

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

DIANA CATALINA RANGEL CABALLERO



**UNIVERSIDAD PONTIFICIA BOLIVARIANA
ESCUELA DE INGENIERAS
FACULTAD DE INGENIERA AMBIENTAL
FLORIDABLANCA**

2016

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

DIANA CATALINA RANGEL CABALLERO

**Trabajo de grado como requisito para optar el título de
Ingeniero Ambiental**

**Director(a):
PH.D. MARÍA KOPYTKO**

**UNIVERSIDAD PONTIFICIA BOLIVARIANA
ESCUELA DE INGENIERAS
FACULTAD DE INGENIERA AMBIENTAL
FLORIDABLANCA**

2016

Nota de Aceptación

Firma de Presidente del Jurado

Firma del jurado

Firma del jurado

Bucaramanga, Julio 12 del 2016

Dedicado a Dios, mis Padres y Hermanos.

AGRADECIMIENTOS

Primeramente, gracias a Dios por ser mi guía durante todo este camino y darme la fortaleza, la convicción y determinación de continuar en este camino.

A mi padre Luis Alfredo Rangel y a mi madre Nelly Caballero Serrano por brindarme la oportunidad de realizarme como profesional y su apoyo incondicional en todo momento.

A mis hermanos Jaime Rangel, Luis Gabriel Rangel, Diego Rangel y German Rangel, por su apoyo, compañía y conocimientos brindados durante esta etapa.

Agradezco a mis maestros y a la Universidad Pontificia Bolivariana por haberme brindado una formación integral.

A mi directora de tesis, María Kopitko por brindarme la oportunidad de ejecutar este proyecto, por su paciencia y su entrega al momento de realizarlo.

A mis compañeros de carrera, agradecerles por su compañía y apoyo durante este ciclo de mi vida.

Y a todas las personas que me acompañaron durante este proceso y que en algún momento me brindaron su apoyo para poder lograr este objetivo.

CONTENIDO

	Pág.
INTRODUCCIÓN	17
1. OBJETIVOS	19
1.1 OBJETIVO GENERAL	19
1.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS	19
2. MARCO TEORICO	20
2.1 ORIGEN DEL CACAO	20
2.2 DESCRIPCIÓN BOTÁNICA DE THEOBROMA CACAO L.	21
2.2.1 Raíz del árbol de cacao	23
2.2.2 Tallo y ramas del árbol de cacao	24
2.2.3 Hojas del árbol de cacao	25
2.2.4 Flor del árbol de cacao	25
2.2.5 Fruto del árbol de cacao	26
2.2.6 Semilla	27
2.3 TIPOS DE CACAO	28
2.3.1 Criollos	29
2.3.2 Forasteros	30
2.3.3 Trinitarios	31
2.4 PROPIEDADES DEL CACAO	31
2.4.1 Usos del cacao	31
2.5 CULTIVO DE CACAO	32
2.5.1 Factores ambientales que afectan el cultivo de cacao	33
2.5.1.1 Precipitación	33
2.5.1.2 Temperatura	34
2.5.1.3 Altitud	34
2.5.1.4 Humedad	34
2.5.1.5 Viento	34

2.5.1.6 Luminosidad	34
2.5.1.7 Suelo	34
2.5.2 Propiedades físicas del suelo	34
2.5.3 Propiedades químicas de suelo	35
2.5.4 Descripción del proceso productivo del cultivo de cacao	355
2.5.4.1 Siembra de cacao	35
2.5.5 Agronomía del cultivo de cacao	36
2.5.5.1 Deshierbas del cultivo de cacao	36
2.5.5.2 Podas de formación del cultivo de cacao	36
2.5.5.3 Podas de mantenimiento del cultivo de cacao	37
2.5.5.4 Fertilización y nutrición de cultivo de cacao	37
2.5.6 Beneficios del cacao	37
2.5.6.1 Cosecha o recolección del cultivo de cacao	37
2.5.6.2 Quiebra de cacao	37
2.5.6.3 Fermentación de cacao	38
2.5.6.4 Secado de las semillas de cacao	39
2.6 CULTIVO DE CACAO EN COLOMBIA	39
2.6.1 Exportaciones de cacao en Colombia	42
2.7 DESVENTAJAS DEL CULTIVO DE CACAO.	43
2.7.1 Plagas y enfermedades del cultivo de cacao	44
2.7.1.1 Monililla	44
2.7.1.2 Escoba de Bruja	45
2.7.1.3 Fitóftora o Mazorca Negra	45
2.7.1.4 Roselinia	46
2.7.2 Impactos ambientales en el cultivo de cacao	46
2.7.3 Contaminación de suelo con metales pesados	46
2.8 CONTAMINACION DE CADMIO EN CULTIVOS DE CACAO	47
2.8.1 Riesgos de la salud por contaminación de cadmio en el cultivo de cacao	49
2.9 REGLAMENTO (UE) NO 488/2014 DE LA COMISIÓN DEL 12 DE MAYO DE 2014 POR EL QUE SE FIJA EL CONTENIDO MÁXIMO DE	

DETERMINADOS CONTAMINANTES EN LOS PRODUCTOS ALIMENTICIOS	50
3. METODOLOGÍA	52
3.1 IDENTIFICACIÓN DE LOS PROCESOS DE CULTIVO, MANEJO DE INSUMOS Y PROCESAMIENTO DE CACAO EN LA FINCA CACAOTERA LA ESPERANZA	53
3.2 DIAGNÓSTICO DE LA FUENTE GENERADORA DE CADMIO EN LA ALMENDRA SECA DE CACAO EN LA FINCA CACAOTERA LA ESPERANZA	53
3.2.1 Análisis de cadmio en la almendra seca de cacao	53
3.2.2 Análisis de cadmio en almendra fresca cacao	55
3.2.3 Análisis de cadmio en las muestras de suelo	57
3.2.4 Análisis de las propiedades fisicoquímicas del suelo	59
3.3 PROPUESTA DE ALTERNATIVAS DEL MANEJO SOSTENIBLE DE CULTIVO Y PROCESAMIENTO DEL CACAO, EVALUANDO LA CONCENTRACIÓN DE CADMIO EN ALMENDRA SECA DE CACAO EN LA FINCA LA ESPERANZA	60
4. RESULTADOS Y ANALISIS	61
4.1 IDENTIFICACIÓN DE LOS PROCESOS DE CULTIVO, MANEJO DE INSUMOS Y PROCESAMIENTO DE CACAO EN LA FINCA DE INTERÉS	61
4.1.1 Procesos de cultivo de cacao	61
4.1.2 Manejo de insumos en el cultivo de cacao	62
4.1.3 Procesamiento de cacao	64
4.2 DIAGNÓSTICO DE LA FUENTE GENERADORA DE CADMIO EN LA ALMENDRA SECA DE CACAO EN LA FINCA CACAOTERA LA ESPERANZA	65
4.2.1 Análisis de cadmio en la almendra seca de cacao	66
4.2.2 Análisis de cadmio en la almendra fresca de cacao	68
4.2.3 Análisis de cadmio en las muestras de suelo	70
4.2.4 Análisis de las propiedades fisicoquímicas del suelo	74

4.2.4.1 Determinación de la textura del suelo	74
4.2.4.2 Determinación de pH en el suelo	76
4.2.4.3 Determinación de la humedad del suelo	77
4.2.4.4 Determinación de la densidad real del suelo	78
4.2.4.5 Determinación de la densidad aparente del suelo	79
4.2.4.6 Determinación de la capacidad de intercambio catiónico del suelo	81
4.2.4.7 Determinación de la capacidad de infiltración del suelo	83
4.2.4.8 Determinación de la granulometría del suelo	84
4.3 PROPUESTA DE LAS ALTERNATIVAS DEL MANEJO SOSTENIBLE DE CULTIVO Y PROCESAMIENTO DEL CACAO, EVALUANDO LA CONCENTRACIÓN DE CADMIO EN ALMENDRA SECA DE CACAO EN LA FINCA SELECCIONADA	91
4.3.1 Identificación y evaluación de los impactos generados por el cultivo de cacao	92
4.3.2 Propuestas de manejo de los residuos orgánicos producidos en el cultivo de cacao en la finca “La Esperanza\	93
4.3.3 Propuesta de manejo de suelo contaminado con cadmio en la finca “La Esperanza”	97
5. CONCLUSIONES	102
6. RECOMENDACIONES	104
BIBLIOGRAFÍA	105
ANEXOS	111

LISTA DE TABLAS

	Pág.
Tabla 1. Producción nacional registrada de cacao en grano por departamentos en Colombia 2002-2014	41
Tabla 2. Empresas de Colombia que participan en el mercado y distribución de chocolate	42
Tabla 3. Exportaciones en Colombia	43
Tabla 4. Concentraciones permisibles de cadmio en productos y derivados del cacao	50
Tabla 5. Parámetros con sus respectivos métodos aplicados a las muestras de suelo	59
Tabla 6. Resultados de concentraciones de cadmio en la almendra seca, En los estratos identificados en la finca la Esperanza	66
Tabla 7. Resultados de concentraciones de cadmio en la almendra fresca	68
Tabla 8. Concentraciones de cadmio en el suelo a profundidad 0-20cm.	71
Tabla 9. Resultado de la clase textural del suelo.	75
Tabla 10. Resultados de pH en el suelo de la finca “La Esperanza”.	76
Tabla 11. Resultados de la determinación de la humedad gravimétrica del suelo.	77
Tabla 12. Resultados de la determinación de densidad real del suelo	79
Tabla 13. Resultados de la determinación de la densidad aparente del suelo	81
Tabla 14. Capacidad de intercambio catiónico del suelo	82
Tabla 15. Capacidad de infiltración del suelo.	83
Tabla 16. Granulometría estratos A, B y C	84
Tabla 17. Granulometría de los estratos D, E y F	85
Tabla 18. Coeficientes de uniformidad y de curvatura.	90
Tabla 19. Programa de manejo de residuos solidos	93

Tabla 20. Programa de manejo de residuos líquidos	955
Tabla 21. Programa de inmovilización de cadmio por medio del incremento del pH en el suelo	97

LISTA DE FIGURAS

	Pág.
Figura 1. Árbol de cacao, <i>Theobroma cacao</i> L.	22
Figura 2. Raíz del cacao	23
Figura 3. Estructura del tallo de la planta de cacao.	24
Figura 4. Hojas del árbol de cacao	25
Figura 5. Flor del árbol de cacao	26
Figura 6. Fruto del árbol de cacao	27
Figura 7. Semilla del fruto de cacao	28
Figura 8. Semilla del fruto de cacao cubierta por la pulpa mucilaginosa	28
Figura 9. Acción microbiana en la pulpa de cacao por medio del proceso de fermentación	39
Figura 10. Ubicación de la finca “La Esperanza”.	52
Figura 11. Proceso de la preparación de la muestra de la almendra seca para análisis de cadmio por medio de absorción atómica	55
Figura 12. Proceso de la preparación de la muestra de la almendra fresca para análisis de cadmio por medio de absorción atómica	56
Figura 13. Proyección de la sombra de la copa del árbol para la toma de muestra de suelo	57
Figura 14. Cuarteo de muestras de suelo	58
Figura 15. Secado de la muestras de suelo	59
Figura 16. Planta de cacao en crecimiento.	62
Figura 17. Elaboración del abono orgánico en la finca “La Esperanza”	63
Figura 18. Esquema del procesamiento de cacao	65
Figura 19. Contenido de cadmio en la almendra seca	67
Figura 20. Contenido de cadmio en la almendra fresca.	69
Figura 21. Contenido de cadmio en el suelo a profundidad de 0-20cm.	72

Figura 22. Resumen de las concentraciones de cadmio en el suelo, almendra seca de cacao y almendra fresca de cacao	73
Figura 23. Curva granulométrica del estrato A.	86
Figura 24. Curva granulométrica del estrato B.	86
Figura 25. Curva granulométrica del estrato C.	87
Figura 26. Curva granulométrica del estrato D.	87
Figura 27. Curva granulométrica del estrato E.	88
Figura 28. Curva granulométrica del estrato F.	88

LISTA DE ANEXOS

	Pág.
Anexo A. Resultados de Análisis de Cadmio en Almendra Seca de Cacao	113
Anexo B. Resultados de Análisis de Cadmio en la Muestra de Almendra Fresca de Cacao	119
Anexo C. Resultados de Análisis de Cadmio en la Muestra de Suelo	125
Anexo D. Resultados de Lectura de Hidrómetro para Determinación de Textura por el Método de Bouyocus	131
Anexo E. Comparación grafica entre contenido de cadmio en pepa seca, fresca, suelo y propiedades fisicoquímicas evaluadas.	132

RESUMEN GENERAL DE TRABAJO DE GRADO

TITULO: DIAGNÓSTICO DE LA FUENTE DE CADMIO EN LA ALMENDRA SECA DE CACAO EN LA FINCA CACAOTERA “LA ESPERANZA”, UBICADA EN EL MUNICIPIO DE EL CARMEN DE CHUCURÍ.

AUTOR(ES): Diana Catalina Rangel Caballero

FACULTAD: Facultad de Ingeniería Ambiental

DIRECTOR(A): María I. Kopytko

RESUMEN

El cacao colombiano ha sido estigmatizado en los mercados internacionales por la presencia de altos niveles de metales pesados, sin embargo, a nivel nacional no se encuentran registros que permitan informar que tan contaminado se encuentra el cacao y el suelo donde se cultiva. Un estudio diagnóstico sobre los niveles de cadmio en la almendra seca del cacao fue realizado en la finca cacaotera “La Esperanza”, ubicada en el municipio de El Carmen de Chucurí, Santander, Colombia, siguiendo los parámetros de la guía metodológica para el muestreo y detección de cadmio en suelos, agua, fertilizantes, almendras de cacao y productos derivados. Las concentraciones de cadmio fueron determinadas por absorción atómica con el método STÁNDAR METHODS 3111B y EPA 3051^a para el suelo y STÁNDAR METHODS 3111B y AOAC999.10 para la almendra fresca y seca. Los resultados de los análisis registran concentraciones de cadmio en la almendra seca entre 1,062 y 36,1665mg/kg, en la almendra fresca valores entre 2,56 y 19,2 mg/kg y en el suelo a una profundidad de 0-20cm valores entre 3,39 y 13,88 mg/kg. Los hallazgos de este estudio indican que la fuente de este metal en fruto seco está relacionada con el uso de insumo ABIMGRA, ya que uno de sus ingredientes químicos (roca fosfórica) está altamente relacionado con las concentraciones de cadmio en el suelo. Con el fin de reducir las concentraciones de cadmio en el suelo y el producto final se plantearon alternativas sostenibles para cumplir con el reglamento (UE) No 488/2014 de la comisión del 12 de mayo de 2014, para la exportación del producto.

PALABRAS CLAVES:

Cacao, cultivos de cacao, cadmio, toxicidad, sostenibilidad.

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 "LA ESPERANZA", SITUATED IN THE MUNICIPALITY OF EL CARMEN DE CHUCURÍ.

AUTHOR(S): Diana Catalina Rangel Caballero

FACULTY: Facultad de Ingeniería Ambiental

DIRECTOR: María I. Kopytko

ABSTRACT

Colombian cocoa has been stigmatized in the international market due to the presence of high levels of heavy metals, however, in the national context there is no record that allows to show how contaminated the cocoa and soil are. A diagnostic study about the cadmium levels in the dry almond was carried out in the cocoa farm "La Esperanza", located in the municipality of El Carmen de Chucuri, Santander, Colombia, following the parameters of the methodological guide for cadmium sampling and detection in soil, water, fertilizers, cocoa beans and derivative products. Cadmium concentrations were determined by atomic absorption with the STÁNDAR METHODS 3111B y EPA 3051^a method for soil and the STÁNDAR METHODS 3111B y AOAC999.10 for the dry almond. The results from the analyses register cadmium concentrations in the dry almond between 1,062 y 36,1665mg/kg, in the case of the fresh almond values between 2, 56 y 19, 2 mg/kg and in soil, in a 0-20cm depth, values between 3, 39 y 13, 88 mg/kg. This study findings demonstrate that the source of this metal in the nut is related to the use of fertilizer ABIMGRA, due to one of its chemical ingredients (phosphoric rock) is highly associated to the cadmium concentrations in soil. With the aim of reducing the cadmium concentrations in both, soil and final product, a number of sustainable strategies were proposed in order to obey the Regulation (EU) No 488/2014 of the Commission of May 12th 2014, for the exportation of the product.

KEYWORDS:

Cocoa, cacao's crop, cadmium, toxicity, sustainability

V° B° DIRECTOR OF GRADUATE WORK

INTRODUCCIÓN

El cacao es producido por diferentes países en el mundo, sin embargo se concentra especialmente en las zonas tropicales, como, en África del Oeste, Asia, Sur y Centro América. En Colombia, el primer productor ha sido el departamento de Santander, especialmente en los municipios de El Carmen y San Vicente de Chucurí, característicos no solo por la cantidad, sino también por la calidad del producto que producen.

No obstante en la actualidad el cacao colombiano ha sido estigmatizado en los mercados internacionales por el reporte de la presencia de altos niveles de metales pesados, como el cadmio, plomo y zinc, los cuales son perjudiciales para la Salud, sin embargo, a nivel nacional no se encuentran registros que permitan informar que tan contaminado se encuentre el cacao y el suelo donde se cultiva el mismo.¹

A raíz de esta problemática, un pequeño grupo de cacaoteros del municipio del Carmen de Chucuri, Santander, decidió realizar el estudio para determinar la existencia de concentraciones de Cadmio en la almendra seca de cacao, puesto que esta es la fuente de ingresos y el sustento para varias familias trabajadoras de este cultivo, facilitándoles una solución para que su producto pueda cumplir con las normas exigidas en el reglamento (UE) N° 488/2014 de la comisión del 12 de mayo de 2014, la cual modifica el reglamento (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. Y puedan seguir exportando su producto y dejando una buena imagen de lo que es la agricultura en nuestro país.

¹ MARTINEZ, Genny; PALACIO, Carolina. Determinación de metales pesados cadmio y plomo e suelos y granos de cacao fresco y fermentado mediante espectroscopia de absorción atómica de llama. Bucaramanga. 2010. P 20-22. QUIMICA, UIS, Facultad de Ciencias, Escuela de Química.

Con este estudio se identificó diferentes problemas en los procesos del cultivo, manejo de insumos y procesamiento de cacao en la finca “La Esperanza”. A partir de esto se realizó el diagnóstico de la fuente generadora de cadmio en la almendra seca de cacao. Y así, se propuso alternativas de manejo sostenible del cultivo y procesamiento del cacao, para darle una mejor calidad al producto, redimiendo la problemática que produce que se incrementen las concentraciones de cadmio en el cacao y de las posibles afectaciones que puede traer el exceso de este elemento en la salud humana.

1. OBJETIVOS

1.1 OBJETIVO GENERAL

Diagnosticar la fuente de cadmio en la almendra seca de cacao en la finca cacaotera “La Esperanza”, 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 La Esperanza.
- Proponer las alternativas del manejo sostenible de cultivo y procesamiento del cacao.

2. MARCO TEORICO

2.1 ORIGEN DEL CACAO

La palabra cacao proviene del maya “kaj” que se refiere a amargo y de “kab” que se refiere a jugo. Estas palabras, debido a su fonética, sufrieron una serie de transformaciones en el idioma castellano hasta que llegaron a “cacaotal”, que luego pasó a cacao.² En el lenguaje maya el cacao representaba el fuego, la fuerza y rojo, por lo tanto se dice “cac” que hace referencia al color rojo debido a la cascara del cacao y “cau” que hace referencia a la fuerza y fuego, por otro lado en el lenguaje azteca el cacao se conocía como “xocolatl”, donde “xococ” significa agrio y “atl” significa agua.³

La leyenda azteca sitúa el origen del cacao en el paraíso, en el jardín del dios quetzalcoatl, de donde fue traído a la tierra para deleite de los hombres, probablemente debido a esto el naturalista Carl Linneo, en 1753, por primera vez clasificó el árbol de cacao con el nombre de *Theobroma cacao* L. lo cual significa fruto de los dioses, hoy en día se sigue conociendo con este nombre.

Los Mayas fueron el primer pueblo conocido que se dio cuenta de las valiosas cualidades de la almendra de cacao. En ese tiempo, el precio del cacao debió haber sido alto, ya que las almendras se usaban para comprar esclavos y objetos de lujo, además de ser apreciadas como alimento. Los españoles fueron los primeros en llevar cacao a Europa, y fueron los precursores de su introducción como cultivo agrícola en muchos países de América.⁴

² ENRIQUEZ, Gustavo, Curso sobre el cultivo de cacao: historia del cacao, Turrialba: CATIE, 1985. p 7. ISBN 9977-951-52-7

³ EGUIGUREN, Andrea; CARMONA, Jonathan. Estudio del cacao y propuesta gastronómica de autor: variedades, características y propiedades del cacao, Quito, 2012. P 2, Ingeniero gastronómico, Universidad Internacional del Ecuador, escuela de gastronomía.

⁴ D. H. URQUHART. Cacao: introducción, Turrialba: editorial SIC, 1963. p 1

El cacao (*Theobroma cacao* L.) es un árbol de pequeña talla originario del continente de América, aunque es inadecuado decir a ciencia cierta el lugar de origen exacto ya que los primeros habitantes del continente llevaban una vida nómada. Según estudios de Pound y Cheesman (1934), el cacao es originario de América del Sur, del área del alto Amazonas, que comprende países como Colombia, Ecuador, Perú, y Brasil, donde se ha encontrado una alta variabilidad.⁵

2.2 DESCRIPCIÓN BOTÁNICA DE THEOBROMA CACAO L.

El árbol de cacao (Ver Figura 1) pertenece al orden *malvales*, familia *esterculiácea*, tipo *espermatofita*, subtipo *angiospermo*, clase *dicotiledóneas*, subclase *dialipétalas*, género *theobroma*, especie cacao.⁶ Para el año de 1914, el botánico Pérez Arbeláez clasifica el cacao como una planta *hidromegaterma*, es decir, que para que su producción se de en condiciones ideales necesita de alta humedad relativa y de altas temperaturas, con oscilaciones mínimas en ambos factores, por lo tanto este árbol perenne está limitado a las regiones que se ubican a 20° de latitud Sur y 20° de latitud Norte.

⁵ CHEESMAN, E.E. y POUND, F.J. Further Notes on Criterion of Selection in Cacao. Citado por Batista, Lépido. Guía Técnica el Cultivo de Cacao, Santo Domingo: CEDAF, 2009. P 12

⁶ MEJIA, Luis; ARGUELLO, Orlando. Tecnología para el mejoramiento del sistema de producción de cacao, Bucaramanga: CORPOICA, 2000. P 10

Figura 1. Árbol de cacao, *Theobroma cacao* L.



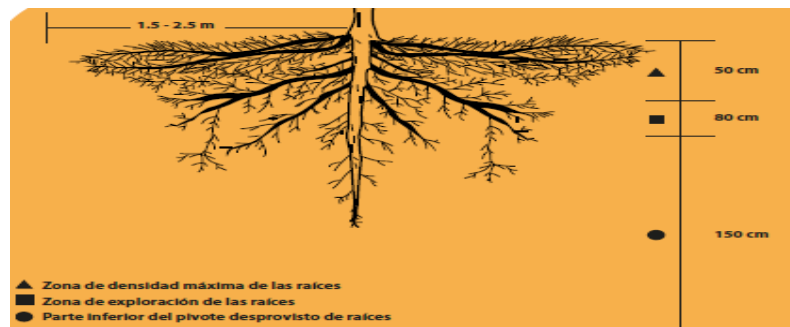
Fuente: Autor, tomada en finca “la esperanza”, Carmen del Chucurí. 2016

Generalmente se puede describir como un árbol o arbusto semicaducifolio, es decir, que es un arbusto que pierde cierta parte de sus hojas en épocas de sequía o de temperatura bajas. El árbol de cacao es de pequeña talla, perennifolio (conserva su follaje todo el año), de 4 a 7 m de altura estando cultivado y silvestre puede crecer hasta 20 m de altura. Como otras especies tropicales, el árbol de cacao presenta un dimorfismo de ramas, ya que al tener una altura aproximada de 1,5 metros de su único eje vertical, detiene el crecimiento apical y emite en la parte superior de tres a cinco ramales laterales, formando lo que se llama una “horqueta”.

El árbol del cacao es una planta fanerógama, es decir, tiene una estructura completa, ya que presenta raíz, tallo, hojas, flores, fruto y semillas. Las cuales se describen a continuación:

2.2.1 Raíz del árbol de cacao. La raíz principal del árbol de cacao es pivotante y puede lograr de 1.5 - 2.0 m. de profundidad, favoreciendo el reciclaje de nutrientes y de un extenso sistema superficial de raíces laterales, las cuales en su mayoría se encuentran en los primeros 30 a 50 cm de profundidad y se extiende por dos o tres metros alrededor del árbol (Ver Figura 2). Esta característica es muy importante evaluar al momento de planificar la fertilización de la planta, ya que el árbol de cacao aprovecha toda la hojarasca que se encuentra en el suelo, para su vida.⁷

Figura 2. Raíz del cacao

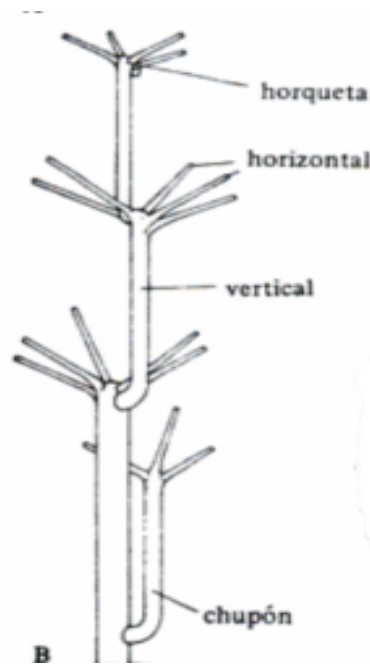


Fuente: ECHEVERRI, Jorge. Tecnología moderna en la producción de cacao: manual para productores orgánicos, 2013.

⁷ ECHEVERRI, Jorge. Tecnología moderna en la producción de cacao: manual para productores orgánicos, San José: MAG. 2013. P 13.

2.2.2 Tallo y ramas del árbol de cacao. El árbol de cacao presenta un tallo el cual no es continuo puesto que a una altura aproximada de 1 metro, emergen de tres a cinco ramas laterales, denominadas ramas de crecimiento plagiotrópico, que conforman la horqueta o verticilo. El crecimiento del tronco en altura se suspende en tiempo hasta que otra yema adquiere desarrollo y forma lo que se llama chupón, el cual se comporta en forma ortotrópica, es decir, con crecimiento vertical, para así formar un segundo verticilo, de esta manera el árbol puede seguir creciendo casi indefinidamente. El crecimiento de las ramas es indeterminado y crecen debido a varios factores de los cuales el agua y la temperatura son los más importantes.⁸ (Ver Figura 3)

Figura 3. Estructura del tallo de la planta de cacao.



Fuente: LEÓN, Jorge. Botánica de los cultivos tropicales, 3ª. Ed. 2000.

⁸ ENRIQUEZ. Gustavo, Curso sobre el cultivo de cacao: historia del cacao, Turrialba: CATIE, 1985. P 20. ISBN 9977-951-52-7

2.2.3 Hojas del árbol de cacao. En las hojas del árbol de cacao (Ver Figura 4) no se encuentran diferencias de forma entre las que brotan de ramas ortotrópicas o plagiotrópicas, excepto que el pecíolo en las ramas ortotrópicas es más largo con un pulvinus bien marcado y el de las ramas plagiotrópicas es más pequeño con un pulvinus menos pronunciado. Tienen copa baja, densa y extendida, las hojas son grandes, alternas, colgantes, elípticas u oblongas, tienen un tamaño de 20 a 35 cm de largo por 4 a 15 cm de ancho, de punta larga, ligeramente gruesas, margen liso, verde oscuro en el haz y más pálidas en el envés, cuelgan de un pecíolo⁹, aunque estas características puede variar según el tipo de cacao.

Figura 4. Hojas del árbol de cacao



Fuente: BATISTA, Lépido. Guía Técnica el Cultivo de Cacao. 2009

2.2.4 Flor del árbol de cacao. La flor del cacao (Ver Figura 5) es hermafrodita y se forman a lo largo de los troncos, en grupos llamados “cojines florales” que pueden llegar a tener hasta 40 o 50 flores. La flor del cacao no siempre se fecunda a sí misma, sino que requiere del polen de otra flor, de otra planta, para que ocurra su polinización y se forme la mazorca.¹⁰ La flor del cacao está constituida en su

⁹ CONABIO: Comisión Nacional para el Conocimiento y uso de la Biodiversidad. Consultado el 07 de abril 2016. Disponible en: http://www.conabio.gob.mx/conocimiento/info_especies/arboles/doctos/68-sterc03m.pdf

¹⁰ ECHEVERRI. Jorge. Tecnología moderna en la producción de cacao: manual para productores orgánicos, San José: MAG. 2013. P 14

estructura floral por 5 sépalos, 5 pétalos; el androceo conformado por 10 filamentos de los cuales 5 son fértiles (estambres) y los otros 5 son infértiles (estaminoides); el gineceo (pistilo) está formado por un ovario súpero con 5 lóculos fusionado desde la base donde cada uno puede contener de 5 a 15 óvulos, dependiendo del genotipo.¹¹

Figura 5. Flor del árbol de cacao.



Fuente: BATISTA, Lépido. Guía Técnica el Cultivo de Cacao. 2009

2.2.5 Fruto del árbol de cacao. El fruto es el resultado de la maduración del ovario una vez fecundado, el cual está sostenido por un pedúnculo leñoso, que es el resultado de la maduración del pedicelo de la flor. El fruto es una baya de tamaño, color y forma variada, comúnmente denominada "mazorca", su corteza es dura, generalmente oblonga, ovalada o amelonada, de color amarillo, rojo o purpúrea, de 15 a 30 cm de largo por 7 a 10 cm de ancho aproximadamente, superficie lisa o rugosa con comisuras longitudinales (Ver Figura 6); cada mazorca contiene entre

¹¹ BATISTA, Lépido. Guía Técnica del Cultivo de Cacao: Desarrollo del cultivo, Santo Domingo: CEDAF, 2009. P 66

30 y 40 semillas dispuestas en placentación axial y cubiertas de una pulpa.¹² Tanto la forma como el tamaño de los frutos varían de acuerdo al medio ambiente donde crece y se desarrolla el árbol y a sus características genéticas, así como el manejo en la plantación.

Figura 6. Fruto del árbol de cacao.



Fuente: Autor, tomada en finca "la esperanza", Carmen del Chucurí.

2.2.6 Semilla. Las semillas del árbol de cacao tienen un tamaño de una almendra, de 2 a 3 cm de largo, tiene un color chocolate o púrpuro y de sabor amargo (Ver Figura 7). No tiene albumen y están recubiertas por una pulpa mucilaginosa de color blanco de sabor dulce y acidulado (Ver Figura 8). Todo el volumen de la semilla en el interior está prácticamente ocupado por los 2 cotiledones del embrión. Se les llama vulgarmente "habas" o "granos" de cacao. Ricas en almidón, en proteínas, en materia grasa, lo cual les confiere un valor nutritivo real.¹³ La semilla del cacao no necesita un período de reposo para su germinación, que puede ocurrir inmediatamente el fruto alcanza su madurez y el mucílago que la cubre desaparece.

¹² RIOS, Diego. Descripción de la diversidad entomológica asociada a la flor de *Theobroma cacao*: Descripción de *Theobroma cacao*, Quito, 2015, p 11, Licenciado en Ciencias Biológicas, Pontificia Universidad Católica del Ecuador, Facultad de Ciencias Exactas y Naturales, Escuela de Ciencias Biológicas.

¹³ CONABIO: Comisión Nacional para el Conocimiento y uso de la Biodiversidad. Consultado el 07 de abril 2016. Disponible en: http://www.conabio.gob.mx/conocimiento/info_especies/arboles/doctos/68-sterc03m.pdf

Figura 7. Semilla del fruto de cacao.



Fuente: Autor, tomado en finca “la esperanza”, Carmen del Chucurí.

Figura 8. Semilla del fruto de cacao cubierta por la pulpa mucilaginosa.



Fuente: BATISTA, Lépido. Guía Técnica el Cultivo de Cacao. 2009

2.3 TIPOS DE CACAO

Desde el concepto botánico se identifican dos tipos de poblaciones básicas de cacao y así mismo se determina dos calidades de grano, los cuales son los tipos criollos y los forasteros. Estos dos grupos primitivos originaron el tercer tipo de cacao que se conoce como trinitario.

2.3.1 Criollos. El cacao criollo fue bautizado así por los españoles al llegar a México. Es un cacao reconocido como fino de gran calidad, por su agradable sabor y exquisito aroma, reservado para confección de chocolates finos. Se considera que el grupo de cacaos criollos fue domesticado por las culturas prehispánicas Olmecas y Mayas, teniendo su centro dispersión por el sur de México, Centro América, parte de Colombia y Venezuela.¹⁴ El cacao Criollo comprende árboles delgados; los frutos tienen típicamente una cubierta delgada y escultrada y una pigmentación rojiza. Las formas del cacao criollo muestran signos de depresión endogámica y, frecuentemente, más bajos rendimientos y mayor susceptibilidad a plagas.¹⁵ Del 5% al 10 % de la producción mundial de cacao se origina de las formas Criollo.

Las características principales de cacao criollo son las siguientes:

- Cotiledones blancos.
- Flores de color rosa pálido.
- Mazorcas de color rojo o verde antes de la madurez, de forma alargada, puntiagudo, sobre todo acentuado en la parte inferior, acanalado formando diez surcos muy profundo repartidos en grupos de cinco, uno de los menos acentuado.
- La piel de la mazorca de cacao es muy rugosa y delgada permitiendo cortarla con facilidad.
- Sus semillas son gruesas, casi redondas, con los cotiledones de *color blanco*.¹⁶

¹⁴ MARTINEZ, Sandra; NASSAR, Basem. Estudio de costo beneficio de secadores de cacao para la cooperativa San Fernando de Omoa: tipos de cacao, San Pedro Sula, 2013, P 15, Master en Dirección Empresarial, Universidad Tecnológica Centroamericana, facultad de postgrado.

¹⁵ DOSTERT, Nicolás; ROQUE, José. Hoja botánica: Cacao, Lima: Giacomotti Comunicación Gráfica S.A.C. p 5, 2012

¹⁶ EGUIGUREN, Andrea; CARMONA, Jonathan. Estudio del cacao y propuesta gastronómica de autor: variedades, características y propiedades del cacao, Quito, 2012. P 35. Ingeniero gastronómico, Universidad Internacional del Ecuador, escuela de gastronomía.

2.3.2 Forasteros. El tipo de cacao forastero es de menor calidad en relación al sabor y el aroma. No obstante, presentan otras condiciones que los hacen ser apetecidos, como es el contenido de grasa. Sus frutos tienden a ser amelonados, de cáscara lisa y surcos poco profundos. El grano es más pequeño que el de los criollos, presenta color violeta oscuro, su sabor es amargo y el aroma poco consistente. Este tipo de cacao se cultiva en Brasil, África Occidental y Asia¹⁷. El grupo Forastero cuenta con dos subgrupos bien definidos: Forasteros del Alto Amazonas, los cuales son provenientes de la parte alta de la cuenca Amazónica, presenta frutos de diversas formas y tamaños, y almendras de color violeta. Por otro lado los Forasteros del bajo Amazonas, presentan frutos de forma amelonada, corta de color verde y amarillo cuando alcanzan su madurez, superficie lisa, de corteza gruesa y difícil de cortar.¹⁸ Con cerca del 80% de la producción mundial de cacao, el grupo de cultivares Forastero es el grupo comercialmente más importante.

Las características de los Forasteros son las siguientes:

- Flor pigmentadas de violeta.
- Mazorcas de color verde, amarillas en la madurez, poco acanalada, superficie lisa, extremidades redondeadas.
- Piel de la mazorca del cacao es muy espesa y difícil de cortar.
- La semilla es un poco aplastada y es de color púrpura.¹⁹

¹⁷ ECHEVERRI. Jorge. Tecnología moderna en la producción de cacao: manual para productores orgánicos, San José: MAG. 2013. P 17.

¹⁸ RUIZ, Ximena. Diversidad genética de cacao *Theobroma cacao* L. con marcadores moleculares microsatélites, Palmira, 2014. P 18. Magister en Ciencias Agrarias, Universidad Nacional de Colombia, facultad de Ciencias Agrarias, escuela de Postgrados.

¹⁹ ECHEVERRI. Jorge. Op. Cit. P 37.

2.3.3 Trinitarios. Estas formas de cacao son de origen híbrido entre formas Criollo y Forastero, las que desde mediados del siglo XVIII han surgido en los territorios de cultivo de cacao. El grupo es correspondientemente muy heterogéneo genéticamente y, morfológicamente, muy polimorfo, no siendo posible delimitarlo a través de características comunes. Las plantas son normalmente muy robustas con frutos verdes o pigmentados y con semillas violeta claro a violeta oscuro. El 10—15 % de la producción mundial de cacao se origina en las formas Trinitario.²⁰

Es difícil definir sus características principales ya que el cacao trinitario es una población poliforme ya que se pueden encontrar mezclas entre el criollo y forastero, su calidad varía entre media y superior.

2.4 PROPIEDADES DEL CACAO

El cacao tiene diferentes propiedades para el beneficio del ser humano, tales como nutritivas ya que es una excelente fuente de energía sobre todo por su alto contenido en hidratos de carbono y grasas, medicinales puesto que tiene vitaminas y minerales que son muy útiles para estimular diversos aspectos del sistema orgánico humano, además El cacao no solo forma parte de la medicina sino también de la industria estética.

2.4.1 Usos del cacao. El cacao se utiliza para diversos propósitos como:

- **Aromatizante:** La semilla encierra un aceite esencial que le da un sabor aromático particular.

²⁰ DOSTERT, Nicolás; ROQUE, José. Hoja botánica: Cacao, Lima: Giacomotti Comunicación Gráfica S.A.C. p 5, 2012

- Comestible: Las semillas se muelen y tuestan para obtener la cocoa y el chocolate, sustancias apreciadas en la fabricación de dulces, confituras, helados y bebidas. La industria de chocolate en Europa se desarrolló a lo largo del siglo XIX.
- Cosmético: La manteca de cacao se usa para elaborar cosméticos, perfumería. Las semillas contienen hasta 50 % de aceite.
- Estimulante (semilla). El contenido de alcaloides tales como teobromina (1.5 a 3 %) y cafeína, le confiere propiedades estimulantes.
- Medicinal: las semillas, hojas y raíces contienen los alcaloides teobromina y cafeína que tiene propiedades diuréticas y vasodilatadoras. Se ha encontrado actividad antitumoral en la raíz y en la corteza. La grasa que contienen las semillas (manteca de cacao) se utilizan en farmacia como emoliente y para fabricar ungüentos y pomadas. Resequedad en la piel, quemaduras, caspa, disentería, sarampión, mordedura de serpiente. La teobromina es tóxica para los caballos.²¹

2.5 CULTIVO DE CACAO

El cacao puede ser cultivado tanto como monocultivo, así como en plantaciones forestales y en cultivos frutales intercalados. Tradicionalmente, el cacao se cultiva a la sombra de bosques raleados o en remanentes de bosque y se mantiene más o menos la estructura natural del bosque. El cultivo de cacao en monocultivos, es decir, cultivos intensivos sin sombreado, se realiza especialmente en África occidental sobre bosques talados o terrenos de barbecho. La instalación de las plantaciones se efectúa normalmente con sombreado temporal con, por ejemplo, matas de plátano o leguminosas diversas.²²

²¹ CONABIO: Comisión Nacional para el Conocimiento y uso de la Biodiversidad. Consultado el 07 de abril 2016. Disponible en: http://www.conabio.gob.mx/conocimiento/info_especies/arboles/doctos/68-sterc03m.pdf

²² DOSTERT, Nicolás; ROQUE, José. Hoja botánica: Cacao, Lima: Giacomotti Comunicación Gráfica S.A.C. p 12, 2012.

En el cultivo de cacao generalmente la temperatura y las lluvias son consideradas como los factores críticos del crecimiento ya que se recomienda realizar la plantación al comienzo del periodo de lluvias, con suficiente humedad en el suelo. Así mismo, el viento, la radiación solar y la humedad relativa afectan muchos procesos fisiológicos de la planta.

2.5.1 Factores ambientales que afectan el cultivo de cacao. Entre los factores ambientales que tienen mayor incidencia para un buen desarrollo del cultivo de cacao se destacan los siguientes:

2.5.1.1 Precipitación. La precipitación se refiere no sólo a la cantidad de lluvia que cae, sino también a su intensidad y frecuencia. Se considera que los promedios anuales de lluvia adecuados para el cultivo deben estar entre 1500 y 3000 milímetros. Presenta baja tolerancia al déficit de agua y en los meses con menos de 100 mm se genera déficit hídrico lo que afecta la floración y brotación de hojas.

2.5.1.2 Temperatura. La temperatura promedio anual debe estar en un rango entre 23 a 28° C, siendo el óptimo de 25.5°C. El período de maduración de los frutos en meses calurosos puede tardar 145 días, mientras que en los meses fríos tarda hasta 157 días.

2.5.1.3 Altitud. Se cultiva casi desde el nivel del mar y hasta los 1,200 msnm, siendo el óptimo de 300 a 400 msnm y de 600 a 800 msnm.

2.5.1.4 Humedad. El cultivo de cacao necesita una humedad relativa anual promedio de entre el 70 y 80%.

2.5.1.5 Viento. El cultivo del cacao requiere estar libre de vientos fuertes persistentes a lo largo del ciclo productivo.

2.5.1.6 Luminosidad. La exigencia de luminosidad es variable dependiendo del ciclo productivo en el que se encuentre siendo del 40 al 50% para el cultivo en formación y del 60 al 75% para plantación adulta.

2.5.1.7 Suelo. El cacao es una de las plantas tropicales más exigentes con respecto a las propiedades físicas y químicas que presente el suelo, aunque es capaz de adaptarse a los más variados suelos.

2.5.2 Propiedades físicas del suelo. Las propiedades físicas del suelo relevantes son la profundidad del terreno, la cual debe ser de 0.80 a 1.50 metros. Además debe tener una textura: mediana, es decir, suelos francos, francos, franco-arcillosos o franco-arenosos. La tolerancia del cultivo de cacao a suelos arcillosos es mediana, lo cual se relaciona con una baja aireación y anegamiento. La estructura del suelo de un cultivo de cacao debe mantener buena retención de humedad.

2.5.3 Propiedades químicas de suelo. Entre las propiedades químicas del suelo importantes para el cultivo de cacao se encuentran: pH, cual debe encontrarse en un rango óptimo de 6.0 a 7.0. Porcentaje de materia orgánica cual debe estar en un rango menos de 3%. La relación carbono/nitrógeno (C/N) debe estar 1:9. Capacidad de intercambio catiónico requiere más de 12 miliequivalentes por 100 g de suelo en la superficie y más de cinco miliequivalentes por 100 g de suelo en el subsuelo. Se recomienda que tenga contenidos de calcio mayor a 8 meq por 100 g de suelo, Magnesio mayor a 2 meq por 100 g de suelo y Potasio mayor a 0.24 meq por 100 g de suelo.²³

2.5.4 Descripción del proceso productivo del cultivo de cacao. Para el establecimiento de cultivos comerciales de cacao se recomienda utilizar la propagación asexual por injerto, con lo cual se logra precocidad, uniformidad, calidad y alta productividad. La injertación se puede realizar en campo o en vivero, para lo cual se debe tener en cuenta los ciclos hídricos de la zona, procurando que la plántula se lleve a campo en la temporada de lluvias. La semilla de cacao utilizada para este proceso se conoce como patronaje y tiene una viabilidad muy corta (cinco días) con alto porcentaje de germinación (mayor al 90%). Se recomienda realizar la siembra sin demora y por ello en la finca se debe tener preparado el umbráculo o cobertizo del vivero y las bolsas llenas.²⁴

2.5.4.1 Siembra de cacao. El cultivo de cacao se consigue iniciar en áreas con rastrojos, donde se puedan seleccionar algunas especies que ayuden como sombrío temporal; en praderas, bajo cultivos de plátano o banano y en renovación de plantaciones de cacao abandonadas, viejas e improductivas. La distancia de siembra recomendada es de tres por tres metros en cuadro o triángulo, para una densidad aproximada de 1.100 a 1.280 plantas por hectárea.²⁵

²³ LÓPEZ, Procopio. Programa estratégico para el desarrollo rural sustentable de la región sur-sureste de México: trópico húmedo, Huimanguillo: Centro de Investigación Regional – golfo centro. 2011. P 3.

2.5.5 Agronomía del cultivo de cacao. Bajo un adecuado manejo técnico de cacao, este puede producir al menos 1.500 kg de grano seco por hectárea al año. Inicia su producción al tercer año con 300 kg, un incremento gradual hasta llegar al pico de producción (1.500 kg) al sexto año además con una producción constante por 25 años aproximadamente. La cosecha se realiza paulatinamente durante todo el año, con dos picos de producción entre abril y junio y octubre y enero en zonas con régimen de lluvia bimodal, en régimen unimodal la cosecha va de mayo a diciembre.

Para mantener un apropiado manejo del cultivo de cacao se deben realizar diferentes procesos para su mantenimiento, los cuales se describen adelante:

2.5.5.1 Deshierbas del cultivo de cacao. A partir de la siembra del cacao y de los sombríos, se debe mantener libre de malezas la zona de la planta (el plato) y evitar el desarrollo de arvenses que compitan con el cultivo. En caso de malezas agresivas se recomienda usar un herbicida específico por una sola aplicación. Los controles de malezas se realizan manualmente o con guadaña.

2.5.5.2 Podas de formación del cultivo de cacao. Se deben limitar al corte de chupones, ramas entrecruzadas y agobiadas o con crecimiento hacia el suelo, procurando una adecuada arquitectura y balance del árbol que le permita maximizar su área productiva. Este tipo de poda se realiza durante los dos primeros años del cultivo.

²⁴ COMPAÑÍA NACIONAL DE CHOCOLATES S.A.S, El cultivo de cacao, 2012, (En línea) consultado el 10 de abril 2016. Disponible en: https://chocolates.com.co/sites/default/files/default_images/paquete_tecnologico_cacao_cnch_enero_2012.pdf

²⁵ *Ibíd.*

2.5.5.3 Podas de mantenimiento del cultivo de cacao. Consiste principalmente en podas laterales y de altura para evitar entrecruzamiento y crecimiento excesivo del árbol de más de 3,5 m; complementada con la eliminación de ramas con tendencia hacia el suelo, quebradas, entrecruzadas y enfermas.

2.5.5.4 Fertilización y nutrición de cultivo de cacao. Se recomienda seguir las recomendaciones de un técnico basado en un análisis de suelo. El cacao responde muy bien a la aplicación de abonos orgánicos (materia orgánica y biofertilizantes), nitrógeno, fósforo y elementos menores como boro, cobre y zinc.²⁶

2.5.6 Beneficios del cacao. Los beneficios del cacao hacen referencia a recolección y los procesos que se deben llevar a cabo para la obtención del producto final, los cuales adelante se describen:

2.5.6.1 Cosecha o recolección del cultivo de cacao. La cosecha se inicia cuando el fruto o mazorca está maduro. La madurez de la mazorca se aprecia por su cambio de pigmentación: de verde pasa al amarillo o del rojo y otros similares al amarillo anaranjado fuerte o pálido.

2.5.6.2 Quiebra de cacao. Se denomina quiebra a la operación que consiste en partir la mazorca y extraer las almendras las cuales una vez separadas de la placenta, serán sometidas a la fermentación. El tiempo entre el desgrane y la puesta en fermentación no debe exceder las 24 horas.²⁷

²⁶ *Ibíd.*

²⁷ EGUIGUREN, Andrea; CARMONA, Jonathan. Estudio del cacao y propuesta gastronómica de autor: variedades, características y propiedades del cacao, Quito, 2012. P 61-62. Ingeniero gastronómico, Universidad Internacional del Ecuador, escuela de gastronomía.

2.5.6.3 Fermentación de cacao. Denominado también beneficio, cura o preparación. Es un proceso bioquímico interno y externo de la semilla en la que ocurren cambios notables en su estructura. Esta etapa del beneficiado consiste en depositar el cacao fresco en cajones de madera para inducir las transformaciones físicas y bioquímicas dentro y fuera de las almendras (granos). El proceso dura normalmente de 3 hasta 7 días dependiendo del tipo de cacao y de las condiciones climáticas de la zona. Durante la fermentación se realizan volteos para que todos los granos generen una temperatura por encima de 40 °C, este incremento de temperatura promueve la generación de sustancias precursoras del aroma y sabor característicos del chocolate.²⁸

El proceso de fermentación es un proceso de reacciones químicas, mediante las cuales los azúcares contenidos en la pulpa se transforman en productos como agua, alcohol etílico y ácido acético, entre otras sustancias, por la acción de las levaduras que son microorganismos de carácter anaeróbico. En una segunda fase y ayudado por otros organismos, esta vez bacterias aeróbicas, desarrollan otros procesos y sucede transformación del alcohol en el ácido acético (Ver Figura 9), y este penetra el grano y produce cambios que forman los precursores del sabor a chocolate.²⁹

²⁸ MARTINEZ, Sandra; NASSAR, Basem. Estudio de costo beneficio de secadores de cacao para la cooperativa San Fernando de Omoa: tipos de cacao, San Pedro Sula, 2013. P 20-21. Master en Dirección Empresarial, Universidad Tecnológica Centroamericana, facultad de postgrado.

²⁹ LAMBERT, Smilja. FERMENTACIÓN DEL CACAO, ASPECTOS GENERALES. (En línea). Consultado el 02 de junio 2016. Disponible en: http://www.ruta.org/CDOC-Deployment/documentos/19_Fermentacion_del_Cacao.pdf

Figura 9. Acción microbiana en la pulpa de cacao por medio del proceso de fermentación.



Fuente: LAMBERT, Smilja. FERMENTACIÓN DEL CACAO. 2016

2.5.6.4 Secado de las semillas de cacao. El secado consiste en bajar el contenido de humedad de las almendras (granos) fermentadas. No recomienda que la humedad de la almendra este por debajo del 6% ya que las almendras se vuelven quebradizas y sufren durante el transporte. De igual forma se debe realizar el secado adecuado puesto que las semillas son muy propensas a contaminarse de hongos lo cual constituye uno de los peores defectos de la calidad de cacao.³⁰

2.6 CULTIVO DE CACAO EN COLOMBIA

El cacao colombiano fue declarado como fino y de aroma por el internacional Cocoa Organization (ICCO) en el año 2011, donde solo el 5% del grano mundialmente

³⁰ MARTINEZ, Sandra; NASSAR, Basem. Estudio de costo beneficio de secadores de cacao para la cooperativa San Fernando de Omoa: tipos de cacao, San Pedro Sula, 2013. P 20-21. Master en Dirección Empresarial, Universidad Tecnológica Centroamericana, facultad de postgrado.

comercializado se encuentra en esta categoría. Sin embargo, debido a la alta demanda doméstica, históricamente los agricultores colombianos han encontrado pocos incentivos para producir cacao de alta calidad y exportarlo a los mercados internacionales.³¹

La tecnología empleada actualmente en Colombia para los cultivos del grano es de nivel bajo. En la etapa productiva se realizan actividades como control de malezas y plagas, poda y recolección de la cosecha, pero sólo un pequeño porcentaje de agricultores hacen actividades de fertilización, riego, drenaje y siembra. Además debido al precio interno se obtienen mínimas ganancias, lo que implica que se abandone el cultivo a la suerte y se recoja la cosecha sin invertir en tecnología, tiempo, dinero y capital humano para su mantenimiento.³²

El país cuenta con más de 160 mil hectáreas cultivadas de cacao, localizadas en su mayoría en los departamentos de Santander, Arauca, Antioquia, Huila, Tolima y Meta, las cuales generan unos 80 mil empleos directos.³³

El área sembrada en los últimos ocho años ha ascendido 35%, pasando de 115.800 hectáreas en 2007 a 157.000 hectáreas en 2014. La producción de cacao ascendió 2,12%, pasando de 46.739 toneladas en 2013 a 47.732 en 2014. (Ver Tabla 1).

³¹ OLARTE, Diana. Estado del arte del marco regulador para lograr la denominación del origen del cacao: Mercado del cacao en Colombia, Bucaramanga, 2014. P 19. ingeniero industrial, Universidad Pontificia Bolivariana, Escuela de Ingenierías y Administración, Facultad de Ingeniería Industrial.

³² ARBOLEDA, Ricardo; GONZALEZ Alejandro. Análisis socioeconómico del sector cacaotero colombiano: Diagnostico del sector cacaotero colombiano, Envigado, 2010. P 30. Ingeniero administrativo, Escuela de Ingeniería de Antioquia, Ingeniería Administrativa.

³³ FEDERACIÓN NACIONAL DE CACAOTEROS, FEDECACAO. Producción de cacao aumenta en 2015 y se consolida como cultivo clave en el pos conflicto (En línea) consultado el 15 de abril 2016. Disponible en: <http://www.fedecacao.com.co/portal/index.php/es/2015-04-23-20-00-33/144-produccion-de-cacao-aumenta-en-2015-y-se-consolida-como-cultivo-clave-en-el-pos-conflicto>

Tabla 1. Producción nacional registrada de cacao en grano por departamentos en Colombia 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
TOTAL NACIONAL	34.002	41.704	36.356	37.099	30.357	33.482	37.718	36.118	42.294	37.203	41.670	46.739	47.732

Fuente: FEDECACAO, 2015.

“A más de 54.000 toneladas aumentó la producción de cacao de Colombia en el 2015 frente al 2014, y el cultivo se consolida como un producto clave para Colombia por su calidad” dijo el presidente ejecutivo de la Federación Nacional de Cacaoteros (Fedecacao), Eduard Baquero López³⁴.

En Colombia las empresas que dominan el mercado y la distribución de chocolate para consumo general son dos: el grupo Nutresa y casa LuKer, entre las dos manejan más del 86% del mercado.³⁵ (Ver Tabla 2)

³⁴ Disponible en: <http://www.fedecacao.com.co/porta/index.php/es/2015-04-23-20-00-33/144-produccion-de-cacao-aumenta-en-2015-y-se-consolida-como-cultivo-clave-en-el-pos-conflicto>

³⁵ CONSORCIO POR EL DESARROLLO INTEGRAL SOSTENIBLE Y LA PAZ DEL GUAVIARE. Estudio de factibilidad para la transformación industrial del cacao en el Guaviare. (En línea) consultado el 15 de abril 2016. Disponible en: https://issuu.com/consorciodeispaz/docs/dpz_-_proyecto_planta_cacao_guaviar

Tabla 2. Empresas de Colombia que participan en el mercado y distribución de chocolate.

<i>Empresa</i>	<i>Participación %</i>
Nacional de Chocolates NUTRESA	54,8
Casa Lúker	31,9
Gironés	2,4
Ítalo	2,3
Andino	1,3
Tolimax	1,2
La Fragancia	1,1
Comestibles Aldor S.A.	1
Chocolate Caldas	0,6
Chocolate Colosal	0,5
Jordavila y Cía. Ltda	0,4
Chocolates Triunfo	0,4
Chocolates al Gusto	0,4
Colombina S.A.	0,3
Demás Fábricas	1,4

Fuente: CONSORCIO POR EL DESARROLLO INTEGRAL SOSTENIBLE Y LA PAZ DEL GUAVIARE. 2015.

2.6.1 Exportaciones de cacao en Colombia. En el primer semestre de 2013, Colombia vendió US\$732.390 en cacao, un crecimiento del 1.14% comparado con los seis primeros meses del 2012 que registro US\$58.860.

Desde la Federación Nacional de Cacaoteros se vislumbra un panorama alentador y optimista para el año 2016, sin dejar de lado los problemas que se puedan presentar, principalmente derivados del Fenómeno del Niño. De la producción alcanzada el año pasado, cerca de 10.000 toneladas serán exportadas a países europeos como Bélgica, Suiza, España, Alemania, Estonia, Francia e Italia.

En Colombia la balanza comercial del cacao es positiva desde el año 2012, cuando las exportaciones empezaron a superar a las importaciones, sin embargo la producción nacional no alcanza a suplir la creciente demanda de cacao y sus derivados en el país.³⁶ (Ver Tabla 3).

Tabla 3. Exportaciones en Colombia

EXPORTACIONES (Toneladas)				
Año	Cacao en Grano	Semielaborados	Chocolate	TOTAL
2009	2.110	811	14.034	16.955
2010	4.517	3.470	13.597	21.584
2011	2.304	4.042	20.167	26.513
2012	4.321	3.609	15.472	23.402
2013	7.693	4.652	10.468	22.813

Fuente: Ministerio de agricultura 2014.

A partir de la tabla 3 se puede analizar el aumento de exportación de cacao en grano en el año 2013, lo cual es el potencial más grande que tiene Colombia. Por otro lado en el total de las toneladas de exportación el mejor año para Colombia fue el 2011 con 26.513 toneladas.

El cultivo de cacao en Colombia es una forma de sustento para muchas familias por lo tanto es necesario mantener el buen nombre de este producto colombiano a nivel internacional.

2.7 DESVENTAJAS DEL CULTIVO DE CACAO.

El cultivo de cacao presenta diferentes desventajas las cuales hacen difícil mantener la rentabilidad del cultivo, debido a que es un cultivo susceptible a diferentes aspectos. Además para la prevención de estas plagas es necesario el uso

³⁶ *Ibíd.*

fertilizantes, los cuales debido a su composición generan otros problemas relacionados con contaminación de metales pesados.

2.7.1 Plagas y enfermedades del cultivo de cacao. La plaga más dañina en cacao es el chinche de color amarillo conocido como coco, grajo, pringue o coclillo (*Monalonium dissimulatum*), ataca mazorcas en todos los estados de crecimiento y causa daño al chupar la sabia del fruto, va dejando una serie de puntos negros que al unirse forman un necrosamiento generalizado del mismo. Una poda adecuada y regulación de sombrero ayudan a disminuir la presencia del insecto.³⁷

Las principales enfermedades que puede presentar y es susceptible el cultivo de cacao son: Monilia (*Moniliophthora roreri*), Escoba de Bruja (*Moniliophthora perniciosa*), fitóftora (*Phytophthora spp.*) y Roselinia (*Roselinia spp.*).

2.7.1.1 Monililla. Es producida por el hongo *Moniliophthora roreri*, que se alimenta de los frutos del cacao y, por tanto, los daña. La enfermedad se manifiesta con síntomas diversos según la edad del fruto en el momento de ser atacado. Se presenta en todas las regiones donde se desarrolla el cultivo en Colombia, causando daños y pérdidas considerables. Este hongo produce millones de esporas o semillas, que se multiplican rápidamente cuando el cacao está mal manejado y el ambiente es favorable para su reproducción.

En plantaciones ubicadas en zonas húmedas y sin un manejo adecuado del cultivo es frecuente observar pérdidas superiores al 80%. Sin embargo, bajo condiciones

³⁷ COMPAÑÍA NACIONAL DE CHOCOLATES S.A.S, El cultivo de cacao, 2012, (En línea) consultado el 10 de abril 2016. Disponible en: https://chocolates.com.co/sites/default/files/default_images/paquete_tecnologico_cacao_cnch_enero_2012.pdf

de manejo óptimas, los daños se disminuyen considerablemente a niveles inferiores al 8%.³⁸

2.7.1.2 Escoba de Bruja. Enfermedad que ataca el cultivo de cacao, es causada por el hongo *Crinipellis pernicioso Moniliophthora*, la cual afecta los tejidos en crecimiento de la planta. Ataca todas las partes de la planta en activo crecimiento con excepción de la raíz. Esta enfermedad produce hinchamiento de ramas terminales y axilares y gran número de ramillas, similares a una escoba, que se secan y sobre las cuales se producen posteriormente los cuerpos fructíferos del hongo que por acción del viento se diseminan por el cultivo.³⁹

2.7.1.3 Fitóftora o Mazorca Negra. Es una enfermedad causada por el hongo *Phytophthora sp.* Ataca raíces, hojas, tallos, frutos y ramas del cacao. En cacao se han reportado siete especies patógenas: *P. palmivora*, *P. megakarya*, *P. capsici*, *P. citrophthora*, *P. nicotianae var Parasitica*, *P. megasperma* y *P. arecae*. El género *Phytophthora* se encuentra distribuido en todo el mundo; predominan diferentes especies de acuerdo con la zona geográfica y el hospedero. Afecta raíz, hojas, mazorcas, cojines florales, chupones, plántulas y en casos extremos causa cáncer del tronco. El ataque al fruto se caracteriza por una mancha de color café, casi siempre simétrica y de textura blanda. Si el ataque es temprano se pierden todos los granos de la mazorca. Cuando ataca el tronco la planta presenta amarillamiento y marchitez, en el sitio del daño presenta exudados gomosos y al quitar la corteza se observa una coloración morada o rojiza.⁴⁰

³⁸ MANEJO FITOSANITARIO DEL CULTIVO DEL CACAO. Enfermedades que afectan al cacao, 2012 (En línea) consultado el 10 de abril 2016. Disponible en: <http://www.ica.gov.co/getattachment/c01fa43b-cf48-497a-aa7f-51e6da3f7e96/-nbsp;M;anejo-fitosanitario-del-cultivo-de-Cacao.aspx>

³⁹ COMPAÑÍA NACIONAL DE CHOCOLATES S.A.S. Op. Cit.

⁴⁰ MANEJO FITOSANITARIO DEL CULTIVO DEL CACAO. Op. Cit.

2.7.1.4 Roselinia. Es una enfermedad conocida como llaga estrellada o podredumbre negra de la raíz. Afecta, inicialmente, todo el sistema radical de la planta, y posteriormente, el cuello del tallo, hasta causar la muerte. Produce marchitamiento, amarillamiento de hojas y por último muerte del árbol. Ataca únicamente raíces que presentan una pudrición de la corteza que al eliminarse muestra el micelio del hongo en forma de estrellas.⁴¹

2.7.2 Impactos ambientales en el cultivo de cacao. Al establecer el cultivo de cacao podemos determinar una serie de impactos sobre el medio natural, de forma general encontramos: impactos sobre el suelo, impactos sobre el aire, impactos sobre el agua e impactos sobre la vegetación debido a debido al riego o adición de productos químicos además puede suceder la desaparición o transformación total o parcial de la vegetación natural para establecer nuevas áreas de cultivo y la pérdida de la biodiversidad natural de la zona.⁴²

2.7.3 Contaminación de suelo con metales pesados. En los últimos años, se han reportado riesgos de acumulación de contaminantes en suelos y cultivos como resultado de la presencia de residuos agroquímicos, en el caso del cultivo de cacao. Actualmente este producto colombiano fue estigmatizado debido al reporte de la presencia de altos niveles de cadmio y plomo, los cuales son metales pesados. La existencia de metales pesados en frutos tiene una relación directa con la composición del suelo ya que de esta forma la planta de cacao absorbe metales pesados del suelo y los concentra en las semillas.⁴³

⁴¹ *Ibíd.*

⁴² Ministerio de Agricultura y Desarrollo Rural. GUIA AMBIENTAL PARA EL CULTIVO DE CACAO: impactos ambientales en el cultivo de cacao. 2013. (En línea). Consultado el 25 de abril 2016. Disponible en: http://www.fedecacao.com.co/site/images/recourses/pub_doctecnicos/fedecacao-pub-doc_05B.pdf

⁴³ MARTINEZ, Genny; PALACIO, Carolina. Determinación de metales pesados cadmio y plomo e suelos y granos de cacao fresco y fermentado mediante espectroscopia de absorción atómica de llama. Bucaramanga. 2010. P 20-22. QUIMICA, UIS, Facultad de Ciencias, Escuela de Química.

Las concentraciones de metales pesados en los suelos están asociados a los ciclos biológicos y geoquímicos y pueden alterarse por actividades antropogénicas como las prácticas agrícolas, el transporte, las actividades industriales y la eliminación de residuos, entre otras, por otra parte se conoce que los metales pesados son peligrosos porque tienen la característica de bioacumularse.⁴⁴

El cadmio es un metal que con el transcurso de los años ha incrementado su importancia por su aplicación en la industria, como por ejemplo en la galvanotecnia, pigmentos para plástico, sales en la industria química. El cadmio no solo se usa como metal, sino más bien por su aplicación en aleaciones con otros metales, Básicamente para la producción de aleaciones denominadas de bajo punto de fusión o fusibles, las cuales están acompañadas de elementos fundamentales como el Pb, Sn, Bi, Sb.⁴⁵

Los usos principales del cadmio son: en baterías (pilas Ni Cd), pigmentos para plásticos, cerámica y esmaltes, estabilizadores para plásticos, placas de hierro y acero, también como elemento de aleación de plomo, cobre y estaño.⁴⁶

2.8 CONTAMINACION DE CADMIO EN CULTIVOS DE CACAO

⁴⁴ MARTINEZ, Genny; PALACIO, Carolina. Determinación de metales pesados cadmio y plomo e suelos y granos de cacao fresco y fermentado mediante espectroscopia de absorción atómica de llama. Bucaramanga. 2010. P 20-22. QUIMICA, UIS, Facultad de Ciencias, Escuela de Química.

⁴⁵ SOTO, Oscar. Optimización en la recuperación del cadmio por inhibición del talio, níquel y fierro en la solución de sulfato de cadmio en la planta de cadmio-refinería de zinc cajamarquilla. Lima, Perú. 2007. Ingeniero Metalúrgico, Universidad Nacional Mayor De San Marcos.

⁴⁶ PNUMA. Análisis del flujo del comercio y revisión de prácticas de manejo ambientalmente racionales de productos conteniendo cadmio, plomo y mercurio en América Latina y el Caribe. (En línea). Consultado el 07 de junio 2016. Disponible en: http://www.unep.org/chemicalsandwaste/Portals/9/Lead_Cadmium/docs/Trade_Reports/LAC/Trade_report_LAC_Spanish_and_English.pdf

La contaminación con metales pesados en los alimentos puede tener varios orígenes, en el caso del cacao es posible que la contaminación se de en las diferentes fases de cultivo y de su producción.

El cadmio es un elemento natural de la corteza de la tierra. Se encuentra generalmente como mineral, combinado con otros elementos tales como oxígeno (óxido del cadmio), cloro (cloruro del cadmio), o azufre (sulfato del cadmio, sulfuro del cadmio), de donde pueden ser absorbidos por las plantas y tomados de ellas por el ser humano, lo que constituye un riesgo potencial para la salud.⁴⁷

El cadmio se puede encontrar disuelto en el agua o en el suelo, formando parte de minerales, precipitado con otros compuestos del suelo o incorporado a estructuras biológicas. Sin embargo la biodisponibilidad del cadmio para la planta depende de numerosos factores físicos, químicos y biológicos que modifican su solubilidad y el estado del metal en el suelo. Uno de los principales factores es el pH del suelo, el potencial redox, la temperatura y el contenido en arcillas, materia orgánica, y agua. Por último es importante destacar el tipo de cultivo del que se trate, ya que no todas las plantas acumulan cadmio en igual medida.⁴⁸

Estudios realizados en Estados Unidos muestran que el factor que más contribuye a la disponibilidad de cadmio en cultivos es el pH del suelo. Considerando que los suelos donde se cultiva el cacao son de tendencia ácida, lo cual hace que haya mayor facilidad de presencia de este metal en ellos.⁴⁹

⁴⁷ GONZALEZ, Carlos. Guía de gestión de los desechos de mayor volumen e incidencia en el instituto costarricense de electricidad: Cadmio. San José, 2008. P 12. Magíster Scientiae en Manejo de Recursos Naturales con énfasis en Gestión Ambiental. Universidad Estatal A Distancia, vicerrectoría Académica, Escuela de Ciencias Exactas y Naturales.

⁴⁸ RODRIGUEZ Serrano, MARTINEZ de la Casa, ROMERO Puertas, L.A. del Río, Sandalio, 2008.

⁴⁹ BARRUETA, Sayet V. Guía Metodológica para el Muestreo y Detección de Cadmio en Suelos, Agua, Fertilizantes, Almendras de Cacao y Productos Derivados. Lima, 2013.

La principal fuente de contaminación de cadmio es la utilización los fertilizantes provenientes de roca fosfórica.⁵⁰ 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 aumento de cadmio.

2.8.1 Riesgos de la salud por contaminación de cadmio en el cultivo de cacao.

El cadmio es uno de los agentes tóxicos asociado a contaminación ambiental e industrial, pues reúne cuatro de las características más temidas de un tóxico: efectos adversos para el hombre y el medio ambiente, bioacumulación, persistencia en el medio ambiente, además se puede desplazar grandes distancias en los cursos de agua. El cadmio es carcinogénico y genotóxico, ocasionando principalmente lesiones renales, hepáticas y pulmonares por su acumulación en dichos órganos.

El cadmio se introduce mayormente a través de la comida, por lo tanto los alimentos que han bioacumulado este metal, pueden en gran medida incrementar la concentración de Cadmio en los humanos. Ejemplos: champiñones, mariscos, mejillones, cacao y algas secas. Una vez introducido el cadmio al cuerpo, es transportado hacia el hígado por la sangre, allí es unido a proteínas para formar complejos que son transportados hacia los riñones. El Cadmio se acumula en los riñones, donde causa un daño en el mecanismo de filtración. Esto origina la excreción de proteínas esenciales y azúcares del cuerpo y el consecuente daño de los riñones. Lleva bastante tiempo antes de que el Cadmio que ha sido acumulado en los riñones sea excretado del cuerpo humano.⁵¹

⁵⁰ ARENAS, Santiago; HERNANDEZ Santiago. Fitotoxicidad del cadmio (cd) y el mercurio (hg) en la especie *brassica nigra*. Medellín, 2012. P 19. Ingeniero ambiental. Universidad de Medellín.

⁵¹ LENNTECH, efectos del cadmio sobre la salud. (En línea). Consultado 23 de abril 2016. Disponible en: <http://www.lenntech.es/periodica/elementos/cd.htm>

Debido a la acción tóxica del cadmio, la Unión Europea ha modificado el Reglamento (CE) No. 1881/2006, 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.

2.9 REGLAMENTO (UE) NO 488/2014 DE LA COMISIÓN DEL 12 DE MAYO DE 2014 POR EL QUE SE FIJA EL CONTENIDO MÁXIMO DE DETERMINADOS CONTAMINANTES EN LOS PRODUCTOS ALIMENTICIOS.

La norma que abarca la exportación del producto del cacao en la actualidad, es la dictada por el Reglamento (UE) No 488/2014 de la Comisión del 12 de mayo de 2014, en donde se estipula las concentraciones máximas permitidas del elemento cadmio en productos alimenticios, entre estos el cacao y chocolate. (Ver Tabla 4)

Tabla 4. Concentraciones permisibles de cadmio en productos y derivados del cacao.

Producto	% total materia seca	Límite máximo de cadmio permitido
Chocolate con leche	< 30%	0,10 mg/kg
Chocolate con leche	≥30%	0,30 mg/kg
Chocolate	< 50%	0,30 mg/kg
Chocolate	≥50%	0,80 mg/kg
Cacao en polvo (chocolate para beber)	-	0,60 mg/kg

Fuente: REGLAMENTO (UE) N° 488/2014 DE LA COMISIÓN del 12 de mayo de 2014.

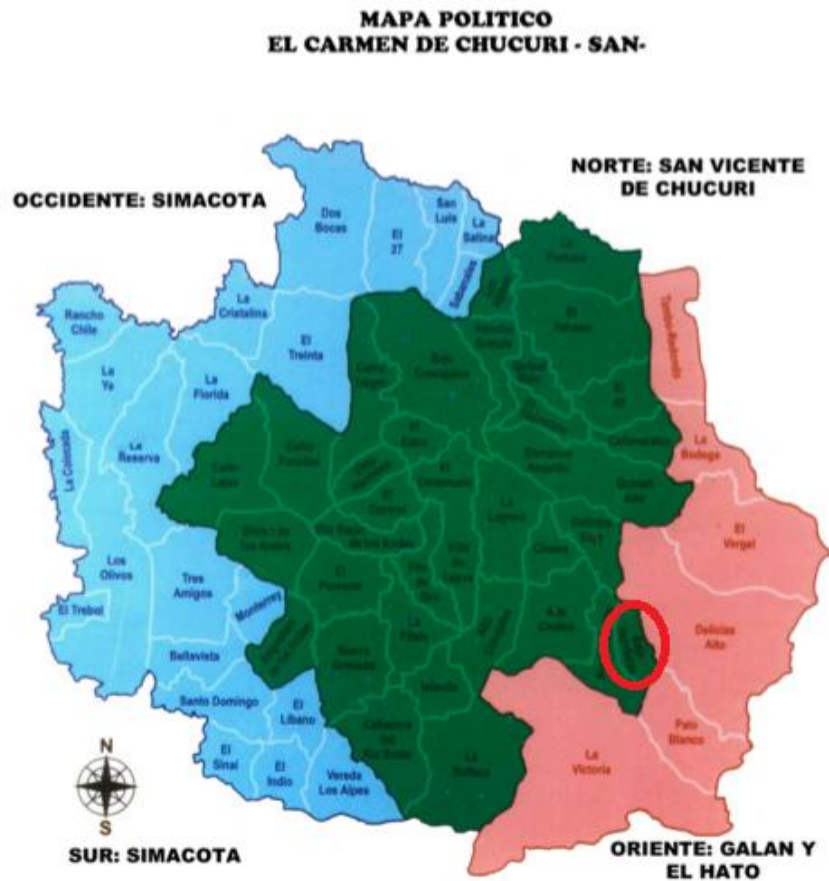
En la anterior tabla se establece específicamente el contenido máximo de cadmio en los productos de cacao y chocolate. El consumo mundial de productos derivados

del cacao fino cada vez va en aumento y la creciente producción nacional, da lugar a una gran oportunidad para los cacaocultores colombianos de exportar este producto cumpliendo las normas exigidas.

3. METODOLOGÍA

El proyecto se desarrolló en el municipio del Carmen de Chucuri, Santander, en la finca llamada "La Esperanza", ubicada en la vereda Honduras Bajo (ver Figura 10). La finca pertenece al señor Pasión Parra Medina y cuenta con 20 hectáreas de las cuales 7 hectáreas son de cultivo de cacao. Debido al interés por mejorar la producción y calidad de su cultivo de cacao, el propietario solicitó el estudio con el fin de diagnosticar la presencia de cadmio en la almendra de cacao seco.

Figura 10. Ubicación de la finca "La Esperanza".



Fuente: Alcaldía de El Carmen de Chucuri, Santander, Colombia. 2016

3.1 IDENTIFICACIÓN DE LOS PROCESOS DE CULTIVO, MANEJO DE INSUMOS Y PROCESAMIENTO DE CACAO EN LA FINCA CACAOTERA LA ESPERANZA.

La identificación de los procesos de cultivo, manejo de insumos y procesamiento de cacao, se inició con un recorrido de la zona de cultivo, guiado por el propietario de la finca “La Esperanza”. Esto se realizó con el objetivo principal de observar, conocer y entender los aspectos anteriormente mencionados. Por otro lado se investigó a nivel teórico la administración y distribución del cultivo, los tipos de insumos utilizados, el procesamiento del cacao y las zonas de cultivo. Todo con el fin de adquirir un criterio para poder diagnosticar la fuente de cadmio en la almendra seca de cacao.

3.2 DIAGNÓSTICO DE LA FUENTE GENERADORA DE CADMIO EN LA ALMENDRA SECA DE CACAO EN LA FINCA CACAOTERA LA ESPERANZA.

Inicialmente fue necesario determinar la presencia de cadmio en la almendra seca de cacao para evidenciar el problema planteado. Una vez detectada la concentración de este metal se procedió al análisis de almendra fresca de cacao y suelo en la finca “La Esperanza”.

3.2.1 Análisis de cadmio en la almendra seca de cacao. Inicialmente se realizó reconocimiento del terreno para seleccionar los estratos en el área cultivada. Para este propósito se tuvo en cuenta el tipo de cacao sembrado, tiempo de producción y la pendiente del terreno. De esta manera se identificaron seis estratos de muestreo. 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.⁵²

Los puntos de muestreo iniciales fueron identificados por medio de GPS, para replicar en el mismo sitio el muestreo de suelo y almendra fresca.

Para obtener la almendra seca de cacao se aplicó el mismo procedimiento que normalmente se realiza en la finca. De esta manera las muestras de mazorca fresca recolectadas de cada estrato se desgruyaron (retirar la almendra con su pulpa de los frutos) y se sometió al fermentación durante 5 días. Después de esto se procedió al secado durante 3 días sobre el techo de madera. Finalmente se empaco en bolsas de papel para el respectivo análisis de cadmio realizado en el Laboratorio de Estudios Ambientales en la Universidad Pontificia Bolivariana (UPB), seccional Bucaramanga.

En el proceso de análisis de cadmio en las muestras de almendra seca, al igual que en almendra fresca, se utilizó el equipo de "Absorción Atómica Espectrómetro AAnalyst 440", aplicando 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%.

En la preparación de la muestra de la almendra seca para análisis de cadmio se realizaron los siguientes pasos: se desempacó la almendra seca enviada por el propietario de la finca la "La Esperanza" y se dejó por un día para nivelar la humedad y temperatura, seguido se maceraron las almendras de cacao, posteriormente se realizó el secado en el horno a 105°C y se pasó por un tamiz No 40. Finalmente se

⁵² 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.

depositó la muestra fría en los vasos para digestión previa al análisis. (Ver Figura 11)

Figura 11. Proceso de la preparación de la muestra de la almendra seca para análisis de cadmio por medio de absorción atómica.



Fuente: Autora. Tomado en laboratorio de suelos durante preparación de la muestra. 2016

Al encontrar presencia de cadmio en la almendra seca de cacao, fue necesario realizar los análisis de almendra fresca y del suelo de la finca “La Esperanza”. Así mismo, se realizó el análisis de las propiedades fisicoquímicas del suelo de interés.

3.2.2 Análisis de cadmio en almendra fresca cacao. Para poder analizar el cadmio en la almendra fresca de cacao se tuvo que realizar una segunda visita técnica, donde se recolectaron las muestras de mazorca fresca en los mismos puntos de muestreo anteriormente identificados por medio de las coordenadas arrojadas por el GPS.

Una vez recolectadas las mazorcas frescas de cacao obtenidos de cada estrato, se dispusieron en costales, se rotularon debidamente y se transportaron al laboratorio a temperatura ambiente. Seguidamente en el laboratorio, se abrieron las mazorcas y las almendras frescas se desgruyaron y se les eliminó manualmente la pulpa de la semilla de cacao. Luego se secaron las semillas al sol en bandejas por 4 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 y se pasó a través de un tamiz número 40 y se dispuso para su análisis de cadmio aplicando el mismo método anteriormente citado por absorción atómica (Ver Figura 12).

Figura 12. Proceso de la preparación de la muestra de la almendra fresca para análisis de cadmio por medio de absorción atómica.

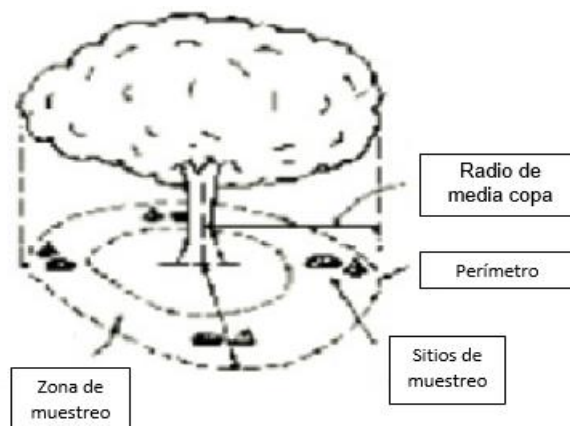


Fuente: Autora. Tomado en laboratorio de suelos durante preparación de la muestra. 2016

3.2.3 Análisis de cadmio en las muestras de suelo. Simultáneo a la toma de mazorcas frescas de cacao, se realizó el muestreo del suelo, en torno del mismo árbol de cacao identificado con las coordenadas del primer muestro. Para este muestreo se aplicó la guía metodológica para el muestreo y detección de cadmio en suelos, agua, fertilizantes, almendras de cacao y productos derivados.⁵³

El proceso de muestreo de suelo, consistió en la limpieza inicial de la maleza, la hojarasca y las raíces del área alrededor del árbol identificado. Luego se tomaron cuatro sub-muestras de suelo a las profundidades de 0-20cm por cada árbol, teniendo en cuenta la recomendación de tomar las submuestras a la mitad de la proyección de la sombra de la copa del árbol (Ver Figura 13).

Figura 13. Proyección de la sombra de la copa del árbol para la toma de muestra de suelo.



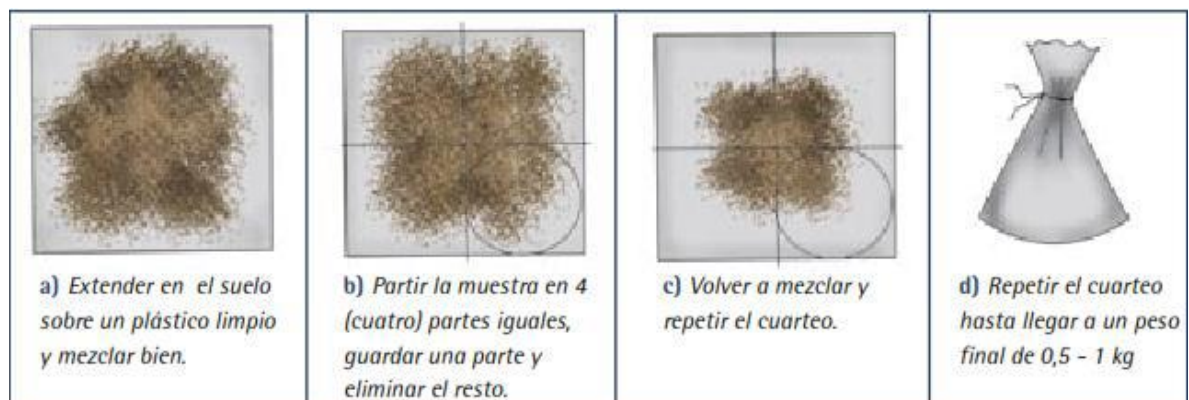
Fuente: Guía metodológica para el muestreo y detección de cadmio en suelos, agua, fertilizantes, almendras de cacao y productos derivados 2013.

Para obtener la muestra de suelo de cada estrato se mezclaron respectivas submuestras formando una muestra compuesta aplicando el método de cuarteo.

⁵³ 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.

El proceso de mezclado se realizó sobre un plástico limpio, libre de residuos de fertilizantes y se mezcló con cuidado para homogeneizarla; en seguida se distribuyó formando un círculo que se dividió en cuatro cuadrantes. Se eliminó los cuadrantes opuestos y los otros se volvieron a mezclar. Este procedimiento, llamado cuarteo se repitió hasta reducir la muestra a 2 Kg aproximadamente requerido por el laboratorio (Ver Figura 14).

Figura 14. Cuarteo de muestras de suelo.



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

Todas las muestras de suelo se empacaron en bolsas herméticas, se rotularon debidamente y fueron transportadas en neveras de icopor al Laboratorio de Suelos de la Universidad Pontificia Bolivariana.

Con el fin de realizar análisis de cadmio en las muestras de suelo, este se dejó secar a temperatura ambiente en bandejas de plástico durante 5 días (Ver Figura 15) y se utilizó el mismo método y el equipo de Absorción Atómica. El proceso de digestión de las muestras de suelo se realizó con 10 ml de ácido nítrico al 65%.

Figura 15. Secado de la muestras de suelo.



Fuente: Autora. Tomado en laboratorio de suelos de la UPB. 2016

3.2.4 Análisis de las propiedades fisicoquímicas del suelo. Las propiedades fisicoquímicas y los métodos aplicados para analizar el suelo de la finca “La Esperanza” están nombradas en la tabla 5. (Ver Tabla 5).

Tabla 5. Parámetros con sus respectivos 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	Infiltración. Se realizó por duplicado.
Capacidad de Intercambio Catiónico	Método de desplazamiento por el acetato de amonio

Fuente: Autora. 2016.

3.3 PROPUESTA DE ALTERNATIVAS DEL MANEJO SOSTENIBLE DE CULTIVO Y PROCESAMIENTO DEL CACAO, EVALUANDO LA CONCENTRACIÓN DE CADMIO EN ALMENDRA SECA DE CACAO EN LA FINCA LA ESPERANZA.

La propuesta de alternativas para el manejo sostenible de cultivo de cacao en la finca “La Esperanza” se determinó con base no solo a la concentración de cadmio en la almendra seca de cacao, almendra fresca de cacao y en el suelo, sino que también se tuvo en cuenta los análisis fisicoquímicos del suelo. Así mismo se consideraron cada una de las fases que tiene el cultivo y producción de cacao, con el fin de determinar los diferentes impactos generados en el recinto. A partir de esto, se plantearon programas de manejo de residuos orgánicos sólidos y líquidos, además se propuso el manejo de cadmio presente en el suelo del cultivo de cacao de la finca de interés.

4. RESULTADOS Y ANALISIS

4.1 IDENTIFICACIÓN DE LOS PROCESOS DE CULTIVO, MANEJO DE INSUMOS Y PROCESAMIENTO DE CACAO EN LA FINCA DE INTERÉS.

Los procesos de cultivo de cacao requieren un manejo especial, donde se recomienda el uso de ciertos insumos para lograr un producto de buena calidad. De la misma manera el procesamiento de cacao requiere unos pasos establecidos para resaltar aroma y sabor de cacao. A continuación se describe todos estos aspectos.

4.1.1 Procesos de cultivo de cacao. Para empezar el cultivo de cacao en la finca “La Esperanza”, se sembró los árboles frutales como la mandarina, limón y aguacate, con el fin de proteger contra los rayos directos del sol. Así mismo se evita que la intensa radiación solar, presente en esta zona, degrada la capa de humus. Por ello la literatura recomienda un adecuado sombreo y el mantenimiento de la hojarasca.⁵⁴

Seguido a la plantación de los árboles frutales, en la finca “La Esperanza” se apartó un área para el vivero, donde se depositó el cacao sembrado por medio de la semilla (ver Figura 16). Esta manera de sembrar el cacao permite tener el control sobre las plagas que atacan este cultivo. Finalmente, después de aproximadamente 2 años se realizó la siembra de la planta de cacao en el terreno preparado. El tipo de cacao sembrado en la finca “La Esperanza” es cacao Regional o más conocido como cacao de tipo Criollo. Este cultivo tiene aproximadamente 20 años de vida productiva en la finca y mantiene una producción estable de 8 meses y 4 meses de baja producción.

⁵⁴ INFOAGRO, El cultivo de cacao, Preparación del suelo. (En línea). Consultado el 20 de mayo 2016. Disponible en: <http://www.infoagro.com/herbaceos/industriales/cacao.htm>

Figura 16. Planta de cacao en crecimiento.



Fuente: Autor, tomada en finca “La Esperanza”, Carmen del Chucurí. 2016

Según la información brindada por el propietario de la finca, se podan las malezas en el cultivo de cacao cada 2 meses. Por otra parte cada 6 meses o una vez al año se realiza la poda de los árboles de cacao en el cultivo, con el fin de estimular su crecimiento.

4.1.2 Manejo de insumos en el cultivo de cacao. Los insumos esenciales en la finca son los fertilizantes orgánicos y la cal, debido a que éstos ayudan a mantener el suelo en las condiciones óptimas.

Los fertilizantes usados en el terreno cultivado son de carácter orgánico y se elaboran en la finca por medio de compostaje de heces de cabra, cereza de café,

urea orgánica (lixiviado de la fermentación de cacao) y las cascara del fruto del cacao (Ver Figura 17). En casos donde el abono obtenido natural de los residuos que produce la finca no sea suficiente, se aplica el abono ABIMGRA. Este producto está compuesto por un 60% de coloide orgánico y 40% de coloide mineral. La composición especificada en la bolsa comercial indica las siguientes sustancias: gallinaza de óptima calidad, sulfato de calcio, magnesio y potasio, $(K_2MgCa_2(SO_4)H_2O)$, roca fosfórica del 36% de pentóxido de fósforo (P_2O_5), bases de azufre rico en sulfatos orgánicos.⁵⁵

Considerando que la roca fosfórica es uno de los ingredientes del abono comercial, se evidencia una fuente de cadmio en este insumo agregado al suelo.

Figura 17. Elaboración del abono orgánico en la finca “La Esperanza”.



Fuente: Autor, tomada en finca “la esperanza”, Carmen del Chucurí. 2016.

⁵⁵ ABIMGRA, Compuesto ABIMGRA. (En línea). Consultado el 20 de mayo 2016. Disponible en: <http://www.abimgra.com/site/abimgra-clasico/>

Debido a la alta acidez del suelo, el propietario de la finca realiza la aplicación de cal para regular el pH. Además de contrarrestar la acidez del suelo la cal aporta el calcio necesario para el crecimiento y desarrollo de los cultivos. Este insumo presenta la composición química que indica presencia de óxido de calcio (CaO) disponible un 60%, hidróxido de calcio (Ca(OH)₂) disponible un 80%, óxido de magnesio (MgO) un 1%, residuos insolubles en ácido clorhídrico HCl un 6%, aproximadamente.⁵⁶

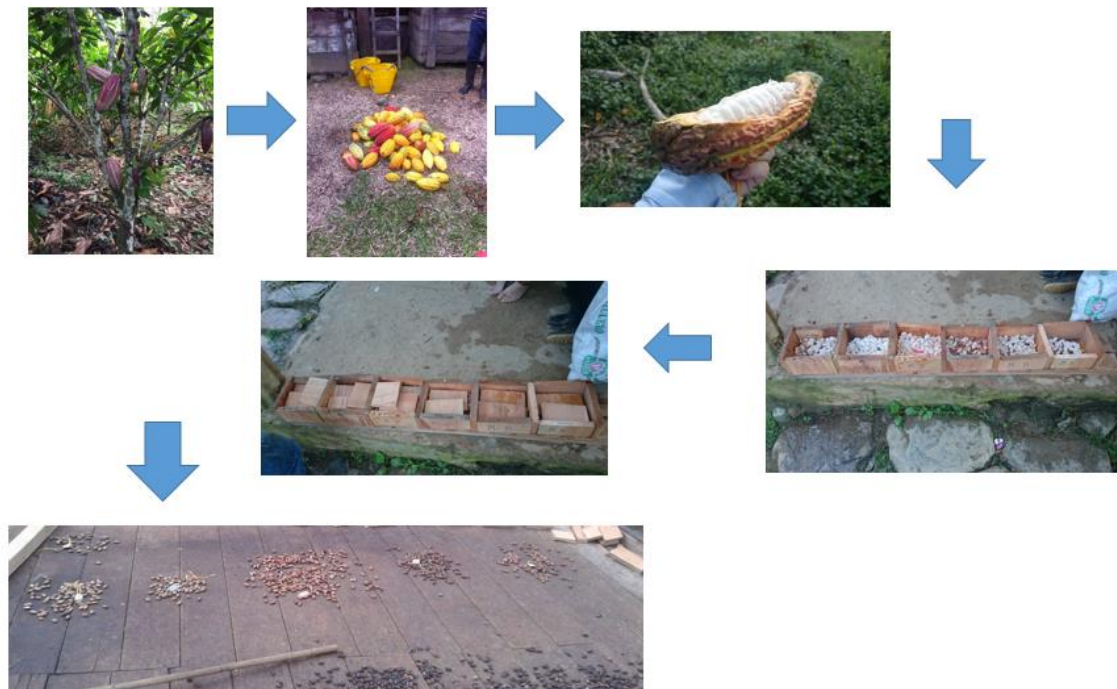
4.1.3 Procesamiento de cacao. El procesamiento de cacao en la finca “La Esperanza” se inicia por la valoración de la madurez de la mazorca. La valoración de la madurez de la mazorca depende del trabajador, el cual realiza el corte del fruto seleccionado. Este proceso se lleva a cabo cada 3 meses aproximadamente.

Una vez cortadas se agrupan las mazorcas cerca de los árboles y se recolectan en costales, para llevar a desgrayar la semilla de cacao. Posteriormente se llevan las semillas de cacao a las pilas de fermentación. Estas cajas son elaboradas de madera blanca, inodora, y su función es ayudar a absorber la humedad para evitar la formación de los hongos. El proceso de fermentación dura de 5 a 8 días, dependiendo de las características organolépticas de cacao que se desea obtener. Durante este tiempo la semilla va desarrollando las enzimas que producen 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. El tiempo de secado puede variar dependiendo de las condiciones del clima.

En la figura 18 se resume el procesamiento de cacao realizado en la finca “La Esperanza”. (Ver Figura 18).

⁵⁶ CALCO, cales de Colombia S.A. Cal Agrícola. (En línea). Consultado el 21 de mayo del 2016. Disponible en: <http://www.bcalco.com.co/productos/cal-agricola>

Figura 18. Esquema del procesamiento de cacao



Fuente: Autor, tomada en finca "la esperanza", Carmen del Chucurí. 2016.

4.2 DIAGNÓSTICO DE LA FUENTE GENERADORA DE CADMIO EN LA ALMENDRA SECA DE CACAO EN LA FINCA CACAOTERA LA ESPERANZA.

Para determinar la presencia de cadmio en la almendra seca, se realizó el análisis químico correspondiente, para establecer la concentración de cadmio. Al presentar el producto cadmio se estableció 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.

4.2.1 Análisis de cadmio en la almendra seca de cacao. Antes de tomar la muestra de mazorca, para su respectivo procedimiento, se identificaron los puntos de muestreo para replicarlos en los posteriores muestreos (Ver Tabla 6 y anexo A)

Tabla 6. Resultados de concentraciones de cadmio en la almendra seca, En los estratos identificados en la finca la Esperanza.

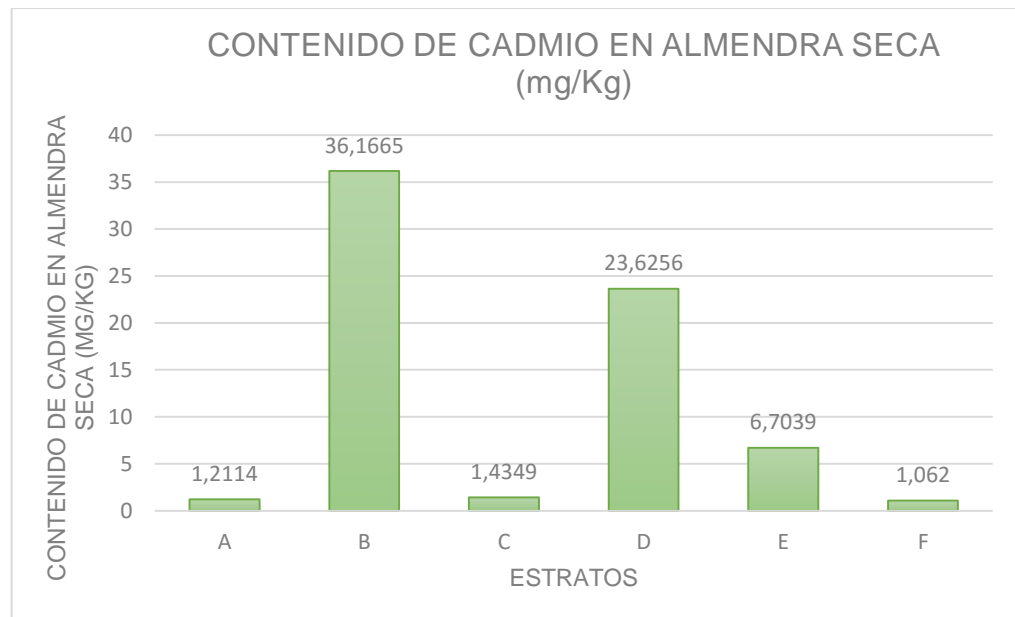
Estrato	N° de muestras	Código de la muestra	Coordenadas de submuestras			Contenido de cadmio (mg/Kg)
A	3	EA1	N 06°39,226"	W 073°31,073"	A 820m	1,2114
		EA2	N 06°39,235"	W 073°31,072"	A 803m	
		EA3	N 06°39,225"	W 073°31,076"	A 811m	
B	2	EB1	N 06°39,178"	W 073°31,069"	A 818m	36,1665
		EB2	N 06°39,175"	W 073°31,078"	A 823m	
C	2	EC1	N 06°39,235"	W 073°31,050"	A 795m	1,4349
		EC2	N 06°39,239"	W 073°31,051"	A 795m	
D	6	ED1	N 06°39,228"	W 073°31,043"	A 799m	23,6256
		ED2	N 06°39,222"	W 073°31,045"	A 802m	
		ED3	N 06°39,219"	W 073°31,045"	A 804m	
		ED4	N 06°39,220"	W 073°31,022"	A 811m	
		ED5	N 06°39,243"	W 073°31,027"	A 801m	
		ED6	N 06°39,251"	W 073°31,030"	A 797m	
E	3	EE1	N 06°39,058"	W 073°31,132"	A 862m	6,7039
		EE2	N 06°39,030"	W 073°31,115"	A 835m	
		EE3	N 06°39,049"	W 073°31,106"	A 855m	
F	3	EF1	N 06°39,045"	W 073°31,147"	A 869m	1,062
		EF2	N 06°39,059"	W 073°31,137"	A 864m	
		EF3	N 06°39,066"	W 073°31,132"	A 860m	

Fuente: Autora. 2016.

En la tabla 6 se observa que los estratos A, C y F presentan mayor altura siendo los B, D Y E los que se encuentran en la parte más baja de la finca. Relacionando esto con la cantidad de cadmio en cada estrato se observan menores cantidades de este metal en las almendras secas de cacao en los estratos A, C y F correspondiente a

valores de: 1, 2114; 1,4349 y 1,062 mg/Kg. De manera similar los valores más altos corresponden a los estratos ubicados en la parte más baja de la finca correspondiente a los estratos B, D y E registrando valores de: 36,1665; 23,6156 y 6,7039 mg/Kg (ver Figura 19).

Figura 19. Contenido de cadmio en la almendra seca.



Fuente: Autora. 2016.

Aunque todas las muestras registran la presencia de cadmio en almendra seca de cacao, la cantidad de este metal varía de un estrato a otro. Considerando el desnivel del terreno en la finca, se puede pensar sobre un arrastre del metal dentro del suelo por la pendiente del terreno. Esto genera acumulación de cadmio en el suelo del área baja de la finca, haciéndolo disponible en gran cantidad para la extracción por la planta de cacao.

Es importante destacar la gran capacidad que posee la almendra seca de caca para almacenar el cadmio, logrando obtener un valor significativo en el estrado B correspondiente a 36, 1665 mg/Kg al igual que en el trato D con 23,6256 mg/Kg.

4.2.2 Análisis de cadmio en la almendra fresca de cacao. Coherente a los resultados anteriores se encuentra que todas las muestras de almendra fresca de cacao acumulan cadmio. De la misma manera se visualiza que en la parte baja de la finca “La Esperanza” hay mayor cantidad de cadmio acumulado en la almendra fresca de cacao (Ver Tabla 7).

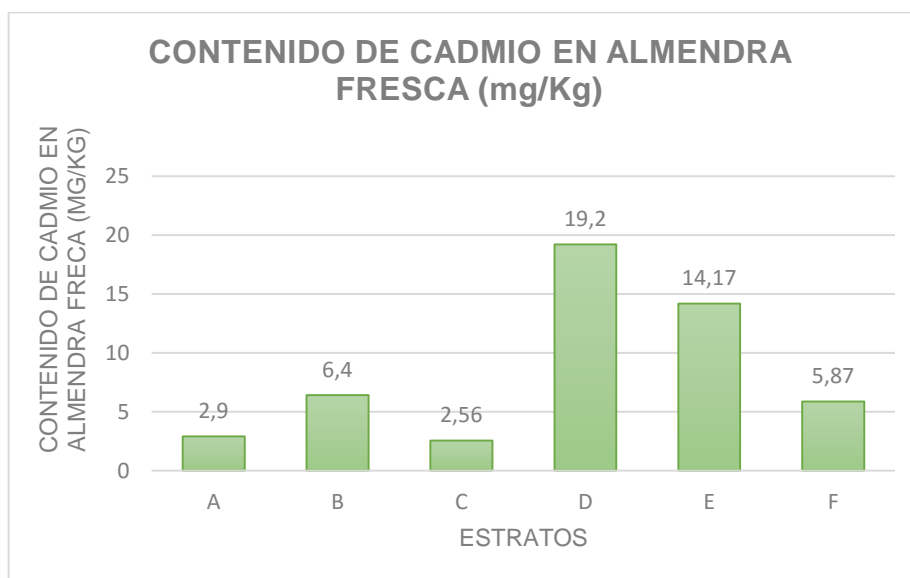
Tabla 7. Resultados de concentraciones de cadmio en la almendra fresca.

Estrato	N° de muestras	Código	Coordenadas de submuestras			Contenido de cadmio (mg/Kg)
A	3	EA1	N 06°39,226"	W 073°31,073"	A 820m	2,9
		EA2	N 06°39,235"	W 073°31,072"	A 803m	
		EA3	N 06°39,225"	W 073°31,076"	A 811m	
B	2	EB1	N 06°39,178"	W 073°31,069"	A 818m	6,4
		EB2	N 06°39,175"	W 073°31,078"	A 823m	
C	2	EC1	N 06°39,235"	W 073°31,050"	A 795m	2,56
		EC2	N 06°39,239"	W 073°31,051"	A 795m	
D	6	ED1	N 06°39,228"	W 073°31,043"	A 799m	19,2
		ED2	N 06°39,222"	W 073°31,045"	A 802m	
		ED3	N 06°39,219"	W 073°31,045"	A 804m	
		ED4	N 06°39,220"	W 073°31,022"	A 811m	
		ED5	N 06°39,243"	W 073°31,027"	A 801m	
		ED6	N 06°39,251"	W 073°31,030"	A 797m	
E	3	EE1	N 06°39,058"	W 073°31,132"	A 862m	14,17
		EE2	N 06°39,030"	W 073°31,115"	A 835m	
		EE3	N 06°39,049"	W 073°31,106"	A 855m	
F	3	EF1	N 06°39,045"	W 073°31,147"	A 869m	5,87
		EF2	N 06°39,059"	W 073°31,137"	A 864m	
		EF3	N 06°39,066"	W 073°31,132"	A 860m	

Fuente: Autora. 2016.

Comparando los valores de cadmio de almendra fresca de cacao de diferentes estratos se nota gran diferencia que oscila entre 2,9 mg/Kg hasta 19,2 mg/Kg (Ver Figura 20). Teniendo en cuenta que la selección de la mazorca fresca se hace de manera subjetiva, las diferentes muestras pueden tener diferente nivel de madurez y por consiguiente el tiempo de cosecha. Esto podría explicar la variación de las concentraciones de cadmio presente en la almendra fresca de cacao como un factor adicional independiente de la ubicación del árbol de cacao en la finca.

Figura 20. Contenido de cadmio en la almendra fresca.



Fuente: Autora. 2016.

En la figura 20 se observa mayores valores de concentración cadmio en la almendra fresca en los estrados D y E correspondiente a 19,2 mg/Kg y 14,17 mg/Kg respectivamente.

Teniendo en cuenta de que el muestreo de almendra seca fue realizado al inicio de este proyecto con el fin de identificar la existencia de la problemática y el muestreo

de almendra fresca se efectuó en otra fecha, no es posible comparar los valores de la concentraciones de Cadmio en la almendra de cacao proveniente del mismo árbol.

4.2.3 Análisis de cadmio en las muestras de suelo. El cultivo de cacao en la finca “La Esperanza” se considera antiguo por los 20 años de cosecha, lo cual genera un proceso acumulativo de cadmio en el suelo causado por la roca fosfórica presente en el insumo utilizado como fertilizante.⁵⁷ Por lo anterior en todos los estratos de la finca se evidencia la presencia de cadmio en el suelo (Ver Tabla 8).

⁵⁷ VILLANUEVA, Liliana. Evaluación del impacto de los fertilizantes fosfatados en la acumulación de cadmio en los suelos cultivados con maíz. (En línea). Consultado el 31 de julio 2016. Disponible en: <http://mgpa.forestaluchile.cl/Tesis/Villanueva%20Liliana.pdf>

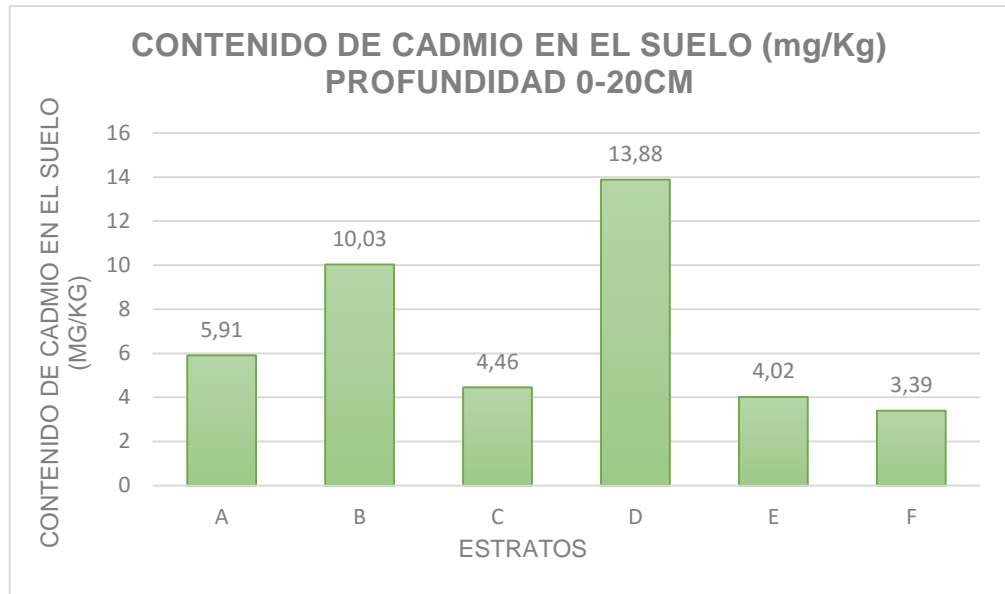
Tabla 8. Concentraciones de cadmio en el suelo a profundidad 0-20cm.

Estrato	N° de Muestras	Codigo	Cordenadas de submuestras			Contenido de cadmio en el suelo (mg/Kg) profundidad 0-20cm
A	3	EA1	N 06°39,226"	W 073°31,073"	A 820m	5,91
		EA2	N 06°39,235"	W 073°31,072"	A 803m	
		EA3	N 06°39,225"	W 073°31,076"	A 811m	
B	2	EB1	N 06°39,178"	W 073°31,069"	A 818m	10,03
		EB2	N 06°39,175"	W 073°31,078"	A 823m	
C	2	EC1	N 06°39,235"	W 073°31,050"	A 795m	4,46
		EC2	N 06°39,239"	W 073°31,051"	A 795m	
D	6	ED1	N 06°39,228"	W 073°31,043"	A 799m	13,88
		ED2	N 06°39,222"	W 073°31,045"	A 802m	
		ED3	N 06°39,219"	W 073°31,045"	A 804m	
		ED4	N 06°39,220"	W 073°31,022"	A 811m	
		ED5	N 06°39,243"	W 073°31,027"	A 801m	
		ED6	N 06°39,251"	W 073°31,030"	A 797m	
E	3	EE1	N 06°39,058"	W 073°31,132"	A 862m	4,02
		EE2	N 06°39,030"	W 073°31,115"	A 835m	
		EE3	N 06°39,049"	W 073°31,106"	A 855m	
F	3	EF1	N 06°39,045"	W 073°31,147"	A 869m	3,39
		EF2	N 06°39,059"	W 073°31,137"	A 864m	
		EF3	N 06°39,066"	W 073°31,132"	A 860m	

Fuente: Autora. 2016.

En la tabla 8 los mayores valores de concentración de cadmio en el suelo presenta los estratos B, D y E identificados en la parte baja de la finca. Esto tiene la coherencia con los resultados anteriores de contenido de cadmio en la almendra seca y fresca de cacao. De igual manera los valores de cadmio en la parta de la finca presentan pequeñas concentraciones que mantienen un nivel semejante entre 3, 39 mg/Kg y 4, 02 mg/Kg. (Ver Figura 21)

Figura 21. Contenido de cadmio en el suelo a profundidad de 0-20cm.



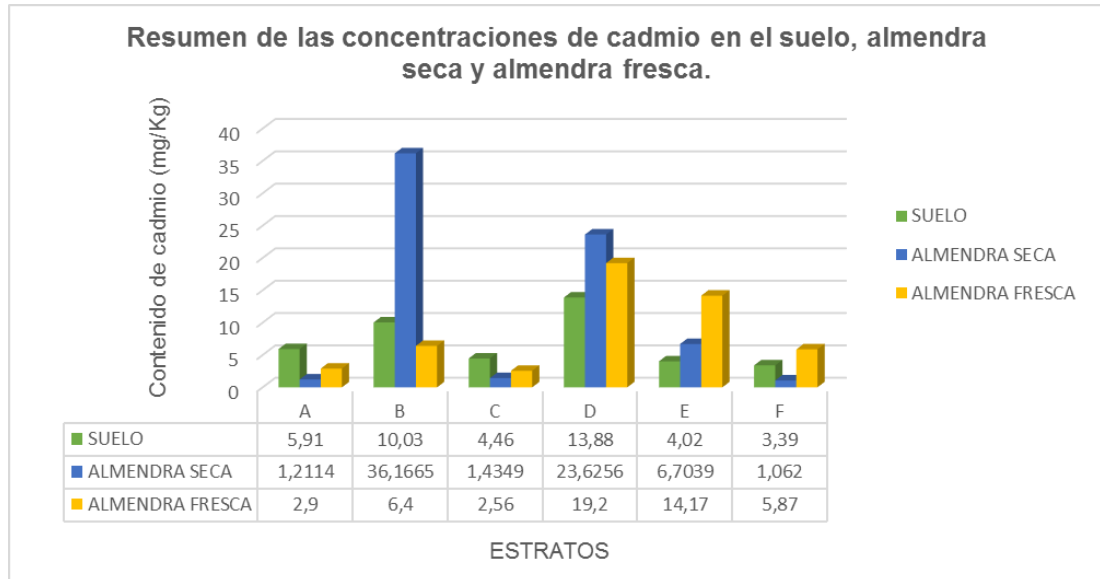
Fuente: Autora. 2016.

En la Figura 21 se destaca alto contenido de cadmio en el suelo correspondiente a 13,88 mg/Kg en el estrato D. El terreno correspondiente a este estrato se identifica en la parte más baja de la finca, por lo cual se supone el arrastre de este metal en el suelo debido a la escorrentía durante las lluvias frecuentes que se presentan en esta zona.⁵⁸

Al comparar las cantidades de cadmio en las muestras de suelo, almendra fresca y seca de cacao se destaca la mayor cantidad de este metal en los estratos ubicados en la parte baja del terreno (Ver Figura 22).

⁵⁸ALCALDIA 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

Figura 22. Resumen de las concentraciones de cadmio en el suelo, almendra seca de cacao y almendra fresca de cacao.



Fuente: Autora. 2016.

Analizando la figura 22 se destaca la presencia de cadmio en todas las muestras analizadas. Sin embargo, no se presenta una regularidad entre la cantidad de cadmio en el suelo y la respectiva acumulación de este metal en la almendra fresca y seca de cacao. Es muy probable que el tiempo de la madurez de la mazorca de cacao representa un factor determinante para la cantidad de cadmio acumulado en el producto final. Debido a que la valoración de la madurez de la mazorca depende del trabajador, lo cual con lleva a que unas mazorcas permanezcan más en el árbol acumulando este metal.

Se puede diagnosticar que la fuente de acumulación de cadmio en almendra seca y fresca de cacao es el suelo, cual contiene grandes cantidades de este metal.

4.2.4 Análisis de las propiedades fisicoquímicas del suelo. Los análisis de las propiedades fisicoquímicas del suelo se realizaron con el fin de relacionar la cantidad de cadmio acumulado y disponible para la extracción por la plata de cacao ya que estas propiedades tienen un rol importante a la hora de absorber nutrientes.

4.2.4.1 Determinación de la textura del suelo. La textura es aquella propiedad que establece las cantidades porcentuales en que se encuentran las partículas de diámetro menor a 2mm, estas partículas están representadas por el porcentaje de arena (Ar), arcilla (A) y limo (L).

La textura del suelo de la finca “La Esperanza” se determinó por medio del método del hidrómetro o de Bouyoucos. Este método consistió en la toma de dos lecturas con ayuda del hidrómetro, una a los 40 segundos para medir la sedimentación de arena y otra después de dos horas para medir las partículas de limos. (Ver anexo D).

De acuerdo con los datos obtenidos de las lecturas que se realizaron con el hidrómetro, se calcularon los porcentajes de arena (Ar), arcilla (A) y limo (L) en el suelo de interés aplicando las siguientes formulas 1, 2 y 3:

$$\% \text{Arena} = 100 - \frac{\text{Lectura corregida a los 40 segundos} \times 100}{\text{Peso de la muestra}} \quad [1]$$

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

$$\% \text{Limo} = 100 - (\% \text{Arena} + \% \text{Arcilla}) \quad [3]$$

En la tabla 9 Se encuentran los resultados obtenidos por medio de los cálculos anteriores.

Tabla 9. Resultado de la clase textural del suelo.

Estrato	Contenido de los separados			Clase textural
	% Arena	% Limo	% Arcilla	
A	60,72	25,28	14	Franco arenoso
B	44,72	27,28	28	Franco Arenoso Arcilloso
C	44	35,28	20,72	Franco
D	44	29,28	26,72	Franco Arcilloso
E	48	25,28	26,72	Franco Arenoso Arcilloso
F	62	23,28	14,72	Franco Arenoso

Fuente: Autora. 2016.

En suelos de texturas gruesas (Arenosos o Franco Arenosos) se incrementa la conductividad hidráulica del agua y los solutos, permitiendo menor tiempo de permanencia de los contaminantes pero incrementado el riesgo de pasar a las aguas subterráneas y niveles freáticos donde se acumulan. Por el contrario, en suelos de texturas finas (Arcillosos y Franco Arcillosos), los contaminantes pueden quedar retenidos. Si bien es una ventaja que los contaminantes no pasen a los acuíferos del suelo, se generan otros impactos en los horizontes superiores ya que allí se desarrollan las raíces de las plantas y la biota del suelo, pudiendo causar problemas de toxicidad y bioacumulación de contaminantes.⁵⁹

Analizando la Tabla 9 se encuentra que los estratos A, C y F son de carácter franco arenoso, franco y franco arenoso, además ubicados en la parte superior de la finca.

⁵⁹ SANCLEMENTE Oscar, PROPIEDADES Y CONTAMINACIÓN DEL SUELO. (En línea). Consultado el 25 de mayo 2016. Disponible en: http://datateca.unad.edu.co/contenidos/358013/MODULO_PROPIEDADES_Y_CONTAMINACION_DEL_SUELO-FINAL.pdf

Esto indica la posibilidad de traslado del cadmio junto con agua hacia los estratos de más bajo nivel que son B, D y E. Siendo el suelo de estos estratos bajos clasificados como franco arenoso arcilloso, franco arcilloso y franco arenoso arcilloso, tienden a retener el cadmio en su textura arcillosa. Por esta razón la cantidad de cadmio presente en el suelo así como en la almendra fresca y seca tiene alta concentración es estos estratos.

4.2.4.2 Determinación de pH en el suelo. El pH es una de las propiedades químicas más importantes de los suelos, ya que influye en diferentes aspectos como la disponibilidad de nutrientes para las plantas, regulación de concentraciones de iones tóxicos en el suelo, controla el intercambio catiónico, entre otras.

El análisis de pH se llevó acabo por medio del método potenciométrico, en un medio acuoso y en un medio KCl (ver Tabla 10). Además se determinó el ΔpH por medio de la fórmula:

$$\Delta\text{pH} = \text{pH en KCl} - \text{pH en agua.}$$

La determinación del ΔpH es importante para saber de la carga de coloides en el suelo. Cuando el ΔpH presenta signo negativo, el suelo expone este tipo de carga y es intercambiador catiónico. Mientras que si el ΔpH es positivo, el suelo presenta carga positiva y es intercambiador anionico.

Tabla 10. Resultados de pH en el suelo de la finca “La Esperanza”.

Determinación de pH por el método potenciométrico			
estrato	valor de pH H2O	valor de pH KCl 1N	ΔpH
A	4,03	3,49	-0,54
B	4,38	3,57	-0,81
C	4,63	3,94	-0,69

D	4,34	3,79	-0,55
E	4,2	3,37	-0,83
F	3,37	2,89	-0,48

Fuente: Autora. 2016.

En la Tabla 10 se puede observar que el pH en la solución acuosa presenta rangos que oscilan entre 3,37 a 4,63, lo cual indica que el pH del suelo de la finca “La Esperanza” es extremadamente ácido. Esto influye en la retención del cadmio ya que en los suelos ácidos, este metal se retiene en forma iónica como un catión disuelto en agua presente en el suelo. Además la característica de suelo en la finca de ser un intercambiador catiónico facilita el intercambio de los aniones por el Cd^{2+} en todos los estrados analizados.⁶⁰

Según la literatura, es necesario evaluar estrategias para la reducción del cadmio aplicando correctores de pH del suelo ya que se ha comprobado que la presencia de pH ácido, el cadmio se solubiliza, volviéndose más biodisponible para las plantas.⁶¹

4.2.4.3 Determinación de la 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. En la Tabla 11 se resumen los datos obtenidos del porcentaje de humedad gravimétrica, donde se utilizó el método gravimétrico para su análisis.

⁶⁰ TELLEZ, Adela GONZALEZ Isabel. Determinación y validación de cadmio total e intercambiable en algunos suelos cacaoteros del departamento de Santander. tesis de grado, universidad industrial de Santander, facultad de ciencias, escuela de química. Bucaramanga, 2010.

⁶¹ *Ibíd.*

Para calcular el porcentaje de humedad en el suelo de interés se utilizó la siguiente formula 4:

$$\%HG = \frac{\text{Peso muestra húmeda}-\text{Peso muestra seca}}{\text{Peso muestra seca}} \times 100 \quad [4]$$

Tabla 11. Resultados de la determinación de la humedad gravimétrica del suelo.

	Estrato A	Estrato B	Estrato C	Estrato D	Estrato E	Estrato F
peso crisol (g)	36,2	38,6	39,1	35,9	37,6	36,6
peso crisol + muestra húmeda (g)	46,2	48,6	49,1	45,9	47,6	46,6
peso muestra húmeda (g)	10	10	10	10	10	10
peso crisol + muestra seca (g)	43,7	46	46,8	43,1	44,1	43,9
peso muestra seca (g)	7,5	7,4	7,7	7,2	6,5	7,3
% humedad gravimétrica	33,333	35,135	29,870	38,889	53,846	36,986

Fuente: Autora. 2016.

El porcentaje de humedad gravimétrica en el suelo analizado se encuentra entre 29,870% y 53,846%. El menor valor pertenece al estrato C donde el suelo fue clasificado como franco y el mayor corresponde al estrato E con un suelo franco arenoso arcilloso. El rango de la humedad gravimétrica en el suelo es bueno en términos del desarrollo del cultivo, pero facilita la acumulación del cadmio en la fase acuosa.

4.2.4.4 Determinación de la densidad real del suelo. La densidad real se refiere al peso de las partículas sólidas de los suelos en unidades de volumen (ml). Los resultados obtenidos de la densidad real del suelo medidos por medio del principio de Arquímedes se resumen en la Tabla 12.

Para hallar la densidad real se utilizó la siguiente formula 5:

$$D_r = \frac{\text{Masa}}{\text{Volumen}} \quad [5]$$

Tabla 12. Resultados de la determinación de 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)
Estrato A				
1	20	10	2	2,14
2	20	9	2,22	
3	20	9	2,22	
Estrato B				
1	20	16	1,25	1,30
2	20	14	1,42	
3	20	16	1,25	
Estrato C				
1	20	17	1,17	1,15
2	20	18	1,11	
3	20	17	1,17	
Estrato D				
1	20	20	1	1,017
2	20	19	1,05	
3	20	20	1	
Estrato E				
1	20	17	1,17	1,028
2	20	20	1	
3	20	22	0,90	
Estrato F				
1	20	13	1,53	1,47
2	20	13	1,53	
3	20	15	1,33	

Fuente: Autora. 2016.

En la Tabla 12 se observa que los valores de la densidad real son semejantes excepto el del estrato A que llega a ser 2,14 g/ml.

Los valores típicos varían de 2.5 a 2.8 mg/m³, siendo 2.65 mg/m³ el valor representativo de muchos suelos.⁶² Comparando esto con los valores obtenidos se evidencia una baja densidad de los suelos lo cual se debe a su textura franco arenosa y en pocos casos franco arenosa arcillosa. Esto se relaciona con su baja compacticidad y una buena conductividad hidráulica cual permite traslado del metal de zonas más altas a más bajas.

4.2.4.5 Determinación de la densidad aparente del suelo. La densidad aparente se entiende como el peso de una unidad de volumen de suelo que incluye su espacio poroso. Esta propiedad física del suelo se determinó por el método del cilindro biselado, teniendo en cuenta el peso del suelo una vez seco y el volumen total del cilindro. Los resultados obtenidos de pueden observar en la Tabla 13.

Para el cálculo de la densidad aparente se utilizó la siguiente formula 6:

$$D_a = \frac{\text{Peso muestra seca (g)}}{\text{Volumen total del cilindro (cc)}} \quad [6]$$

⁶² DELGADILLO, Lourdes. Manual de procedimientos analíticos. (En línea). Consultado el 25 de mayo 2016. Disponible en: <http://www.geologia.unam.mx/igl/deptos/edafo/lfs/MANUAL%20DEL%20LABORATORIO%20DE%20FISICA%20DE%20SUELOS1.pdf>

Tabla 13. Resultados de la determinación de la densidad aparente del suelo.

	Estrato A	Estrato B	Estrato C	Estrato D	Estrato E	Estrato F
peso cilindro (g)	117,6	135,2	120,1	126,2	131,1	133,9
peso cilindro + muestra húmeda (g)	480,6	547,4	552,8	477,5	516,8	511,5
peso cilindro + muestra seca(g)	416,1	466,3	475,2	376,8	436,6	429,9
peso muestra seca (g)	298,5	331,1	355,1	250,6	305,5	296
diámetro cilindro(cm)	5,1	5,1	5,1	5,1	5,1	5,1
altura cilindro (cm)	14,6	15,3	15,2	14,6	15,6	14,5
volumen cilindro (cc)	298,243	312,542	310,500	298,243	318,671	296,200
densidad aparente (g/cc)	1,001	1,059	1,144	0,840	0,959	0,999

Fuente: Autora. 2016.

Los valores de la densidad aparente son muy parecidos en todos los estratos y oscilan entre 0,999 g/cc y 1,144 g/cc. Señalando la presencia de los poros cuales cumplen la función de transferencia de a humedad y con esta del contaminante presente en el suelo que es el cadmio.

4.2.4.6 Determinación de la capacidad de intercambio catiónico del suelo.

La capacidad de intercambio catiónico es la habilidad que tiene el suelo para retener e intercambiar cationes, lo cual dependerá del número de cargas negativas existentes en la superficie de la arcilla y de la materia orgánica. Se considera que entre mayor valor de capacidad de intercambio catiónico es mayor la fertilidad del suelo. Para determinar la capacidad de intercambio catiónico para el suelo de la finca “La Esperanza” se aplicó la siguiente formula 7:

$$\text{CIC (meq/100gr)} = 2 (V - B) \text{ soda [7]}$$

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

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

En la tabla 14 se resumen los resultados de la capacidad de intercambio catiónico analizados para cada estrato.

Tabla 14. Capacidad de intercambio catiónico del suelo.

	estrato A	estrato B	estrato C	estrato D	estrato E	estrato F
volumen de soda gastada muestra(ml)	15,8	13,8	12,4	14	15,6	15,5
volumen de soda gastada blanco(ml)	0,9	0,9	0,9	0,9	0,9	0,9
normalidad soda (N)	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1
CIC (meq/100g)	29,8	25,8	23	26,2	29,4	29,2

Fuente: Autora. 2016.

Evaluando los resultados de la Tabla 14, se afirma que la capacidad de intercambio catiónico que presenta el suelo de interés es alta ya que todos los estratos presentan un rango que oscila entre 23 meq /100g y 29,8 meq /100g. Esto se relaciona con la textura de suelo que es franco, considerado como el más equilibrado en cuanto al tamaño de las partículas, retención de la humedad y nutrientes.⁶³ Desafortunadamente estas condiciones que presenta el suelo franco facilitan también la retención de cadmio y su biodisponibilidad para las plantaciones de cacao.

⁶³ CORDERO, Johanna. FITORREMEDIACIÓN IN SITU PARA LA RECUPERACIÓN DE SUELOS CONTAMINADOS POR METALES PESADOS. Facultad de ingeniería, Ingeniería Ambiental, UNIVERSIDAD LIBRE, bogota.2015.

4.2.4.7 Determinación de la capacidad de infiltración del suelo.

La capacidad de infiltración se mide a través de la velocidad a la cual el agua entra al suelo, esto se conoce como la velocidad de infiltración y depende mucho del tipo y estructura del suelo. El ensayo de infiltración comprende dos medidas, en la primera se satura el suelo y en la segunda se repite el procedimiento pero la velocidad debe ser mucho más baja por la saturación que se logra con el primer ensayo. Se recomienda que se debe tener en cuenta el segundo valor.

En la Tabla 15 se encuentran los resultados obtenidos del cálculo del tiempo en que tarda 1 pulgada de agua en penetrar el suelo dentro de un cilindro de 6 pulgadas de diámetro.

Tabla 15. Capacidad de infiltración del suelo.

Ensayo	Volumen(ml)	Tiempo(min)	Tiempo en (hr)	Velocidad de infiltración (cm/hr)	Clase de infiltración
ESTRATO A					
1	444	8	0,133333333	19,0500	FA
2	444	15	0,25	10,1600	
ESTRATO B					
1	444	7,56	0,126	20,15873016	FArA
2	444	15,45	0,2575	9,86407767	
ESTRATO C					
1	444	7,41	0,1235	20,56680162	F
2	444	13,04	0,217333333	11,68711656	
ESTRATO D					
1	444	6,07	0,101166667	25,10708402	FAr
2	444	8,56	0,142666667	17,80373832	
ESTRATO E					
1	444	6,46	0,107666667	23,59133127	FArA
2	444	9,36	0,156	16,28205128	
ESTRATO F					
1	444	9,34	0,155666667	16,31691649	FA
2	444	10	0,166666667	15,24	

Fuente: Autora. 2016.

En la Tabla 15 se encuentran altos valores de la velocidad de infiltración para los estratos teniendo una permeabilidad rápida.⁶⁴ El tiempo que presenta la capacidad de campo se relaciona con la textura del suelo analizado de tipo franco arenosa arcillosa, donde se visualiza una tendencia del suelo a no retener el agua.

4.2.4.8 Determinación de la granulometría del suelo. Se denomina clasificación granulométrica a la medición y gradación que se lleva a cabo de los granos de una formación sedimentaria. La determinación de la granulometría del suelo de la finca “La Esperanza” se realizó por medio de la prueba de cribado - tamizado (ASTM D-422) del suelo, mediante el paso de la muestra previa uniforme, por una serie de tamices con diámetros y pesos correspondientes (ver Tabla 16 y 17).

Tabla 16. Granulometría estratos A, B y C.

n° tamiz	diámetro tamiz(m m)	A			B			C		
		cantidad de muestra tamizada (g)	% de masa retenida	% de la masa tamizada	cantidad de muestra tamizada (g)	% de masa retenida	% de la masa tamizada	cantidad de muestra tamizada (g)	% de masa retenida	% de la masa tamizada
	9,52	0	0	100	0	0	100	0	0	100
4	4,75	43,2	16,74	83,26	0,4	1,00	99,00	7,3	7,56	92,44
8	2,36	65,1	25,23	58,02	4,6	11,47	87,53	15,6	16,15	76,29
10	2	15,2	5,89	52,13	1,4	3,49	84,04	5,5	5,69	70,60
40	0,425	87,4	33,88	18,26	16	39,90	44,14	40,4	41,82	28,78
60	0,25	16,1	6,24	12,02	4,6	11,47	32,67	9,8	10,14	18,63
80	0,18	8,6	3,33	8,68	2,6	6,48	26,18	4,9	5,07	13,56
100	0,15	4,1	1,59	7,09	1,5	3,74	22,44	2,6	2,69	10,87
200	0,075	11,4	4,42	2,67	4,2	10,47	11,97	6,3	6,52	4,35
final		1,6	0,62		0,4	1,00		0,5	0,52	
total masa tamizada(g)		252,7			35,7			92,9		

Fuente: Autora. 2016.

⁶⁴ PERMEABILIDAD DEL SUELO. (En línea). Consultado el 31 de julio 2016. Disponible en: ftp://ftp.fao.org/fi/CDrom/FAO_training/FAO_training/general/x6706s/x6706s09.htm

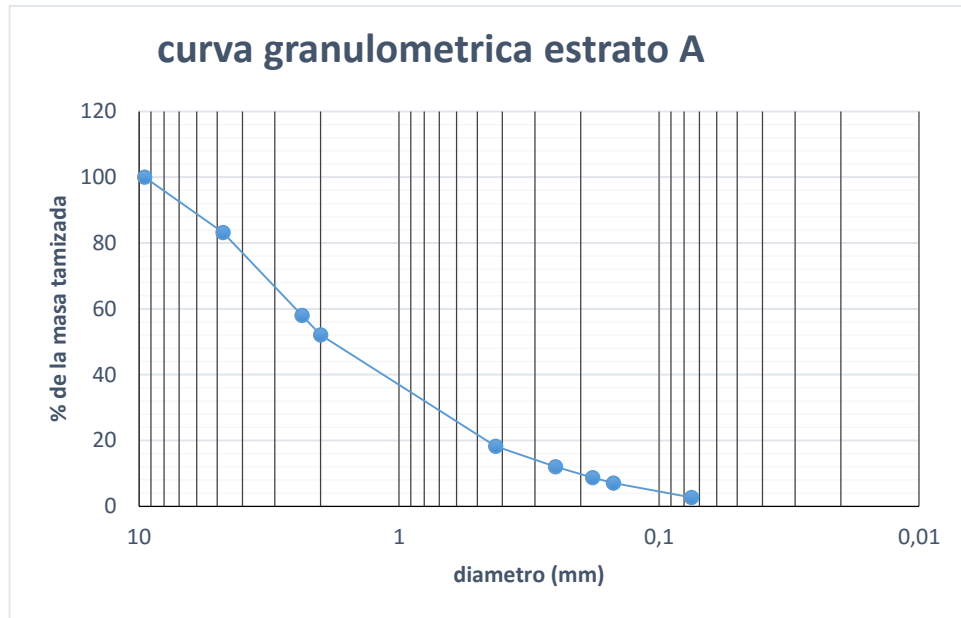
Tabla 17. Granulometría de los estratos D, E y F.

n° tamiz	diámetro tamiz (mm)	D			E			F		
		cantidad de muestra tamizada (g)	porcentaje de masa retenida	porcentaje de la masa tamizada	cantidad de muestra tamizada (g)	porcentaje de masa retenida	porcentaje de la masa tamizada	cantidad de muestra tamizada (g)	porcentaje de masa retenida	porcentaje de la masa tamizada
	9,52	0	0	100	0	0	100	0	0	100
4	4,75	2,4	2,99	97,01	15,4	10,34	89,66	35,6	16,98	83,02
8	2,36	11,2	13,93	83,08	17,7	11,89	77,77	38,1	18,17	64,85
10	2	2,9	3,61	79,48	5,6	3,76	74,01	12,6	6,01	58,85
40	0,425	31,7	39,43	40,05	60,4	40,56	33,45	79	37,67	21,17
60	0,25	8,6	10,70	29,35	19	12,76	20,69	15,5	7,39	13,78
80	0,18	4,8	5,97	23,38	8,7	5,84	14,84	8,1	3,86	9,92
100	0,15	2,2	2,74	20,65	4,5	3,02	11,82	4	1,91	8,01
200	0,075	5,8	7,21	13,43	9,8	6,58	5,24	10,5	5,01	3,00
final		6,9	8,58	4,85	2	1,34		1,1	0,52	
total masa tamizada (g)		76,5			143,1			204,5		

Fuente: Autora. 2016.

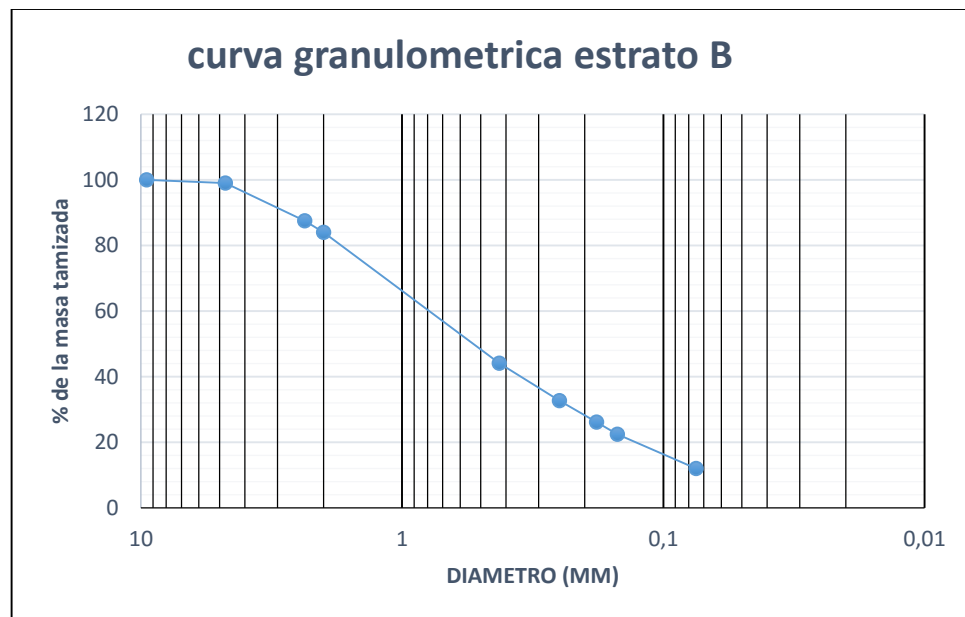
A la hora de realizar el lavado del suelo por el tamiz No 200 (tamiz de lavado), los limos y las arcillas del mismo se pierden en el proceso. Por ende, lo que se reflejará en las figuras 23 hasta 28 será la proporción de arenas y las gravas presentes en el suelo.

Figura 23. Curva granulométrica del estrato A.



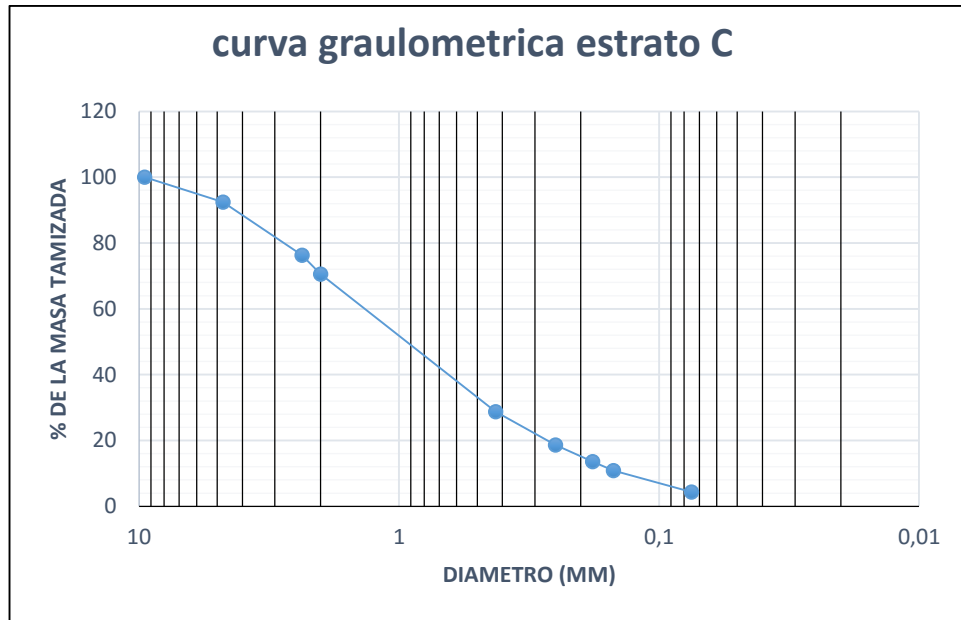
Fuente: Autora. 2016.

Figura 24. Curva granulométrica del estrato B.



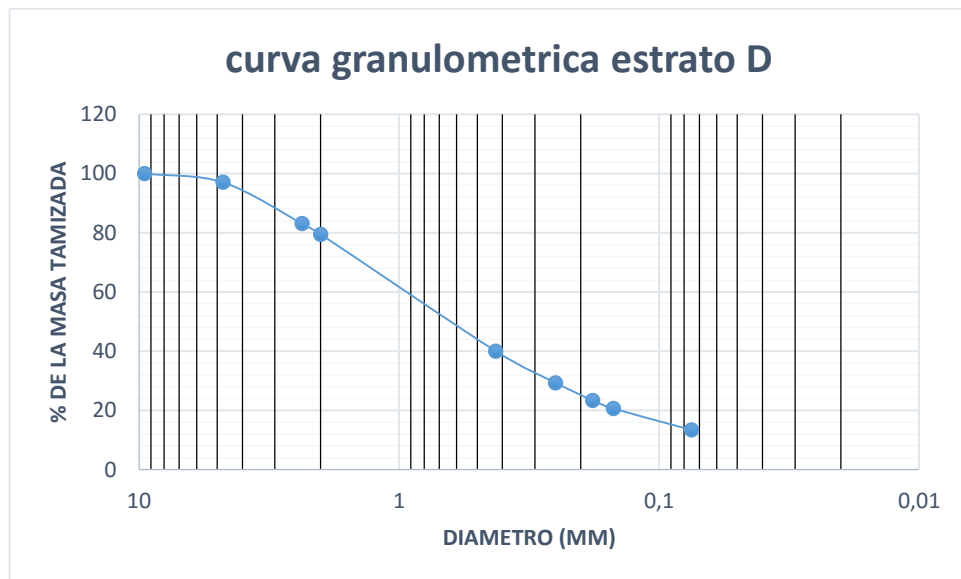
Fuente: Autora.2016.

Figura 25. Curva granulométrica del estrato C.



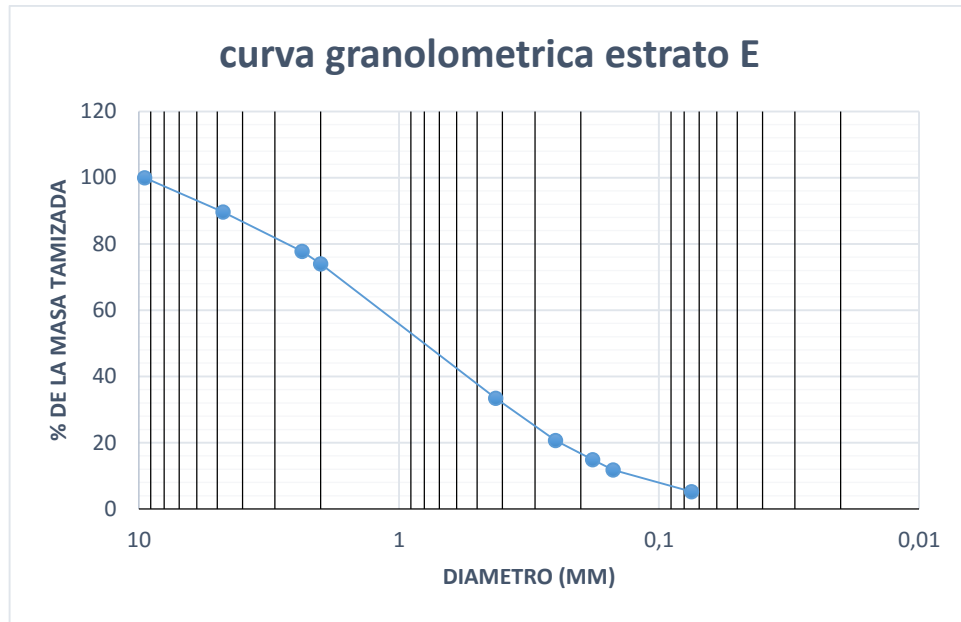
Fuente: Autora. 2016.

Figura 26. Curva granulométrica del estrato D.



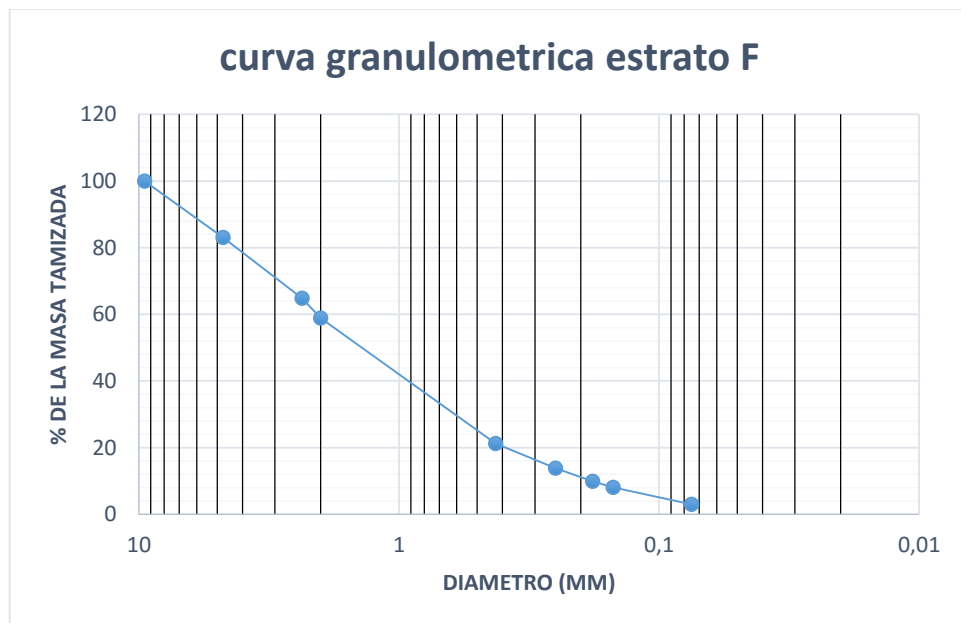
Fuente: Autora. 2016.

Figura 27. Curva granulométrica del estrato E.



Fuente: Autora. 2016.

Figura 28. Curva granulométrica del estrato F.



Fuente: Autora. 2016.

Observando las curvas granulométricas de cada estrato, se puede determinar el comportamiento similar que presentan los suelos en diferentes zonas de la finca. En donde las gráficas evaluadas demuestran que las partículas de suelo analizado posee un tamaño con diámetro de 0,1 a 10 mm, lo que comprueba su textura de un suelo franco arenoso arcilloso, el cual dentro su fracción arcilla pueden retener fácilmente el elemento cadmio.

La granulometría del suelo se puede expresar numéricamente a través de la determinación del coeficiente de uniformidad (Cu) y el coeficiente de curvatura (Cc), a través de las formulas 8 y 9:

$$\text{Coeficiente de uniformidad (Cu)} = \frac{D_{60}}{D_{10}} \quad [8]$$

$$\text{Coeficiente de curvatura (Cc)} = \frac{D_{30}^2}{D_{10} * D_{60}} \quad [9]$$

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 (ver Tabla 18).

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%

Tabla 18. Coeficientes de uniformidad y de curvatura.

	A	B	C	D	E	F
Cu	17,128	13,531	32,165	11,759	34,666	18,987
Cc	0,393	0,139	0,838	0,305	1,481	0,454
D10	0,053	0,055	0,021	0,066	0,016	0,043
D30	0,137	0,076	0,111	0,125	0,118	0,127
D60	0,907	0,748	0,690	0,779	0,569	0,823

Fuente: Autora. 2016.

De acuerdo a la tabla 17, los resultados del coeficiente de uniformidad (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. Además se puede notar que los estratos con mayo Cu son el C y E con valores de 32, 165 y 34,666 respectivamente.

El coeficiente de curvatura no está entre 1 y 3 el cual es el rango ideal en el que se debe encontrar, a excepción del estrato E, los demás estratos tienen un Cc menor que 1.

No existe una tendencia entre las concentraciones de cadmio en pepa seca, fresca y el suelo con las propiedades fisicoquímicas que se analizaron. Sin embargo, las propiedades físico químicas evaluadas en el suelo de la finca en estudio, si influye en la capacidad de bioacumulación del elemento cadmio en la planta y por lo tanto en el fruto. (Anexo E).

4.3 PROPUESTA DE ALTERNATIVAS DE MANEJO SOSTENIBLE DE CULTIVO Y PROCESAMIENTO DEL CACAO, EVALUANDO LA CONCENTRACIÓN DE CADMIO EN ALMENDRA SECA DE CACAO EN LA FINCA SELECCIONADA.

El concepto de desarrollo sostenible fue definido por primera vez en un informe presentado en 1987, por la comisión Brundtland ante la Comisión Mundial sobre Ambiente y Desarrollo de la Organización de las Naciones Unidas. La definición, tal como aparece en el informe llamado "Nuestro futuro común" es "Satisfacer las necesidades del presente, sin comprometer la capacidad de las futuras generaciones de satisfacer las suyas".⁶⁵

Teniendo en cuenta lo anterior, el ministerio de agricultura en Colombia afirma que se requiere estimular la producción forestal y agrícola en el país, teniendo como principal objetivo obtener mayores beneficios para el agricultor, garantizando de esta manera mejor calidad de su vida. Este aspecto social se complementa con el mayor margen de utilidad del productor pero para lograrlo, es necesario mejorar la calidad de sus productos por medio de optimización de los procesos productivos, de tal manera que la afectación al medio ambiente sea mínima.⁶⁶

Resumiendo, el desarrollo sostenible deben considerar 3 aspectos esenciales los cuales son, económico, social y el factor ambiental. De manera que el manejo y procesamiento del cultivo de cacao en la finca "La Esperanza" debe cumplir con estos tres aspectos para garantizar que su cultivo sea sostenible.

⁶⁵ RIECHMANN, Jorge. DESARROLLO SOSTENIBLE: LA LUCHA POR LA INTERPRETACION (En línea). Consultado el 3 de junio 2016. Disponible en: <http://www.ambiente.gov.ar/infoteca/imagenes/descargas/riechman01.pdf>

⁶⁶ Ministerio de Agricultura y Desarrollo Rural. GUIA AMBIENTAL PARA EL CULTIVO DE CACAO: impactos ambientales en el cultivo de cacao. 2013. (En línea). Consultado el 25 de abril 2016. Disponible en: http://www.fedecacao.com.co/site/images/recourses/pub_doctecnicos/fedecacao-pub-doc_05B.pdf

Estos tres aspectos se pueden evaluar por medio de un plan de manejo ambiental analizando los impactos generados por un cultivo de cacao sin control.

Aplicando el plan de manejo ambiental se puede promover la mitigación de la concentración de cadmio en el cacao, con la finalidad de protección de la salud humana, garantizando también mejores ingresos de los agricultores y la conservación del medio ambiente en el marco de sostenibilidad.

4.3.1 Identificación y evaluación de los impactos generados por el cultivo de cacao. En la finca “La Esperanza” se observó la iniciativa de implementar manejo sostenible por medio del reúso de diferentes residuos que se producen en el predio, convirtiéndolo en abono orgánico para el cultivo de cacao y demás cultivos en la finca. Aunque esto es una buena práctica, ya que no se lleva acabo de la manera correcta, ya que estos residuos contienen cadmio el cual se acumula en el suelo, siendo de esta manera nuevamente disponible para la planta de cacao.

Por otra parte se presencié un manejo inadecuado en el proceso de fermentación, el cual es sumamente importante para la determinación de la calidad del cacao. Este proceso no se aplica de manera rigurosa y precisa en la finca, debido a que puede variar por las condiciones climáticas de la zona y del tiempo de maduración exacto que haya tenido la mazorca. Como se ha mencionado en el documento, el proceso de fermentación presenta unos lixiviados los cuales pueden contener ciertas concentraciones de cadmio. Según estudios que se han realizado en Ecuador, se ha determinado que la mayor cantidad de cadmio se acumula en el jugo y la pulpa del cacao.⁶⁷

Otro impacto cual causa la acumulación del cadmio en almendra seca de cacao es el uso de insumos, como el abono orgánico ABIMGRA. Aunque el abono se aplica

⁶⁷ METALES PESADOS EN CACAO, PERSPECTIVA Y POSIBLE MANEJO. (En línea). Consultado el 6 de junio 2016. Disponible en: [http://nla.ipni.net/ipniweb/region/nla.nsf/e0f085ed5f091b1b852579000057902e/049b3f076c63e02705257e0e005767b1/\\$FILE/AA%20-%207%20Julio-2015.pdf](http://nla.ipni.net/ipniweb/region/nla.nsf/e0f085ed5f091b1b852579000057902e/049b3f076c63e02705257e0e005767b1/$FILE/AA%20-%207%20Julio-2015.pdf)

en algunas ocasiones pero su uso es perjudicial ya que uno de sus ingredientes químicos es la roca fosfórica del 36% de pentóxido de fósforo (P₂O₅), la cual está altamente relacionada con las concentraciones de cadmio en el suelo.

Los impactos identificados anteriormente conllevan a generar las propuestas que corrigen el inadecuado manejo de cultivo de cacao y de esta manera acumulan cadmio en el producto final. A continuación se proponen diferentes programas que permiten mitigar esta problemática, conduciendo a un cultivo de carácter sostenible.

4.3.2 Propuestas de manejo de los residuos orgánicos producidos en el cultivo de cacao en la finca “La Esperanza”. El manejo de los residuos sólidos orgánicos debe considerar su compostaje, en el cual es necesario el control de lixiviado y análisis de cadmio en este. De la misma manera se debe establecer el nivel de la concentración de cadmio en el material sólido. En la tabla 19 se especifica el programa de manejo de los residuos sólidos y en la tabla 20 de los residuos líquidos producidos en el compostaje y proceso de fermentación.

Tabla 19. Programa de manejo de residuos solidos

Manejo de residuos solidos	
Objetivo	<ul style="list-style-type: none"> Establecer un adecuado manejo de residuos sólidos orgánicos producidos por el cultivo de cacao en la finca “La Esperanza”.
Meta	<ul style="list-style-type: none"> Iniciar la nueva producción de abono orgánico a partir de los residuos sólidos generados por el cultivo de cacao, libre de cadmio.
Indicador de cadmio eliminado en el compostaje.	<ul style="list-style-type: none"> $\frac{\text{Concentración de cadmio en el material orgánico final}}{\text{Concentración de cadmio en el material orgánico inicial}} * 100$
Actividades	<ul style="list-style-type: none"> Recolección de los residuos como: cascara de cacao, hojas, pulpa de cacao, heces de animales. Determinación del elemento cadmio en el los residuos orgánicos. <ul style="list-style-type: none"> Compostaje de todos los residuos orgánicos. Determinación del elemento cadmio en el compostaje realizado. <ul style="list-style-type: none"> Establecer el porcentaje de remoción del cadmio.

	<ul style="list-style-type: none"> Recolección de lixiviados generados por compostaje para un posterior tratamiento y reúso. 					
Impactos a controlar	<ul style="list-style-type: none"> Contaminación del suelo y cuerpos hídricos. 					
Tipo de medida	<ul style="list-style-type: none"> Prevención en la incorporación de cadmio en el ciclo de producción de cacao. Mitigación de la concentración de cadmio en el ciclo de producción de cacao. 					
Responsable de la ejecución/ seguimiento	<ul style="list-style-type: none"> Agricultor. 					
Cronograma						
actividad	Mes1	Mes2	Mes3	Mes4	Mes5	Mes6
<ul style="list-style-type: none"> Recolección de los residuos como cascaras de cacao, hojas, pulpa de cacao, heces de animales. 						
<ul style="list-style-type: none"> Determinación del elemento cadmio en el los residuos orgánicos. 						
<ul style="list-style-type: none"> Compostaje de todos los residuos recolectados 						
<ul style="list-style-type: none"> Determinación del elemento cadmio en el compostaje realizado. 						
<ul style="list-style-type: none"> Establecer el porcentaje de remoción del cadmio. 						
<ul style="list-style-type: none"> Recolección de lixiviados generados por un compostaje para posterior tratamiento. 						

Fuente: Autora. 2016.

El manejo de los residuos líquidos generados por los lixiviados producidos durante el compostaje de los residuos orgánicos, así como en el proceso de fermentación, se le puede aplicar una precipitación adicionando la cal hasta un pH de 8,0, en el cual precipita este metal en forma de $\text{Cd}(\text{OH})_2$. Posteriormente se puede filtrar el precipitado y reutilizar estos líquidos para el siguiente ciclo de fermentación, aprovechando la presencia de las bacterias adaptadas en este lixiviado. De igual manera se puede reutilizar los lixiviados libre de cadmio en el proceso de compostaje.

En caso que estos residuos líquidos tengan un alto contenido de cadmio se recomienda una venta de este lixiviado en bolsa de residuos, para la recuperación de cadmio en forma metálica, al igual que los residuos de filtrado. (Ver tabla 20).

Tabla 20. Programa de manejo de residuos líquidos.

Manejo de residuos líquidos	
Objetivo	<ul style="list-style-type: none"> • Establecer un adecuado manejo de residuos líquidos generados en el proceso de fermentación del cultivo de cacao en la finca “La Esperanza”. • Implementar un adecuado manejo de residuos líquidos generados por la producción de abono orgánico.
Meta	<ul style="list-style-type: none"> • Eliminación de cadmio por medio de lixiviado producido en cada uno de los compostajes realizados. • Eliminación de cadmio en cada uno de los procesos de fermentación por medio de su precipitación. • Ofrecer una vez al año la venta de residuo generado en compostaje y fermentación, para la recuperación de cadmio en forma metálica.
Indicador de cadmio eliminado de los lixiviados de compostaje y fermentación.	<ul style="list-style-type: none"> • $\frac{\text{Concentración de cadmio en el material orgánico final}}{\text{Concentración de cadmio en el material orgánico inicial}} * 100$ • $\frac{\text{Cd en lixiviado inicial} - \text{Cd en lixiviado final}}{\text{lixiviado compostaje}} * 100$ • $\frac{\text{Cd en lixiviado inicial} - \text{Cd en lixiviado final}}{\text{lixiviado fermentacion}} * 100$
Actividades	<ul style="list-style-type: none"> • Determinación del elemento cadmio en los lixiviados recolectados en el compostaje. • Determinación del elemento cadmio en los lixiviados recolectados en la fermentación. <ul style="list-style-type: none"> • Aplicar tratamiento establecido en cada uno de los lixiviados. • Determinar la concentración de cadmio residual en cada uno de los lixiviados tratados. <ul style="list-style-type: none"> • Establecer el porcentaje de remoción del cadmio. • Reutilizar los lixiviados cada uno en su proceso. • Ofrecer venta de los residuos con alto contenido de cadmio para la recuperación de metal

Impactos a controlar	<ul style="list-style-type: none"> • Contaminación del suelo. • Contaminación de cuerpos hídricos. 					
Tipo de medida	<ul style="list-style-type: none"> • Prevención en la incorporación de cadmio en el ciclo de producción de cacao. • Mitigación de la concentración de cadmio en el ciclo de producción de cacao. 					
Responsable de la ejecución/ seguimiento	<ul style="list-style-type: none"> • Agricultor. 					
Cronograma						
actividad	Mes1	Mes2	Mes3	Mes4	Mes5	Mes6
• Determinación del elemento cadmio en los lixiviados recolectados en el compostaje.						
• Determinación del elemento cadmio en los lixiviados recolectados en la fermentación.						
• Aplicar tratamiento establecido en cada uno de los lixiviados.						
• Determinar la concentración de cadmio residual en cada uno de los lixiviados tratados.						
• Establecer el porcentaje de remoción del cadmio.						
• Reutilizar los lixiviados cada uno en su proceso.						
• Ofrecer venta de los residuos con alto contenido de cadmio para la recuperación de metal.						

Fuente: Autora. 2016.

4.3.3 Propuesta de manejo de suelo contaminado con cadmio en la finca “La Esperanza”. Para evitar la transferencia de cadmio disuelto en agua del suelo a la planta de cacao se propone la inmovilización de este metal, transformándolo de una forma iónica a una forma estable $\text{Cd}(\text{OH})_2$. El procedimiento de inmovilización más frecuentemente usado es el incremento del pH por medio de aplicación de cal.⁶⁸

El programa correspondiente a esta propuesta se especifica en la tabla 21.

Tabla 21. Programa de inmovilización de cadmio por medio del incremento del pH en el suelo.

Inmovilización de cadmio por incremento de pH en el suelo						
Objetivo	<ul style="list-style-type: none"> Inmovilizar el elemento cadmio por medio del incremento del pH en el suelo. 					
Meta	<ul style="list-style-type: none"> Inmovilizar cadmio presente en el suelo por medio de la precipitación para impedir su transferencia a la planta de cacao. 					
Indicador de la cantidad de cadmio disponible para la planta de cacao.	<ul style="list-style-type: none"> Realizar el control de cadmio en la almendra seca de cacao durante un año. 					
Actividades	<ul style="list-style-type: none"> Analizar la concentración de cadmio en almendra seca de cacao al iniciar tratamiento del suelo. implementación de cal para la inmovilización de cadmio en el suelo. Analizar la concentración de cadmio en almendra seca de cacao después de tratamiento del suelo. 					
Impactos a controlar	<ul style="list-style-type: none"> Contaminación del suelo. 					
Tipo de medida	<ul style="list-style-type: none"> Prevención. Mitigación. 					
Responsable de la ejecución/ seguimiento	<ul style="list-style-type: none"> Agricultor. 					
Cronograma						
actividad	Mes1	Mes2	Mes3	Mes4	Mes5	Mes6

⁶⁸ HERRERA, Teodoro. La contaminación de cadmio en suelos agrícolas. (En línea). Consultado el 8 de junio de 2016. Disponible en: https://www.academia.edu/7195023/LA_CONTAMINACION_DEL_CADMIUM_EN_SUELOS_AGRICOLAS

<ul style="list-style-type: none"> Analizar la concentración de cadmio en almendra seca de cacao al iniciar tratamiento del suelo. 						
<ul style="list-style-type: none"> implementación de cal para la inmovilización de cadmio en el suelo. 						
<ul style="list-style-type: none"> Analizar la concentración de cadmio en almendra seca de cacao después de tratamiento del suelo. 						

Se debe tener en cuenta que el proceso de inmovilización está sujeto a muchos cambios químicos que puede presentar este elemento. De esta manera es posible un aumento de la solubilidad de hidróxido de cadmio, ya que el cadmio se involucra en una serie de complejos. El control de pH es muy importante dado que al sobrepasar el valor 8 en el cual precipita hidróxido de cadmio, se pueden presentar diferentes acciones especificadas a continuación.

La literatura reporta que a un pH = 9, se puede generar los equilibrios presentes en las siguientes reacciones:

- $\text{Cd}(\text{OH})_2 = \text{Cd}^{2+} + 2\text{OH}^- \quad K_{ps} = 10^{-13,65}$
- $\text{Cd}(\text{OH})_2 = \text{CdOH}^+ + \text{OH}^- \quad K_{ps} = 10^{-9,49}$
- $\text{Cd}(\text{OH})_{2(5)} = \text{Cd}(\text{OH})_2 \quad K_{ps} = 10^{-9,49}$
- $\text{Cd}(\text{OH})_{2(5)} + \text{OH}^- = \text{HCdO}_2^- + \text{H}_2\text{O} \quad K_{ps} = 10^{-12,97}$
- $\text{Cd}(\text{OH})_{2(5)} + 2\text{OH}^- = \text{CdO}_2^{-2} + 2\text{H}_2\text{O} \quad K_{ps} = 10^{-13,97}$

El cálculo de concentraciones de cadmio presente en diferentes formas de los equilibrios anteriores es:

$$1^\circ [\text{Cd}^{2+}] = K_{ps} / [\text{OH}^-]^2 = 10^{-13,65} / (10^{-5})^2 = 10^{-3,65}$$

$$2^{\circ} [\text{CdOH}^+] = K_{ps} / [\text{OH}] = 10^{-9,49} / 10^{-5} = 10^{-4,49}$$

$$3^{\circ} [\text{Cd}(\text{OH})_2^0] = K_{ps} = 10^{-9,49}$$

$$4^{\circ} [\text{HCdO}_2^{-2}] = K_{ps} * (\text{OH}^-) = 10^{-12,97} * 10^{-5} = 10^{-17,97}$$

$$5^{\circ} [\text{CdO}_2^{-2}] = K_{ps} * (\text{OH}^-)^2 = 10^{-13,97} * (10^{-5})^2 = 10^{-23,97}$$

Sumando las concentraciones de cadmio de las anteriores ecuaciones se obtienen un total que es:

$$\text{Concentración total de cadmio} = 10^{-3,65} + 10^{-4,49} + 10^{-9,49} + 10^{-17,97} + 10^{-23,97}$$

$$\text{Concentración total de cadmio} = 2,56 \times 10^{-4}$$

Comparando este valor con su solubilidad cuando el hidróxido de cadmio está a un pH = 8, correspondiente a una solubilidad de $2,24 \times 10^{-4}$, se nota un aumento de la solubilidad por medio de la formación de estos complejos, siendo esta $2,56 \times 10^{-4}$.⁶⁹

Viendo la desventaja de la variación de pH en el suelo para la inmovilización del elemento cadmio, se propone una alternativa de fitorremediación, la cual permite eliminación de cadmio por medio de plantas que acumulan este elemento. Esta es 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.

De acuerdo con Wenzel. (Wenzel et al, 1999), se pueden distinguir cinco procesos básicos: fitoestabilización, fitoextracción, fitodegradación, fitovolatilización y rizofiltración. A continuación se da una breve descripción de cada proceso:

- Fitoestabilización: consiste en la reducción de la biodisponibilidad de los contaminantes mediante la revegetación con especies vegetales tolerantes a la

⁶⁹ VERNONL, SNOEYINK. D. JENKINS. QUIMICA DEL AGUA. LIMUSA. 1987

toxicidad que inactiven los contaminantes para reducir el riesgo para el medio ambiente y la salud humana.

- Fitoextracción: también llamada fitoacumulación, emplea la capacidad de las plantas para extraer el contaminante, principalmente metales, y acumularlo en sus raíces, tallos u hojas. Una vez terminado el proceso, las plantas son retiradas junto con el contaminante y destruidas o recicladas.
- Fitodegradación: consiste en la degradación de los contaminantes por la acción de las plantas y de los microorganismos asociados a ellas. Los contaminantes son metabolizados dentro de los tejidos vegetales y las plantas producen enzimas, como la dehalogenasa y la oxigenasa, que ayudan a catalizar la degradación.
- Fitovolatilización: la planta da lugar a la volatilización de los contaminantes del suelo.
- La Rizofiltración, que produce la absorción de metales en aguas contaminadas a través de las raíces de las plantas.⁷⁰

Teniendo en cuenta lo anterior es conveniente aplicar el proceso de fitoextracción o fitoacumulación. De manera que la planta seleccionada para realizar esta técnica, debe tolerar diferentes condiciones como el clima, el tipo de suelo y las elevadas concentraciones del contaminante. Para su buen funcionamiento se debe tener presente que la siembra de esta planta 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 fitoacumuladora 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.

⁷⁰ ORTIZ, Irene; SANZ, Juana. Técnicas de recuperación de suelos contaminados. (En línea). Consultado el 16 de junio 2016. Disponible en: https://www.madrimasd.org/informacionidi/biblioteca/publicacion/doc/vt/vt6_tecnicas_recuperacion_suelos_contaminados.pdf

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.⁷¹

Una vez terminado el proceso, las plantas son retiradas junto con el contaminante y destruidas o recicladas. En este caso pueden ser reutilizadas para el compostaje y producción de abono orgánico, realizando su debido manejo de residuos orgánicos sólidos y líquidos.

Como una alternativa adicional para el mejoramiento del manejo del cultivo de cacao se propone la aplicación de buenas prácticas agrícolas (BPA), las cuales se definen como todas aquellas actividades encaminadas a lograr una producción agrícola más eficiente, empleando una serie de normas que nos permitan vivir y disfrutar un ambiente más sano además de obtener la opción de poder comercializar productos de buena calidad cumpliendo la normativa local e internacional.

Se deben tener varios aspectos en cuenta para aplicar las BPA en la finca “La Esperanza”, como saber la historia de la finca, es decir, conocer la formación geomorfológica del suelo y saber que uso ha dado a la tierra antes y que químicos se han utilizado. Además se recomienda adquirir las semillas, yemas o plántulas en viveros o fincas certificados por el ICA, ya que esto asegura que estas semillas no vengan ya contaminadas con cadmio u otro elemento.

⁷¹ LOPEZ MARTINEZ Sugely . L PÉREZ-FLORES Jura J. . Mecanismos de fitorremediación de suelos contaminados con moléculas orgánicas xenobióticas. 2004. (En línea). Consultado el 16 de junio 2016. Disponible en: https://www.researchgate.net/publication/26475497_Mecanismos_de_fitorremediacion_de_suelos_contaminados_con_moleculas_organicas_xenobioticas

5. CONCLUSIONES

En la finca La Esperanza se cultiva el cacao regional (criollo), sembrado a través de semilla, este cultivo es abonado con fertilizante orgánico, realizado en la finca con los desechos generados por el cultivo cacao y complementado con un fertilizante comercial siendo ambos portadores del elemento cadmio.

Se evidenció la presencia de cadmio en almendra seca de cacao en todos los estratos seleccionados en la finca “La Esperanza” con concentraciones entre 1,062 mg/Kg y 36,1665 mg/Kg. Estos valores sobrepasan la cantidad permitida por la norma europea (UE) No 488/2014 de la comisión del 12 de mayo de 2014, en algunos de los productos que utilizan el cacao como materia prima.

La almendra fresca de cacao, analizada en los estratos determinados en la finca “La Esperanza”, presento las concentraciones de cadmio entre 2,56 mg/Kg y 19,2 mg/Kg.

El elemento cadmio analizado en el suelo de cada estrato de la finca “La Esperanza” a una profundidad de 0-20 cm, presentó concentraciones entre 3,39 mg/Kg y 13,88 mg/Kg.

El suelo en la finca “La Esperanza” es franco arenoso arcilloso por lo tanto tiene una velocidad de infiltración alta, poco compacto con un bajo pH entre 3,37 a 4,63, intercambiador catiónico y un porcentaje de humedad gravimétrica entre 29,870% y 53,846%. Estas propiedades indican la posibilidad de un traslado del elemento cadmio del solido a la fase acuosa y su transferencia de un estrato a otro con la posibilidad de bioacumulación en la parte baja del terreno de la finca.

Las propuestas de manejo sostenible del cultivo en la finca "La Esperanza" involucra programas de manejo de residuos orgánicos sólidos y líquidos, la inmovilización de cadmio en el suelo por medio de incremento de pH en el suelo y la fitorremediación.

La implementación de los programas propuestos permite un manejo sostenible de cultivo y procesamiento de cacao mejorando la calidad del producto final en cuanto a la concentración de cadmio y de esta manera siendo más valorado en los mercados internacionales.

6. RECOMENDACIONES

Detener el uso de insumo ABIMGRA, ya que uno de sus ingredientes químicos es la roca fosfórica del 36% de pentóxido de fósforo (P_2O_5), la cual está altamente relacionada con las concentraciones de cadmio en el suelo.

Se recomienda analizar el tallo, las hojas, cascara de la mazorca y la raíz de la planta de cacao, con el fin de determinar el coeficiente de fitoextracción y el factor de translocación y de esta manera relacionar el contenido de cadmio en el suelo con la bioacumulación de este metal en la planta y su traslado.

Estandarizar el proceso de fermentación para eliminar la máxima cantidad de cadmio y generar un producto de mejor calidad.

Desarrollar un estudio geomorfológico de la zona para conocer y relacionar la presencia de la roca fosfórica presente en la finca “La Esperanza”, con las concentraciones de cadmio a los cultivos de cacao.

Se recomienda la aplicación de los programas de manejo de residuos orgánicos sólidos y líquidos, la inmovilización de cadmio en el suelo por medio de incremento de pH en el suelo y la fitorremediación.

Como alternativa adicional para el mejoramiento del manejo del cultivo de cacao se recomienda la aplicación de buenas prácticas agrícolas (BPA).

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

ARBOLEDA, Ricardo; GONZÁLEZ Alejandro. Análisis socioeconómico del sector cacaotero colombiano: Diagnostico del sector cacaotero colombiano, Envigado, 2010. P 30. Ingeniero administrativo, Escuela de Ingeniería de Antioquia, Ingeniería Administrativa.

ARENAS, Santiago; HERNANDEZ Santiago. Fitotoxicidad del cadmio (cd) y el mercurio (hg) en la especie brassica nigra. Medellin, 2012. P 19. Ingeniero ambiental. Universidad de Medellin.

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

BATISTA, Lépido. Guía Técnica el Cultivo de Cacao, Santo Domingo: CEDAF, 2009.

COMPAÑÍA NACIONAL DE CHOCOLATES S.A.S, El cultivo de cacao, 2012, (En línea) consultado el 10 de abril 2016. Disponible en: https://chocolates.com.co/sites/default/files/default_images/paquete_tecnologico_cacao_cnch_enero_2012.pdf

CONABIO: Comisión Nacional para el Conocimiento y uso de la Biodiversidad. (En línea) Consultado el 07 de abril 2016. Disponible en: http://www.conabio.gob.mx/conocimiento/info_especies/arboles/doctos/68-sterc03m.pdf

CONSORCIO POR E DESARROLLO INTEGRAL SOSTENIBLE Y LA PAZ DEL GUAVIARE. Estudio de factibilidad para la transformación industrial del cacao en el Guaviare. (En línea) consultado el 20 de abril 2016. Disponible en: https://issuu.com/consorciodeispaz/docs/dpz_-_proyecto_planta_cacao_guaviar

D. H. URQUHART. Cacao: introducción, Turrialba: editorial SIC, 1963.

DOSTERT, Nicolás; ROQUE, José. Hoja botánica: Cacao, Lima: Giacomotti Comunicación Gráfica S.A.C., 2012.

ECHEVERRI. Jorge. Tecnología moderna en la producción de cacao: manual para productores orgánicos, San José: MAG. 2013.

EGUIGUREN, Andrea; CARMONA, Jonathan. Estudio del cacao y propuesta gastronómica de autor: variedades, características y propiedades del cacao, Quito, 2012. Ingeniero gastronómico, Universidad Internacional del Ecuador, escuela de gastronomía.

ENRIQUEZ. Gustavo, Curso sobre el cultivo de cacao: historia del cacao, Turrialba: CATIE, 1985. ISBN 9977-951-52-7

ENRIQUEZ, Gustavo, Manual del Cacao para agricultores, San José: Universidad estatal a distancia. 1987.

FEDERACIÓN NACIONAL DE CACAOTEROS, FEDECACAO. Producción de cacao aumenta en 2015 y se consolida como cultivo clave en el pos conflicto (En línea) consultado el 15 de abril 2016. Disponible en: <http://www.fedecacao.com.co/portal/index.php/es/2015-04-23-20-00-33/144-produccion-de-cacao-aumenta-en-2015-y-se-consolida-como-cultivo-clave-en-el-pos-conflicto>

GONZÁLEZ, Carlos. Guía de gestión de los desechos de mayor volumen e incidencia en el instituto costarricense de electricidad: Cadmio. San José, 2008. P 12. Magíster Scientiae en Manejo de Recursos Naturales con énfasis en Gestión Ambiental. Universidad Estatal A Distancia, vicerrectoría Académica, Escuela de Ciencias Exactas y Naturales.

LAMBERT, Smilja. FERMENTACIÓN DEL CACAO, ASPECTOS GENERALES. (En línea). Consultado el 02 de junio 2016. Disponible en: http://www.ruta.org/CDOC-Deployment/documentos/19_Fermentacion_del_Cacao.pdf

LENNTECH, efectos del cadmio sobre la salud. (En línea). Consultado 23 de abril 2016. Disponible en: <http://www.lenntech.es/periodica/elementos/cd.htm>

LÓPEZ MARTÍNEZ Sugely. L. PÉREZ-FLORES aura J. Mecanismos de fitorremediación de suelos contaminados con moléculas orgánicas xenobióticas. 2004. (En línea). Consultado el 16 de junio 2016. Disponible en: https://www.researchgate.net/publication/26475497_Mecanismos_de_fitorremediacion_de_suelos_contaminados_con_moleculas_organicas_xenobioticas

LÓPEZ, Procopio. Programa estratégico para el desarrollo rural sustentable de la región sur-sureste de México: trópico húmedo, Huimanguillo: Centro de Investigación Regional – golfo centro. 2011.

MANEJO FITOSANITARIO DEL CULTIVO DEL CACAO. Enfermedades que afectan al cacao, 2012 (En línea). Consultado el 10 de abril 2016. Disponible en: <http://www.ica.gov.co/getattachment/c01fa43b-cf48-497a-aa7f-51e6da3f7e96/-nbs;M;anejo-fitosanitario-del-cultivo-de-Cacao.aspx>

MARTÍNEZ, Genny; PALACIO, Carolina. Determinación de metales pesados cadmio y plomo e suelos y granos de cacao frescos y fermentados mediante espectroscopia de absorción atómica de llama. Bucaramanga. 2010. P 20-22. QUIMICA, UIS, Facultad de Ciencias, Escuela de Química.

MARTÍNEZ, Sandra; NASSAR, Basem. Estudio de costo beneficio de secadores de cacao para la cooperativa San Fernando de Omoa: tipos de cacao, San Pedro Sula, 2013, Master en Dirección Empresarial, Universidad Tecnológica Centroamericana, facultad de postgrado.

MEJÍA, Luis; ARGUELLO, Orlando. Tecnología para el mejoramiento del sistema de producción de cacao, Bucaramanga: CORPOICA, 2000.

METALES PESADOS EN CACAO, PERSPECTIVA Y POSIBLE MANEJO. (En línea). Consultado el 6 de junio 2016. Disponible en: [http://nla.ipni.net/ipniweb/region/nla.nsf/e0f085ed5f091b1b852579000057902e/049b3f076c63e02705257e0e005767b1/\\$FILE/AA%20-%207%20Julio-2015.pdf](http://nla.ipni.net/ipniweb/region/nla.nsf/e0f085ed5f091b1b852579000057902e/049b3f076c63e02705257e0e005767b1/$FILE/AA%20-%207%20Julio-2015.pdf)

Ministerio de Agricultura y Desarrollo Rural. GUIA AMBIENTAL PARA EL CULTIVO DE CACAO: impactos ambientales en el cultivo de cacao. 2013. (En línea). Consultado el 25 de abril 2016. Disponible en: http://www.fedecacao.com.co/site/images/recourses/pub_doctecnicos/fedecacao-pub-doc_05B.pdf

OLARTE, Diana. Estado del arte del marco regulador para lograr la denominación del origen del cacao: Mercado del cacao en Colombia, Bucaramanga, 2014.

Ingeniero Industrial, Universidad Pontificia Bolivariana, Escuela de Ingenierías y Administración, Facultad de Ingeniería Industrial

ORTIZ, Irene; SANZ, Juana. Técnicas de recuperación de suelos contaminados. (En línea). Consultado el 16 de junio 2016. Disponible en: https://www.madrimasd.org/informacionidi/biblioteca/publicacion/doc/vt/vt6_tecnicas_recuperacion_suelos_contaminados.pdf

PERMEABILIDAD DEL SUELO. (En línea). Consultado el 31 de julio 2016. Disponible en: ftp://ftp.fao.org/fi/CDrom/FAO_training/FAO_training/general/x6706s/x6706s09.htm

PNUMA. Análisis del flujo del comercio y revisión de prácticas de manejo ambientalmente racionales de productos conteniendo cadmio, plomo y mercurio en América Latina y el Caribe. (En línea). Consultado el 07 de junio 2016. Disponible en: http://www.unep.org/chemicalsandwaste/Portals/9/Lead_Cadmium/docs/Trade_Reports/LAC/Trade_report_LAC_Spanish_and_English.pdf

RIECHMANN, Jorge. DESARROLLO SOSTENIBLE: LA LUCHA POR LA INTERPRETACION (En línea). Consultado el 3 de junio 2016. Disponible en: <http://www.ambiente.gov.ar/infoteca/aea/descargas/riechman01.pdf>

RÍOS, Diego. Descripción de la diversidad entomológica asociada a la flor de Theobroma cacao: Descripción de Theobroma cacao, Quito, 2015, Licenciado en Ciencias Biológicas, Pontificia Universidad Católica del Ecuador, Facultad de Ciencias Exactas y Naturales, Escuela de Ciencias Biológicas.

RUIZ, Ximena. Diversidad genética de cacao Theobroma cacao L. con marcadores moleculares microsatélites, Palmira, 2014. Magister en Ciencias Agrarias,

Universidad Nacional de Colombia, facultad de Ciencias Agrarias, escuela de Postgrados.

RODRÍGUEZ Serrano, MARTÍNEZ de la Casa, ROMERO Puertas, L.A. del Río, Sandalio, 2008.


SOTO, Oscar. Optimización en la recuperación del cadmio por inhibición del talio, níquel y fierro en la solución de sulfato de cadmio en la planta de cadmio-refinería de zinc cajamarquilla. Lima, Perú. 2007. Ingeniero Metalúrgico, Universidad Nacional Mayor De San Marcos.

VERNONL, SNOEYINK. D. JENKINS. QUIMICA DEL AGUA. LIMUSA. 1987

VILLANUEVA, Liliana. Evaluación del impacto de los fertilizantes fosfatados en la acumulación de cadmio en los suelos cultivados con maíz. (En línea). Consultado el 31 de julio 2016. Disponible en: <http://mgpa.forestaluchile.cl/Tesis/Villanueva%20Liliana.pdf>

ANEXOS

Anexo A. Resultados de Análisis de Cadmio en Almendra Seca de Cacao

 <p>Universidad Pontificia Bolivariana SECCIONAL BUCARAMANGA</p>	<p>FORMATO REPORTE DE RESULTADOS DE ENSAYO LABORATORIO DE ESTUDIOS AMBIENTALES Código: B-FO-070 Versión: 03</p>
---	--

Reporte No: 75-015

1. DESCRIPCIÓN DE LA MUESTRA	
Cliente:	Proyecto de investigación BIT-005-0815-IM
Dirección:	Universidad Pontificia Bolivariana – Seccional Bucaramanga Oficina K-406
Código:	75
Tipo de muestra:	Cacao
Lugar de Muestreo:	EAPSCI
Fecha de Muestreo:	N/A
Fecha de Recepción:	2015-10-23
Fecha de Reporte:	2015-11-10

2. REPORTE DE RESULTADOS

VARIABLE	UNIDADES	RESULTADO	FECHA DE ANALISIS	METODO
Cadmio*	mg Cd/Kg	1.2114	2015-11-09	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 empaquetadas y etiquetadas por el cliente, a temperatura ambiente.

Revisó y Aprobó:

Firma: _____

Nombre: Goo. 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: I-FO-070
Versión: 03

Reporte No: 76-015

1. DESCRIPCIÓN DE LA MUESTRA

Cliente:	Proyecto de investigación BIT-005-0815-IM
Dirección:	Universidad Pontificia Bolivariana – Seccional Bucaramanga Oficina K-406
Código:	76
Tipo de muestra:	Ceceo
Lugar de Muestreo:	EBPSCI
Fecha de Muestreo:	N/A
Fecha de Recepción:	2015-10-23
Fecha de Reporte:	2015-11-10

2. REPORTE DE RESULTADOS

VARIABLE	UNIDADES	RESULTADO	FECHA DE ANALISIS	METODO
Cadmio*	mg Cd/Kg	36.1665	2015-11-09	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 empaquetadas 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.

1 de 1

1. DESCRIPCIÓN DE LA MUESTRA

Cliente:	Proyecto de investigación BIT-005-0815-IM
Dirección:	Universidad Pontificia Bolivariana – Seccional Bucaramanga Oficina K-406
Código:	77
Tipo de muestra:	Cacao
Lugar de Muestreo:	ECPSCI
Fecha de Muestreo:	N/A
Fecha de Recepción:	2015-10-23
Fecha de Reporte:	2015-11-10

2. REPORTE DE RESULTADOS

VARIABLE	UNIDADES	RESULTADO	FECHA DE ANALISIS	METODO
Cadmio*	mg Cd/Kg	1,4349	2015-11-09	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 empaquetadas 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: 78-015

1. DESCRIPCIÓN DE LA MUESTRA	
Cliente:	Proyecto de investigación BIT-005-0815-IM
Dirección:	Universidad Pontificia Bolivariana – Seccional Bucaramanga Oficina K-406
Código:	78
Tipo de muestra:	Cacao
Lugar de Muestreo:	EDPSCI
Fecha de Muestreo:	N/A
Fecha de Recepción:	2015-10-23
Fecha de Reporte:	2015-11-10

2. REPORTE DE RESULTADOS

VARIABLE	UNIDADES	RESULTADO	FECHA DE ANALISIS	METODO
Cadmio*	mg Cd/Kg	23.6256	2015-11-09	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 empaquetadas 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.

1 de 1

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

Reporte No: 79-015

1. DESCRIPCIÓN DE LA MUESTRA	
Cliente:	Proyecto de investigación BIT-005-0815-IM
Dirección:	Universidad Pontificia Bolivariana – Seccional Bucaramanga Oficina K-406
Código:	79
Tipo de muestra:	Cacao
Lugar de Muestreo:	EEPSCI
Fecha de Muestreo:	N/A
Fecha de Recepción:	2015-10-23
Fecha de Reporte:	2015-11-10

2. REPORTE DE RESULTADOS

VARIABLE	UNIDADES	RESULTADO	FECHA DE ANALISIS	METODO
Cadmio*	mg Cd/Kg	6.7039	2015-11-09	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: 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.

1 de 1

1. DESCRIPCIÓN DE LA MUESTRA

Cliente:	Proyecto de investigación BIT-005-0815-IM
Dirección:	Universidad Pontificia Bolivariana – Seccional Bucaramanga Oficina K-406
Código:	80
Tipo de muestra:	Cacao
Lugar de Muestreo:	EFPSCI
Fecha de Muestreo:	N/A
Fecha de Recepción:	2015-10-23
Fecha de Reporte:	2015-11-10

2. REPORTE DE RESULTADOS

VARIABLE	UNIDADES	RESULTADO	FECHA DE ANALISIS	METODO
Cadmio*	mg Cd/Kg	1.0628	2015-11-09	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: 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.

Anexo B. Resultados de Análisis de Cadmio en la Muestra de Almendra Fresca de Cacao.

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

Reporte No: 62-016

1. DESCRIPCIÓN DE LA MUESTRA	
Cliente:	Proyecto de investigación BIT-005-0815-IM
Dirección:	Universidad Pontificia Bolivariana – Seccional Bucaramanga Oficina K-406
Código:	62
Tipo de muestra:	CACAO PEPA FRESCA
Lugar de Muestreo:	FINCA LA ESPERANZA - ESTRATO A
Fecha de Muestreo:	N/A
Fecha de Recepción:	2016-03-09
Fecha de Reporte:	2016-04-06

2. REPORTE DE RESULTADOS

VARIABLE	UNIDADES	RESULTADO	FECHA DE ANALISIS	METODO
Cadmio*	mg Cd/Kg	2.90	2016-04-05	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: 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.

1 de 1

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

Reporte No: 63-016

1. DESCRIPCIÓN DE LA MUESTRA	
Cliente:	Proyecto de investigación BIT-005-0815-IM
Dirección:	Universidad Pontificia Bolivariana – Seccional Bucaramanga Oficina K-406
Código:	63
Tipo de muestra:	CACAO PEPA FRESCA
Lugar de Muestreo:	FINCA LA ESPERANZA - ESTRATO B
Fecha de Muestreo:	N/A
Fecha de Recepción:	2016-03-09
Fecha de Reporte:	2016-04-06

2. REPORTE DE RESULTADOS

VARIABLE	UNIDADES	RESULTADO	FECHA DE ANALISIS	METODO
Cadmio*	mg Cd/Kg	6.40	2016-04-05	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 empaquetadas y etiquetadas por el cliente, a temperatura ambiente.

Revisó y Aprobó:

Firma: _____

Nombre: Goo. 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

1. DESCRIPCIÓN DE LA MUESTRA

Cliente:	Proyecto de investigación BIT-005-0815-IM
Dirección:	Universidad Pontificia Bolivariana – Seccional Bucaramanga Oficina K-406
Código:	64
Tipo de muestra:	CACAO PEPA FRESCA
Lugar de Muestreo:	FINCA LA ESPERANZA - ESTRATO C
Fecha de Muestreo:	N/A
Fecha de Recepción:	2016-03-09
Fecha de Reporte:	2016-04-06

2. REPORTE DE RESULTADOS

VARIABLE	UNIDADES	RESULTADO	FECHA DE ANALISIS	METODO
Cadmio*	mg Cd/Kg	2.56	2016-04-05	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: 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.

 Universidad Pontificia Bolivariana SECCIONAL BUCARAMANGA	FORMATO REPORTE DE RESULTADOS DE ENSAYO LABORATORIO DE ESTUDIOS AMBIENTALES Código: I-FO-070 Versión: 03
	Reporte No: 65-016

1. DESCRIPCIÓN DE LA MUESTRA	
Cliente:	Proyecto de investigación BIT-005-0815-IM
Dirección:	Universidad Pontificia Bolivariana – Seccional Bucaramanga Oficina K-406
Código:	65
Tipo de muestra:	CACAO PEPA FRESCA
Lugar de Muestreo:	FINCA LA ESPERANZA - ESTRATO D
Fecha de Muestreo:	N/A
Fecha de Recepción:	2016-03-09
Fecha de Reporte:	2016-04-06

2. REPORTE DE RESULTADOS

VARIABLE	UNIDADES	RESULTADO	FECHA DE ANALISIS	METODO
Cadmio*	mg Cd/Kg	19.20	2016-04-05	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 empaquetadas 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.

1 de 1

1. DESCRIPCIÓN DE LA MUESTRA

Cliente:	Proyecto de investigación BIT-005-0815-IM
Dirección:	Universidad Pontificia Bolivariana – Seccional Bucaramanga Oficina K-406
Código:	66
Tipo de muestra:	CACAO PEPA FRESCA
Lugar de Muestreo:	FINCA LA ESPERANZA - ESTRATO E
Fecha de Muestreo:	N/A
Fecha de Recepción:	2016-03-09
Fecha de Reporte:	2016-04-06

2. REPORTE DE RESULTADOS

VARIABLE	UNIDADES	RESULTADO	FECHA DE ANALISIS	METODO
Cadmio*	mg Cd/Kg	14.17	2016-04-05	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 empaquetadas 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.

1. DESCRIPCIÓN DE LA MUESTRA

Cliente:	Proyecto de investigación BIT-005-0615-IM
Dirección:	Universidad Pontificia Bolivariana – Seccional Bucaramanga Oficina K-406
Código:	67
Tipo de muestra:	CACAO PEPA FRESCA
Lugar de Muestreo:	FINCA LA ESPERANZA - ESTRATO F
Fecha de Muestreo:	N/A
Fecha de Recepción:	2016-03-09
Fecha de Reporte:	2016-04-06

2. REPORTE DE RESULTADOS

VARIABLE	UNIDADES	RESULTADO	FECHA DE ANALISIS	METODO
Cadmio*	mg Cd/Kg	5.87	2016-04-05	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 empaquetadas 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.

Anexo C. Resultados de Análisis de Cadmio en la Muestra de Suelo.

 <p>Universidad Pontificia Bolivariana <small>SECCIONAL BUCARAMANGA</small></p>	<p>FORMATO REPORTE DE RESULTADOS DE ENSAYO LABORATORIO DE ESTUDIOS AMBIENTALES Código: II-FO-070 Versión: 03</p>
--	---

Reporte No: 56-016

1. DESCRIPCIÓN DE LA MUESTRA	
Cliente:	Proyecto de investigación BIT-005-0815-IM
Dirección:	Universidad Pontificia Bolivariana – Seccional Bucaramanga Oficina K-406
Código:	56
Tipo de muestra:	SUELO
Lugar de Muestreo:	FINCA LA ESPERANZA - ESTRATO A 0-20 Cm
Fecha de Muestreo:	N/A
Fecha de Recepción:	2016-03-09
Fecha de Reporte:	2016-04-06

2. REPORTE DE RESULTADOS

VARIABLE	UNIDADES	RESULTADO	FECHA DE ANALISIS	METODO
Cadmio*	mg Cd/Kg	5.91	2016-04-05	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 empaquetadas y etiquetadas por el cliente, a temperatura ambiente.

Revisó y Aprobó:

Firma: _____


Nombre: Coo. 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
	Reporte No: 57-016

1. DESCRIPCIÓN DE LA MUESTRA	
Ciente:	Proyecto de investigación BIT-005-0815-IM
Dirección:	Universidad Pontificia Bolivariana – Seccional Bucaramanga Oficina K-406
Código:	57
Tipo de muestra:	SUELO
Lugar de Muestreo:	FINCA LA ESPERANZA - ESTRATO B 0-20 Cm
Fecha de Muestreo:	N/A
Fecha de Recepción:	2016-03-09
Fecha de Reporte:	2016-04-06

2. REPORTE DE RESULTADOS

VARIABLE	UNIDADES	RESULTADO	FECHA DE ANALISIS	METODO
Cadmio*	mg Cd/Kg	10.03	2016-04-05	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 empaquetadas y etiquetadas por el cliente, a temperatura ambiente.

Revisó y Aprobó:

Firma: _____

Nombre: Goo. 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

1. DESCRIPCIÓN DE LA MUESTRA

Cliente:	Proyecto de investigación BIT-005-0815-IM
Dirección:	Universidad Pontificia Bolivariana – Seccional Bucaramanga Oficina K-406
Código:	58
Tipo de muestra:	SUELO
Lugar de Muestreo:	FINCA LA ESPERANZA - ESTRATO C 0-20 Cm
Fecha de Muestreo:	N/A
Fecha de Recepción:	2016-03-09
Fecha de Reporte:	2016-04-06

2. REPORTE DE RESULTADOS

VARIABLE	UNIDADES	RESULTADO	FECHA DE ANALISIS	METODO
Cadmio*	mg Cd/Kg	4.46	2016-04-05	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.

1. DESCRIPCIÓN DE LA MUESTRA

Cliente:	Proyecto de investigación BIT-005-0815-IM
Dirección:	Universidad Pontificia Bolivariana – Seccional Bucaramanga Oficina K-406
Código:	59
Tipo de muestra:	SUELO
Lugar de Muestreo:	FINCA LA ESPERANZA - ESTRATO D 0-20 Cm
Fecha de Muestreo:	N/A
Fecha de Recepción:	2016-03-09
Fecha de Reporte:	2016-04-06

2. REPORTE DE RESULTADOS

VARIABLE	UNIDADES	RESULTADO	FECHA DE ANALISIS	METODO
Cadmio*	mg Cd/Kg	13.88	2016-04-05	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 empaquetadas 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.

	FORMATO REPORTE DE RESULTADOS DE ENSAYO LABORATORIO DE ESTUDIOS AMBIENTALES Código: B-FO-070 Versión: 03
	Reporte No: 60-016

1. DESCRIPCIÓN DE LA MUESTRA	
Cliente:	Proyecto de investigación BIT-005-0615-IM
Dirección:	Universidad Pontificia Bolivariana – Seccional Bucaramanga Oficina K-406
Código:	60
Tipo de muestra:	SUELO
Lugar de Muestreo:	FINCA LA ESPERANZA - ESTRATO E 0-20 Cm
Fecha de Muestreo:	N/A
Fecha de Recepción:	2016-03-09
Fecha de Reporte:	2016-04-06

2. REPORTE DE RESULTADOS

VARIABLE	UNIDADES	RESULTADO	FECHA DE ANALISIS	METODO
Cadmio*	mg Cd/Kg	4.02	2016-04-05	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 empaquetadas 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.

1 de 1

 Universidad Pontificia Bolivariana SECCIONAL BUCARAMANGA	FORMATO REPORTE DE RESULTADOS DE ENSAYO LABORATORIO DE ESTUDIOS AMBIENTALES Código: IL-FO-070 Versión: 03
	Reporte No: 61-016

1. DESCRIPCIÓN DE LA MUESTRA	
Ciente:	Proyecto de investigación BIT-005-0815-IM
Dirección:	Universidad Pontificia Bolivariana – Seccional Bucaramanga Oficina K-406
Código:	61
Tipo de muestra:	SUELO
Lugar de Muestreo:	FINCA LA ESPERANZA - ESTRATO F 0-20 Cm
Fecha de Muestreo:	N/A
Fecha de Recepción:	2016-03-09
Fecha de Reporte:	2016-04-06

2. REPORTE DE RESULTADOS

VARIABLE	UNIDADES	RESULTADO	FECHA DE ANALISIS	METODO
Cadmio*	mg Cd/Kg	3.39	2016-04-05	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 empaquetadas 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.

1 de 1

Anexo D. Resultados de Lectura de Hidrómetro para Determinación de Textura por el Método de Bouyocus.

Estratos	Lectura 40 segundos			Lecturas 2 horas		
	Hidrómetro	Termómetro (°C)	Hidrómetro corregido	Hidrómetro	Termómetro (°C)	Hidrómetro corregido
A	18	24	19,64	5	25	7
B	26	24	27,64	12	25	14
C	26	25	28	8	26	10,36
D	26	25	28	11	26	13,36
E	24	25	26	11	26	13,36
F	17	25	19	5	26	7,36

Fuente: Autora. 2016.

Anexo E. comparación grafica entre cadmio en el suelo y las propiedades fisicoquímicas.

estratos	conteni do de cadmio (mg/Kg) en pepa seca	conteni do de cadmio (mg/Kg) en pepa fresca	conteni do de cadmio (mg/Kg) profund idad 0-20cm	pH	densid ad real	densid ad aparente	humedad gravimétrica	infiltración	CIC	TEXTU RA
A	1,2114	2,9	5,91	4,03	2,1481	1,001	33,333	10,16	29,8	FA
B	36,1665	6,4	10,03	4,38	1,3095	1,059	35,135	9,864	25,8	FArA
C	1,4349	2,56	4,46	4,63	1,1546	1,144	29,87	11,68 71	23	F
D	23,6256	19,2	13,88	4,34	1,0175	0,84	38,889	17,80 37	26,2	FAr
E	6,7039	14,17	4,02	4,2	1,0285	0,959	53,846	16,28 2	29,4	FArA
F	1,062	5,87	3,39	3,37	1,47	0,999	36,986	15,24	29,2	FA

