

**DIAGNÓSTICO DE LA FUENTE DE CADMIO EN LA ALMENDRA SECA DE
CACAO EN LA FINCA CACAOTERA “LOS CEDROS” UBICADA EN EL
MUNICIPIO DE EL CARMEN DE CHUCURÍ**

EDGAR FABIAN SOLANO JAIMES

**UNIVERSIDAD PONTIFICIA BOLIVARIANA SECCIONAL BUCARAMANGA
ESCUELA DE INGENIERÍAS
FACULTAD DE INGENIERÍA AMBIENTAL
BUCARAMANGA**

2016

**DIAGNÓSTICO DE LA FUENTE DE CADMIO EN LA ALMENDRA SECA DE
CACAO EN LA FINCA CACAOTERA “LOS CEDROS” UBICADA EN EL
MUNICIPIO DE EL CARMEN DE CHUCURÍ**

EDGAR FABIAN SOLANO JAIMES

**Proyecto de grado como requisito para optar al título de Ingeniero
Ambiental**

DIRECTORA:

Ph.D. MARÍA KOPYTKO

UNIVERSIDAD PONTIFICIA BOLIVARIANA SECCIONAL BUCARAMANGA

ESCUELA DE INGENIERÍAS

FACULTAD DE INGENIERÍA AMBIENTAL

BUCARAMANGA

2016

Nota de aceptación

Firma de Presidente del Jurado

Firma del jurado

Firma del jurado

BUCARAMANGA,

A Dios por ser guía y darme la fortaleza.

A mis padres por su confianza y

A mis tíos por su apoyo.

AGRADECIMIENTOS

Primeramente, agradecerle a Dios por guiarme en esta etapa de mi vida, por darme la fortaleza, la convicción y determinación de continuar en este camino.

A mi madre Rubiela Jaimes y a mi padre Edgar Solano, por brindarme su apoyo, su confianza y darme la oportunidad de poder realizarme como profesional con los valores enseñados.

Agradecido por la ayuda de mis tíos y tías que de una forma u otra contribuyeron en mi desarrollo personal en esta etapa.

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 todos los docentes que me transmitieron sus conocimientos, sus valores y aportaron en mi formación personal y profesional.

A mis compañeros de carrera, agradecerles por su compañía y por los grandes momentos a lo largo de este viaje. A Alexis, Paula y Tata, gracias por su tiempo, por su compañía desde un principio, la amistad y la confianza brindada. Gracias a Laura, a la Juli y a Diana R. por hacer de este proyecto una gran experiencia, y por el apoyo brindado durante el desarrollo del mismo.

A todos mil gracias.

CONTENIDO

Pág.

INTRODUCCIÓN	1
1. OBJETIVOS	3
1.1. OBJETIVO GENERAL.....	3
1.2. OBJETIVOS ESPECÍFICOS	3
2. MARCO TEÓRICO	4
2.1. QUE ES EL CACAO.....	4
2.1.1. Tipos de cacao.....	4
2.1.2. Subproductos del cacao.....	6
2.2. CARACTERÍSTICAS DEL CULTIVO DE CACAO.....	8
2.3. SOSTENIBILIDAD PARA CULTIVOS DE CACAO.....	13
2.4. GENERALIDADES DEL SUELO LOS CULTIVOS DEL CACAO.....	15
2.5. PROBLEMAS EN LOS CULTIVOS DEL CACAO.....	19
2.5.1. Plagas y enfermedades en los cultivos de cacao.	19
2.5.2. Contenido de metales pesado en los cultivos de cacao.	20
2.6. MARCO NORMATIVO	26
2.6.1. Regulaciones internacionales que establecen los límites máximos para el cadmio en cacao.....	26
2.6.2. Regulaciones para la exportación de cacao a los mercados internacionales	28
2.6.3. Referencias normativas de la concentración de cadmio en productos del cacao.	29
3. METODOLOGIA	30
3.1. IDENTIFICACIÓN DE LOS PROCESOS DE CULTIVO, PROCESAMIENTO DE CACAO Y MANEJO DE INSUMOS EN LA FINCA DE INTERÉS.....	32
3.2. DIAGNÓSTICO DE LA FUENTE DE CADMIO EN ALMENDRA SECA DE CACAO EN LA FINCA LOS CEDROS.....	33
3.2.1. Análisis de cadmio en almendra seca de cacao.	33
3.2.2. Análisis de cadmio en almendra fresca cacao.....	35
3.2.3. Análisis de propiedades fisicoquímicas y de análisis cadmio en las muestras de suelo.....	36

3.3. PROPUESTA DE MANEJO SOSTENIBLE DE CULTIVO DE CACAO EN LA FINCA LOS CEDROS.....	39
4. RESULTADOS Y ANALISIS	41
4.1. IDENTIFICACIÓN DE LOS PROCESOS DE CULTIVO, PROCESAMIENTO DE CACAO Y MANEJO DE INSUMOS EN LA FINCA DE INTERÉS.....	42
4.1.1. <i>Procesos de cultivo en la finca Los Cedros.</i>	43
4.1.2. <i>Procesamiento de cacao en la finca Los Cedros.</i>	45
4.1.3. <i>Manejo de insumos para el cultivo de cacao en la finca los cedros.</i>	48
4.2. DIAGNÓSTICO DE LA FUENTE DE CADMIO EN ALMENDRA SECA DE CACAO EN LA FINCA CACAOTERA LOS CEDROS.....	49
4.2.1. <i>Análisis de cadmio en la almendra seca de cacao.</i>	49
4.2.2. <i>Análisis de cadmio en la almendra fresca de cacao.</i>	52
4.2.3. <i>Análisis del cadmio y propiedades fisicoquímicas en las muestras de suelo.</i>	54
4.3. PROPUESTA DE MANEJO SOSTENIBLE DE CULTIVO DE CACAO EN LA FINCA LOS CEDROS.....	68
5. CONCLUSIONES.....	75
6. RECOMENDACIONES.....	77
7. BIBLIOGRAFIA.....	78
8. ANEXOS	82

LISTA DE FIGURAS

	Pág.
FIGURA 1. TIPO DE CACAO CRIOLLO.	5
FIGURA 2. TIPO DE CACAO FORASTERO.	5
FIGURA 3. TIPO DE CACAO TRINITARIO.....	5
FIGURA 4. ÁRBOL DE CACAO (<i>THEOBROMA CACAO L.</i>).....	9
FIGURA 5. FRUTO DEL ÁRBOL DE CACAO TIPO FORASTERO.	10
FIGURA 6. CACAO CON MONILIASIS.	20
FIGURA 7. RUTA DEL CADMIO EN UNA PLANTA.	23
FIGURA 8. CONTRIBUCIÓN RELATIVA DE LAS DIFERENTES FUENTES DE CADMIO.....	25
FIGURA 9. RESUMEN DE LA METODOLOGÍA APLICADA EN EL PROYECTO	31
FIGURA 10. UBICACIÓN DE LA FINCA SELECCIONADA.....	31
FIGURA 11. PREPARACIÓN DE LA MUESTRA PARA ABSORCIÓN ATÓMICA.	35
FIGURA 12. MUESTRAS DE MAZORCAS FRESCAS RECOLECTADAS PARA ANÁLISIS DE CADMIO.	36
FIGURA 13. ZONA DE MUESTREO PARA SUELOS DE CACAO.....	37
FIGURA 14. EMPACADO E IDENTIFICACIÓN DE LAS MUESTRAS DE SUELO.....	38
FIGURA 15. DESCRIPCIÓN DEL PROCESO DEL CULTIVO DE CACAO.....	42
FIGURA 16. TIPO DE SIEMBRA DEL ÁRBOL DE CACAO.	44
FIGURA 17. TIPO DE CACAO SEMBRADO.	44
FIGURA 18. PROCESAMIENTO DE CACAO EN LA FINCA LOS CEDROS. (A, MAZORCA ABIERTA), (B, DESGRANADO), (C, FERMENTACIÓN) Y (D, SECADO).....	47
FIGURA 19. FRUTO DE CACAO TIPO CRIOLLO CON EL HONGO <i>PHYTOPHTHORA</i>	49
FIGURA 20. COMPARACIÓN DE VALORES OBTENIDOS DE CADMIO EN LA MAZORCA DE CACAO.....	53
FIGURA 21. COMPARACIÓN DE LA CONCENTRACIÓN DEL CADMIO A LAS PROFUNDIDADES DE 0 – 20 CM Y 20 – 40 CM.....	55
FIGURA 22. CURVA GRANULOMÉTRICA DEL ESTRATO A.	59
FIGURA 23. CURVA GRANULOMÉTRICA DEL ESTRATO C.	60
FIGURA 24. CURVA GRANULOMÉTRICA DEL ESTRATO D.	61

LISTA DE TABLAS

	Pág.
TABLA 1. CONDICIONES ÓPTIMAS PARA EL CULTIVO DE CACAO.....	18
TABLA 2. CONCENTRACIONES MÁXIMAS DE CADMIO EN PRODUCTOS DE CACAO.....	30
TABLA 3. UBICACIÓN DE LOS ESTRATOS Y SUBMUESTRAS SELECCIONADAS EN LA FINCA LOS CEDROS.....	34
TABLA 4. PARÁMETROS Y MÉTODOS APLICADOS A LAS MUESTRAS DE SUELO.	39
TABLA 5. CARACTERÍSTICAS METEOROLÓGICAS Y GEOGRÁFICAS DE LA FINCA.	41
TABLA 6. DESCRIPCIÓN DE LOS ESTRATOS SELECCIONADOS EN LA FINCA LOS CEDROS. ..	50
TABLA 7. RESULTADOS OBTENIDOS DE LA ALMENDRA SECA DE CACAO.	51
TABLA 8. RESULTADOS DE ANÁLISIS DE CADMIO EN MAZORCA FRESCA DE CACAO.	52
TABLA 9. PRESENCIA DE CADMIO EN EL SUELO A PROFUNDIDAD DE 0-20 CM Y DE 20-40 CM.	54
TABLA 10. RESULTADOS DE LAS LECTURAS DEL HIDRÓMETRO PARA LA DETERMINACIÓN DE LA TEXTURA POR EL MÉTODO DE BOUYOUCOS.	56
TABLA 11. DETERMINACIÓN DE LA TEXTURA POR EL MÉTODO DE BOUYOUCOS.....	57
TABLA 12. DETERMINACIÓN DEL PH EN EL SUELO.	58
TABLA 13. PESO DE LA MUESTRA DE SUELO RETENIDA EN EL TAMIZ Y PORCENTAJES ACUMULADOS DEL ESTRATO A.	59
TABLA 14. PESO Y PORCENTAJE RETENIDO POR CADA TAMIZ EN LA MUESTRA DE SUELO DEL ESTRATO C.....	60
TABLA 15. PESO Y PORCENTAJE RETENIDO POR CADA TAMIZ EN LA MUESTRA DE SUELO DEL ESTRATO D.....	61
TABLA 16. DETERMINACIÓN DE CU Y Cc PARA LOS SUELOS DEL CULTIVO DE CACAO.....	62
TABLA 17. DETERMINACIÓN DE LA DENSIDAD REAL.....	63
TABLA 18. DETERMINACIÓN DE LA DENSIDAD APARENTE.....	64
TABLA 19. DETERMINACIÓN DEL CONTENIDO DE HUMEDAD POR EL MÉTODO GRAVIMÉTRICO.....	65
TABLA 20. DETERMINACIÓN DE LA CAPACIDAD DE CAMPO EN EL SUELO DE LA FINCA LOS CEDROS.....	65
TABLA 21. DETERMINACIÓN DE LA CAPACIDAD DE INTERCAMBIO CATIONICO (CIC).	66
TABLA 22. RESUMEN DE LA CARACTERIZACIÓN DE LAS MUESTRAS DE SUELO.....	67

LISTA DE ANEXOS.

	Pág.
ANEXO 1. PREPARACIÓN DE LA MUESTRA DE CACAO SECO PARA ANÁLISIS.....	83
ANEXO 2. RESULTADOS DE LOS ANÁLISIS DE CADMIO EN LA ALMENDRA SECA,	84
ANEXO 3. RESULTADO DE LOS ANÁLISIS DE CADMIO EN LA ALMENDRA FRESCA DE CACAO.....	87
ANEXO 4. RESULTADOS DE LOS ANÁLISIS DE CADMIO EN EL SUELO A PROFUNDIDADES DE 0 – 20 CM Y DE 20 – 40 CM DE LOS TRES ESTRATOS.....	90
ANEXO 5. REPORTE DE ANOTACIONES.	96
ANEXO 6. CLASIFICACIÓN DEL SUELO ANALIZADO.	97

RESUMEN GENERAL DE TRABAJO DE GRADO

TITULO: DIAGNÓSTICO DE LA FUENTE DE CADMIO EN LA ALMENDRA SECA DE CACAO EN LA FINCA CACAOTERA "LOS CEDROS" UBICADA EN EL MUNICIPIO DE EL CARMEN DE CHUCURÍ

AUTOR(ES): EDGAR FABIAN SOLANO JAIMES

FACULTAD: Facultad de Ingeniería Ambiental

DIRECTOR(A): MARIA I. KOPYTKO

RESUMEN

Este estudio fue realizado en una finca del municipio de El Carmen de Chucurí, con el fin de diagnosticar la presencia de cadmio en la almendra seca de cacao para su exportación, proponiendo diferentes alternativas de descontaminación y manejo sostenible del cultivo. Para el efecto se recolectaron muestras de almendra seca, almendra fresca y suelo distribuido en tres estratos, se evaluaron sus concentraciones de cadmio a través del método de Absorción Atómica, con el método por llama, STANDARD METHODS 3111B y EPA 3051^a, para las muestras de suelo y el método STANDARD METHODS 3111B y AOAC999.10 para el control de alimentos referente al cacao, cuyos resultados promedio fueron 4,2994 mg Cd / Kg y 1,3287 mg Cd / Kg para la almendra fresca y la almendra seca respectivamente. De igual modo se evaluaron y analizaron las propiedades fisicoquímicas del suelo para relacionarlas con la presencia del cadmio en la formación geomorfológica del suelo. Se analizaron los métodos de cultivo, la variedad de productos generados como cacao criollo, cacao forastero y cacao trinitario, los procedimientos de corte, siembra y el control de plagas utilizado. La finca Los Cedros maneja un cultivo sostenible, por lo cual se proponen diferentes alternativas de remoción de este metal como la fitorremediación con heliconia psittacorum y Chrysopogon zizanioides. Mientras que para mejorar este proceso sostenible se expresa la siembra de otro tipo de cultivo para promover un enfoque agroforestal y generar un mayor consumo.

PALABRAS CLAVES:

Cacao, cadmio, contaminación, toxicidad, sostenibilidad.

V° B° DIRECTOR DE TRABAJO DE GRADO

GENERAL SUMMARY OF WORK OF GRADE

TITLE: DIAGNOSIS OF THE SOURCE OF CADMIUM IN DRY ALMOND COCOA IN THE COCOA FARM "LOS CEDROS", LOCATED IN THE MUNICIPALITY OF THE EL CARMEN DE CHUCURÍ.

AUTHOR(S): EDGAR FABIAN SOLANO JAIMES

FACULTY: Facultad de Ingeniería Ambiental

DIRECTOR: MARIA I. KOPYTKO

ABSTRACT

This study was conducted on a farm in the municipality of El Carmen de Chucurí, in order to diagnose the presence of cadmium in cocoa crops for export, proposing alternatives decontamination and sustainable crop management. For the effect of dried almonds, fresh almonds and ground distributed in three layers were collected, their cadmium concentrations were evaluated by the method of atomic absorption, with the method by flame, Standard Methods 3111B and EPA 3051^a, for samples soil and Standard Methods 3111B and AOAC999.10 method for food control relating to cocoa whose average results were 4.2994 mg Cd / kg and 1.3287 mg Cd / kg for fresh almonds and almond dried respectively. Similarly they were evaluated and analyzed the physicochemical properties of the soil to relate to the presence of cadmium in the geomorphological soil formation. Farming methods, variety of products generated as creole cocoa, cocoa Trinitarian and cocoa outsider, cutting procedures, planting and pest control used were analyzed. The Los Cedros manages sustainable farming, whereby different alternatives removal of this metal as phytoremediation with heliconia psittacorum and Chrysopongon zizanioides proposed. While this sustainable process to improve planting another crop is expressed to promote agroforestry approach and generate increased consumption.

KEYWORDS:

Cocoa, cadmium, pollution, toxicity, sustainability, spectrophotometry.

V° B° DIRECTOR OF GRADUATE WORK

INTRODUCCIÓN

El cultivo y producción de cacao es una de las principales actividades del sector, ya que contribuyen al desarrollo social y económico de algunos municipios del departamento de Santander, como es el caso de El Carmen de Chucurí. A través de los años la aplicación de diferentes pesticidas, la utilización de insumos altamente contaminantes y prácticas de cultivo poco ortodoxas en la siembra de cacao, ha traído consigo un elevado índice de contaminación por metales pesados como el cadmio, fijándolo en diferentes lugares del cultivo, como el suelo principalmente por escorrentía, el agua y el aire, alterando de manera negativa los ciclos naturales del ecosistema y la salud humana, ocasionando enfermedades a los consumidores y cultivadores.

Considerando lo anterior y teniendo en cuenta el interés que tiene los productores cacaoteros por impulsar sus productos al extranjero, estos deben cumplir con la normatividad que rige este sector, la cual exige la reducción de los porcentajes de Cadmio en el material seco del cacao. Ciertamente, los estándares internacionales son más estrictos para aquellos productos que quieren ser tipo exportación, debido a que deben cumplir los parámetros estipulados en el Reglamento (UE) No 488/2014⁶ a fin de garantizar la buena salud del consumidor.

Además es necesario tener en cuenta las actuales tendencias de los consumidores europeos, ya que prestan mayor atención a la forma como se cultivan estos productos, siendo esta, una de las razones por la cual los compradores solicitan certificaciones para comprobar que el cacao es producido de manera justa, amigable con el ambiente y socialmente responsable. Las certificaciones más solicitadas en la UE son Comercio Justo (Fairtrade), Rainforest Alliance y Certificaciones UTZ.

Este proyecto se realizó en aras de contribuir con el desarrollo económico y social del sector cacaotero, la conservación de recursos naturales y protección

de la salud humana, con el fin de diagnosticar las causas que generan dicha contaminación en estos cultivo, proponiendo alternativas de disminución o eliminación de las concentraciones de cadmio en el cacao, ya sea en la semilla seca, el suelo o practicas realizadas, adoptando nuevos métodos de producción que contribuyan al manejo sostenible de la finca con prácticas amigables para el ambiente.

1. OBJETIVOS

1.1. OBJETIVO GENERAL

Diagnosticar la fuente de cadmio en la almendra seca de cacao en la finca cacaotera “Los Cedros”, 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 Los Cedros.
- Proponer 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.

2. MARCO TEÓRICO

2.1. QUE ES EL CACAO.

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

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

2.1.1. Tipos de cacao

Los tipos de cacaos criollos (Ver figura 1), actualmente están sustituyendo a las plantaciones antiguas de cacao Forastero, debido a su mayor adaptabilidad a distintas condiciones ambientales y por sus frutos de mayor calidad. Se caracterizan por sus frutos de cáscara suave y semillas redondas, de color blanco a violeta, dulces y de sabor agradable. La superficie de las mazorcas posee diez surcos longitudinales marcados, cinco de los cuales son más profundos que los que alternan con ellos.

¹ Maier, C. (s.f.). *Botanical on-line*. Revisado el 25 de 01 de 2016, de <http://www.botanical-online.com/cacao.htm>

Figura 1. Tipo de Cacao Criollo.



Fuente: Finca Los Cedros de El municipio de El Carmen de Chucurí. Santander-Colombia.

Autor: Fabián Solano

Los cacaos tipo trinitario (Ver figura 2) y tipo forastero (Ver figura 3), se caracterizan por sus frutos de cáscara dura y leñosa, de superficie relativamente tersa y de granos aplanados de color morado y sabor amargo. Dentro de esta raza destacan distintas variedades como Cundeamor, Amelonado, Sambito, Calabacillo y Angoleta.²

Figura 2. Tipo de Cacao Forastero.



Fuente: Finca Los Cedros de El municipio de El Carmen de Chucurí. Santander-Colombia.

Autor: Fabián Solano

Figura 3. Tipo de Cacao Trinitario.

² MOJICA, Almicar, y PIMIENTO, Joaquín, 2006.



Fuente: Finca Los Cedros de El municipio de El Carmen de Chucurí. Santander-Colombia.

Autor: Fabián Solano

2.1.2. Subproductos del cacao

El cacao presenta gran variedad para subproductos entre los que se encuentran:

2.1.2.1. Manteca de cacao.

La manteca de cacao es la grasa obtenida por medio de procesos el cual somete la masa o licor de cacao a presión y calor. La manteca de cacao es de color amarillo pálido, proveniente de una mezcla de finos cacaos tipo trinitario de primerísima calidad, grano orgánico fermentado, la cual a través de un riguroso proceso desarrollado en más de 50 años de experiencia permite lograr y preservar el más puro sabor. Es una mezcla de ácidos grasos principalmente palmítico, esteárico y oleico, con una pequeña cantidad de ácido linoleico.

La grasa natural del haba de cacao es comestible, también es conocida como aceite de theobroma, la cual es utilizada de manera estética. Esta grasa es extraída durante el proceso de fabricación del chocolate y el polvo de cacao. La manteca de cacao tiene un suave aroma y sabor a chocolate. La manteca de cacao es el único componente del cacao usado en la fabricación del dulce llamado chocolate blanco.³

2.1.2.2. Cacao en polvo.

Se elabora por medio de la reducción de la manteca mediante el uso de prensas hidráulicas y disolventes alimentarios especiales, que suelen ser álcalis, hasta lograr una textura pulverulenta.

³ Maier, C. (s.f.). *Botanical on-line*. Revisado el 25 de 01 de 2016, de <http://www.botanical-online.com/cacao.htm>

Es un polvo seco, de color café oscuro, con sabor característico de cacao, siendo principalmente una mezcla de cacaos orgánicos tipo Trinitario, esta variante de chocolate no suele utilizarse para la repostería sino más bien para la preparación de bebidas.⁴

2.1.2.3. *Producción y tipos de chocolate.*

El chocolate es el alimento que se obtiene mezclando azúcar con dos productos derivados de la manipulación de las semillas del cacao: una materia sólida (la pasta de cacao) y una materia grasa (la manteca de cacao). A partir de esta combinación básica, se elaboran los distintos tipos de chocolate, que dependen de la proporción entre estos elementos y de su mezcla con otros productos tales como leche y frutos secos.

- **Chocolate negro:** El chocolate negro, llamado también chocolate fondant; chocolate amargo; chocolate bitter; chocolate amer; chocolate puro): es el chocolate propiamente dicho, pues es el resultado de la mezcla de la pasta y manteca del cacao con azúcar, sin el añadido de ningún otro producto (exceptuando el aromatizante y el emulsionante más arriba citados). Las proporciones con que se elabora dependen del fabricante. No obstante, se entiende que un chocolate negro debe presentar una proporción de pasta de cacao superior, aproximadamente, al 50% del producto, pues es a partir de esa cantidad cuando el amargor del cacao empieza a ser perceptible. En cualquier caso, existen en el mercado tabletas de chocolate negro con distintas proporciones de cacao, llegando incluso hasta el 99%.
- **Chocolate de cobertura:** El chocolate de cobertura es el utilizado por los reposteros profesionales para cubrir bombones y pasteles, o bien, para rellenarlos y cuentan con una alta calidad. Este tipo de chocolate puede ser moldeado en capas sumamente finas ya que tiene un 32% de manteca de cacao que lo facilita. La cobertura se usa para conseguir un alto brillo al templar el chocolate y porque se funde fácilmente y es muy moldeable.

⁴ Maier, C. (s.f.). *Botanical on-line*. Revisado el 25 de 01 de 2016, de <http://www.botanical-online.com/cacao.htm>

- **Chocolate de taza:** El chocolate de taza es el chocolate negro (normalmente, con una proporción de cacao inferior al 50%), al que se le ha añadido una pequeña cantidad de fécula (normalmente, harina de maíz) para que a la hora de cocerlo aumente su espesor. Suele disolverse en leche. Hoy en día, es posible encontrar también este chocolate en los comercios en forma ya líquida.
- **Chocolate con leche:** El chocolate con leche es la combinación de cacao con leche hace que algunos expertos en la materia no lo consideren como chocolate propiamente dicho. A pesar de esto, se pueden encontrar variedades de esta clase de chocolate que llegan a tener un 50% de cacao, aunque en la mayoría de los casos llegan al 20%. Para fabricar algunos chocolates con leche utilizan grasa vegetal y edulcorantes artificiales.
- **Chocolate blanco:** El chocolate blanco es la clase de chocolate que contiene bajas proporciones de cacao sólido, y está hecho a base de manteca de cacao, leche, azúcar y edulcorantes y su sabor suele tener la misma intensidad que el del negro. Hay algunos fabricantes que reemplazan a la manteca de cacao con edulcorantes sintéticos y aceites vegetales. Es un producto extremadamente energético y dulce. Visualmente muy atractivo.⁵

2.2. CARACTERÍSTICAS DEL CULTIVO DE CACAO

El árbol de cacao (*Theobroma cacao L.*) después de cultivado tiene un crecimiento máximo de 10 m de altura, con una raíz principal que puede crecer entre 1.20 m y 1.50 m, ocasionalmente puede alcanzar 2 metros (Ver figura 4), dependiendo del suelo y factores edáficos del lugar, sus hojas presentan diferentes pigmentaciones según el tipo de fruto mayormente entre los cacaos trinitarios y criollos frente a los amazónicos.⁶

⁵ GIL, Ángel, 2010

⁶ BATISTA, Lepido. 2009.

El cacao es un fruto que madura a lo largo de todo el año y durante este tiempo se llevan a cabo dos cosechas principalmente, esta maduración se ve beneficiada por el clima en que se cultiva, la cual requiere de unas condiciones necesarias como es la altitud (de 0 a 1300 m.s.n.m.), una temperatura promedio de entre 22°C y 30°C, una precipitación de 2500 milímetros anuales distribuidos uniformemente y una humedad relativa de 80%.⁷

La temperatura determina la formación de flores, cuando el cultivo presenta temperaturas inferiores a 21°C la floración es anormal y poco abundante, provocando en determinadas zonas que la producción de mazorcas sea estacional y durante algunas semanas no haya cosecha.⁸

Figura 4. Árbol de cacao (*Theobroma cacao* L.).



Fuente: Finca Los Cedros de El municipio de El Carmen de Chucurí. Santander-Colombia.

Autor: Fabián Solano

El cacao es una planta sensible a la escasez del agua, pero también a la acumulación de la misma en el lugar de crecimiento, por lo que se precisarán de suelos provistos de un buen drenaje. Un anegamiento o estancamiento puede provocar la asfixia de las raíces y su muerte en muy poco tiempo. Los grandes vientos pueden provocar un desecamiento, caída de hojas hasta la

⁷ BARRUETA, Sayet. 2013.

⁸ Infoagro, 2015.

destrucción es recomendable utilizar cortavientos naturales como otros árboles más grandes ya sean frutales o madereros que puedan proteger el cultivo.⁹

Antes de sembrar el cacao, es necesario sembrar árboles de sombra temporal y permanente en un periodo de seis a nueve meses, y su siembra debe realizarse antes de la primera mitad de la temporada de lluvia, con fin de que el árbol se fije al suelo, absorba los nutrientes necesarios y el agua, necesaria antes de que llegue la temporada seca.¹⁰

Las semillas de la fruta del arbusto de cacao se llaman semillas o habas de cacao. Las frutas son cortadas del árbol cuando están maduras (Ver figura 5). El campesino abre las frutas con un cuchillo una por una y retira las semillas de estos frutos los cuales se encuentran recubiertos por una pulpa fibrosa y blanca. Estas semillas o almendras son duras, de color morado y tienen un sabor amargo que es desagradable. Estas semillas son la materia prima para el chocolate.

Figura 5. Fruto del árbol de cacao tipo Forastero.



Fuente: Finca Los Cedros de El municipio de El Carmen de Chucurí. Santander-Colombia.

Autor: Fabián Solano

Posteriormente se guardan las almendras durante 5 días en unos centros de acopio, es allí donde empieza el proceso de fermentación de la almendra con su pulpa. Durante este proceso se desarrolla el sabor y el aroma del producto. Este proceso permitirá que se desarrollen bacterias y levaduras que permiten

⁹ *Ibíd.*, p. 1

¹⁰ MOJICA, Almicar, y PIMIENTO, Joaquín, op. cit. p 8.

una buena fermentación, si no se lograra esto se tendría como resultado el cacao corriente; para saber que se encuentra bien fermentado el cacao, la semilla deberá estar hinchada, su color será marrón intenso y se romperá con facilidad obteniéndose una aroma agradable y un sabor amargo.

Durante la fermentación los granos de cacao deben depositarse en cajones o recipientes de madera que deben poseer orificios en el fondo y a los lados para que puedan salir fácilmente los líquidos que se desprenden. Los cajones deben estar colocados entre 10 o 15 centímetros sobre la superficie del suelo, para que puedan drenarse fácilmente los líquidos. Así también los cajones deben colocarse en sitios cubiertos y abrigados para protegerlos de las corrientes de aire frías, ya que se requiere de una temperatura leve y constante, para que el proceso de fermentación sea completo y parejo.¹¹

Este proceso de fermentación es generado por unas 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 la segunda fase y ayudado por otros organismos (esta vez bacterias aeróbicas, es decir, que para vivir necesitan de aire), se desarrollan otros procesos y sucede la oxidación de los polifenoles y cambios notables en el PH.¹²

Después de la fermentación, los granos son esparcidos y expuestos al sol por un periodo de tres a cinco días para eliminar la humedad que estas reacciones producen. Algunas compañías aceleran éste proceso con secadores mecánicos, pero en el caso de cultivadores independientes prefieren lo tradicional, las semillas son expuestas directamente al sol con un constante movimiento de manera cautelosa ya que por experiencia de ellos se produce un mejor sabor de manera natural. Una vez se completa satisfactoriamente éste paso, los granos se empaacan, y en algunos casos se llevan a un lugar

¹¹ PERDOMO, María, 2012.

¹² MORALES, Vanessa y SALASAR, Gustavo, 2015

designado para limpiarlos de impurezas y residuos innecesarios, antes de ser vendidos.

En condiciones normales, los árboles tradicionales rinden entre 300 y 500 kilogramos por hectárea (Kg/ha) anual. Las condiciones climáticas y las enfermedades son los principales factores que afectan la producción, estimándose que hasta un 30% de la producción mundial se pierde debido a las enfermedades, siendo las más comunes: un hongo llamado moniliasis del cacao y la escoba de bruja. En cuanto a calidad, los expertos en el tema identifican dos clases de cacao: el básico que procede en su mayoría de África y Brasil, en especial de la variedad forastero y el fino y de aroma, que tiene características distintivas de aroma y sabor, buscadas por los fabricantes de chocolate.¹³

Existen dos opciones de siembra para dar inicio al proceso de cultivo de cacao, la primera es mediante la plantación de semillas provenientes de buenos patrones previamente preferidos por su calidad de dar frutos. La segunda opción es por medio del injerto seleccionado, con el fin de aportar diferentes frutos y nutrientes a nuevas plantas, buscando nuevos sabores y una mayor resistencia a enfermedades.

El corte de los frutos debe hacerse cerca de la mazorca ayudándose con un machete. Por ningún motivo deben arrancarse los frutos y sólo deben cortarse aquellas mazorcas maduras y sanas (libres de enfermedades). Los árboles de cacao florecen dos veces al año, el periodo principal de floración se da entre junio y julio y la segunda floración se da entre los meses de septiembre y octubre, que es más pequeña. El periodo de maduración de los frutos se da entre los cuatro y seis meses dependiendo de la altura sobre el nivel del mar y la temperatura del lugar. Es así que la primera cosecha de frutos se da entre los meses de Octubre, Noviembre y Diciembre, y la segunda se da durante los meses de Marzo y Abril. La recolección de los frutos puede ser semanalmente, según la disponibilidad de mano de obra que se tenga. Durante la recolección de los frutos comúnmente se aplica un desinfectante en el extremo del pedicelo

¹³ MOJICA, Almicar, y PIMIENTO, Joaquín, op. Cit p 9.

del fruto, para evitar la transmisión de enfermedades por medio de las herramientas de trabajo que pudieran estar contaminadas.¹⁴

2.3. SOSTENIBILIDAD PARA CULTIVOS DE CACAO

El cacao es vulnerable a los precios de mercado y, en momentos de baja demanda, su producción puede ser sustituida por actividades más lucrativas y dañinas al medio ambiente, como la ganadería extensiva. Los sistemas de cacao de sombra albergan mayores niveles de diversidad de plantas, animales y hongos que otros cultivos tropicales y son adecuados para la reforestación de áreas que han sido taladas.

Los rendimientos de la producción (y por lo tanto ingresos de los agricultores) pueden ser menores debido a la baja productividad. En muchos casos, los agricultores tienen conocimientos limitados de técnicas mejoradas de producción y las habilidades de gestión agrícola. El escaso acceso al financiamiento y a la disponibilidad de insumos de calidad, así como de material de siembra puede limitar la capacidad de los agricultores para comprar insumos en forma oportuna y rentable.

Los grupos de productores cuentan con niveles emergentes de organización, vinculados a través de redes impulsadas por proveedores de servicios técnicos o agentes de desarrollo locales con interés en promover la transición a sistemas de certificación orgánica.¹⁵

La sostenibilidad agronómica puede aplicarse en diferentes campos, uno de ellos, es la agricultura sostenible o la agricultura ecológica, centrándose en reducir insumos y disminuir la utilización de recursos no renovables. Al momento de aplicarla en un proceso como es la producción de cacao se pueden tener en cuenta varios factores que ayudarían a reducir los insumos utilizados, una de las practicas más recomendables es la rotación de cultivos, lo cual sirve para mantener el suelo saludable, teniendo como beneficio reducción de plagas, prevención en la transmisión de enfermedades para la

¹⁴ PERDOMO, op. cit. P. 62

¹⁵ JIMENEZ, Claudia, 2015.

planta y manteniendo un control de las plagas para identificarlas y eliminar las que son necesarias y las que no, otra práctica es la recolección y distribución de aguas lluvias, convirtiéndose en la fuente de sustento para el sistema de riego.

La producción de Cacao hace parte fundamental del sustento de muchas familias campesinas en muchos países en vía de desarrollo.

El cultivo del cacao por sus características, demanda mano de obra, que en muchos casos es aportada por la familia y en algunas oportunidades se contratan jornales o mano de obra especializada en labores claves para el desarrollo del cultivo, tales como la injertación, las podas o la cosecha. Esta característica hace que sea un importante productor de empleo tanto directo como indirecto; pues se calcula que en la fase de manejo y sostenimiento por cada tres hectáreas de cacao se genera un empleo rural permanente.¹⁶

La cadena del cacao requiere gran cantidad de mano de obra, es así que un estimado de 3 millones de pequeños productores, producen el 90% de la producción mundial del cacao, además se estima que la producción primaria del cacao ofrece empleo a 14 millones de trabajadores en todo el mundo, según estudios realizados por el ICCO (Organización internacional del Cacao).

El cultivo de cacao se enmarca en un sistema agroforestal, se cultiva conjuntamente con otras especies vegetales, principalmente café, plátano, frutales y maderables, los cuales al mismo tiempo que le producen sombra al cacao, le permiten al agricultor tener otras alternativas de ingresos.

En Colombia la producción anual de cacao en grano se obtiene de la explotación de alrededor de 90.000 hectáreas sembradas en 24.500 fincas afirma FEDECACAO. El rendimiento promedio por hectárea cosechada se estima en 450 kilogramos de cacao en grano.¹⁷

¹⁶ ROJAS, Fernando; SACRISTÁN Edwin. p 12. 2013

¹⁷ PERDOMO, op. cit. p. 19 – 20

El cultivo del cacao por múltiples razones se puede decir que es un cultivo verdaderamente amigable con el ambiente ya que es un cultivo que se desarrolla de manera ideal dentro de los sistemas agroforestales, en los cuales se asocian con los cultivos de ciclo corto, sombríos temporales y sombríos permanentes. Ello desde el punto de vista ambiental y productivo presenta una serie aspectos positivos tales como: Preservar la biodiversidad, conservar o propiciar un microclima favorable, aumentar la productividad vegetal y animal, diversificar la producción, integrar la producción forestal con la agropecuaria, disminuir los riesgos del agricultor, mitigar los efectos perjudiciales del sol, el viento y la lluvia sobre los suelos, combinar lo mejor del saber tradicional con los conocimientos modernos, asegurar la sostenibilidad a través de la intensificación apropiada en el uso de la tierra, mejorar el reciclaje de nutrientes, proteger a suelo contra la erosión, influenciar positivamente el manejo de las plagas, disminuir la competencia con el cultivo, utilizar especies multipropósito y persistentes, favorecer la regeneración rápida de hojas, propiciar la alta producción de hojarasca, mejorar la Fijación de Nitrógeno, crear un ambiente favorable al crecimiento de un sistema radical fuerte, proveer alimentos, materias primas, combustibles, forrajes y favorecer la biodiversidad.¹⁸

2.4. GENERALIDADES DEL SUELO LOS CULTIVOS DEL CACAO

En el cultivo de cacao, las condiciones del tipo de suelo son de suma importancia para el crecimiento y producción del fruto. Los principales parámetros a tener en cuenta para la correcta siembra son los mencionados a continuación: el pH, la capacidad de intercambio catiónico, la permeabilidad, entre otros, constituyen los factores de limitación o mejora de la calidad del cultivo. Para obtener el máximo beneficio del suelo, se debe conocer dos aspectos claves: el ecológico y el pedológico, siendo el primero un medio para el crecimiento de las plantas y el segundo, un objeto natural producido por la interacción de varios factores ambientales que determinan las propiedades y el comportamiento del tipo de suelo.

¹⁸ ROJAS, Fernando; SACRISTAN Edwin. op. cit. p.13 - 14.

El conocimiento y el estudio de los aspectos ecológicos ayudan al cacaotero a comprender mejor la interacción que existe entre la planta y el medio en el que se encuentra, mientras que el aspecto pedológico ayuda a comparar y clasificar los suelos para su cultivo y con esto conocer y medir las limitaciones que el suelo presenta.

Los principales factores ambientales en el suelo que controlan el cultivo de cacao en los aspectos ecológicos son: espacio radical, refiriéndose a la ubicación, rápida penetración y libre ramificación de las raíces; la utilización de un suelo con diferentes tipos de textura (arena, limo y arcilla) unos en mayor cantidad que otros tipos, variando su cantidad en el terreno pero siendo estabilizados por humus para tener un mejor drenaje y ventilación para la raíces.

Otro factor importante es el suministro de agua y aire, esto no solo depende de la forma antrópica en que el suelo recibe el líquido, sino también del agua lluvia, debido a que puede dividirse en escorrentía de suelos más elevados, evapotranspiración a la superficie absorbida por el suelo y por las plantas cercanas; suministro de nutrientes que requieren las plantas los cuales son ubicados en el suelo como K^+ , Na^+ , Fe^{3+} , Al^{3+} , entre otros, excepto el nitrógeno, ya que proviene del aire y es fijado en el suelo por ciertas bacterias.¹⁹

Las bacterias fijadoras de nitrógeno son componentes importantes del suelo y requieren una fuente de energía química si no son fotosintéticas, las cuales a su vez utilizan la energía de la luz solar. Entre las bacterias de vida libre pueden encontrarse: anaeróbicas obligadas o facultativas (ej. *Clostridium pasteurianum*, *Klebsiella spp.*, *Desulfovibrio sp.*), aeróbicas obligadas (ej. *Azotobacter spp.*, *Beijerinckia sp.*) y fotosintéticas (bacterias púrpuras sulfurosas y no sulfurosas, y bacterias verdes sulfurosas). Las bacterias aeróbicas dependen fuertemente de las condiciones de humedad, oxígeno y materia orgánica, y las anaeróbicas son predominantes en suelos anegados donde existen las condiciones de humedad y materia orgánica, pero el suministro de oxígeno está restringido. La fijación biológica del nitrógeno en los

¹⁹ TORRES, Luis, 2012.

suelos tropicales con las condiciones requeridas de humedad, temperatura y materia orgánica es generalmente alta. Se reporta que el número de bacterias fijadoras de nitrógeno es particularmente elevado en la zona adyacente a la raíz (rizósfera), debido a la liberación de compuestos orgánicos que le sirven como nutrimento.²⁰

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

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

Entre los factores perjudiciales se encuentran el déficit de nutrientes ya que inhiben la capacidad de absorción de otros, ocasionando un lento proceso de crecimiento de la planta y aumenta la utilización de fertilizantes, este último en algunos casos es necesario cuando las cantidades de nitrógeno, fósforo y potasio, son removidas por las semillas y plantas cercanas o el suelo posee una baja fertilidad al momento de una producción de cacao a futuro. Respecto a los aspectos pedológicos el lugar más óptimo para cultivar cacao son en bosques tropicales húmedos.²¹

Los suelos de los cultivos de cacao son susceptibles a contener metales pesados como el cadmio ya que proviene de actividades naturales como la presencia de roca fosfórica y actividades antropogénicas como la utilización de plaguicidas, fertilizantes y quema en control de cultivos, impactando varios organismos en los ecosistemas allí presentes.

²⁰ MAYZ, Juliana, 2004.

²¹ JIMENEZ, Claudia, op. cit. p 31

Los suelos que poseen una elevada capacidad de intercambio catiónico bien sea por su material parental o su proceso edafogénico, un pH bajo y una retención de humedad alta, inciden en mayor proporción en la retención del cadmio en el suelo.

Se deben tener en cuenta las siguientes condiciones del tipo de suelo para el cultivo de cacao, en la tabla 1 se especifican las condiciones óptimas para este cultivo en específico.²²

Tabla 1. Condiciones óptimas para el cultivo de cacao.

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

Fuente: Guía Ambiental para el cultivo del cacao, 2013.

Es necesario controlar la vegetación ya presente para sustituirla por la nueva cobertura vegetal compuesta por el cacaotero y las especies que le dan sombra. Por lo tanto lo más recomendable es dejar descomponer el material

²² BUCHERT, Juan, 2016.

podado evitando las quemas y por ende las pérdidas de materia orgánica. Por el contrario su descomposición natural permite su incorporación al suelo y sirve para mejorar las condiciones físico químicas para el buen desarrollo del cultivo.

Como sombra transitoria en los cultivos de cacao se recomienda la siembra de plantas de plátano o las especies arbustivas de rápido desarrollo que emergen luego del corte de la montaña.

2.5. PROBLEMAS EN LOS CULTIVOS DEL CACAO

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

2.5.1. Plagas y enfermedades en los cultivos de cacao.

Las plagas y las enfermedades son una fuente importante de pérdidas de cosechas en las regiones productoras de cacao. Algunas estimaciones sugieren que estas pérdidas podrían ser desde un 30% a un 40% de la producción mundial. Las principales enfermedades causadas por hongos son moniliasis (Ver figura 6), escoba de bruja, fitoftora y muerte regresiva vascular. Las plagas incluyen insectos en el África occidental y barrenadores en el sudeste asiático. A menudo los agricultores mal equipados e informados sobre cómo combatir las enfermedades presentes en los cultivos, no se centran en la rehabilitación del terreno o del cultivo, sino buscar nuevas áreas para sembrar.²³

²³ BATISTA, op. cit. p 147.

Figura 6. Cacao con moniliasis.



Fuente: Finca Los Cedros de El municipio de El Carmen de Chucurí. Santander-Colombia.

Autor: Fabián Solano

2.5.2. Contenido de metales pesado en los cultivos de cacao.

La planta de cacao absorbe ligeramente los metales pesados que existen por naturaleza en los suelos y los concentra en las semillas grasosas. Según las regiones, el grado de concentración de metales pesados es diferente. En el caso del cacao es posible que la contaminación del producto se de en las etapas de cultivo, producción y transformación. Se conoce que el cacao es uno de los productos en el sector alimenticio que posee una alta demanda, por lo tanto es importante conocer el origen de la contaminación en estos alimentos para determinar las acciones a seguir y para establecer la calidad del producto.²⁴ Entre los principales metales pesados que se encuentran en este tipo de productos es el cadmio.

La principal fuente de contaminación de cadmio son los fertilizantes provenientes de roca fosfórica. Este tipo de roca está compuesta prácticamente por todos los elementos químicos de la tabla periódica. La denominación roca fosfórica es un término general que describe un conjunto de minerales naturales que contienen una elevada concentración de compuestos fosfatados. Existen dos tipos principales de roca fosfórica, ígnea y sedimentaria, las cuales tienen grandes diferencias en características mineralógicas, texturales y

²⁴ RIVERA, 2013.

químicas. El contenido de metales pesados son normalmente más altos en las rocas sedimentarias que en las ígneas.²⁵

Las rocas fosfóricas sedimentarias presentan las mayores concentraciones de cadmio, alcanzando concentraciones de hasta 980 mg / kg, aspecto interesante de destacar ya que de esta roca se derivan los fertilizantes fosfatados que se utilizan en los sistemas agrícolas.²⁶

La roca fosfórica o fosforita es un depósito sedimentario integrado por minerales de fosfato. En el Municipio de El Carmen de Chucurí, la roca fosfórica existente está constituida principalmente por un fosfato de calcio acompañado de diferentes impurezas.²⁷

Estudios realizados en Estados Unidos muestran que el factor que más contribuye a la concentración de cadmio en cultivos de cacao es la presencia de un pH ácido. Estos mismos estudios muestran la aplicación de cal para la corrección del pH reduciendo la acidez, disminuyendo significativamente la absorción de cadmio.

Los minerales fosfatados secundarios más comunes, resultantes de la meteorización son probablemente los miembros de la serie de la crandalita. Los minerales no fosfatados más comunes asociados con las rocas fosfóricas son el cuarzo, las arcillas y los carbonatos (dolomita y calcita). Las rocas fosfóricas cementadas con carbonatos deben ser particularmente mencionadas debido a su abundancia de su ocurrencia. El cuarzo puede ocurrir en forma de granos residuales o como variedades microcristalinas. Los minerales de arcilla encontrados en las rocas fosfóricas sedimentarias incluyen la illita, la caolinita, las esmectitas y la paligorskita/sepiolita. La calcita, la dolomita y la magnetita son minerales comúnmente asociados con los depósitos de carbonato apatita. La meteorización puede eliminar los carbonatos y algunos silicatos dejando los

²⁵ VILLANUEVA, Liliana.

²⁶ Ibid. p.37-38

²⁷ Esquema de Ordenamiento Territorial, 2003

minerales resistentes tales como la apatita, la magnetita, el pirocloro y el zirconio en el residuo sobre el depósito.²⁸

2.5.2.1. Ingreso del Cadmio en la cadena trófica.

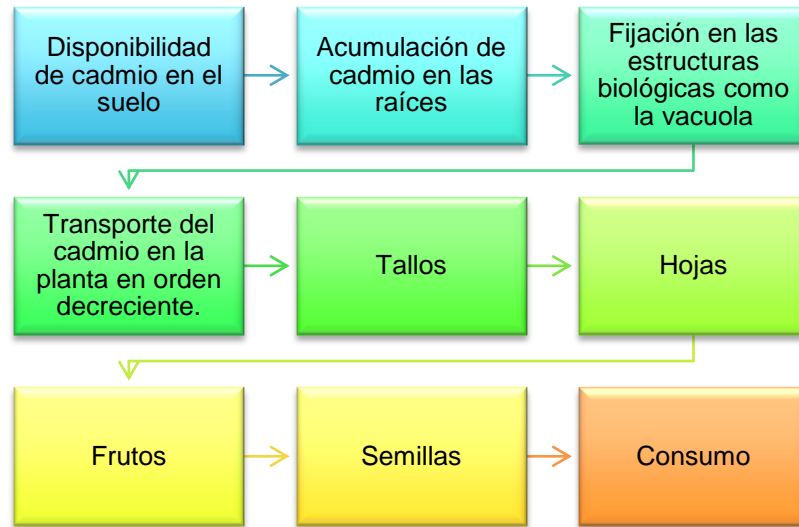
La principal fuente de contaminación de cadmio en el ser humano es la ingesta de vegetales contaminados con este metal. Químicamente, el cadmio se puede encontrar disuelto en el agua o contenida en el suelo, adsorbido en superficies orgánicas e inorgánicas, formando parte de minerales, precipitado con 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.²⁹

En el suelo el cadmio es adsorbido por microorganismos y estructuras biológicas de las raíces de la planta que lo distribuyen hasta las semillas que son consumidas por el ser humano (Ver figura 7).

²⁸ ORGANIZACIÓN DE LAS NACIONES UNIDAS PARA LA AGRICULTURA Y LA ALIMENTACIÓN, 2007

²⁹ RODRIGUEZ Serrano, MARTINEZ de la Casa, ROMERO Puertas, L.A. del Río, Sandalio, 2008.

Figura 7. Ruta del cadmio en una planta.



Fuente: Revista Científica y Técnica de Ecología y Medio Ambiente Ecosistemas, Toxicidad del Cadmio en plantas, 2008. Adaptada.

2.5.2.2. Toxicidad del cadmio en la salud y en el ambiente.

Debido a su alta toxicidad sobre la salud humana, con una dosis letal de aproximadamente 1 g / Kg³⁰, la concentración residual de cadmio se encuentra sujeto a una de las legislaciones más severas en términos ambientales y de salubridad; en términos ambientales, por su movilidad en el suelo, la facilidad que tienen las plantas para absorberlo, la utilización de fertilizantes con elevada toxicidad, que afecta a los espacios donde se tienen cultivos para consumo y en términos de salubridad.

Son uno de los metales que genera mayores riesgos a la salud, ya que se acumulan en el hígado, riñones y trasto gastrointestinal con efectos negativos como desmineralización en los huesos, anemia, crecimiento retardado, anormalidades en el desarrollo entre otros, por ingerir alimentos contaminados.³¹

³⁰ BAIRD, Colin, 2004.

³¹ HIGUERAS, Pablo y OYARZUN, Roberto, 2015

El cadmio puede ingresar al cuerpo humano por dos vías: ingestión e inhalación y sus efectos pueden ser divididos en dos categorías:

- Agudos: Síntomas comunes como fiebre por vapores de metal causada a una exposición severa al Cadmio, estos son equivalentes a los síntomas de la gripe.

En 24 horas se desarrolla generalmente un edema pulmonar agudo, el que alcanza su máximo en 3 días; si no sobreviene la muerte por asfixia.

- Crónicos: la consecuencia más seria del envenenamiento por cadmio es el cáncer. Los efectos crónicos que primero se observan son daño en los riñones. Se piensa que el cadmio es también el causante de enfisemas pulmonares y enfermedades de los huesos (osteoporosis). Otros problemas incluyen decoloración de los dientes, y pérdida del sentido del olfato (anosmia).³²

El cadmio es de origen natural, generalmente presente en suelos superficiales con mayor disponibilidad de la meteorización de rocas, al momento de la absorción de las plantas donde depende de factores ambientales, suelo y el tipo de cultivo.³³

La contaminación ambiental por cadmio ha aumentado como consecuencia del incremento de la actividad industrial que ha tenido lugar a finales del siglo XX y principios del siglo XXI, afectando de forma progresiva a los diferentes ecosistemas. Entre los factores antropogénicos de contaminación de cadmio (Cd), caben destacar los siguientes (Ver Figura 8)³⁴:

- Emisiones atmosféricas. Se originan a partir de las minas metalúrgicas, ya que el cadmio se extrae como subproducto del Pb, Zn, Cu y otros metales, las incineradoras municipales, y emisiones industriales procedentes de la

³² Fundación vasca para la seguridad agroalimentaria, 2014.

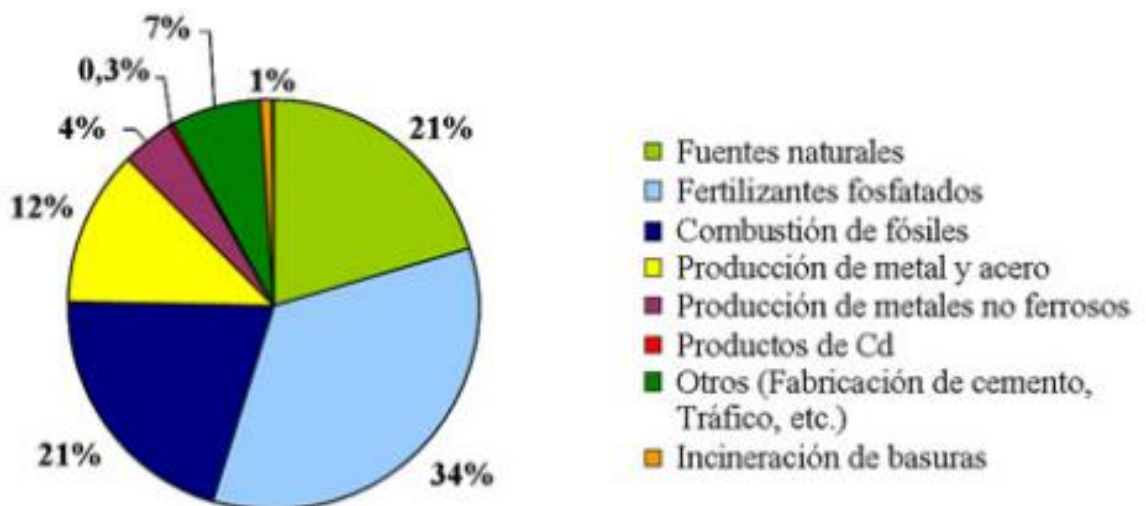
³³ GALÁN, Emilio, y ROMERO Antonio, 2008.

³⁴ RODRIGUEZ Serrano, MARTINEZ de la Casa, ROMERO Puertas, L.A. del Río, Sandalio, op. cit. p.139

producción de pigmentos para cristales, anticorrosivos, baterías de Ni/Cd, e insecticidas.³⁵

- Contaminación accidental. Fangos procedentes de aguas residuales que se utilizan en agricultura.
- Contaminación accidental. Ocurre eventualmente debido a la contaminación de tierras por procesos industriales, residuos de la minería y corrosión de estructuras galvanizadas. El mayor contribuyente de contaminación de cadmio de forma antrópica es la utilización de fertilizantes³⁶

Figura 8. Contribución relativa de las diferentes fuentes de cadmio.



Fuente: Toxicidad del cadmio en plantas, revista científica y técnica de ecología y medio ambiente ecosistemas. 2008

La absorción del Cadmio por las plantas puede ser facilitada por la rizósfera debido a las sustancias ácidas que estas producen, existen algunos factores que pueden influir en esta actividad como la especie, la edad y el desarrollo radicular. El cadmio no tiene una función fisiológica conocida en los vegetales,

³⁵ REGOLI, Lidia, 2005.

³⁶ GALÁN, Emilio, y ROMERO Antonio, op. cit. p 9.

pero la presencia de este puede limitar la absorción de elementos como calcio, magnesio, hierro, entre otros.

Los mecanismos que generan los efectos tóxicos del cadmio sobre las plantas, han sido ampliamente estudiados³⁷. En general el Cadmio interfiere en la entrada, transporte y utilización de elementos esenciales (Calcio, Magnesio, Fosforo y Potasio) y del agua, provocando desequilibrios nutricionales e hídricos en la planta. El Cadmio también reduce la absorción de nitratos y el transporte de los mismos de la raíz al tallo, además de inhibir la actividad nitrato reductasa en tallos³⁸. Las plantas expuestas a suelos contaminados con cadmio presentan modificaciones en la apertura estomática, fotosíntesis y transpiración³⁹.

“Uno de los síntomas más extendidos de la toxicidad por cadmio es la clorosis producida por una deficiencia en hierro” (Benavides) “fosfatos o por la reducción del transporte de Mn (Goldbol y Hutterman).⁴⁰

Dentro de la planta interfiere en su respiración y en su función fotosintética, al combinarse con el cadmio da origen a un proceso de esteres oxidados, que produce daño celular en los tejidos, aunque el principal síntoma es la disminución del crecimiento de la planta, hojas arrugadas y presentar una diferente coloración.

2.6. MARCO NORMATIVO

Posteriormente se evidencian regulaciones que especifican las concentraciones de cadmio en el cacao.

2.6.1. Regulaciones internacionales que establecen los límites máximos para el cadmio en cacao

Posteriormente se detalla la evolución de las regulaciones con respecto al Cadmio en Cacao en la Organización Mundial de Comercio (OMC) y el Código Alimentario (CODEX ALIMENTARIUS).

³⁷ MITE, Francisco; CARRILLO, Manuel y DURANGO, Wuellins, 2010

³⁸ BENAVIDES, María; GALLEGO, Susana y TOMARO, Maria, 2005

³⁹ SANCHEZ, Nereida; SUBERO, Neudis y RIVERO, Carmen, 2011

⁴⁰ ACOSTA, María; FIGUEIRA, Leticia y GONZALEZ, Julio, 2009

- **Comunidades Europeas y su LM para Cadmio**

El 19 de diciembre de 2006, la Unión Europea (UE) expidió el Reglamento (CE) N°1881/2006, que señaló los niveles de cadmio tolerables para los distintos productos. En esta Reglamentación no se encuentran definidos los límites tolerables para el cacao y sus derivados, pues no se consideraba al cacao y chocolates como una fuente significativa de consumo de cadmio.

En mayo del 2011, se presentó la propuesta de modificación del reglamento N°1881/2006 EC, por la Dirección General de Salud y Protección al Consumidor DG-SANCO. En la cual se sugiere el nivel cadmio en cacao y chocolates sea de 0.30 -0.50 mg/kg. La UE analiza la posibilidad de enmendar el Reglamento (CE) No. 1881/2006, para incluir en la lista los límites máximos (LM) de cadmio para el cacao y productos de chocolate, a través de la Regulación (CE) No 420/2011 y de acuerdo a la definición de la Directiva 2000/36/EC.⁴¹

- **Chocolate y cacao en polvo, en un rango de 0.30 a 0.50 mg/Kg, los cuales se establecerían de manera definitiva entre diciembre 2011 y enero 2012**

Los argumentos científicos del proyecto de enmienda se basan en las opiniones científicas de la EFSA (“European Food Safety Authority”) sobre la ingesta de cadmio en la dieta humana.

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

⁴¹ (UE), U. E. (19 de Diciembre de 2006). Reglamento (CE) No. 1881.

- **Otras Regulaciones internacionales**

Según Legislación Australiana y neozelandesa de Metales Pesados (Australian New Zealand Food Code), el contenido máximo de Cadmio para chocolates y productos de cacao es de 0.50 mg/Kg.

2.6.2. Regulaciones para la exportación de cacao a los mercados internacionales

Aun no existen regulaciones específicas en cuanto al contenido de metales pesados en granos de cacao y derivados, sin embargo se han considerado otros requisitos para la exportación de granos de cacao y derivados, en cuanto a la regulación para el contenido de metales pesados en cacao y derivados, ya existe una enmienda al Reglamento N°1881/2006, lo cual entrara en vigor a partir del 01 de enero del 2019, en la actualidad la mayor parte del cacao, está siendo exportado a los países de la Unión Europea y Estados Unidos cuyos requisitos se mencionan a continuación.⁴²

- **Unión Europea, Principales requisitos:**

Legislación Alimentaria General Reglamento (CE) 178/2002: en este Reglamento se establece los principios básicos de la Ley General de Alimentos y que es aplicado a todas las etapas de la producción, transformación y distribución de productos alimenticios.

Higiene de productos alimenticios Reglamento (CE) 852/2004: Este reglamento presenta una serie de requisitos de higiene o limpieza para los alimentos importados a la UE. Está basado en el sistema de Análisis de riesgos y puntos críticos de control (conocido como HACCP), el cual se aplica a las empresas de procesamiento, tratamiento, envasado, transporte, distribución y comercialización de productos alimenticios, es decir, a través de toda la cadena de valor del producto.

Específica para los productos de cacao Directiva (CE) 2000/36: Establece los requisitos para los productos de cacao y chocolate destinados al consumo

⁴² BARRUETA RIVERA, Sayet, 2013

humano. Esta directiva se refiere a la manteca de cacao, cacao en polvo, chocolate, chocolate con leche, chocolate familiar con leche, chocolate blanco, chocolate relleno, chocolate de taza, chocolate familiar de taza y el chocolate o praliné.

- **Principales restricciones para el cacao en grano**

Contenidos Máximos de Contaminantes Reglamento (CE) 1881/2006: Este reglamento fija el contenido máximo de determinados contaminantes en los productos alimenticios que vayan a ser comercializados en la UE. Los contaminantes incluidos en el reglamento son los nitratos, la patulina, ciertos metales pesados, mico toxinas, dioxinas y un contaminante llamado 3-MCPD.

Reglamento (CE) 149/2008: Plaguicidas –LMR: El reglamento establece una lista de plaguicidas autorizados y prohibidos para el cacao, así como los Límites Máximos de Residuos (LMR), permitidos en el cacao. En cuanto a las sustancias activas para las que no se ha establecido un LMR, por defecto debe ser de 0,01 mg / kg, a menos que los usuarios proporcionen una justificación para utilizar niveles más altos. Desde septiembre del año 2008, todas las importaciones de cacao en grano en la UE están sujetas a las disposiciones de ésta legislación.

Además para el caso de la UE, es necesario tomar en cuenta que las actuales tendencias de los consumidores europeos prestan mayor atención a la forma como se producen, es por esta razón que los compradores solicitan certificaciones para comprobar que el cacao es producido de manera justa, amigable con el medio ambiente y socialmente responsable. Las certificaciones más solicitadas en la UE son Comercio Justo (Fairtrade), Rainforest Aliance y Certificaciones UTZ.

2.6.3. Referencias normativas de la concentración de cadmio en productos del cacao.

- Reglamento CE N°333/2007. Por el que se establecen los métodos de muestreo y análisis para el control oficial de los niveles de plomo, cadmio, mercurio, estaño inorgánico, 3-MCPD y benzo(a)pireno en los productos alimenticios. Normativa Europea.
- NTP 208.030-2010. Productos de cacao. Determinación de plomo, cadmio, cobre, hierro y cinc. Normativa Peruana
- CODEX STAN 228-2001. Métodos de Análisis Generales para los Contaminantes. Reglamento de la Organización Mundial De La salud.⁴³

El Reglamento (UE) No 488/2014 de la comisión del 12 de mayo de 2014, que modifica el Reglamento (CE) No 1881/2006, determina el contenido máximo de cadmio en los productos alimenticios y establece específicamente el contenido máximo de cadmio en los productos de cacao y chocolate lo cual se describe en la Tabla 2.

Tabla 2. Concentraciones máximas de cadmio en productos de cacao.

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

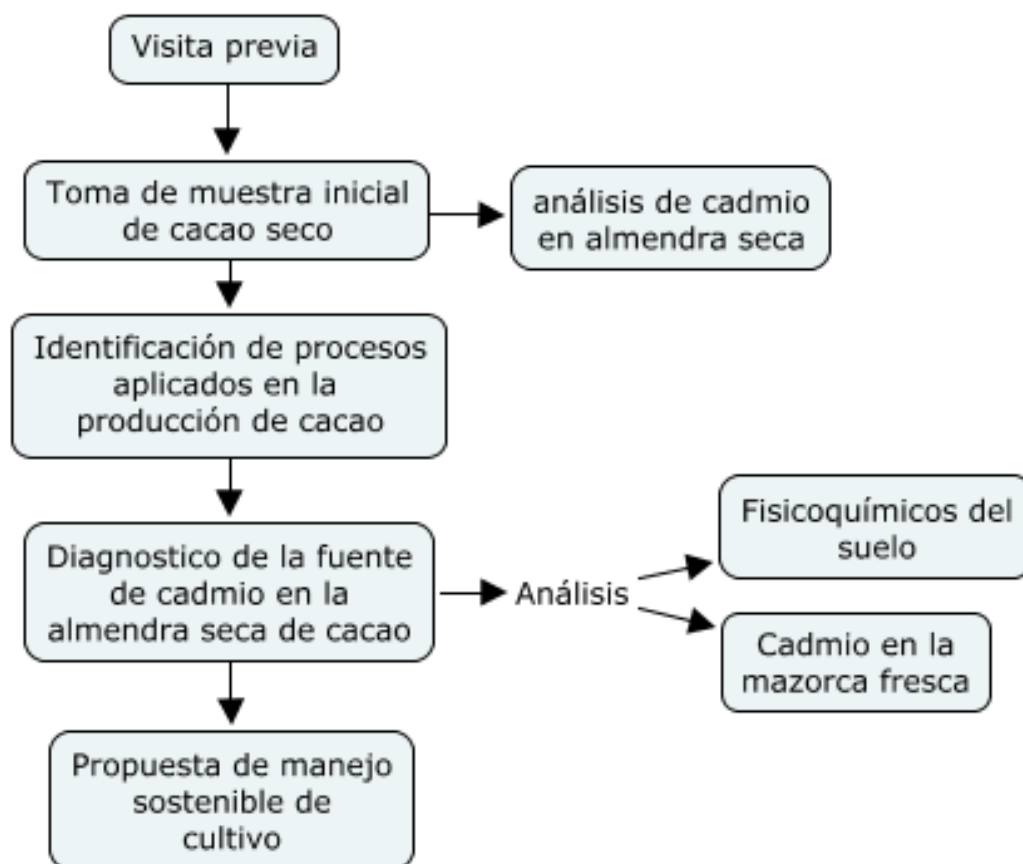
Fuente: Reglamento (UE) No 488/2014, 2014.

3. METODOLOGIA

La metodología aplicada en este trabajo, se resume en la figura 9.

⁴³ Ibíd. p 6-7

Figura 9. Resumen de la metodología aplicada en el proyecto

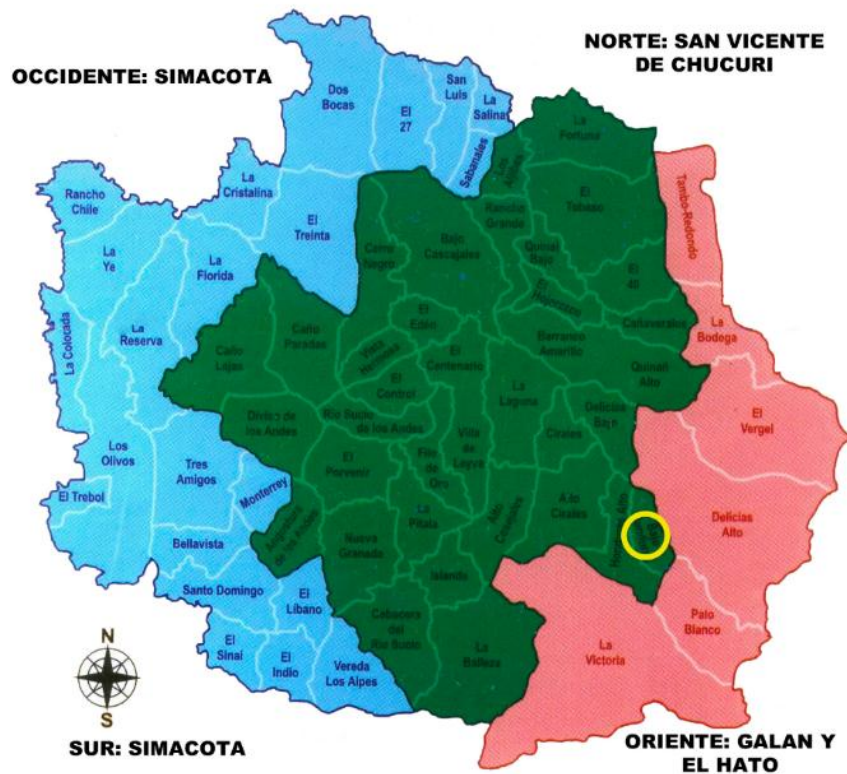


Fuente: Autor.

Inicialmente se seleccionó la finca para el estudio, basándose en los antecedentes registrados por la presencia de cadmio en el suelo. La finca llamada Los Cedros, está ubicada en el Municipio de El Carmen de Chucuri. (Ver figura 10).

Figura 10. Ubicación de la finca seleccionada.

**MAPA POLITICO
EL CARMEN DE CHUCURI - SAN-**



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

Para poder diagnosticar la fuente de la presencia de cadmio en la almendra seca de cacao, fue necesario realizar la visita previa, durante cual se tomó la muestra de mazorca de cacao fresco, aplicando la Guía Metodológica para el Muestreo y Detección de Cadmio.

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

La identificación de los procesos de cultivo, manejo de insumos y procesamiento de cacao en la finca de interés, se inició por un reconocimiento de la zona de siembra, para distinguir los estratos, diferenciándolos por el tipo de cacao cultivado, tiempo de producción y la pendiente del terreno, conociendo también el procesamiento del cacao y el manejo de insumos

3.2. DIAGNÓSTICO DE LA FUENTE DE CADMIO EN ALMENDRA SECA DE CACAO EN LA FINCA LOS CEDROS.

El diagnóstico de la fuente de cadmio en almendra seca de cacao en la finca Los Cedros, se realizó con base en los resultados obtenidos de las muestras de suelo y mazorca fresca de cacao. Así mismo se tuvo en cuenta el manejo de proceso de cacao en la finca.

Para el proceso de muestreo de la almendra seca, mazorca fresca y suelo, se aplicó la Guía Metodológica para el Muestreo y Detección de Cadmio. De igual manera se replicaron los mismos sitios de muestreos anteriores tomados.

Para el diagnóstico de la fuente de cadmio en almendra seca se tuvo en cuenta las características fisicoquímicas del suelo y el reconocimiento de procesos de cultivo, igualmente las características geomorfológicas de la zona.

Consecutivamente se especifica el procedimiento de toma de muestra de almendra seca, almendra fresca y suelo.

3.2.1. Análisis de cadmio en almendra seca de cacao.

En el muestreo realizado en la finca, se definió la estratificación del área de cultivo y se seleccionaron los árboles para las submuestras de mazorcas y suelo (Ver tabla 3).

Tabla 3. Ubicación de los estratos y submuestras seleccionadas en la finca Los Cedros.

Estrato	N° de muestras	Coordenadas de cada submuestra							
		CA1		CA2		CA3		CA4	
A	4	CA1	N	06°39'405"	CA2	N	06°39'441"		
			W	73°30'436"		W	73°30'451"		
			A	672. mts		A	670. mts		
		CA3	N	06°39'444"	CA4	N	06°39'426"		
			W	73°30'448"		W	73°30'456"		
			A	668. mts		A	675. mts		
		C	3	CC1	N	06°39'412"	CC2	N	06°39'428"
					W	73°30'418"		W	73°30'408"
A	675. mts				A	670. mts			
CC3	N			06°39'462"					
	W			73°30'349"					
	A			673. mts					
D	4	DC1	N	06°39'451"	DC2	N	06°39'467"		
			W	73°30'424"		W	73°30'358"		
			A	659. mts		A	661. mts		
		DC3	N	06°39'456"	DC4	N	06°39'551"		
			W	73°30'380"		W	73°30'505"		
			A	660. mts		A	625. mts		

Fuente: Campo.

*CAPSCI; C: cedros, A: zona, PS: pepa seca, CI: compuesta inicial
 CCPSCI; C: cedros, C: zona, PS: pepa seca, CI: compuesta inicial
 CDPSCI; C: cedros, D: zona, PS: pepa seca, CI: compuesta inicial

CA1. Primera submuestra del estrato A
 CA2. Segunda submuestra del estrato A
 CA3. Tercera submuestra del estrato A
 CA4. Cuarta submuestra del estrato A
 CC1. Primera submuestra del estrato C
 CC2. Segunda submuestra del estrato C
 CC3. Tercera submuestra del estrato C
 CD1. Primera submuestra del estrato D
 CD2. Segunda submuestra del estrato D
 CD3. Tercera submuestra del estrato D
 CD4. Cuarta submuestra del estrato D
 N. Norte
 W. Oeste
 A. Altura

Una vez recolectadas las muestras de mazorca fresca se procedió a retirar las almendras con su pulpa de los frutos (desguyado), estas almendras fueron depositadas en las pilas de fermentación. Después de tres días se secó la muestra y se preparó para análisis de cadmio, aplicando el método de absorción atómica en el laboratorio de análisis ambientales UPB Bucaramanga.

El equipo de absorción atómica que se utilizó fue, Espectrofotómetro AAnalyst 400, con el método por llama STÁNDAR METHODS 3111B y EPA 3051A, para el análisis de suelos y el método 3111B y AOAC999.10 para el análisis de muestras de cacao, en control de alimentos. El gas aplicado fue aire acetileno, donde la velocidad del acetileno fue de 1,86 L / min y el de aire de 10 L / min. Se utilizó una lámpara específica para cadmio, marca Perkin Elmer de tipo HCL.

El proceso de digestión de las muestras de suelo se realizó con 10 ml de ácido nítrico al 65% y para el cacao se utilizó, 2 ml de peróxido de hidrogeno al 30% y 2 ml de ácido nítrico al 65%.

Preparación de la muestra para análisis en absorción atómica.

Para el efecto de la determinación de la concentración de cadmio en almendra seca de cacao, fue necesario procesar la muestra en laboratorio, iniciando por disposición del grano seco (E) para su pulverización (F). Posteriormente se realizó el secado en el horno a 105°C (G) y se pasó por el tamiz número 40 (diámetro, 0,425 mm). Finalmente se depositó la muestra fría en los vasos para digestión (H). (Ver figura 11).

Figura 11. Preparación de la muestra para absorción atómica.



Fuente: Autor.

El procedimiento detallado se adjunta en anexo 1.

3.2.2. Análisis de cadmio en almendra fresca cacao.

La recolección de muestra de mazorca fresca de cacao, se realizó simultáneamente con la recolección de muestras de suelo, en el mismo árbol

identificado previamente. Reuniendo las mazorcas frescas de cada estrato, se empaclaron en costales, se rotularon debidamente y se transportaron a temperatura ambiente a laboratorio. (Ver figura 12).

Figura 12. Muestras de mazorcas frescas recolectadas para análisis de cadmio.



Fuente: Finca Los Cedros de El municipio de El Carmen de Chucurí. Santander-Colombia.

Autor: Fabián Solano

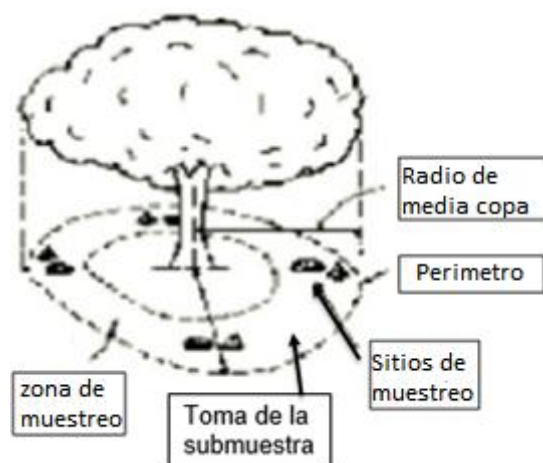
Después de 24 horas las mazorcas frescas se desgruyaron y se les eliminó manualmente la pulpa de la almendra de cacao. Luego se secaron las semillas al sol en las bandejas plásticas por tres días, se maceraron y se llevaron al horno por 24 horas a 105°C para eliminar el contenido de humedad. Finalmente se pulverizó la muestra y se dispuso para su análisis de cadmio por absorción atómica.

3.2.3. Análisis de propiedades fisicoquímicas y de análisis cadmio en las muestras de suelo

Las muestras tomadas en la finca Los Cedros fueron analizadas con el fin de examinar la concentración de cadmio y conocer las propiedades fisicoquímicas del suelo.

Se inició el proceso por la localización de los árboles de cacao tipo trinitario, criollo y forastero, previamente señalados al momento de realizar la estratificación basada en la Guía Metodológica para el muestreo y determinación de cadmio. Luego se limpió la maleza, la hojarasca y las raíces del área del árbol identificado. Después se procedió a tomar cuatro muestras de suelo de 0 – 20 cm y en los mismo sitios a la profundidad de 20 – 40 cm por cada árbol en forma de cruz (Ver figura 13). De la misma manera se procedió con el muestreo en torno de los arboles seleccionados en cada estrato descritos en la tabla 3 (tabla de la Ubicación de los estratos y submuestras seleccionadas en la finca Los Cedros).

Figura 13. Zona de muestreo para suelos de cacao.



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

Finalmente se juntaron las submuestras de un estrato y se le aplicó el método de cuarteo para obtener dos kilogramos de suelo requerido por el laboratorio de análisis ambiental UPB Bucaramanga, donde se aplicó el método de absorción atómica (STÁNDAR METHODS 3111B y EPA 3051A) para la determinación de cadmio en ellas. De la misma manera se manejaron las muestras tomadas a las profundidades de 0 – 20 cm y de 20 – 40 cm.

Una vez tomadas las muestras se empacaron en bolsas herméticas, se identificaron debidamente y fueron transportadas a laboratorio en las neveras refrigeradas de icopor (Ver figura 14).

Figura 14. Empacado e identificación de las muestras de suelo.



Fuente: Finca Los Cedros de El municipio de El Carmen de Chucurí. Santander-Colombia.

Autor: Fabián Solano

Luego se procedió a tomar las submuestras del suelo para los análisis fisicoquímicos, utilizando la misma metodología de ubicación descrita anteriormente. Esta recolección de submuestras se llevó a cabo en los sitios intermedios en torno al árbol donde se tomaron las muestras de suelo a profundidades de 0 – 20 cm y 20 – 40 cm.

Aplicando para este efecto se la Guía metodológica para el muestreo y determinación de cadmio con el fin de obtener la muestra compuesta definitiva de 2 kilogramos.

Los parámetros fisicoquímicos analizados en las muestras compuestas de suelo se indican en la tabla 4.

Tabla 4. Parámetros y métodos aplicados a las muestras de suelo.

Parámetro	Método empleado
Textura	Método de Bouyoucos (Bouyoucos, 1962)
pH	Medición con Potenciómetro en solución con KCl y agua destilada.
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
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	Humedad gravimétrica 24-48 horas después de saturar el suelo con agua.
Capacidad de Intercambio Catiónico	Método de desplazamiento por el acetato de amonio

Fuente: Manual de Laboratorio de Análisis de Suelos, Universidad Pontificia Bolivariana, 2009. Laboratorio de estudios ambientales, UPB.

3.3. PROPUESTA DE MANEJO SOSTENIBLE DE CULTIVO DE CACAO EN LA FINCA LOS CEDROS.

La propuesta de manejo sostenible de cultivo de cacao en la finca Los Cedros se realizó con base en los análisis de los datos obtenidos en las pruebas fisicoquímicas de suelo, en la concentración del cadmio presente en la almendra seca de cacao, en las muestras de suelo y la almendra fresca de cacao.

De igual modo se analizó cada una de las etapas en la producción de cacao desde la recolección de la mazorca hasta el empaclado. Esto con el fin de generar diferentes aspectos positivos que influyan en un proceso sostenible tales como: Preservar la biodiversidad, aumentar la productividad vegetal y animal, diversificar la producción forestal y de cultivo, asegurar la sostenibilidad en el uso de la tierra protegiéndolo de la erosión, cambiar el sistema de monocultivo, reciclaje de nutrientes, influenciar positivamente el manejo de las plagas, disminuir la competencia con el cultivo, reutilización de residuos para el manejo de insumos, proveer alimentos, materias primas, prácticas de turismo sostenible y generación de empleo.

Así mismo se consideró la implementación de técnicas de remediación de suelos contaminados con metales pesados, amigables con el ambiente con criterios de sostenibilidad.

4. RESULTADOS Y ANALISIS

A partir de la aplicación de la guía metodológica para el muestreo y detección de cadmio se obtuvieron los siguientes resultados:

Primeramente se identificaron las condiciones de cultivo de la finca para realizar el muestreo. En la tabla 5 se resumen las áreas cultivadas de cacao en la finca Los Cedros y las condiciones meteorológicas y geográficas allí presentes.

Tabla 5. Características meteorológicas y geográficas de la finca.

Nombre de la finca	Altitud msnm	Mpio.	Dpto.	Área cultivada Ha.	Área total Ha.	Estrato	T°C
Los Cedros	700	El Carmen de Chucuri	Sder	2.5	4.5	3	22-30

Fuente: Autor.

En la tabla 5 se observa que la finca Los Cedros posee condiciones meteorológicas y geográficas óptimas para el cultivo de cacao, lo cual garantiza una buena cosecha de este producto. La altura de correspondiente a 700 msnm, así como la temperatura entre 22 – 30°C es la que reporta la literatura como recomendadas para este cultivo.⁴⁴

Al momento de efectuar el muestreo de almendra seca, almendra fresca y suelo se presentaron diferentes condiciones ambientales como lluvias aisladas en horas de la mañana y en horas de la tarde, con periodos de tiempo soleado.

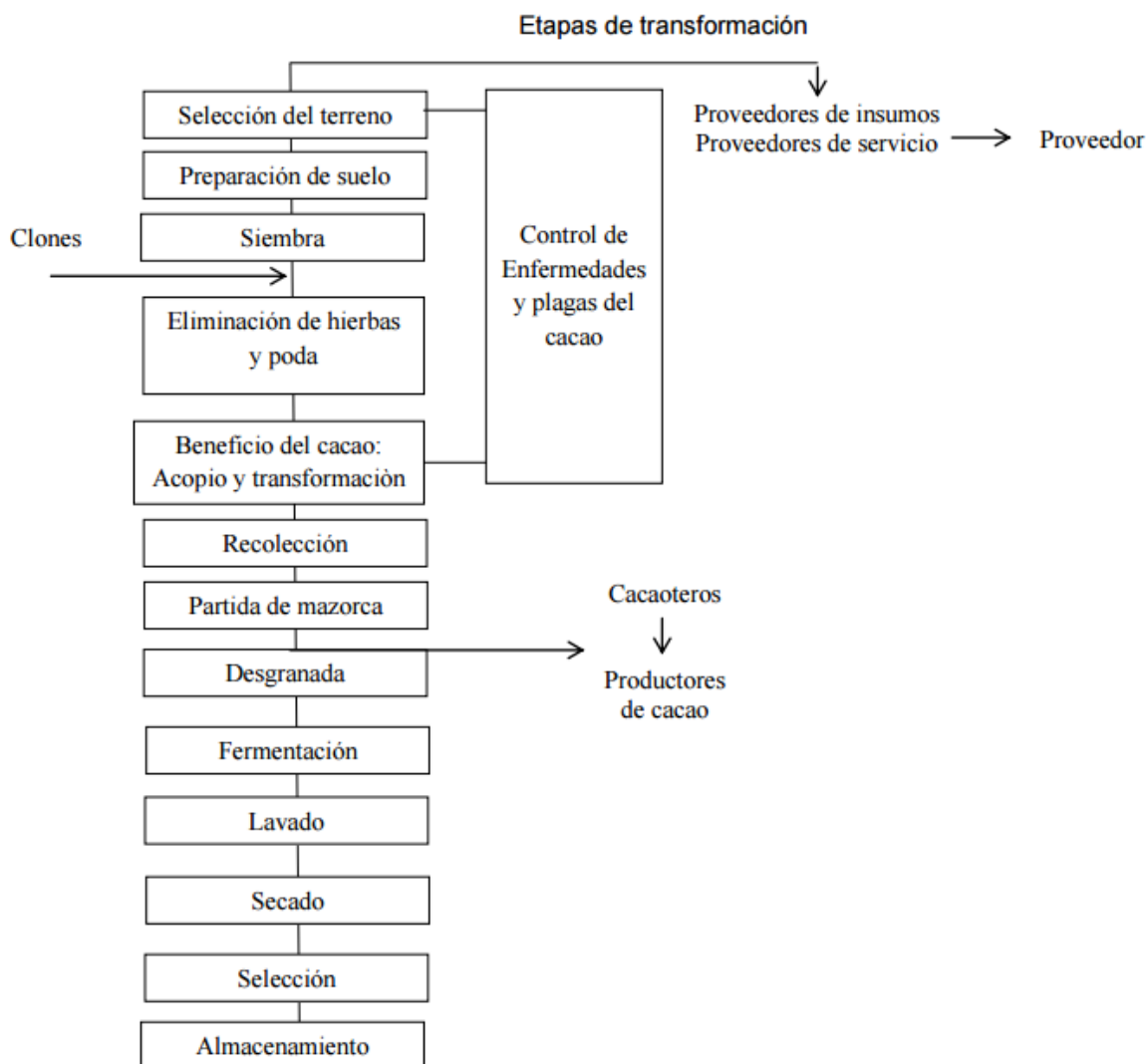
⁴⁴ ROJAS y SACRISTAN, op. Cit. pg 38.

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

En la finca Los Cedros, se identificaron los procesos de cultivo, el procesamiento del cacao y el manejo de insumos que utilizan en la producción de cacao.

En la figura 15 se describe el proceso del cultivo de cacao desde la selección del terreno hasta la entrega final del producto, el cual se da al proveedor.

Figura 15. Descripción del proceso del cultivo de cacao.



FUENTE: Rosas, María. Caracterización de la cadena de abastecimiento y la cadena de valor en Colombia, 2012.

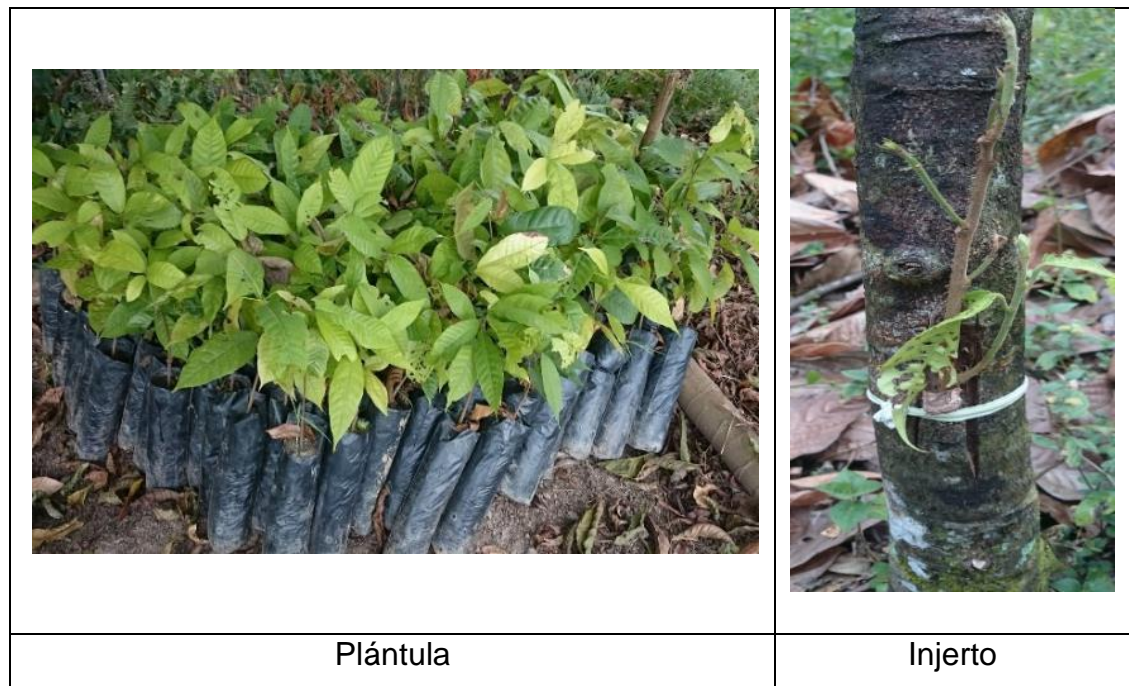
4.1.1. Procesos de cultivo en la finca Los Cedros.

La preparación de siembra del cultivo de cacao, se inicia previamente con limpiar el terreno de la maleza y plantas invasoras que afecten el crecimiento del cultivo, según la información obtenida por el administrador y por la literatura. Primero se inicia por la siembra de plátano con el fin de dar rigidez al suelo, aportar nutrientes y generar sombra a la cosecha. Después de un tiempo de entre 10 a 14 meses se siembran los arboles de cacao, ya sea por semilla o por injerto.

La semilla es puesta en bolsas plásticas hasta su germinación (Plántula) y cuidadas en un vivero hasta el momento que el terreno donde se vaya a cultivar esté preparado. En el cultivo por injerto se seleccionan los mejores arboles con el fin de generar un mejor cultivo, este proceso se inicia con fraccionar una pequeña porción del tallo del árbol seleccionado, luego se adhiere el injerto y se fija con un cordón hasta el momento en que empiece su crecimiento.

El tipo de siembra preferencial manejada en la finca es por injerto pero también se identificó la siembra de árboles por semilla (Ver figura 16).

Figura 16. Tipo de siembra del árbol de cacao.



Fuente: Finca Los Cedros de El municipio de El Carmen de Chucurí. Santander-Colombia.

Autor: Fabián Solano

El tipo de cacao sembrado en la finca es criollo, trinitario y forastero (Ver figura 17).

Figura 17. Tipo de cacao sembrado.



Fuente: Finca Los Cedros de El municipio de El Carmen de Chucurí. Santander-Colombia.

Autor: Fabián Solano

En la finca Los Cedros se opta por la siembra tipo injerto con el fin de renovar el cultivo de cacao. Por lo tanto se aplican cuidados especiales como es la selección del árbol de cacao sano y fuerte, para este proceso.

La importancia que tiene injertar los cultivos es por aumentar la producción en un menor tiempo y generando nuevas plantas con mayor resistencia a enfermedades. Para seleccionar un árbol élite se debe llevar un registro de la producción durante varios años.⁴⁵

4.1.2. Procesamiento de cacao en la finca Los Cedros.

El procesamiento de cacao identificado en la finca Los Cedros (Ver figura 15), se lleva a cabo alrededor del área de cultivo. Se inicia por el corte de la mazorca de cacao (A), luego se desgruya y las habas con la pulpa que los envuelve se ubican en bolsas plásticas (B). Finalmente se depositan las semillas en una pila para su fermentación, proceso donde el cacao es expuesto a microorganismos naturales presentes en el ambiente, degradando la pulpa mientras que el grano sufre procesos bioquímicos y físicos que formarán los precursores de los aromas y sabores a chocolate⁴⁶. En la finca Los Cedros utilizan para este proceso los recipientes de madera, recomendados para evitar la putrefacción de las mismas, debido a que al momento de fermentarse expulsan vapores (C).

Los lixiviados del proceso de fermentación se reciclan en la finca utilizando posteriormente para combatir los hongos y la moniliasis en la mazorca de cacao. En ocasiones utilizan también estos lixiviados en el ciclo de fermentación.

Finalmente la almendra fermentada se somete a un proceso de secado gradual realizado por el agricultor en la plataforma de madera de secado ubicada en el

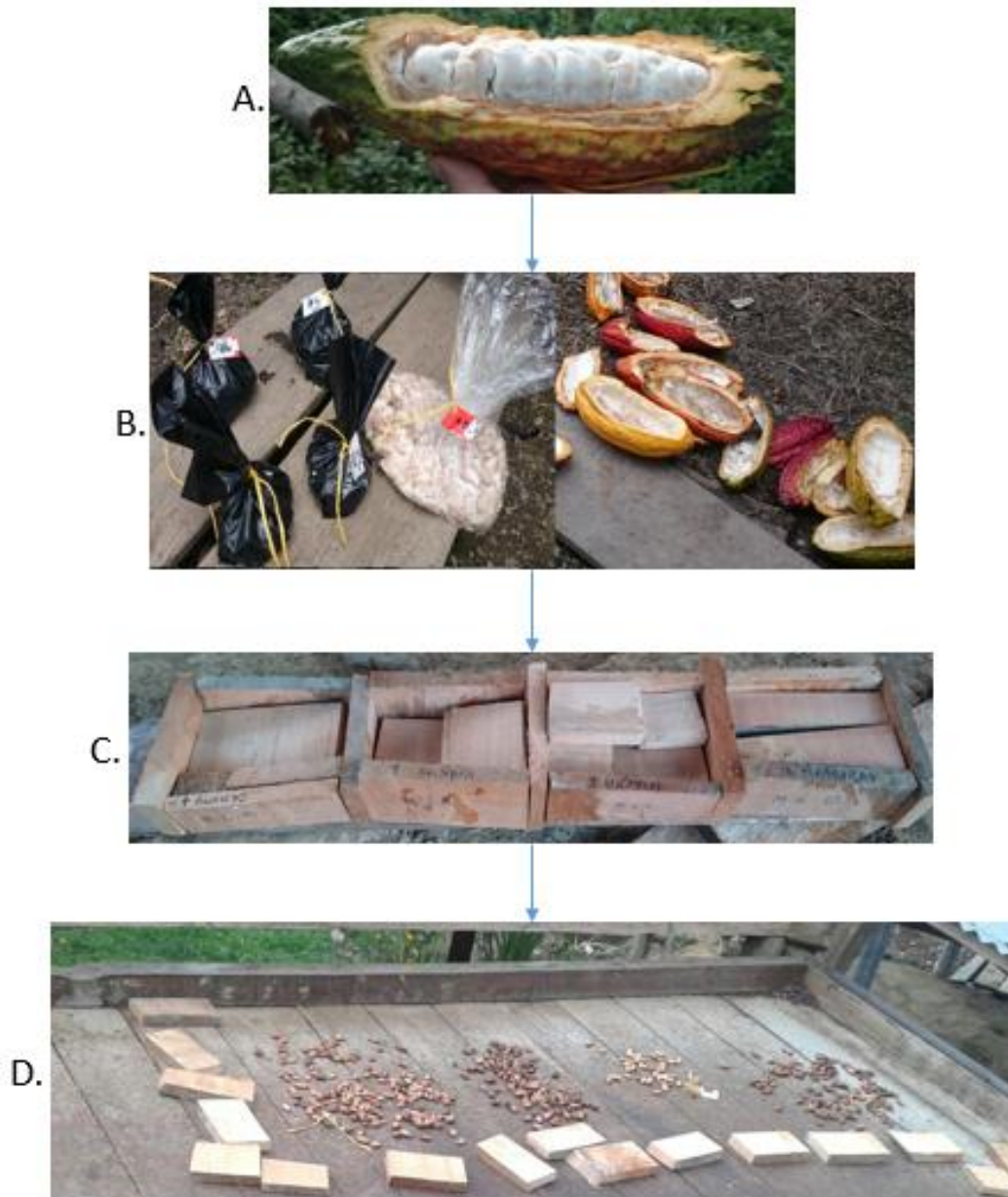
⁴⁵ SANDOVAL, Isabel, MENDOZA, Isidro y NAVARRO, Melba, 2007

⁴⁶ DOSTERT, Nicolás; ROQUE, José; CANO, Asunción, LA TORRE, María y WEIGEND, Maximilian, 2011

techo de la vivienda (D). Durante este proceso se exponen los granos al sol durante varios días, para bajar el contenido de humedad del grano del 55% al 7% y eliminar algunos ácidos naturalmente presentes en el cacao. Este proceso puede tardar varios días, dependiendo de la cantidad de semillas que se recogieron y las condiciones climáticas presentes (Ver figura 18).

En la finca Los Cedros, están conscientes de que el secado es la clave para evitar mohos y hongos en el grano, que pueden conducir a perder el grano o impartirle un mal sabor. Al momento de finalizar el secado, el grano es empacado en sacos de fique para su comercialización y venta.

Figura 18. Procesamiento de cacao en la finca Los Cedros. (A, mazorca abierta), (B, desgranado), (C, fermentación) y (D, secado).



Fuente: Finca Los Cedros de El municipio de El Carmen de Chucurí. Santander-Colombia.

Autor: Fabián Solano

4.1.3. Manejo de insumos para el cultivo de cacao en la finca los cedros.

En la finca Los Cedros los insumos utilizados son:

- Abono orgánico, generado de la hojarasca.
- Semillas para la siembra, seleccionadas de la misma finca.
- Injertos de las plantas seleccionas de la finca.
- Fertilizantes orgánicos producidos en la finca de la pulpa fermentada.

En escasas ocasiones en la finca utilizaban fertilizantes orgánicos producidos por ellos mismos y solo cuando las plantas estaban atacadas por maleza conocida como escoba de bruja o cuando al fruto le brotaban hongos (Ver figura 19). Cabe resaltar que la zona donde se encuentra cultivado el cacao presenta constantes precipitaciones por lo tanto no se utiliza un sistema de riego.

Aunque las cadenas de valor extensas como la del cacao, proporcionan potencial económico en muchas ocasiones presentan daños ambientales como la disminución de la biodiversidad. En el caso de la finca Los Cedros se observó una conciencia sobre un manejo sostenible de área de cultivo. De igual manera se reporta en la literatura que estos cultivos inducen hábitos sociales inaceptables como el uso de mano de obra infantil, lo cual no está presente en la finca Los Cedros. Así mismo se señala los daños presentados en el suelo por el monocultivo de cacao, cual en la finca Los Cedros esta contrarrestado por la siembra de plátano y árboles frutales.

En términos generales se considera que el manejo de insumos al igual que la siembra y procesamiento del cacao, se está realizado en la finca Los Cedros de manera sostenible, procurando la reutilización de los productos orgánicos de desecho y manteniendo en equilibrio del ecosistema.

Figura 19. Fruto de cacao tipo criollo con el hongo *Phytophthora*



Fuente: Finca Los Cedros de El municipio de El Carmen de Chucurí. Santander-Colombia.

Autor: Fabián Solano

4.2. DIAGNÓSTICO DE LA FUENTE DE CADMIO EN ALMENDRA SECA DE CACAO EN LA FINCA CACAOTERA LOS CEDROS.

Para diagnosticar la fuente de cadmio en almendra seca de cacao, fue necesario analizar la presencia de este elemento en la almendra seca, en la almendra fresca y en el suelo. De igual manera fue importante hacer el análisis de procedimiento aplicado desde la siembra hasta la obtención de grano seco, así como indagar sobre conformación geomorfológica de la zona.

De esta manera se seleccionaron tres diferentes áreas de muestreo (A, C y D). El estrato B no fue tomado en cuenta debido ya que recientemente se podaron los árboles de cacao en esta zona, por lo cual no hubo producción para su respectivo análisis.

4.2.1. Análisis de cadmio en la almendra seca de cacao.

Primeramente definió la estratificación del área de cultivo y se seleccionaron los árboles para las submuestras de mazorcas y suelo (Ver tabla 6).

Tabla 6. Descripción de los estratos seleccionados en la finca Los Cedros.

Estrato	N° de muestras	Coordenadas de cada submuestra						Área aprox. Ha	Tipo de cacao	Descripción del área
			N	W	A		N			
A	4	CA1	N	06°39'405"	CA2	N	06°39'441"	0,8	Trinitario	Área con hojarasca y poca pendiente
			W	73°30'436"		W	73°30'451"			
			A	672. mts		A	670. mts			
		CA3	N	06°39'444"	CA4	N	06°39'426"			
			W	73°30'448"		W	73°30'456"			
			A	668. mts		A	675. mts			
C	3	CC1	N	06°39'412"	CC2	N	06°39'428"	0,6	Forastero	Área con poca vegetación, terreno semiplano y poca pendiente.
			W	73°30'418"		W	73°30'408"			
			A	675. mts		A	670. mts			
		CC3	N	06°39'462"						
			W	73°30'349"						
			A	673. mts						
D	4	DC1	N	06°39'451"	DC2	N	06°39'467"	1,1	Forastero	Área con bastante hojarasca, gran pendiente y poca maleza.
			W	73°30'424"		W	73°30'358"			
			A	659. mts		A	661. mts			
		DC3	N	06°39'456"	DC4	N	06°39'551"			
			W	73°30'380"		W	73°30'505"			
			A	660. mts		A	625. mts			

Fuente: Finca Los Cedros de El municipio de El Carmen de Chucurí. Santander-Colombia.

Autor: Fabián Solano

En la tabla 6 se observa que el tipo de cacao cultivado en la finca Los Cedros es criollo, forastero y en menor proporción el cacao tipo trinitario. Los estratos A, C y D, se diferencian por la pendiente del terreno, tipo de cacao y la clase de vegetación.

Al momento de obtener las muestras de cacao para los resultados posteriores, el procedimiento llevado a cabo fue como el cacao es procesado en la finca Los Cedros, iniciando por el corte de la mazorca, seguido por desgrayar el fruto, continuando con el proceso de fermentación y finalizando con el proceso de secado.

La primera toma de muestra se realizó con el fin de identificar la presencia de cadmio en la almendra seca de cacao (Ver tabla 7).

Tabla 7. Resultados obtenidos de la almendra seca de cacao.

Finca	Estrato	Sigla*	Valor mg Cd/Kg
Los Cedros	A	CAPSCI	1,0317
	C	CCPSCI	1,2247
	D	CDPSCI	1,7298

Fuente: Laboratorio de Estudios Ambientales, UPB.

Los resultados de los análisis de cadmio en la almendra seca de cacao se adjuntan en el Anexo 2. En la tabla 7 se observa la presencia de elemento cadmio en todas las muestras analizadas, donde la mayor concentración registra la muestra recolectada en estrato D, con un valor de 1,7298 mg de Cd / Kg de semilla seca.

Aplicando el reglamento (UE) No 488/2014, de 2014 se puede analizar el caso, donde cualquier producto que contenga mayor del 50% de cacao no puede contener más de 0,80 mg / kg cadmio en el producto indicado en la norma, como por ejemplo chocolate. Si éste pesa 1 kg y contienen en su composición 70 % de cacao, entonces, aplicando el promedio del contenido de cadmio de la tabla 5, se puede realizar el siguiente calculo:

$$Cd_{promedio} * \%_{cacao} = Cd_{chocolate}$$

Donde:

$Cd_{promedio}$: Indica la cantidad promedio de Cadmio encontrada en Almendra seca

$\%_{cacao}$: Composición de cacao en 1 Kg de chocolate

$Cd_{Chocolate}$: Cantidad de cadmio en peso presente en 1 Kg de chocolate

Así aplicando la formula, se obtiene que:

$$1.3287 \text{ mg Cd / kg} \times 0.7 = 0.93 \text{ mg de cadmio en 1 kg de chocolate.}$$

Este valor excede el límite permitido en el reglamento (UE) No 488/2014, de 2014, mencionado anteriormente 0,8 mg Cd / Kg de producto.

Aunque las concentraciones de cadmio en la almendra seca de cacao, no son elevadas respecto al reglamento europeo, esto genera una restricción en cuanto a su exportación. Se debe señalar que el cultivo de cacao en la finca Los Cedros, registra un tiempo de producción muy corto, por lo cual a medida que pasan los años es posible la acumulación de cadmio en el cacao seco, lo cual aumentara la problemática.

En vista de que se evidencia un problema por la presencia de cadmio en la almendra seca de cacao en la finca Los Cedros, fue necesario examinar la presencia de este metal en la almendra fresca y suelo.

4.2.2. Análisis de cadmio en la almendra fresca de cacao.

Al momento de obtener las muestras de almendra fresca para los siguientes resultados, el procedimiento llevado a cabo fue realizar el corte de la mazorca, desgruirla y eliminar la pulpa o testo de cada una de las almendras frescas, finalizando con el proceso de secado

En la tabla 8 se resume los resultados de análisis de cadmio en mazorca fresca de cacao.

Tabla 8. Resultados de análisis de cadmio en mazorca fresca de cacao.

Identificación de la muestra	Peso cacao (g)	peso (Kg)	Volumen aforo (ml)	Factor dilución	mg/L cadmio	mg/Kg cadmio
Estrato A	0,2569	0,0002569	0,025	1	0,04	3,8926
Estrato C	0,2562	0,0002562	0,025	1	0,051	4,9766
Estrato D	0,2575	0,0002575	0,025	1	0,0415	4,0291

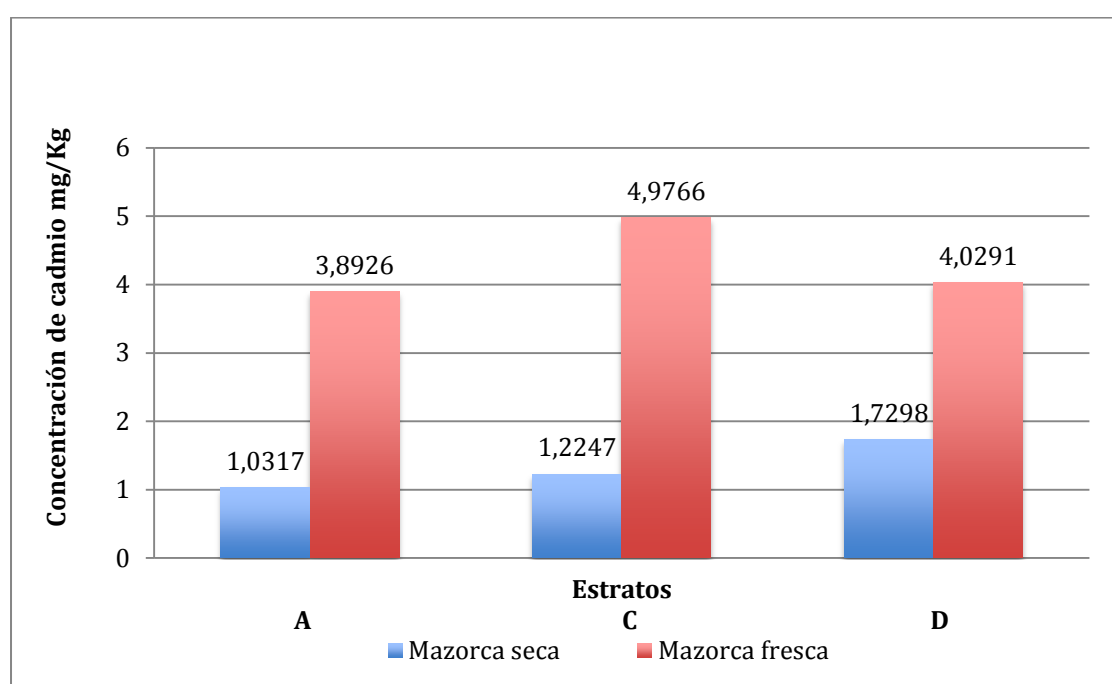
Fuente: Laboratorio de Estudios Ambientales, UPB.

En la tabla 8 se puede observar la presencia de cadmio en la mazorca fresca de cacao en las muestras de todos los estratos. La mayor cantidad de cadmio retenido (4,9766 mg Cd / Kg) fue registrada para el estrato C, seguida por el D (4,0291 mg Cd / Kg) y A (3,8926 mg Cd / Kg), (Ver anexo 3). Considerando que en el estrato A se cultivan especies de cacao trinitario y criollo, en el C el cacao forastero y en D se cosecha el cacao forastero y criollo, no es posible

relacionar la cantidad de cadmio con el tipo específico de cacao ya que al momento de implementar la guía metodológica para el muestreo y detección de cadmio, estas muestras de almendra fueron analizadas a partir de una muestra compuesta.

En la figura 20, se comparan los valores obtenidos del cadmio en la almendra seca y almendra fresca de cacao.

Figura 20. Comparación de valores obtenidos de cadmio en la mazorca de cacao.



Fuente: Autor.

Comparando los niveles de cadmio en almendra seca de cacao con almendra fresca, se encuentra gran diferencia en acumulación de este metal entre los dos.

La almendra fresca casi duplica la concentración de cadmio con respecto a la concentración en la almendra seca en cada estrato examinado. Analizando el procedimiento efectuado para obtener la semilla seca de cacao, se identifica que el proceso de fermentación, cual se omitió procesando la muestra de

cacao fresco, es de suma importancia para el proceso de disminución de la concentración de cadmio en la almendra seca de cacao

Tomando en cuenta análisis de la concentración de cadmio reportado anteriormente, se puede relacionar grandes concentraciones de este elemento en el suelo y en la mazorca fresca con el cadmio detectado en almendra seca de cacao en la finca Los Cedros.

Según del esquema de ordenamiento territorial de El Carmen de Chucurí, la geomorfología de la zona está compuesta por rocas fosfórica, por ende se deduce que la presencia de cadmio en la almendra de cacao proviene del suelo.⁴⁷

4.2.3. Análisis del cadmio y propiedades fisicoquímicas en las muestras de suelo.

Finalizadas las pruebas correspondientes de las muestras analizadas de suelo se reportan los datos obtenidos.

En la tabla 9 se reportan resultados de análisis de cadmio en el suelo a profundidades de 0 – 20 cm y de 20 – 40 cm.

Tabla 9. Presencia de cadmio en el suelo a profundidad de 0-20 cm y de 20-40 cm.

Estrato	Identificación de la muestra	Profundidad (cm)	Peso cacao Seco (g)	Volumen aforo de la extracción (ml)	Factor dilución	mg/L cadmio	mg/Kg cadmio
A	CA	0 - 20	0,2541	0,025	1	0,0234	2,3022
		20 - 40	0,2548	0,025	1	0,0219	2,1487
C	CC	0 - 20	0,2552	0,025	1	0,0239	2,3413
		20 - 40	0,2538	0,025	1	0,0227	2,236
D	CD	0 - 20	0,2535	0,025	1	0,0278	2,7416
		20 - 40	0,2538	0,025	1	0,0148	1,4578

Fuente: Laboratorio de Estudios Ambientales. UPB.

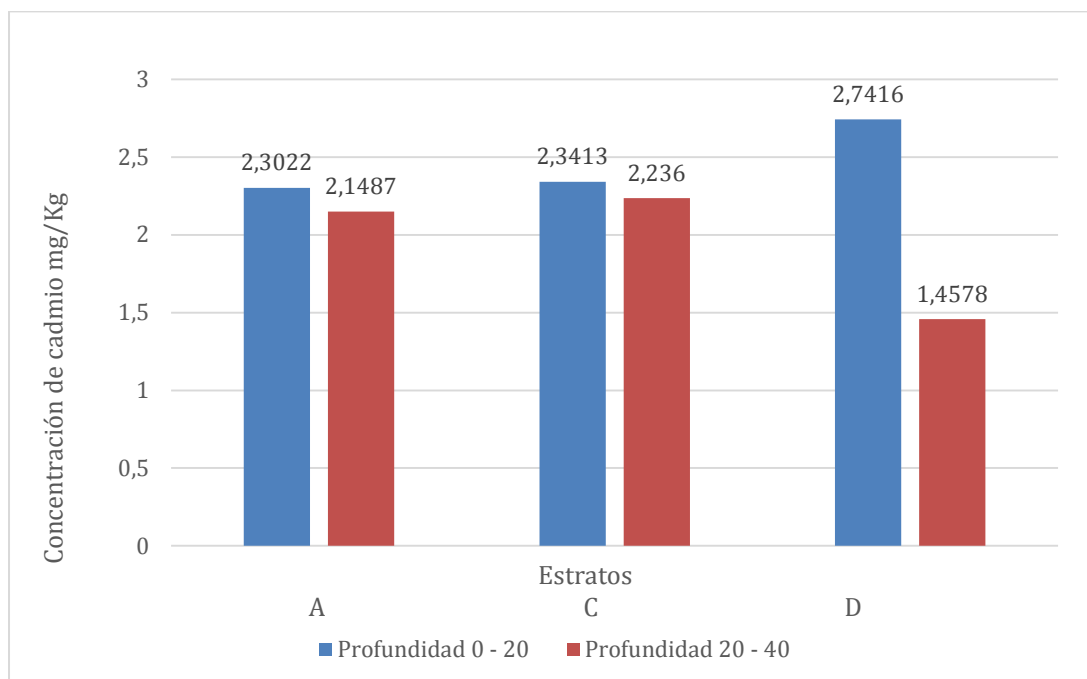
⁴⁷ Esquema de ordenamiento territorial, op. cit. p.145

Resultados de los análisis de cadmio en el suelo a profundidades de 0 – 20 cm y de 20 – 40 cm (Ver Anexo 4).

En la tabla 9 se visualiza la presencia del cadmio en todas las muestras de suelo analizado. De igual manera se nota semejanza en los valores obtenidos pero con mayor concentración de este elemento a la profundidad de 0 – 20 cm que de 20 – 40 cm. Considerando que es un cultivo joven es de esperar que el cadmio acumule su concentración en la capa más cercana de suelo y con el tiempo, se destacará alta concentración en ambas profundidades.

En la figura 21 se comparan los valores de la concentración de cadmio a las profundidades de 0 – 20 cm y de 20 – 40 cm.

Figura 21. Comparación de la concentración del cadmio a las profundidades de 0 – 20 cm y 20 – 40 cm.



Fuente: Autor.

Comparando las profundidades de 0 – 20 cm y de 20 – 40 cm, se observan valores semejantes en la acumulación de este metal.

Considerando la ubicación de cada estrato muestreado, se puede analizar la similitud en las concentraciones de cadmio en cada estrato y en cada profundidad del suelo.

Indagando sobre la caracterización geomorfológica de la zona se encontró que recientemente se ha otorgado licencia de explotación minera del materia del construcción, a la empresa RIO TINTO MINING AND EXPLORATION COLOMBIA el día 16 de noviembre de 2014, (Ver anexo 5). La empresa obtuvo permiso para la explotación de roca fosfórica en el municipio de El Carmen de Chucurí, donde se ubica la finca Los Cedros. La literatura reporta que la roca fosfórica contiene el cadmio entre otros elementos, que constituyen su impureza (Bonomelli et al, 2003), por lo tanto se considera la formación geomorfológica de la zona, como la fuente de este metal en el suelo de la finca Los Cedros.⁴⁸

Posteriormente se describen los resultados de análisis fisicoquímicos del suelo realizados en la finca Los Cedros en los estratos correspondientes.

4.2.3.1. Determinación de textura: Método de Bouyoucos.

La determinación de la textura del suelo se realizó por el método de Bouyoucos, el cual consistió en determinar los porcentajes de arena, arcilla y limo. La tabla 10 resume los resultados de las lecturas obtenidos por el hidrómetro.

Tabla 10. Resultados de las lecturas del hidrómetro para la determinación de la textura por el método de Bouyoucos.

Lectura	40 segundos			2 horas		
	Hidrómetro (g/L)	T°C	Hidrómetro corregido (g/L)	Hidrómetro (g/L)	T°C	Hidrómetro corregido (g/L)
A	26	26	28,36	10	27	12,72
C	27	26	29,36	6	27	8,72

⁴⁸ CANTERA, Víctor. 2008.

D	24	26	26,36	10	27	12,72
---	----	----	-------	----	----	-------

Fuente: Autor.

A partir de los datos obtenidos, se calcularon los porcentajes correspondientes aplicando las siguientes formulas.

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

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

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

En la tabla 11 se resumen los resultados anteriormente calculados.

Tabla 11. Determinación de la textura por el método de Bouyoucos.

Porcentaje (%)	Estrato		
	A	C	D
Arena	43,28	41,28	47,28
Arcilla	25,44	17,44	25,44
Limo	31,28	41,28	27,28

Fuente: Autor.

Con la ayuda del diagrama triangular de clasificación de un suelo del departamento de Agricultura de los EE.UU. (Véase Anexo 6), y la proporción relativa de las partículas, se clasificó el suelo como arcilloso, lo cual por su característica de alta plasticidad, cohesión y adsorción permite una alta retención de cadmio en los poros con un drenaje lento.

4.2.3.2. Determinación de pH.

El pH del suelo se determinó por el método potenciométrico, a partir de una solución suelo-H₂O y suelo-KCl, cuyos resultados se reportan en la Tabla 12. El valor de delta de pH (Δ pH) se halló para la identificación que clase de iones

que puede intercambiar el suelo. Si el ΔpH es negativo es un intercambiador aniónico y si es positivo es un intercambiador catiónico, donde:

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

Tabla 12. Determinación del pH en el suelo.

	Agua	KCl	
Estrato	pH	pH	ΔpH
A	4,92	4,21	-0,71
C	4,75	4,03	-0,72
D	4,63	3,93	-0,7

Fuente: Autor.

Verificando los valores en la tabla 12, se encuentra que el ΔpH del suelo en la finca Los Cedros presenta valores negativos en todos los estratos. Esto indica su capacidad como intercambiador aniónico.

El pH medido en agua oscila entre 4,63 y 4,92, lo cual indica su alta acidez, proporcionando de esta manera una condición de la disponibilidad de cadmio para las plantas.

Hay que tener en cuenta que la literatura reporta la posibilidad de tratamiento de un suelo ácido con la cal, para aumentar el pH y con este tratamiento disminuir la movilización de metales, por medio de la absorción de los poros del suelo.⁴⁹

4.2.3.3. Determinación de la Granulometría

El análisis de la granulometría del suelo permitió determinar la proporción de los granos del suelo en función de su tamaño, es decir, la gradación del suelo.

La determinación 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 ubicados en forma descendiente.

⁴⁹ GONZALEZ., Adela, 2010

En la tabla 13 se muestran los pesos retenidos en cada tamiz. Relacionando el tamaño de las partículas con el porcentaje que representa en el suelo se puede elaborar una gráfica la cual muestra los valores del estrato A y la curva granulométrica generada.

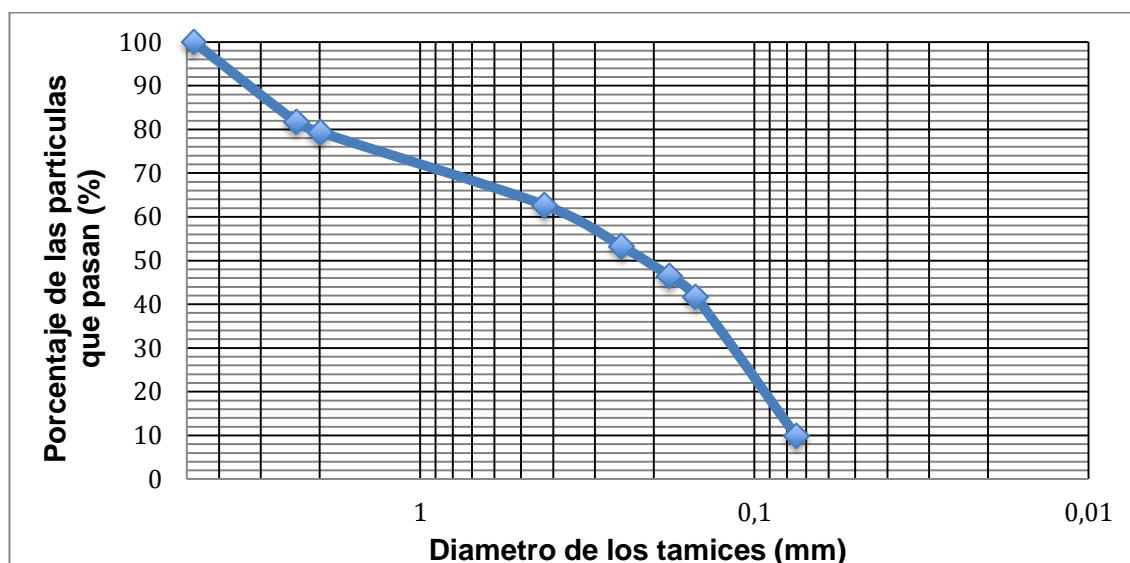
Tabla 13. Peso de la muestra de suelo retenida en el tamiz y porcentajes acumulados del estrato A.

Tamiz		Peso seco total g	Acumulado	
Nº	diámetro		% Retenido	% Pasado
4	4,76	0	0	100
8	2,36	15,7	18,19	81,81
10	2	2,1	20,63	79,37
40	0,425	14,4	37,31	62,69
60	0,25	8,1	46,70	53,30
80	0,18	5,9	53,53	46,47
100	0,15	4,1	58,29	41,71
200	0,075	27,5	90,15	9,85
Fondo		2,5	93,05	6,95

Fuente: Autor.

En la figura 22 se pueden apreciar la curva granulométrica del estrato A.

Figura 22. Curva granulométrica del estrato A.



Fuente: Autor.

La tabla 14 describe los resultados obtenidos del estrato C en la prueba de granulometría.

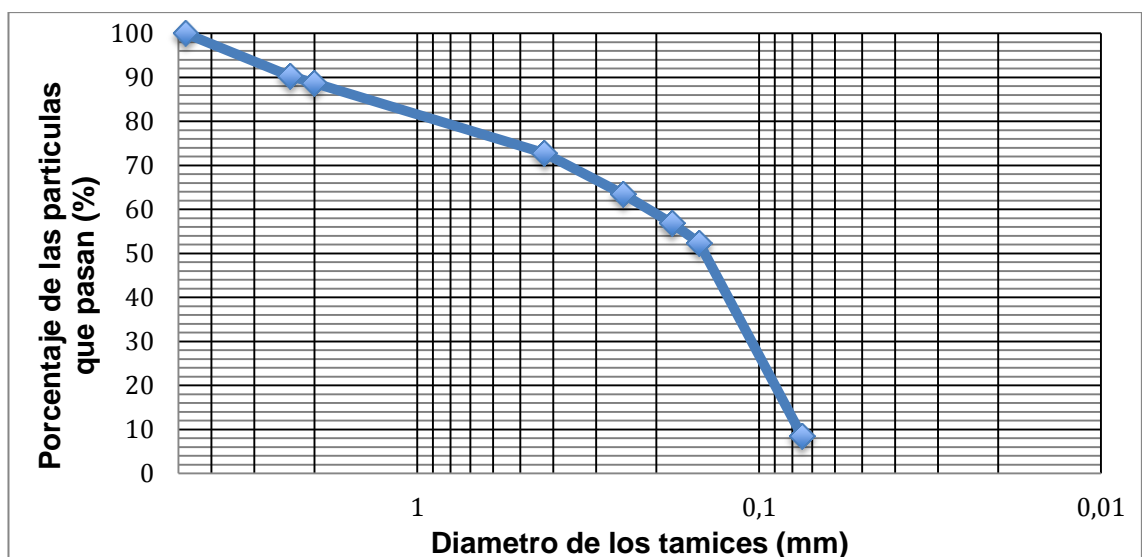
Tabla 14. Peso y porcentaje retenido por cada tamiz en la muestra de suelo del estrato C.

Tamiz		Peso seco total gr	Acumulado	
Nº	diámetro		% Retenido	% Pasado
4	4,76	0	0	100
8	2,36	8,7	9,66	90,34
10	2	1,5	11,32	88,68
40	0,425	14,3	27,19	72,81
60	0,25	8,4	36,51	63,49
80	0,18	6	43,17	56,83
100	0,15	4	47,61	52,39
200	0,075	39,5	91,45	8,55
Fondo		2,3	94,01	5,99

Fuente: Autor.

En la figura 23 se observa la curva granulométrica del estrato C.

Figura 23. Curva granulométrica del estrato C.



Fuente: Autor.

La tabla 15 resume los valores obtenidos del estrato D, realizada la prueba de granulometría.

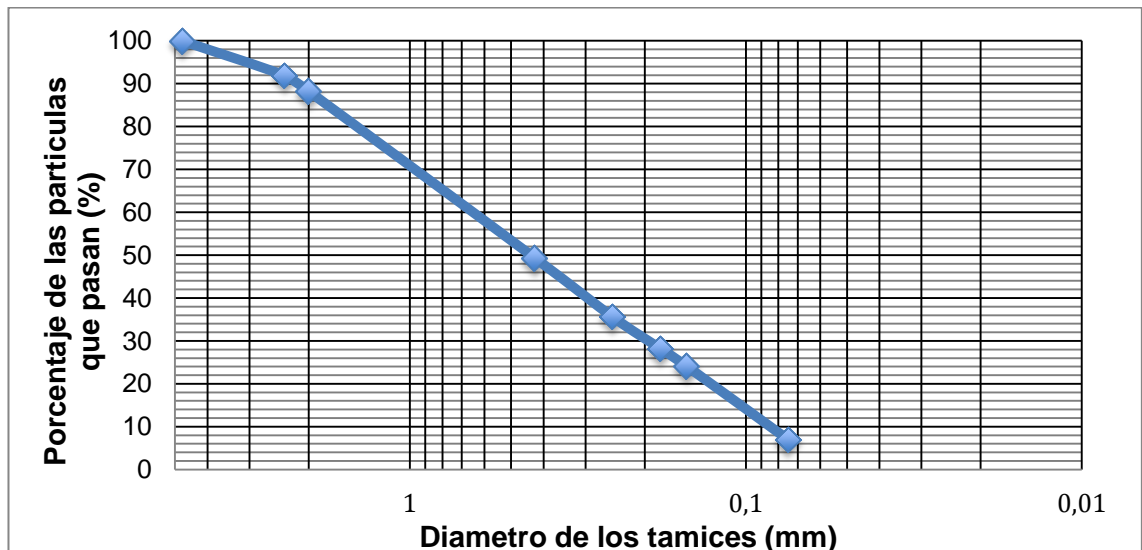
Tabla 15. Peso y porcentaje retenido por cada tamiz en la muestra de suelo del estrato D.

Tamiz		Peso seco total gr	Acumulado	
Nº	diámetro		%Retenido	%Pasado
4	4,76	0	0	100
8	2,36	8,4	8,10	91,90
10	2	3,8	11,76	88,24
40	0,425	40,3	50,63	49,37
60	0,25	14,2	64,32	35,68
80	0,18	7,7	71,75	28,25
100	0,15	4,3	75,89	24,11
200	0,075	17,7	92,96	7,04
Fondo		2,3	95,18	4,82

Fuente: Autor.

En la figura 24 se puede apreciar la curva granulométrica del estrato D.

Figura 24. Curva granulométrica del estrato D.



Fuente: Autor.

Observando las curvas granulométricas de cada estrato, se puede identificar el comportamiento similar que presentan los suelos en diferentes zonas de la finca. La mayoría de las partículas de suelo analizado posee un tamaño con diámetro de 0,1 a 0,01 mm, lo que comprueba su textura de un suelo arcilloso limoso, el cual dentro su fracción arcilla pueden retener fácilmente el elemento cadmio.

La gradación 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 siguientes ecuaciones, presentados en la tabla 16:

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

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

Donde:

D₁₀ = Diámetro de la partícula para el 10%

D₃₀ = Diámetro de la partícula para el 30%

D₆₀ = Diámetro de la partícula para el 60%

Un suelo bien gradado se da cuando:

$$Cu > 4 \text{ a } 6 \quad \text{y} \quad 1 < Cc < 3$$

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.

Tabla 16. Determinación de Cu y Cc para los suelos del cultivo de Cacao.

	Estratos		
	A	C	D
Cu	4,9837	2,6299	9,8955
Cc	0,6167	0,9225	0,4263
D10	0,0758	0,0815	0,0964
D30	0,1329	0,1269	0,1980

D60	0,3777	0,2143	0,9538
------------	--------	--------	--------

Fuente: Autor.

Los valores obtenidos de Cu, los cuales presentan una diferencia entre ellos considerable indican que no es un suelo uniforme, por lo tanto sus tamaños de partículas son diferentes, pero la abundancia de tamaños intermedios entre el máximo y el mínimo, D60 y D10, difieren sustancialmente en el suelo, el cual se calificará de esta manera como graduado.

De igual manera el coeficiente de curvatura resultó menor a 1, lo que confirma la presencia de cantidades diferentes de tamaño de partículas en el suelo analizado.

Resultados anteriores confirman la presencia de las partículas que pueden absorber el cadmio en el suelo.

4.2.3.4. Determinación de la densidad real en los estratos.

La densidad real obtenida para los estratos analizados se midió mediante el principio de Arquímedes. En la tabla 17 se evidencian los valores obtenidos en las pruebas de laboratorio.

Tabla 17. Determinación de la densidad real.

Estrato		A			C			D		
Peso muestra de suelo	gr	20	20	20	20	20	20	20	20	20
Volumen del líquido desplazado	ml	20	23	21	15	18	16	20	23	21
Densidad real de cada muestra	gr/ml	5,725	4,978	5,452	8,787	7,322	8,238	5,71	4,965	5,438
Densidad promedio	gr/ml	5,39			8,12			5,37		

Fuente: Autor.

Comparando la densidad real típica para un suelo mineral, que tiene valores entre 2,6 y 2,75 g/ml, los resultados obtenidos para el suelo analizado son muy elevados. Esto puede indicar alteración generada por alto contenido de cadmio en el suelo.

4.2.3.5. Determinación de la densidad aparente.

La densidad aparente se determinó por el método del cilindro biselado, teniendo en cuenta el peso del suelo seco y el volumen total del cilindro, es decir, se tuvo en cuenta el espacio ocupado por la fase sólida y los poros. La Tabla 18 presenta los resultados obtenidos de la densidad aparente, para los estratos analizados.

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

Tabla 18. Determinación de la densidad aparente.

		Estratos		
	unidades	A	C	D
peso muestra seca	gr	351,1	346,6	328,3
volumen cilindro	cm ³	410,09661	404,628655	410,09661
densidad aparente	gr/cm ³	0,85613973	0,85658788	0,80054307

Fuente: Autor.

La densidad aparente en el suelo analizado correspondiente a 0,85 g/cm³, lo cual está dentro de un rango esperado, teniendo en cuenta las indicaciones de United States Department of Agriculture (USDA), de un valor menor a 1,1 g/cm³ para el suelo arcillo limoso. Esto señala la presencia de buena cantidad de poros disponibles para una adsorción del elemento cadmio.

4.2.3.6. Determinación del contenido de humedad gravimétrica (HG).

El contenido de humedad gravimétrica del suelo, se da como medida de la proporción de agua por unidad de suelo seco, utilizada para conocer la

disponibilidad de agua para las plantas. La tabla 19 evidencia los valores del porcentaje de humedad de las muestras analizadas.

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

Tabla 19. Determinación del contenido de Humedad por el Método Gravimétrico.

		Estratos		
	Unidades	A	C	D
Peso muestra húmeda	gr	10	10	10
Peso muestra seca	gr	8,1	7,6	7,7
%HG	%	23,5	31,6	29,9

Fuente: Autor.

El resultado de la humedad en el suelo, tuvo unos valores de 23,5%, 31,6% y 29,9% para los estratos A, C y D respectivamente, indicando una buena retención de agua en el suelo analizado. Teniendo en cuenta el pH del suelo bajo y un buen nivel de humedad se puede esperar la movilización del elemento cadmio del suelo al agua y de esta manera su disponibilidad para la planta de cacao.

4.2.3.7. Determinación de la capacidad de campo en el suelo.

La capacidad de campo hace referencia al contenido de agua que puede absorber el suelo en un tiempo determinado. En la tabla 20 se evidencia el tiempo en que tarda 1 pulgada de agua en penetrar un cilindro de 6 pulgadas de diámetro.

Tabla 20. Determinación de la capacidad de campo en el suelo de la finca Los Cedros.

Ensayo 1.			
Estratos	A	C	D

tiempo, cm/hora	25,4	27,88	29,03
Ensayo 2.			
Estratos	A	C	D
tiempo, cm/hora	35,44	33,13	31,00

Fuente: Autor.

El tiempo que presenta la capacidad de campo se relaciona con la textura del suelo analizado de tipo arcillosa, teniendo una permeabilidad muy lenta con una velocidad de infiltración muy rápida, como reporta los resultados de infiltración del Manual de Laboratorio de Análisis de Suelos. Esto se relaciona con los resultados obtenidos anteriormente en la tabla 11, donde se visualiza una tendencia del suelo arcilloso a retener el agua. En el campo se evidencia una buena infiltración ya que no se presenta encharcamiento en la zona de cultivo.

4.2.3.8. Determinación de la capacidad de intercambio catiónico, CIC.

A partir del análisis de la CIC se determinó la capacidad del suelo para adsorber cationes e intercambiarlos con la solución del suelo, importante para la nutrición de las plantas. La Tabla 21 muestra los resultados obtenidos para el suelo en estudio.

Tabla 21. Determinación de la Capacidad de Intercambio Catiónico (CIC).

	Estratos		
CIC	A	C	D
meq/100gr	16,2	14,2	21,2

Fuente: Autor.

Según la CIC obtenida, se cataloga como media (14,2 y 16,2 meq/100 gr) y alta (21,2 meq/100 gr), lo cual indica potencial que posee el suelo para absorber la reserva de calcio, magnesio, potasio y sodio y por consiguiente su buena fertilidad. Este factor indica que capacidad posee el suelo para retener cationes intercambiables, los cuales, en su mayoría se relacionan a nutrientes beneficiosos para el cultivo pero este proceso incluye también la retención de

grandes cantidades de iones metálicos lo que da paso a que el suelo realice una captación de los cationes de cadmio presentes, haciéndolos disponibles en este suelo ácido.

Resumen de la caracterización fisicoquímica.

Teniendo en cuenta los resultados obtenidos de la caracterización fisicoquímica del suelo de la finca Los Cedros, la Tabla 22 muestra un resumen general de las pruebas realizadas.

Tabla 22. Resumen de la caracterización de las muestras de suelo.

Parámetro		Estrato A	Estrato C	Estrato D
Textura	% Arena	43,28	41,28	47,28
	% Arcilla	25,44	17,44	25,44
	% Limo	31,28	41,28	27,28
pH	Agua	4,92	4,75	4,63
	KCl	4,21	4,03	3,93
Determinación Granulométrica		Suelo bien gradado		
Densidad Real	g/ml	5,39	8,12	5,37
Densidad Aparente	g/cm ³	0,86	0,86	0,8
Contenido de humedad	%	23,5	31,6	29,9
Capacidad de campo	1. ensayo (cm/hora)	25,4	27,88	29,03
	2. ensayo (cm/hora)	35,44	33,13	31,00
CIC	meq/100 gr	16,2	14,2	21,2

Fuente: Autor.

Al analizar los parámetros fisicoquímicos del suelo de la finca Los Cedros, se evidencia una semejanza en los valores de los tres estratos A, C y D.

Relacionando las propiedades analizadas en el suelo, se comprobó su buena fertilidad para los cultivos de cacao, al igual que la fácil fijación del cadmio en

las porosidades del suelo, por su alta retención de humedad debido a la textura arcillosa y el bajo valor de pH.

4.3. PROPUESTA DE MANEJO SOSTENIBLE DE CULTIVO DE CACAO EN LA FINCA LOS CEDROS.

Un grupo de sustancias contaminantes que podrían estar afectando los suelos agrícolas de algunas localidades en Colombia, como es el caso de El Carmen de Chucurí, son los metales pesados.

Éstos pueden aparecer en el suelo debido a la formación geotectónica, la meteorización y erosión de roca fosfórica a través de los años, la actividad minera, riego con aguas residuales o uso de pesticidas

Adicionalmente, los metales pesados no pueden ser destruidos, no es posible un cambio en la estructura nuclear del elemento, solamente es transformado de un estado de oxidación o complejo orgánico a otro. Como consecuencia de estos cambios, el metal puede: eliminarse por lixiviación, ser volatilizado y aislado a partir del área contaminada, disminuir su toxicidad e incluso volverlo menos soluble en agua y por lo tanto, menos biodisponible. Siendo estas dos últimas opciones las más razonables debido a las condiciones que presenta el terreno de cultivo analizado, como la pendiente y la distancia entre arboles sembrados

A los metales pesados se le atribuyen determinados efectos de contaminación ambiental y toxicidad. Las altas concentraciones de metales pesados en el suelo pueden provocar daños en la capa edáfica y su biota, debido a sus efectos dañinos, ya que afectan las cadenas tróficas; sin embargo se han estudiado algunas plantas que presentan características especiales para soportar condiciones de estrés y tolerancia a metales pesados (Madera et al. 2014) y son utilizadas en procesos de fitorremediación.

Al momento de realizar la identificación de producción de cultivo de cacao en la finca Los Cedros, se observó la utilización de procesos de producción sostenible. Donde se verificó las etapas desde el momento en que se selecciona el terreno hasta que el cacao es secado y empacado para su

comercialización. Se identificaron los diversos aspectos de sostenibilidad de la finca tales como:

- Diversificación de la producción forestal con la siembra de diferentes árboles para generar sombra al momento de cultivar el cacao. Árboles como de mandarina o plantas de plátano, aumentan la productividad vegetal y animal y de igual manera modifican la calidad del suelo variando sus nutrientes.
- Utilización de abonos generados en la misma finca, recurriendo para este fin a los productos del desecho de la corteza de la mazorca del cacao.
- Creación de plaguicidas orgánicos, a partir de los lixiviados de la fermentación de las almendras de cacao. Estos líquidos tienen en su composición microorganismos resistentes a las enfermedades que atacan el cultivo de cacao lo cual de manera sostenible protege la fruta.
- Diversificación de los tipos de cultivo de cacao, con la combinación de diferentes especímenes de semillas e injertos generados en la misma finca. De esta manera se permitiendo la reutilización de insumos.
- Generación de nuevas experiencias de métodos de producción de cacao por medio de programas de ecoturismo. En estos programas se podrían intercambiar experiencias con los visitantes nacionales y extranjeros.
- Generación de empleos en programas especiales para grupos sociales de interés. Para este fin se desarrolló una marca de chocolate “La Campesina” cuyo objetivo de esta marca es reconocer el esfuerzo y la dedicación de la labor de la mujer en esta zona.

Aunque la finca Los Cedros presenta un manejo sostenible en los procesos de producción de cacao, la acumulación de cadmio en el suelo, mazorca fresca y mazorca seca, requiere el uso de una técnica para la disminución de la concentración del cadmio con el fin de cumplir con las normas europeas para su exportación.

Para llevar a cabo las técnicas de descontaminación con el requerimiento de un manejo sostenible en los cultivos de cacao, se consideraron algunos

métodos de descontaminación como: Inmovilización, reduciendo la movilidad y solubilidad de los contaminantes. Movilización, lavando el suelo con agentes quelantes, de igual manera la implementación de métodos como la desorción térmica y calentamiento. Destrucción, por medio de la incineración y desplazamiento de iones por disolución electrolítica, y por último el método de fitorremediación. Dichas técnicas pueden ejecutarse de manera inmediata situ y ex situ.

Existen diversos factores ambientales, de efectividad y de tiempo por los cuales las técnicas de inmovilización, de movilización y destrucción pueden ser aplicadas en la finca Los Cedros. En términos ambientales el terreno de la finca presenta unas condiciones de pendiente favorables para la implementación de métodos de movilización como el de lavado. Un suelo ácido de tipo arcilloso con presencia de roca fosfórica en el área, cual fija en sus partículas metales peligrosos para el cultivo, ideales para técnicas de inmovilización.

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

Evidenciando el método de fitorremediación como el más viable, con una versatilidad para el tratamiento de suelos contaminados con compuestos peligrosos, evitando excavaciones y la utilización de productos químicos que alteren el uso del suelo. La implementación de la fitorremediación en la finca Los Cedros tiene como objetivo, utilizar el mínimo de materiales requeridos y generar insumos que reduzcan la posibilidad de costosas inversiones, conservando un manejo ecológico.

Usualmente el suelo queda fértil después de aplicar este método, lo cual aumenta la sostenibilidad del cultivo y reduce los subproductos generados.

Para realizar esta técnica, se debe ser selectivo con las plantas que se van a utilizar ya que las condiciones climáticas, el tipo de suelo y las elevadas concentraciones de contaminantes influyen en el crecimiento y buen funcionamiento de estas.

Entre las plantas que se podrían aplicar son: *Heliconia psittacorum* y *Chrysopogon zizanioides*. Las cuales se desarrollan bien y no interfieren en el crecimiento de la planta de cacao

La *Heliconia psittacorum*, posee unas condiciones de hábitat para su crecimiento, reproducción y propagación, las cuales están sujetos a ambientes húmedos y lluviosos, pH ácido y suelos arcillosos, como los que presenta la finca Los Cedros. No obstante, estas especies están sometidos a la amenaza por la deforestación, la extracción y comercialización excesiva pero su utilización como planta fitorremediadora es una buena opción. Se ha reportado que plantas de tipo herbáceo como éstas, evitan la erosión del suelo, protegen los cuerpos de agua en los hábitats donde se distribuyen y además sirven como recurso para reforestación. Sin embargo, otra particularidad de algunas especies de este grupo que ha recibido atención en las últimas décadas, es la capacidad de fitorremediación para extracción de sustancias contaminantes metálicos de suelos y aguas (Madera et al. 2014).

Bajo los criterios de crecimiento, reproducción y adaptabilidad es considerada una planta óptima a utilizar en la remoción de metales pesados como el cadmio presente en la finca Los Cedros.

Las heliconias al depender del suelo para su desarrollo, pueden integrar a sus tejidos compuestos necesarios para sintetizar su alimento. No obstante, la capacidad de bioadsorción de estas plantas puede generar beneficio para los suelos que han sido contaminados, producto de la actividad agroindustrial como utilización de pesticidas en los cultivos de cacao o por episodios antropogénicos de impacto como deforestación y quema excesiva de terrenos.

Con el fin de aprovechar los mecanismos fitorremediadores de estas plantas, se deben seleccionar principalmente por su potencial fisiológico, su capacidad

de tolerar y asimilar las sustancias tóxicas presentes en el suelo, cual afectan las tasas de crecimiento de los árboles de cacao, de igual modo se deben seleccionar por la capacidad que tienen sus raíces para penetrar una distancia considerable del suelo y puedan usar de forma más completa sus habilidades de bioacumulación y/o degradación del contaminante (Peña Salamanca et al., 2005; Ospina-Álvarez et al., 2006).

Para iniciar la fitorremediación con la planta *Heliconia psittacorum* en la finca Los Cedros, se debe iniciar por el proceso de siembra por el árbol de plátano para generar sombra, ya que al igual que el cultivo de cacao, la *H. Psittacorum* requiere una protección contra los rayos solares en sus primeros meses de crecimiento. Aproximadamente en el décimo mes de haber sembrado el árbol de plátano, se recomienda sembrar la semilla de la *H. Psittacorum* para que germine primero ésta planta bioacumuladora y pasado seis meses sembrar las plántulas de cacao germinadas en el vivero, para que el crecimiento sea paralelo y la *H. Psittacorum* bioacumule el cadmio presente en el suelo desde el momento en el que el árbol de cacao continúa con su crecimiento. En el caso de los cultivos de cacao por injerto, se recomienda que la *H. Psittacorum* lleve al menos un año de crecimiento con el fin de haber absorbido una concentración del cadmio presente en el suelo antes de que la planta injertada inicie su crecimiento.

La siembra de la *H. Psittacorum* se recomienda realizarla entre los árboles de cacao con una distancia en promedio de 3 - 3.5 metros entre cada uno, mientras que cada *H. Psittacorum* se recomienda sembrarla con una distancia de 5 metros entre ellas, (estas distancias se deben medir desde el centro de cada planta), ya que su diámetro de crecimiento aproximado es de 2,5 metros. Tal sea el caso que no se pueda sembrar las plantas *H. Psittacorum* a la distancia sugerida, se recomiendan sembrarlas en un lugar donde no interfieran en el crecimiento del árbol de cacao. La *H. Psittacorum* al presentar una duración de aproximadamente 7 años y el árbol de cacao una duración de

entre 10 a 15 años, en condiciones óptimas, ambas plantas tendrían un crecimiento paralelo, lo cual facilitará la fitorremediación del suelo.⁵⁰

La otra planta considerada fue la *Chrysopogon zizanioides* o planta vetiver, la cual tiene una alta tolerancia a variaciones climáticas extremas prolongadas las cuales oscilan entre -15°C a 55°C , de igual modo posee la habilidad de rebrotar rápidamente después de haber sido afectada por sequías, heladas, salinidad y otras condiciones que pueda presentar el cultivo.

Su amplio rango de pH (3.3 – 12.5), tolerancia a herbicidas y plaguicidas, metales pesados como As, Cd, Cr, Ni, Pb, Hg, Se y Zn, su retención de cadmio de 45 – 48 mg / Kg de suelo cual se fija en el vástago⁵¹ y la adaptabilidad a medios de crecimiento en acidez, alcalinidad, salinidad y sodicidad en los suelos como el de la finca Los Cedros, cual presenta un pH ácido, Cd en su terreno y algunos pesticidas, la hace una planta con excelentes condiciones para utilizarla en procesos de fitorremediación.

En sus condiciones morfológicas la planta Vetiver posee un sistema de raíces finas y compactas con alta velocidad de crecimiento, en algunas aplicaciones puede alcanzar entre 3 y 4 m de profundidad en el primer año, siendo óptimas para remediar los cultivos de cacao analizados. Este profundo sistema de raíces hace que la planta sea extremadamente tolerante a las sequías y sus tallos firmes y erguidos la hacen más difícil de arrancar por fuertes corrientes que se presentan en el terreno de la finca en cuestión.

Forma una barrera densa cuando es plantado a corta distancia actuando como un filtro muy efectivo de los sedimentos y como un dispersor del agua de escorrentía.⁵²

Aunque el vetiver es muy tolerante a ciertas condiciones extremas de suelo y clima previamente mencionadas, es muy intolerante a la sombra. La sombra reduce su crecimiento y en casos extremos, puede incluso eliminar el vetiver al largo plazo. Por lo tanto el vetiver crece mejor en espacios abiertos y libres de

⁵⁰ ALARCÓN, John y BERNAL, Miguel, 2012.

⁵¹ The Vetiver Network International, 2009

⁵² Alegre, Julio, 2007

malezas, siendo necesario el control de malezas en la etapa de establecimiento. En terrenos erosionables e inestables el vetiver primero reduce la erosión, estabiliza el terreno, luego debido a la conservación de humedad y nutrientes, mejora el microambiente y otras especies espontáneas o cultivadas, pueden establecerse.⁵³

Al momento de sembrar la planta vetiver en la finca Los Cedros, se debe tener un control de la maleza del terreno, ya que puede influir en el no crecimiento de planta y por consiguiente anular su función bioacumuladora, la planta vetiver al tener una prolongada cantidad de raíces, es recomendable sembrarla únicamente en los terrenos altos y así cumplir dos funciones, primero fijar el cadmio evitando su escorrentía y segundo, fijar el suelo para evitar deslizamientos. Al igual que la *H. Psittacorum* se sugiere sembrarla a una distancia prudente de los árboles de cacao para que sus raíces no interfieran en la producción del cacao.

La *Arracacia xanthorrhiza* es una planta herbácea, caulescente. Usualmente alcanza altura de alrededor de 1.0 m y puede variar entre 0.50 y 1.50 metros. Sus hojas son compuestas, de 3 a 7 folíolos y el número de hojas por planta varía de 55 a 95, con pecíolos largos y envainadores. Los pecíolos generalmente son de color verde oscuro, verde glauco, verde limón, púrpura, violáceo o vinoso, con la base más oscura o más clara. Las diferentes formas hortícolas se diferencian por el color del follaje y el color externo e interno de la raíz, de la que se encuentran amarillas, blancas y moradas.⁵⁴

⁵³ The Vetiver Network International, op. cit. p.1-9

⁵⁴ BARRERA Víctor, TAPIA César, MONTEROS. Raíces y Tubérculos Andinos: Alternativas para la conservación y uso sostenible en el Ecuador Alvaro 2003. [en línea] [citado 6 de enero de 2016] Disponible

en:<http://www.iniap.gob.ec/nsite/images/documentos/Ra%C3%ADces%20y%20Tub%C3%A9rculos%20Alternativas%20para%20el%20uso%20sostenible%20en%20Ecuador.pdf>

5. CONCLUSIONES

- Se considera que la fuente de cadmio en la almendra seca de cacao en la finca Los Cedros es el suelo, al cual se transfiere este elemento desde la roca fosfórica, relacionada con la formación geomorfológica de la zona.
- En el procesamiento de cacao se visualiza una reutilización en los insumos utilizados como fabricación de abono orgánico, la producción de materia prima para los cultivos y la creación de plaguicidas para el control de plagas.
- En la finca Los Cedros el tipo de siembra preferencial es por injerto de cacao criollo, trinitario y forastero, siendo los procesos de manejo de cacao el corte de mazorca fresca, seguido por el desgruyado, la fermentación y el secado de la almendra de cacao.
- La concentración de cadmio en cacao seco en los tres estratos A, C y D, corresponde a 1,0317 mgCd/Kg, 1,2247 mgCd/Kg y 1,7298 mgCd/Kg respectivamente. El grano fresco presenta las concentraciones de cadmio en el estrato A 3,8926 mg/Kg, en el C 4,9766 mg/Kg y en el estrato D 4,0291 mg/Kg, superando los niveles de cadmio presente en el cacao seco en los mismos estrados. Esto permite identificar el proceso de fermentación como un proceso determinante para este efecto.
- El suelo en la finca Los Cedros, es de tipo arcilloso, con un pH promedio de 4.76, indicando alta acidez, cual permite la disponibilidad de cadmio presente en la roca fosfórica para las plantas, debido a una buena retención de humedad. Indicando también la fertilidad de los suelos la cual es participe con la porosidad para la acumulación de este metal.

- La concentración de cadmio en el suelo a profundidad de 0 – 20 cm en los estratos A, C y D fue 2,3022 mg/Kg, 2, 3413 mg/Kg y 2, 7416 mg/Kg respectivamente y es relativamente semejantes con las concentraciones de cadmio en el suelo a profundidad 20 – 40 cm (2,1487 mg/Kg, 2,236 mg/Kg y 1,4578 mg/Kg) respectivamente.
- Las condiciones del terreno de la finca Los Cedros favorecen la implementación de diferentes técnicas de descontaminación, cuales pueden ayudar a la reducción de metales como el cadmio.
- Una de las alternativas para un manejo sostenible del cultivo, cual permite reducir la fuente de cadmio en almendra seca de cacao en la finca Los Cedros, es la fitorremediación, utilizando las plantas *Heliconia psittacorum*, y *Chrysopogon zizanioides*, cuales presentan fácil adaptación a la zona.

6. RECOMENDACIONES

Se recomienda analizar la concentración de cadmio por especie de cacao sembrado, sin realizar la muestra compuesta de los estratos, con el fin de conocer la diferencia en la retención de cadmio.

Considerar una comparación entre fitoextracción y la fitoestabilización utilizando de cal para inmovilizar el cadmio en el terreno analizado.

Se recomienda analizar el tallo, las hojas y las raíces de las plantas de cacao, con el fin de calcular la concentración de cadmio que estas recolectan.

Se recomienda realizar un estudio geomorfológico de la zona para confirmar la presencia de la roca fosforica presente en la finca Los Cedros y su aporte respectivo de cadmio a los cultivos de cacao.

Generar estrategias comparativas de remediación como: bioacumulación, biopercolación y procesos bioquímicos.

Se recomienda la optimización de la fermentación de grano fresco, para eliminar la máxima cantidad de cadmio, conservando las propiedades organolépticas de grano de cacao seco.

7. BIBLIOGRAFIA

ACOSTA, María; FIGUEIRA, Leticia y GONZALEZ, Julio. 2009. Cadmio. Efectos en la salud y el ambiente. 2009.

ALCALDÍA DE EL CARMEN DE CHUCURI – SANTANDER. Nuestro Municipio, 2016. [en línea] [citado 11 de enero de 2016] Disponible en: <http://www.elcarmen-santander.gov.co/informacion_general.shtml>

ALARCÓN, John y BERNAL, Miguel. El cultivo de heliconias, medidas para la temporada invernal, ICA, 2012

BAIRD, Colin, Química ambiental, Editorial REVERTÉ, S.A, pg 422. Disponible en:

https://books.google.com.co/books?id=bgUaHUqGPYIC&pg=PA422&lpg=PA422&dq=dosis+letal+media+del+cadmio&source=bl&ots=ic8W2s7JhK&sig=7kAcJY0PjiCdkS-Q2ute7rrlXUw&hl=es&sa=X&ved=0ahUKEwjf-a_D2_zLAhWLJB4KHVG3CQQQ6AEIUDAI#v=onepage&q=dosis%20letal%20media%20del%20cadmio&f=false

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

BARRUETA, Sayet. Guía Metodológica para el muestreo y detección de cadmio en suelos, agua, fertilizantes, almendras de cacao y productos derivados. 2013.

BARRUETA Rivera, Sayet. Guía de métodos de detección y análisis de cadmio en cacao (theobroma cacao L). 2013

BATISTA, Lépidio. 2009. Guía técnica El Cultivo de Cacao, Santo Domingo, República Dominicana.

BENAVIDES, María, GALLEGO, Susana, y TOMARO, María. 2005. Cadmium toxicity in plants. *Brazilian Journal of Plant Physiology* 17:21-34

BONOMELLI, Claudia, Efecto de la fertilización fosforada sobre el contenido de cadmio en cuatro suelos de Chile, *Pesq. agropec. bras., Brasília, v. 38, n. 10, p. 1179-1186, out. 2003, 2003*

BUCHERT, Juan. Asociación Cámara Nacional de Cacao Fino de Costa Rica. 2016. Disponible en: <<http://www.canacacao.org/cultivo/preparacion/>>

CANTERA, Víctor. Selección de la mejor alternativa para la industrialización de la roca fosfórica en el departamento del Huila, gobernación del Huila, secretaria de agricultura y minería, 2008.

El Cultivo Del Cacao. Disponible en:
<<http://www.infoagro.com/herbaceos/industriales/cacao.htm>>

ELIKA, Fundación vasca para la seguridad agroalimentaria, 2014.

ESQUEMA DE ORDENAMIENTO TERRITORIAL, municipio El Carmen de Chucurí. 2008

GALÁN, Emilio y ROMERO, Antonio. Contaminación de suelos por metales pesados, Departamento de cristalografía, mineralogía y química agrícola. Universidad de Sevilla. 2008

GIL HERNANDEZ, Ángel. Composición y calidad nutritiva de los alimentos, p. 338 – 364. 2010.

GONZALEZ, Adela, Determinación y validación de cadmio total e intercambiable en algunos suelo cacaoteros del departamento de Santander, 2010

HIGEURAS, Pablo y OYARZON, Robert. Mineralogía y geoquímica ambiental. 2015. Disponible en:
<http://www.uclm.es/users/higueras/MGA/Tema08/Minerales_salud_4_4.htm>

JIMENEZ, Tobón, Claudia, Estella, Estado legal mundial del cadmio en cacao (theobroma cacao), 2015.

MADERA, Carlos, PEÑA-Salamanca, Enrique y SOLARTE, Juliana, Efecto de la concentración de metales pesados en la respuesta fisiológica y capacidad de acumulación de metales de tres especies vegetales tropicales empleadas en la fitorremediación de lixiviados provenientes de rellenos sanitarios, 2014.

MAIER, Camelia. «Botanical [en línea] [citado 25 de enero de 2016].

<http://www.botanical-online.com/cacao.htm>

MAYZ, Juliana, Fijación Biológica Del Nitrógeno, *Revista UDO Agrícola 4 (1): 1-20*. 2004 2004.

MITE, Francisco; CARRILLO, Manuel y DURANGO, Wuellins. Avances del monitoreo de presencia de cadmio en almendras secas de cacao, suelos y aguas en Ecuador. 2010.

MOJICA, Almicar y PIMIETO, Joaquín. Ensayos sobre economía regional. 2006. Disponible en:
<http://www.banrep.gov.co/sites/default/files/publicaciones/archivos/2006_noviembre.pdf>

MORALES, Vanessa y SALASAR, Gustavo, Fermentación del cacao como valor agregado a su sabor para la obtención de un chocolate fino ecuatoriano y su estímulo a las exportaciones no tradicionales del Ecuador, pg. 20, 2015

PERDOMO, María, Caracterización de la cadena de abastecimiento y la cadena de valor en Colombia. 2012.

PEÑA-Salamanca Enrique J, MADERA-Parra Carlos A, SANCHEZ, Jesús M, MEDINA-Vásquez Javier, Bioprospección de plantas nativas para su uso en procesos de biorremediación: caso Heliconia Psittacorum (heliconiaceae), 2013.

Reglamento (CE) No. 1881/2006, Unión Europea (UE), 19 de diciembre de 2006.

REGOLI, Lidia. Comisión Económica de las Naciones Unidas para Europa-Contaminación Transfronteriza del Aire de Larga Distancia por metales pesados. International Cadmium Association. 2005. Disponible en:
<http://www.chem.unep.ch/pb_and_cd/sr/files/submission%20ngo/icda/l.%20regoli-cd%20contribution%20to%20human%20health-berlin%202005.pdf>

RIVERA, S. V, Guía metodológica para el muestreo y detección de cadmio en suelos, agua, fertilizantes, almendras de cacao y productos derivados. Lima, 2013.

RODRIGUEZ Serrano, MARTINEZ-de la Casa, ROMERO Puertas, L.A. del Río, Sandalio, Revista Científica y Técnica de Ecología y Medio Ambiente Ecosistemas, Toxicidad del Cadmio en plantas, 2008.

ROJAS, Fernando; SACRISTAN Edwin, Guía Ambiental para el cultivo del cacao, Ministerio de agricultura y desarrollo rural, 2013.

SANCHEZ, Nereida; SUBERO, Neudis y RIVERO, Carmen. Determinación de la adsorción de cadmio mediante isotermas de adsorción en suelos agrícolas venezolanos. 2011.

SANDOVAL, Isabel; MENDOZA, Isidro; NAVARRO, Melba y NAVARRO Prado Aprendiendo a injertar cacao, 2007

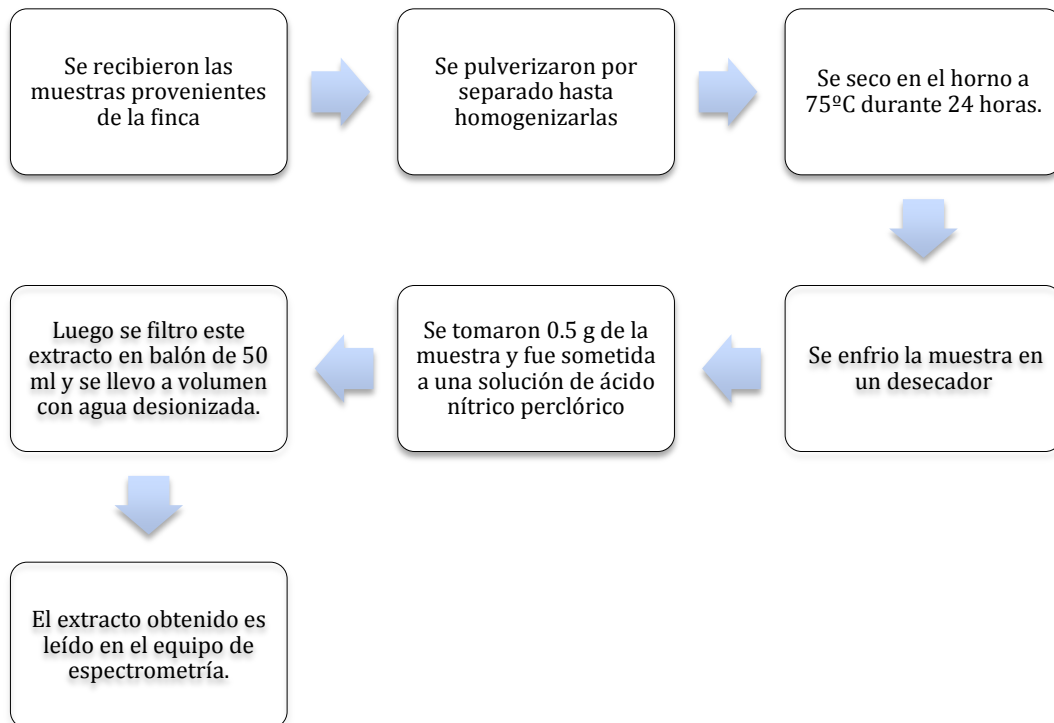
Truong Paul, Aplicaciones del sistema vetiver manual técnico de referencia, The vetiver network international, 2009.

TORRES, Gutiérrez, Luis Andrés, Manual de producción de cacao fino de aroma a través de manejo ecológico, 2012.

VILLANUEVA, Liliana. Evaluación del impacto de los fertilizantes fosfatados en la acumulación de cadmio en suelos cultivados con maíz (*Zea mays*).

8. ANEXOS

Anexo 1. Preparación de la muestra de cacao seco para análisis.



Fuente: Autor.

Anexo 2. Resultados de los análisis de cadmio en la almendra seca,

Estrato A.

 Universidad Pontificia Bolivariana SECCIONAL BUCARAMANGA	FORMATO REPORTE DE RESULTADOS DE ENSAYO LABORATORIO DE ESTUDIOS AMBIENTALES Código: 11-FQ-070 Versión: 03
--	--

Reporte No: 81-015

1. DESCRIPCIÓN DE LA MUESTRA	
Cliente:	Proyecto de Investigación BIT-005-0815-IM
Dirección:	Universidad Pontificia Bolivariana – Seccional Bucaramanga Oficina K-406
Código:	B1
Tipo de muestra:	Cacao
Lugar de Muestreo:	CAPSCI
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	1,0317	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.

Fuente: Laboratorio de Estudios Ambientales, UPB.

Estrato C.

 Universidad Pontificia Bolivariana SECCIONAL BUCARAMANGA	FORMATO REPORTE DE RESULTADOS DE ENSAYO LABORATORIO DE ESTUDIOS AMBIENTALES Código: S-FO-070 Versión: 03
--	---

Reporte No: 82-015

1. DESCRIPCIÓN DE LA MUESTRA	
Cliente:	Proyecto de investigación BIT-005-0815-IM
Dirección:	Universidad Pontificia Bolivariana – Seccional Bucaramanga Oficina K-406
Código:	82
Tipo de muestra:	Cacao
Lugar de Muestreo:	CCPSCI
Fecha de Muestreo:	N/A
Fecha de Recepción:	2015-10-23
Fecha de Reporte:	2015-11-10

2. REPORTE DE RESULTADOS

VARIABLE	UNDADES	RESULTADO	FECHA DE ANALISIS	METODO
Cadmio*	mg Cd/Kg	1.2247	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"

Fuente: Laboratorio de Estudios Ambientales, UPB.

Estrato D.

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

Reporte No: 83-015

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
Lugar de Muestreo:	CDPSCI
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	1.7298	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: Qoo, Diego Leonardo Blanco Arenas

Coordinador Laboratorio de Estudios Ambientales



Los resultados reportados corresponden únicamente a las muestras analizadas

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

Fuente: Laboratorio de Estudios Ambientales, UPB.

Anexo 3. Resultado de los análisis de cadmio en la almendra fresca de cacao.

Estrato A.

 Universidad Pontificia Bolivariana SECCIONAL BUCARAMANGA	FORMATO REPORTE DE RESULTADOS DE ENSAYO LABORATORIO DE ESTUDIOS AMBIENTALES Código: II-FQ-070 Versión: 03
--	--

Reporte No: 51-016

1. DESCRIPCIÓN DE LA MUESTRA	
Cliente:	Proyecto de investigación BIT-005-0815-IM
Dirección:	Universidad Pontificia Bolivariana – Seccional Bucaramanga Oficina K-406
Código:	51- ESTRATO A
Tipo de muestra:	CACAO
Lugar de Muestreo:	FINCA LOS CEDROS
Fecha de Muestreo:	N/A
Fecha de Recepción:	2016-02-18
Fecha de Reporte:	2016-03-03

2. REPORTE DE RESULTADOS

VARIABLE	UNIDADES	RESULTADO	FECHA DE ANALISIS	METODO
Cadmio*	mg Cd/Kg	3,8926	2016-03-03	S.M. 3111-B – AOAC 999.10

*Parámetro no acreditado

3. OBSERVACIONES

El muestreo fue realizado por el Cliente.

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

Revisó y Aprobó:

Firma:



Nombre: 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.

Fuente: Laboratorio de Estudios Ambientales, UPB.

Estrato C.

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

Reporte No: 52-016

1. DESCRIPCIÓN DE LA MUESTRA	
Cliente:	Proyecto de investigación BIT-005-0815-IM
Dirección:	Universidad Pontificia Bolivariana – Seccional Bucaramanga Oficina K-406
Código:	52- ESTRATO C
Tipo de muestra:	CACAO
Lugar de Muestreo:	FINCA LOS CEDROS
Fecha de Muestreo:	N/A
Fecha de Recepción:	2016-02-18
Fecha de Reporte:	2016-03-03

2. REPORTE DE RESULTADOS

VARIABLE	UNIDADES	RESULTADO	FECHA DE ANALISIS	METODO
Cadmio*	mg Cd/Kg	4,9766	2016-03-03	S.M. 3111-B – AOAC 999.10

*Parámetro no acreditado

3. OBSERVACIONES

El muestreo fue realizado por el Cliente.

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

Revisó y Aprobó:

Firma:



Nombre: Cco. Diego Leonardo Blanco Arenas

Coordinador Laboratorio de Estudios Ambientales



Los resultados reportados corresponden únicamente a las muestras analizadas

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

Fuente: Laboratorio de Estudios Ambientales, UPB.

Estrato D.

 Universidad Pontificia Bolivariana SECCIONAL BUCCARAMANGA	FORMATO REPORTE DE RESULTADOS DE ENSAYO LABORATORIO DE ESTUDIOS AMBIENTALES Código: II-FO-070 Versión: 03
---	--

Reporte No: 53-016

1. DESCRIPCIÓN DE LA MUESTRA	
Cliente:	Proyecto de investigación BIT-005-0815-IM
Dirección:	Universidad Pontificia Bolivariana – Seccional Bucaramanga Oficina K-406
Código:	53- ESTRATO D
Tipo de muestra:	CACAO
Lugar de Muestreo:	FINCA LOS CEDROS
Fecha de Muestreo:	N/A
Fecha de Recepción:	2016-02-18
Fecha de Reporte:	2016-03-03

2. REPORTE DE RESULTADOS

VARIABLE	UNIDADES	RESULTADO	FECHA DE ANALISIS	METODO
Cadmio*	mg Cd/Kg	4,0291	2016-03-03	S.M. 3111-B – AOAC 999.10

*Parámetro no acreditado

3. OBSERVACIONES

El muestreo fue realizado por el Cliente.

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

Revisó y Aprobó:

Firma: 

Nombre: Cco. Diego Leonardo Blanco Arenas

Coordinador Laboratorio de Estudios Ambientales



Los resultados reportados corresponden únicamente a las muestras analizadas

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

1 de 1

Fuente: Laboratorio de Estudios Ambientales, UPB.

Anexo 4. Resultados de los análisis de cadmio en el suelo a profundidades de 0 – 20 cm y de 20 – 40 cm de los tres estratos.

Estrato A, profundidad de 0 – 20 cm.

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

Reporte No: 39-016

1. DESCRIPCIÓN DE LA MUESTRA	
Cliente:	Proyecto de investigación BIT-005-0815-IM
Dirección:	Universidad Pontificia Bolivariana – Seccional Bucaramanga Oficina K-406
Código:	39- ZONA CA 0 – 20 - Cm
Tipo de muestra:	SUELO
Lugar de Muestreo:	FINCA LOS CEDROS
Fecha de Muestreo:	N/A
Fecha de Recepción:	2016-02-18
Fecha de Reporte:	2016-03-03

2. REPORTE DE RESULTADOS

VARIABLE	UNIDADES	RESULTADO	FECHA DE ANALISIS	METODO
Cadmio*	mg Cd/Kg	2,3022	2016-03-03	S.M. 3111-B – EPA 3051A

*Parámetro no acreditado

3. OBSERVACIONES

El muestreo fue realizado por el Cliente.

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

Revisó y Aprobó:

Firma:



Nombre: 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"

Fuente: Laboratorio de Estudios Ambientales, UPB.

Estrato A, profundidad de 20 – 40 cm

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

Reporte No: 40-016

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

2. REPORTE DE RESULTADOS

VARIABLE	UNIDADES	RESULTADO	FECHA DE ANALISIS	METODO
Cadmio*	mg Cd/Kg	2,1487	2016-03-03	S.M. 3111-B – EPA 3051A

*Parámetro no acreditado

3. OBSERVACIONES

El muestreo fue realizado por el Cliente.

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

Revisó y Aprobó:

Firma:



Nombre: 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"

Fuente: Laboratorio de Estudios Ambientales, UPB.

Estrato C, profundidad de 0 – 20 cm.

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

Reporte No: 41-016

1. DESCRIPCIÓN DE LA MUESTRA	
Cliente:	Proyecto de investigación BIT-005-0815-IM
Dirección:	Universidad Pontificia Bolivariana – Seccional Bucaramanga Oficina K-406
Código:	41- ZONA CC 0 – 20 - Cm
Tipo de muestra:	SUELO
Lugar de Muestreo:	FINCA LOS CEDROS
Fecha de Muestreo:	N/A
Fecha de Recepción:	2016-02-18
Fecha de Reporte:	2016-03-03

2. REPORTE DE RESULTADOS

VARIABLE	UNIDADES	RESULTADO	FECHA DE ANALISIS	METODO
Cadmio*	mg Cd/Kg	2,3413	2016-03-03	S.M. 3111-B – EPA 3051A

*Parámetro no acreditado

3. OBSERVACIONES

El muestreo fue realizado por el Cliente.

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

Revisó y Aprobó:

Firma:



Nombre: 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".

Fuente: Laboratorio de Estudios Ambientales, UPB.

Estrato C, profundidad de 20 – 40 cm.

 Universidad Pontificia Bolivariana <small>BOGOTÁ - COLOMBIA</small>	FORMATO REPORTE DE RESULTADOS DE ENSAYO LABORATORIO DE ESTUDIOS AMBIENTALES Código: II-FO-070 Versión: 03
	Reporte No: 42-016

1. DESCRIPCIÓN DE LA MUESTRA	
Cliente:	Proyecto de investigación BIT-005-0815-IM
Dirección:	Universidad Pontificia Bolivariana – Seccional Bucaramanga Oficina K-406
Código:	42- ZONA CC 20 - 40 - Cm
Tipo de muestra:	SUELO
Lugar de Muestreo:	FINCA LOS CEDROS
Fecha de Muestreo:	N/A
Fecha de Recepción:	2016-02-18
Fecha de Reporte:	2016-03-03

2. REPORTE DE RESULTADOS

VARIABLE	UNIDADES	RESULTADO	FECHA DE ANALISIS	METODO
Cadmio*	mg Cd/Kg	2.2360	2016-03-03	S.M. 3111-B – EPA 3051A

*Parámetro no acreditado

3. OBSERVACIONES

El muestreo fue realizado por el Cliente.

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

Revisó y Aprobó:

Firma: 

Nombre: 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

Fuente: Laboratorio de Estudios Ambientales, UPB.

Estrato D, profundidad de 0 – 20 cm.

	FORMATO REPORTE DE RESULTADOS DE ENSAYO LABORATORIO DE ESTUDIOS AMBIENTALES Código: II-FO-070 Versión: 03
	Reporte No: 43-016

1. DESCRIPCIÓN DE LA MUESTRA	
Cliente:	Proyecto de Investigación BIT-005-0815-IM
Dirección:	Universidad Pontificia Bolivariana – Seccional Bucaramanga Oficina K-406
Código:	43- ZONA CD 0 – 20 - Cm
Tipo de muestra:	SUELO
Lugar de Muestreo:	FINCA LOS CEDROS
Fecha de Muestreo:	N/A
Fecha de Recepción:	2016-02-18
Fecha de Reporte:	2016-03-03

2. REPORTE DE RESULTADOS

VARIABLE	UNIDADES	RESULTADO	FECHA DE ANALISIS	METODO
Cadmio*	mg Cd/Kg	2,7416	2016-03-03	S.M. 3111-B – EPA 3051A

*Parámetro no acreditado

3. OBSERVACIONES

El muestreo fue realizado por el Cliente.

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

Revisó y Aprobó:

Firma:



Nombre: Cco. Diego Leonardo Bianco 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.

Fuente: Laboratorio de Estudios Ambientales, UPB.

Estrato D, profundidad de 20 – 40 cm.

 <p>Universidad Pontificia Bolivariana SECCIONAL BUCARAMANGA</p>	<p>FORMATO REPORTE DE RESULTADOS DE ENSAYO LABORATORIO DE ESTUDIOS AMBIENTALES Código: 0-FO-070 Versión: 03</p>
--	--

Reporte No: 44-016

1. DESCRIPCIÓN DE LA MUESTRA	
Cliente:	Proyecto de investigación BIT-005-0815-IM
Dirección:	Universidad Pontificia Bolivariana – Seccional Bucaramanga Oficina K-406
Código:	44- ZONA CD 20 – 40 - Cm
Tipo de muestra:	SUELO
Lugar de Muestreo:	FINCA LOS CEDROS
Fecha de Muestreo:	N/A
Fecha de Recepción:	2016-02-18
Fecha de Reporte:	2016-03-03

2. REPORTE DE RESULTADOS

VARIABLE	UNIDADES	RESULTADO	FECHA DE ANALISIS	METODO
Cadmio*	mg Cd/Kg	1,4578	2016-03-03	S.M. 3111-B – EPA 3051A

*Parámetro no acreditado

3. OBSERVACIONES

El muestreo fue realizado por el Cliente.

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

Revisó y Aprobó:

Firma:



Nombre: Gco. Diego Leonardo Bianco 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".

Fuente: Laboratorio de Estudios Ambientales, UPB.

Anexo 5. Reporte de anotaciones.



REPORTE DE ANOTACIONES

Fecha 16-09-2014
 Hora 17:06:49
 Página 2 de 4
 Total Anotaciones 7

GRUPO DE CATASTRO Y
 REGISTRO MINERO

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

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

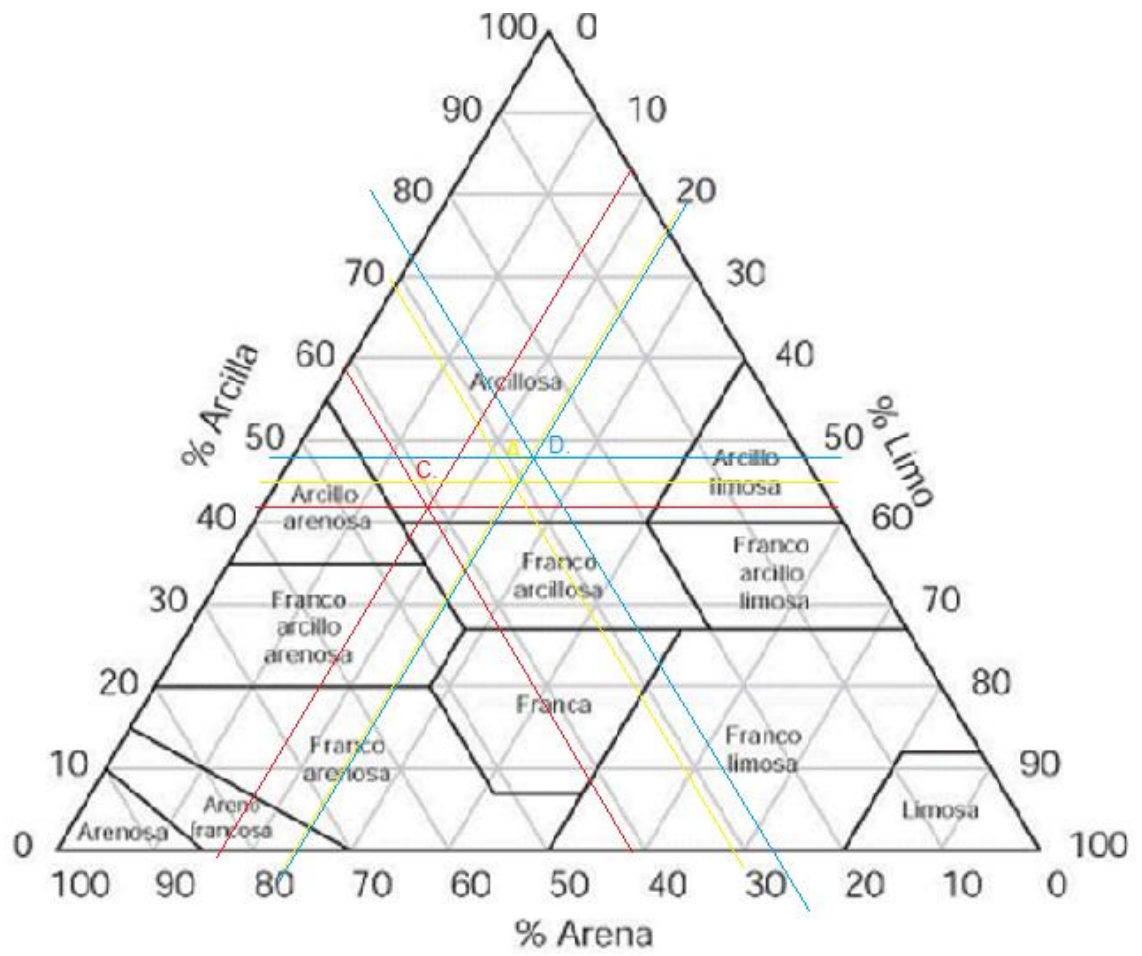
Código Expediente: FIR-154B		Código RMN: FIR-154B		Estado Jurídico: TITULO VIGENTE	
Modalidad	Titulares	Grupo de Trabajo	Departamento	Municipio	Mineral
CONTRATO DE CONCESION (L 685)	RIO TINTO MINING AND EXPLORATION COLOMBIA	REGIONAL BUCARAMANGA	SANTANDER	EL CARMEN DE CHUCURI	ROCA FOSFORICA CARBON DEMÁS_CONCESIBLES

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

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

Fuente: Agencia nacional de minería.

Anexo 6. Clasificación del suelo analizado.



Fuente: Autor.