema De Ordenamiento Territorial El Carmen De Chucurí 1999-2009. [en línea] [citado 12 de marzo de 2016] Disponible en; [http://cdim.esap.edu.co/BancoMedios/Documentos%20PDF/eot\\_esquema%20de%20ordenamiento%20territorial\\_el%20carmen\\_santander\\_2003.pdf](http://cdim.esap.edu.co/BancoMedios/Documentos%20PDF/eot_esquema%20de%20ordenamiento%20territorial_el%20carmen_santander_2003.pdf)

AMBIENTAL, División de Toxicología y Medicina. «Resumen de Salud Pública.» *Agencias para sustancias tóxicas y el registro de enfermedades*. 07 de 1999. [en línea] [citado enero 28 de 2016]. Disponible en: [http://www.atsdr.cdc.gov/es/phs/es\\_phs5.pdf](http://www.atsdr.cdc.gov/es/phs/es_phs5.pdf)

AOAC 999.11, Cadmium, Lead, Zinc, Copper And Iron In Foods. Atomic Absorption Spectrophotometry

AULESTIA AGUILAR Kelly Lorena. Respuesta fisiológicas de tres especies vegetales nativas sometidas a tratamiento con lixiviado de relleno Sanitario. Facultad de ciencias, Santiago de Cali 2012. [en línea] [citado 10 de marzo de 2016] Disponible en: <http://bibliotecadigital.univalle.edu.co/bitstream/10893/3903/4/CB-0463669.pdf>

BARRERA Víctor, TAPIA César, MONTEROS. Raíces y Tubérculos Andinos: Alternativas para la conservación y uso sostenible en el Ecuador Alvaro 2003. [en línea] [citado 6 de enero de 2016] Disponible en: <http://www.iniap.gob.ec/nsite/images/documentos/Ra%C3%ADces%20y%20Tub%C3%A9rculos%20Alternativas%20para%20el%20uso%20sostenible%20en%20Ecuador.pdf>

BARRUETA RIVERA, Sayet V. «Guía Metodológica para el Muestreo y Detección de Cadmio en Suelos, Agua, Fertilizantes, Almendras de Cacao y Productos Derivados.» lima, 2013.

BÁSCONES, Maria Isabel Sánchez. «Determinación de Metales Pesados en Suelos de Medina del Campo (Valladolid).» Tesis Doctoral, Valladolid, 2003. [en línea] [citado 10 de enero de 2016] 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>

UNITED. cacao, «Mercado Mundial del Cacao.» united cacao. s.f. <http://www.unitedcacao.com/index.php/es/corporate-profile-es/global-cocoa-market-es> (último acceso: 28 de 01 de 2016).

CODEX. «Anteproyecto De Niveles Máximos Para El Cadmio En El Chocolate Y Productos.» 06 de 12 de 2014. [en línea] [citado enero 28 de 2016] Disponible en: [ftp://ftp.fao.org/codex/meetings/cccf/cccf9/cf09\\_06s.pdf](ftp://ftp.fao.org/codex/meetings/cccf/cccf9/cf09_06s.pdf).

COMCEMENTOS. Cal Dolomita. [en línea] [citado 06 de enero de 2016] Disponible en: <http://www.artex-us.com/Descargas/Cales/Cal%20Dolomita.pdf>

ECONOMICOS, Grupo de estudios. «Estudio sobre el sector cacaotero.» *Estudios de mercados.* 10 de 2012. [http://www.sic.gov.co/recursos\\_user/documentos/promocion\\_competencia/Estudios\\_Economicos/Estudios\\_Economicos/Estudiosobreelsectorcacaotero.pdf](http://www.sic.gov.co/recursos_user/documentos/promocion_competencia/Estudios_Economicos/Estudios_Economicos/Estudiosobreelsectorcacaotero.pdf) (último acceso: 29 de 01 de 2016).

FASSENBER, H.W. 1982. Química de suelos cons énfasis en suelos de América Latina. IICA. Costa Rica.

FENAVI. Resolución 0631 del 2015. [en línea] [citado enero 28 de 2016]. Disponible en: [http://www.fenavi.org/index.php?option=com\\_content&view=article&id=3167:resolucion-0631-de-2015&catid=393:uso-de-recursos](http://www.fenavi.org/index.php?option=com_content&view=article&id=3167:resolucion-0631-de-2015&catid=393:uso-de-recursos)

GAMBOA, Cristina, y ZULUAGA. Sandra «Características Y Funcionamiento Del Mercado De.» fedesarrollo. agosto de 2007. <http://www.fedesarrollo.org.co/wp-content/uploads/2011/08/Caracter%C3%ADsticas-y-funcionamiento-del-mercado-de-cacao-Informe-CNCH-versi%C3%B3n-definitiva-agosto-15-2007-publica.pdf> (último acceso: 29 de febrero de 2016).

USDA. Guía para la Evaluación de la Calidad y Salud del Suelo, agosto 1999. [en línea] [citado 10 de enero de 2016] Disponible en: [http://www.nrcs.usda.gov/Internet/FSE\\_DOCUMENTS/nrcs142p2\\_051913.pdf](http://www.nrcs.usda.gov/Internet/FSE_DOCUMENTS/nrcs142p2_051913.pdf)

HOODA P.S., ALLOWAY B.J. (1998): Cadmium and lead sorption behaviour of selected English and Indian soils. *Geoderma* 84, 121-134.

ALCALDÍA DE EL CARMEN DE CHUCURI – SANTANDER. Nuestro Municipio, 2016. [en línea] [citado 11 de enero de 2016] Disponible en: [http://www.elcarmen-santander.gov.co/mapas\\_municipio.shtml?apc=bcMapas%20Pol%EDticos-1-&x=1366529](http://www.elcarmen-santander.gov.co/mapas_municipio.shtml?apc=bcMapas%20Pol%EDticos-1-&x=1366529)

ICA. Manejo fitosanitario del cultivo del cacao, Medidas para la temporada invernal, Bogotá –Colombia 2012. [en línea] [citado 10 de enero de 2016] Disponible en: <http://www.ica.gov.co/getattachment/c01fa43b-cf48-497a-aa7f-51e6da3f7e96/-nbsp;M;anejo-fitosanitario-del-cultivo-de-Cacao.aspx>

INFOAGRO.COM. El Cultivo del Cacao [en línea] [citado 8 de enero de 2016] Disponible en: <http://www.infoagro.com/herbaceos/industriales/cacao.htm> (último acceso: 25 de 01 de 2016).

INSTITUTO COLOMBIANO DE NORMAS TÉCNICAS Y CERTIFICACIÓN. Presentación de tesis, trabajos de grado y otros trabajos de investigación. NTC 1486. Bogotá D.D.: ICONTEC, Sexta actualización, 2008.

INSTITUTO COLOMBIANO DE NORMAS TÉCNICAS Y CERTIFICACIÓN. Referencias bibliográficas: Contenido, forma y estructura. NTC 5613. Bogotá D.D.: ICONTEC, 2008. 33p.

JARAMILLO, Daniel F. Introducción a la Ciencia del Suelo. En: Universidad Nacional de Colombia, 2002.

LENNTECH. «cadmio.» *lenntech BV*. s.f. [en línea] [citada enero 29 de 2016] Disponible en: <http://www.lenntech.es/periodica/elementos/cd.htm>.

LOPEZ MARTINEZ Sugey. L PÉREZ-FLORES Aura J. Mecanismos de fitorremediación de suelos contaminados con moléculas orgánicas xenobióticas. 2004. [en línea] [citado 6 de enero de 2016] Disponible en: [https://www.researchgate.net/publication/26475497\\_Mecanismos\\_de\\_fitorremediacion\\_de\\_suelos\\_contaminados\\_con\\_moleculas\\_organicas\\_xenobioticas](https://www.researchgate.net/publication/26475497_Mecanismos_de_fitorremediacion_de_suelos_contaminados_con_moleculas_organicas_xenobioticas)

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. Publ. 49. SSSA, Madison, WI. EE.UU.

MAIER, Camelia. «Botanical [en línea] [citado 25 de enero de 2016]. <http://www.botanical-online.com/cacao.htm>

MARTINEZ, Genny Rocio, y PALACIO Carolina. «Determinacion de metales pesados cadmio y plomo en suelos y granos de cacao frescos y fermentados,

mediantes espectroscopia de absorcion atomica de llama.» *repositorio UIS*. 2010. [en línea] [citado enero 28 de 2016] Disponible en: <http://repositorio.uis.edu.co/jsui/bitstream/123456789/397/2/136115.pdf>.

QUIMLAB Método Alcance Y Aplicación 3051<sup>a</sup>-[en línea] [citado enero 28 de 2016] Disponible en: <http://www.quimlab.com.br/PDF-LA/Digest%E3o%20de%20amostras%20por%20microondas.pdf>

NEMI. Métodos Estándar en línea - Métodos estándar para el Análisis de Aguas y Aguas Residuales [en línea] [citado 06 de enero de 2016] Disponible en: [https://www.nemi.gov/methods/method\\_summary/5703/](https://www.nemi.gov/methods/method_summary/5703/)

MONOMEROS. Marca Comercial Nutrimon. [en línea] [citado 06 de enero de 2016] Disponible en: [http://www.monmeros.com/descargas/FT\\_17-6-18-2.pdf](http://www.monmeros.com/descargas/FT_17-6-18-2.pdf)

MUSKUS, Angélica. Manual de Laboratorio de Análisis de Suelos; Facultad de Ingeniería Ambiental. Universidad Pontificia Bolivariana Seccional Bucaramanga. 2001.

ORTIZ, Savier Jose Benitez. «blogspot.» 14 de 07 de 2012. [en línea] [citado enero 28 de 2016]. Disponible en: [.http://cultivosdecacao.blogspot.com.co/2012/07/cuales-el-impacto-que-genera-la-siembra.html](http://cultivosdecacao.blogspot.com.co/2012/07/cuales-el-impacto-que-genera-la-siembra.html)

RIVERA, Sayet V. Barrueta. «Guía Metodológica para el Muestreo y Detección de Cadmio en Suelos, Agua, Fertilizantes, Almendras de Cacao y Productos Derivados.» lima, 2013.

ROJAS, Fernando, y SANCHEZ Edwin Javier. «GUÍA AMBIENTAL PARA EL CULTIVO DEL.» *fedecacao*. Diciembre de 2013.

[http://www.fedecacao.com.co/site/images/recourses/pub\\_doctecnicos/fedecacao-pub-doc\\_05B.pdf](http://www.fedecacao.com.co/site/images/recourses/pub_doctecnicos/fedecacao-pub-doc_05B.pdf) (último acceso: 28 de 01 de 2016).

ROSAS, Maria Alejandra Perdomo. «Pontificia Universidad Javeriana.» *Caracterización De La Cadena De Abastecimiento Y La Cadena De*. 2012. [en línea] [citado: enero 25 de 2016] Disponible en: [.http://repository.javeriana.edu.co/bitstream/10554/13670/1/PerdomoRosasMariaAlejandra2012.pdf](http://repository.javeriana.edu.co/bitstream/10554/13670/1/PerdomoRosasMariaAlejandra2012.pdf)

SARRANTONIO, M., J.W. Doran, M.A. Liebig and J.J. Halvorson. 1996. On farm assessment of soil quality and health. p. 83-105. In J.W. Doran and A.J. Jones (ed.) *Methods for assessing soil quality*. SSSA. Spec. Publ. 49. SSSA, Madison, WI.

SURVEY Soil. Division Staff. 1993. *Soil survey manual*. Soil Conservation Service. U.S. Department of Agriculture Handbook 18. [en línea] [citado 06 de enero de 2016] Disponible en: [http://www.nrcs.usda.gov/wps/portal/nrcs/detail/soils/ref/?cid=nrcs142p2\\_054262](http://www.nrcs.usda.gov/wps/portal/nrcs/detail/soils/ref/?cid=nrcs142p2_054262)

TELLEZ, Adela GONZALEZ Isabel. «determinación y validación de cadmio total e intercambiable en algunos suelos cacaoteros del departamento de Santander.» tesis de grado, Bucaramanga, 2010. [en línea] [citado 14 de enero de 2016] Disponible en: <http://repositorio.uis.edu.co/jspui/bitstream/123456789/3872/134703.pdf>

TORRADO RODRÍGUEZ Noemí, ORTEGA FERNÁNDEZ Francisco, MARTÍNEZ HUERTA Gemma Marta, FERNÁNDEZ Ignacio. Análisis del ciclo de vida de la fitorremediación en vertederos industriales, Cor, XIV Congreso Internacional de Proyectos de Ingeniería, 2010 Madrid, pp 1524-1523. [en línea] [citado 10 de

febrero de 2016] Disponible en:  
<http://www.aepro.com/index.php/es/repository/func-startdown/2864/>

USDA. Guía para la Evaluación de la Calidad y Salud del Suelo. Departamento de Agricultura de los Estados Unidos. 1994.

WILDSCHUT Louw Mercados Potenciales de Tecnologías de Biorremediación [en línea] [citado 06 de enero de 2016] Disponible en:  
[http://api.eoi.es/api\\_v1\\_dev.php/fedora/asset/eoi:80157/EOI\\_Biorremediacion Vetiver\\_2013.pdf](http://api.eoi.es/api_v1_dev.php/fedora/asset/eoi:80157/EOI_Biorremediacion_Vetiver_2013.pdf)

## ANEXOS

### Anexo A. Métodos aplicados para la absorción atómica en cacao fresco, seco y suelo.

STÁNDAR METHODS 3111B	
<b>Método Oficial Nombre</b>	<b>Método de llama directa de acetileno y aire</b>
<b>Medios de comunicación</b>	AGUA
<b>Instrumentación</b>	La absorción atómica de llama
<b>método Subcategoría</b>	Inorgánico
<b>método Fuente</b>	Standard Methods
<b>Citación</b>	Métodos Estándar en línea - Métodos estándar para el Análisis de Aguas y Aguas Residuales
<b>Breve resumen Método</b>	En la espectrometría de absorción atómica de llama, una muestra se aspira en una llama y atomizada. Un haz de luz a través de la llama, en un monocromador, y sobre un detector que mide la cantidad de luz absorbida por el elemento atomizada en la llama.
<b>Alcance y aplicación</b>	Este método es aplicable a la determinación de antimonio, bismuto, cadmio, calcio, cesio, cromo, cobalto, cobre, oro, iridio, hierro, plomo, litio, magnesio, manganeso, níquel, paladio, platino, potasio, rodio, rutenio, plata, sodio, estroncio, talio, estaño y zinc.
<b>interferencias</b>	El tipo más problemático de la interferencia se denomina "química" y los resultados de la falta de absorción por átomos unidos en combinación molecular en la llama.
<b>El control de calidad</b>	Para una muestra de cada diez añadir una cantidad conocida del metal de interés y analizar de nuevo para confirmar la recuperación. Analizar una solución estándar adicional después de cada diez muestras o con un lote de muestras, lo que sea menor, para confirmar que la prueba está en control.
<b>Manipulación de muestras</b>	Para los metales disueltos, filtrar inmediatamente, añadir HNO <sub>3</sub> a pH <2. Si metales disueltos se han de determinar, ver 3030B para la preparación de la muestra. Si los metales totales o extraíbles con ácido deben ser determinados, ver 3030C través de 3030K.

<b>METHOD 3051A</b>	
Descripción	<p>Este método de extracción de microondas está diseñado para imitar el uso convencional de extracción calentamiento con ácido nítrico (HNO<sub>3</sub>), O alternativamente, el ácido nítrico y el ácido clorhídrico (KCl), de acuerdo con Métodos EPA 200.2 y 3050. Dado que estos métodos no están destinados a lograr totales descomposición de la muestra, las concentraciones de analito extraído puede no reflejar el contenido total de en la muestra. Este método es aplicable a la extracción asistida por microondas / disolución ácida de ‡ sedimentos, lodos , suelos y aceites</p>
Resumen del método	<p>Una muestra representativa de hasta 0,5 g se extrae y / o se disuelve en 10 ml ácido nítrico concentrado, o alternativamente, 9 ml de ácido nítrico concentrado y 3 ml concentrado ácido clorhídrico durante 10 minutos usando calentamiento por microondas con una unidad de microondas de laboratorio adecuado.</p> <p>La muestra y el ácido (s) se colocan en un polímero de fluorocarbono (PFA o TFM) o en el microondas de cuarzo recipiente o revestimiento del vaso. El recipiente se selló y se calentó en la unidad de microondas. Después de enfriar, la contenido del recipiente se filtran, se centrifugan, o permitir que sedimenten y después se diluyó al volumen y analizados por el método determinativo apropiado.</p>

<b>METODO AOAC 999.10</b>	
Descripción	<p>La muestra es digerida en microondas en medio ácido y peróxido de hidrógeno. La solución obtenida es diluida en agua y la concentración de Pb y Cd se obtiene a partir de la absorbancia de cada elemento a su longitud de onda específica en un espectrofotómetro de absorción atómica con cámara de grafito, y las calibraciones con soluciones patrón.</p> <p>Este método permite determinar la concentración de Pb y Cd que, a partir de cierta concentración en los piensos, pueden provocar desórdenes fisiológicos no deseados. Clasificados en la legislación como productos indeseables en la alimentación animal.</p> <p>Aplicable para la determinación de Pb y Cd en alimentos. No aplicable a leche en polvo ni alimentos con contenidos en grasa &gt;40%.</p> <p>Dominio de Aplicación: contenidos superiores a 0,1 mg/kg para Pb, contenidos superiores a 0,01 mg/kg para Cd.</p> <p><b>Repetibilidad:</b> No se especifica.</p> <p><b>Reproducibilidad:</b> La diferencia entre los resultados de dos determinaciones efectuadas con una misma muestra en diferente laboratorio no debe sobrepasar:</p> <p>Pb: 40% en valor relativo, para los contenidos inferiores a 1,0 mg/kg.</p> <p>Cd: 10% en valor relativo, para los contenidos inferiores a 0,5 mg/kg.</p>

## Anexo B. Resultados de concentración de cadmio en almendra seca.

	<b>FORMATO REPORTE DE RESULTADOS DE ENSAYO LABORATORIO DE ESTUDIOS AMBIENTALES</b> Código: II-FO-070 Versión: 03
---	--

Reporte No: 01-016

1. DESCRIPCIÓN DE LA MUESTRA	
Cliente:	Proyecto de investigación BIT-005-0815-IM
Dirección:	Universidad Pontificia Bolivariana – Seccional Bucaramanga Oficina K-406
Código:	01- ZONZ A
Tipo de muestra:	Cacao
Lugar de Muestreo:	FINCA TRES PIEDRAS
Fecha de Muestreo:	N/A
Fecha de Recepción:	2016-01-18
Fecha de Reporte:	2016-02-05

### 2. REPORTE DE RESULTADOS

VARIABLE	UNIDADES	RESULTADO	FECHA DE ANALISIS	METODO
Cadmio*	mg Cd/Kg	1,5016	2016-02-05	S.M. 3113-B – AOAC 999.10

\*Parámetro no acreditado

### 3. OBSERVACIONES

El muestreo fue realizado por el Cliente.

Condiciones de la muestra: Las muestras llegaron empacadas y etiquetadas por el cliente, a temperatura ambiente.

Revisó y Aprobó:

Firma:



Nombre: Qco. Diego Leonardo Blanco Arenas

Coordinador Laboratorio de Estudios Ambientales



"Los resultados reportados corresponden únicamente a las muestras analizadas"  
 "El contenido del reporte no se puede reproducir parcialmente, solo en forma total previa autorización del Laboratorio de Estudios Ambientales".

Con formato: Fuente:  
(Predeterminado) Times New Roman,  
12 pto

	<b>FORMATO REPORTE DE RESULTADOS DE ENSAYO LABORATORIO DE ESTUDIOS AMBIENTALES</b> Código: II-FO-070 Versión: 03
---	--

Reporte No: 02-016

1. DESCRIPCIÓN DE LA MUESTRA	
Cliente:	Proyecto de investigación BIT-005-0815-IM
Dirección:	Universidad Pontificia Bolivariana – Seccional Bucaramanga Oficina K-406
Código:	02- ZONA B
Tipo de muestra:	Cacao
Lugar de Muestreo:	FINCA TRES PIEDRAS
Fecha de Muestreo:	N/A
Fecha de Recepción:	2016-01-18
Fecha de Reporte:	2016-02-05

## 2. REPORTE DE RESULTADOS

VARIABLE	UNIDADES	RESULTADO	FECHA DE ANALISIS	METODO
Cadmio*	mg Cd/Kg	1,5625	2016-02-05	S.M. 3113-B – AOAC 999.10

\*Parámetro no acreditado

## 3. OBSERVACIONES

El muestreo fue realizado por el Cliente.

Condiciones de la muestra: Las muestras llegaron empacadas y etiquetadas por el cliente, a temperatura ambiente.

Revisó y Aprobó:

Firma:


Nombre: Qco. Diego Leonardo Blanco Arenas

Coordinador Laboratorio de Estudios Ambientales



"Los resultados reportados corresponden únicamente a las muestras analizadas"  
"El contenido del reporte no se puede reproducir parcialmente, solo en forma total previa autorización del Laboratorio de Estudios Ambientales".

Con formato: Fuente:  
(Predeterminado) Times New Roman,  
12 pto

	<b>FORMATO REPORTE DE RESULTADOS DE ENSAYO LABORATORIO DE ESTUDIOS AMBIENTALES</b> Código: II-FO-070 Versión: 03
---	--

Reporte No: 03-016

1. DESCRIPCIÓN DE LA MUESTRA	
Cliente:	Proyecto de investigación BIT-005-0815-IM
Dirección:	Universidad Pontificia Bolivariana – Seccional Bucaramanga Oficina K-406
Código:	03- ZONA C
Tipo de muestra:	Cacao
Lugar de Muestreo:	FINCA TRES PIEDRAS
Fecha de Muestreo:	N/A
Fecha de Recepción:	2016-01-18
Fecha de Reporte:	2016-02-05

### 2. REPORTE DE RESULTADOS

VARIABLE	UNIDADES	RESULTADO	FECHA DE ANALISIS	METODO
Cadmio*	mg Cd/Kg	1,5619	2016-02-05	S.M. 3113-B – AOAC 999.10

\*Parámetro no acreditado

### 3. OBSERVACIONES

El muestreo fue realizado por el Cliente.

Condiciones de la muestra: Las muestras llegaron empacadas y etiquetadas por el cliente, a temperatura ambiente.

Revisó y Aprobó:

Firma:

Nombre: Qco. Diego Leonardo Blanco Arenas

Coordinador Laboratorio de Estudios Ambientales



"Los resultados reportados corresponden únicamente a las muestras analizadas"  
"El contenido del reporte no se puede reproducir parcialmente, solo en forma total previa autorización del Laboratorio de Estudios Ambientales".

1 de 1



FORMATO REPORTE DE RESULTADOS DE ENSAYO LABORATORIO DE ESTUDIOS  
AMBIENTALES  
Código: II-FO-070  
Versión: 03

Con formato: Fuente:  
(Predeterminado) Times New Roman,  
12 pto

Reporte No: 04-016

1. DESCRIPCIÓN DE LA MUESTRA	
Cliente:	Proyecto de investigación BIT-005-0815-IM
Dirección:	Universidad Pontificia Bolivariana – Seccional Bucaramanga Oficina K-406
Código:	04- ZONA D
Tipo de muestra:	Cacao
Lugar de Muestreo:	FINCA TRES PIEDRAS
Fecha de Muestreo:	N/A
Fecha de Recepción:	2016-01-18
Fecha de Reporte:	2016-02-05

2. REPORTE DE RESULTADOS

VARIABLE	UNIDADES	RESULTADO	FECHA DE ANALISIS	METODO
Cadmio*	mg Cd/Kg	1,2465	2016-02-05	S.M. 3113-B – AOAC 999.10

\*Parámetro no acreditado

3. OBSERVACIONES

El muestreo fue realizado por el Cliente.

Condiciones de la muestra: Las muestras llegaron empacadas y etiquetadas por el cliente, a temperatura ambiente.

Revisó y Aprobó:

Firma:

Nombre: Cco. Diego Leonardo Blanco Arenas

Coordinador Laboratorio de Estudios Ambientales



"Los resultados reportados corresponden únicamente a las muestras analizadas"  
"El contenido del reporte no se puede reproducir parcialmente, solo en forma total previa autorización del Laboratorio de Estudios Ambientales".

Con formato: Fuente: 12 pto

	<b>FORMATO REPORTE DE RESULTADOS DE ENSAYO LABORATORIO DE ESTUDIOS AMBIENTALES</b> Código: II-FO-070 Versión: 03
---	--

Reporte No: 05-016

1. DESCRIPCIÓN DE LA MUESTRA	
Cliente:	Proyecto de investigación BIT-005-0815-IM
Dirección:	Universidad Pontificia Bolivariana – Seccional Bucaramanga Oficina K-406
Código:	05- ZONA E
Tipo de muestra:	Cacao
Lugar de Muestreo:	FINCA TRES PIEDRAS
Fecha de Muestreo:	N/A
Fecha de Recepción:	2016-01-18
Fecha de Reporte:	2016-02-05

## 2. REPORTE DE RESULTADOS

VARIABLE	UNIDADES	RESULTADO	FECHA DE ANALISIS	METODO
Cadmio*	mg Cd/Kg	1,3519	2016-02-05	S.M. 3113-B – AOAC 999.10

\*Parámetro no acreditado

## 3. OBSERVACIONES

El muestreo fue realizado por el Cliente.

Condiciones de la muestra: Las muestras llegaron empacadas y etiquetadas por el cliente, a temperatura ambiente.

Revisó y Aprobó:

Firma:

Nombre: Qco. Diego Leonardo Blanco Arenas

Coordinador Laboratorio de Estudios Ambientales



"Los resultados reportados corresponden únicamente a las muestras analizadas"  
"El contenido del reporte no se puede reproducir parcialmente, solo en forma total previa autorización del Laboratorio de Estudios Ambientales".

## Anexo C. Resultados de concentración de cadmio en almendra fresca

	<b>FORMATO REPORTE DE RESULTADOS DE ENSAYO LABORATORIO DE ESTUDIOS AMBIENTALES</b> Código: II-FO-070 Versión: 03
	Reporte No: 49-016

1. DESCRIPCIÓN DE LA MUESTRA	
Cliente:	Proyecto de investigación BIT-005-0815-IM
Dirección:	Universidad Pontificia Bolivariana – Seccional Bucaramanga Oficina K-406
Código:	49- ZONA E
Tipo de muestra:	CACAO
Lugar de Muestreo:	FINCA TRES PIEDRAS
Fecha de Muestreo:	N/A
Fecha de Recepción:	2016-02-18
Fecha de Reporte:	2016-03-03

### 2. REPORTE DE RESULTADOS

VARIABLE	UNIDADES	RESULTADO	FECHA DE ANALISIS	METODO
Cadmio*	mg Cd/Kg	2,1908	2016-03-03	S.M. 3111-B – AOAC 999.10

\*Parámetro no acreditado

### 3. OBSERVACIONES

El muestreo fue realizado por el Cliente.

Condiciones de la muestra: Las muestras llegaron empacadas y etiquetadas por el cliente, a temperatura ambiente.

Revisó y Aprobó:

Firma: 

Nombre: Qco. Diego Leonardo Blanco Arenas

Coordinador Laboratorio de Estudios Ambientales



"Los resultados reportados corresponden únicamente a las muestras analizadas"

"El contenido del reporte no se puede reproducir parcialmente, solo en forma total previa autorización del Laboratorio de Estudios Ambientales".

1. DESCRIPCIÓN DE LA MUESTRA	
Cliente:	Proyecto de investigación BIT-005-0815-IM
Dirección:	Universidad Pontificia Bolivariana – Seccional Bucaramanga Oficina K-406
Código:	48- ZONA D
Tipo de muestra:	CACAO
Lugar de Muestreo:	FINCA TRES PIEDRAS
Fecha de Muestreo:	N/A
Fecha de Recepción:	2016-02-18
Fecha de Reporte:	2016-03-03

2. REPORTE DE RESULTADOS
--------------------------

VARIABLE	UNIDADES	RESULTADO	FECHA DE ANALISIS	METODO
Cadmio*	mg Cd/Kg	1,7440	2016-03-03	S.M. 3111-B – AOAC 999.10

\*Parámetro no acreditado

3. OBSERVACIONES
------------------

El muestreo fue realizado por el Cliente.

Condiciones de la muestra: Las muestras llegaron empacadas y etiquetadas por el cliente, a temperatura ambiente.

Revisó y Aprobó:

Firma: 

Nombre: Qco. Diego Leonardo Blanco Arenas

Coordinador Laboratorio de Estudios Ambientales



"Los resultados reportados corresponden únicamente a las muestras analizadas"  
 "El contenido del reporte no se puede reproducir parcialmente, solo en forma total previa autorización del Laboratorio de Estudios Ambientales".

1. DESCRIPCIÓN DE LA MUESTRA	
Cliente:	Proyecto de investigación BIT-005-0815-IM
Dirección:	Universidad Pontificia Bolivariana – Seccional Bucaramanga Oficina K-406
Código:	47- ZONA C
Tipo de muestra:	CACAO
Lugar de Muestreo:	FINCA TRES PIEDRAS
Fecha de Muestreo:	N/A
Fecha de Recepción:	2016-02-18
Fecha de Reporte:	2016-03-03

2. REPORTE DE RESULTADOS
--------------------------

VARIABLE	UNIDADES	RESULTADO	FECHA DE ANALISIS	METODO
Cadmio*	mg Cd/Kg	1,7392	2016-03-03	S.M. 3111-B – AOAC 999.10

\*Parámetro no acreditado

3. OBSERVACIONES
------------------

El muestreo fue realizado por el Cliente.

Condiciones de la muestra: Las muestras llegaron empacadas y etiquetadas por el cliente, a temperatura ambiente.

Revisó y Aprobó:

Firma:



Nombre: Qco. Diego Leonardo Blanco Arenas

Coordinador Laboratorio de Estudios Ambientales



"Los resultados reportados corresponden únicamente a las muestras analizadas"

"El contenido del reporte no se puede reproducir parcialmente, solo en forma total previa autorización del Laboratorio de Estudios Ambientales".

	<b>FORMATO REPORTE DE RESULTADOS DE ENSAYO LABORATORIO DE ESTUDIOS AMBIENTALES</b> Código: II-FO-070 Versión: 03
	Reporte No: 46-016

1. DESCRIPCIÓN DE LA MUESTRA	
Cliente:	Proyecto de Investigación BIT-005-0815-IM
Dirección:	Universidad Pontificia Bolivariana – Seccional Bucaramanga Oficina K-406
Código:	46- ZONA B
Tipo de muestra:	CACAO
Lugar de Muestreo:	FINCA TRES PIEDRAS
Fecha de Muestreo:	N/A
Fecha de Recepción:	2016-02-18
Fecha de Reporte:	2016-03-03

### 2. REPORTE DE RESULTADOS

VARIABLE	UNIDADES	RESULTADO	FECHA DE ANALISIS	METODO
Cadmio*	mg Cd/Kg	2.1579	2016-03-03	S.M. 3111-B – AOAC 999.10

\*Parámetro no acreditado

### 3. OBSERVACIONES

El muestreo fue realizado por el Cliente.

Condiciones de la muestra: Las muestras llegaron empacadas y etiquetadas por el cliente, a temperatura ambiente.

Revisó y Aprobó:

Firma: 

Nombre: Gco. Diego Leonardo Blanco Arenas

Coordinador Laboratorio de Estudios Ambientales



"Los resultados reportados corresponden únicamente a las muestras analizadas"  
 "El contenido del reporte no se puede reproducir parcialmente, solo en forma total previa autorización del Laboratorio de Estudios Ambientales".

	<b>FORMATO REPORTE DE RESULTADOS DE ENSAYO LABORATORIO DE ESTUDIOS AMBIENTALES</b> Código: II-FO-070 Versión: 03
	<b>Reporte No: 45-016</b>

1. DESCRIPCIÓN DE LA MUESTRA	
Cliente:	Proyecto de investigación BIT-005-0815-IM
Dirección:	Universidad Pontificia Bolivariana – Seccional Bucaramanga Oficina K-406
Código:	45- ZONA A
Tipo de muestra:	CACAO
Lugar de Muestreo:	FINCA TRES PIEDRAS
Fecha de Muestreo:	N/A
Fecha de Recepción:	2016-02-18
Fecha de Reporte:	2016-03-03

**2. REPORTE DE RESULTADOS**

VARIABLE	UNIDADES	RESULTADO	FECHA DE ANALISIS	METODO
Cadmio*	mg Cd/Kg	1,5802	2016-03-03	S.M. 3111-B – AOAC 999.10

\*Parámetro no acreditado

**3. OBSERVACIONES**

El muestreo fue realizado por el Cliente.

Condiciones de la muestra: Las muestras llegaron empacadas y etiquetadas por el cliente, a temperatura ambiente.

Revisó y Aprobó:

Firma: 

Nombre: Cco. Diego Leonardo Blanco Arenas

Coordinador Laboratorio de Estudios Ambientales



"Los resultados reportados corresponden únicamente a las muestras analizadas"

"El contenido del reporte no se puede reproducir parcialmente, solo en forma total previa autorización del Laboratorio de Estudios Ambientales".

## Anexo D. Resultados de concentración de cadmio en el suelo.

	<b>FORMATO REPORTE DE RESULTADOS DE ENSAYO LABORATORIO DE ESTUDIOS AMBIENTALES</b> Código: II-FO-070 Versión: 03
	Reporte No: 27-016

1. DESCRIPCIÓN DE LA MUESTRA	
Cliente:	Proyecto de investigación BIT-005-0815-IM
Dirección:	Universidad Pontificia Bolivariana – Seccional Bucaramanga Oficina K-406
Código:	27- ZONA A – 0 – 20 Cm
Tipo de muestra:	SJELO
Lugar de Muestreo:	FINCA TRES PIEDRAS
Fecha de Muestreo:	N/A
Fecha de Recepción:	2016-02-18
Fecha de Reporte:	2016-03-03

### 2. REPORTE DE RESULTADOS

VARIABLE	UNIDADES	RESULTADO	FECHA DE ANALISIS	METODO
Cadmio*	mg Cd/Kg	1,7191	2016-03-03	S.M. 3111-B – EPA 3051A

\*Parámetro no acreditado

### 3. OBSERVACIONES

El muestreo fue realizado por el Cliente.

Condiciones de la muestra: Las muestras llegaron empacadas y etiquetadas por el cliente, a temperatura ambiente.

Revisó y Aprobó:

Firma: 

Nombre: Cco. Diego Leonardo Blanco Arenas

Coordinador Laboratorio de Estudios Ambientales



"Los resultados reportados corresponden únicamente a las muestras analizadas"  
 "El contenido del reporte no se puede reproducir parcialmente, solo en forma total previa autorización del Laboratorio de Estudios Ambientales".

	<b>FORMATO REPORTE DE RESULTADOS DE ENSAYO LABORATORIO DE ESTUDIOS AMBIENTALES</b> Código: II-FO-070 Versión: 03
	Reporte No: 28-016

1. DESCRIPCIÓN DE LA MUESTRA	
Cliente:	Proyecto de investigación BIT-005-0815-IM
Dirección:	Universidad Pontificia Bolivariana – Seccional Bucaramanga Oficina K-406
Código:	28- ZONA A – 20 - 40 Cm
Tipo de muestra:	SUELO
Lugar de Muestreo:	FINCA TRES PIEDRAS
Fecha de Muestreo:	N/A
Fecha de Recepción:	2016-02-18
Fecha de Reporte:	2016-03-03

### 2. REPORTE DE RESULTADOS

VARIABLE	UNIDADES	RESULTADO	FECHA DE ANALISIS	METODO
Cadmio*	mg Cd/Kg	1,3312	2016-03-03	S.M. 3111-B – EPA 3051A

\*Parámetro no acreditado

### 3. OBSERVACIONES

El muestreo fue realizado por el Cliente.

Condiciones de la muestra: Las muestras llegaron empacadas y etiquetadas por el cliente, a temperatura ambiente.

Revisó y Aprobó:

Firma: 

Nombre: Cco. Diego Leonardo Blanco Arenas

Coordinador Laboratorio de Estudios Ambientales



"Los resultados reportados corresponden únicamente a las muestras analizadas"  
 "El contenido del reporte no se puede reproducir parcialmente, solo en forma total previa autorización del Laboratorio de Estudios Ambientales".

	<b>FORMATO REPORTE DE RESULTADOS DE ENSAYO LABORATORIO DE ESTUDIOS AMBIENTALES</b> Código: 8-FO-070 Versión: 03
	Reporte No: 29-016

1. DESCRIPCIÓN DE LA MUESTRA	
Cliente:	Proyecto de investigación BIT-005-0815-IM
Dirección:	Universidad Pontificia Bolivariana – Seccional Bucaramanga Oficina K-406
Código:	29- ZONA B – 0 - 20 Cm
Tipo de muestra:	SUELO
Lugar de Muestreo:	FINCA TRES PIEDRAS
Fecha de Muestreo:	N/A
Fecha de Recepción:	2016-02-18
Fecha de Reporte:	2016-03-03

**2. REPORTE DE RESULTADOS**

VARIABLE	UNIDADES	RESULTADO	FECHA DE ANALISIS	METODO
Cadmio*	mg Cd/Kg	1,9670	2016-03-03	S.M. 3111-B – EPA 3051A

\*Parámetro no acreditado

**3. OBSERVACIONES**

El muestreo fue realizado por el Cliente.

Condiciones de la muestra: Las muestras llegaron empacadas y etiquetadas por el cliente, a temperatura ambiente.

Revisó y Aprobó:

Firma: 

Nombre: Oco. Diego Leonardo Blanco Arenas

Coordinador Laboratorio de Estudios Ambientales



"Los resultados reportados corresponden únicamente a las muestras analizadas"  
 "El contenido del reporte no se puede reproducir parcialmente, solo en forma total previa autorización del Laboratorio de Estudios Ambientales".



**FORMATO REPORTE DE RESULTADOS DE ENSAYO LABORATORIO DE ESTUDIOS AMBIENTALES**  
 Código: II-FO-070  
 Versión: 03

Reporte No: 30-016

1. DESCRIPCIÓN DE LA MUESTRA	
Cliente:	Proyecto de investigación BIT-005-0815-IM
Dirección:	Universidad Pontificia Bolivariana – Seccional Bucaramanga Oficina K-406
Código:	30- ZONA B – 20 - 40 Cm
Tipo de muestra:	SUELO
Lugar de Muestreo:	FINCA TRES PIEDRAS
Fecha de Muestreo:	N/A
Fecha de Recepción:	2016-02-18
Fecha de Reporte:	2016-03-03

**2. REPORTE DE RESULTADOS**

VARIABLE	UNIDADES	RESULTADO	FECHA DE ANALISIS	METODO
Cadmio*	mg Cd/Kg	1,6458	2016-03-03	S.M. 3111-B – EPA 3051A

\*Parámetro no acreditado

**3. OBSERVACIONES**

El muestreo fue realizado por el Cliente.

Condiciones de la muestra: Las muestras llegaron empacadas y etiquetadas por el cliente, a temperatura ambiente.

Revisó y Aprobó:

Firma:

Nombre: Qco. Diego Leonardo Blanco Arenas

Coordinador Laboratorio de Estudios Ambientales



\*Los resultados reportados corresponden únicamente a las muestras analizadas\*

\*El contenido del reporte no se puede reproducir parcialmente, solo en forma total previa autorización del Laboratorio de Estudios Ambientales\*.

	<b>FORMATO REPORTE DE RESULTADOS DE ENSAYO LABORATORIO DE ESTUDIOS AMBIENTALES</b> Código: II-FO-070 Versión: 03
	Reporte No: 31-016

1. DESCRIPCIÓN DE LA MUESTRA	
Cliente:	Proyecto de investigación BIT-005-0815-IM
Dirección:	Universidad Pontificia Bolivariana – Seccional Bucaramanga Oficina K-406
Código:	31- ZONA C – 0 - 20 Cm
Tipo de muestra:	SUELO
Lugar de Muestreo:	FINCA TRES PIEDRAS
Fecha de Muestreo:	N/A
Fecha de Recepción:	2016-02-18
Fecha de Reporte:	2016-03-03

**2. REPORTE DE RESULTADOS**

VARIABLE	UNIDADES	RESULTADO	FECHA DE ANALISIS	METODO
Cadmio*	mg Cd/Kg	1,9359	2016-03-03	S.M. 3111-B – EPA 3051A

\*Parámetro no acreditado

**3. OBSERVACIONES**

El muestreo fue realizado por el Cliente.

Condiciones de la muestra: Las muestras llegaron empacadas y etiquetadas por el cliente, a temperatura ambiente.

Revisó y Aprobó:

Firma:



Nombre: Cco. Diego Leonardo Blanco Arenas

Coordinador Laboratorio de Estudios Ambientales



"Los resultados reportados corresponden únicamente a las muestras analizadas"

"El contenido del reporte no se puede reproducir parcialmente, solo en forma total previa autorización del Laboratorio de Estudios Ambientales".

	<b>FORMATO REPORTE DE RESULTADOS DE ENSAYO LABORATORIO DE ESTUDIOS AMBIENTALES</b> Código: IL-FO-070 Versión: 03
	Reporte No: 32-016

1. DESCRIPCIÓN DE LA MUESTRA	
Cliente:	Proyecto de investigación BIT-005-0815-IM
Dirección:	Universidad Pontificia Bolivariana – Seccional Bucaramanga Oficina K-406
Código:	32- ZONA C – 20 - 40 Cm
Tipo de muestra:	SUELO
Lugar de Muestreo:	FINCA TRES PIEDRAS
Fecha de Muestreo:	N/A
Fecha de Recepción:	2016-02-18
Fecha de Reporte:	2016-03-03

**2. REPORTE DE RESULTADOS**

VARIABLE	UNIDADES	RESULTADO	FECHA DE ANALISIS	METODO
Cadmio*	mg Cd/Kg	1,4317	2016-03-03	S.M. 3111-B – EPA 3051A

\*Parámetro no acreditado

**3. OBSERVACIONES**

El muestreo fue realizado por el Cliente.

Condiciones de la muestra: Las muestras llegaron empacadas y etiquetadas por el cliente, a temperatura ambiente.

Revisó y Aprobó:

Firma: 

Nombre: Oco. Diego Leonardo Blanco Arenas

Coordinador Laboratorio de Estudios Ambientales



"Los resultados reportados corresponden únicamente a las muestras analizadas"  
 "El contenido del reporte no se puede reproducir parcialmente, solo en forma total previa autorización del Laboratorio de Estudios Ambientales".

	<b>FORMATO REPORTE DE RESULTADOS DE ENSAYO LABORATORIO DE ESTUDIOS AMBIENTALES</b> Código: II-FO-070 Versión: 03
	Reporte No: 33-016

1. DESCRIPCIÓN DE LA MUESTRA	
Cliente:	Proyecto de Investigación BIT-005-0815-IM
Dirección:	Universidad Pontificia Bolivariana – Seccional Bucaramanga Oficina K-406
Código:	33- ZONA D – 0 - 20 Cm
Tipo de muestra:	SUELO
Lugar de Muestreo:	FINCA TRES PIEDRAS
Fecha de Muestreo:	N/A
Fecha de Recepción:	2016-02-18
Fecha de Reporte:	2016-03-03

### 2. REPORTE DE RESULTADOS

VARIABLE	UNIDADES	RESULTADO	FECHA DE ANALISIS	METODO
Cadmio*	mg Cd/Kg	1,3142	2016-03-03	S.M. 3111-B – EPA 3051A

\*Parámetro no acreditado

### 3. OBSERVACIONES

El muestreo fue realizado por el Cliente.

Condiciones de la muestra: Las muestras llegaron empacadas y etiquetadas por el cliente, a temperatura ambiente.

Revisó y Aprobó:

Firma: 

Nombre: Cco. Diego Leonardo Blanco Arenas

Coordinador Laboratorio de Estudios Ambientales



"Los resultados reportados corresponden únicamente a las muestras analizadas"  
 "El contenido del reporte no se puede reproducir parcialmente, solo en forma total previa autorización del Laboratorio de Estudios Ambientales".

	<b>FORMATO REPORTE DE RESULTADOS DE ENSAYO LABORATORIO DE ESTUDIOS AMBIENTALES</b> Código: II-FO-070 Versión: 03
	Reporte No: 34-016

1. DESCRIPCIÓN DE LA MUESTRA	
Cliente:	Proyecto de investigación BIT-005-0815-IM
Dirección:	Universidad Pontificia Bolivariana – Seccional Bucaramanga Oficina K-406
Código:	34- ZONA D – 20 - 40 Cm
Tipo de muestra:	SUELO
Lugar de Muestreo:	FINCA TRES PIEDRAS
Fecha de Muestreo:	N/A
Fecha de Recepción:	2016-02-18
Fecha de Reporte:	2016-03-03

### 2. REPORTE DE RESULTADOS

VARIABLE	UNIDADES	RESULTADO	FECHA DE ANALISIS	METODO
Cadmio*	mg Cd/Kg	1,0917	2016-03-03	S.M. 3111-B – EPA 3051A

\*Parámetro no acreditado

### 3. OBSERVACIONES

El muestreo fue realizado por el Cliente.

Condiciones de la muestra: Las muestras llegaron empacadas y etiquetadas por el cliente, a temperatura ambiente.

Revisó y Aprobó:

Firma: 

Nombre: Oco. Diego Leonardo Blanco Arenas

Coordinador Laboratorio de Estudios Ambientales



"Los resultados reportados corresponden únicamente a las muestras analizadas"  
 "El contenido del reporte no se puede reproducir parcialmente, solo en forma total previa autorización del Laboratorio de Estudios Ambientales".

	<b>FORMATO REPORTE DE RESULTADOS DE ENSAYO LABORATORIO DE ESTUDIOS AMBIENTALES</b> Código: II-PO-070 Versión: 03
	Reporte No: 35-016

1. DESCRIPCIÓN DE LA MUESTRA	
Cliente:	Proyecto de investigación BIT-005-0815-IM
Dirección:	Universidad Pontificia Bolivariana – Seccional Bucaramanga Oficina K-406
Código:	35- ZONA E – 0 - 20 Cm
Tipo de muestra:	SUELO
Lugar de Muestreo:	FINCA TRES PIEDRAS
Fecha de Muestreo:	N/A
Fecha de Recepción:	2016-02-18
Fecha de Reporte:	2016-03-03

**2. REPORTE DE RESULTADOS**

VARIABLE	UNIDADES	RESULTADO	FECHA DE ANALISIS	METODO
Cadmio*	mg Cd/Kg	1,8482	2016-03-03	S.M. 3111-B – EPA 3051A

\*Parámetro no acreditado

**3. OBSERVACIONES**

El muestreo fue realizado por el Cliente.

Condiciones de la muestra: Las muestras llegaron empacadas y etiquetadas por el cliente, a temperatura ambiente.

Revisó y Aprobó:

Firma:



Nombre: Qco. Diego Leonardo Blanco Arenas

Coordinador Laboratorio de Estudios Ambientales



"Los resultados reportados corresponden únicamente a las muestras analizadas"

"El contenido del reporte no se puede reproducir parcialmente, solo en forma total previa autorización del Laboratorio de Estudios Ambientales".



**FORMATO REPORTE DE RESULTADOS DE ENSAYO LABORATORIO DE ESTUDIOS AMBIENTALES**  
 Código: I-FO-070  
 Versión: 03

Reporte No: 36-016

1. DESCRIPCIÓN DE LA MUESTRA	
Cliente:	Proyecto de investigación BIT-005-0815-IM
Dirección:	Universidad Pontificia Bolivariana – Seccional Bucaramanga Oficina K-406
Código:	36- ZONA E – 20 - 40 Cm
Tipo de muestra:	SUELO
Lugar de Muestreo:	FINCA TRES PIEDRAS
Fecha de Muestreo:	NA
Fecha de Recepción:	2016-02-18
Fecha de Reporte:	2016-03-03

**2. REPORTE DE RESULTADOS**

VARIABLE	UNIDADES	RESULTADO	FECHA DE ANALISIS	METODO
Cadmio*	mg Cd/Kg	1,8159	2016-03-03	S.M. 3111-B – EPA 3051A

\*Parámetro no acreditado

**3. OBSERVACIONES**

El muestreo fue realizado por el Cliente.

Condiciones de la muestra: Las muestras llegaron empaçadas y etiquetadas por el cliente, a temperatura ambiente.

Revisó y Aprobó:

Firma:

Nombre: Qoo. Diego Leonardo Blanco Arenas

Coordinador Laboratorio de Estudios Ambientales



"Los resultados reportados corresponden únicamente a las muestras analizadas"

"El contenido del reporte no se puede reproducir parcialmente, solo en forma total previa autorización del Laboratorio de Estudios Ambientales".

### **Anexo E. Formación roca Fosfórica en el Municipio el Carmen de Chucuri.**

La roca fosfórica o fosfórita es un depósito sedimentario integrado por minerales de fosfato. En el Municipio la roca fosfórica existente está constituida principalmente por un fosfato de calcio acompañado de diferentes impurezas; se encuentra ubicada en la parte superior o miembro Galembo de la Formación La Luna, del Cretácico superior, situada en la parte central del municipio, de sur a norte, entre las veredas La Salina, Aljibes, Rancho Grande, Bajo Cascajales, Centenario, Villa de Leiva, Filo de Oro, La Pitala, Nueva Granada, Líbano, Santo Domingo y El Sinaí. Se requiere de estudios detallados para estimar la calidad, espesores y reservas de los mantos de roca fosfórica existente en dicha región.<sup>66</sup>

### **Contrato explotación minera de la roca fosfórica en el municipio del Carmen de Chucuri, Santander, Colombia.**

---

<sup>66</sup> ALCALDIA MUNICIPAL DEL CARMEN DE CHUCURI Esquema De Ordenamiento Territorial El Carmen De Chucurí 1999-2009. [en línea] [citado 12 de marzo de 2016] Disponible en; [http://cdim.esap.edu.co/BancoMedios/Documentos%20PDF/eot\\_esquema%20de%20ordenamiento%20territorial\\_el%20carmen\\_santander\\_2003.pdf](http://cdim.esap.edu.co/BancoMedios/Documentos%20PDF/eot_esquema%20de%20ordenamiento%20territorial_el%20carmen_santander_2003.pdf)

Código Expediente: EK4-141		Código RMN:EK4-141		Estado Jurídico: TITULO VIGENTE	
Modalidad	Titulares	Grupo de Trabajo	Departamento	Municipio	Mineral
CONTRATO DE CONCESION (L. 685)	CYC AGREGADOS S.A.S.	PAR CALI	CAUCA VALLE	VILLA RICA JAMUNDI	DEMAS_CONCESIBLES MATERIALES DE CONSTRUCCION

ANOTACIONES			
Fecha Anotación	Fecha Ejecutoria	Tipo de Anotación	Observación
16-09-2014	14-08-2014	CESION TOTAL DE DERECHOS	PERFECCIONAR LA CESION DEL 100% DE LOS DERECHOS Y OBLIGACIONES QUE LE CORRESPONDEN A LA SEÑORA LIDA ESPERANZA MANZANO ROFRIGUEZ DENTRO DEL CONTRATO DE CONCESION No EK4-141, A FAVOR DE LA SOCIEDAD CYC AGREGADOS S.A.S.

Código Expediente: FIR-154B		Código RMN:FIR-154B		Estado Jurídico: TITULO VIGENTE	
Modalidad	Titulares	Grupo de Trabajo	Departamento	Municipio	Mineral
CONTRATO DE CONCESION (L. 685)	RIO TINTO MINING AND EXPLORATION COLOMBIA	REGIONAL BUCARAMANGA	SANTANDER	EL CARMEN DE CHUCURI	ROCA FOSFORICA CARBON DEMAS_CONCESIBLES

ANOTACIONES			
Fecha Anotación	Fecha Ejecutoria	Tipo de Anotación	Observación
16-09-2014	14-01-2011	MODIFICA ETAPAS CONTRATO /RENUNCIA A ETAPA ,EXPT. ANTICIPADA	ACEPTAR LA PRORROGA DE LA ETAPA DE EXPLORACION DEL CONTRATO DE CONCESION No FIR-154B, POR EL TERMINO DE DOS(2)AÑOS MAS, ES DECIR QUEDARA POR EL TERMINO DE CINCO (5)AÑOS, DESDE EL 11 DE JULIO DE 2007 HASTA EL 10 DE JULIO DE 2012

Código Expediente: IHE-09121		Código RMN:IHE-09121		Estado Jurídico: TITULO TERMINADO	
Modalidad	Titulares	Grupo de Trabajo	Departamento	Municipio	Mineral
CONTRATO DE CONCESION (L. 685)	EXPLMINERALES DEL NORTE SA	PAR CARTAGENA	BOLIVAR	SAN JACINTO	CALIZA DEMAS_CONCESIBLES