

**UNIVERSIDAD NACIONAL AGRARIA DE LA SELVA**

**FACULTAD DE AGRONOMÍA**

**Departamento Académico de Ciencias Agrarias**



**“DISTRIBUCIÓN DEL CONTENIDO DE CADMIO EN LOS  
DIFERENTES ÓRGANOS DEL CACAO CCN-51 EN  
SUELO ALUVIAL Y RESIDUAL”**

**TESIS**

**Para optar el título de:**

**INGENIERO AGRÓNOMO**

**ERICK TANTALEAN PEDRAZA**

**Tingo María – Perú**

**2017**

## DEDICATORIA

A Dios, por permitirme llegar a este momento tan importante de mi formación profesional.

A mis queridos padres: ARTEMIO y VICTORIA, por ser los pilares más importantes y por demostrarme siempre su cariño y apoyo.

A mi adorado hijo MATTHIAS que es mi motivación, inspiración y felicidad, motor que me obliga a ser cada día mejor.

A mis hermanos MIRTHA, ROBIN, YOBANI y ROY, por su apoyo moral y sus consejos en el proceso de mi formación como profesional

## **AGRADECIMIENTO**

- A Dios por haberme dado salud para poder lograr mis metas, además de su infinita bondad y amor.
  
- A mis padres ARTEMIO TANTALEAN HERRERA y VICTORIA PEDRAZA ALEJANDRÍA, por su esfuerzo y apoyo incondicional. Se que este momento es especial para ustedes como para mí, mi hijo MATTHIAS, mi esposa SHIRLEY, mis hermanos MIRTHA, ROBIN, YOBANI, ROY y mi primo MICHAEL. Gracias por todo su apoyo.
  
- A la UNIVERSIDAD NACIONAL AGRARIA DE LA SELVA, en especial a la FACULTAD DE AGRONOMÍA por haberme formado como profesional.
  
- A la Cooperativa Agraria Industrial Naranjillo por permitirme ser partícipe del proyecto “ST-INNOVATE CONVENIO N° 007 – FINCYT – FIDECOM PIPEI - 2013”
  
- Al Blgo. M. Sc. Miguel A. Huauya Rojas, asesor de tesis, por su oportuna guía y asesoramiento en la realización del trabajo.
  
- Al Dr. José Wilfredo Zavala Solórzano, presidente del jurado de tesis, por su oportuna orientación en la realización del trabajo.
  
- Al Ing. M. Sc. Hugo Huamaní Yupanqui, Ing. Luis Mansilla Minaya, jurados de tesis, por su valiosa colaboración en el trabajo.
  
- A los laboratoristas Milton Neira Truillo, Miguel Sánchez Rodríguez, Joseph Montenegro Bernales y Zócimo Pujay Campo, por su oportuna colaboración.

## ÍNDICE GENERAL

	<b>Pág.</b>
I. INTRODUCCIÓN.....	11
II. REVISIÓN DE LITERATURA.....	13
2.1. Generalidades del cultivo de cacao.....	13
2.1.1. Condiciones ambientales para el desarrollo del cultivo de cacao.....	13
2.1.2. Suelo aluvial y residual.....	14
2.2. Metales pesados en suelos agrícolas y plantas.....	14
2.2.1. El cadmio.....	16
2.2.2. Contaminación del cacao con cadmio.....	17
2.2.3. Antecedentes históricos del cadmio.....	17
2.2.4. Origen del cadmio.....	18
2.3. Cadmio en los suelos.....	20
2.3.1. Movilidad del cadmio en el suelo.....	21
2.3.2. Disponibilidad del cadmio en el suelo.....	22
2.3.3. Factores del suelo que afectan la acumulación del cadmio y su disponibilidad.....	22
2.3.4. Determinación del cadmio disponible en el suelo.....	24
2.4. El cadmio en las plantas.....	25
2.4.1. Absorción de cadmio por las plantas.....	26
2.4.2. Efectos tóxicos del cadmio sobre las plantas.....	27
2.4.3. Cadmio en tejidos vegetales.....	28

2.5. Límites máximos admisibles en alimentos de cacao.....	28
2.6. Efectos del cadmio en la salud humana.....	29
2.7. Estudios sobre el contenido de cadmio en suelos y tejidos.....	29
III. MATERIALES Y MÉTODOS.....	32
3.1. Ubicación de los campos.....	32
3.2. Cultivo del cacao.....	32
3.3. Metodología.....	33
3.3.1. Del suelo.....	33
3.3.2. De los tejidos.....	33
a. Raíces.....	33
b. Ramas.....	34
c. Hojas.....	34
e. Cáscara.....	35
f. Análisis de laboratorio.....	35
3.3.3. Métodos de análisis de suelos.....	35
a. Análisis físico.....	35
b. Análisis químico.....	35
3.3.4. Metodología de análisis de cadmio disponible en el suelo.....	36
a. Método de análisis de cadmio total en tejidos.....	37
b. Análisis estadísticos.....	38
3.4. Características a evaluar.....	38
3.4.1. Del suelo.....	38
3.4.2. De las ramas.....	38

3.4.3	De las hojas.....	38
3.4.4	De las almendras.....	38
3.4.5	De la cáscara.....	39
IV.	RESULTADOS Y DISCUSION.....	40
4.1.	Descripción de los perfiles de suelo.....	40
4.1.1.	Suelo Jacintillo.....	40
4.1.2.	Suelo Ramal de Aspuzana.....	41
4.2.	Análisis físico-químico de los suelos.....	43
4.2.1.	Cadmio disponible en el suelo.....	48
4.3.	Resultados de los análisis en tejidos.....	53
4.3.1.	Contenido de nutrientes a nivel de raíces de cacao.....	53
4.3.2.	Cadmio total en raíz de cacao.....	53
4.3.3.	Contenido de nutrientes a nivel de ramas de cacao.....	55
4.3.4.	Cadmio total en ramas de cacao.....	55
4.3.5.	Contenido de nutrientes a nivel de hojas de cacao.....	59
4.3.6.	Contenido de cadmio total en hojas de cacao.....	60
4.3.7.	Contenido de nutrientes a nivel de almendras.....	62
4.3.8.	Contenido de cadmio total en almendras.....	63
4.3.9.	Contenido de nutrientes a nivel de cáscaras de cacao..	66
4.3.10.	Contenido de cadmio total en cáscaras de cacao.....	67
4.4.	Análisis de regresión lineal de la variables de interés.....	71
4.4.1.	Análisis de regresión lineal simple.....	72
4.4.2.	Análisis de regresión lineal múltiple.....	72
V.	CONCLUSIONES.....	73

VI. RECOMENDACIONES.....	74
VII. RESUMEN.....	75
VIII. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	76
IX. ANEXO.....	83

## ÍNDICE DE CUADROS

<b>Cuadro</b>	<b>Pág.</b>
1. Concentraciones de cadmio en rocas y minerales .....	18
2. Aportes estimados de cadmio a suelos agrícolas por diferentes fuentes (mg/kg).....	19
3. Métodos más utilizados para los análisis de cadmio disponible en el suelo.....	25
4. Georreferenciación de las parcelas evaluadas .....	32
5. Perfil del suelo residual Jacintillo .....	41
6. Perfil del suelo aluvial Ramal de Aspuzana .....	42
7. Resultados de los análisis físicos-químicos de los suelos Residual y Aluvial.....	46
8. Coeficientes de correlación del contenido de cadmio disponible en el suelo residual y propiedades físico-químicas del suelo .....	51
9. Coeficientes de correlación del contenido de cadmio disponible del suelo aluvial y propiedades físico químicas del suelo.....	51
10. Concentración de Cadmio total con macro y micro elementos a nivel de raíces en un suelo aluvial y residual .....	53
11. Concentración de cadmio total y macro-micro elementos en ramas de cacao de los suelos aluvial y residual.....	56
12. Coeficientes de correlación del contenido de cadmio total con macro y micro elementos a nivel de ramas en cacao.....	58

<b>13.</b>	Concentración de cadmio total y algunos macro y micro elemento a nivel de hojas en el suelo aluvial y residual .....	59
<b>14.</b>	Coeficientes de correlación del contenido de cadmio total con macro y micro elementos a nivel hojas.....	62
<b>15.</b>	Concentración de cadmio total, macro y micro elementos en almendras de cacao en el suelo aluvial y residual.....	63
<b>16.</b>	Coeficientes de correlación del contenido de cadmio total con macro y micro elementos a nivel de almendras de cacao .....	66
<b>17.</b>	Concentración de cadmio total, macro y micro elemento en cáscaras de cacao en suelo aluvial y residual .....	67
<b>18.</b>	Coeficientes de correlación del contenido de cadmio total con macro y micro elementos a nivel de cáscaras de cacao.....	69
<b>19.</b>	Promedios de cadmio total en ramas, hojas, almendras y cáscara. ....	70
<b>20.</b>	Coeficientes de correlación del contenido de cadmio total a nivel de cáscaras, tallos, hojas y almendras .....	71

## ÍNDICE DE FIGURAS

<b>Figura</b>	<b>Pág.</b>
1. Descripción morfológica del perfil de suelo residual (Jacintillo) .....	41
2. Descripción morfológica del perfil de suelo aluvial de Ramal de Aspuzana.....	43
3. Concentración de cadmio disponible en el suelo.....	49
4. Concentración de cadmio total en raíz de cacao .....	54
5. Concentración de cadmio total en ramas de cacao .....	57
6. Concentración de cadmio total a nivel de hojas.....	60
7. Concentración de cadmio total en almendras de cacao .....	64
8. Concentración de cadmio total en cáscaras de cacao.....	68
9. Georreferenciación de la parcela de Jacintillo .....	84
10. Georreferenciación de la parcela de Ramal de Aspuzana.....	84
11. Metodología de muestreo de tejidos en el cultivo de cacao .....	85
12. Secado de tejidos del cultivo de cacao.....	85
13. Pesado de muestras de tejidos del cultivo de cacao .....	86
14. Preparación del extracto de las muestras.....	86
15. Filtrado de extracto de muestras .....	87
16. Almacenamiento de extracto de muestras.....	87

## I. INTRODUCCIÓN

Desde un punto de vista económico, el cultivo de cacao es muy importante en el Perú y conocido internacionalmente por su sabor y calidad; sin embargo existe algunos reportes sobre la presencia de niveles de cadmio por encima de lo permitido en el producto enviado generando preocupación general.

La presencia de cadmio ha sido determinada tanto en suelos como en almendras de cacao en la región de Huánuco, provincia de Leoncio Prado (CÁRDENAS, 2012), lo que es motivo de preocupación por parte de agricultores y cooperativas de la zona, toda vez que se están presentando dificultades para el ingreso de este producto al mercado norteamericano y europeo, al superar el máximo nivel permitido de cadmio en almendras que es de 0.5 ppm (SUBERO, 2013), por lo que amerita ampliar estudios sobre este metal pesado.

El cadmio es uno de los metales pesados traza más nocivos que encontrándose en el suelo suele ser absorbido por las plantas y almacenado en los frutos. Además, no se conoce función fisiológica benéfica alguna, y en niveles elevados puede causar daño a los mamíferos e incluso a las personas. Específicamente la absorción de cadmio por las plantas en suelos contaminados y su incorporación a la cadena alimenticia, tiene en la actualidad mucha importancia, debido a que este elemento puede alterar el metabolismo humano, acumulándose en los riñones donde su vida media de permanencia es de 17 a 30 años (NAVA y RAMÍREZ, 2011).

Teniendo en cuenta que el cacao es un alimento de alto consumo que puede contener cantidades considerables de metales pesados, que afectan la salud del consumidor y causan el rechazo del producto en el mercado internacional, en la actualidad, Instituciones Públicas (Ministerio del Ambiente, Ministerio de Agricultura) y privadas (Cooperativa Agraria Industrial Naranjillo) vienen promoviendo estudios sobre el diagnóstico y alternativas de mitigación, que permitirán ampliar nuestra base de estudio respecto al cadmio en el cultivo de cacao.

Bajo este contexto, resalta la importancia de haber realizado este trabajo de investigación considerando los siguientes objetivos:

#### Objetivo general

- Determinar la distribución del contenido de cadmio en los diferentes órganos del cacao CCN-51, en un suelo residual de Jacintillo y aluvial de Ramal de Aspuzana.

#### Objetivos específicos

- Determinar el contenido de cadmio en los órganos del tercio inferior, tercio medio y tercio superior del cultivo de cacao CCN-51, y en las raíces.
- Determinar los niveles de cadmio disponible en un suelo residual y suelo aluvial.

## **II. REVISIÓN DE LITERATURA**

### **2.1. Generalidades del cultivo de cacao**

El cacao es un producto de mucha importancia económica y estratégica en nuestro país, que permite mejorar la calidad de vida de las familias productoras. El Perú ha sido clasificado por la Organización Internacional del Cacao (ICCO) como un país en donde se produce y se exporta un cacao fino y de aroma, logrando el 36% de la producción mundial de este tipo. En el año 2012, el cacao fue declarado Patrimonio Nacional de la Nación, reconociéndosele como uno de los cultivos más importantes del Perú, y en octubre del 2013, fue declarado producto bandera (BARRUETA, 2013).

#### **2.1.1. Condiciones ambientales para el desarrollo del cultivo de cacao**

El cacao es una planta que necesita un adecuado suministro de agua para su desarrollo. La distribución de la lluvia varía notablemente de una región a otra y es el factor que determina las diferencias en el manejo de este cultivo; la precipitación óptima durante el año, es de 1600 a 2500 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 del agua y nutrientes y acelera la descomposición de la materia orgánica. Los suelos apropiados para el cultivo de cacao son los aluviales, francos y profundos con subsuelos permeables. 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 favorece el desarrollo del cultivo porque garantiza la presencia de microelementos primordiales en la formación y desarrollo de la planta (MARTÍNEZ y PALACIOS, 2010).

### **2.1.2. Suelo aluvial y residual**

Los suelos aluviales son los que se forman mediante procesos de meteorización física y química y se principalmente en condiciones tropicales húmedas y de meteorización química intensa. Las características de los suelos residuales son muy diferentes a las de los suelos transportados debido a que las partículas de suelo residual, con frecuencia consisten en agregados (SUÁREZ, s/a).

## **2.2. Metales pesados en suelos agrícolas y plantas**

Los metales pesados en suelos agrícolas generalmente aparecen en bajas concentraciones y presentan una gran variabilidad debido a la composición del material parental y los procesos de formación y evolución del suelo. Estas concentraciones se pueden modificar e incrementar por diversas prácticas agronómicas, como la aplicación de fertilizantes minerales y agroquímicos, fertilizantes orgánicos de origen animal o vegetal, enmiendas

orgánicas, lodos de plantas de tratamiento de aguas y aguas residuales domésticas utilizada para riego que constituyen los principales fuentes de estos metales (PERIS, 2006; INÉS, 2011 y RUEDA *et al.*, 2011).

La acumulación de metales pesados en suelos agrícolas es un riesgo para la vida de los organismos y la salud humana, y sus efectos negativos dependen de la concentración del metal y las propiedades específicas del suelo. En este sentido, cuando se supera la capacidad amortiguadora por una carga continua de sustancias contaminantes o cambios en el pH del suelo, los metales pesados pueden liberarse quedando biodisponibles en la solución del suelo para ser absorbido por las plantas a través de las raíces (RUEDA *et al.*, 2011).

El comportamiento de las plantas superiores frente a los metales no es uniforme. Las especies vegetales, incluso las variedades, difieren entre sí, en su capacidad para absorber metales, acumularlos y tolerarlos. Las plantas se han clasificado en tres tipos: excluyentes, indicadoras y acumuladoras, en función de su comportamiento ante la presencia de metales en el ambiente. Así, las excluyentes restringen la entrada o la translocación de metales tóxicos; esto les permite vivir en ambientes con elevadas concentraciones de metales. Las indicadoras reflejan el incremento de metal producido en el entorno. Por último, las acumuladoras incrementan activamente metales en sus tejidos (PERIS, 2006; PRIETO, 2009).

Las plantas han desarrollado mecanismos altamente específicos para absorber, translocar y acumular sustancias. Sin embargo, algunos metales y

metaloides no esenciales para los vegetales son absorbidos, translocados y acumulados en la planta debido a que presentan un comportamiento electroquímico similar a los elementos nutritivos requeridos (MIRANDA, 2008).

La capacidad de las plantas para bioacumular metales y otros posibles contaminantes varía según la especie vegetal y la naturaleza de los contaminantes. Estas diferencias en la absorción de metales, pueden ser atribuidas precisamente a la capacidad de retención del metal en cuestión por el suelo, al cultivo, a la interacción planta-raíz-metal y al metabolismo vegetal propio (PRIETO, 2009).

### **2.2.1. El cadmio**

El cadmio es un elemento metálico de número atómico 48, masa atómica 112.10 u.m.a, densidad 8,642 g.cm<sup>-3</sup>, símbolo químico Cd, perteneciente al grupo IIB de la tabla periódica. Es de color blanco, blando, dúctil y maleable, y poco abundante en la naturaleza. Uno de los principales minerales en los que se encuentra el cadmio es la greenokite (CdS), la cual es obtenida como producto secundario en los yacimientos de zinc (SUBERO, 2013). Puede encontrarse asociado a compuestos de zinc, como la esfalerita (ZnS) o en minerales propios como la blenda de cadmio (CdS) o la otavita (CdCO<sub>3</sub>). Puede formar hidróxidos e iones complejos, como con amoníaco, Cd(NH<sub>3</sub>)<sub>6</sub><sup>4+</sup>, o cianuro, Cd (CN)<sub>4</sub><sup>2-</sup>. No tiene una función biológica esencial y es altamente tóxico para plantas y animales (ISAURA, 2010).

Los usos principales del cadmio refinado son: en baterías (pilas Ni Cd), pigmentos para plásticos, cerámica y esmaltes; estabilizadores para plásticos, placas de hierro y acero, también como elemento de aleación de plomo, cobre y estaño (PNUMA, 2010).

### **2.2.2. Contaminación del cacao con cadmio**

El cadmio y el plomo se encuentran de manera natural en la corteza terrestre en forma de minerales, de donde pueden ser absorbidos por las plantas y tomados de ellas por el ser humano, lo que constituye un riesgo potencial para la salud. La planta de cacao absorbe metales pesados del suelo y los concentra en las semillas (HUAMANÍ *et al.*, 2012).

Las concentraciones de metales pesados en los suelos están asociadas a los ciclos biológicos y geoquímicos y pueden ser alteradas por actividades antropogénicas como las prácticas agrícolas, el transporte, la actividad industrial, la eliminación de residuos, entre otros (MARTÍNEZ *et al.*, 2010).

### **2.2.3. Antecedentes históricos del cadmio**

En los años 70 se detectó en Japón la primera intoxicación masiva. El cadmio entró en la cadena alimentaria por contaminación de las plantaciones de arroz provocando una enfermedad denominada Itai-itai caracterizada por provocar problemas renales severos y deformaciones óseas (ISAURA, 2010).

#### 2.2.4. Origen del cadmio

El cadmio en el suelo puede tener origen natural o antropogénico. Las fuentes naturales incluyen rocas o material aluvial y erosivo transportado por el viento y el agua. El cadmio antropogénico en los suelos puede provenir de la deposición atmosférica, agua negra, lixiviados, excrementos animales y fertilización con fosfatos. Estos últimos presentan concentraciones de 10 a 200 ppm de cadmio (MARTÍNEZ, 2010; RUIZ, 2011).

En el Cuadro 1, se presenta el contenido de cadmio en rocas y minerales.

**Cuadro 1.** Concentraciones de cadmio en rocas y minerales

<b>Rocas madre</b>	<b>Rango (mg/kg)</b>
<b>Rocas ígneas</b>	
Riolitas	0.03 - 0.57
Granitos	0.01 - 60
Basaltos	0.01 - 0.60
<b>Rocas metamórficas</b>	
Gneises	0.007 - 0.26
Esquistos	0.005 - 0.87
<b>Rocas sedimentarias</b>	
Pizarras y arcillas	0.017 - 11
Pizarras negras	0.30 - 219
Arenisca y conglomerados	0.019 - 0.4
Carbonatos	0.007 - 12
Fosforitas	<10 - 980
Carbón	0.1 - 300
Petróleo bruto	0.01 - 21

**Fuente:** ISAURA (2010)

ISAURA (2010), señala que el cadmio procedente de fuentes antrópicas es ambientalmente menos estable que el de origen natural, y su destino depende, fundamentalmente, de su dinámica de retención y movilidad en el perfil edáfico. Las rocas sedimentarias muestran un rango de concentración de cadmio más amplio que otros tipos de rocas.

Por otro lado la presencia de Cd puede darse más frecuentemente cuando se trabaja cerca de áreas urbanas en las que aumenta la posibilidad de contaminación con residuos de combustible, asfaltos y otros materiales contaminantes (IPNI, 2015).

La actividad humana libera 3-10 veces más Cd al ambiente que los procesos naturales. En los últimos años, la contaminación por este metal ha aumentado a causa de actividades industriales tales como minería, fundición de metales, uso y purificación de Cd, quema de combustibles fósiles, uso de fertilizantes fosfatados, fabricación de baterías, cemento, pigmentos y plásticos (RODRÍGUEZ *et al.*, 2008; SUBERO, 2013). En el Cuadro 2 se presenta algunas fuentes que aportan cadmio a suelos agrícolas.

**Cuadro 2.** Aportes estimados de cadmio a suelos agrícolas por diferentes fuentes (mg/kg).

<b>Metal</b>	<b>Fertilizantes fosforados</b>	<b>Fertilizantes nitrogenados</b>	<b>Fitosanitarios</b>	<b>Estiércol</b>	<b>Lodos de agua residual</b>
Cd	0.1 - 170	0.05 – 8.5	1.38 – 1.94	0.3 – 0.8	2 - 1500

**Fuente:** INÉS (2011); RUEDA *et al.* (2011)

### 2.3. Cadmio en los suelos

En un trabajo sobre la dinámica del cadmio en suelos cultivados con papa en Nariño, Colombia, se concluye que los mayores contenidos de cadmio intercambiable se encuentran en la superficie (0-13 cm) y más del 95% permanece a profundidades de 0-25 cm (INSUASTY *et al.*, 2006).

RODRÍGUEZ *et al.* (2008), señalan que el cadmio es un elemento no esencial y poco abundante en la corteza terrestre y a bajas concentraciones pueden ser tóxicos para todos los organismos vivos. Presenta un tiempo de residencia en suelos que varía entre 15 y 1100 años, por lo que supone claramente un problema tanto a corto como a largo plazo y hace necesario prevenir o minimizar la contaminación (ISAURA, 2010; RUEDA *et al.*, 2011).

La principal especie del cadmio en la solución suelo es  $\text{Cd}^{2+}$ , pero este metal puede formar los siguientes complejos iónicos:  $\text{CdCl}^+$ ,  $\text{CdOH}^+$ ,  $\text{CdHCO}_3^+$ ,  $\text{CdCl}_3^-$ ,  $\text{CdCl}_4^{2-}$ ,  $\text{Cd}(\text{OH})_3^-$  y  $\text{Cd}(\text{OH})_4^{2-}$  además de complejos orgánicos. En las soluciones suelos en condiciones aeróbicas las especies de cadmio serán las siguientes: suelos ácidos:  $\text{Cd}(\text{II})$ ,  $\text{CdSO}_4$  y  $\text{CdCl}^+$ , suelos alcalinos:  $\text{Cd}(\text{II})$ ,  $\text{CdCl}^+$ ,  $\text{CdSO}_4$  y  $\text{CdHCO}_3^+$  (GONZALES, 2010; SUBERO, 2013).

Diversos países consideran valor máximo  $2 \text{ mg kg}^{-1}$  Cd total, válido para suelos agrícolas considerados “normales”. Por otro lado, las concentraciones máximas aceptables en suelos agrícolas de los países de la Unión Europea, son de  $3 \text{ mg kg}^{-1}$  (MIRANDA *et al.* 2008). Es importante anotar que los contenidos totales en suelos superiores a  $3 \text{ mg/Kg}$  para Cd se consideran

fitotóxicos según datos suministrados por el comité mixto OMS-FAO (1992) (INSUASTY *et al.*, 2006; BARRAGÁN 2008).

El estándar de calidad de suelos agrícolas según la Guía de Protección Ambiental de la Comunidad Europea (Guía de protección ambiental, 1995) los niveles de Cd disponible es de  $0.8 \text{ mg kg}^{-1}$  (SUBERO, 2013).

### **2.3.1. Movilidad del cadmio en el suelo**

El cadmio, es móvil en los suelos, aunque son las características edáficas las que pueden determinar, fundamentalmente, su mayor o menor movilidad (ISAURA 2010; RUEDA *et al.*, 2011).

El cadmio es uno de los metales traza del suelo más solubles, peligroso debido a su alta movilidad (MIRANDA *et al.*, 2008). La alta movilidad del cadmio en el suelo se atribuye a la acidez del suelo, para valores de pH menores de 6 el cadmio se adsorbe débilmente en la materia orgánica, arcillas y óxidos, mientras que para valores de pH mayores de 7 el cadmio puede coprecipitar con  $\text{CaCO}_3$ , o precipitar como  $\text{CdCO}_3$  (PRIETO *et al.*, 2009; ISAURA 2010).

INSUASTY *et al.* (2006), refieren que la movilidad del cadmio en suelos cultivados con trigo es baja, depositándose en la parte superficial. Asimismo señalan que suelos cultivados con papa, las mayores concentraciones de cadmio se encuentran en superficie de 0 – 13 cm.

El cadmio, a menudo, se acumula en la capa superficial del suelo y, por tanto, puede ser absorbido por las raíces de las plantas y cultivos. (GONZÁLES, 2010).

### **2.3.2. Disponibilidad del cadmio en el suelo**

La disponibilidad de los metales pesados en el suelo depende de su concentración en la solución del suelo y de su capacidad para liberar estas iones desde la fase sólida a la solución, de donde son tomadas por la planta. El Cd se encuentra unido muy fuertemente a los minerales de arcilla, óxidos de hierro y aluminio y materia orgánica (SUBERO 2013).

La disponibilidad del cadmio en los suelos es generalmente alta en comparación con otros metales como consecuencia de su mayor solubilidad y el predominio de uniones de baja energía con la fase sólida del suelo. En su trabajo de tesis, acumulación de metales (cadmio, zinc, cobre, cromo, níquel y plomo) en especies del género *Pelargonium* refiere que el cadmio es un elemento lábil, potencialmente biodisponible (INÉS, 2011).

### **2.3.3. Factores del suelo que afectan la acumulación del cadmio y su disponibilidad**

Las reacciones del cadmio con cada componente del suelo dependerán de factores tales como la textura, pH del suelo, materia orgánica, contenido y tipo de arcillas, capacidad de intercambio catiónico, carbonatos y óxidos del hierro y manganeso (RODRÍGUEZ *et al.*, 2008; SUBERO, 2013).

La textura del suelo es muy importante, para la acumulación y fijación de metales pesados, ya que en suelos arcillosos las arcillas tienden a adsorberlos y quedan retenidos en el complejo de cambio. Por el contrario, los suelos arenosos carecen de capacidad de fijación de los metales pesados, los cuales pasan rápidamente al subsuelo y pueden contaminar las aguas freáticas (PERIS, 2006; INÉS, 2011 y SUBERO 2013).

El pH es el principal factor que condiciona los procesos de adsorción de Cd en el suelo (PERIS, 2006). Por encima de  $\text{pH} = 6$ , la adsorción del cadmio se incrementa rápidamente, sin embargo, esto dependerá de las características de los constituyentes del suelo. En un estudio del efecto del pH sobre la adsorción y desorción de Cd en 17 suelos (Oxisoles) de Brasil, con diferencias en atributos físicos, químicos y mineralógicos, los suelos fueron ajustados a pH 4,5; 5,5 y 6,5 y se incubaron con solución de  $\text{Cd}(\text{NO}_3)_2$  por 72 horas. El Cd adsorbido fue 27% a pH 4.5, 35% a pH 5.5 y 55% a pH 6.5 (SUBERO 2013).

La materia orgánica es otro componente del suelo que actúa activamente en la sorción del cadmio, y esta actividad viene definida no solo por la cantidad en la que se encuentra en el medio edáfico, sino también y de forma determinante, por su composición (ISAURA, 2010).

La CIC, cuando se incrementa por el aumento del contenido de materia orgánica se incrementa también el número de grupo funcionales responsables de la adsorción del Cd. Por consiguiente, cuanto mayor sea la capacidad de intercambio catiónico mayor será la capacidad del suelo de fijar

metales (SUBERO 2013). La presencia de carbonatos en los suelos también afecta la capacidad de retención de metales (INÉS, 2011).

#### **2.3.4. Determinación del cadmio disponible en el suelo**

El procedimiento de análisis consta de una serie de etapas que se desarrollan sucesivamente hasta alcanzar el objetivo. Estas etapas que van desde el muestreo hasta la presentación de los resultados, son importantes y resultan determinantes a la hora de garantizar la representatividad y fiabilidad de los resultados. El contenido total de cadmio en el suelo da idea del nivel de contaminación, pero es la fracción de cadmio asimilable por la planta, la que indica el grado de toxicidad potencial del elemento para los seres vivos (GONZÁLES, 2010).

La determinación de la disponibilidad es fundamental para establecer la cantidad de metal potencialmente asimilable por la planta (MARTÍNEZ, 2010). La determinación de las formas químicas en las que un elemento se encuentra dentro del suelo, proporciona mayor información sobre la movilidad y por tanto su disponibilidad para las plantas.

En el Cuadro 3 se presentan los métodos más utilizados (GONZÁLES, 2010).

**Cuadro 3.** Métodos más utilizados para los análisis de cadmio disponible en el suelo

<b>Grupo</b>	<b>Reactivo extractante</b>
Agente complejante	EDTA 0.01 – 0.05M a diferentes pH
	DTPA 0.005M + TEA 0.1M
	CaCl <sub>2</sub> 0.01M
Disoluciones tampón	NH <sub>4</sub> AcO/HAcO 1M tamponado a pH=7
	NH <sub>4</sub> AcO/HAcO 1M tamponado a pH=4.8
Disoluciones salinas no tamponadas	CaCl <sub>2</sub> 0.1M
	CaCl <sub>2</sub> 0.005M
	CaCl <sub>2</sub> 0.01M
	NaNO <sub>3</sub> 0.1M
	NH <sub>4</sub> NO <sub>3</sub> 1M

**Fuente:** GONZÁLES (2010)

#### **2.4. El cadmio en las plantas**

Entre las proteínas responsables de la entrada de cadmio a la célula vegetales destacan el transportador de calcio LCT1, y la proteína IRT1. El cadmio se acumula preferentemente en la raíz quedando secuestrado en la vacuola de las células, y sólo una pequeña parte es transportada a la parte aérea de la planta concentrándose en orden decreciente en tallos, hojas, frutos y semillas (RODRÍGUEZ *et al.*, 2008).

El Cd también puede penetrar utilizando transportadores de otros metales tales como Ca<sup>2+</sup>, Fe<sup>2+</sup> y Zn<sup>2+</sup> Una vez que los metales se han movilizad, son capturados por las células de las raíces, donde se unen inicialmente a la pared

celular de las células epidérmicas para ser luego translocados por intercambio iónico al resto de la planta (PERNÍA *et al.*, 2008).

Algunos metales y metaloides no esenciales para los vegetales son absorbidos, translocados y acumulados en la planta debido a que presentan un comportamiento electroquímico similar a los elementos nutritivos requeridos (MIRANDA *et al.* 2008).

INÉS (2011), señala que el cadmio, es considerado elemento fácil de translocar a la parte superior de las plantas. Por otro lado, la capacidad de absorción y la distribución de los metales dentro de las plantas varían entre especies. Encontrando que la acumulación de Cd en lino (*Linum usitatissimum*) siguió el orden: raíces> tallos> hojas> flores; en cáñamo (*Cannabis sativa*), en cambio, el orden fue: flores> raíces> tallos> hojas.

#### **2.4.1. Absorción de cadmio por las plantas**

Todas las plantas absorben metales del suelo donde se encuentran pero en distinto grado, dependiendo de la especie vegetal, y de las características y contenido de los metales en el suelo (PRIETO 2009).

El cadmio, a menudo, se acumula en la capa superior del suelo y, por tanto, pueden ser absorbidos por las raíces de las plantas (GONZÁLES, 2010). La absorción de cadmio por parte de las raíces depende de su concentración en el suelo (PERNÍA *et al.*, 2008).

#### **2.4.2. Efectos tóxicos del cadmio sobre las plantas**

Los efectos tóxicos del cadmio sobre las plantas, han sido ampliamente estudiados, sin embargo los mecanismos de su toxicidad aún no se conocen completamente. El cadmio interfiere en la entrada, transporte y utilización de elementos esenciales (Ca, Mg, P y K) y del agua, provocando desequilibrios nutricionales e hídricos en la planta (MIRANDA *et al.*, 2008). Presenta modificaciones en la apertura estomática, fotosíntesis y transpiración (RODRÍGUEZ *et al.*, 2008). Pueden sustituir al ion Mg en la molécula de clorofila, lo que imposibilita la captación de fotones, generando como consecuencia una disminución de la actividad fotosintética (PERNÍA *et al.*, 2008). También reduce la absorción de nitratos y el transporte de los mismos de la raíz al tallo. Uno de los síntomas más extendidos de la toxicidad por cadmio es la clorosis producida por una deficiencia en hierro, fosfatos o por la reducción del transporte de Mn.

Estudios realizados por PRIETO *et al.* (2009), señalan que el cadmio, se pueden absorber en mayor grado en plantas como rábanos (*Raphanus sativus*) y zanahorias (*Daucus carota*), en las hojas de los rábanos se llegan a acumular mayores contenidos del metal, provocando en la hojas un marchitamiento y disminución en la longitud de sus raíces y de la biomasa, para zanahorias se reporta en igual grado acortamiento en raíces.

### **2.4.3. Cadmio en tejidos vegetales**

El cadmio en tejido foliar está ligado a los momentos fisiológicos en los que se llevaron a cabo los muestreos, ya que las plantas tienen diversas rutas metabólicas (MIRANDA *et al.*, 2008).

La planta de cacao absorbe ligeramente los metales pesados que existen por naturaleza en los suelos y los concentra en las semillas grasosas (BARRUETA 2013).

El cadmio en el fruto de cacao se distribuye de manera desigual, trabajos de investigación en Ecuador determinaron que la mayor cantidad de cadmio se acumula en el jugo y la pulpa (mucílago) del cacao (IPNI 2015).

### **2.5. Límites máximos admisibles en alimentos de cacao**

Los valores tolerables en presencia de metales pesados varían entre pocos miligramos hasta solamente microgramos en el producto final comercial, estos rangos extremadamente bajos vuelven todavía más complicados. El cadmio es tal vez el metal pesado con más atención por su reacción con una serie de trastornos incluido el cáncer, y por su extremadamente bajo valor tolerable que está en el rango de 0.2 -0.5 ppm para los alimentos terminados. (IPNI, 2015).

La legislación Australiana y Neozelandesa de metales pesados, determinaron que el contenido máximo de cadmio para chocolates y productos de cacao es de 0.5 mg/kg (BARRUETA, 2013).

SUBERO (2013) refiere que en la norma FAO/OMS (2007), el contenido máximo para almendras de cacao es de 0.5 mg/kg.

## **2.6. Efectos del cadmio en la salud humana**

El cadmio afecta diversos órganos y tejidos como: riñón (produciendo disfunción renal tubular, proteinuria e insuficiencia renal crónica), corazón (produciendo arteroesclerosis aórtica y coronaria, incremento en colesterol y ácidos grasos), huesos, placenta y sistema nervioso central y periférico (NAVA y MÉNDEZ, 2011).

La población está expuesta al cadmio principalmente por dos vías: la oral a través del agua e ingesta de comida contaminada con cadmio (hojas de vegetales, granos, cereales, frutas, vísceras animales y pescado); la segunda vía es a través de la inhalación de partículas de cadmio. El cadmio es transportado por la sangre y distribuido inicialmente al hígado y al riñón y tiene una vida media de 17 a 30 años en humanos. El pulmón es un órgano muy susceptible a la exposición a cadmio, la inhalación crónica subaguda, puede producir bronquitis con daño progresivo alveolar, fibrosis secundaria y enfisema (ISAURA, 2010; NAVA y MÉNDEZ, 2011).

## **2.7. Estudios sobre el contenido de cadmio en suelos y tejidos**

ZUÑIGA *et al.* (2008), analizaron la presencia de cadmio en muestras de suelo y granos provenientes de 38 fincas cacaoteras de las regiones San Martín, Amazonas y Cajamarca (Perú) reportan a nivel del suelo un rango de 0.02 a 0.46 ppm presentando una media de 0.14 ppm. A nivel de granos

frescos se tiene un rango de 0.10 a 2.97 ppm mientras que en granos de acopio el rango es de 0.10 a 2.29 ppm.

CÁRDENAS (2012), evaluó la presencia de cadmio en suelo, hojas y almendras de cacao en 20 parcelas de la Provincia de Leoncio Prado, Región Huánuco. Reporta en hojas y almendras promedios de 2.84 y 1.55 ppm respectivamente.

HUAMANI *et al.* (2012), analizaron la presencia de metales pesados en 22 parcelas de agricultores con cultivo de cacao orgánico, de las cuales 17 se localizan en la región de Huánuco y 5 en la región Ucayali. Reportan contenido promedio de cadmio disponible en suelo de 0.53 ppm y en tejido foliar reportan un valor promedio de 0.21 ppm.

REMIGIO (2015), determinó la concentración de cadmio en los granos y hojas de cacao en las regiones de Piura y Tumbes, reportando promedios mínimos y máximos de cadmio de 0.84 a 3.14 ppm y 1.71 a 7.00 ppm para Piura y 0.80 a 2.21 ppm y 1.34 a 6.27 ppm, para Tumbes respectivamente.

MARTÍNEZ (2010), en Colombia reporta contenidos máximos de cadmio total en suelos de 5.98 mg/kg de 0 a 20 cm y 5.51 mg/kg de 20 a 40 cm, y para cadmio disponible valores máximos de 4.15 mg/kg y 3.80 mg/kg que corresponde a las profundidades de 0 a 20 cm y 20 a 40 cm respectivamente. En granos de cacao fresco y fermentado valores máximos de 7.5 mg/kg y 5.12 mg/kg de cadmio total respectivamente.

MITE (2010), realizó estudios de cadmio en almendras de cacao, suelos y aguas, encontrando contenidos de cadmio en cascara, hojas, almendras y testas de cacao promedios de 1.01, 1.01, 0.84 y 1.60 mg/kg respectivamente.

SUBERO (2013), realizo estudios sobre el contenido de cadmio en almendras de cacao, los resultados varió entre 0.5 mg/kg hasta más de 10 mg/kg, los niveles de cadmio disponible en suelo son 0.25 y 1.25 mg/kg.

### III. MATERIALES Y MÉTODOS

#### 3.1. Ubicación de los campos

La ubicación de los campos muestreados se encuentran en el Cuadro 4.

**Cuadro 4.** Georreferenciación de las parcelas evaluadas

Datos			Coordenadas	Altitud (msnm)
Código	Procedencia	Suelo		
JA	Jacintillo	Residual	387852 E 8969422 N	665
RA	Ramal de Aspuzana	Aluvial	370213 E 9032394 N	550

JA = Jacintillo, RA = Ramal de Aspuzana.

#### 3.2. Cultivo del cacao

El trabajo de investigación se realizó en el cultivo de cacao (*Theobroma cacao*), clon CCN 51, orgánico, de 12 y 15 años de edad, bajo condiciones de suelo aluvial y residual.

El presente trabajo de investigación se llevó a cabo en dos parcelas de agricultores de cacao pertenecientes a la Cooperativa Agraria Industrial Naranjillo. Las referencias es que estas parcelas, de Jacintillo (suelo residual) y Ramal de Aspuzana (suelo aluvial), contienen niveles altos de cadmio total en almendras, 7.598 ppm y 6.569 ppm respectivamente, lo que motivó que fueran seleccionadas.

Las parcelas fueron debidamente georeferenciadas y trabajadas en el programa de ArcGIS para la ubicación de cada zona y que se pueden visualizar en el anexo. Las coordenadas se presentan en el Cuadro 4.

### **3.3. Metodología**

En cada parcela de cacao se procedió a realizar las siguientes evaluaciones:

#### **3.3.1. Del suelo**

Se efectuó la descripción morfológica del perfil del suelo residual (Jacintillo) y aluvial (Ramal de Aspuzana), según las normas establecidas para el estudio de suelos. Luego de realizado el muestreo del perfil por horizontes o capas, las muestras fueron enviadas al laboratorio de análisis de suelo de la Facultad de Agronomía para su análisis.

#### **3.3.2. De los tejidos**

En cada parcela de investigación se seleccionaron 20 plantas de cacao CCN-51, las que fueron identificadas y divididas en tercio inferior, tercio medio y tercio superior. De cada planta se obtuvo raíces, ramas, hojas, almendras y cáscara, para su posterior procesamiento en el laboratorio.

##### **a. Raíces**

Para el muestreo de raíces, se cortó una raíz superficial secundaria y se jaló obteniendo la raíz terciaria. Esto se realizó en las veinte

plantas de cacao identificadas para el estudio. De las veinte plantas de cacao se obtuvo una muestra de raíz.

#### **b. Ramas**

De las mismas plantas de cacao donde se obtuvieron las muestras de raíces, se obtuvieron las muestras de ramas. De cada parte y por planta se obtuvo una sub-muestra de las ramas, totalizando veinte por cada sección (tercio inferior, medio y superior). De las veinte ramas se obtuvo una muestra. Luego se cortaron en trozos pequeños para ser secados.

#### **c. Hojas**

De las mismas plantas de cacao donde se obtuvo las raíces y ramas, se obtuvieron también las muestras de hojas. De cada parte y por planta se obtuvo dos hojas, totalizando cuarenta por cada planta y sección. De las cuarenta hojas se obtuvo una muestra.

#### **d. Almendras**

De cada planta donde se obtuvo las muestras de raíces, ramas y hojas se obtuvieron también las muestras de almendras. De cada tercio y por planta se obtuvo una mazorca, totalizando veinte por cada planta y sección. De las veinte mazorcas se obtuvo una muestra. Los granos de cacao fresco fueron fermentados por seis días y posteriormente se realizó el secado por cinco días en promedio.

#### **e. Cáscara**

De las veinte mazorcas, se obtuvo las muestras de cáscaras y se realizó el secado respectivo.

Las muestras de raíces, ramas, hojas, almendras y cáscaras fueron codificadas y llevadas al laboratorio de análisis de suelo de la Facultad de Agronomía (UNAS) para su respectivo análisis.

#### **f. Análisis de laboratorio**

Las muestras en el laboratorio fueron preparadas para el análisis requerido. La preparación de las muestras incluyó: secado, molienda, tamizado, pesado y conservación.

### **3.3.3. Métodos de análisis de suelos**

De acuerdo al Laboratorio de Análisis de Suelo de la Facultad de Agronomía se procedió a trabajar con la siguiente metodología:

#### **a. Análisis físico**

- Análisis granulométrico %Ao, %Lo y %Ar: método del hidrómetro de Bouyoucos.

#### **b. Análisis químico**

- pH: Método potenciómetro en una suspensión suelo agua (1:1).
- Materia orgánica: Método de Walkley y Black.

- Fósforo disponible: Método de Olsen modificado. Extractor  $\text{NaHCO}_3$  0.5M pH 8.5.
- Potasio disponible: Desplazamiento con acetato de amonio 1N pH 7.0.
- CIC: Método del Acetato de Amonio 1N pH 7.0 (suelos con  $\text{pH} > 5.5$ ).
- Cationes cambiabiles:
  - Ca : Absorción atómica.
  - Mg : Absorción atómica.
  - K : Absorción atómica.
  - Na : Absorción atómica.
- CICe: KCl 1 N (Suelos  $\text{pH} < 5.5$ ).
- Cd Disponible: Extractante EDTA 0.05M pH 7.

### **3.3.4 Metodología de análisis de cadmio disponible en el suelo**

De acuerdo al Laboratorio de Análisis de Suelos de la Facultad de Agronomía se procedió a trabajar con la siguiente metodología:

- Pesar 5 g de suelo y colocarlo en un vaso previamente identificado.
- Agregar 20 ml de solución Extractante (EDTA 0.05M; pH 7 *Acido etilendiamino tetracético*).
- Agitar constantemente por 15 minutos.
- Filtrar con papel filtro Whatman N° 40.

- Leer en el EAA (lámpara de Cd 228.8 nm; celda 0.5 nm; patrones de Cadmio: 1 ppm, 2 ppm y 3 ppm).

**a. Método de análisis de cadmio total en tejidos**

De acuerdo al Laboratorio de Análisis de Suelo de la Facultad de Agronomía se procedió a trabajar con la metodología por vía seca:

- Pesar 2 g de muestra molida y colocarla en un crisol identificado previamente.
  - Colocar los crisoles en la estufa a 105 °C por 24 horas.
  - Sacar las muestras de la estufa y realizar el pesado.
  - Colocar los crisoles en la mufla, a 450 °C por 8 horas.
  - Apagar y dejar que enfríe antes de remover los crisoles.
  - Humedecer las muestras calcinadas con agua destilada.
  - Agregar lentamente 2 ml de HCl concentrado.
  - Colocar los crisoles en plancha eléctrica, calentar lentamente hasta que el HCl se seque.
  - Agregar 2 ml de agua destilada y 2 ml de HCl concentrado.
  - Calentar lentamente hasta que el líquido agregado seque.
  - Agregar 2 ml de HCl concentrado y calentar lentamente a fin de permitir la disolución.
  - Transferir el contenido del crisol ayudándose con agua caliente y filtrar a una fiola de 100 ml.
  - Lectura en el EAA.

## **b. Análisis estadísticos**

Los datos obtenidos a partir del análisis de suelos y tejidos fueron procesados y analizados con el uso del programa SPSS 22.

### **3.4. Características a evaluar**

#### **3.4.1 Del suelo**

- Descripción de calicatas y análisis físico-químico del suelo.
- Evaluación del nivel de cadmio disponible en el suelo.

#### **3.4.2 De las raíces**

- Caracterización nutricional de la raíz de cacao.
- Análisis de cadmio total a nivel de raíz.

#### **3.4.2 De las ramas**

- Caracterización nutricional de las ramas de cacao.
- Análisis de cadmio total a nivel de ramas.

#### **3.4.3 De las hojas**

- Caracterización nutricional de hojas de cacao.
- Análisis de cadmio total a nivel de hojas.

#### **3.4.4 De las almendras**

- Caracterización nutricional de almendras de cacao.
- Análisis de cadmio total a nivel de almendras.

### **3.4.5 De la cáscara**

- Características nutricionales de cáscaras de cacao.
- Análisis de cadmio total a nivel de cáscaras de cacao.

## IV. RESULTADOS Y DISCUSION

### 4.1. Descripción de los perfiles de suelo

#### 4.1.1. Suelo Jacintillo

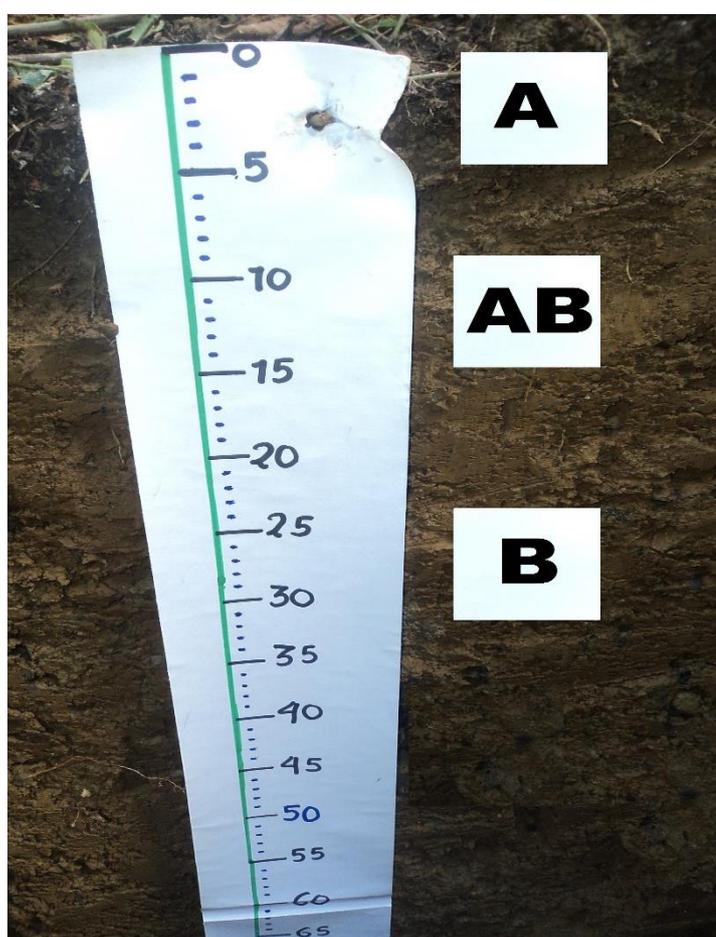
Se presenta la descripción del perfil del suelo a partir de la descripción de la calicata (Cuadros 5 y Figura 1). Ubicado en la localidad de Jacintillo, distrito de Rupa Rupa, provincia de Leoncio Prado, departamento de Huánuco.

- |     |                         |                            |
|-----|-------------------------|----------------------------|
| 1.  | Fecha                   | : 02/07/2014               |
| 2.  | Número de calicata      | : 001                      |
| 3.  | Localidad               | : Jacintillo               |
| 4.  | Cultivo                 | : Cacao                    |
| 5.  | Fisiografía             | : Lomada (lo)              |
| 6.  | Distribución de raíces  | : Abundante finas y medias |
| 7.  | Relieve                 | : Ondulado                 |
| 8.  | Pendiente               | : 30%                      |
| 9.  | Escorrentía superficial | : Grado 3 rápido           |
| 10. | Napa freática           | : No visible (nv)          |
| 11. | Ubicación               | : 387852 m E; 8969422 m N  |
| 12. | Altitud                 | : 665 msnm                 |

**Cuadro 5.** Perfil del suelo residual Jacintillo

Hz	Profundidad (cm)	Color		Estructura	Consistencia (húmedo)	pH
		Humedad	Seco			
A	0 a 10	10 YR 2/1	10 YR 7/1	Granular	Muy Friable	5.14
AB	10 a 28	10 YR 3/3	10 YR 8/4	Granular	Friable	5.20
B	28 a 125	10YR 4/4	10YR 7/4	Bloques	Friable	5.67

Hz= Horizonte



**Descripción**

**Horizonte A:** de 0 a 10 cm, de color negro (10 YR 2/1) en húmedo y en seco color gris claro (10 YR 7/1), estructura granular, muy ácido, alto contenido de materia orgánica, distribución de raíces abundantes finas y medias, M.O 6.55%

**Horizonte AB:** de 10 a 28 cm, de color marrón oscuro (10 YR 3/3) en húmedo y en seco color pardo muy pálido (10 YR 8/4), estructura granular, muy ácido, bajo contenido de materia orgánica, distribución de raíces pocas, finas, M.O 1.97%

**Horizonte B:** de 28 a 125 cm, de color pardo amarillento oscuro (10 YR 4/4) en húmedo y en seco color marrón muy pálido (10 YR 7/4), estructura bloques, ácido, bajo contenido de materia orgánica, distribución de raíces no existe, M.O 1.64%

**Fuente:** KAPLÁN *et al.* (2011)

**Figura 1.** Descripción morfológica del perfil de suelo residual (Jacintillo)

**4.1.2. Suelo Ramal de Aspuzana**

Se presenta la descripción del perfil del suelo a partir de la descripción de la calicata (Cuadros 6 y Figura 2). Ubicado en la localidad de

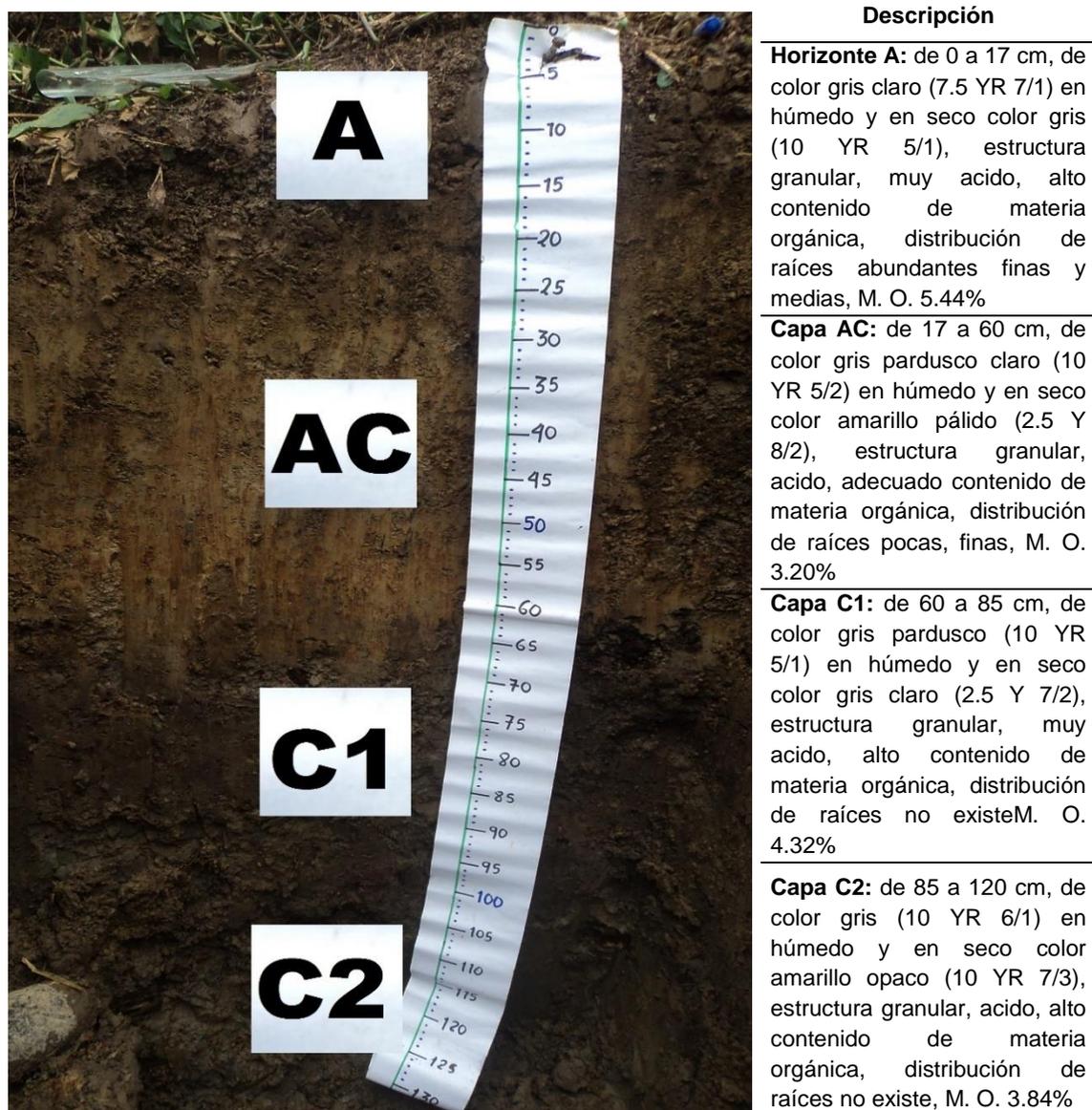
Ramal de Aspuzana, distrito de Nuevo Progreso, provincia de Tocache y departamento de San Martín.

1. Fecha : 04/07/2014
2. Número de calicata : 2
3. Localidad : Ramal de Aspuzana
4. Cultivo : cacao
5. Fisiografía : terraza baja inundable
6. Distribución de raíces : abundante finas y medias
7. Relieve : plano
8. Pendiente : > 0.2%
9. Escorrentía superficial : grado 0 muy lento
10. Napa freática : 125 cm
11. Ubicación : 370213 m E; 9032394 m N
12. Altitud : 550 msnm

**Cuadro 6.** Perfil del suelo aluvial Ramal de Aspuzana

Hz/Capas	Profundidad cm	Color		Estructura	Consistencia (Húmedo)	pH
		Humedad	Seco			
A	0 a 17	7.5 YR 5/2	10 YR 5/1	granular	muy friable	5.49
Capa Ac	17 a 60	10 YR 5/2	2.5 Y 8/2	granular	friable	5.88
Capa C1	60 a 85	10YR 5/1	2.5 Y 7/2	granular	friable	5.36
Capa C2	85 a 120	10YR 6/1	10 YR 7/3	granular	friable	5.67

Hz = horizonte



Fuente: KAPLÁN *et al.* (2011)

**Figura 2.** Descripción morfológica del perfil de suelo aluvial de Ramal de Aspuzana

#### 4.2. Análisis físico-químico de los suelos

Los suelos recolectados en las 2 parcelas se analizaron para conocer sus concentraciones físico-químicas. Los resultados se muestran en el Cuadro 9.

La clase textural del suelo de Jacintillo (JA-SR), es franco, franco arcilloso, arcillo arenoso, correspondiente a los horizontes A, AB y B respectivamente.

La clase textural para el suelo de Ramal de Aspuzana (RA-SA), es: franco limoso, arcillo limoso, franco arcillo limoso y arcillo limoso, correspondiente al horizonte A, y capas AC, C1, C2 respectivamente.

En relación al pH, en el suelo de Jacintillo (JA-SR), se encontró valores de 5.14, 5.20 y 5.76 correspondiente a los horizontes A, AB y B respectivamente, presentando un promedio de 5.34.

Para el pH en el suelo de Ramal de Aspuzana (RA-SA), se determinó valores de 5.49, 5.88, 5.36 y 5.67 correspondiente al horizonte A y capas AC, C1, C2 respectivamente, presentando un promedio de 5.60.

IPNI (2015), refiere que el pH para el cultivo de cacao es  $>5.6$ , según nuestros resultados se observa que el suelo aluvial Ramal de Aspuzana presenta un promedio de 5.60 y el suelo residual de Jacintillo un promedio de 5.34 valor que está por debajo de lo requerido para el cultivo de cacao.

El contenido de materia orgánica en el suelo de Jacintillo (JA-SR), es de 6.55%, 1.97% y 1.64% correspondiente a los horizontes A, AB y B respectivamente, presentando un promedio de 3.39%.

**Cuadro 7.** Resultados de los análisis físicos-químicos de los suelos Residual y Aluvial

Cód.	Análisis mecánico			clase textural	pH 1:1	M.O. %	N %	P ppm	K <sub>2</sub> O ppm	Cd ppm	Cmol(+)/Kg							% Sat Al
	Arena %	Arcilla %	Limo %								CIC	Ca	Mg	K	Na	Al	H	
JA-HzA	31.68	21.04	47.3	Franco	5.14	6.55	0.29	29.6	221	1.71	5.07	4.12	0.65	0.00	0.00	0.17	0.13	3.31
JA-HzAB	25.68	35.04	39.3	Franco arcilloso	5.2	1.97	0.09	48.6	317.4	0.52	2.43	1.76	0.38	0.00	0.00	0.17	0.13	6.90
JA-HzB	51.68	37.04	11.3	Arcillo arenoso	5.67	1.64	0.07	52.6	348.1	0.46	3.25	2.30	0.47	0.24	0.24	0.00	0.00	0.00
Promedio	36.35	31.04	32.6	Franco arcilloso	5.34	3.39	0.15	43.6	295.5	0.90	3.58	2.73	0.50	0.08	0.08	0.11	0.09	3.40
RA-HzA	23.68	25.04	51.3	Franco limoso	5.49	5.44	0.25	48.4	285.5	1.26	5.51	4.80	0.51	0.00	0.00	0.08	0.11	1.52
RA-CpAC	13.68	45.04	41.3	Arcillo limoso	5.88	3.2	0.14	78.8	327.7	2.55	5.16	3.61	0.68	0.52	0.34	0.00	0.00	0.00
RA-CpC1	11.68	31.04	57.3	Fran-arci- limoso	5.36	4.32	0.19	43.8	165	3.68	5.95	5.19	0.57	0.00	0.00	0.08	0.11	1.41
RA-CpC2	3.68	43.04	53.3	Arcillo limoso	5.67	3.84	0.17	52.7	197.6	1.8	7.03	3.82	0.53	2.40	0.28	0.00	0.00	0.00
Promedio	13.18	36.04	50.8	Fran-arci- limoso	5.6	4.2	0.19	55.9	243.9	2.32	5.91	4.36	0.57	0.73	0.16	0.04	0.06	0.73
Ref. (*)					>5.6	>2	>0.2	>7	>300	0.8	>7	6.6-11.3	>2.5	11-18				<30

(\*) SUBERO (2013); IPNI (2015)

JA-HzA: Jacintillo Horizonte A;  
RA-HzA: Ramal de Aspuzana Horizonte;  
RA-CpC2: Ramal de Aspuzana Capa C2;

JA-HzAB: Jacintillo Horizonte AB;  
RA-CpAC: Ramal de Aspuzana Capa AC;

JA-HzB: Jacintillo Horizonte B;  
RA-CpC1: Ramal de Aspuzana Capa C1;

El contenido de materia orgánica en el suelo de Ramal de Aspuzana (RA-SA), fue de 5.44%, 3.20%, 4,32% y 3.84% correspondiente al horizonte A y capas AC, C1, C2 respectivamente, presentando un promedio de 4.20%.

El valor óptimo del contenido de materia orgánica para el cultivo de cacao es >2% (IPNI, 2015); observamos que el suelo residual Jacintillo y suelo aluvial Ramal de Aspuzana presentan un promedio de 3.39% y 4.20%, valores superiores a lo recomendado

El contenido de fósforo en el suelo de Jacintillo (JA-SR), es 29.60 ppm, 48.59 ppm y 52.61 ppm correspondiente a los horizontes A, AB y B respectivamente, presentando un promedio de 43.60 ppm.

El contenido de fósforo en el suelo de Ramal de Aspuzana (RA-SA), es 48.38 ppm, 78,77 ppm, 43.82 ppm y 52.72 ppm correspondiente al horizonte A y capas AC, C1, C2 respectivamente, presentando un promedio de 55.92 ppm.

Estos valores muy altos se deben posiblemente al tipo de roca fosfórica existente, la influencia de la fertilización anterior ya que estos niveles son característicos de suelos de una historia agrícola prolongada (CÁRDENAS, 2012).

El contenido promedio de  $K_2O$  en ambos suelos, estuvieron por debajo del valor recomendado por IPNI (2015), que es de >300 kg/ha.

La capacidad de intercambio catiónico recomendado por CÁRDENAS (2012) y IPNI (2015), es mayor de 7 Cmol(+)/kg. En nuestro trabajo sólo la capa C2 del suelo aluvial estuvo dentro del valor requerido.

Asimismo, los valores de acidez cambiante son bajos lo cual se correlaciona con un porcentaje de saturación de aluminio bajo. Ningún valor supera el nivel de referencia de 30%. La baja saturación de aluminio en el suelo de Ramal de Aspuzana se puede considerar como característica de suelo aluvial, a diferencia de los suelos residuales (CÁRDENAS, 2012).

#### **4.2.1. Cadmio disponible en el suelo**

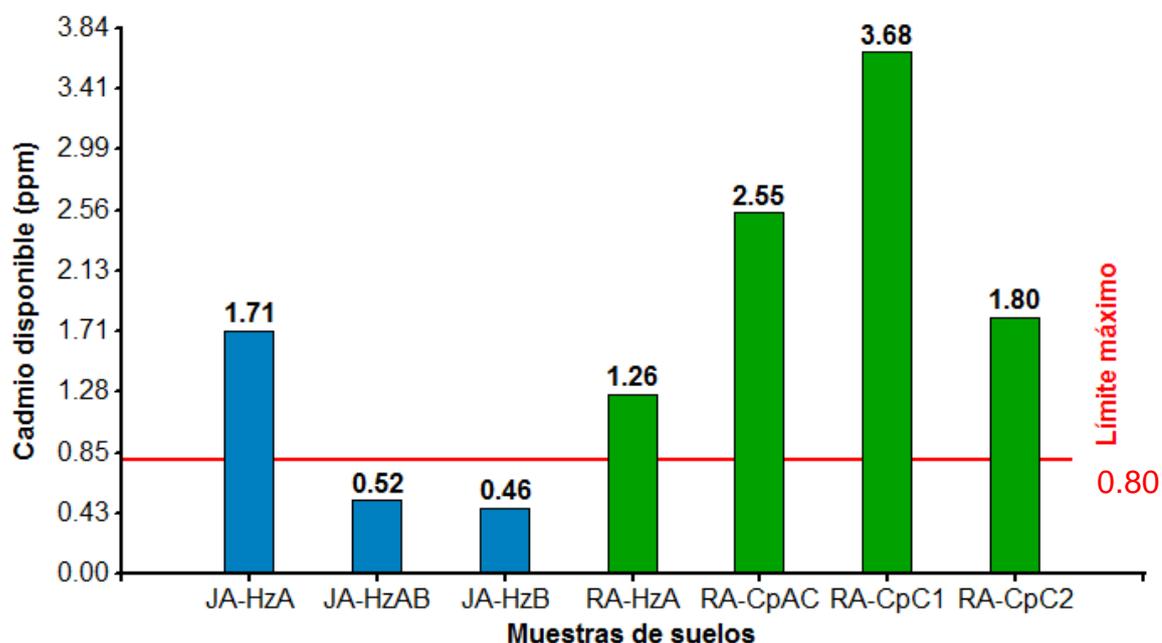
En el caso del cadmio disponible, en el suelo residual de Jacintillo (JA-SR), se presentan valores de 1.71 ppm, 0.52 ppm y 0.46 ppm correspondientes a los horizontes A, AB y B, respectivamente, con un promedio de 0.90 ppm.

Mientras tanto, el cadmio disponible en el suelo aluvial del Ramal de Aspuzana (RA-SA), alcanzó valores de 1.26 ppm, 2.55 ppm, 3.68 ppm y 1.80 ppm correspondientes al horizonte A y capas AC, C1, C2 respectivamente, con un promedio de 2.32 ppm.

Según la Guía de Protección Ambiental de la Comunidad Europea, el nivel crítico de Cd disponible es 0,8 mg kg<sup>-1</sup> (SUBERO, 2013). En la Figura 1 podemos visualizar que el suelo de Jacintillo supera el límite máximo permisible en el horizonte A, mientras que el suelo de Ramal de Aspuzana supera el límite

permisible en el horizonte A y las capas AC, C1, C2 destacando la capa C1 con un valor de 3.68 ppm.

En el suelo aluvial del Ramal de Aspuzana se presenta mayor contenido de Cadmio disponible en relación a suelo residual de Jacintillo.



JA-HzA: Jacintillo Horizonte A;  
JA-HzAB: Jacintillo Horizonte AB;  
JA-HzB: Jacintillo Horizonte B;  
RA-CpAC: Ramal de Aspuzana Capa AC;  
RA-CpC2: Ramal de Aspuzana Capa C2.

JA-HzAB: Jacintillo Horizonte AB;  
RA-HzA: Ramal de Aspuzana Horizonte;  
RA-CpC1: Ramal de Aspuzana Capa C1;

**Figura 3.** Concentración de cadmio disponible en el suelo

INSUASTY *et al.* (2006) refieren que el cadmio se deposita en la parte superficial del suelo. Asimismo señalan que la mayor concentración de Cadmio se encuentra en la superficie de 0 – 13 cm. En Colombia en un estudio de determinación de cadmio en suelos y granos de cacao fresco y fermentado, se reportan contenidos máximos de Cd disponible de 0 a 20 cm. Asimismo, MITE (2010) en estudios de contenido de cadmio en Ecuador, refiere que las

mayores concentraciones de cadmio disponible se encontró en la parte superficial del suelo. Tomando esta referencia podemos manifestar que hay concordancia con el resultado obteniendo en nuestro trabajo ya que en el caso del suelo de Jacintillo, en el horizonte A de 0 a 10 cm se determinó mayor contenido de cadmio disponible.

Para el caso de suelo aluvial Ramal de Aspuzana se presentó un mayor contenido de cadmio en las capas inferiores que en el horizonte A superficial, lo que tal vez pueda deberse a la acumulación continúa de sedimentos con alto contenido de cadmio.

CÁRDENAS (2012) en parcelas con cultivos orgánicos de la región Huánuco encontró que los mayores valores de cadmio disponible en el suelo (1.82 y 1.63 ppm) se presentaban en las riberas del río Huallaga y Tulumayo, respectivamente. WALSH citado por CÁRDENAS (2012), observó presencia de cadmio en los sedimentos del río Huallaga, valores entre 1.28 y 2.57 ppm encontrando los valores más altos en épocas secas.

Las causas posibles de estos niveles de cadmio disponible encontrado en el suelo puede ser el tipo de material parental, el uso de fuentes fosfatadas, también puede ser la contaminación del río. RUEDA *et al.* (2011), señalan que la concentración del cadmio está influenciada por el tipo de suelo en función de las características físico-químicas.

**Cuadro 8.** Coeficientes de correlación del contenido de cadmio disponible en el suelo residual y propiedades físico-químicas del suelo

	Arena	Arcilla	pH	M.O	P	K <sub>2</sub> O	CIC
Cadmio suelo residual	-0.337	-0.997*	-0.621	0.999*	-0.993	-0.982	0.939

\*Correlación significativa (P<0.05) n = 3

En el suelo residual (Cuadro 10) se tienen los resultados de los análisis de correlación realizados. Se obtiene significación positiva entre el contenido de Cd en el suelo con el contenido de materia orgánica, mientras que en el caso del porcentaje de arcilla es negativa.

Las arcillas tienden a adsorber al Cd que queda retenido en el complejo de cambio (PERIS, 2006; INÉS, 2011 y SUBERO, 2013).

La materia orgánica es otro componente del suelo que actúa activamente en la sorción del cadmio, y esta actividad viene definida no sólo por la cantidad en la que se encuentra en el medio edáfico, sino también y de forma determinante, por su composición (ISAURA, 2010).

**Cuadro 9.** Coeficientes de correlación del contenido de cadmio disponible del suelo aluvial y propiedades físico químicas del suelo.

	Arena	Arcilla	pH	M.O	P	K <sub>2</sub> O	CIC
Cadmio Suelo aluvial	-0.314	0.109	-0.256	-0.402*	-0.031	-0.455	-0.221

Ningún valor tuvo significancia estadística n = 4

Nuestros resultados concuerdan con las referencias tomadas, demostrando que existe relación entre el cadmio en el suelo con la arcilla y la materia orgánica.

En el suelo aluvial (Cuadro 11) se observa que al correlacionar los valores de cadmio disponible con las variables estudiadas no hubo correlación significativa. Sin embargo se puede apreciar una tendencia negativa entre la presencia de cadmio con porcentaje de arena, pH, MO, P, K<sub>2</sub>O y CIC, y relación positiva con el porcentaje de arcilla.

De acuerdo a los datos mostrados en los Cuadro 10 y 11 se nota la variabilidad de la relación o asociación entre el contenido de cadmio disponible en el suelo en relación a las propiedades físico-químicas del suelo. Esto nos indica que la presencia de cadmio no puede realizarse de manera genérica para todos los suelos, sino que hay que tener presente el tipo, la composición y el uso actual o potencial de cada uno.

PERIS (2006) e INÉS (2011), refieren que la composición granulométrica de los suelos tiene una gran importancia en la retención de los metales debido fundamentalmente, a la capacidad de adsorción de las arcillas.

ISAURA (2010), refiere que la materia orgánica es otro componente del suelo que actúa activamente en la sorción del Cd, y esta actividad viene definida no sólo por la cantidad en la que se encuentra en el medio edáfico, sino también y de forma determinante, por su composición.

GÓNZALES (2010), refiere que cuanto mayor sea la capacidad de intercambio catiónico (CIC), mayor será la capacidad del suelo de fijar los metales.

#### 4.3. Resultados de los análisis en tejidos

Se realizó análisis de macro-micro elementos y cadmio de raíces, ramas, hojas, almendras y cascaras del cultivo de cacao

##### 4.3.1. Contenido de nutrientes a nivel de raíces de cacao

Las raíces recolectadas en las 4 parcelas se analizaron para conocer la concentración de elementos como N, P, Ca, Mg, K, Fe, Mn, Zn, Cu y Cd, que se presentan en el Cuadro 11. No se encontró referencias del requerimiento nutricional en raíces de cacao.

**Cuadro 10.** Concentración de Cadmio total con macro y micro elementos a nivel de raíces en un suelo aluvial y residual

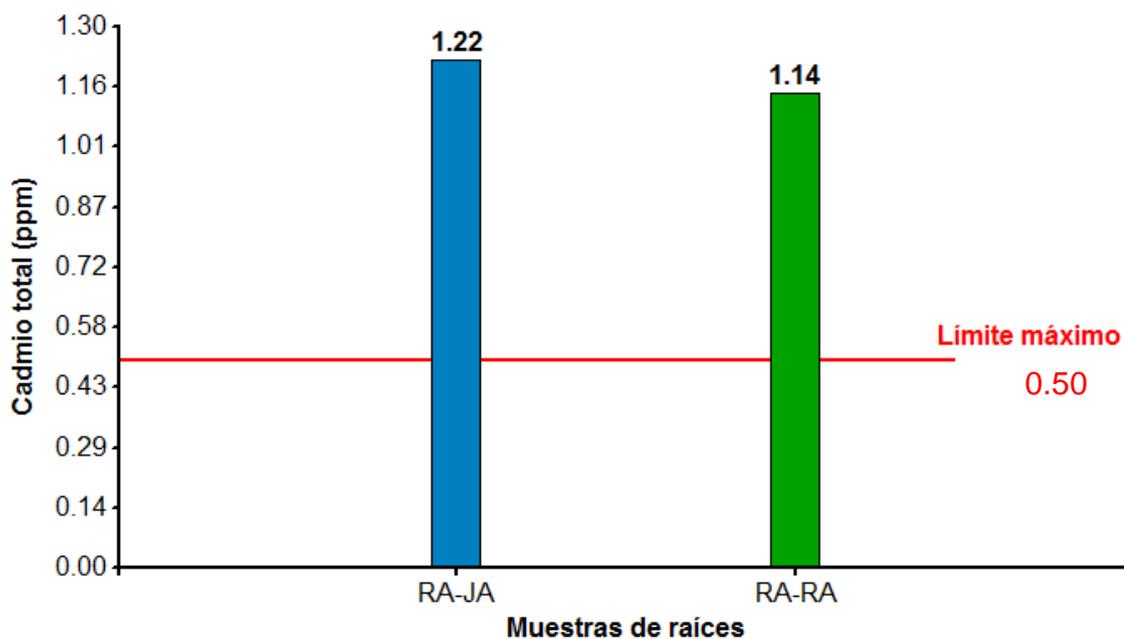
Cód.	Contenido (%)					Contenido (ppm)				
	N	P	Ca	Mg	K	Fe	Mn	Zn	Cu	Cd
JA	0.87	0.19	2.87	1.07	0.40	24.56	32.75	47.31	4.13	1.22
RA	0.83	0.06	3.40	0.76	0.48	98.59	104.78	79.77	6.45	1.14

RA-JA: Raíces Jacintillo;

RA-RA: Raíces Ramal de Aspuzana.

##### 4.3.2. Cadmio total en raíz de cacao

En el caso del Cadmio total en raíces muestreadas en Jacintillo, se presenta valores de 1.22 ppm, mientras que en suelo de Ramal de Aspuzana se encontró valore de 1.14 ppm.



RA-JA: Raíces Jacintillo;

RA-RA: Raíces Ramal de Aspuzana.

**Figura 4.** Concentración de cadmio total en raíz de cacao

En la Figura 2 podemos visualizar que en las raíces de cacao muestreadas en Jacintillo y Ramal de Aspuzana, el contenido de Cadmio total supera los valores permitidos para tejidos vegetales. Según el comité mixto OMS-FAO se estableció para cadmio 0.5 ppm como límite máximo, citado por SUBERO (2013)

Analizando los resultados de nuestro trabajo, se puede apreciar una mayor concentración de cadmio total en las raíces muestreadas en Jacintillo.

Tiene relación con los suelos muestreados en la misma parcela, ya que se encontró niveles de cadmio disponibles en la parte superior del suelo. GONZÁLES (2010), refiere que el cadmio, a menudo, se acumula en la capa

superior del suelo y, por tanto, puede ser absorbido por las raíces de las plantas.

Las raíces muestreadas en Ramal de Aspuzana presenta menor contenido de cadmio total, porque los suelos analizadas en la misma parcela reflejan valores inferiores en la parte superior en comparación con los suelos de Jacintillo.

PERNÍA *et al.* (2008), refieren que la absorción de cadmio por parte de las raíces depende de su concentración en el suelo. Las concentraciones de Cadmio total en las raíces de cacao están en función al contenido de cadmio disponible en la parte superior del suelo ya que ahí se encuentran las raíces en mayor proporción.

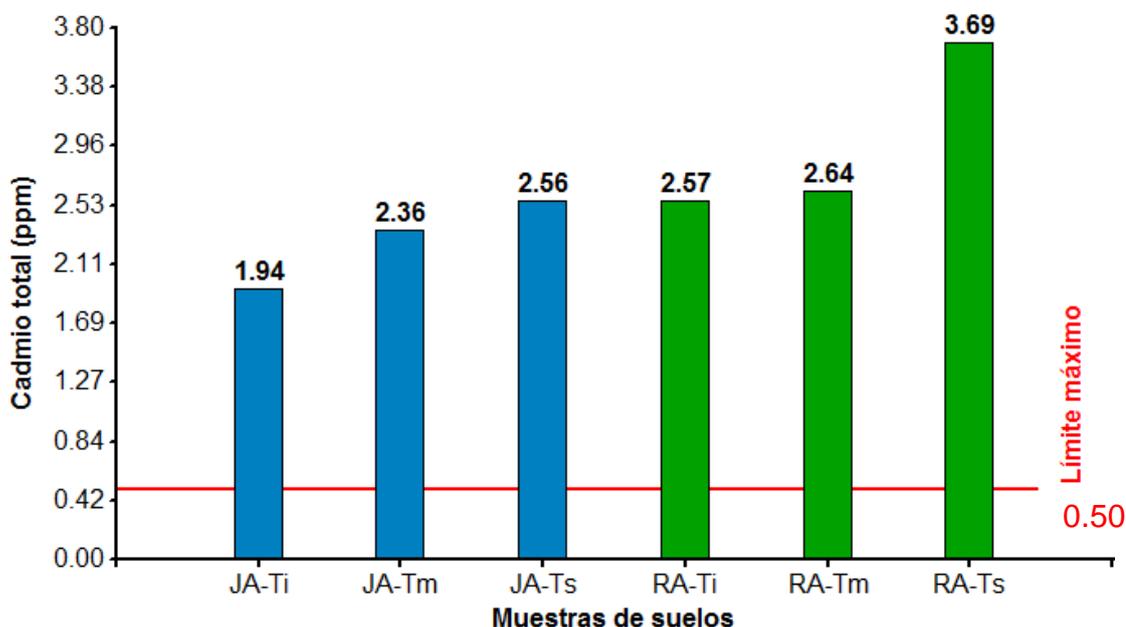
#### **4.3.3. Contenido de nutrientes a nivel de ramas de cacao**

Las ramas recolectadas en las 2 parcelas se analizaron para conocer la concentración de elementos como N, P, Ca, Mg, K, Fe, Mn, Zn, Cu y Cd. No se encontró referencias del requerimiento nutricional en ramas de cacao. En el Cuadro 13 se presentan los resultados.

#### **4.3.4. Cadmio total en ramas de cacao**

Suelo residual: en el caso del cadmio total en ramas muestreados en Jacintillo (JA), se presentan valores de 1.94 ppm, 2.36 ppm y 2.56 ppm que corresponden a ramas del tercio inferior, medio y superior respectivamente, con un promedio de 2.29 ppm.





JA-Ti: Jacintillo Tercio inferior;                      JA-Tm: Jacintillo Tercio medio;  
JA-Ts: Jacintillo Tercio superior;                      RA-Ti: Ramal de Aspuzana Tercio inferior;  
RA-Tm: Ramal de Aspuzana Tercio medio;                      RA-Ts: Ramal de Aspuzana Tercio superior.

**Figura 5.** Concentración de cadmio total en ramas de cacao

Las partes evaluadas a nivel de las ramas que más destacan son tercio superior tanto en las parcelas de Jacintillo y Ramal de Aspuzana. De acuerdo con nuestros resultados podemos decir, que a nivel de las ramas, el cadmio es móvil.

PERIS (2006) y PRIETO (2009), refieren que las plantas acumuladoras incrementan activamente metales en sus tejidos. De acuerdo a nuestros resultados podríamos afirmar que el cultivo de cacao es una planta acumuladora de metales. INÉS (2011), refiere que el cadmio, es considerado elemento fácil de translocar a la parte superior de las plantas.

**Cuadro 12.** Coeficientes de correlación del contenido de cadmio total con macro y micro elementos a nivel de ramas en cacao.

	<b>Cadmio en ramas (JA)</b>	<b>Cadmio en ramas (RA)</b>
Cd - suelo	-0.961	0.875
P - Ramas	0.748	0.001
Ca - Ramas	0.879	0.999**
Mg - Ramas	-0.772	-0.835
K - Ramas	0.999**	0.988
Fe - Ramas	0.343	0.737
Mn - Ramas	0.462	0.886
Zn - Ramas	0.775	0.734
Cu - Ramas	0.940	0.485

\*\*Correlación altamente significativa (P<0.01)

JA: Jacintillo

RA: Ramal de Aspuzana

En el Cuadro 14 se tienen los resultados de los análisis de correlación realizados. Se obtiene significancia positiva entre el contenido de Cd en ramas con el contenido de Ca y K.

SUBERO (2013) refiere que encontraron patrones de concentraciones muy similares entre los iones  $\text{Ca}^{2+}$  y  $\text{Cd}^{2+}$  atribuidos a la semejanza de las características periódicas, relacionadas al radio iónico y número de valencia. Esta afinidad química se da en los resultados de nuestro trabajo, observándose que la mayor asociación se da entre el cadmio total en ramas con el Ca.

#### 4.3.5. Contenido de nutrientes a nivel de hojas de cacao

Analizando los datos del Cuadro 15, en relación con los datos referidos por IPNI (2015), los contenidos de nutrientes en hojas de cacao a nivel foliar presentan valores aceptables de N, Ca, Mg, K, Mn y Zn. En el caso del contenido de P, Fe y Cu se encontró niveles bajos.

Con respecto al Zn en el cacao de Ramal de Aspuzana, se encontró valores de 332.33 ppm, 236.12 ppm y 246.23 ppm, valores que superan lo referido por IPNI (2015), que es de 80 – 170 ppm.

**Cuadro 13.** Concentración de cadmio total y algunos macro y micro elemento a nivel de hojas en el suelo aluvial y residual

Descripción	Contenido (%)					Contenido (ppm)				
	N	P	Ca	Mg	K	Fe	Mn	Zn	Cu	Cd
JA-Ti	2.58	0.20	2.38	0.83	1.02	28.95	120.66	77.85	9.18	1.83
JA-Tm	2.08	0.14	8.85	1.18	0.63	47.60	235.59	131.86	3.13	1.48
JA-Ts	2.19	0.15	7.50	1.12	0.53	47.49	196.58	124.09	2.91	1.00
Promedio	2.28	0.16	6.24	1.04	0.73	41.35	184.28	111.27	5.07	1.44
RA-Ti	2.08	0.14	5.34	0.73	1.02	56.50	75.94	170.25	6.46	2.51
RA-Tm	2.13	0.12	11.31	0.95	0.68	50.59	100.75	332.33	3.11	3.32
RA-Ts	2.32	0.13	8.82	0.91	0.74	58.29	65.45	236.12	6.18	2.70
Promedio	2.17	0.13	8.49	0.86	0.82	55.13	80.71	246.23	5.25	2.84
Ref. (*)	>2	>0.2	>2	>0.45	>0.40	65 -175	50 -400	80 -170	8-12	0.05-0.5

(\*) SUBERO (2013), IPNI (2015)

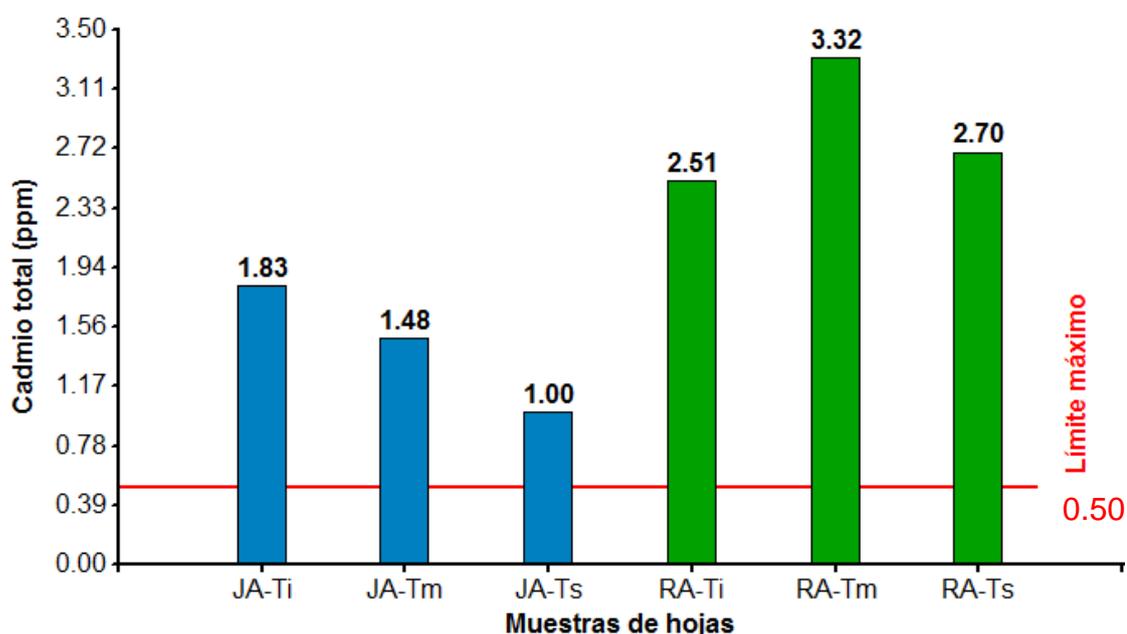
JA-Ti: Jacintillo Tercio inferior;  
 JA-Ts: Jacintillo Tercio superior;  
 RA-Tm: Ramal de Aspuzana Tercio medio;

JA-Tm: Jacintillo Tercio medio;  
 RA-Ti: Ramal de Aspuzana Tercio inferior;  
 RA-Ts: Ramal de Aspuzana Tercio superior.

#### 4.3.6. Contenido de cadmio total en hojas de cacao

Suelo residual: en el caso del Cd total en hojas muestreadas en Jacintillo (JA), se presentan valores de 1.83 ppm, 1.48 ppm y 1.00 ppm que corresponden a la parte baja, media y alta respectivamente, con un promedio de 1.44 ppm.

Suelo aluvial: para Cd total en hojas muestreadas en Ramal de Aspuzana (RA), se tiene valores de 2.51 ppm, 3.32 ppm y 2.70 ppm que corresponden a la parte baja, media y alta respectivamente, presentando un promedio de 2.82 ppm.



JA-Ti: Jacintillo Tercio inferior;                      JA-Tm: Jacintillo Tercio medio;  
JA-Ts: Jacintillo Tercio superior;                    RA-Ti: Ramal de Aspuzana Tercio inferior;  
RA-Tm: Ramal de Aspuzana Tercio medio;        RA-Ts: Ramal de Aspuzana Tercio superior.

**Figura 6.** Concentración de cadmio total a nivel de hojas.

De acuerdo con la Figura 4 podemos observar que en las hojas de cacao muestreadas en Jacintillo (JA) y Ramal de Aspuzana (RA), el contenido de Cd total supera los valores permisibles. De acuerdo a SUBERO (2013) y IPNI (2015), el valor límite aceptable de Cd total en hojas es de 0.5 ppm.

De acuerdo a los resultados de nuestro trabajo, observamos que el cadmio se encuentra distribuido en todas las partes de la planta, destacando en Jacintillo en el tercio inferior (JA-Ti) y en Ramal de Aspuzana en el tercio medio (RA-Tm) respectivamente.

El alto contenido de Cd en hojas se debería al alto contenido de Cd en el suelo y ramas estudiados anteriormente.

MIRANDA *et al.* (2008), refieren que el cadmio en tejido foliar está ligado a los momentos fisiológicos en los que se llevaron a cabo los muestreos, ya que las plantas tienen diversas rutas metabólicas.

En el Cuadro 16 se tienen los resultados de los análisis de correlación realizados. No se obtiene significancia entre el contenido de Cd en las hojas con las variables en estudio.

Sin embargo se observa una relación entre el contenido de cadmio en las hojas con cadmio en las ramas, P, Ca, K, Fe, Zn y Cu. La absorción de cadmio está en competencia directa con otros nutrientes como calcio, potasio, magnesio, hierro, cobre, manganeso y zinc, por lo que pueden ser absorbidos por las mismas proteínas transportadoras (HUAMANI *et al.*, 2012).

**Cuadro 14.** Coeficientes de correlación del contenido de cadmio total con macro y micro elementos a nivel hojas

	<b>Cadmio en hojas (JA)</b>	<b>Cadmio en hojas (RA)</b>
Cd - suelo	0.841	0.261
Cd - Ramas	-0.958	-0.239
P - Hojas	0.718	-0.956
Ca - Hojas	-0.687	0.924
Mg - Hojas	-0.715	0.796
K - Hojas	0.913	-0.793
Fe - Hojas	-0.815	-0.900
Mn - Hojas	-0.578	0.868
Zn - Hojas	-0.734	0.982
Cu - Hojas	0.835	-0.989

Ningún valor tuvo significancia estadística                      n = 3

JA: Jacintillo  
RA: Ramal de Aspuzana

MARSCHNER (1986) citado por RODRÍGUEZ (2009) menciona que esta competencia ocurre particularmente entre iones con propiedades fisicoquímicas similares. Mengel y Kirkby (1982) citados por RODRÍGUEZ *et al.* (2009) mencionan que el movimiento de cadmio en la planta es parecido al del calcio. Alloway (1990) citado por RODRÍGUEZ *et al.* (2009) refiere que el Zn tiene una estrecha relación con el cadmio, ambos están fuertemente asociados en su geoquímica.

#### **4.3.7. Contenido de nutrientes a nivel de almendras**

Analizando los datos del Cuadro 16 en relación con los datos referidos por IPNI (2015), no presentan deficiencias en cuanto a N, P, Ca, Mg y K. En el caso de Fe, Mn, Zn y Cu sí presentan deficiencias

**Cuadro 15.** Concentración de cadmio total, macro y micro elementos en almendras de cacao en el suelo aluvial y residual

Descripción	Contenido (%)					Contenido (ppm)				
	N	P	Ca	Mg	K	Fe	Mn	Zn	Cu	Cd
JA-Ti	2.35	0.40	1.29	0.67	0.92	26.42	11.52	51.25	11.19	0.87
JA-Tm	2.30	0.32	1.14	0.66	0.63	7.39	9.65	31.56	6.80	0.82
JA-Ts	2.12	0.35	1.15	0.67	0.72	6.01	8.81	39.57	6.17	0.84
Promedio	2.26	0.36	1.19	0.66	0.76	13.27	9.99	40.79	8.05	0.84
RA-Ti	2.34	0.32	1.16	0.66	0.63	91.49	14.44	41.33	8.11	1.15
RA-Tm	2.37	0.34	0.90	0.61	0.65	15.75	8.87	35.89	8.39	1.12
RA-Ts	2.39	0.32	0.83	0.60	0.63	12.01	10.62	41.14	7.03	0.97
Promedio	2.37	0.33	0.96	0.62	0.64	39.75	11.31	39.45	7.84	1.08
Ref. (*)	1.95	0.04	0.006	0.014	0.29	100	20	50		0.5

(\*) BARRUETA (2013), SUBERO (2013) y IPNI (2015)

JA-Ti: Jacintillo Tercio inferior;

JA-Tm: Jacintillo Tercio medio;

JA-Ts: Jacintillo Tercio superior;

RA-Ti: Ramal de Aspuzana Tercio inferior;

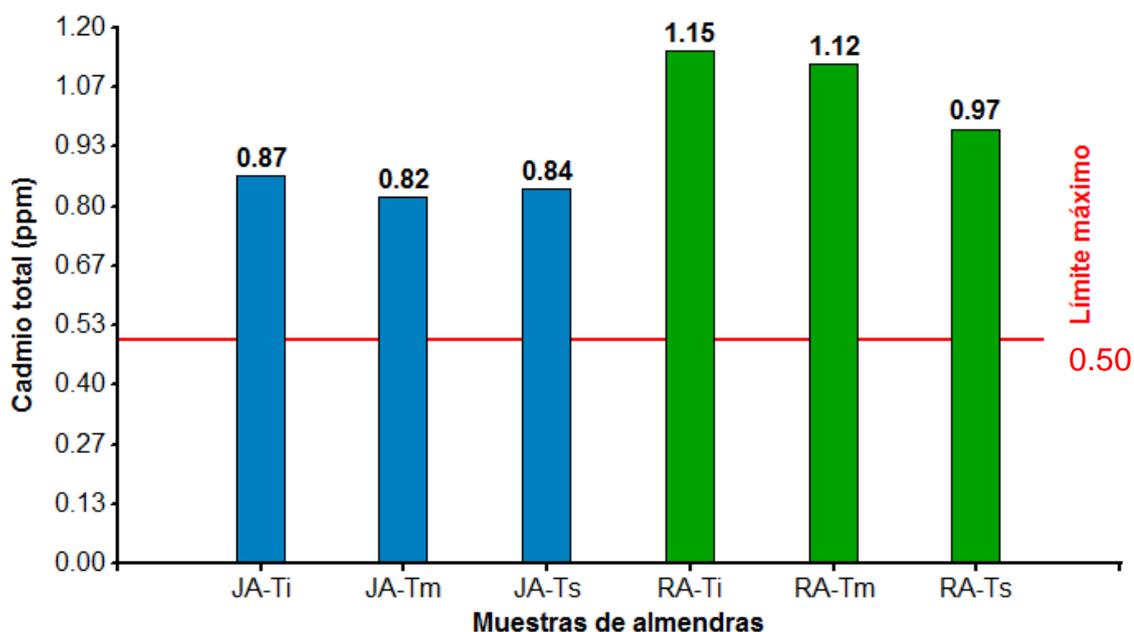
RA-Tm: Ramal de Aspuzana Tercio medio;

RA-Ts: Ramal de Aspuzana Tercio superior.

#### 4.3.8. Contenido de cadmio total en almendras

Suelo residual: en el caso del Cd total en almendras muestreadas en Jacintillo (JA), se presentan valores de 0.87 ppm, 0.82 ppm y 0.84 ppm, que corresponden a almendras del tercio inferior, tercio medio y tercio superior, con un promedio de 0.84 ppm.

Suelo aluvial: para cadmio total en almendras muestreadas en el Ramal de Aspuzana (RA), se tiene valores de 1.15 ppm, 1.12 ppm y 0.97 ppm que corresponden a almendras de la parte baja, media y alta respectivamente, con un promedio de 1.08 ppm.



JA-Ti: Jacintillo Tercio inferior;                      JA-Tm: Jacintillo Tercio medio;  
JA-Ts: Jacintillo Tercio superior;                    RA-Ti: Ramal de Aspuzana Tercio inferior;  
RA-Tm: Ramal de Aspuzana Tercio medio;        RA-Ts: Ramal de Aspuzana Tercio superior.

**Figura 7.** Concentración de cadmio total en almendras de cacao

De acuerdo con la Figura 5 podemos observar que las almendras de cacao muestreadas en Jacintillo (JA) y Ramal de Aspuzana (RA), superan el contenido máximo de Cd total, que de acuerdo con la norma FAO/OMS (2007) el contenido máximo para almendras de cacao es de 0.5 mg/kg (SUBERO 2013).

El cadmio en el fruto de cacao se distribuye de manera desigual (IPNI, 2015); los resultados de nuestro trabajo coinciden con la referencia, porque ciertamente el Cd se encuentra distribuido en forma desigual en las almendras del cacao.

Las altas concentraciones de Cd total en almendras, puede ser debido a las altas concentraciones de Cd disponible en el suelo, Cd total en raíz, tallos, hojas, y a su movilidad en el cultivo. De acuerdo a BARRUETA (2013), la planta de cacao absorbe ligeramente los metales pesados y los concentran en las semillas grasosas. En nuestro caso el mayor contenido de Cd en almendras del Ramal de Aspuzana (RA) puede estar relacionado al mayor contenido de Cd en el suelo, tallo y hojas.

BARRUETA (2013), según la legislación australiana y neozelandesa de metales pesados, indica que el contenido máximo de cadmio para chocolates y productos de cacao es de 0.5 mg/kg. Es tal vez el metal pesado con más atención por su reacción con una serie de trastornos incluido el cáncer y por su extremadamente bajo valor tolerable que está en el rango de 0.2 -0.5 ppm para los alimentos terminales (IPNI, 2015).

En el Cuadro 18 se tienen los resultados de los análisis de correlación realizados. Se obtiene significancia positiva entre el contenido de Cd en almendras con el contenido de P y Zn.

Suelo de Jacintillo: los resultados de nuestro trabajo indican que a medida que el Cd en almendras aumenta, también aumenta el P y Zn.

Suelo de Ramal de Aspuzana: no se observa significancia, pero si una relación negativa del Cd en almendras con Cd en el suelo y tallo y positiva con el Cu.

**Cuadro 16.** Coeficientes de correlación del contenido de cadmio total con macro y micro elementos a nivel de almendras de cacao

	<b>Cadmio en almendras (JA)</b>	<b>Cadmio en almendras (RA)</b>
Cd - suelo	0.900	-0.919
Cd - Ramas	-0.745	-0.995
Cd - Hojas	0.521	0.141
P - Almendras	0.999**	0.359
Ca - Almendras	0.940	0.772
Mg - Almendras	0.803	0.742
K - Almendras	0.995	0.359
Fe - Almendras	0.892	0.661
Mn - Almendras	0.754	0.359
Zn - Almendras	0.999**	-0.330
Cu - Almendras	0.866	0.939

\*\*Correlación altamente significativa (P<0.01)

n = 3

JA: Jacintillo

RA: Ramal de Aspuzana

El Cd en almendras tiene una relación muy variable con macro y micro elementos. Benavides *et al.* (2005), citados por HUAMANI *et al.* (2012), consideran que la absorción de cadmio está en competencia directa con otros nutrientes como Ca, K, Mg, Fe, Cu, Mn, Zn, por lo que pueden ser absorbidos por las mismas proteínas transportadoras.

#### **4.3.9. Contenido de nutrientes a nivel de cáscaras de cacao**

En el Cuadro 19 presentamos los resultados de los análisis macro y micro elementos de las cáscaras de cacao.

Las cáscaras recolectadas en las 2 parcelas se analizaron para conocer la concentración de elementos como N, P, Ca, Mg, K, Fe, Mn, Zn, Cu y Cd. No se encontró referencias del requerimiento nutricional en cáscaras de cacao (Cuadro 19)

**Cuadro 17.** Concentración de cadmio total, macro y micro elemento en cáscaras de cacao en suelo aluvial y residual

Descripción	Contenido (%)					Contenido (ppm)				
	N	P	Ca	Mg	K	Fe	Mn	Zn	Cu	Cd
JA-Ti	1.23	0.15	2.16	0.65	1.93	0.76	51.11	58.30	2.14	1.05
JA-Tm	1.34	0.12	1.89	0.68	2.19	25.41	26.06	49.41	4.37	0.46
JA-Ts	1.46	0.14	1.81	0.70	2.50	50.96	49.63	56.62	2.04	0.79
Promedio	1.34	0.14	1.95	0.68	2.21	25.71	42.27	54.78	2.85	0.77
RA-Ti	1.34	0.18	1.90	0.67	2.49	39.14	13.95	74.46	4.13	0.46
RA-Tm	1.59	0.17	1.66	0.70	2.52	165.40	19.38	81.26	2.50	1.02
RA-Ts	1.70	0.15	1.68	0.61	2.44	124.90	22.21	79.29	7.43	0.78
Promedio	1.54	0.17	1.75	0.66	2.48	109.81	18.51	78.34	4.69	0.75
Ref. (*)										0.5

(\*) BARRUETA (2013), CÁRDENAS (2012)

JA-Ti: Jacintillo Tercio inferior;  
 JA-Ts: Jacintillo Tercio superior;  
 RA-Tm: Ramal de Aspuzana Tercio medio;

JA-Tm: Jacintillo Tercio medio;  
 RA-Ti: Ramal de Aspuzana Tercio inferior;  
 RA-Ts: Ramal de Aspuzana Tercio superior.

#### 4.3.10. Contenido de cadmio total en cáscaras de cacao

Suelo residual: en el caso del Cd total en cáscaras muestreadas en Jacintillo (JA), se presentan valores de 1.05 ppm, 0.46 ppm y 0.79 ppm, que corresponden al tercio inferior, tercio medio, tercio superior respectivamente, con un promedio de 0.77 ppm.



**Cuadro 18.** Coeficientes de correlación del contenido de cadmio total con macro y micro elementos a nivel de cáscaras de cacao

	<b>Cadmio en cáscaras (JA)</b>	<b>Cadmio en cáscaras (RA)</b>
Cd - Suelo	0.805	0.600
Cd - Ramas	-0.611	0.138
Cd - Hojas	0.357	0.929
Cd - Almendras	0.983	-0.236
P - Almendras	0.993	-0.404
Ca - Almendras	0.688	-0.934
Mg - Almendras	-0.540	0.249
K - Almendras	-0.394	0.294
Fe - Almendras	-0.430	0.993
Mn - Almendras	0.920	0.707
Zn - Almendras	0.962	0.988
Cu - Almendras	-0.881	-0.246

Correlación significativa (P<0.05) n = 3

JA: Jacintillo  
RA: Ramal de Aspuzana

PERNÍA *et al.* (2008), refieren que una vez que los metales se han movilizado, son capturados por las células de las raíces, donde se unen inicialmente a la pared celular de las células epidérmicas para ser luego translocados por intercambio iónico al resto de la planta.

Estos resultados es necesario tenerlos en cuenta al momento de utilizar las cáscaras como parte del abono orgánico ya que se determinó un valor máximo de 1.05 ppm de Cd total.

En el Cuadro 20 se tienen los resultados de los análisis de correlación realizados. No se obtiene significancia entre el contenido de Cd en cáscaras con las variables en estudio.

**Cuadro 19.** Promedios de cadmio total en ramas, hojas, almendras y cáscara.

Cód.	Contenido de cadmio (ppm)			
	Ramas	Hojas	Almendras	Cáscaras
JA-Ti	1.94	1.83	0.87	1.05
JA-Tm	2.36	1.48	0.82	0.46
JA-Ts	2.56	1.00	0.84	0.79
RA-Ti	2.57	2.51	1.15	0.46
RA-Tm	2.64	3.32	1.12	1.02
RA-Ts	3.69	2.7	0.97	0.78

JA-Ti: Jacintillo Tercio inferior;  
JA-Ts: Jacintillo Tercio superior;  
RA-Tm: Ramal de Aspuzana Tercio medio;

JA-Tm: Jacintillo Tercio medio;  
RA-Ti: Ramal de Aspuzana Tercio inferior;  
RA-Ts: Ramal de Aspuzana Tercio superior.

En el Cuadro 21 presentamos los contenidos de cadmio total en cuatro órganos del cultivo de cacao. Se observa que en el cadmio se distribuye en toda la planta y que el tejido con mayor contenido de cadmio es el tallo seguido por hojas, raíz, almendras y cascara.

Considerando que el límite máximo de cadmio disponible en el suelo es de 0.8 ppm según SUBERO (2013) y que el cadmio total en tejidos es de 0.5 ppm según BARRUETA (2013), las parcelas muestreadas superan tales límites, observándose también que el contenido de cadmio en tejidos tiene relación con el contenido de cadmio en el suelo.

**Cuadro 20.** Coeficientes de correlación del contenido de cadmio total a nivel de cáscaras, tallos, hojas y almendras

<b>Contenido de cadmio (ppm)</b>			
	<b>Cáscaras</b>	<b>Ramas</b>	<b>Hojas</b>
Ramas	-0.106		
Hojas	0.254	0.425	
Almendras	-0.016	0.261	0.845*

\*Correlación significativa (P<0.05) n = 4

En el Cuadro 22 se tiene la matriz de correlación entre el contenido de Cd en los diferentes tejidos vegetales; se aprecia que existe significancia positiva entre el Cd en almendras con Cd en hojas.

Esto se debe a que mientras el contenido de cadmio en hojas aumenta, también aumenta el contenido de cadmio en almendras, debido a que la materia orgánica elaborada por las células de la hoja es almacenada en las células de las semillas.

#### **4.4. Análisis de regresión lineal de la variables de interés**

Se procedió a realizar un análisis de regresión lineal para obtener el modelo que explique el contenido de Cd total en almendras que es la variable de interés, en función de las variables Cd en tallo, hojas, cascarras

#### 4.4.1. Análisis de regresión lineal simple

$$\text{- Cd – Almendra} = 0.65 (\text{Cd-tallo}) + 0.791 \quad r^2 = 0.068$$

$$\text{- Cd – Almendra} = 0.142 (\text{Cd-hojas}) + 0.658 \quad r^2 = 0.713$$

$$\text{- Cd – Almendra} = 0.009 (\text{Cd-cascara}) + 0.968 \quad r^2 = 0.016$$

Analizando las regresiones lineales simples se determinó que las concentraciones de cadmio total en las almendras están influenciado por la concentración de cadmio total en las hojas, con un coeficiente de determinación de 0,713.

#### 4.4.2. Análisis de regresión lineal múltiple

Considerando el resultado anterior se procedió a realizar un análisis de regresión lineal múltiple para obtener el modelo que explique el contenido de cadmio total en almendras en función del cadmio en los demás tejidos vegetales.

Podemos decir que el contenido de cadmio en almendras depende del contenido de cadmio en hojas.

Esto se da debido que las hojas tienen células especializadas, diferente a las células de los tallos y raíces. A través de la fotosíntesis la planta elabora energía para su reproducción que es almacenada en las semillas (PÉREZ *et al.*, 2009). Eso explicaría la influencia del contenido de cadmio en almendras de cacao

## V. CONCLUSIONES

De acuerdo a los resultados obtenidos bajo las condiciones en las que se realizó el estudio, se puede concluir en lo siguiente:

1. En el suelo residual de Jacintillo el mayor contenido de cadmio disponible se registró a una profundidad de 0 a 10 cm, que fue de 1.71 ppm. El promedio en los tres horizontes o capas fue de 0.90 ppm.
2. En el suelo aluvial del Ramal de Aspuzana, el mayor contenido de cadmio disponible se registró a una profundidad de 60 a 85 cm y en promedio el valor fue de 3.68 ppm.
3. Se determinó que el tallo presenta mayor contenido de cadmio total, seguido por hojas, raíces, almendras y cáscaras.
4. El cadmio total en las plantas de cacao se distribuye por toda la planta en forma desigual.

## **VI. RECOMENDACIONES**

De acuerdo con los resultados obtenidos se hacen las siguientes recomendaciones:

1. Realizar trabajos de investigación más profundos en diferentes parcelas cacaoteras de la región Huánuco y San Martín.
2. Realizar evaluaciones de los niveles de cadmio en base a las almendras, frescas y secas.
3. Realizar muestreos en fincas cacaoteras jóvenes para evitar la contaminación en almendras.

## VII. RESUMEN

El presente trabajo tuvo por finalidad determinar las concentraciones de cadmio en los diferentes órganos del cultivo de cacao CCN-51, en un suelo residual y aluvial, ubicados en la región de Huánuco y San Martín. Para tal efecto se confeccionaron calicatas, se describieron y se analizó el contenido de cadmio por horizontes. En ambos predios se muestrearon plantas de cacao recolectándose muestras de raíz, ramas, hojas, almendras y cáscaras. Para la extracción de cadmio disponible en el suelo y cadmio total en tejidos se procedió a trabajar con la metodología, digestión por vía seca atacado con ácido clorhídrico, usada por el Laboratorio de Suelos de la Facultad de Agronomía (UNAS). La concentración del cadmio en cada extracto se determinó por absorción atómica. Se obtuvo los siguientes resultados: el cadmio disponible en el suelo residual fue de 1.71 ppm, 0.52 ppm y 0.46 y en el suelo aluvial fue de 1.26 ppm, 2.55 ppm, 3.68 ppm y 1.80 ppm correspondiente al horizonte A y capas AC, C1, C2, respectivamente. El contenido de cadmio total en tejidos del suelo residual de Jacintillo fue 1.22 ppm, 2.29 ppm, 1.44 ppm, 0.84 ppm y 0.77 ppm y en los del suelo aluvial de Ramal de Aspuzana fue de 1.14 ppm, 2.97 ppm, 2.84 ppm, 1.08 ppm y 0.75 ppm, correspondientes a raíces, ramas, hojas, almendras y cáscaras, respectivamente. Se concluye que el suelo de Ramal de Aspuzana contiene mayor contenido de cadmio disponible y en cuanto a los tejidos el mayor contenido de cadmio total se observa en las ramas tanto en Jacintillo como en Ramal de Aspuzana.

## VIII. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

1. BARRAGÁN, M.; 2008. Estudio de diferentes metodologías para determinar la biodisponibilidad de cadmio y arsénico en suelos y su relación con la concentración en plantas. Disponible en: [http://www.unicolmayor.edu.co/investnova/NOVA/NOVA9\\_ART4\\_CADMIO.pdf](http://www.unicolmayor.edu.co/investnova/NOVA/NOVA9_ART4_CADMIO.pdf). Revisado 23 junio del 2014.
2. BARRUETA, S. 2013. Guía de métodos de detección y análisis de Cadmio en cacao (*Theobroma cacao* L.), Lima, Noviembre del 2013. Disponible en: [http://download14.docslide.com.br/uploads/check\\_up14/322015/55c33b39bb61eb16168b46cf.pdf](http://download14.docslide.com.br/uploads/check_up14/322015/55c33b39bb61eb16168b46cf.pdf). Revisado el 09 de julio del 2015.
3. CÁRDENAS, M. 2012. Evaluación de la presencia de cadmio en el cultivo de cacao orgánico en la Cooperativa Agraria Industrial Naranjillo - Tingo María Perú. Universidad Nacional Agraria de la Selva, Facultad de Agronomía, Departamento Académico de Ciencias Agrarias. Tingo María, Perú 118 p
4. GÓNZALES, A. 2010. Determinación y validación de cadmio total e intercambiable en algunos suelos cacaoteros del departamento de Santander. Disponible en: <http://repositorio.uis.edu.co/jspui/bitstream/123456789/387/2/134703.pdf>. Revisado el 17 de agosto del 2014
5. GÓNZÁLEZ, C.; THOMPSON, J.; MARTÍNEZ, Y.; SÁNCHEZ, N. 2010. Concentración de cadmio en partículas de diferentes tamaños de

un suelo de la cuenca del Lago de Valencia. Facultad de ingeniería. Disponible en: <http://www.scielo.org.ve/pdf/rfiucv/v25n2/art08.pdf>. Revisado el 26 de enero del 2015.

6. GUÉDEZ, R.; MENDOZA, B.; MARCÓ, L.; HERNÁNDEZ, E.; ALMAOI, L. y RODRÍGUEZ, V. 2013. Comparación de los métodos de digestión seca y digestión ácida por microondas para el análisis foliar de P, K y Ca. XX congreso venezolano de la ciencia del suelo. Disponible en: [http://www.sian.inia.gob.ve/repositorio/congresos/20\\_CVCS/PDF/PPS/PPS17.pdf](http://www.sian.inia.gob.ve/repositorio/congresos/20_CVCS/PDF/PPS/PPS17.pdf). Revisado 02 de setiembre del 2014
7. HUAMANI, H.; HUAUYA, M.; MANSILLA., L; FLORIDA, N. y NEIRA, G. 2012. Presencia de metales pesados en cultivo de cacao (*Teobroma cacao* L.) orgánico. Laboratorio de Análisis de Suelos, Facultad de Agronomía, UNAS; 10 de noviembre del 2012. Disponible en: <http://www.redalyc.org/pdf/1699/169926831006.pdf>. Revisado 17 de agosto del 2014.
8. INÉS, O. 2011. Acumulación de metales (cadmio, zinc, cobre, cromo, níquel y plomo) en especies del género *Pelargonium*: suministro desde el suelo, ubicación en la planta y toxicidad. Disponible en: <http://ri.agro.uba.ar/files/download/tesis/doctorado/2011orronodanielaines.pdf>. Revisado 23 de agosto del 2014.
9. INSUASTY, B.; BURBANO, O.; MENJIVAR, F. 2006. Dinámica del cadmio en suelos cultivados con papa en Nariño, Colombia. Universidad Nacional de Colombia. Facultad de Ciencias Agrarias. Disponible

en: <http://www.scielo.org.co/pdf/acag/v57n1/v57n1a07.pdf>.

Revisado el 17 de agosto del 2014.

10. IPNI. 2015. Metales pesados en cacao, perspectiva y posible manejo. Disponible en: <http://nla.ipni.net/article/NLA-3112>. Revisado el 10 de julio 2015
11. ISAURA, R. 2010. Capacidad de amortiguación de la contaminación por plomo y por cadmio en suelos de la comunidad de Madrid. Universidad Complutense de Madrid. Departamento de Edafología. Disponible en. <http://eprints.ucm.es/12511/1/T32805.pdf>. Revisado 23 junio del 2014.
12. KAPLÁN, A.; LABELLA, S.; RUCKS, L.; DURÁN, A.; CALIFRA, A. 2011. Guía para la descripción e interpretación del perfil de suelo. Disponible en: <http://www.cebra.com.uy/renare/media/Gu%C3%Ada-para-la-descripci%C3%B3n-e-intrepretaci%C3%B3n-del-perfil-del-suelo.pdf>. Revisado 12 de diciembre del 2015.
13. MARTÍNEZ, G.; PALACIO, C. 2010. Determinación de metales pesados cadmio y plomo en suelos y granos de cacao fresco y fermentado mediante espectroscopia de absorción atómica de llama. Universidad industrial de Santander. Disponible en: <http://repositorio.uis.edu.co/jspui/bitstream/123456789/397/2/136115.pdf>. Revisado el 14 de mayo del 2014.
14. MIRANDA, D.; CARRANZA, C.; ROJAS, C.; JEREZ, C.; FISCHER, G.; ZURITA, J. 2008. Acumulación de metales pesados en suelo y plantas de cuatro cultivos hortícolas, regados con agua del Río

Bogotá; Universidad Nacional de Colombia. Disponible en:  
<http://www.soccolhort.com/revista/pdf/magazin/Vol2/vol.2%20no.2/Vol.2.No.2.Art.5.pdf>. Revisado el 30 de mayo del 2014.

15. MITE, F; CARRILLO, M. y DURANGO, W. 2010. Avances del monitoreo de presencia de cadmio en almendras de cacao, suelos y aguas en Ecuador. Instituto Nacional Autónomo de Investigaciones Agropecuarias (INIAP). XII Congreso Ecuatoriano de la Ciencia del Suelo. Disponible en: <http://www.secsuelo.org/wp-content/uploads/2015/06/6.-Francisco-Mite.-Cadmio.-INIAP.pdf>. Revisado el 27 de agosto del 2014
16. NAVA, R. y MÉNDEZ, A. 2011. Efectos neurotóxicos de metales pesados (cadmio, plomo, arsénico y talio). Laboratorio Neuropatología Experimental, Instituto Nacional de Neurología y Neurocirugía. Disponible en: <http://www.medigraphic.com/pdfs/arcneu/ane-2011/ane113f.pdf>. Revisado 03 de mayo del 2014.
17. PÉREZ, E y CARRIL, U. 2009. Fotosíntesis: Aspectos Básicos. Serie Fisiología Vegetal. Facultad de Ciencias Biológicas. Universidad Complutense de Madrid. Disponible en: [http://eprints.ucm.es/9233/1/Fisiologia\\_Vegetal\\_Aspectos\\_basicos.pdf](http://eprints.ucm.es/9233/1/Fisiologia_Vegetal_Aspectos_basicos.pdf). Revisado el 22 de octubre del 2016.
18. PERIS, M. 2006. Estudio de metales pesados en suelos bajo cultivos hortícolas de la provincia de Castellón. Universidad de Valencia. Disponible en: <http://www.tdx.cat/bitstream/handle/10803/9504/>

peris.pdf;jsessionid=8EC182AB8C44DBA6778E1281A37F0472.tdx2?sequence=1. Revisad el 21 de mayo del 2014.

19. PERNÍA, B.; DE SOUSA, A.; REYES, R. y CASTRILLO, M. 2008 biomarcadores de contaminación por cadmio en las plantas. Disponible en: <http://www.scielo.org.ve/pdf/inci/v33n2/art07.pdf>. Revisado 03 de setiembre del 2014.
20. PRIETO, J; GONZÁLEZ, C.; ROMÁN, A. y PRIETO, F. 2009. Contaminación y fitotoxicidad en plantas por metales pesados provenientes de suelos y agua. Universidad Autónoma de Yucatán México. Disponible en: <http://www.redalyc.org/pdf/939/93911243003.pdf>. Revisado el 08 de enero del 2015.
21. PNUMA (Programa de Naciones Unidas para el Medio Ambiente). 2015. 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. Disponible en: [http://www.unep.org/chemicalsandwaste/Portals/9/Lead\\_Cadmium/docs/Trade\\_Reports/LAC/Trade\\_report\\_LAC\\_Spanish\\_and\\_English.pdf](http://www.unep.org/chemicalsandwaste/Portals/9/Lead_Cadmium/docs/Trade_Reports/LAC/Trade_report_LAC_Spanish_and_English.pdf). Revisado 15 de abril del 2015.
22. REMIGIO, J. 2015. Determinación y zonificación de las fuentes contaminantes que afectan la concentración de cadmio en los granos de cacao en las organizaciones socias de CEPICAFE de Piura y Tumbes” ENERO 2015. Disponible en: [http://www.coopnorandino.com.pe/spanish/images/cooperativismo\\_2015/dia3](http://www.coopnorandino.com.pe/spanish/images/cooperativismo_2015/dia3)

Odenero/tema03/01-Jose-Remigio.pdf. Revisado el 14 de abril del 2015

23. RODRÍGUEZ, S.; MARTÍNEZ, N; ROMERO, P.; SANDALIO, L. 2008. Toxicidad del cadmio en plantas. *Ecosistemas* 17(3):139-146. Septiembre 2008.
24. RODRÍGUEZ, J. VALDEZ, R. ALCALÁ, J. GARCÍA, L. RODRÍGUEZ, H; Tapia, T; PÉREZ, J y WOO, J. 2009. Relación entre Cd, Pb y elementos esenciales en el proceso de Fitoacumulación en *Nicotina tabacum* L. revista latinoamericana de recursos naturales. Disponible en <http://www.itson.mx>. Revisado el 15 de setiembre del 2016.
25. RUEDA, G.; RODRÍGUEZ, J. y MADRIÑÁN, R. 2011. Metodologías para establecer valores de referencia de metales pesados en suelos agrícolas. Universidad Nacional de Colombia. Disponible en: <http://www.redalyc.org/pdf/1699/169922438001.pdf>. Revisado el 05 de mayo del 2014.
26. RUIZ, J. 2011. Evaluación de tratamientos para disminuir cadmio en lechuga (*Lactuca sativa* L.) regada con agua del río Bogotá. Universidad Nacional de Colombia, Bogotá (Colombia). Disponible en: <http://www.soccolhort.com/revista/pdf/magazin/Vol5/Vol.5%20No.2/Vol.5%20No.2.%20Art.6.pdf>. Revisado el 11 de agosto del 2013
27. SÁNCHEZ, N.; RIVERO, C. y MARTÍNEZ, Y. 2010. Cadmio disponible en dos suelos de Venezuela: efecto del fósforo. Laboratorio de

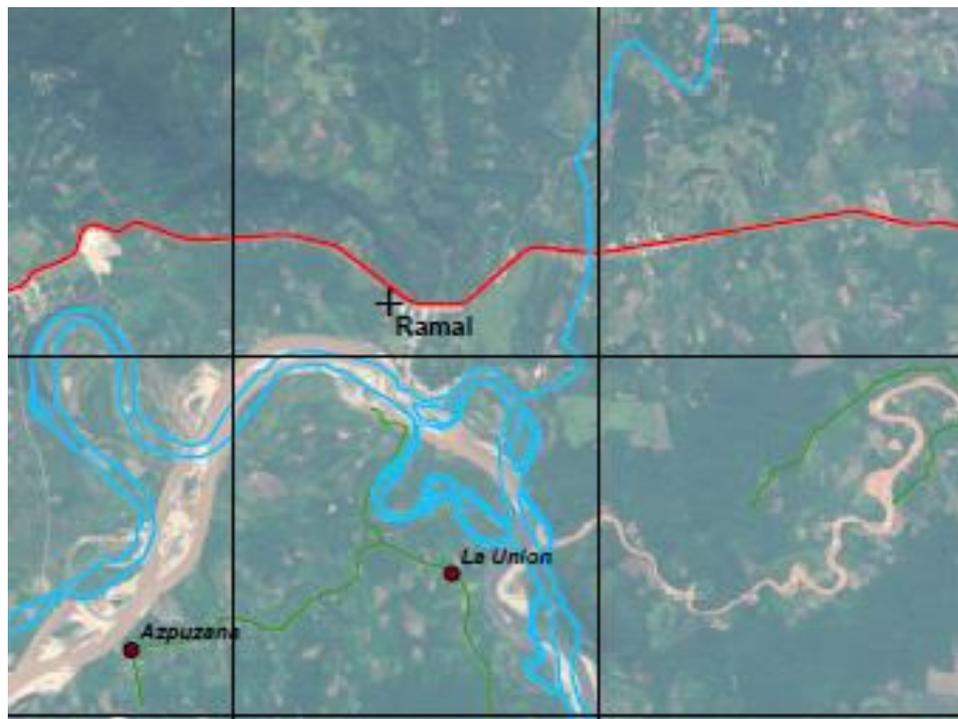
Investigación y Tecnología de Suelos y Ambiente. Facultad de Ingeniería, Universidad de Carabobo Venezuela. Disponible en: <http://www.redalyc.org/pdf/707/70723254002.pdf>. Revisado el 25 de noviembre del 2014

28. SUBERO, N. 2013. Evaluación de las fracciones de fósforo y del contenido de cadmio en suelos ácidos fertilizados con fosfatos por largos periodos y su absorción por el arroz disponible en: [http://saber.ucv.ve/jspui/bitstream/123456789/4550/1/T026800007904-0-Tesis\\_paraDefensa-000.pdf](http://saber.ucv.ve/jspui/bitstream/123456789/4550/1/T026800007904-0-Tesis_paraDefensa-000.pdf) revisado el 16 de agosto del 2015.
29. ZUÑIGA, C.; ARÉVALO, G.; LANDSBER, E.; BALIGAR, V.; ALVARADO, C. y ROBLES, R. 2008. Evaluación preliminar de cadmio (Cd) en suelos tropicales y almendras de cacao (*Theobroma cacao* L.) en la región San Martín y Amazonas. XI Congreso Nacional y IV Internacional de la Ciencia del Suelo. San Martín – Perú. Disponible en: [http://repositorio.uaaan.mx:8080/xmlui/bitstream/handle/123456789/101/DeterminaciondeCadmio\(Cd\)ensuelosagricolasdedicadosala.pdf?sequence=1](http://repositorio.uaaan.mx:8080/xmlui/bitstream/handle/123456789/101/DeterminaciondeCadmio(Cd)ensuelosagricolasdedicadosala.pdf?sequence=1). Revisado del 15 de julio 2014

## **IX. ANEXO**



**Figura 9.** Georreferenciación de la parcela de Jacintillo



**Figura 10.** Georreferenciación de la parcela de Ramal de Aspuzana



**Figura 11.** Metodología de muestreo de tejidos en el cultivo de cacao



**Figura 12.** Secado de tejidos del cultivo de cacao



**Figura 13.** Pesado de muestras de tejidos del cultivo de cacao



**Figura 14.** Preparación del extracto de las muestras



Figura 15. Filtrado de extracto de muestras

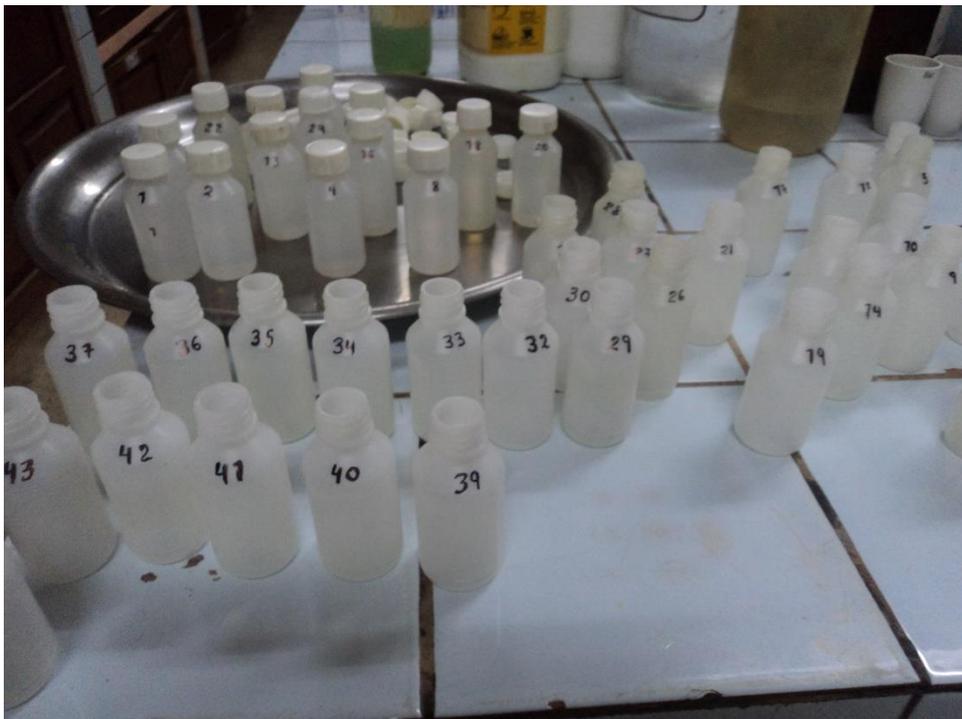


Figura 16. Almacenamiento de extracto de muestras.