

Determinación de los niveles de cadmio en suelos de plantaciones de cacao (*Theobroma cacao* L.) ubicadas en la vereda La Esmeralda en el municipio de San Vicente de Chucuri,
Santander

Luis Antonio Flórez Peláez y Jessica Zarith Gómez Sanabria

Marzo 2019

Universidad de Pamplona
Departamento de Agronomía

Determinación de los niveles de cadmio en suelos de plantaciones de cacao (*Theobroma cacao* L) ubicadas en la vereda La Esmeralda en el municipio de San Vicente de Chucuri,
Santander

Luis Antonio Flórez Peláez

Jessica Zarith Gómez Sanabria

Trabajo de grado desarrollado como requisito para optar el título de:

Ingeniero Agrónomo

Tutor:

Ana Francisca González Pedraza

Ingeniera Agrónoma – Doctora en Ciencias Mención Ecología

Universidad de Pamplona

Departamento de Agronomía

Programa de Ingeniería Agronómica

2019

Pamplona, 23 de marzo de 2019

Señores

COMITÉ DE TRABAJO DE GRADO

Departamento de Agronomía

Facultad de Ciencias Agrarias

Universidad de Pamplona

Cordial saludo:

Yo, **Ana Francisca González Pedraza**, Doctora en Ciencias mención Ecología vinculada como docente **Tiempo Completo Ocasional** en el programa de Ingeniería Agronómica, Facultad de Ciencias Agrarias de la Universidad de Pamplona, doy visto bueno y autorizo la sustentación y entrega del documento de trabajo de grado realizado por los estudiantes **Luis Antonio Florez Pelaez** identificado con C.C: **1094278728 Pamplona – Norte de Santander** y **Jessica Zarith Gómez Sanabria** identificada con C.C: **1102724887** bajo el nombre “**Determinación de los niveles de cadmio en suelos de plantaciones de cacao (*Theobroma cacao* L.) ubicadas en la vereda La Esmeralda en el municipio de San Vicente de Chucuri, Santander**”, presentado como requisito para optar el título de **INGENIERO AGRÓNOMO** de la universidad de pamplona.

Agradezco la atención prestada



Atentamente

Dra. Ana Francisca González Pedraza

Docente Tiempo Completo Ocasional

Facultad de Ciencias Agrarias

Dedicatorias

A mis padres, Carmen Rosana Sanabria y Javier Gómez Beltrán, por haberme forjado como la persona que soy hoy en día, por haberme brindado su apoyo incondicional a lo largo de mi carrera, por sus consejos que me orientan a tomar las mejores decisiones, por enseñarme a luchar por lo que quiero y a salir adelante a pesar de las adversidades que la vida nos presente.

A mi hermana por ser mi mejor amiga y principal inspiración para lograr todo en la vida y por el gran amor que nos tenemos.

A Dios por brindarme salud durante todo este tiempo y poder cumplir las metas propuestas. A mi madre Rosalba Peláez por su incansable esfuerzo realizado todos estos años y por ser mi motivo de inspiración para la culminación de mis estudios. A mi padre Teodosio Flórez por enseñarme a luchar por mis metas y hacerme creer como persona.

Agradecimientos

A Dios, Por guiarnos y acompañarnos día a día en cada etapa de este proceso, por ser nuestra fortaleza en los momentos de debilidad y habernos dado el don de la vida.

A la Doctora Ana Francisca González Pedraza, quien se ha tomado el difícil trabajo de acompañarnos y ayudarnos en este proceso. Gracias por todo su apoyo brindado a lo largo de la investigación, por su tiempo, amistad y dedicación, por haber aceptado ser nuestra directora de trabajo de grado y por su compromiso. Para usted nuestro más grande respeto y admiración, le deseamos lo mejor hoy y siempre.

A mi pareja por estar siempre a mi lado por apoyarme en cada momento difícil durante la carrera y por siempre tener una sonrisa y una palabra de aliento en los tiempos más complicados de mi vida, a él y a su familia infinitas gracias por todo lo que me han brindado en todo este tiempo

Resumen

El presente trabajo tuvo como objetivo determinar los niveles de cadmio en suelos de nueve fincas de la vereda la Esmeralda en San Vicente de Chucuri, Santander. Se tomaron muestras de suelos a dos profundidades 0-20 cm y 20-40 cm, y se les determinó algunas características físicas y químicas como textura por el método del hidrómetro, pH y conductividad eléctrica por el método potenciométrico en una relación agua y suelo 2:1, materia orgánica mediante pérdidas por ignición, fósforo disponible por Bray II y cadmio total por el método de digestión con ácido nítrico concentrado. Se realizó estadística descriptiva a los datos, se aplicó un análisis de la varianza de una vía (ANOVA), cuando éste resultó significativo ($p < 0,05$) se empleó una prueba de Tukey para la comparación de medias. Para relacionar variables se desarrolló y un análisis de correlación lineal de Pearson. El pH de los suelos resultó ser fuertemente ácido, la conductividad eléctrica baja, el porcentaje de materia orgánica alta, la concentración de fósforo y cadmio baja. Debido a que la concentración de cadmio en los suelos está por debajo de los límites máximos establecidos en la normativa internacional, se concluye que la vereda La Esmeralda del municipio San Vicente de Chucuri es apta para la producción comercial de cacao con fines de exportación.

Abstract

The objective of this work was to determine the cadmium levels in soils of nine farms in the la Esmeralda path in San Vicente de Chucuri, Santander. Soil samples were taken at two depths 0-20 cm and 20-40 cm, and they were determined some physical and chemical characteristics such as texture by the hydrometer method, pH and electrical conductivity by the potentiometric method in a water and soil 2:1, organic matter by ignition losses, available phosphorus by Bray II and total cadmium by the digestion method with concentrated nitric acid. Descriptive statistics were performed on the data, a one-way variance analysis (ANOVA) was applied, when this was significant ($p < 0.05$), a Tukey test was used to compare means. To relate variables, a Pearson linear correlation analysis was developed. The pH of the soils turned out to be strongly acidic, the electrical conductivity was low, the percentage of organic matter was high, the concentration of phosphorus and cadmium was low. Because the concentration of cadmium in soils is below the maximum limits established in international regulations, it is concluded that the village of La Esmeralda in the municipality of San Vicente de Chucuri is suitable for the commercial production of cocoa for export purposes.

Tabla de contenido

Resumen	vi
Lista de tablas	xi
Lista de Figuras	xii
1. Introducción	1
2. Problema.....	5
2.1 Planteamiento del problema	5
2.2 Justificación.....	7
3. Objetivos	9
3.1 Objetivo General	9
3.2 Objetivos Específicos.....	9
4. Marco de Referencia	10
4.1 Antecedentes	10
4.2 Marco Contextual.....	15
4.3 Marco teórico	15
4.3.1 Cacao (<i>Theobroma cacao</i> L.).....	15
4.3.2 Cadmio	23
4.3.3 Fuentes de contaminación de cadmio	24
4.3.4. Salidas de cadmio del suelo	25
4.3.5 Contaminación de cacao con cadmio	25

4.3.6 Efectos en la salud por ingestión de cadmio	26
4.4 Marco legal.....	28
5. Metodología	31
5.1 Área de estudio.....	31
5.2 Recolección de muestras	31
5.3 Georeferenciación	33
5.4 Análisis de laboratorio	34
5.4.1. Análisis de pH y conductividad eléctrica.....	34
5.4.2. Análisis de textura.....	34
5.4.3. Materia orgánica.....	34
5.4.4. Análisis de fósforo disponible.....	35
5.4.5. Análisis de cadmio en los suelos.....	35
6. Resultados y Análisis	37
6.1. Descripción de las características químicas y físicas de los suelos	37
6.1.1. pH de los suelos.	38
6.1.2. Conductividad eléctrica de los suelos.	40
6.1.3. Materia orgánica del suelo	42
6.1.4 Fósforo disponible en el suelo.....	43
6.1.5 Textura	45
6.1.6. Concentración de cadmio en los suelos	46

6.1.7 Relación del cadmio con las variables físicas y químicas evaluadas	48
6.1.8 Manejo agronómico de las unidades de producción	51
7. Conclusiones	53
8. Recomendaciones.....	54
Bibliografía	55
Anexos.....	60

Lista de tablas

Tabla 1. Taxonomía del cacao	16
Tabla 2. Composición química del cacao	17
Tabla 3. Consumo de chocolate en varios países	22
Tabla 4. Tabla consumo de chocolate en América Latina	23
Tabla 5. Propuestas de niveles máximos para el cadmio en el chocolate y productos derivados del cacao de Colombia.	30
Tabla 6. Datos de la georeferenciación de las fincas muestreadas.....	33
Tabla 7. Análisis de la varianza para las variables pH, conductividad eléctrica, materia orgánica, fósforo disponible, porcentaje de arcilla, limo y arena en los suelos de las diferentes fincas cultivadas con cacao.	38
Tabla 8. Análisis de correlación lineal de Pearson para las variables de suelo evaluadas en fincas productoras de cacao.	49

Lista de Figuras

Figura 1. Regiones productoras de cacao en Colombia.	20
Figura 2. Distribución de toma de muestras.	32
Figura 3. Diagrama de toma de muestras de suelos en la proyección de la copa del árbol de cacao.....	32
Figura 4. Valores de pH a la profundidad 0-20 cm en suelos de diferentes fincas cultivadas con cacao en la vereda La Esmeralda, San Vicente de Chucuri.	39
Figura 5. Valores de pH a la profundidad 20-40 cm en suelos de diferentes fincas cultivadas con cacao en la vereda La Esmeralda, San Vicente de Chucuri. Fuente: Elaboración propia	39
Figura 6. Conductividad eléctrica a la profundidad de 0-20 cm en suelos de diferentes fincas cultivadas con cacao en la vereda La Esmeralda, San Vicente de Chucuri. Fuente: Elaboración propia	41
Figura 7. Conductividad eléctrica a la profundidad de 20-40 cm en suelos de diferentes fincas cultivadas con cacao en la vereda La Esmeralda, San Vicente de Chucuri. Fuente: Elaboración propia	41
Figura 8. Porcentaje de materia orgánica a la profundidad de 0-20 cm en suelos de diferentes fincas cultivadas con cacao en la vereda La Esmeralda, San Vicente de Chucurí. Fuente: Elaboración propia	42
Figura 9. Porcentaje de materia orgánica a la profundidad de 20-40 cm en suelos de diferentes fincas cultivadas con cacao en la vereda La Esmeralda, San Vicente de Chucuri. Fuente: Elaboración propia	42

Figura 10. Contenido de fósforo a la profundidad de 0-20 cm en suelos de diferentes fincas cultivadas con cacao en la vereda La Esmeralda, San Vicente de Chucuri. Fuente: Elaboración propia	43
Figura 11. Porcentaje de fósforo a la profundidad de 20-40 cm en suelos de diferentes fincas cultivadas con cacao en la vereda La Esmeralda, San Vicente de Chucuri. Fuente: Elaboración propia	44
Figura 12. Porcentaje de arena, limo y arcilla a la profundidad de 0-20 cm en suelos de diferentes fincas cultivadas con cacao en la vereda La Esmeralda, San Vicente de Chucuri. Fuente: Elaboración propia.	45
Figura 13. Porcentaje de arena, limo y arcilla a la profundidad de 20-40 cm en suelos de diferentes fincas cultivadas con cacao en la vereda La Esmeralda, San Vicente de Chucuri. Fuente: Elaboración propia.	46
Figura 14. Concentración de cadmio a las profundidades de 0-20 y 20-40 cm en suelos de diferentes fincas cultivadas con cacao en la vereda La Esmeralda, San Vicente de Chucuri. Fuente: Elaboración propia	47

1. Introducción

Las consecuencias de la contaminación provocada por el cadmio en productos derivados del cacao como el chocolate, es un tema de interés comercial que impacta a la economía de los países productores (FAO-OMS, 2015). Los productos de cacao tienen concentraciones relativamente altas de Cd en comparación con otros productos alimenticios. Esto se ha convertido en un asunto de interés para los pequeños agricultores, para la industria del chocolate, y para la Unión Europea (UE), lo que ha llevado a discutir la implementación de límites de los contenidos de Cd en los productos de cacao importados a la UE (WFSC, 2014).

El cacao se produce generalmente por pequeños agricultores, es un cultivo comercial no perecedero muy valioso, que impulsa la economía de los países en desarrollo. La Organización Internacional del Cacao (ICCO), señala que las zonas de cultivo de cacao de acuerdo a su importancia son, África Occidental, el Sudeste de Asia y América Latina. Los países europeos representan el 58% de las importaciones netas de cacao, seguido por Norte América (27%), Asia (14%), África (2%) y Rusia (6%). Europa es el mayor importador de cacao incluyendo granos de cacao, proveniente de África Occidental (93%). Las importaciones procedentes de Latinoamérica y del sur-este de Asia son de importancia secundaria y terciaria, respectivamente (ICCO, 2012).

La producción en Colombia es liderada por el departamento de Santander con un 48% del total nacional, seguido de Arauca (11%) y Huila (9%). Cundinamarca tan solo aporta el 2% de la producción nacional (FEDECACAO, 2013).

El cadmio es un metal pesado altamente tóxico para los seres vivos, produciendo además efectos tóxicos en suelos (Bravo et al., 2014). Su tasa de transferencia depende del tipo de suelo, planta, pH del suelo, contenido de humus, disponibilidad de la materia

orgánica, tratamiento del suelo con fertilizantes, la mineralogía, y la presencia de otros elementos como el zinc (PNUMA, 2008).

Las altas concentraciones de cadmio en el suelo se producen de forma natural o por medio de actividades antropogénicas. La producción natural proviene de la corteza terrestre y del agua del océano (FAO-OMS, 2015) puede originarse en los procesos geoquímicos relacionados con las erupciones volcánicas o la meteorización de la roca madre.

Las actividades antropogénicas se relacionan especialmente con la minería, refinación de minerales metálicos, desechos industriales de procesos tales como la galvanoplastia, la fabricación de plásticos, pigmentos para pinturas, preparación de la aleación, pilas que contienen cadmio, fertilizantes de fosfato, lodos de depuradora y compost municipal. Otras fuentes de contaminación incluyen algunos productos químicos fitosanitarios (Kirkham, 2006) lo cual fue ratificado por (Miranda et al., 2008; Ortiz et al., 2009; Alexander et al., 2010; Mite et al., 2010; PNUMA, 2010; Qiao et al., 2011; FAO-OMS, 2015).

En forma natural, el cadmio se asocia con minerales de fósforo y zinc, a manera de impureza, por esta razón se encuentra en fertilizantes y puede llegar a convertirse en metal bioacumulable a partir de suelos que reciben aplicaciones continuas de fertilizantes fosfatados o abonos orgánicos procedentes de residuos municipales (Bonomelli et al., 2003) también mencionado por (PNUMA, 2010; Lora y Bonilla 2010, Espinoza et al., 2011, Bravo et al., 2014). Con relación a los fertilizantes fosfatados, la materia prima principal de éstos es la roca fosfórica, constituida principalmente por apatita, que, además de fosforo, contiene cadmio en cantidades que varían entre 8 y 500 mg kg⁻¹ (Bonomelli et al., 2003).

La aplicación reiterada de fertilizantes fosfatados incrementa las cantidades de Cd en el suelo. El comportamiento del Cd incorporado está en función del tipo de reacción química y en los diversos procesos físicos y biológicos que ocurren en el suelo. La interacción del metal

con los componentes del suelo afecta las principales reacciones asociadas con la adsorción, precipitación y formación de complejos (Bonomelli et al., 2003) y su biodisponibilidad y toxicidad (PNUMA, 2010).

La fitotoxicidad de los metales pesados se manifiesta particularmente en los suelos ácidos (Tadeo y Gómez, 2008). La fase mineral del suelo, el pH y la composición de la materia orgánica tienen efectos significativos en la adsorción de Cd (Lofts et al., 2005). La movilidad y biodisponibilidad es mayor en suelos no calcáreos que en calcáreos. De manera general la toxicidad en el suelo aumenta al aumentar la movilidad de cadmio, es decir, aumenta al disminuir el pH (Lora y Bonilla, 2010), o cuando disminuye la materia orgánica (PNUMA, 2010). La alcalinización del suelo puede precipitar el cadmio no solamente como carbonato, sino también como fosfato, un incremento del pH disminuye la absorción de cadmio por las raíces del cultivo, en general por cada unidad que aumente el pH se reducirá la absorción 1.5 veces (Contreras et al., 2011). A $\text{pH} > 7.0$ se presentan procesos de inmovilización (precipitación), especialmente en suelos calcáreos debido a la formación de carbonatos de cadmio (CdCO_3) (Alloway, 2013). Los diferentes grados de descomposición de la materia orgánica (MO), también afectan las formas de cadmio en el suelo. Esta descomposición acidifica el suelo debido a la formación de ácidos orgánicos, que contribuyen a la formación de complejos metal - ligando con el Cd, incrementando la biodisponibilidad del elemento (Chávez et al., 2016).

Se ha reportado a nivel nacional niveles elevados de cadmio en cacao y en el suelo donde se cultiva, los cuales superan los límites permitidos, limitando las expectativas de exportación de este producto (Rodríguez 2017).

San Vicente de Chucuri, es una de las zonas del departamento de Santander con la mayor extensión y producción de cacao a nivel nacional. Dentro de este municipio se

encuentra la vereda La Esmeralda, cuyas condiciones naturales son favorables para el desarrollo del cultivo de cacao. Esta vereda cuenta con 90 fincas cuya actividad productiva principal es el cultivo de cacao. En tal sentido, dado los problemas de contaminación de cadmio en muchas zonas cacaoteras a nivel nacional, el interés de esta investigación fue diagnosticar la presencia de cadmio en esta región en aras de proyectar un manejo apropiado al cultivo.

2. Problema

2.1 Planteamiento del problema

El cacao es un cultivo que representa una fuente importante de ingresos para las familias chucureñas y del país ya que no se trata de un producto cualquiera, sino de un agronegocio con amplia aceptación en mercados de gran consumo, que a su vez tiene posibilidades de industrialización y transformación a un abanico amplio de productos derivados. Colombia tiene una ventaja competitiva por su capacidad de producción de cacao fino y de aroma (reconocida internacionalmente), sumado a los dos millones de hectáreas con condiciones agroclimáticas y suelos aptos para el desarrollo de este rubro.

Los mercados internacionales, actualmente apuntan a productos libres de contaminantes que puedan ser tóxicos para la salud humana, en vista de esto, el mercado colombiano se puede ver perjudicado por la presencia de algunos elementos como plomo, zinc, cadmio y cobre.

La Unión Europea es uno de los principales clientes del cacao que se produce en Colombia, sin embargo, a partir del primero de enero de 2019 entró en vigencia la regulación de los contenidos de cadmio en los alimentos aprobada por la Unión Europea en el año 2014 debido al aumento paulatino en la ingesta de chocolate contaminado con Cd, lo cual pudiera convertirse en un problema de salud pública (ICCO 2018). Esta regulación establece que los valores máximos de cadmio deben ser 0,5 mg/kg en almendra, por lo tanto, no volverán a comprar productos de cacao que superen esos estándares.

El cadmio es un metal pesado tóxico tanto para las plantas como los animales, cuya concentración en los suelos puede ser de origen geogénico, así como de acumulaciones

debidas a las actividades antrópicas como por ejemplo, combustión de hidrocarburos, uso de aguas residuales, minería y uso de fertilizantes fosfatados (Moradi et al., 2005).

Los metales pesados pasan del suelo a las plantas, y de ahí a los mamíferos. En humanos, en general, la ingesta de cadmio genera problemas en la salud, y los efectos tóxicos se manifiestan principalmente en los huesos, los riñones y los pulmones. Entre los daños que produce en estos órganos podemos citar osteomalacia y necrosis del tejido renal. La semivida del cadmio en el cuerpo es de 10 a 30 años y su excreción es lenta (Pérez y Azcona, 2012) A nivel molecular el cadmio es un conocido bloqueador del calcio en la membrana plasmática. En general, se sabe que desplaza al calcio y al cinc en determinadas proteínas además de causar estrés oxidativo. El resultado de todo ello suele ser un daño severo en el ADN y en los lípidos (Navarro, Aguilar y López, 2007).

En las plantas, la acumulación de cadmio afecta negativamente el crecimiento y los procesos fotosintéticos (Dias et al., 2013). En el cacao, se ha reportado que la acumulación de cadmio reduce la absorción de minerales de zinc, magnesio y potasio, alterando la movilidad de otros nutrientes. Adicionalmente, daña el aparato fotosintético y causa ruptura de membranas celulares de raíces y hojas (Pereira et al., 2017).

En Colombia y especialmente en Santander se han reportado zonas cacaoteras con altos niveles de cadmio (Martínez, 2017; Rodríguez 2017). Esto representa un problema especialmente porque si se quiere posicionar los productos de cacao en el mercado europeo, es necesario que los contenidos de cadmio estén por debajo de los niveles máximos permitidos. Por lo tanto, si los productores de San Vicente de Chucuri quieren entrar al mercado europeo deben conocer el estado actual en que se encuentra el cadmio en sus suelos.

2.2 Justificación

Siendo el cadmio (Cd) un metal pesado ampliamente distribuido en el medio ambiente, que puede acumularse en diversos alimentos consumidos por el hombre (entre ellos el cacao y sus derivados) y dado que a partir del 1 de enero del 2019 se fijaron niveles máximos en alimentos que propenden por la protección, de la salud y la vida de las poblaciones, es prioritario que en el marco del proyecto internacional de regulaciones de niveles de cadmio en cacao y sus productos, liderado por DG-Sanco de la Unión Europea, Colombia adelanta estudios que permitan aportar información frente a la falta de datos de concentraciones de cadmio en cacao (INVIMA, 2014).

Además, junto con el aumento en la demanda de cacao en los últimos años, también se han incrementado las exigencias de calidad, dentro de éstas lo referente a los contenidos de cadmio y plomo (Espinoza et al., 2011). Los niveles de cadmio en granos de cacao varían considerablemente entre países e incluso entre áreas dentro de un país, debido a diferencias en el material parental del suelo, y factores como las prácticas de cultivo (WFSC, 2014).

En alimentos, el cadmio no puede exceder 0,5 mg Cd/kg según lo permitido por la FAO/OMS (Contreras et al., 2011). Los límites máximos permitidos de plomo y cadmio en granos de cereales (incluyendo el chocolate) de acuerdo con la Organización Mundial de la Salud (OMS) y la Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación (FAO) son de 0.2 y 0.1 mg/kg, respectivamente (Berg y Licht, 2002).

Se ha reportado a nivel nacional niveles elevados de cadmio en cacao y en el suelo donde se cultiva, los cuales superan los límites permitidos, restringiendo las expectativas de exportación de este producto (Martínez, 2017; Rodríguez, 2017). Por lo tanto, se hace

necesario el monitoreo de este metal en suelos y frutos de cacao para generar información que permita hacer un acercamiento a la evaluación del impacto que posiblemente este teniendo la exposición a cadmio a través de los alimentos puesto que produce daños ambientales y a la salud humana debido a su toxicidad, longevidad y acumulación en los órganos, principalmente en los riñones y el hígado, ocasionando disfunción renal tubular, alteraciones óseas, actuando también como un agente cancerígeno fuerte.

Desde el punto de vista del impacto social, económico y técnico esta investigación representa principalmente para la Vereda La Esmeralda en el municipio de San Vicente de Chucuri un importante aporte debido a que se desconoce si los suelos cultivados presentan o no cadmio. En caso de no existir cadmio, esta vereda se posiciona en el mercado nacional e internacional como una de las zonas con mayor potencial para la exportación de cadmio, contribuyendo de esta manera con el incremento de los precios del cacao y, en consecuencia, en el mejoramiento de la calidad de vida de los 90 productores y su núcleo familiar. Desde el punto de vista académico científico, los resultados de esta investigación representan un importante aporte al quehacer científico y sirve de punta de lanza para el impulso de nuevas investigaciones.

3. Objetivos

3.1 Objetivo General

Determinar los niveles de cadmio en suelos de plantaciones de cacao (*Theobroma cacao* L.) ubicadas en la vereda La esmeralda del municipio de San Vicente de Chucuri, Santander.

3.2 Objetivos Específicos

Caracterizar algunas de las propiedades físicas y químicas de los suelos en plantaciones de cacao (*Theobroma cacao* L.) ubicadas en la vereda La Esmeralda del municipio de San Vicente de Chucuri, Santander.

Identificar fincas con presencia de cadmio en el suelo de fincas productoras de cacao (*Theobroma cacao* L.) ubicadas en la vereda La Esmeralda del municipio de San Vicente de Chucuri, Santander.

Comparar los niveles de cadmio a dos profundidades en suelos de fincas productoras de cacao (*Theobroma cacao* L.) ubicadas en la vereda La Esmeralda del municipio de San Vicente de Chucuri, Santander.

4. Marco de Referencia

4.1 Antecedentes

En un trabajo realizado en el cultivo de cacao en los departamentos de Huánuco y San Martín (Perú) se determinaron las concentraciones de cadmio en los diferentes horizontes del suelo y en los diferentes órganos del cultivo de cacao CCN-51, en un suelo residual y aluvial. Se tomaron muestras de raíz, ramas, hojas, almendras y cáscaras y se determinó el cadmio total. En el suelo se determinó el cadmio disponible y se obtuvieron valores en el suelo residual de 1,71, 0,52 y 0,46 ppm, correspondiente a los horizontes A, AB y C; en el suelo aluvial las concentraciones fueron de 1,26, 2,55, 3,68 y 1,80 ppm, correspondiente al horizonte A y capas AC, C1 y C2, respectivamente. El contenido de cadmio total en tejidos del suelo residual fue 1,22, 2,29, 1,44, 0,84 y 0,77 ppm, y en el suelo aluvial fue de 1,14, 2,97, 2,84, 1,08 y 0,75 ppm, correspondientes a raíces, ramas, hojas, almendras y cáscaras respectivamente. En este trabajo se concluyó que el suelo aluvial presentó el mayor contenido de cadmio disponible, y en cuanto a los tejidos, el mayor contenido de cadmio total se observó en las ramas, tanto en suelo residual como en el aluvial (Pedraza y Huauya, 2017).

Otro estudio llevado a cabo por Brito (2017) tuvo como objetivo caracterizar las propiedades físico-químicas de los suelos y la bioquímica de las vainas de cacao en sistemas agroforestales en Tabasco, México. En la zona de estudio correspondiente a los municipios de Cunduacán, Cárdenas Comalcalco los suelos son arcillosos, pH de moderadamente ácido a neutro, altos niveles de materia orgánica (9-10%) y alto contenido total de nitrógeno (0,15 0,21%). De acuerdo con los resultados, el contenido nutricional promedio de vainas de cacao de los sistemas agroforestales de cacao fue el siguiente, carbono total (94,34%), Zn (50,26%),

nitrógeno (1,33%), potasio (1,78%), calcio (0,42%), magnesio (0,32%), cenizas (93,20%) y proteínas (8,3%). La conductividad eléctrica estuvo influenciada por diversas propiedades físicas y químicas del suelo, tales como la textura del suelo, el contenido de materia orgánica, la humedad del suelo, capacidad de intercambio catiónico, la salinidad, pH, Ca y Mg. Las propiedades de los suelos y su alto contenido nutricional en estos sistemas agroforestales son adecuados para la producción sostenible de cacao. Se concluyó que los resultados pueden variar en función del equilibrio natural entre el hábitat vegetación y las propiedades bioquímicas, biológicas, físicas y químicas del suelo.

Por su parte, Mite, Carrillo y Durango (2010), identificaron áreas con diferentes niveles de contaminación por cadmio en sistemas de cultivo de cacao en Ecuador, previo al desarrollo de alternativas de remediación para contrarrestar su efecto tóxico. Como resultado se obtuvo que en los suelos dedicados al cultivo de cacao en las provincias de Esmeraldas y Santo Domingo, la mayoría de los lugares muestreados, presentaron contenidos de Cd más elevados en los primeros cinco centímetros de profundidad, disminuyendo a medida que se profundiza, principalmente en los suelos de Esmeraldas (ES). Según los autores, estos resultados podrían deberse a que las raíces del cacao extraen el Cd del subsuelo y por reciclado, los vayan depositando en las primeras capas. Otra suposición es la contaminación por vía antrópica.

En Colombia, específicamente en los departamentos de Arauca y Nariño, altamente productores de cacao, Martínez (2017) evaluaron la concentración de cadmio teniendo en cuenta la relación de las características fisicoquímicas del suelo y el comportamiento del metal en el ambiente en los cultivos destinados a la siembra de cacao. En este trabajo se encontró que en los municipios de Arauca la presencia de cadmio sobrepasa el límite máximo permisible dado por Holanda de 0,8 mg/kg, en Arauca la concentración fue de 0,98 mg/kg, en

Araucita de 1,39 mg/kg, en Saravena 1,38 mg/kg y en Fortul 1 mg/kg, a diferencia de Tumaco Nariño donde se presentó una concentración promedio de 0,62 mg/kg. Se realizaron las correlaciones de Spearman con el fin de determinar el posible origen del cadmio en el suelo y los metales asociados, T de Student para confirmar las correlaciones y análisis de componentes principales con el fin de ver gráficamente la asociación entre metales para ambos departamentos donde se encontraron relaciones de fósforo, potasio, pH, materia orgánica, entre otros, donde se encontró que el uso de fertilizantes orgánicos y químicos tiene una afectación directa en la presencia de cadmio en el suelo. Para corroborar esto se calculó el nivel de enriquecimiento en el departamento de Arauca donde se determinó una posible fuente antropogénica de este metal teniendo en cuenta datos aportados por el IGAC.

En otro estudio llevado a cabo por Barón (2016), se determinó si la presencia de residuos de cadmio en los granos de cacao colombiano, podría ser considerada como un riesgo en inocuidad para la población nacional. En ese sentido, se planteó desarrollar un perfil del riesgo considerando la información documental existente a nivel nacional e internacional sobre la dupla alimento- peligro (cacao en grano y cadmio) establecida. Para la elaboración del perfil del riesgo se empleó la metodología de análisis propuesta por la FAO (2007), que se fundamenta en el desarrollo de 3 etapas básicas que son: descripción del peligro y del alimento implicados, identificación de posibles riesgos para la salud de los consumidores (con base en el examen de las publicaciones científicas disponibles) e identificación de opciones de gestión de riesgos. Se obtuvo como resultado que la presencia de cadmio en granos de cacao para la población nacional presenta un riesgo y se establecieron algunas recomendaciones para adelantar una evaluación de riesgo. Además se obtuvo que la población infantil está más susceptible al riesgo de intoxicación con cadmio a través de la

ingesta de cacao y sus derivados, ya que para esta población el parámetro de margen de exposición (MOE) calculado está más cercano a 1 que para el resto.

Este trabajo da parámetros para definir en forma más clara la biodisponibilidad de metales y el riesgo de contaminación de cultivos, muestra los resultados de un trabajo de investigación realizado en Corpoica-Tibaitatá por Moreno (2008), que determinaron las concentraciones disponibles de cadmio y arsénico en el suelo y establecieron una relación con las cantidades de éstos absorbidas por las plantas, encontrándose que las cantidades de estos metales, que se hallaban ligadas a los óxidos de hierro y manganeso, presentaban una relación directa con las cantidades absorbidas por ellas.

Bravo, Arboleda y Martín, (2014), evaluaron el efecto de la calidad de la materia orgánica asociada con el uso y manejo de suelos en la retención de cadmio en sistemas altoandinos de Colombia y encontraron que el proceso de adsorción de cadmio y su movilidad en suelos altoandinos de la subcuenca del río Las Piedras (Cauca) Colombia, están fuertemente asociados con las características físicas y químicas especialmente textura, pH, CO, Al intercambiable y bases de cambio Ca y Mg. También encontraron que la calidad de la materia orgánica tuvo un efecto significativo en dichos procesos. Una mejor calidad de la materia orgánica redundó en una menor movilidad del cadmio, previniendo la contaminación de aguas subterráneas y la toxicidad por bioacumulación. Por su parte, la fracción de la materia orgánica asociada a los ácidos húmicos tuvo un papel primordial en la retención de Cd, formando enlaces fuertes en sus grupos carboxílicos y fenólicos, con mayor capacidad y fuerza de retención que el resto de fases adsorbentes; mientras que los AF (ácidos fenólicos) movilizaron el metal por fenómenos de complejación y solubilización. Las condiciones de suelos fuertemente ácidos favorecieron la contaminación y la toxicidad por bioacumulación

de Cd, efecto que fue contrarrestado por el incremento en la calidad de la materia orgánica y el pH.

En zonas con actividad petrolífera, de Antioquia y Santander (específicamente Barrancabermeja), fue realizado este trabajo por Peláez (2016), en el cual se evidenciaron daños celulares en las plantas forrajeras, debido a la carga tóxica producida por cadmio y plomo, que afectaron a animales, los cuales consume el ser humano, se analizó la familia de vegetales Poaceae, a la que pertenece el género *Brachiaria* spp., por el alto porcentaje de presencia en las zonas de muestreo. Dentro de este tipo de pastos se encontraron diez especies, entre las que se destacaron la *B. decumbens* y la *B. humidicola* por la recurrencia de aparición, un 55 %, fue posible observar el daño en tejidos, células de raíces, tallos y hojas, debido al estrés inducido por estos compuestos. Se encontró que las cargas de metales pesados, (llamados así por tener un peso superior a 5 gramos por centímetro cúbico $-g/cm^3$ y un número atómico por encima de 20), en las pasturas, representan un daño para los animales, y en consecuencia para el resto de la cadena alimenticia.

En esta investigación se realizó la determinación de las cantidades de cadmio y la comparación de varias metodologías para el análisis de cadmio y luego se realizó la validación de estas en zonas cacaoteras de San Vicente de Chucuri, Santander. González (2010) realizaron este estudio con el fin de cubrir en cierta parte la necesidad de la comunidad ante esta problemática implementando y validando el método, para la validación de las metodologías para cadmio total e intercambiable se utilizó un diseño experimental, y se evaluaron las siguientes figuras de mérito: límite de detección, límite de cuantificación, exactitud y precisión, se obtuvo como resultado que a concentraciones mayores todos los métodos presentan buena precisión y exactitud.

4.2 Marco Contextual

El municipio de San Vicente de Chucuri ubicado en el Departamento de Santander hace parte de la provincia de Mares, a 87 kilómetros de distancia desde la intersección "la renta" que lo comunica a Bucaramanga, capital del mismo departamento. Fue fundado el 7 de septiembre de 1876 por Sacramento Tristancho y cuenta con una población de 34.640 habitantes; Coordenadas: 6°52'55"N 73°24'43"O, temperatura de 25°, Precipitaciones de 1820 mm, altitud Media, 693 m s. n. m.

San Vicente de Chucuri es el municipio con mayor producción de cacao del departamento de Santander e igualmente el mayor productor en todo Colombia. Este producto representa el 60% del total de la producción agrícola municipal obtenida de sus tierras (7000 toneladas anuales). Las veredas sobresalientes en su cultivo son: Llana Fría siendo el mayor productor, Santa Inés, La Esmeralda, Campo Hermoso, Mérida, El Centro, Palestina, Nuevo Mundo, Guadual, El León, Ceibal, Aguablanca, El Pertrecho y la Esperanza

4.3 Marco teórico

4.3.1 Cacao (*Theobroma cacao* L.).

El cacao pertenece a la familia de las Malvaceas (Tabla 1). Es una planta que necesita un adecuado suministro de agua para su desarrollo. En el caso de Centro y Sur América la lluvia es el factor climático que más variaciones presenta durante el año. Su distribución varía notablemente de una a otra región y es el factor que determina las diferencias en el manejo del cultivo del cacao. La precipitación óptima, durante el año, para el cultivo del cacao es de 1.600 a 2.500 mm. La temperatura óptima, alrededor de 25°C, es fundamental debido a su relación con el desarrollo de la planta, floración y fructificación del

cultivo. Adicionalmente regula la absorción de agua y nutrientes, y acelera la descomposición de la materia orgánica en el suelo. Los factores determinantes en el cultivo de cacao son edáficos y climáticos como: temperatura, humedad, precipitación, viento, altitud, un factor secundario es la fertilidad. Los suelos apropiados para el cultivo del cacao son aluviales, francos y profundos con subsuelo permeable. El drenaje se determina por las condiciones climáticas del lugar, la topografía, y la capacidad intrínseca del suelo para mantener una adecuada retención de humedad y aireación. El pH del suelo es un importante parámetro que determina la velocidad de descomposición de la materia orgánica y la disponibilidad de los elementos nutritivos. El cacao se desarrolla eficientemente cuando el pH del suelo se encuentra en el rango de 6,0 a 6,5. Altos contenidos de materia orgánica favorecen el desarrollo del cultivo porque garantizan la presencia de microelementos primordiales en la formación y desarrollo de la planta. El cacao es un elemento muy nutritivo, muy importante en la dieta de las personas (Tabla 2).

Tabla 1. *Taxonomía del cacao*

	Taxonomía
Reino	Plantae
Subreino	Tracheobionta
División	Magnoliophyta
Clase	Magnoliopsida
Subclase	Dilleniidae
Orden	Malvales
Familia	Malvaceae
Subfamilia	Byttnerioideae
Tribu	Theobromeae
Genero	Theobroma
Especie	<i>Theobroma cacao</i> L.

Nota: Cronquist, (1988)

Tabla 2. *Composición química del cacao*

Bioelemento	Contenido	Bioelemento	Contenido (mg)
Calorías	456	Fósforo	537
Agua	3,6 mL	Calcio	106
Proteína	12,0 g	Tiamina	0,17 – 0,24
Grasa	46,3 g	Riboflamina	0,14 – 0,41
Carbohidratos	34,7 g	Niacina	1,7
Fibra	8,6 g	Ácido ascórbico	3,0
Glucosa	8 – 13 g	Piridina	0,9
Sacarosa	0,4 – 0,9 g	Hierro	3,6

Nota: Componentes en 100g d cacao en base seca. Fuente: Naranjo (2011)

4.3.1.1 Cosecha. Expone que la cosecha se inicia cuando el fruto o mazorca está maduro. La madurez de la mazorca se aprecia por su cambio de pigmentación: de verde pasa al amarillo o del rojo y otros similares al amarillo anaranjado fuerte o pálido. No obstante, en frutos de coloración roja - violácea muy acentuada el cambio de color puede no ser muy aparente y se corre el riesgo de no cosechar a tiempo las mazorcas que han alcanzado madurez plena. Debido a esta dificultad las mazorcas pueden madurar y germinar (Arias, 1980).

4.3.1.2 Quiebra. Expone que se denomina quiebra a la operación que consiste en partir la mazorca y extraer las almendras las cuales una vez separadas de las hebras, serán sometidas a la fermentación (Censalud, 2015).

4.3.1.3 Fermentación .La fermentación del grano de cacao se hace necesaria para remover la pulpa que envuelve a los granos, procurar la muerte del embrión y tener activar la acción enzimática deseable (Arias, 1980). Es necesario efectuarla para disminuir el amargo de las almendras, consiguiendo que se formen buenos precursores del sabor, ya que con la fermentación se inicia el desarrollo del aroma, sabor y color de la almendra para obtener un cacao de aroma fino, apto para las mejores fábricas de chocolate (Censalud, 2015).

4.3.1.4 Secado. El secado del cacao es una de las labores más importantes después de la cosecha, pues se relaciona con las características de sabor y aroma del grano, además de que evita la proliferación de bacterias. La etapa de secado es de vital importancia, puesto que el contenido de humedad que permanece después de este proceso, es la principal característica que califican para determinar la calidad del grano (Gilces y Sanmartín, 2013).

4.3.1.5 Almacenamiento. El almacenamiento de los granos secos se debe dar en sacos de yute y en ambientes techados, secos, blancos y de colores claros, bien ventilados, acomodados y apilados sobre parihuelas de madera, alejado de productos que emanen olores fuertes (Arévalo, Zúñiga y Arévalo, 2004).

4.3.1.6 Enfermedades.

Moniliasis del cacao. Dentro de los principales patógenos que afectan directamente los frutos del cacao, el más importante es *Moniliophthora roreri*, que produce la enfermedad conocida como moniliasis, pasmo, nieve, ceniza. Los frutos pueden ser afectados a cualquier edad, presentando diferentes síntomas según se trate de pepinos, frutos o medianos o adultos.

Este hongo produce millones de esporas o semillas, que se multiplican rápidamente en presencia de ambientes húmedos y cultivos con manejo agronómico deficiente.

Mazorca negra o fitoptora. Es una enfermedad causada por microorganismos o especies del género *Phytophthora*. Ataca raíces, hojas, tallos, frutos y ramas de cacao. En la actualidad, se han reportado 8 especies patógenas: *Phytophthora arecae*; *Phytophthora capsici*, *Phytophthora citrophthor*; *Phytophthora heveae*; *Phytophthora megakarya*; *Phytophthora megasperma*; *Phytophthora nicotianae* var *parasítica* y *Phytophthora palmivora*. La enfermedad se considera pantropical, pues el patógeno se encuentra en todo el mundo, predominando diferentes especies de acuerdo con la zona geográfica y el hospedero. En Colombia solo se encuentra actualmente *Phytophthora palmivora* la cual está distribuida en todas las zonas productoras del país (FEDECACAO, 2015), en donde los factores como la baja adopción de la tecnología y la edad avanzada de los cultivos han permitido la dispersión del hongo.

4.3.1.7 Producción de cacao. El departamento con mayor producción de Cacao en Colombia, es Santander que aporta 46,2% de la producción total, siguen departamentos como Arauca, Norte de Santander, Tolima, Huila, Nariño, Antioquia, Cundinamarca, los cuales en conjunto representan el 45,4% del total de la producción. Estos ocho departamentos participan en total, con el 91,6% de la producción colombiana de cacao, la cual aumentó en un 3,6 % en 2016, pasando de 54.798 toneladas a 56.785, según lo informado por Eduardo Baquero López, actual presidente ejecutivo del Fondo Nacional del Cacao (FEDECACAO), en un comunicado del portafolio-febrero 07 de 2017 (FEDECACAO, 2017).

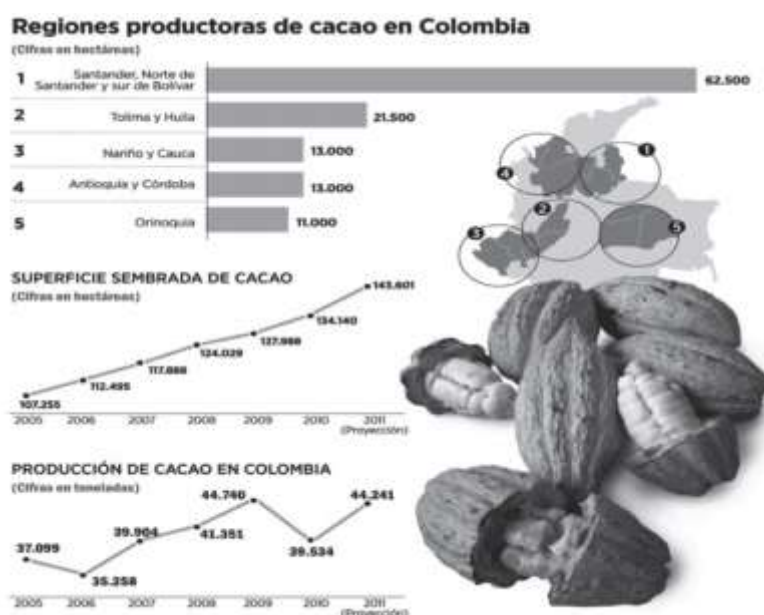


Figura 1. Regiones productoras de cacao en Colombia. Fuente. Jiménez, (2015)

4.3.1.8 Consumo anual de chocolate en varios países. De acuerdo con el reporte de Oliver Neiburg realizado en la revista on line Confectionery.news.com (Nieburg, 2012), quien usa datos tomados de Leatherhead Food Research, para indicar los consumos de chocolate per cápita en varios países europeos, acorde con su población al año 2012. En la Tabla 3 se presentan los consumos de chocolate anual en varios países con la equivalencia, en

unidades, a un producto estándar de 70 g. Suiza, el mayor consumidor de chocolate en Europa, consumió por persona 11,9 kilos en promedio, lo cual equivale a 170 unidades de una barra de 70 g, esto es una barra cada 2 días, aproximadamente. Luego le sigue Irlanda, con un consumo de 9,9 kilos promedio por persona, con una equivalencia de 141 barras de 70 g: aproximadamente una barra cada 3 días. A continuación, el Reino Unido con 9,5 kilos, con una equivalencia de 135 barras de 70 g. En América Latina, de acuerdo con la consultora Euromonitor Internacional (Consultora Euromonitor international, 2013), el mercado de chocolates en Latinoamérica creció 85 % en los últimos 5 años, sumando ventas por US\$11.400 millones en 2012, siendo Uruguay el país sudamericano de mayor consumo de chocolate, donde cada persona consume anualmente 3,1 kg en promedio. El segundo lugar es para Argentina, donde el consumo per cápita es de 2,4 kg y, el tercer lugar, es Chile, con 2,2 kg. Colombia ocupa el puesto 13 en consumo per cápita. En la Tabla 4 se presentan los consumos de chocolate anual en varios países de América Latina con la equivalencia, en unidades, a un producto estándar de 70 g. Suiza consumió en el 2012, 14 barras de 70 g por mes, lo cual equivale a casi 1 kilo de chocolate por persona como se puede observar. Colombia consumió en el 2013, 28 g promedio persona mes.

Tabla 3. *Consumo de chocolate en varios países*

País	Consumo Anual de chocolate por persona (kg)	Equivalencia en barras anuales (barra / 70g)	Nº de barras al mes
Suiza	11,9	170	14
Irlanda	9,9	141	12
Reino Unido	9,5	136	11
Austria	8,8	126	10
Bélgica	8,3	119	10
Alemania	8,2	117	10
Noruega	8	114	10
Dinamarca	7,5	107	9
Canadá	6,4	91	8
Francia	6,3	90	8
Polonia	6,1	87	7
Rusia	5,9	84	7
Australia	5,9	84	7
Suecia	5,7	81	7
US	5,5	79	7
Holanda	5,4	77	6
Finlandia	5	71	6
Rep. Checa	4,9	70	6
N. Zelanda	4,8	69	6
Ucrania	4,2	60	5
Brasil	2,5	36	3
China	1,2	17	1
India	0,7	10	1

Nota: Equivalencias en unidades de barras estándar de 70 gramos (nieburg, 2012).

Tabla 4. *Tabla consumo de chocolate en América Latina*

País	Consumo de chocolate por persona (kg)	Equivalencia en barras anuales (barra / 70g)	N° de barras al mes
Uruguay	3,1	44	3,7
Argentina	2,9	41	3,5
Chile	2,2	31	2,6
Brasil	1,7	24	2,0
México	0,7	10	0,8
Perú	0,6	9	0,7
Bolivia	0,6	9	0,7
Costa Rica	0,5	7	0,6
República Dominicana	0,5	7	0,6
Guatemala	0,4	6	0,5
Venezuela	0,4	6	0,5
Ecuador	0,3	4	0,4
Colombia	0,3	4	0,4

Nota. Equivalencias en unidades de barras estándar de 70 gramos. (consultora euromonitor international, 2013)

4.3.2 Cadmio. Elemento químico relativamente raro, símbolo Cd, número atómico 48; tiene relación estrecha con el zinc, con el que se encuentra asociado en la naturaleza. Peso atómico de 112.40 y densidad relativa de 8.65 a 20°C (68°F). Su punto de fusión de 320.9°C (610°F) y de ebullición de 765°C (1410°F) son inferiores a los del zinc. Hay ocho isótopos estables en la naturaleza y se han descrito once radioisótopos inestables de tipo artificial. El

cadmio es miembro del grupo IIb (zinc, cadmio y mercurio) en la tabla periódica, y presenta propiedades químicas intermedias entre las del zinc metálico en soluciones ácidas de sulfato.

El cadmio es divalente en todos sus compuestos estables y su ion es incoloro. El cadmio no se encuentra en estado libre en la naturaleza, y la greenockita (sulfuro de cadmio), único mineral de cadmio, no es una fuente comercial de metal. Casi todo el que se produce es obtenido como subproducto de la fundición y refinamiento de los minerales de zinc, los cuales por lo general contienen de 0.2 a 0.4%.

El cadmio en los suelos es altamente móvil y muy soluble. El nivel promedio de cadmio en suelos ha sido ubicado entre 0,07 y 1,1 mg/kg, con un nivel base natural que no excede-ría de 0,5 mg/kg (Kabata, 2010). Algunos suelos pueden tener niveles de cadmio elevados porque las rocas de las que se formaron tenían el elemento en su composición. Una de las vías de incorporación del cadmio a los suelos agrícolas es la fertilización fosfática. Las rocas fosfóricas, que son la materia prima de todos los fertilizantes fosfáticos, contienen niveles de metales pesados que varían según su origen geográfico, pero que generalmente son superiores al promedio de la corteza terrestre. Los metales permanecen en una proporción importante en los fertilizantes industriales y posteriormente son aplicados al suelo junto con el fósforo. A partir de las aguas residuales urbanas se obtienen lodos que por su contenido de nutrientes son usados en la fertilización de algunos cultivos y que debido a sus altos niveles en materia orgánica se ha comprobado que pueden ser útiles en la recuperación de suelos afectados por procesos de desertificación, de acuerdo con el estudio realizado por la universidad de Sevilla, España (Macano, 2000).

4.3.3 Fuentes de contaminación de cadmio. El cadmio es un elemento no esencial y poco abundante en la corteza terrestre y a bajas concentraciones puede ser tóxico para todos los organismos vivos. 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 (Rodríguez-Serrano, Martínez-de la Casa, Romero-Puertas, del Río, y Sandalio, 2008) Entre los factores antropogénicos de contaminación de cadmio (Cd), caben destacar los siguientes:

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

- **Depósitos directos:** El uso de fertilizantes fosfatados es la principal fuente de contaminación de Cd en suelos agrícolas. Otra fuente de Cd la constituyen los 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. Un ejemplo son los vertidos de Aznalcóllar que tuvieron lugar en 1998, en la provincia de Sevilla, como consecuencia de la rotura de una balsa que contenía concentraciones elevadas de metales pesados procedentes de una mina de esta localidad (Serrano et al., 2008).

4.3.4. Salidas de cadmio del suelo. El cadmio puede salir del suelo por medio de la extracción por parte de los cultivos y por la lixiviación debido a las precipitaciones. (Casermeiro, 2016).

4.3.5 Contaminación de cacao con cadmio. Los metales pesados en alimentos tienen múltiples orígenes. En el caso del cacao es posible que la contaminación del producto se dé en las etapas de cultivo, producción y transformación. Conocer el origen de la contaminación

en alimentos es fundamental para determinar las acciones a seguir y para establecer la calidad del producto. A nivel experimental, el análisis de metales pesados en alimentos y suelos involucra recolección, preparación de muestras, extracción de los metales, eliminación de interferencias y finalmente detección y cuantificación mediante técnicas analíticas instrumentales. Las concentraciones de metales pesados en los suelos están asociadas a los ciclos biológicos y geoquímicos y pueden alterarse por actividades antropogénicas como las prácticas agrícolas, el transporte, las actividades industriales y la eliminación de residuos, entre otras. Por otra parte, es bien conocido que los metales pesados son peligrosos porque tienden a bioacumularse en diferentes sistemas vivos. La bioacumulación se entiende como un aumento en la concentración de una sustancia química en un organismo vivo en un período de tiempo, cuando se compara con la concentración de la sustancia en el ambiente.

Se han establecido que los principales factores que influyen en la movilización de metales pesados en el suelo son el pH, potencial redox, presencia de iones, capacidad de intercambio (catiónico y/o aniónico), contenido de materia orgánica y textura, entre otras. La contaminación por metales puede producir acidificación, cambios en las condiciones redox, variación de temperatura y humedad en los suelos.

4.3.6 Efectos en la salud por ingestión de cadmio. Actualmente los agricultores han tenido problemas en sus exportaciones debido a la presencia de cadmio en los suelos y por ende en el cacao el cual es una de las principales materias primas del chocolate, productos que se encuentran en la canasta familiar. La toxicidad de los metales pesados se puede definir como elevada, tanto para microorganismos como para animales y plantas. Los metales pesados pasan del suelo a las plantas, y de ahí a los mamíferos. El problema esencial es que debido a la semejanza entre muchos contaminantes y los elementos trazas esenciales, las células pueden incorporar elementos tóxicos que quedan dentro de ellas o incorporados en su

membrana causando un daño letal. En humanos, en general, crean problemas en los tejidos reproductivos y en desarrollo, de tal manera que existe un riesgo de exposición en útero (teratógenos) y primeros años de vida (acumulación). Entre los efectos conocidos tenemos (para los metales pesados que suponen un mayor problema (Navarro-Aviñó, Aguilar Alonso, y López-Moya, 2007).

La ingestión de cadmio genera problemas en la salud, los efectos tóxicos del cadmio se manifiestan principalmente en los huesos, los riñones y los pulmones. Entre los daños que produce en estos órganos podemos citar osteomalacia y necrosis del tejido renal. La semivida del cadmio en el cuerpo es de 10 a 30 años t su excreción es lenta. En cuanto a las manifestaciones gastrointestinales, la administración oral de 10 mg de cadmio puede originar trastornos gastroduodenales con náusea y vómito como respuesta inmediata, aunque la dosis oral aguda con efectos mortales para un adulto es superior a 350 mg. Otros síntomas de consideración son: diarrea, dolor abdominal y muscular y salivación.(Pérez y Azcona, 2012).

A nivel molecular el cadmio es un conocido bloqueador del calcio en la membrana plasmática. En general, se sabe que desplaza al calcio y al cinc en determinadas proteínas además de causar estrés oxidativo. El resultado de todo ello suele ser un daño severo en el ADN y en los lípidos (Navarro, Aguilar y López, 2007).

4.4 Marco legal

- Marco normativo sobre de los Planes Nacionales Subsectoriales de Vigilancia y Control de Residuos en Alimentos (PNSVCR).

Resolución 770 de 2014. Establece las directrices para la formulación, ejecución, seguimiento y evaluación de los Planes Nacionales Subsectoriales de Vigilancia y Control de Residuos en Alimentos (PNSVCR).

Comunidades Europeas y su límite máximo (LM) para el cadmio:

- El 19 de diciembre del 2006, la unión Europea (UE) expidió el reglamento (CE) N°881/2006, que señala 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 considera al cacao y chocolates como una fuente significativa de consumo de cadmio. En 2007, por una publicación en la revista “Der Spiegel” de Alemania, sobre la presencia de cadmio en el chocolate y la posibilidad de que este metal sea un agente cancerígeno, el tema se convirtió en una preocupación sanitaria que llevó a la discusión internacional sobre esta reglamentación (Rivera, 2013)
- En mayo del 2011 se presentó la propuesta de la modificación del reglamento N°881/2006 EC, por la dirección general de salud y protección al consumidor GSANCO; en la cual, se sugirió un nivel de cadmio en cacao y chocolates de 0,30 –0,5 mg/kg. La Unión Europea (UE) analizó la posibilidad de enendar el reglamento (CE) N°881/2006, para incluir en la lista los límites máximos (LM) de cadmio para el cacao y productos de chocolate, a través de la Regulación (CE) N°420/2011 y de acuerdo a la definición de la directiva 2000/36/EC (Rivera, 2013).
- El 16 de septiembre del 2013, la Unión Europea notificó al comité de medidas sanitarias y Fitosanitarias de la Organización mundial del comercio (OMC) la enmienda al

reglamento Europeo N° 1881/2006, en el cual se establecen niveles máximos (NM) de cadmio para el chocolate y productos derivados de cacao, que entra en vigor a partir del 1 de enero del 2019 (Ecuador, 2013). Para chocolate y cacao en polvo, se establecieron de manera definitiva entre diciembre 2011 y enero 2012, cantidades permitidas de cadmio en un rango de 0,3 a 0,5 mg/kg.

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 0,5 mg/Kg (Agropecuarias, 2010).

Reglamento (CE) N°333/2007, control oficial sobre los niveles de plomo, cadmio, mercurio, estaño inorgánico, 3-MCPD y benzo(a)pireno en los productos alimenticios (Rivera, 2013). Según las normas alimentarias del Comité del Codex sobre Contaminantes de los alimentos, niveles máximos para el cadmio en el Licor de cacao y productos derivados son:

Tabla 5. *Propuestas de niveles máximos para el cadmio en el chocolate y productos derivados del cacao de Colombia.*

Productos	Nivel máximo de Cadmio mg/kg
Licor de cacao	5
Cacao en polvo sin adición de azúcar	4
Chocolate (chocolatina) con leche con un contenido de materia seca total de cacao < 30 %	0,2
Chocolate (chocolatina) con un contenido de materia seca total de cacao < 50 %; chocolate con leche con un contenido de materia seca total de cacao \geq 30 %	0,4
Chocolate (chocolatina) con un contenido de materia seca total de cacao \geq 50 %	2,5
Cacao en polvo con adición de azúcar	0,4

Nota: Fuente: (Invima, 2015).

- ✓ Unión europea Los Niveles Máximos Permitidos de Cadmio en el Cacao y Productos Derivados son establecidos en el Reglamento (UE) No 488/2014 DE LA COMISIÓN de 12 de mayo de 2014 (que modifica el Reglamento (CE) no 1881/2006) establece distintos niveles máximos de cadmio para los productos con diferentes porcentajes de cacao. (UE)

Capítulo VI. Trabajo de grado. El trabajo de grado correspondió a la modalidad de Investigación de acuerdo con el Artículo 36 el cual comprende el diseño y ejecución de proyectos que busquen aportar soluciones nuevas a problemas teóricos o prácticos, adecuar y apropiar tecnologías y validar conocimientos producidos en otros contextos (UNIPAMPLONA, 2005).

5. Metodología

5.1 Área de estudio

La investigación se realizó en el municipio de San Vicente de Chucuri, vereda La Esmeralda, Santander. Esta zona se caracteriza por ser de clima tropical húmedo, tiene unas temperaturas que van de 18°c a 30° c, y altura promedio de 900 msnm).

5.2 Recolección de muestras

El muestreo se realizó en nueve fincas de la Vereda La Esmeralda, con el fin de caracterizar algunas propiedades físico química de los suelos así como los niveles de cadmio de las principales fincas productoras de cacao (*Theobroma cacao*). En una primera etapa se procedió con la aplicación de una entrevista a manera de recolectar información de las fincas.

Las fincas seleccionadas se encontraban distribuidas por toda la vereda con distancias aproximadas de 20 km entre ellas de manera que fueran representativas de todo el sector. La altitud promedio entre las fincas fue de 803 m.s.n.m. y 1122 m.s.n.m.

Dentro de cada finca se realizó una delimitación del área de muestreo de 50 m x 20 m por y dentro de cada parcela de 1000 m² se trazaron dos transectos. Se realizó un muestreo sistemático por conveniencia (Figura 2). En cada transecto se tomaron muestras de suelos de la parte superficial previa remoción de la hojarasca fresca en un área de 40 cm x 40 cm. En cada sitio se tomaron muestras en la proyección de la copa del árbol (Figura 3) a las profundidades de 0-20 cm y 20 a 40 cm y se transfirió aproximadamente 100 g de suelo a un balde plástico limpio libre de impurezas; se limpiaron balde y herramientas después de tomar cada submuestra, estas muestras se tomaron en la proyección de la copa del árbol, y de cada uno se realizó un muestreo sistemático dirigido se recogieron muestras compuestas de suelo para un total de 2 muestra por transecto (4 por finca) (Anexos 1-8).

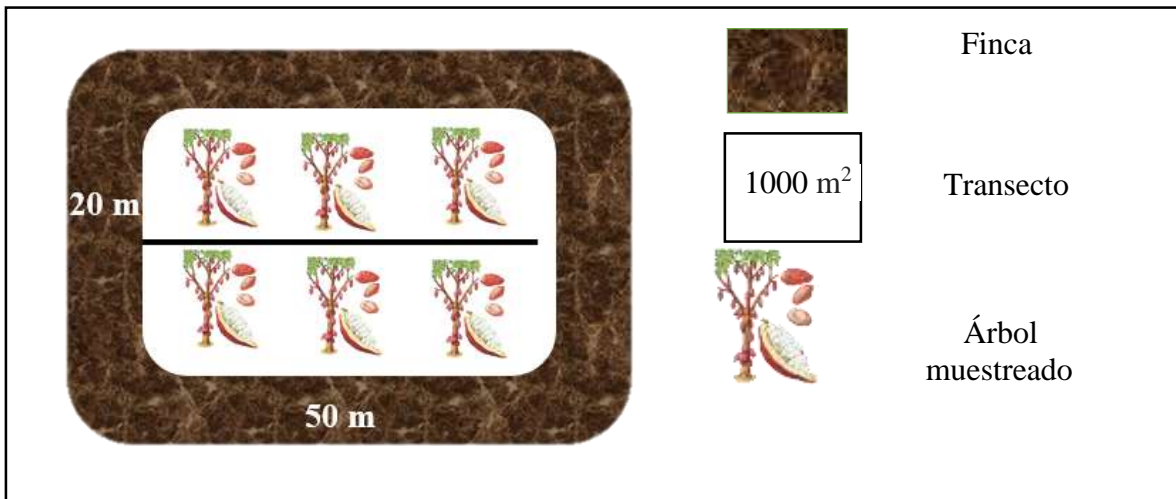


Figura 2. Distribución de toma de muestras. Fuente: Elaboración propia

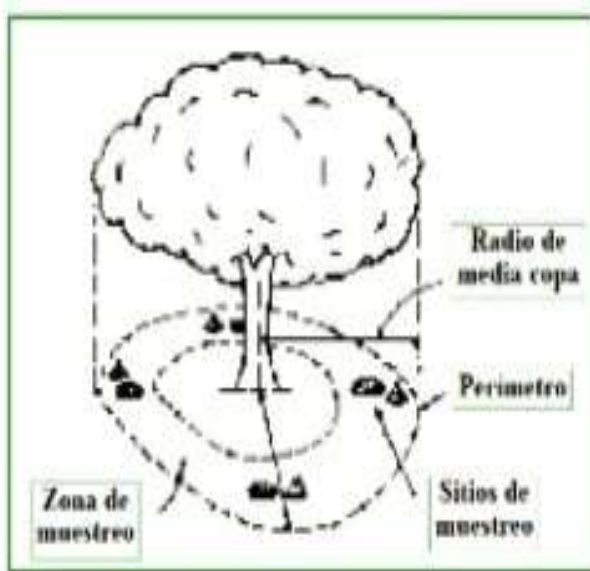


Figura 3. Diagrama de toma de muestras de suelos en la proyección de la copa del árbol de cacao. Fuente: Barrueta (2015)

5.3 Georeferenciación

Tanto las fincas como los sitios muestreados fueron georeferenciados con el GPS (anexos 19) con el fin de poder precisar la ubicación de los sitios con más altos niveles de cadmio (Tabla 6).

Tabla 6. *Datos de la georeferenciación de las fincas muestreadas*

Georeferenciación				
Fincas	Altura msnm	Coordenadas		Área m²
		N	W	
La Granja	803	6° 50.538'	73° 26.212'	1002
El Cerrito	956	6° 50.333'	73° 25.803'	980
Veremos	955	6° 50.740'	73° 26.529'	800
La ceiba	923	6° 50.740'	73° 26.529'	1042
El Líbano	954	6° 50.740'	73° 26.529'	980
Alto Viento	799	6° 49.777'	73° 26.117'	854
Villa Karen	1122	6° 50.029'	73° 26.069'	840
Aidé	806	6° 50.429'	73° 26.560'	600
El Olvido	876	6° 50.842'	73° 25.480'	902

Nota. Fuente. (Elaboración propia)

5.4 Análisis de laboratorio

5.4.1. Análisis de pH y conductividad eléctrica

El pH y la conductividad eléctrica se midieron usando el método electrométrico (Mc. Lean, 1982). Este método comprende el uso de un par de electrodos de vidrio, uno de estos es sensible a los iones hidrógeno (H^+) y el otro electrodo es usado como referencia. Se preparó una solución acuosa con 10 g de suelo y 20 ml de agua destilada (relación 1:2 de suelo y agua), esta solución se agitó manualmente, se dejó en reposo por 30 minutos y se midió el pH y la conductividad en el sobrenadante.

5.4.2. Análisis de textura

Se determinó mediante el método del hidrómetro, descrito por Gee y Bauder (1986). Se pesaron 50 g de suelo y se le adicionaron 50 mL de una solución dispersante de hexametáfosfato de sodio (50 g de hexametáfosfato en 1000 mL de agua destilada). Esta suspensión se pasó a un vaso de licuadora y se agitó durante 5 minutos. La mezcla se transfirió a un cilindro graduado de 1 litro, se completó hasta el aforo con agua destilada, luego se agitó con una varilla de metal durante un minuto e inmediatamente después se introdujo el hidrómetro realizando la primera lectura a los 40 segundos. Con este valor se determinó la cantidad de limo y arcilla que contenía la muestra de suelo. Se hizo una segunda medición a las cinco horas con el fin de cuantificar el porcentaje de arcilla del suelo. Por diferencia entre ambas medidas se obtuvo el porcentaje de limo y por diferencia de la primera medida a 100, se determinó el porcentaje de arena (Anexo 9).

5.4.3. Materia orgánica

La determinación de la materia orgánica se realizó por el método de pérdidas de peso por ignición o calcinación. El método de calcinación o pérdida de peso por ignición (PMOI),

cuantifica el contenido de MO a partir de diferencias gravimétricas, luego de ser sometida la muestra a temperaturas elevadas durante un determinado tiempo (David, 1988). Previo a la determinación de la materia orgánica, cada muestra fue secada a 105 °C durante dos horas, para determinar el contenido de humedad. Posteriormente, las muestras de suelo se introdujeron en una mufla a 450 °C por 6 horas (Anexo 10). El cálculo del porcentaje de materia orgánica se hizo mediante la siguiente ecuación:

$$\%PMOI = [(Peso \text{ a } 105 \text{ } ^\circ\text{C}) - (Peso \text{ a } 450 \text{ } ^\circ\text{C}) / (Peso \text{ a } 105 \text{ } ^\circ\text{C}) * 100]$$

5.4.4. Análisis de fósforo disponible

Para la determinación del fósforo disponible se usó la metodología propuesta por Bray II (1945). Se pesaron 2,85 g de suelo y se transfirió a los frascos de extracción, se procedió a agitación en una centrifuga, se le agrego a las muestras simultáneamente 20 mL de la solución extractante, se taparon los frascos y se agitaron nuevamente por 40 segundos. Se filtró a través de papel filtro todas las muestras en tubos de ensayo de 25mL, se midió con una pipeta volumétrica 1 mL de los extractos. Se agregaron a los tubos con una bureta 2mL de molibdato de amonio y 6 mL de agua destilada. Se agitó y se agregó 1 mL de solución diluida de cloruro estannoso, se agito de nuevo. La determinación de la concentración de fósforo se realizó con un fotolorímetro a 660 nm a un intervalo entre 10 y 15 minutos de desarrollado del color (Bray y Kurtz, 1945).

5.4.5. Análisis de cadmio en los suelos

Para la determinación de la concentración de cadmio de los suelos se siguió la metodología propuesta por Roberts, Turner y Syers (1976). Se pesaron 2.5 g de suelo seco y tamizado por la malla de diámetro de hueco < 2mm y se colocaron en un vaso de

precipitado, se le adicionó 10 mL de la solución extractante (0.05N HCL + 0.025N H₂SO₄) seguidamente se mezclaron manualmente y se procedió a agitación en un shaker por 15 minutos. Se filtró a través de papel filtro en un matraz volumétrico de 25 mL y se diluyó hasta 25 mL con la solución de extracción luego se guardaron e identificaron debidamente para su posterior análisis.

Se determinó la concentración del elemento utilizando las normas de estandarización y se midió con un espectrofotómetro de absorción atómica marca Perkin Elmer.

5.4.6. Análisis estadístico

Para el procesamiento de los datos se usó la estadística descriptiva como media, desviación típica, valores máximos y valores mínimos debido a que se trata de un estudio descriptivo de los datos. Adicionalmente, se aplicó un análisis de la varianza (ANOVA) para determinar el nivel de significancia y se utilizó la prueba de Tukey para la comparación de medias. Para relacionar las variables de interés se aplicó un análisis de correlación lineal de Pearson. El procesamiento de los datos se llevó a cabo con el paquete estadístico IBM SPSS Statistics versión 21.

6. Resultados y Análisis

6.1. Descripción de las características químicas y físicas de los suelos

Al evaluar el comportamiento de las variables químicas y físicas de los suelos mediante el análisis de la varianza de una vía (ANOVA) se encontró que el pH, la materia orgánica y los porcentajes de arcilla, limo y arena presentaron diferencias significativas para cada sitio de estudio al considerar las dos profundidades evaluadas (Tabla 7). Adicionalmente se realizó la estadística descriptiva tanto por profundidad para todas las fincas (Anexo 17) como por variable para cada sitio (Anexo 18).

Tabla 7. *Análisis de la varianza para las variables pH, conductividad eléctrica, materia orgánica, fósforo disponible, porcentaje de arcilla, limo y arena en los suelos de las diferentes fincas cultivadas con cacao.*

			Suma de cuadrados	Gl	Media cuadrática	F	Sig.
pH * Sitio	Inter-grupos	(Combinadas)	8,615	8	1,077	27,884	,000
	Intra-grupos		1,043	27	,039		
	Total		9,657	35			
CEdSm * Sitio	Inter-grupos	(Combinadas)	1,303	8	,163	2,214	,059
	Intra-grupos		1,986	27	,074		
	Total		3,288	35			
MO * Sitio	Inter-grupos	(Combinadas)	65,315	8	8,164	8,297	,000
	Intra-grupos		26,567	27	,984		
	Total		91,882	35			
Fósforo* Sitio	Inter-grupos	(Combinadas)	,000	8	,000	1,000	,459
	Intra-grupos		,000	27	,000		
	Total		,000	35			
Arcilla * Sitio	Inter-grupos	(Combinadas)	3300,000	8	412,500	11,647	,000
	Intra-grupos		956,250	27	35,417		
	Total		4256,250	35			
Limo * Sitio	Inter-grupos	(Combinadas)	1332,639	8	166,580	6,111	,000
	Intra-grupos		735,938	27	27,257		
	Total		2068,576	35			
Arena * Sitio	Inter-grupos	(Combinadas)	1769,097	8	221,137	3,522	,007
	Intra-grupos		1695,313	27	62,789		
	Total		3464,410	35			
Cadmiomgkg * Sitio	Inter-grupos	(Combinadas)	,031	8	,004	,875	,549
	Intra-grupos		,120	27	,004		
	Total		,151	35			

Nota. Fuente (Elaboración propia)

6.1.1. pH de los suelos. De acuerdo con los resultados presentados en la figura 13, los suelos de las diferentes fincas muestreadas presentaron valores de pH que oscilaron entre 3,52 y 5,35 a la profundidad de 0-20 cm, mientras que de 20-40 cm los datos estuvieron entre 3,58 y 5,38 (Figura 4).

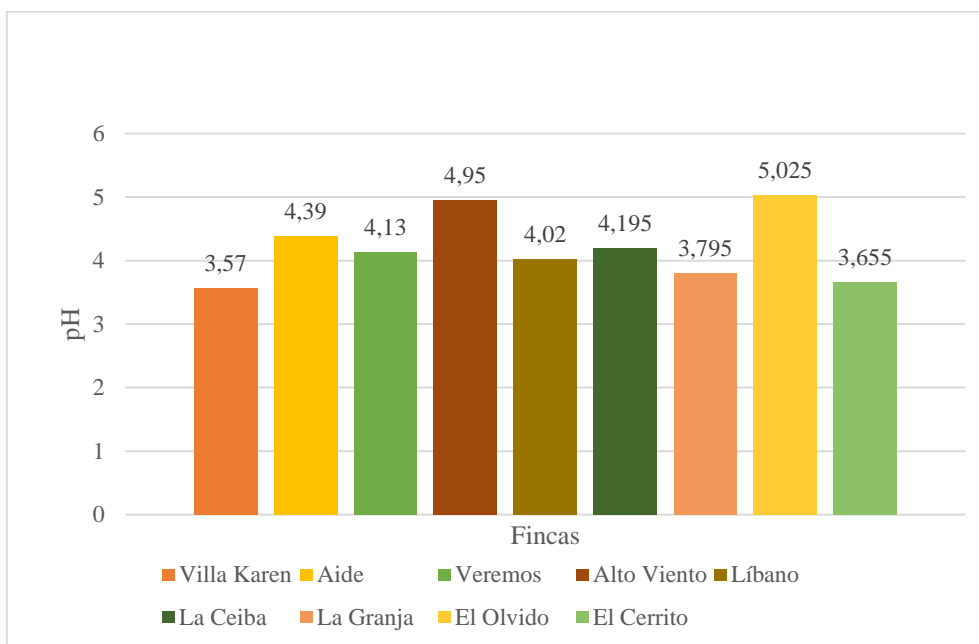


Figura 4. Valores de pH a la profundidad 0-20 cm en suelos de diferentes fincas cultivadas con cacao en la vereda La Esmeralda, San Vicente de Chucuri. Fuente: Elaboración propia

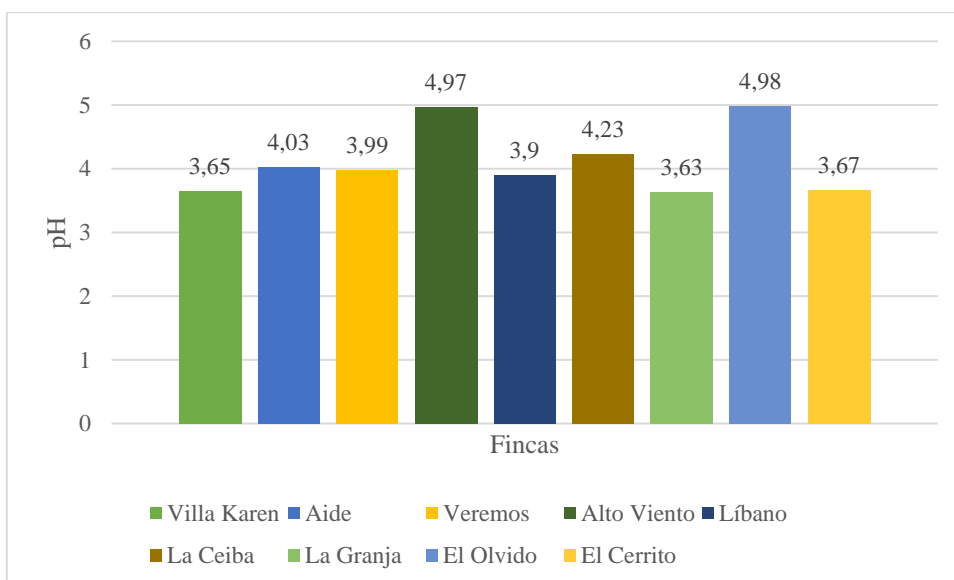


Figura 5. Valores de pH a la profundidad 20-40 cm en suelos de diferentes fincas cultivadas con cacao en la vereda La Esmeralda, San Vicente de Chucuri. Fuente: Elaboración propia

Estos valores permiten caracterizar el pH de los suelos entre fuertemente a moderadamente ácido (Jaramillo, 2002). Es común encontrar suelos con pH ácido en este tipo de sistemas agrícolas, puesto que siempre presentan abundante aporte de materia orgánica y,

durante el proceso de descomposición de ésta se liberan iones hidrógeno (H) que hacen que el pH del suelo disminuya. Adicionalmente, se trata de una zona con temperaturas altas donde los procesos de descomposición de la materia orgánica son más acelerados, lo cual incide en la disminución del pH del suelo (Oades, 1984) (Morales, Peña, Escobar y Garcia, 2011).

El pH es una propiedad que influye en las características físicas, químicas y biológicas de los suelos. Este parámetro determina la movilidad de los distintos elementos en el suelo y por lo tanto tiene incidencia sobre la disponibilidad de nutrientes y sobre el riesgo de toxicidad de ciertos elementos para las plantas. Su determinación es muy útil para poder entender los procesos que están ocurriendo en los suelos y decidir, en algunos casos, las prácticas de manejo a adoptar.

Desde el punto de vista de la dinámica del cadmio en los suelos, el pH juega un papel fundamental puesto que muchos metales pesados aumentan su efecto tóxico cuando el pH del suelo es ácido (Tadeo y Gómez-Cadenas, 2008). Bajo las condiciones encontradas en este estudio, es posible que este tipo de elementos presenten una alta solubilidad y movilidad, produciendo efectos altamente tóxicos en suelos, plantas, microorganismos y seres humanos (Guzmán y Barreto, 2011).

6.1.2. Conductividad eléctrica de los suelos. La figura 6 muestra los datos de conductividad eléctrica de los suelos de las diferentes fincas estudiadas. En ella podemos ver que los valores oscilaron entre 0,22 y 1,49 dS/m para la profundidad de 0-20 cm, mientras que de 20 a 40 cm en la figura 16 se aprecia que los valores de conductividad estuvieron entre 0,15 y 1,46 dS/m.

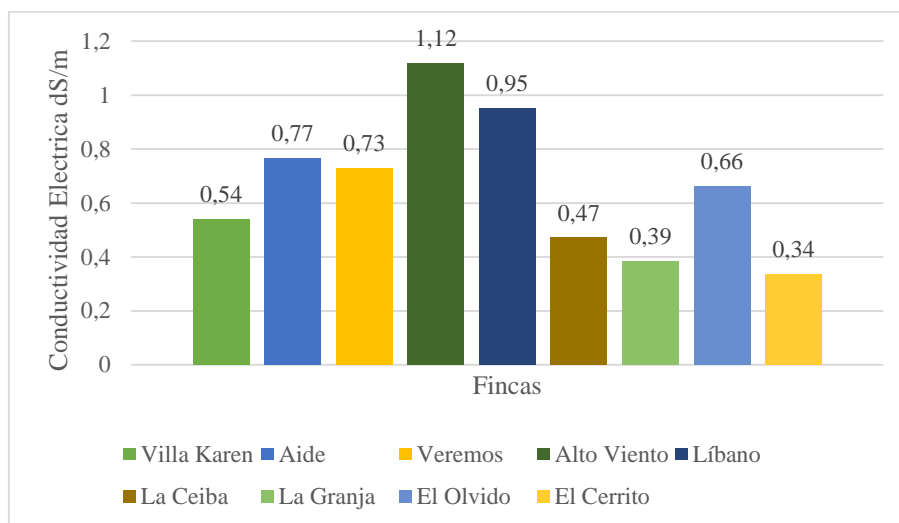


Figura 6. Conductividad eléctrica a la profundidad de 0-20 cm en suelos de diferentes fincas cultivadas con cacao en la vereda La Esmeralda, San Vicente de Chucuri. Fuente: Elaboración propia

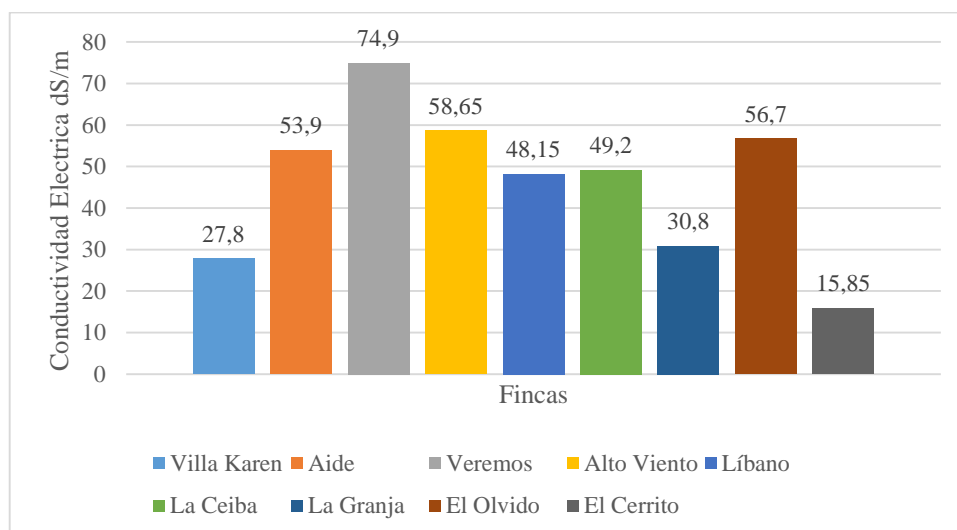


Figura 7. Conductividad eléctrica a la profundidad de 20-40 cm en suelos de diferentes fincas cultivadas con cacao en la vereda La Esmeralda, San Vicente de Chucuri. Fuente: Elaboración propia

Los datos de conductividad eléctrica permiten caracterizar a estos suelos como no salinos. Es lógico esperar estos resultados debido a que se trata de suelos con pH ácido. Además, por tratarse de una zona con altas precipitaciones normalmente las bases del suelo tienden a lavarse (Jaramillo 2002).

6.1.3. Materia orgánica del suelo. Los suelos de las diferentes fincas estudiadas presentaron valores de materia orgánica que oscilaron entre 4,71 a 8,78% para la profundidad d 0-20 cm (figura 17) Por otro lado, a la profundidad de 20 a 40 cm la materia orgánica estuvo entre 2,2% y 7,97% (Figura 8).

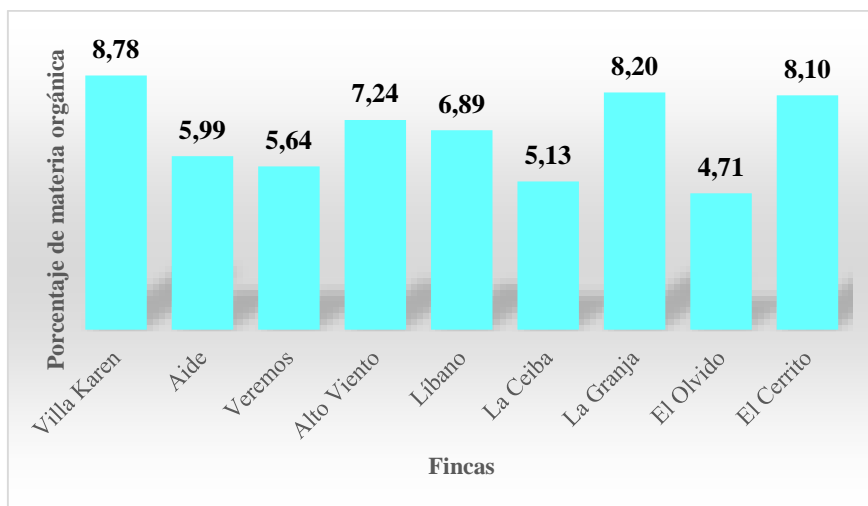


Figura 8. Porcentaje de materia orgánica a la profundidad de 0-20 cm en suelos de diferentes fincas cultivadas con cacao en la vereda La Esmeralda, San Vicente de Chucurí. Fuente: Elaboración propia

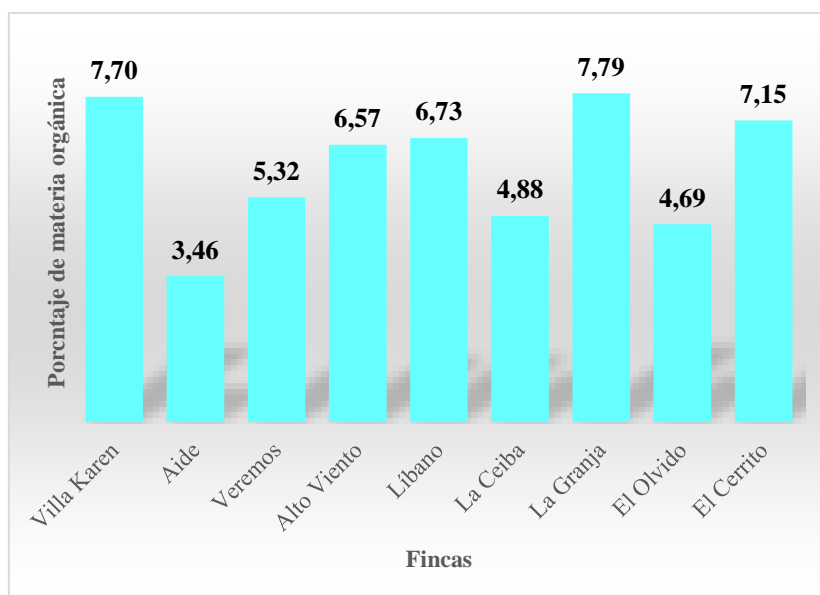


Figura 9. Porcentaje de materia orgánica a la profundidad de 20-40 cm en suelos de diferentes fincas cultivadas con cacao en la vereda La Esmeralda, San Vicente de Chucurí. Fuente: Elaboración propia

Los porcentajes de materia orgánica encontrados en estos suelos son relativamente altos si se comparan con los valores comúnmente presentes en zonas tropicales. Las fincas Aidé, La Ceiba y El Olvido presentaron los porcentajes más bajos, mientras que Villa Karen, La Granja y El Cerrito obtuvieron los porcentajes más altos. Este comportamiento probablemente se deba a las condiciones de manejo que se presentan en cada finca. Para el caso de las fincas con los valores más altos, los agricultores suelen utilizar gallinaza para abonar el cultivo, mientras que en las otras fincas no utilizan este tipo de enmiendas. De igual forma, el cultivo de cacao con frecuencia es manejado de manera conservacionista, donde la cobertura vegetal siempre está presente.

6.1.4 Fósforo disponible en el suelo

Los suelos de las diferentes fincas estudiadas presentaron valores promedio de fósforo disponible que oscilaron entre 0,96 a 0,21 mg/kg para la profundidad de 0-20 cm (Figura 19). Por otro lado, a la profundidad de 20 a 40 cm la concentración de fósforo estuvo entre 0,29 y 0,74 mg/kg (Figura 10).

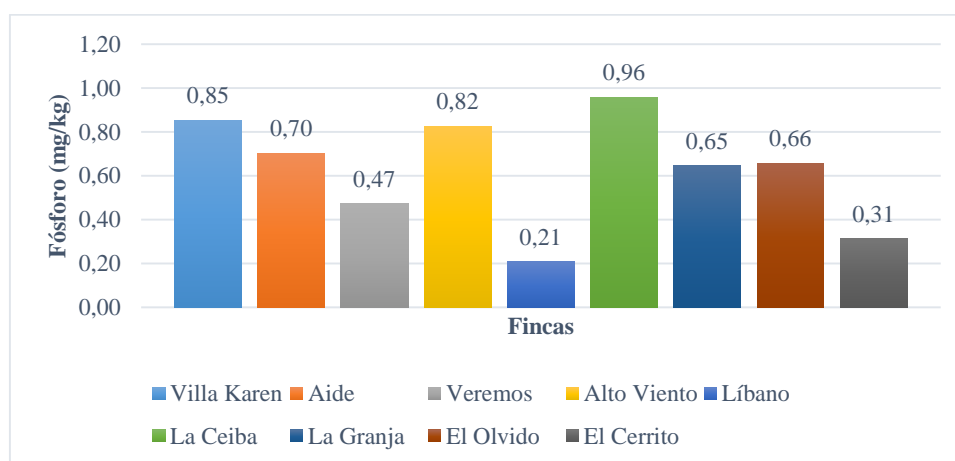


Figura 10. Contenido de fósforo a la profundidad de 0-20 cm en suelos de diferentes fincas cultivadas con cacao en la vereda La Esmeralda, San Vicente de Chucuri. Fuente: Elaboración propia

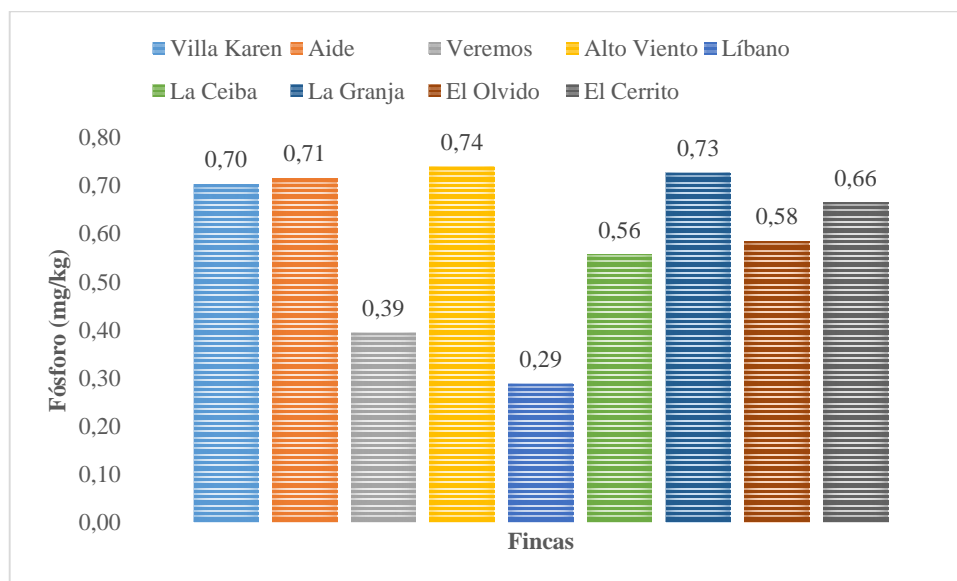


Figura 11. Porcentaje de fósforo a la profundidad de 20-40 cm en suelos de diferentes fincas cultivadas con cacao en la vereda La Esmeralda, San Vicente de Chucuri. Fuente: Elaboración propia

Las fincas con los contenidos más bajos de fósforo disponible fueron Veremos, Líbano y El Cerrito en ambas profundidades, con excepción de El Cerrito de 20 a 40 cm. Por otro lado, las fincas Villa Karen, La Ceiba y Alto Viento presentaron los valores más bajos. Una ligera disminución de la concentración de fósforo se aprecia a la profundidad de 20 a 40 cm. Los contenidos de fósforo en estos suelos son considerados relativamente bajos para este tipo de agroecosistema. De igual manera, la concentración más alta en los primeros centímetros de resulta beneficio para las plantas debido a la baja movilidad que presenta este elemento en el suelo y porque en la superficie el mayor volumen de raíces absorbentes (Rousseau, Deheuvels y Somarriba, 2012).

6.1.5 Textura

El porcentaje de arena, limo y arcilla de los suelos cultivados con cacao se presentan en las figuras 21 y 22. En ellas se puede apreciar que los porcentajes de arcilla están entre 24,6 y 62,1%, el limo entre 25,0 y 60,0% y la arena la cual oscila entre 0,40 a 50,4%, para la profundidad de 0-20 cm, mientras que a la profundidad de 20 a 40 presentaron valores de arcilla que oscilan entre 29,6 a 64,6%, limo de 25,0 a 60,0% y arena entre 0,40 a 25,4 % (Figura 12).

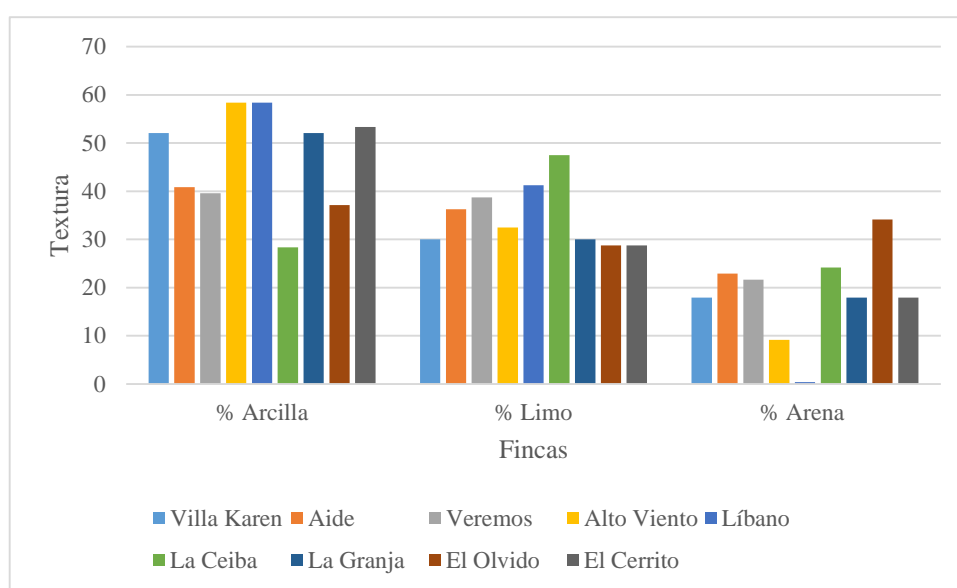


Figura 12. Porcentaje de arena, limo y arcilla a la profundidad de 0-20 cm en suelos de diferentes fincas cultivadas con cacao en la vereda La Esmeralda, San Vicente de Chucuri. Fuente: Elaboración propia.

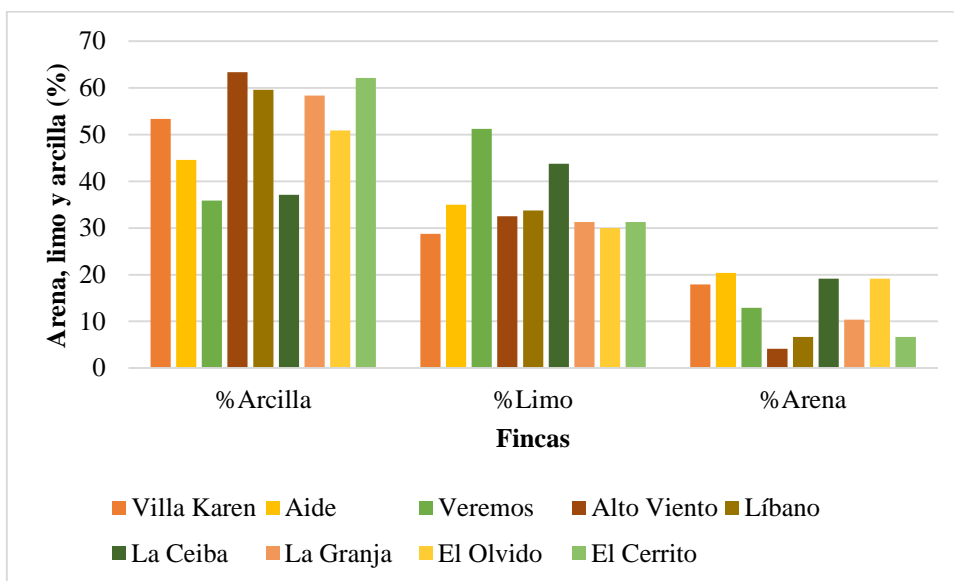


Figura 13. Porcentaje de arena, limo y arcilla a la profundidad de 20-40 cm en suelos de diferentes fincas cultivadas con cacao en la vereda La Esmeralda, San Vicente de Chucuri. Fuente: Elaboración propia.

De acuerdo con la clasificación textural, estos suelos presentan texturas franco arcillosa en su mayoría. La textura es una propiedad que afecta significativamente el comportamiento de los suelos, especialmente la dinámica de los nutrientes. Suelos con altos contenidos de arcilla presentan una mayor capacidad de retener agua y nutrientes y tienden a ser más fértiles. Esta propiedad aunada a los altos porcentajes de materia orgánica le confiere al suelo una mayor capacidad de amortiguamiento ante posibles perturbaciones.

6.1.6. Concentración de cadmio en los suelos

En la Figura 14 se muestra la concentración de cadmio en los suelos de las diferentes fincas cultivadas con cacao estudiadas. Los contenidos de cadmio más bajos se observaron en los primeros 20 cm de suelo y un ligero incremento se observó con aumento de la profundidad a 40 cm.

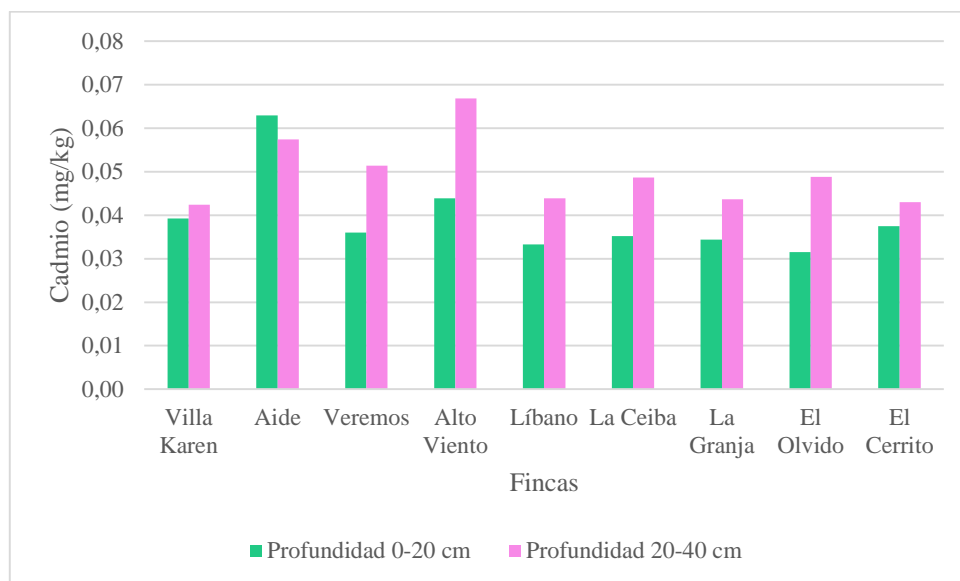


Figura 14. Concentración de cadmio a las profundidades de 0-20 y 20-40 cm en suelos de diferentes fincas cultivadas con cacao en la vereda La Esmeralda, San Vicente de Chucuri. Fuente: Elaboración propia

Los valores de cadmio en estos suelos con relativamente más bajos en comparación con los niveles máximos permitidos en la regulación de los contenidos de cadmio en los alimentos aprobada por la Unión Europea de 0,5 mg/kg para el caso de la almendra de cacao. En tal sentido, se puede asumir con total certeza que al ser baja la concentración en el suelo, en la planta lo será también.

Esta información generada es particularmente importante puesto que la vereda La Esmeralda es una de las principales zonas productoras de cacao actualmente en el municipio San Vicente de Chucuri del Departamento de Santander, el cual es uno de los mayores productores de cacao por su extensión y rendimiento.

La importancia de evaluar ciertas variables físicas y químicas del suelo radica en el hecho de que la toxicidad de los metales depende tanto de la movilidad del elemento como de la reactividad con otros componentes del ecosistema, entre éstos la materia orgánica, la fracción mineral del suelo y el pH (Bravo et al., 2014).

Por ejemplo, suelos con altos contenidos de materia orgánica u óxidos de hierro adsorben más Cd que los que tienen grandes cantidades de arcillas tipo 2:1 (Lofts et al., 2005). La fracción orgánica más estable puede llegar a retener los metales pesados, y en particular el Cd, en formas no disponibles, mientras que la materia orgánica del suelo asociada a la fracción soluble logra acomplejar el cadmio facilitando su movilidad en el suelo y al mineralizarse permite mayor disponibilidad para las plantas (Clemente y Bernal, 2006).

En suelos altoandinos de la subcuenca del río Las Piedras (Cauca) Colombia, Bravo et al., (2014), encontraron que la adsorción de cadmio y su movilidad estuvo fuertemente asociada con las características físicas y químicas especialmente la textura, el pH, el carbono orgánico (CO), el aluminio (Al) intercambiable y las bases de cambio Ca y Mg. También encontraron que la calidad de la materia orgánica tuvo un efecto significativo en dichos procesos. Una mejor calidad de la materia orgánica redundó en una menor movilidad del cadmio, previniendo la contaminación de aguas subterráneas y la toxicidad por bioacumulación. Por su parte, la fracción de la materia orgánica asociada a los ácidos húmicos tuvo un papel primordial en la retención de Cd, formando enlaces fuertes en sus grupos carboxílicos y fenólicos, con mayor capacidad y fuerza de retención que el resto de fases adsorbentes; mientras que los AF (ácidos fenólicos) movilizaron el metal por fenómenos de complejación y solubilización. Las condiciones de suelos fuertemente ácidos favorecieron la contaminación y la toxicidad por bioacumulación de Cd, efecto que fue contrarrestado por el incremento en la calidad de la materia orgánica y el pH.

6.1.7 Relación del cadmio con las variables físicas y químicas evaluadas

Con el fin de relacionar las variables de estudio analizadas se aplicó un análisis de correlación lineal de Pearson (Tabla 8). En el mencionado análisis se puede apreciar que el

pH presentó una correlación negativa y altamente significativa ($p < 0,01$) con la materia orgánica del suelo, mientras que el porcentaje de arcilla se correlacionó positiva y significativamente ($p < 0,05$) con la materia orgánica del suelo. El cadmio por su parte no presentó correlación con ninguna de las variables evaluadas.

Tabla 8. *Análisis de correlación lineal de Pearson para las variables de suelo evaluadas en fincas productoras de cacao.*

			a							
Variables de control			pH	CE dS/m	MO (%)	Fósforo μg/g	Arcilla (%)	Limo (%)	Arena (%)	Cadmio (mg/kg)
Prof.	pH	Correlación	1,000	,421	-,446	-,223	-,073	,057	,036	-,045
		Significación (bilateral)		,012	,007	,197	,676	,743	,837	,798
		Gl	0	33	33	33	33	33	33	33
	CEdSm	Correlación	,421	1,000	-,236	,061	-,076	,149	-,034	,078
		Significación (bilateral)	,012		,173	,727	,664	,393	,845	,656
		Gl	33	0	33	33	33	33	33	33
	MO	Correlación	-,446	-,236	1,000	,175	,661	-,415	-,408	,147
		Significación (bilateral)	,007	,173		,314	,000	,013	,015	,399
		Gl	33	33	0	33	33	33	33	33
	Fósforo μgg	Correlación	-,223	,061	,175	1,000	,088	-,167	,035	-,014
		Significación (bilateral)	,197	,727	,314		,616	,339	,840	,935
		Gl	33	33	33	0	33	33	33	33
	Arcilla	Correlación	-,073	-,076	,661	,088	1,000	-,502	-,719	,124
		Significación (bilateral)	,676	,664	,000	,616		,002	,000	,478
		Gl	33	33	33	33	0	33	33	33
	Limo	Correlación	,057	,149	-,415	-,167	-,502	1,000	-,240	-,055
		Significación (bilateral)	,743	,393	,013	,339	,002		,164	,754
		gl	33	33	33	33	33	0	33	33
	Arena	Correlación	,036	-,034	-,408	,035	-,719	-,240	1,000	-,095
		Significación (bilateral)	,837	,845	,015	,840	,000	,164		,588
		gl	33	33	33	33	33	33	0	33
	Cadmio mgkg	Correlación	-,045	,078	,147	-,014	,124	-,055	-,095	1,000
		Significación (bilateral)	,798	,656	,399	,935	,478	,754	,588	
		gl	33	33	33	33	33	33	33	0

Nota. Fuente (Elaboración propia)

La importancia de evaluar ciertas variables físicas y químicas del suelo radica en el hecho de que la toxicidad de los metales depende tanto de la movilidad del elemento como de la reactividad con otros componentes del ecosistema, entre éstos la materia orgánica, la fracción mineral del suelo y el pH (Bravo et al., 2014).

Por ejemplo, suelos con altos contenidos de materia orgánica u óxidos de hierro adsorben más Cd que los que tienen grandes cantidades de arcillas tipo 2:1 (Lofts et al., 2005). La fracción orgánica más estable puede llegar a retener los metales pesados, y en particular el Cd, en formas no disponibles, mientras que la materia orgánica del suelo asociada a la fracción soluble logra acomplejar el cadmio facilitando su movilidad en el suelo y al mineralizarse permite mayor disponibilidad para las plantas (Clemente y Bernal, 2006).

En suelos altoandinos de la subcuenca del río Las Piedras (Cauca) Colombia, Bravo et al., (2014), encontraron que la adsorción de cadmio y su movilidad estuvo fuertemente asociada con las características físicas y químicas especialmente la textura, el pH, el carbono orgánico (CO), el aluminio (Al) intercambiable y las bases de cambio Ca y Mg. También encontraron que la calidad de la materia orgánica tuvo un efecto significativo en dichos procesos.

Estos autores también señalan que una mejor calidad de la materia orgánica redundó en una menor movilidad del cadmio, previniendo la contaminación de aguas subterráneas y la toxicidad por bioacumulación. Por su parte, la fracción de la materia orgánica asociada a los ácidos húmicos tuvo un papel primordial en la retención de Cd, formando enlaces fuertes en sus grupos carboxílicos y fenólicos, con mayor capacidad y fuerza de retención que el resto de fases adsorbentes; mientras que los AF (ácidos fenólicos) movilizaron el metal por fenómenos de complejación y solubilización. Adicionalmente, las condiciones de suelos

fuertemente ácidos favorecieron la contaminación y la toxicidad por bioacumulación de Cd, efecto que fue contrarrestado por el incremento en la calidad de la materia orgánica y el pH.

Resultados opuestos a los obtenidos en esta investigación fueron presentados por Mite et al., (2010), quienes encontraron en suelos dedicados al cultivo de cacao en las provincias de Esmeraldas y Santo Domingo de Ecuador, contenidos de Cd más elevados en los primeros cinco centímetros de profundidad, disminuyendo a medida que se profundiza, principalmente en los suelos de Esmeraldas. Estos resultados fueron atribuidos a una mayor absorción de cadmio desde el subsuelo por parte de las raíces del cacao y, debido al reciclado de materiales que se van depositando en las primeras capas. Otra suposición fue la contaminación por vía antrópica a través de la fertilización.

En Colombia, Martínez (2017) encontró que la presencia de cadmio sobrepasó el límite máximo permisible dado por Holanda de 0,8 mg/kg, en Arauca la concentración fue de 0,98 mg/kg, en Arauquita de 1,39 mg/kg, en Saravena 1,38 mg/kg y en Fortul 1 mg/kg, a diferencia de Tumaco Nariño donde se presentó una concentración promedio de 0,62 mg/kg. Estos autores encontraron que estos niveles estuvieron relacionados con los niveles de fósforo, potasio, pH, materia orgánica, entre otros, y señalan que el uso de fertilizantes orgánicos y químicos tiene una afectación directa en la presencia de cadmio en el suelo. Para corroborarlo calcularon el nivel de enriquecimiento donde se determinó una posible fuente antropogénica de este metal.

6.1.8 Manejo agronómico de las unidades de producción

Las unidades de producción evaluadas se caracterizaron por presentar plantaciones de cacao con edades comprendidas entre los 9 a 40 años de establecidas, asociadas en su mayoría con cultivos como cítricos, plátano, yuca, café, siendo el cacao el cultivo principal.

Como sombra asociada del cultivo utilizan especies como Cedro, Eucalipto, Teca, etc., cuya madera aprovechan para otros usos dentro del predio cuando ya están en condiciones de ser utilizada.

Los cultivares de cacao sembrados en la mayoría de las fincas son CCN-51, Criollo, FSV. La mayor proporción de los predios evaluados, en un 66% son manejados directamente por los propietarios, con tamaños que varían entre 3 hectáreas y 17 hectáreas, el 55% de las plantaciones es menor de 15 años, un 33,33% son fincas con edades entre 15 y 30 años y el 11,11% corresponde a plantaciones de entre 30 y 40 años.

El 100% de los productores realiza podas a las plantaciones anualmente con el fin de mantener la forma del árbol y controlar la escoba de bruja y plantas parasitas principalmente.

Algunos productores expresaron obtener rendimientos de 375 kg/ha/ año en su producción más alta. Las densidades de siembra aproximadas son de 940 a 1100 plantas por ha, con modelo de siembra tipo tres bolillo.

Ninguno de los productores manifiesta haber recibido asistencia técnica, en este sentido es importante destacar que ninguna de estas fincas pertenece a la Federación Nacional de cacaoteros (FEDECACAO).

En relación con el manejo agronómico algunos productores aplican gallinaza como abono, pero en su mayoría no fertilizan el control de maleza lo realizan en forma manual usando Guadaña y machete. Para el control de plagas y enfermedades se maneja principalmente de manera cultural.

En términos generales, el nivel tecnológico de las unidades de producción es bastante bajo a la limitación económica para mejorar la capacidad productiva.

7. Conclusiones

Los suelos de las diferentes fincas estudiadas presentaron valores de pH fuertemente ácido y en contraposición la conductividad eléctrica fue baja indicando que no hay problemas de sales en estos suelos. Por su parte, la materia orgánica fue alta y la concentración de fósforo disponible en el suelo fue muy baja. Los suelos se caracterizaron ser de textura arcillosa y franco arcillosa.

Los bajos contenidos de cadmio, así como su ligero aumento con la profundidad permiten concluir que la presencia de cadmio posiblemente sea de origen geogénico y no de origen antropogénico, especialmente porque los agricultores no fertilizan con roca fosfórica.

Los suelos de las fincas analizadas en la vereda La Esmeralda del municipio San Vicente de Chucuri son aptos para el cultivo de cacao debido a que no presentan altos niveles de cadmio.

8. Recomendaciones

Se recomienda incorporar más fincas que abarquen una mayor área de estudio, así como un mayor número de muestras para obtener una mayor robustez estadística.

Aún cuando los niveles de cadmio en los suelos fueron bajos, es importante analizar si la fuente de ese cadmio deriva de las actividades antrópicas y es de origen natural por meteorización de la roca madre.

Dado los bajos niveles de cadmio encontrados se recomienda que los productores eviten hacer fertilizaciones utilizando como fuente la roca fosfórica que contenga cadmio, debido a que una de las principales fuentes de contaminación por cadmio en zonas agrícolas proviene de la utilización de este fertilizante.

Es importante seguir llevando este tipo de investigaciones en diferentes zonas cacaoteras con el fin de diagnosticar los niveles de cadmio en los suelos y prevenir posibles problemas a futuro en este tema.

Bibliografía

- Agropecuarias, I. I. n. A. d. I. (2010). Avances del monitoreo de presencia de cadmio en almendras de cacao, suelos y aguas en Ecuador. Estación Experimental Tropical Pichilingue. Departamento Nacional de Manejo de Suelos y Aguas. Santo Domingo de los Tsáchilas, Ecuador.
- Arias de Guerrero, A. M. (1980). Resúmenes de tesis de cacao presentadas a la Escuela para Graduados de Turrialba, 1948-1979. CATIE. Serie de Bibliotecología y Documentación. Bibliografías N° 2. 1980. 72 p.
- Athens, G. A. (1970). *Soil testing and plant analysis laboratory*. Lab. Procedures Cooperative Extension Service.
- Albarracín, R. (2017). *Dinámica del cadmio en suelos con niveles altos del elemento, en zonas productoras de cacao de Nilo y Yacopí, Cundinamarca*. Sitio web: <https://goo.gl/qmf3lj>
- Arévalo, E., Zúñiga, L. y Arévalo, C. (2004). *Manejo integrado del cultivo y transferencia de tecnología en la amazonia peruana*. Impresiones del castillo S.A. Chiclayo, Perú.
- Berg, T. y Licht, D. (2002). *International legislation on trace elements as contaminants in food: a review*. Food Addit Contam 19:916–927.
- Bonomelli, C., Bonilla, C. y Valenzuela, A. (2003). *Efecto de la fertilización fosforada sobre el contenido de cadmio en cuatro suelos de Chile*. Pesq. Aqrop. Bras. 38(10):1179-1186.
- Bravo, I., Arboleda, C. y Martín, F. (2014). *Efecto de la calidad de la materia orgánica asociada con el uso y manejo de suelos en la retención de cadmio, en sistemas alto andinos de Colombia*. Acta agronómica, vol. 63, núm. 2 (2014).
- Censalud. (2015). Fermentación de Cacao. Sitio web: http://censalud.ues.edu.co/sv/CDOC-Deployment/documntos/19_Fermentación_del_Cacao-pdf
- Chávez, E., He, Z. L., Stoffella, P. J., Mylavarapu, R. S., Li, y C., y Baligar, V. C. (2016). *Chemical speciation of cadmium: An approach to evaluate plant-available cadmium in Ecuadorian soils under cacao production*. Chemosphere, 150, 57-62.
- Ciba, J., Trojanowska, J. y Zołotajkin. (1996). *A small encyclopedia of elements*. Wyd. Nauk.-tech. Warszawa.
- Colombia Turismo Web. (2019). *San Vicente de Chucurí*. Colombia. Sitio web: <http://www.colombiaturismoweb.com/DEPARTAMENTOS/SANTANDER/MUNICIPIOS/SAN%20VICENTE%20DE%20CHUCURI/SAN%20VICENTE%20DE%20CHUCURI.htm>

- Consultora Euromonitor international. (2013). Fiebres por el chocolate. Summa. Retrieved December 18, 2014, from <http://www.revistasumma.com/estilo-de-vida/36507-fiebres-por-el-chocolate.html>
- Contreras, F., Herrera, T. y Izquierdo, A. (2011). *Efecto de dos fuentes de carbonato de calcio (CaCO₃) sobre la disponibilidad de cadmio para plantas de cacao (Theobroma cacao L.) en suelos de Barlovento, estado Miranda*. Sitio web: <https://goo.gl/Te4JBk>
- Cronquist, A. (1988). *The evolution and classification of flowering plants*, 2nd. ed. The New York Botanical Garden, New York.
- David, M.B. (1988). *Use of loss-on-ignition to assess soil organic carbon in forest soils*. Communications in Soil Science y Plant Analysis 19: 1593-1599.
- Dias MC., Monteiro C., Moutinho-Pereira J., Correia C., Goncalves B. Santos C., 2013 *Cadmium toxicity affects photosynthesis and plant growth at different levels*. Acta Physiological plant 35 1281-1289.
- Espinoza, H., Coto, J., Herrera, J. y Sánchez, J. (2011). *Determinación del contenido de metales pesados tóxicos (cadmio y plomo) en granos de cacao*. Reporte de avance programa de cacao y agroforestería, Informe técnico 2011. Fundación hondureña de investigación agrícola.
- FAO y OMS. Food and Agriculture Organization y Organización Mundial de la Salud. (2015). *Anteproyecto de niveles máximos para el cadmio en el chocolate y productos derivados de cacao*. Programa conjunto fao/oms sobre normas alimentarias comité del codex sobre contaminantes de los alimentos. Sitio web: <https://goo.gl/kwzeci>
- Federación Nacional de Cacaoteros (FEDECACAO). (2018). *Producción de cacao en Colombia*. Sitio web: <http://www.fedecacao.com.co>
- Federación Nacional de Cacaoteros (FEDECACAO). (2013). *Características de calidad del cacao de colombia catálogo de 26 cultivares*. Sitio web: <https://goo.gl/cflg2n>
- Gee, G. W. y Bauder, J. W. (1986). *Particle-size Analysis*. In: Klute, A. (Ed.); "Methods of soil analysis: part I-Physical and mineralogical methods". Agronomy. Second edition, number 9; American Society of Agronomy and Soil Science Society of America; Wisconsin; United States of America. Pp 383-412.
- Gilces, H. A., y Sanmartín, F. M. (2013). *Análisis y selección de proceso de secado de cacao y diseño de prototipo de una unidad secadora tipo plataforma*. Universidad Estatal de Milagro. Milagro, Ecuador.
- Guzmán, M. y Barreto, L. 2011. *Efecto de la materia orgánica del suelo en la retención de contaminantes*. Rev.Epsilon 16:31-45.
- ICCO (International Cocoa Organization). (2012). *The world cocoa economy: past and present*. One hundred and forty-second meeting. Sitio web: <https://goo.gl/ktgb4j>
- ICCO (International Cocoa Organization). (2018). *Quarterly bulletin of cocoa statistics*. vol. XLIV, No. 3 cocoa year 2017/2018

- INVIMA. (2014). *Documento técnico Cadmio en cacao*. Sitio web: https://www.invima.gov.co/images/pdf/inspeccion_y_vigilancia/direccion_alimentos/subsectoriales/Documento-tecnico-Cadmio-en-cacao.pdf
- INVIMA (2014). *Programa de muestreo para el monitoreo de cadmio en productos derivados del cacao (licor de cacao, chocolate de mesa, cocoa en polvo y chocolatina de leche)*. Sitio web: <https://goo.gl/jkrkyd>
- Kirkham, M. (2006). *Cadmium in plants on polluted soils: effect of soil factors, hyperaccumulation and amendments*. Geoderma. Sitio web: <https://goo.gl/v3eitn>
- Lofts, S., Spurgeon, D. y Svendsen, C. (2005). *Fractions affected and probabilistic risk assessment of Cu, Zn, Cd, and Pb in soils using the free ion approach*. Environ. Sci.technol. 39(21):8533-8540.
- Lora, R. y Bonilla, H. (2010). *Remediación de un suelo de la cuenca alta del río bogotá contaminado con los metales pesados Cadmio y Cromo*. Rev. U.d.c.a act. ydiv. Cient. 13 (2): 61-70, 2010.
- Luis, B., (2016). *Perfil del riesgo en inocuidad asociado a la presencia de residuos de cadmio en cacao (Theobroma cacao L.)*. Sitio web: <https://goo.gl/nrp4kd>
- Martínez, G. (2010). *Determinación de metales pesados cadmio y plomo en suelos y granos de cacao fresco y fermentado mediante espectroscopia de absorción atómica de llama*. Sitio web: <https://goo.gl/mJ24sH>
- Mite, F. (2010). *Avances del monitoreo de presencia de cadmio en almendras de cacao, suelos y aguas en ecuador*. Sitio web: <https://goo.gl/fqznac>
- Mc. Lean, E. O. (1982). *Soil pH and Lime Requirement*. En: Page, A. L., Miller, R. H. y Keeney, D. R. (Eds.); "Methods of soil analysis: part II-Chemical and microbiological properties". Agronomy monograph number 9; American Society of Agronomy and Soil Science Society of America; Wisconsin; United States of America. Pp. 199-224.
- Madero Morales, E., Peña Artunduaga, M., Yadira Escobar, B., y García, L. (2011). *Compactación potencial en dos suelos de la parte plana del Valle del Cauca. Parte II*. Acta Agronómica, 60(3), 244-251. Recuperado de https://revistas.unal.edu.co/index.php/acta_agronomica/article/view/28785/29108
- Naranjo, J. (2011). *Caracterización de productos tradicionales y no tradicionales derivados de cacao (Theobroma cacao L.) en el estado de Tabasco, México*. Tesis. Colegio de postgraduados – Institución de Enseñanzas e Investigación de Ciencias Agrícolas. Tabasco – México. 60 p.
- Nieburg, O. (2012). *Interactive Map: Top 20 chocolate consuming nations of 2012*. <http://www.confectionerynews.com/Markets/Interactive-Map-Top-20-chocolate-consuming-nations-of-2012>. Recuperado de: <http://www.confectionerynews.com/Markets/Interactive-Map-Top-20-chocolate-consuming-nations-of-2012>

- Olga, B. (2008). *Estudio de diferentes metodologías para determinar la biodisponibilidad de cadmio y arsénico en suelos y su relación con la concentración en plantas*. Sitio web: [Https://goo.gl/ftcikn](https://goo.gl/ftcikn)
- Pedraza, E. (2017). *Distribución del contenido de cadmio en los diferentes órganos del cacao CCN-51 en suelo aluvial y residual en las localidades de Jacintillo y Ramal de Aspuzana*. Sitio web: [Https://goo.gl/go4abu](https://goo.gl/go4abu)
- Pelaez, J. (2016). *Evaluación del estrés abiótico en brachiaria spp. Inducido por bioacumulación de cadmio y plomo, en una zona aledaña al corredor petrolífero de barrancabermeja (Colombia)*. [Https://goo.gl/akew8p](https://goo.gl/akew8p)
- Pereira de Araujo R., De Almeida A., Silva Pereira L., Mangabeira P., Olimpio Souza J., Pirovani C., Ahnert D., Baligar V. 2017 Photosynthetic, antioxidative, molecular and ultrastuctural responses of young cacao plants to Cd toxicity in the soil. *Ecotoxicology and Environment safety* 144: 148-157.
- PNUMA. Programa de las Naciones Unidas para el Medio Ambiente (2008). *Interim review of scientific information on cadmium*. Geneva: United Nations Environment Program. Sitio web: [Https://goo.gl/ddojy1](https://goo.gl/ddojy1)
- PNUMA. Programa de las Naciones Unidas para el Medio Ambiente (2010). *Análisis del flujo del comercio y revisión de prácticas de manejo ambientalmente racionales de productos conteniendo cadmio, plomo y mercurio en América Latina y el Caribe*. Sitio web: <https://goo.gl/tP4j6c>
- Rivera, S. V. B. (2013). *Guía de métodos de detección y análisis de cadmio en cacao*. USAID. Lima, Perú.
- Rocío, M. G. y Palacio, C. (2010). *Determinación de metales pesados Cadmio y Plomo en suelos y granos de cacao frescos y feermentados mediante espectroscopía de absorción atómica de Llama*. Universidad Industrial de Santander. Bucaramanga, Colombia.
- Rodríguez H. 2017. *Dinámica del cadmio en suelos con niveles altos del elemento, en zonas productoras de cacao de Nilo y Yacopí, Cundinamarca*. Tesis de maestría Universidad Nacional de Colombia, Facultad de Ciencias Agrarias Bogotá, Colombia 105 pag
- Rousseau, GX, O. Deheuvels, IR Arias y Somarriba, E. 2012. *Indicando la calidad del suelo en sistemas agroforestales basados en cacao y bosques primarios: El potencial del conjunto macrofauna del suelo*. *Ecol. Indic.*, 23: 535-543.

- Sánchez, B. (2016). *Ecotoxicología del cadmio*. Sitio web: [Http://147.96.70.122/web/tfg/tfg/memoria/gara%20sanchez%20barron.pdf](http://147.96.70.122/web/tfg/tfg/memoria/gara%20sanchez%20barron.pdf)
- Tadeo, F. y Gómez, A. (2008). *Fisiología de las plantas y el estrés*. En: azcón-bieto, J. y M. Talón. *Fundamentos de fisiología vegetal*. 2a ed. McGraw-hill interamericana. Sitio web: <https://goo.gl/kctgqh>
- World Food System Center (WFSC). (2014). *Cadmium availability in soils and its uptake by cocoa in latin america*. Sitio web: [Https://goo.gl/i5dhi3](https://goo.gl/i5dhi3)

Anexos

Fotos tomadas en los sitios de muestreos

Anexo 1.



Anexo 2.



Anexo 3.



Anexo 4.



Anexo 5.



Anexo 6.



Anexo 7.



Anexo 8.



Fotos tomadas en laboratorio

Anexo 9. Textura



Anexo 10. Materia orgánica



Anexo 11. Fosforo



Anexo 12. Cadmio



Anexo 13. Cadmio



Anexo 14. Cadmio



Anexo 15. Entrevistas a productores

Finca El olvido

UNIVERSIDAD DE PAMPLONA						
Identificación del encuestado:						
Nombre: <i>Dora Corzo</i>						
Cargo del encuestado	Administrador	Empleado	Familiar	Sexo:	M	F
<i>Propietario</i>						<input checked="" type="checkbox"/>
Edad: <i>67</i>						
Identificación de la finca						
Nombre de la finca			Superficie total del predio			
<i>El olvido</i>			<i>1 ha</i>			
Tenencia de la finca		Propio	Arrendado	Otros		
		<input checked="" type="checkbox"/>				
Edad del cultivo de cacao		<i>entre 20 y 30 años</i>				
Ubicación						
Coordenadas	<i>X: 06°49'39"</i>	<i>W: 076°05'05.6"</i>	Altura	<i>876</i>	msnm	
Datos demográficos						
N° de integrantes de la familia que sean dependientes <i>2</i>						
Reside ingresos de otra actividad diferente a la agricultura				Si	No <input checked="" type="checkbox"/>	
Qué porcentaje representa estos ingresos		0-10%	10-20%	20-40%	40-60%	60-80%
						>80%
Pertenece a algún gremio agrícola:		Si	No <input checked="" type="checkbox"/>			
		Cual				
Vive en el predio		Si	No	Distancia del predio al centro urbano cercano si vive en la finca		
		<input checked="" type="checkbox"/>		<i>10 Km</i>		
Ambiente						
Característica de la finca						
Cultivo	<i>Cacao</i>	Asociado	Si <input checked="" type="checkbox"/>	No		
Cultivo asociado: <i>Ortulos, café</i>						

Manejo agronómico						
Tipo de prácticas agronómicas	Frecuencia					
	Quincenal	Mensual	Bimensual	Trimestral	Semestral	Anual
Poda						<input checked="" type="checkbox"/>
Cosecha		<input checked="" type="checkbox"/>				
Riego						
Control de malezas				Infraestructura		
				Sin riego	canales	Secano
Control de plagas				Manual	Mecánico	Herbicida
				<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>
Control de enfermedades				Cultural	Insecticida	
				<input checked="" type="checkbox"/>		
Semilla	<i>Certificada</i>					
Fertilización					<input checked="" type="checkbox"/>	Dosis <i>Reducción cal, 25%</i>
Fertiliza con roca fosfórica <i>embajada 17-6.</i>						

Finca Villa Karen

UNIVERSIDAD DE PAMPLONA Figura 221001
hexágono.

Identificación del encuestado:						
Nombre: <i>Jose Angel Abán</i>						
Cargo del encuestado	Administrador	Empleado	Familiar	Sexo:	M	F
	<input checked="" type="checkbox"/>				<input checked="" type="checkbox"/>	
Edad: <i>39</i>						
Identificación de la finca						
Nombre de la finca				Superficie total del predio		
<i>Villa Karen.</i>				<i>6 ha</i>		
Tenencia de la finca	Propio	Arrendado	Otros			
		<input checked="" type="checkbox"/>				
Edad del cultivo de cacao: <i>9 años</i>						
Ubicación						
Coordenadas		<i>X: 06°30'13.9"</i>	<i>Y: 073°25'49.0"</i>	Altura	<i>1122</i>	msnm
Datos demográficos						
Nº de integrantes de la familia que sean dependientes: <i>6</i>						
Reside ingresos de otra actividad diferente a la agricultura				Si	No	
					<input checked="" type="checkbox"/>	
Qué porcentaje representa estos ingresos		0-10%	10-20%	20-40%	40-60%	60-80%
						<input checked="" type="checkbox"/>
Pertenece a algún gremio agrícola:		Si		No		
				<input checked="" type="checkbox"/>		
		Cual				
Vive en el predio		Si	No	Distancia del predio al centro urbano cercano si vive en la finca		
		<input checked="" type="checkbox"/>		<i>6 KI</i>		
Ambiente						
Característica de la finca						
Cultivo	<i>cacao</i>	Asociado	Si	No		
			<input checked="" type="checkbox"/>			
Cultivo asociado: <i>plátano</i>						

Manejo agronómico																														
Tipo de prácticas agronómicas	Frecuencia																													
	Quincenal	Mensual	Bimensual	Trimestral	Semestral	Anual																								
Poda						<input checked="" type="checkbox"/>																								
Cosecha		<input checked="" type="checkbox"/>																												
Riego						<table border="1"> <tr> <td>Sin riego</td> <td>canales</td> <td>Secano</td> </tr> <tr> <td></td> <td></td> <td><input checked="" type="checkbox"/></td> </tr> <tr> <td>Manual</td> <td>Mecánico</td> <td>Herbicida</td> </tr> <tr> <td></td> <td><input checked="" type="checkbox"/></td> <td></td> </tr> <tr> <td>Cultural</td> <td>Insecticida</td> <td></td> </tr> <tr> <td><input checked="" type="checkbox"/></td> <td></td> <td></td> </tr> <tr> <td>Cultural</td> <td></td> <td></td> </tr> <tr> <td><input checked="" type="checkbox"/></td> <td></td> <td></td> </tr> </table>	Sin riego	canales	Secano			<input checked="" type="checkbox"/>	Manual	Mecánico	Herbicida		<input checked="" type="checkbox"/>		Cultural	Insecticida		<input checked="" type="checkbox"/>			Cultural			<input checked="" type="checkbox"/>		
Sin riego	canales	Secano																												
		<input checked="" type="checkbox"/>																												
Manual	Mecánico	Herbicida																												
	<input checked="" type="checkbox"/>																													
Cultural	Insecticida																													
<input checked="" type="checkbox"/>																														
Cultural																														
<input checked="" type="checkbox"/>																														
Control de malezas																														
Control de plagas																														
Control de enfermedades																														
Semilla	<i>Certificada.</i>																													
Fertilización					<input checked="" type="checkbox"/>	Dosis																								
Fertiliza con roca fosfórica																														
Frecuencia: <i>Triple quince anual.</i>																														

Finca Alto viento

UNIVERSIDAD DE PAMPLONA										
Identificación del encuestado:										
Nombre: <i>Camilo Gómez Ortiz</i>										
Cargo del encuestado	Administrador	Empleado	Familiar	Sexo:	M	F	Edad	80.		
<i>Propietario</i>										
Identificación de la finca										
Nombre de la finca			<i>Alto viento</i>				Superficie total del predio			<i>15 ha</i>
Tenencia de la finca		Propio <input checked="" type="checkbox"/>	Arrendado		Otros					
Edad del cultivo de cacao		<i>entre 15 y 20 años.</i>								
Ubicación										
Coordenadas		<i>XN 06°50'42"</i>		<i>YW 073°26'36,5"</i>		Altura		<i>779</i> msnm		
Datos demográficos										
N° de integrantes de la familia que sean dependientes				<i>2</i>						
Reside ingresos de otra actividad diferente a la agricultura				Si		No <input checked="" type="checkbox"/>				
Qué porcentaje representa estos ingresos		0-10%	10-20%	20-40%	40-60%	60-80%	>80%			
Pertenece a algún gremio agrícola:		Si			No <input checked="" type="checkbox"/>					
		Cual								
Vive en el predio		Si <input checked="" type="checkbox"/>	No		Distancia del predio al centro urbano cercano si vive en la finca					
		<i>10 Kilometros.</i>								
Ambiente										
Característica de la finca										
Cultivo <i>Cacao</i>		Asociado		Si <input checked="" type="checkbox"/>		No				
Cultivo asociado:		<i>Platano Citricos</i>								

Manejo agronómico									
Tipo de prácticas agronómicas	Frecuencia						Infraestructura		
	Quincenal	Mensual	Bimensual	Trimestral	Semestral	Anual			
Poda						<input checked="" type="checkbox"/>			
Cosecha		<input checked="" type="checkbox"/>							
Riego								<input checked="" type="checkbox"/>	
Control de malezas							Manual	Mecánico	Herbicida
Control de plagas							<input checked="" type="checkbox"/>	Insecticida	
Control de enfermedades							<input checked="" type="checkbox"/>		
Semilla	<i>certificada.</i>								
Fertilización							Dosis		
Fertiliza con roca fosfórica									
Frecuencia:									

Finca La granja

UNIVERSIDAD DE PAMPLONA

Identificación del encuestado:									
Nombre: <i>Robinson Manrique</i>									
Cargo del encuestado	Administrador	Empleado	Familiar	Sexo:	M	F	Edad		
<i>Pro de Toro</i>					<input checked="" type="checkbox"/>		<i>36</i>		
Identificación de la finca									
Nombre de la finca		<i>La Granja</i>			Superficie total del predio				
Tenencia de la finca		Propio <input checked="" type="checkbox"/>	Arrendado	Otros					
Edad del cultivo de cacao		<i>entre 10 y 15 años.</i>							
Ubicación									
Coordenadas	<i>XN 08° 50' 32,5"</i>	<i>YW 073° 26' 13,8"</i>	Altura		<i>893</i>	msnm			
Datos demográficos									
N° de integrantes de la familia que sean dependientes <i>5</i>									
Reside ingresos de otra actividad diferente a la agricultura					Si	No <input checked="" type="checkbox"/>			
Qué porcentaje representa estos ingresos		0-10%	10-20%	20-40%	40-60%	60-80%	>80%		
Pertenece a algún gremio agrícola:		Si		No <input checked="" type="checkbox"/>					
		Cual							
Vive en el predio	Si <input checked="" type="checkbox"/>	No	Distancia del predio al centro urbano cercano si vive en la finca						
		<i>9 KM</i>							
Ambiente									
Característica de la finca									
Cultivo <i>cacao</i>	Asociado	Si <input checked="" type="checkbox"/>	No						
Cultivo asociado: <i>cañales, plátano.</i>									

Manejo agronómico									
Tipo de prácticas agronómicas	Frecuencia						Infraestructura		
	Quincenal	Mensual	Bimensual	Trimestral	Semestral	Anual			
Poda						<input checked="" type="checkbox"/>			
Cosecha		<input checked="" type="checkbox"/>							
Riego							Manual	Mecánico	Secano <input checked="" type="checkbox"/>
Control de malezas								<input checked="" type="checkbox"/>	Herbicida
Control de plagas							<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	
Control de enfermedades							<input checked="" type="checkbox"/>		
Semilla	<i>cativada</i>								
Fertilización					<input checked="" type="checkbox"/>		Dosis <i>Triple 15.</i>		
Fertiliza con roca fosfórica									
Frecuencia:	<i>Anualmente</i>								

Manejo agronómico									
Tipo de prácticas agronómicas	Frecuencia						Infraestructura		
	Quincenal	Mensual	Bimensual	Trimestral	Semestral	Anual			
Poda						<input checked="" type="checkbox"/>			
Cosecha		<input checked="" type="checkbox"/>							<input checked="" type="checkbox"/>
Riego							Manual	Mecánico	Herbicida
Control de malezas								<input checked="" type="checkbox"/>	
Control de plagas							Cultural	Insecticida	
Control de enfermedades							Cultural		
Semilla	Certificada								
Fertilización							Dosis	<input checked="" type="checkbox"/>	
Fertiliza con roca fosfórica							<input checked="" type="checkbox"/>		
Frecuencia:	<input checked="" type="checkbox"/>								

Finca La Ceiba

UNIVERSIDAD DE PAMPLONA										
Identificación del encuestado:										
Nombre: <i>Alicia Carreño</i>										
Cargo del encuestado	Administrador	Empleado	Familiar	Sexo:	M	F	Edad	66		
Identificación de la finca										
Nombre de la finca	<i>La Ceiba</i>						Superficie total del predio			
Tenencia de la finca	Propio	<input checked="" type="checkbox"/>	Arrendado							Otros
Edad del cultivo de cacao	<i>30 y 40 años</i>									
Ubicación										
Coordenadas	<i>X N 05° 50' 22" E</i>	<i>Y W 03° 26' 24" A</i>	Altura	<i>923</i>	msnm					
Datos demográficos										
N° de integrantes de la familia que sean dependientes	<i>2</i>									
Reside ingresos de otra actividad diferente a la agricultura	Si						No			
Qué porcentaje representa estos ingresos	0-10%	10-20%	20-40%	40-60%	60-80%	>80%				
Pertenece a algún gremio agrícola:	Si			No						
Cual										
Vive en el predio	Si	<input checked="" type="checkbox"/>	No	Distancia del predio al centro urbano cercano si vive en la finca						
<i>7 KM</i>										
Ambiente										
Característica de la finca										
Cultivo	<i>cacao</i>	Asociado	Si	<input checked="" type="checkbox"/>	No					
Cultivo asociado:	<i>chicos, plátano, café</i>									

Finca Veremos

UNIVERSIDAD DE PAMPLONA

Identificación del encuestado:						
Nombre: <i>Javier Gómez Beltrán</i>						
Cargo del encuestado	Administrador	Empleado	Familiar	Sexo:	M	F
<i>Proprietario</i>					<input checked="" type="checkbox"/>	
Edad: <i>72</i>						
Identificación de la finca						
Nombre de la finca	<i>Veremos</i>			Superficie total del predio		
				<i>6,5 ha</i>		
Tenencia de la finca	Propio	Arrendado	Otros			
	<input checked="" type="checkbox"/>					
Edad del cultivo de cacao	<i>10 años</i>					
Ubicación						
Coordenadas	<i>X N 06° 47' 46,5"</i>	<i>Y W 093° 25' 49,4"</i>	Altura <i>955</i> msnm			
Datos demográficos						
N° de integrantes de la familia que sean dependientes <i>4</i>						
Reside ingresos de otra actividad diferente a la agricultura					Si	No
						<input checked="" type="checkbox"/>
Qué porcentaje representa estos ingresos	0-10%	10-20%	20-40%	40-60%	60-80%	>80%
Pertenece a algún gremio agrícola:						
Si			No			
			<input checked="" type="checkbox"/>			
Cual						
Vive en el predio	Si	No	Distancia del predio al centro urbano cercano si vive en la finca			
	<input checked="" type="checkbox"/>		<i>15 Kilómetros</i>			
Ambiente						
Característica de la finca						
Cultivo	<i>Cacao</i>	Asociado	Si	No		
			<input checked="" type="checkbox"/>			
Cultivo asociado: <i>Plátano, cítricos</i>						

Manejo agronómico							
Tipo de prácticas agronómicas	Frecuencia						
	Quincenal	Mensual	Bimensual	Trimestral	Semestral	Anual	
Poda						<input checked="" type="checkbox"/>	
Cosecha		<input checked="" type="checkbox"/>					
Riego							
Control de malezas				Infraestructura			
				Sin riego	Canales	Seco	
Control de plagas				Manual	Mecánico	<input checked="" type="checkbox"/>	
					<input checked="" type="checkbox"/>	Herbicida	<input checked="" type="checkbox"/>
Control de enfermedades				Cultural	Insecticida		
				<input checked="" type="checkbox"/>			
Semilla	<i>Certificada</i>						
Fertilización					<input checked="" type="checkbox"/>	Dosis	
Fertiliza con roca fosfórica <input checked="" type="checkbox"/>							
Frecuencia: <i>Anual con triple 15</i>							

Finca El cerrito

UNIVERSIDAD DE PAMPLONA

Identificación del encuestado:						
Nombre: <i>AVENIO DIAZ</i>						
Cargo del encuestado	Administrador	Empleado	Familiar	Sexo:	M	F
	<input checked="" type="checkbox"/>				<input checked="" type="checkbox"/>	
Edad: <i>40</i>						
Identificación de la finca						
Nombre de la finca	<i>El Cerrito</i>				Superficie total del predio	
					<i>17 ha.</i>	
Tenencia de la finca	Propio	Arrendado	Otros			
		<input checked="" type="checkbox"/>				
Edad del cultivo de cacao: <i>20 años</i>						
Ubicación						
Coordenadas	<i>X 76° 05' 30"</i>	<i>Y 073° 25' 24,7"</i>	Altura	<i>956</i>	msnm	
Datos demográficos						
Nº de integrantes de la familia que sean dependientes: <i>4</i>						
Reside ingresos de otra actividad diferente a la agricultura					Si	No
Qué porcentaje representa estos ingresos						
	0-10%	10-20%	20-40%	40-60%	60-80%	>80%
Pertenece a algún gremio agrícola:						
Si			No <input checked="" type="checkbox"/>			
Cual						
Vive en el predio	Si	No	Distancia del predio al centro urbano cercano si vive en la finca			
	<input checked="" type="checkbox"/>		<i>6 KM</i>			
Ambiente						
Característica de la finca						
Cultivo	Asociado	Si	<input checked="" type="checkbox"/>	No		
Cultivo asociado: <i>Citricos</i>						

Manejo agronómico						
Tipo de prácticas agronómicas	Frecuencia					
	Quincenal	Mensual	Bimensual	Trimestral	Semestral	Anual
Poda						<input checked="" type="checkbox"/>
Cosecha		<input checked="" type="checkbox"/>				
Infraestructura						
Riego						Sin riego <input type="checkbox"/> canales <input type="checkbox"/> Sogano <input checked="" type="checkbox"/>
Control de malezas						Manual <input type="checkbox"/> Mecánico <input checked="" type="checkbox"/> Herbicida <input checked="" type="checkbox"/>
Control de plagas						Cultural <input checked="" type="checkbox"/> Insecticida <input type="checkbox"/>
Control de enfermedades						Cultural <input checked="" type="checkbox"/>
Semilla	<i>certificada.</i>					
Fertilización					<input checked="" type="checkbox"/>	Dosis <i>7ml/10 l.</i>
Fertiliza con roca fosfórica <i>No</i>						
Frecuencia: <i>Anual.</i>						

Finca Aidé

UNIVERSIDAD DE PAMPLONA

Identificación del encuestado:						
Nombre: <i>Pastora Tirado</i>						
Cargo del encuestado	Administrador	Empleado	Familiar	Sexo:	M	F
	<input checked="" type="checkbox"/>					<input checked="" type="checkbox"/>
Edad <i>52</i>						
Identificación de la finca						
Nombre de la finca	<i>Finca Aidé</i>				Superficie total del predio	
					<i>14 hectáreas</i>	
Tenencia de la finca	Propio	Arrendado	Otros			
		<input checked="" type="checkbox"/>				
Edad del cultivo de cacao <i>70 años</i>						
Ubicación						
Coordenadas	<i>X: 706°30'26,1"</i>	<i>Y: 073°26'35,2"</i>	Altura	<i>806</i>	msnm	
Datos demográficos						
N° de integrantes de la familia que sean dependientes <i>4</i>						
Reside ingresos de otra actividad diferente a la agricultura					Si	No
						<input checked="" type="checkbox"/>
Qué porcentaje representa estos ingresos	0-10%	10-20%	20-40%	40-60%	60-80%	>80%
Pertenece a algún gremio agrícola: Si <input type="checkbox"/> No <input checked="" type="checkbox"/>						
Cual						
Vive en el predio	Si	No	Distancia del predio al centro urbano cercano si vive en la finca			
	<input checked="" type="checkbox"/>		<i>7 KM</i>			
Ambiente						
Característica de la finca						
Cultivo	<i>cacao</i>	Asociado	Si	<input checked="" type="checkbox"/>	No	
Cultivo asociado: <i>Plátano, cítricos</i>						

Manejo agronómico						
Tipo de prácticas agronómicas	Frecuencia					
	Quincenal	Mensual	Bimensual	Trimestral	Semestral	Anual
Poda						<input checked="" type="checkbox"/>
Cosecha		<input checked="" type="checkbox"/>				
Infraestructura						
Riego					Si riego	Canales <input checked="" type="checkbox"/> Secano <input checked="" type="checkbox"/>
Control de malezas					Mexal	Mecánico <input checked="" type="checkbox"/> Herbicida
Control de plagas					Cultural <input checked="" type="checkbox"/>	Insecticida <input checked="" type="checkbox"/>
Control de enfermedades					Cultural	
Semilla	<i>Certificada</i>					
Fertilización					Dosis	<input checked="" type="checkbox"/>
Fertiliza con roca fosfórica <input checked="" type="checkbox"/>						
Frecuencia:	<input checked="" type="checkbox"/>					

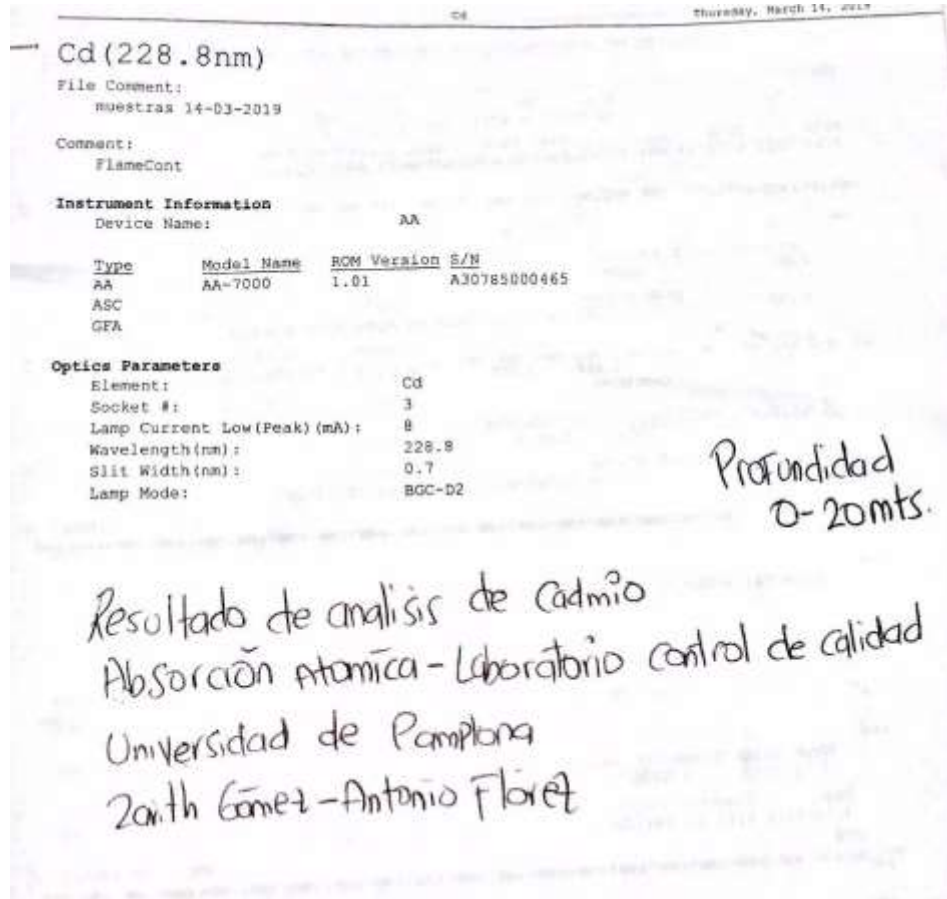
Finca El Líbano

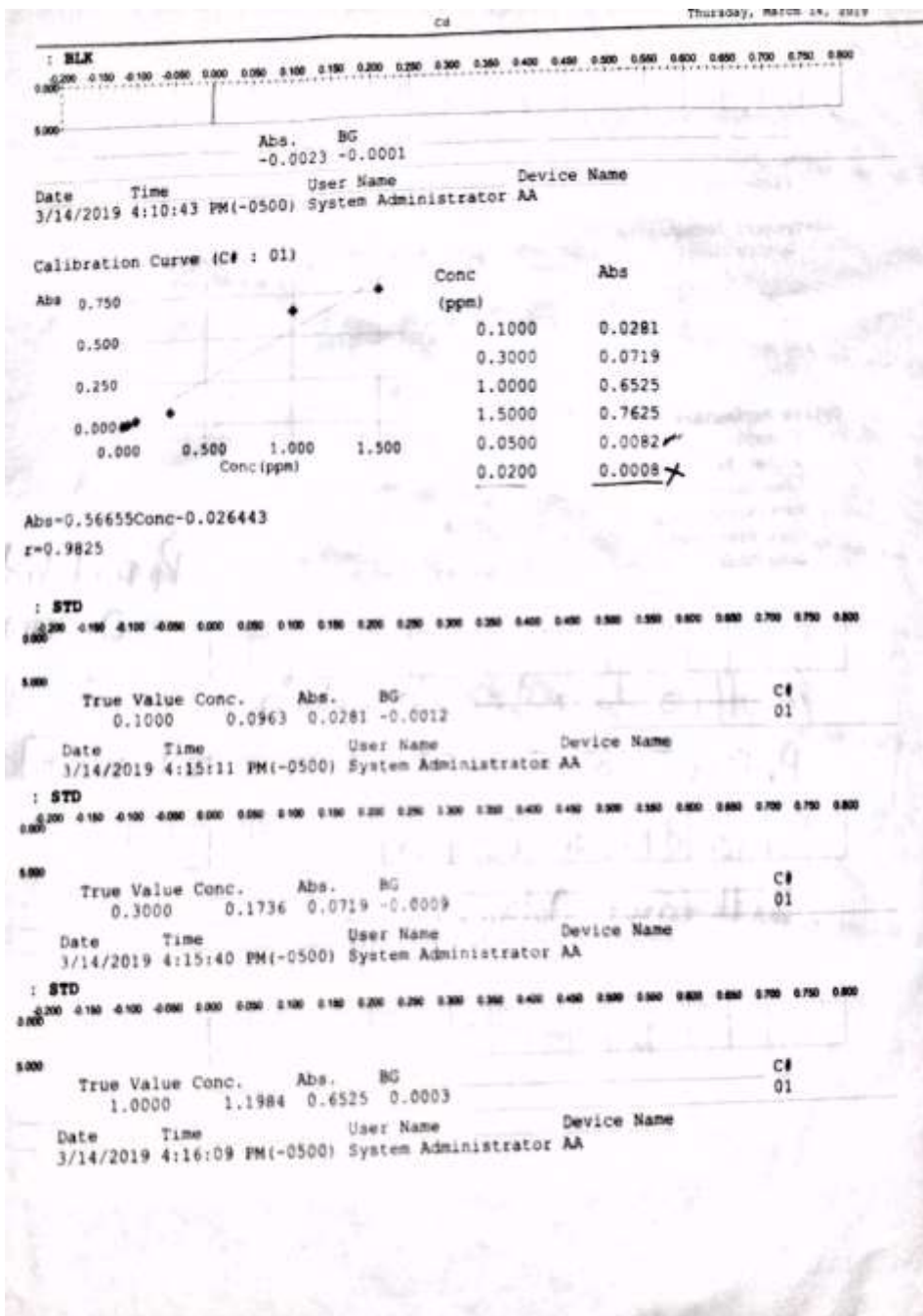
UNIVERSIDAD DE PAMPLONA

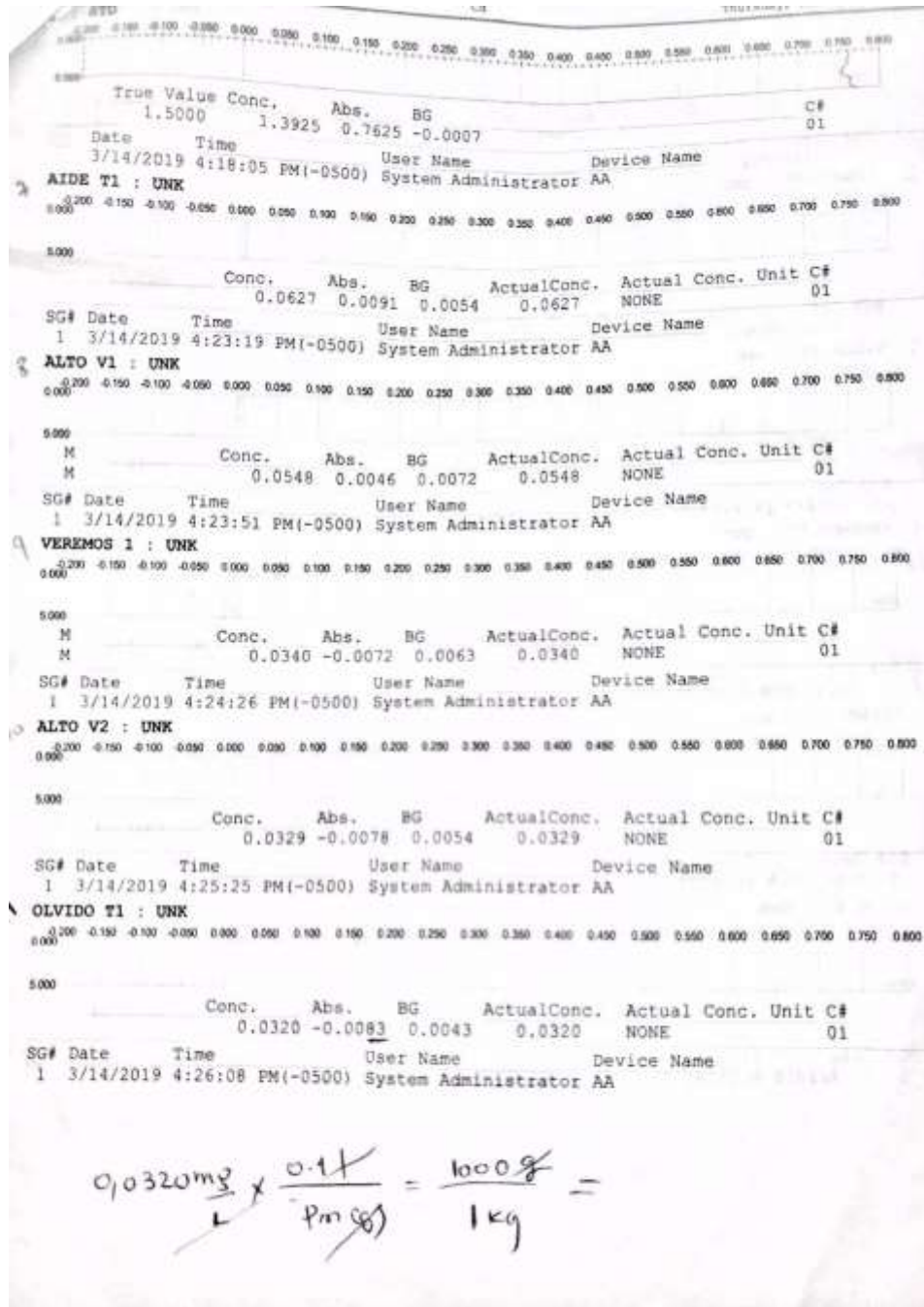
Identificación del encuestado:							
Nombre: <i>Ernestina Gómez Deltran</i>							
Cargo del encuestado	Administrador <i>Propietario</i>	Empleado	Familiar	Sexo:	M	F	Edad <i>54</i>
Identificación de la finca							
Nombre de la finca	<i>el Libano</i>			Superficie total del predio <i>3 ha</i>			
Tenencia de la finca	Propio <input checked="" type="checkbox"/>	Arrendado	Otros				
Edad del cultivo de cacao	<i>72 años</i>						
Ubicación							
Coordenadas	X	Y	Altura <i>954</i>		msnm		
Datos demográficos							
N° de integrantes de la familia que sean dependientes <i>2</i>							
Reside ingresos de otra actividad diferente a la agricultura				Si	<input checked="" type="checkbox"/>	No	
Qué porcentaje representa estos ingresos	0-10%	10-20%	20-40% <input checked="" type="checkbox"/>	40-60%	60-80%	>80%	
Pertenece a algún gremio agrícola:		Si		No <input checked="" type="checkbox"/>			
		Cual					
Vive en el predio	Si <input checked="" type="checkbox"/>	No	Distancia del predio al centro urbano cercano si vive en la finca <i>3 km</i>				
Ambiente							
Característica de la finca							
Cultivo	Asociado		Si <input checked="" type="checkbox"/>	No			
Cultivo asociado: <i>Citricos, Yuca</i>							

Manejo agronómico							
Tipo de prácticas agronómicas	Frecuencia						
	Quincenal	Mensual	Bimensual	Trimestral	Semestral	Anual	
Poda						<input checked="" type="checkbox"/>	
Cosecha		<input checked="" type="checkbox"/>					
Riego							Sin riego canales <input checked="" type="checkbox"/> Soanos <input checked="" type="checkbox"/>
Control de malezas							Manual Mecánico <input checked="" type="checkbox"/> Herbicida
Control de plagas							Cultural <input checked="" type="checkbox"/> Insecticida
Control de enfermedades							Cultural <input checked="" type="checkbox"/>
Semilla							
Fertilización							Dosis <input checked="" type="checkbox"/>
Fertiliza con roca fosfórica <input checked="" type="checkbox"/>							
Frecuencia: <input checked="" type="checkbox"/>							

Anexo 16. Resultado de los análisis de Cadmio entregados por el laboratorio de control de calidad







cd Thursday, March 14, 2019

1 **OLVIDO T2 : UNK**

Conc.	Abs.	BG	ActualConc.	Actual Conc.	Unit	C#
0.0311	-0.0088	0.0053	0.0311	NONE		01

SG#	Date	Time	User Name	Device Name
1	3/14/2019	4:26:35 PM(-0500)	System Administrator	AA

2 **LIBANO T1 : UNK**

Conc.	Abs.	BG	ActualConc.	Actual Conc.	Unit	C#
0.0348	-0.0067	0.0040	0.0348	NONE		01

SG#	Date	Time	User Name	Device Name
1	3/14/2019	4:27:05 PM(-0500)	System Administrator	AA

3 **VILLA K1 : UNK**

Conc.	Abs.	BG	ActualConc.	Actual Conc.	Unit	C#
0.0341	-0.0071	0.0026	0.0341	NONE		01

SG#	Date	Time	User Name	Device Name
1	3/14/2019	4:27:51 PM(-0500)	System Administrator	AA

4 **VEREMOS T2 : UNK**

Conc.	Abs.	BG	ActualConc.	Actual Conc.	Unit	C#
0.0380	-0.0049	0.0065	0.0380	NONE		01

SG#	Date	Time	User Name	Device Name
1	3/14/2019	4:28:20 PM(-0500)	System Administrator	AA

5 **LIBANO T2 : UNK**

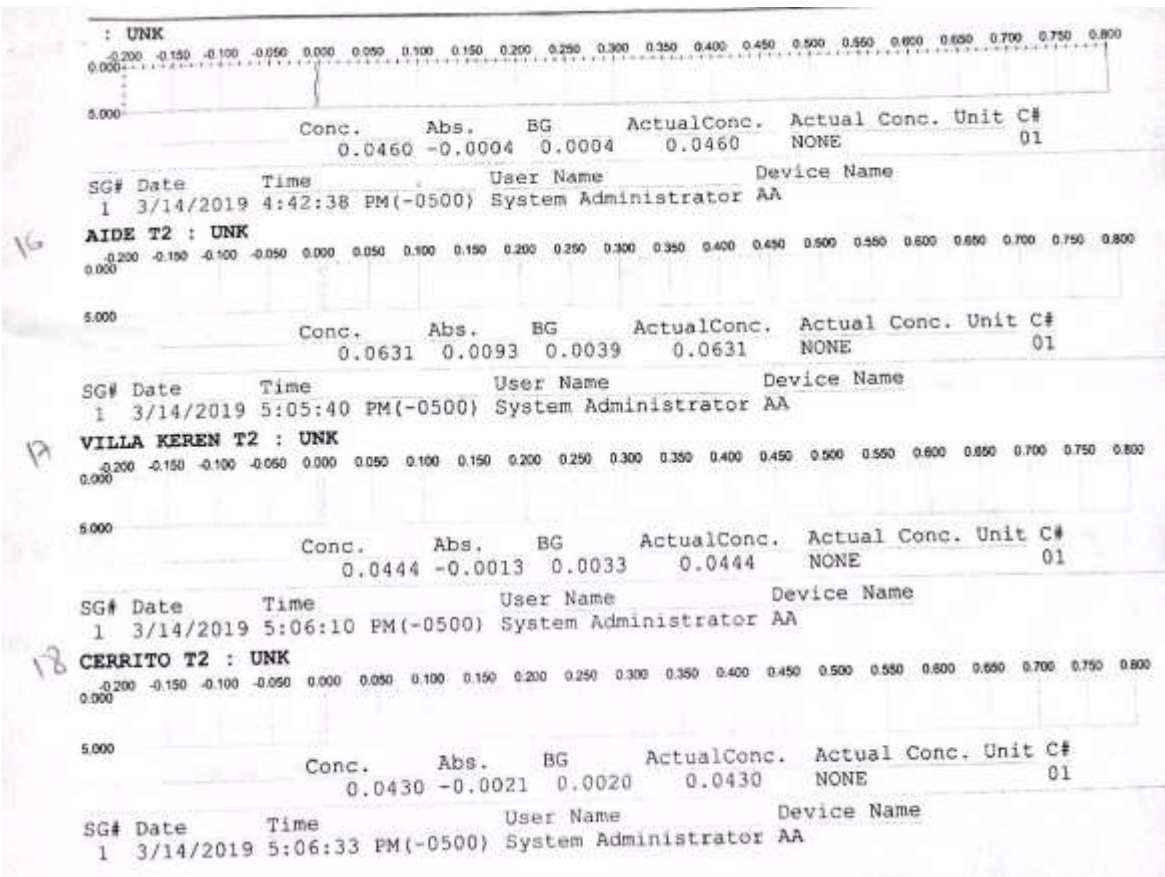
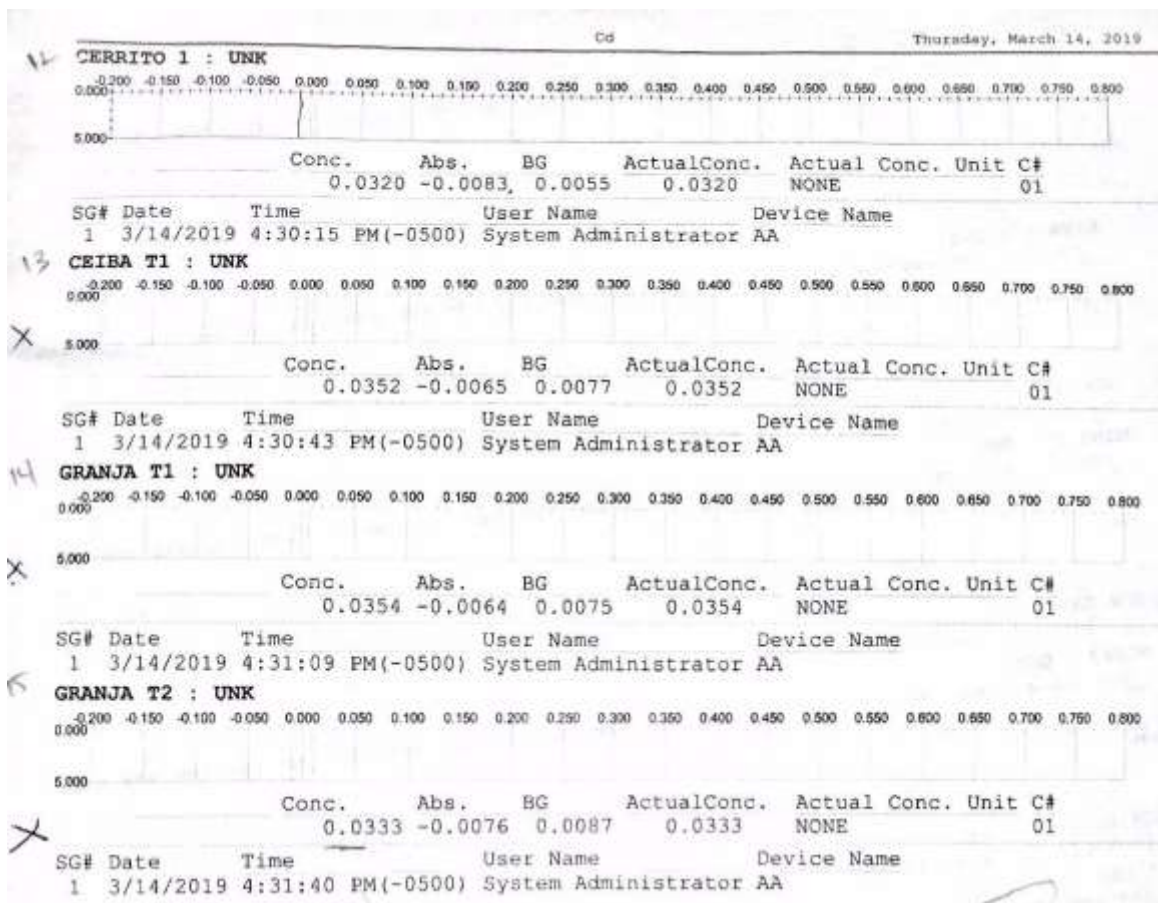
Conc.	Abs.	BG	ActualConc.	Actual Conc.	Unit	C#
0.0317	-0.0085	0.0054	0.0317	NONE		01

SG#	Date	Time	User Name	Device Name
1	3/14/2019	4:28:49 PM(-0500)	System Administrator	AA

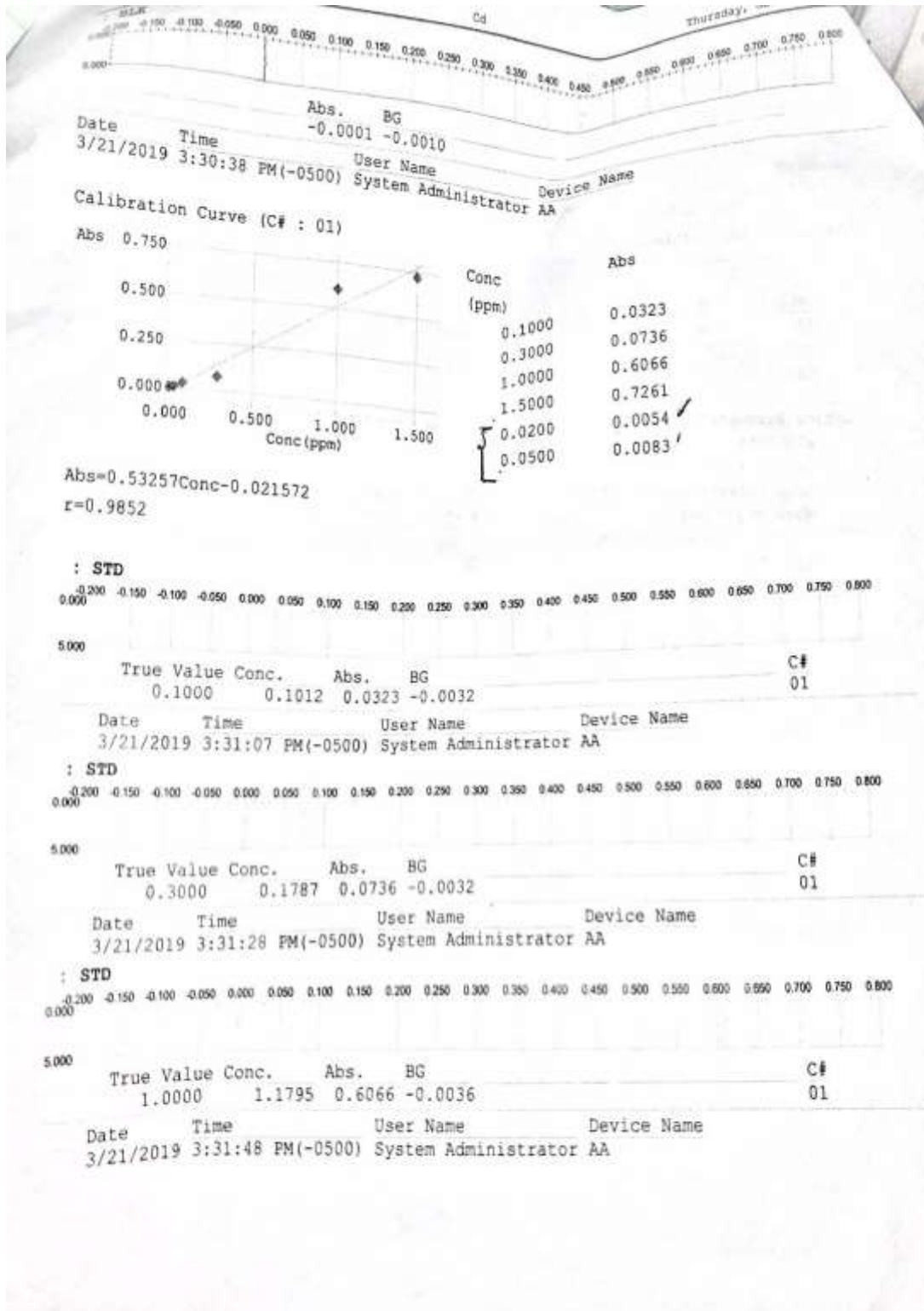
6 **CEIBA T2 : UNK**

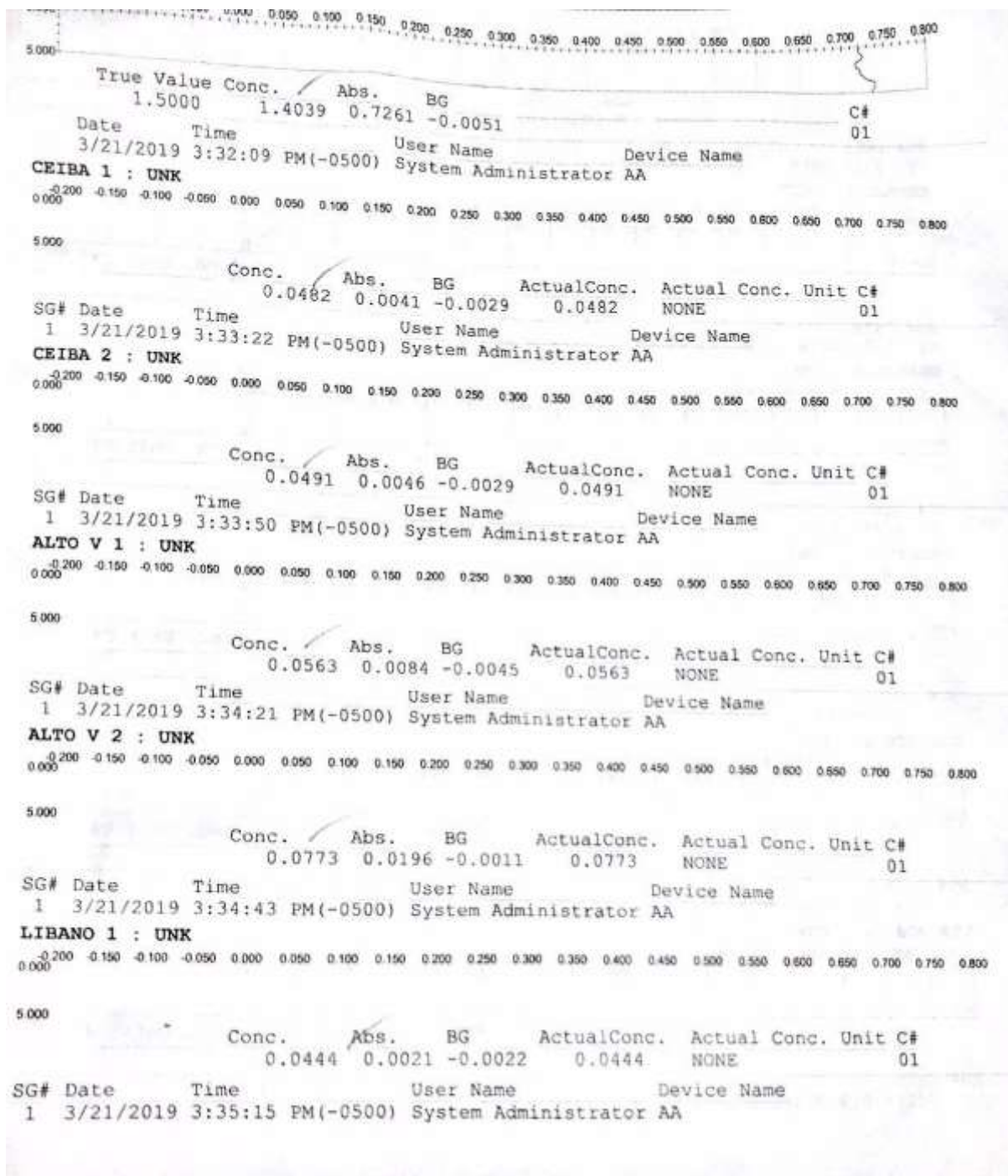
Conc.	Abs.	BG	ActualConc.	Actual Conc.	Unit	C#
0.0352	-0.0065	0.0060	0.0352	NONE		01

SG#	Date	Time	User Name	Device Name
1	3/14/2019	4:29:46 PM(-0500)	System Administrator	AA

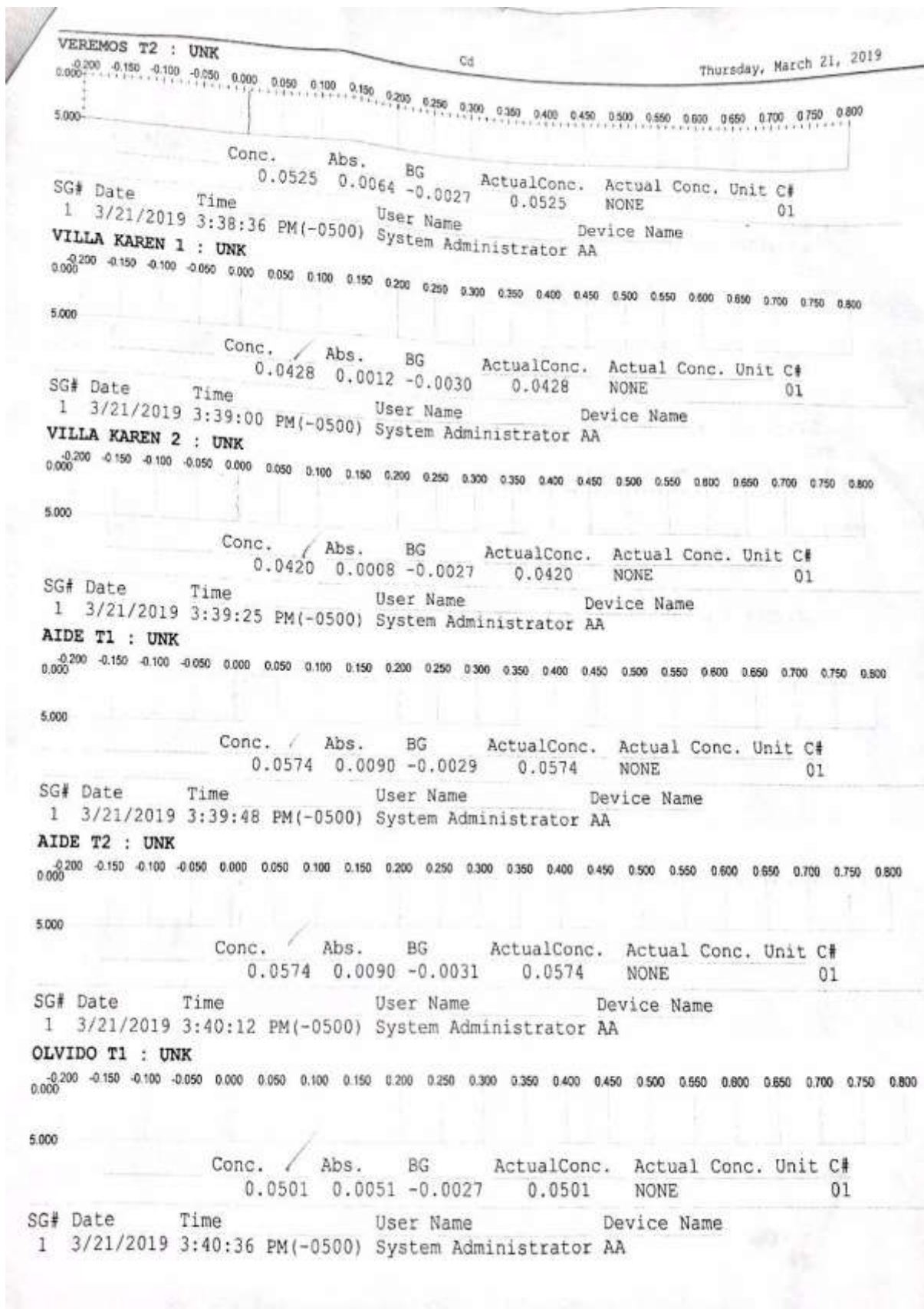


Profundidad de 20-40





SG#	Date	Time	User Name	Device Name	Conc.	Abs.	BG	ActualConc.	Actual Conc.	Unit C#
1	3/21/2019	3:35:51 PM(-0500)	System Administrator	AA	0.0433	0.0015	-0.0028	0.0433	NONE	01
GRANJA 1 : UNK										
1	3/21/2019	3:36:16 PM(-0500)	System Administrator	AA	0.0439	0.0018	-0.0042	0.0439	NONE	01
GRANJA 2 : UNK										
1	3/21/2019	3:36:45 PM(-0500)	System Administrator	AA	0.0454	0.0026	-0.0033	0.0454	NONE	01
CERRITO 1 : UNK										
1	3/21/2019	3:37:11 PM(-0500)	System Administrator	AA	0.0444	0.0021	-0.0024	0.0444	NONE	01
CERRITO 2 : UNK										
1	3/21/2019	3:37:38 PM(-0500)	System Administrator	AA	0.0416	0.0006	-0.0045	0.0416	NONE	01
VEREMOS T1 : UNK										
1	3/21/2019	3:38:09 PM(-0500)	System Administrator	AA	0.0503	0.0052	-0.0028	0.0503	NONE	01



OLVIDO T2 : UNK

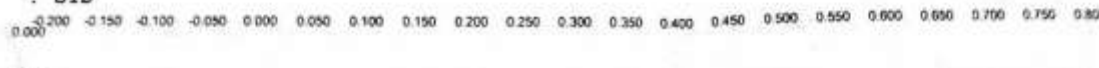
Cd

Thursday, March 21, 2019



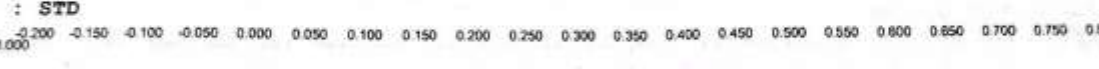
Conc.	Abs.	BG	ActualConc.	Actual Conc.	Unit	C#
0.0475	0.0037	-0.0036	0.0475	NONE		01

SG#	Date	Time	User Name	Device Name
1	3/21/2019	3:41:05 PM(-0500)	System Administrator	AA



True Value Conc.	Abs.	BG	C#
0.0200	0.0506	0.0054 -0.0070	01

Date	Time	User Name	Device Name
3/21/2019	3:42:06 PM(-0500)	System Administrator	AA



True Value Conc.	Abs.	BG	C#
0.0500	0.0561	0.0083 -0.0058	01

Date	Time	User Name	Device Name
3/21/2019	3:42:30 PM(-0500)	System Administrator	AA

Anexo 17. Estadística descriptiva para todos los sitios por profundidad

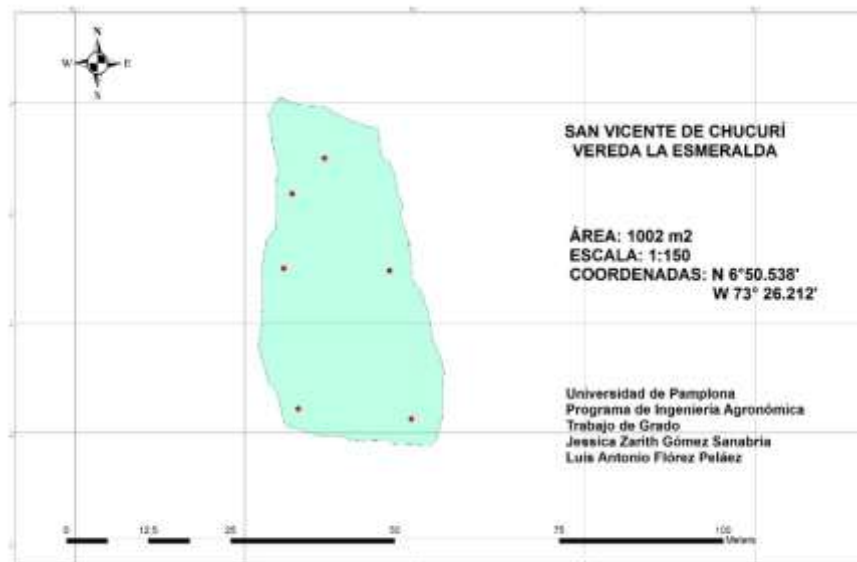
Descriptivos									
		N	Media	Desviación típica	Error típico	Intervalo de confianza para la media al 95%		Mínimo	Máximo
						Límite inferior	Límite superior		
pH	20,0	18	4,19222	,529190	,124731	3,92906	4,45538	3,520	5,350
	40,0	18	4,11444	,533702	,125795	3,84904	4,37985	3,580	5,380
	Total	36	4,15333	,525286	,087548	3,97560	4,33106	3,520	5,380
CE (dS/m)	20,0	18	0,66211	,355237	,083730	0,48546	0,83877	0,220	1,488
	40,0	18	0,46217	,214652	,050594	0,35542	0,56891	0,152	1,062
	Total	36	0,56214	,306518	,051086	0,45843	0,66585	0,152	1,488
MO (%)	20,0	18	6,74277	1,528503	,360272	5,98267	7,50288	3,879	9,222
	40,0	18	6,03287	1,673831	,394526	5,20050	6,86525	2,218	7,972
	Total	36	6,38782	1,620248	,270041	5,83961	6,93604	2,218	9,222
Fósforo (µg/g)	20,0	18	0,01287	,004111	,000969	0,01082	0,01491	0,012	0,029
	40,0	18	0,01190	,000000	,000000	0,01190	0,01190	0,012	0,012
	Total	36	0,01238	,002907	,000484	0,01140	0,01337	0,012	0,029
Arcilla (%)	20,0	18	46,68333	11,254084	2,652613	41,08681	52,27986	24,600	62,100
	40,0	18	51,68333	10,510849	2,477431	46,45641	56,91026	29,600	64,600
	Total	36	49,18333	11,027563	1,837927	45,45214	52,91452	24,600	64,600
Limo (%)	20,0	18	34,86111	7,147203	1,684612	31,30689	38,41533	25,000	50,000
	40,0	18	35,27778	8,396817	1,979149	31,10214	39,45342	25,000	60,000
	Total	36	35,06944	7,687794	1,281299	32,46827	37,67062	25,000	60,000
Arena (%)	20,0	18	18,45556	11,264062	2,654965	12,85407	24,05704	0,400	50,400
	40,0	18	13,03889	7,834324	1,846568	9,14297	16,93481	0,400	25,400
	Total	36	15,74722	9,949027	1,658171	12,38096	19,11349	0,400	50,400
Cadmio (mg/kg)	20,0	18	0,03932	,010371	,002444	0,03416	0,04447	0,031	0,063
	40,0	18	0,07131	,090662	,021369	0,02623	0,11640	0,042	0,433
	Total	36	0,05531	,065634	,010939	0,03311	0,07752	0,031	0,433

Anexo 18. Estadística descriptiva para las variables de estudio según la profundidad

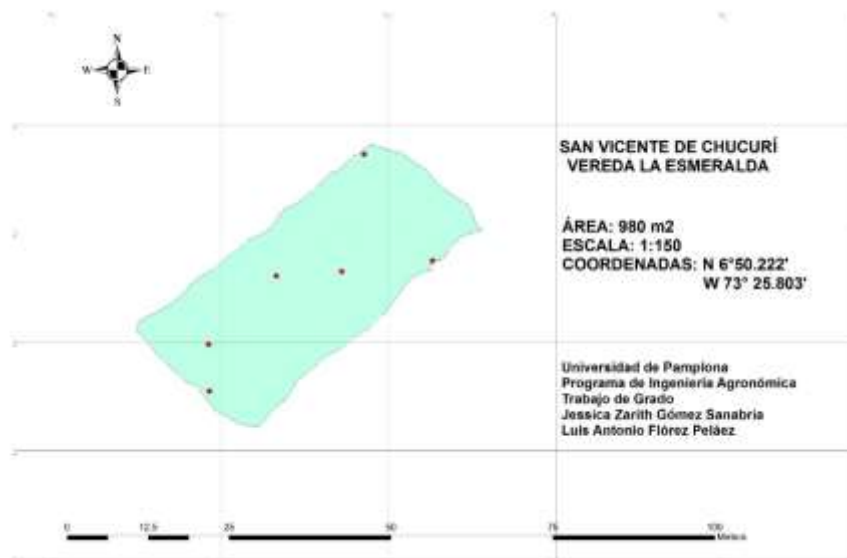
Descriptivos									
		N	Media	Desviación típica	Error típico	Intervalo de confianza para la media al 95%		Mínimo	Máximo
						Límite inferior	Límite superior		
pH	20,0	18	4,19222	,529190	,124731	3,92906	4,45538	3,520	5,350
	40,0	18	4,11444	,533702	,125795	3,84904	4,37985	3,580	5,380
	Total	36	4,15333	,525286	,087548	3,97560	4,33106	3,520	5,380
CE(dS/m)	20,0	18	0,66211	,355237	,083730	0,48546	0,83877	0,220	1,488
	40,0	18	0,46217	,214652	,050594	0,35542	0,56891	0,152	1,062
	Total	36	0,56214	,306518	,051086	0,45843	0,66585	0,152	1,488
MO (%)	20,0	18	6,74277	1,528503	,360272	5,98267	7,50288	3,879	9,222
	40,0	18	6,03287	1,673831	,394526	5,20050	6,86525	2,218	7,972
	Total	36	6,38782	1,620248	,270041	5,83961	6,93604	2,218	9,222
Fósforo (µg/g)	20,0	18	0,01287	,004111	,000969	0,01082	0,01491	0,012	0,029
	40,0	18	0,01190	,000000	,000000	0,01190	0,01190	0,012	0,012
	Total	36	0,01238	,002907	,000484	0,01140	0,01337	0,012	0,029
Arcilla (%)	20,0	18	46,68333	11,254084	2,652613	41,08681	52,27986	24,600	62,100
	40,0	18	51,68333	10,510849	2,477431	46,45641	56,91026	29,600	64,600
	Total	36	49,18333	11,027563	1,837927	45,45214	52,91452	24,600	64,600
Limo (%)	20,0	18	34,86111	7,147203	1,684612	31,30689	38,41533	25,000	50,000
	40,0	18	35,27778	8,396817	1,979149	31,10214	39,45342	25,000	60,000
	Total	36	35,06944	7,687794	1,281299	32,46827	37,67062	25,000	60,000
Arena (%)	20,0	18	18,45556	11,264062	2,654965	12,85407	24,05704	0,400	50,400
	40,0	18	13,03889	7,834324	1,846568	9,14297	16,93481	0,400	25,400
	Total	36	15,74722	9,949027	1,658171	12,38096	19,11349	0,400	50,400
Cadmio (mg/kg)	20,0	18	0,03932	,010371	,002444	0,03416	0,04447	0,031	0,063
	40,0	18	0,07131	,090662	,021369	0,02623	0,11640	0,042	0,433
	Total	36	0,05531	,065634	,010939	0,03311	0,07752	0,031	0,433

Anexo 19. Georeferenciación, Puntos de muestreo de cada finca

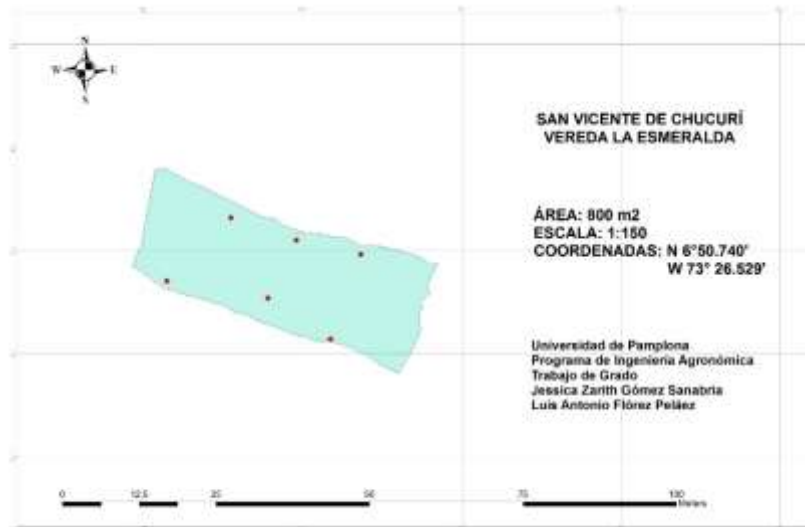
- En la Finca la Granja, altura: 803 m.s.n.m.



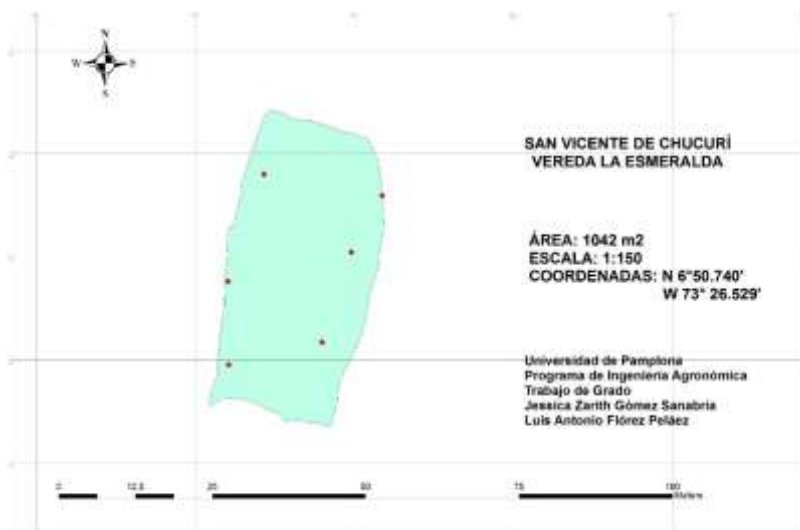
- En la Finca el cerrito, altura: 956 msnm



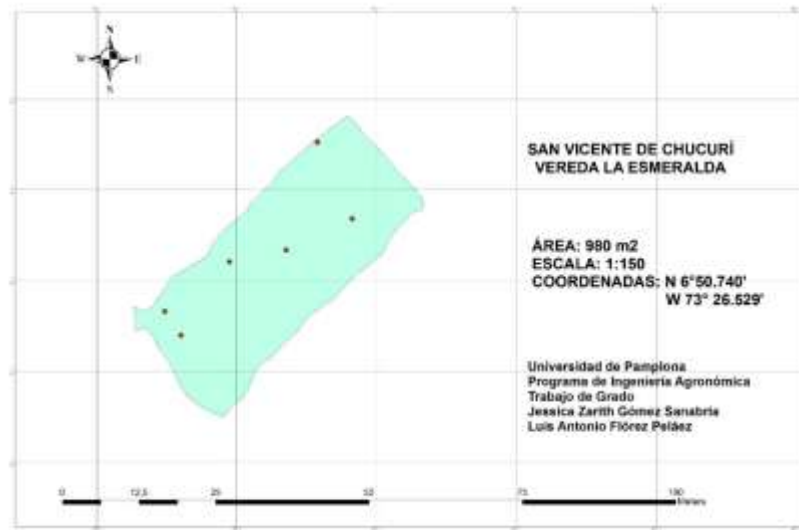
- En la Finca veremos, altura: 955 msnm



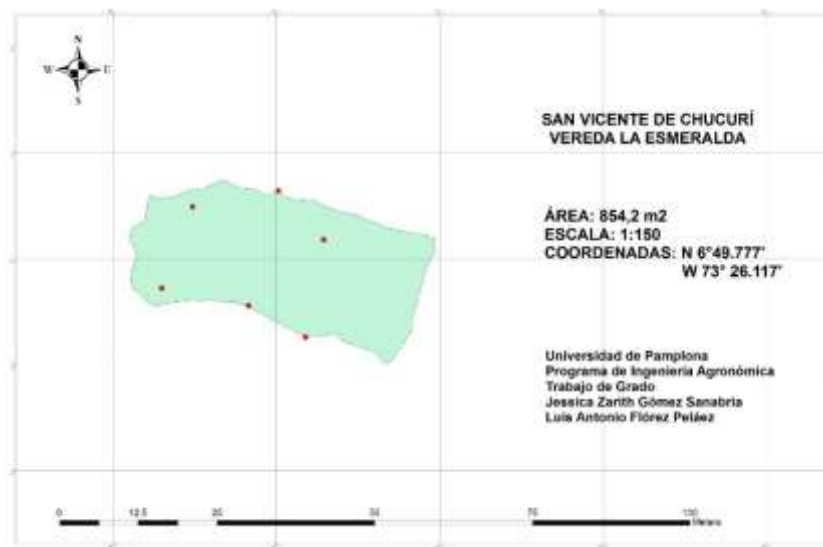
- En la Finca la Ceiba, altura: 923 msnm



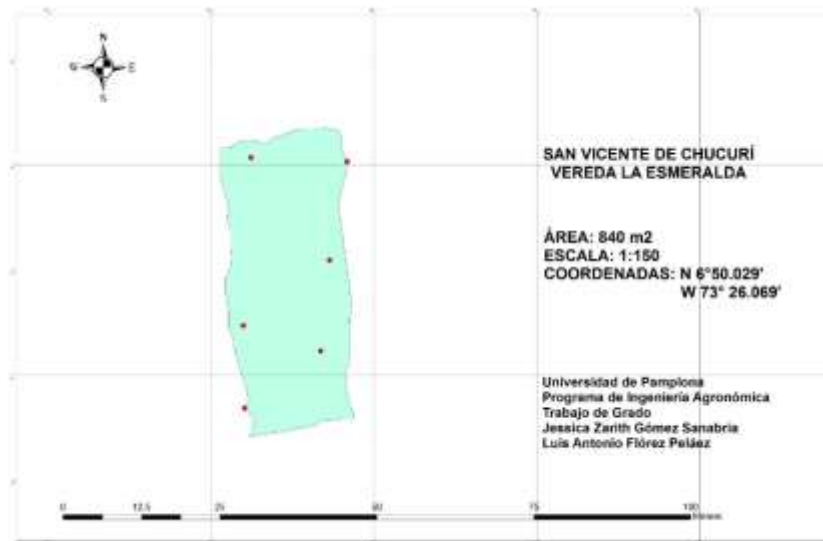
- En la finca El Líbano, altura: 954 msnm



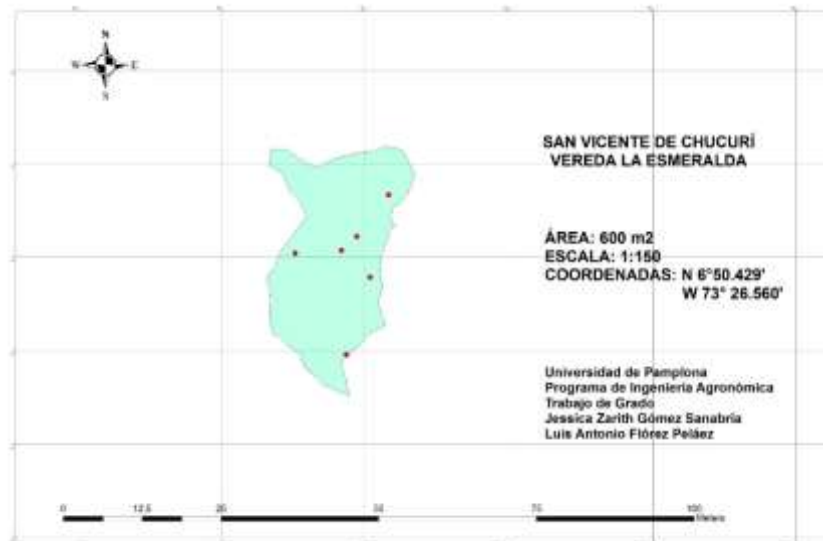
- En la finca Alto viento, altura: 799 msnm



- En la finca Villa Karen ,altura: 1122 msnm



- En la finca Aidé, altura: 806 msnm



- En la finca El olvido, altura: 876 msnm

