



## Distribución del contenido de cadmio en los diferentes órganos del cacao CCN-51 en suelo aluvial y residual en las localidades de Jacintillo y Ramal de Aspuzana

### Distribution of cadmium content in the different organs of cacao CCN-51 in alluvial and residual soils in the towns of Jacintillo and Ramal de Aspuzana

Erick Tantalean Pedraza<sup>1</sup> y Miguel Ángel Huauya Rojas<sup>1\*</sup>

#### 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 los Departamentos de Huánuco y San Martín. Para ello 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 cadmio disponible en el suelo se utilizó extractante EDTA 0,05M, a pH 7 y cadmio total en tejidos digestión por vía seca atacado con ácido clorhídrico, usada por el Laboratorio de Suelos de la Facultad de Agronomía de la UNAS. La concentración del cadmio en cada extracto se determinó por absorción atómica. Se obtuvieron los siguientes resultados: el cadmio disponible en el suelo residual fue de 1,71, 0,52 y 0,46 ppm, correspondiente a los horizontes A, AB y C; en el suelo aluvial fue de 1,26, 2,55, 3,68 y 1,80 ppm, correspondiente al horizonte A y capas AC, C1 y C2, respectivamente. El contenido de cadmio total en tejidos del suelo residual fue 1,22, 2,29, 1,44, 0,84 y 0,77 ppm, y en el suelo aluvial fue de 1,14, 2,97, 2,84, 1,08 y 0,75 ppm, correspondientes a raíces, ramas, hojas, almendras y cáscaras. Se concluye que el suelo aluvial 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 suelo residual como en el aluvial.

**Palabras clave:** órganos del cacao CCN-5, cadmio total, tejidos, aluvial, residual.

#### ABSTRACT

The aim of the present work was to determine the concentrations of cadmium in the different organs of the CCN-51 cocoa crop, in a residual and alluvial soil, located in the departments of Huanuco and San Martin. For this purpose trial pit was made, described and the cadmium content analyzed by horizons. Cocoa plants were sampled in both farms, collecting samples of roots, branches, leaves, almonds and husks. For cadmium available in the soil, 0.05M EDTA extractant, at pH 7 and total cadmium in tissues, was used for dry digestion attacked with hydrochloric acid, used by the Soil Laboratory of the Faculty of Agronomy of UNAS. The concentration of cadmium in each extract was determined by atomic absorption. We obtained the following results: the available cadmium in the residual soil was 1.71, 0.52 and 0.46 ppm, corresponding to horizons A, AB and C; in the alluvial soil was 1.26, 2.55, 3.68 and 1.80 ppm, corresponding to the horizon A and layers AC, C1 and C2, respectively. The total cadmium content in tissues of the residual soil was 1.22, 2.29, 1.44, 0.84 and 0.77 ppm, and in the alluvial soil was 1.14, 2.97, 2.84, 1.08 and 0.75 ppm, corresponding to roots, branches, leaves, almonds and husks. It is concluded that alluvial soil contains higher available cadmium content, and in terms of tissues, the highest total cadmium content is observed in the branches, both in residual and alluvial soil.

**Keywords:** organs of the cocoa CCN-5, total cadmium, tissues, alluvial, residual.

<sup>1</sup>Universidad Nacional Agraria de la Selva, Tingo María, Huánuco, Perú

\* Autor de correspondencia. E-mail: mhauayar@gmail.com

## I. INTRODUCCIÓN

El cacao peruano se conoce internacionalmente por su sabor y calidad, sin embargo, algunos reportes sobre la presencia de niveles de cadmio por encima de lo permitido en el producto enviado genera preocupación por parte de agricultores y cooperativas de la zona, ya que se están presentando dificultades para el ingreso de este producto al mercado norteamericano y europeo (Cárdenas, 2012) al superar el máximo nivel permitido de cadmio en almendras de 0,5 ppm (Subero, 2013). El cadmio es uno de los elementos traza más nocivos que, encontrándose en el suelo, suele ser absorbido por las plantas y almacenado en los frutos. 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 Méndez, 2011). 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 (Peris, 2006; Inés, 2011; Rueda *et al.*, 2011). 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). 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 *et al.*, 2009).

Las fuentes naturales de cadmio 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, aguas negras,

lixiviados, excrementos animales y fertilización con fosfatos (Martínez, 2010; Ruíz, 2011). Las rocas sedimentarias muestran un rango de concentraciones de cadmio más amplio que otros tipos de rocas (Isaura, 2010). La presencia de cadmio 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). En los últimos años, la contaminación por este metal ha aumentado a causa de actividades industriales tales como minería, fundición de metales, quema de combustibles fósiles, uso de fertilizantes fosfatados, fabricación de baterías, cemento, pigmentos y plásticos (Rodríguez *et al.*, 2008; Subero, 2013).

Sin embargo, 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). Diversos países consideran como valor máximo 2 mg kg<sup>-1</sup> de cadmio 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 mg kg<sup>-1</sup> (Miranda *et al.*, 2008). Es importante anotar que los contenidos totales en suelos superiores a 3 mg/Kg para cadmio se consideran fitotóxicos según datos suministrados por el comité mixto OMS-FAO (1992) (Insuasty *et al.*, 2006; Barragán, 2008). 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), mientras que la disponibilidad de los metales pesados en el suelo depende de su concentración en la solución del suelo y de su capacidad para liberar estos iones desde la fase sólida a la solución (Subero, 2013).

Por otro lado, en relación a las plantas, entre las proteínas responsables de la entrada de cadmio a las células vegetales, destacan el transportador de calcio LCT1, y la proteína IRT1 (Rodríguez *et al.*, 2008). El cadmio también puede penetrar utilizando transportadores de otros metales tales como  $\text{Ca}^{2+}$ ,  $\text{Fe}^{2+}$  y  $\text{Zn}^{2+}$ . 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 (Pernía *et al.*, 2008). 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 y transpiración (Rodríguez *et al.*, 2008), y además 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. 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).

Consecuentemente, el cadmio afecta diversos órganos y tejidos como el riñón (produciendo disfunción renal tubular, proteinuria e insuficiencia renal crónica), el corazón (produciendo arteroesclerosis aórtica y coronaria, incremento en colesterol y ácidos grasos), huesos, placenta, y sistema nervioso central y periférico (Nava y Méndez, 2011). El pulmón es un órgano muy susceptible a la exposición a cadmio ya que la inhalación crónica subaguda, puede producir bronquitis con daño progresivo alveolar, fibrosis secundaria y enfisema (Isaura, 2010; Nava y Méndez, 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, como el Ministerio del Ambiente o el Ministerio de Agricultura, y privadas como la Cooperativa Agraria Industrial Naranjillo, vienen promoviendo estudios sobre el diagnóstico y alternativas de mitigación, que permitirán ampliar la base de estudio respecto al cadmio en el cultivo de cacao.

Bajo este contexto, se resalta la importancia de realizar este trabajo de investigación, para lo cual se presentó el siguiente objetivo: determinar la distribución del contenido de cadmio en los diferentes órganos del cacao CCN-51, en un suelo residual y aluvial.

## II. MATERIALES Y MÉTODOS

### Ubicación de los campos

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 se basan en que estas parcelas, Jacintillo (suelo residual) y Ramal de Aspuzana (suelo aluvial), contienen niveles altos de cadmio total en almendras, lo que motivó que fueran seleccionadas. Presentan las siguientes coordenadas geográficas: 387852E y 8969422N a 665 m s.n.m. y 370213E, 9032394N, a 550 m s.n.m., respectivamente (Figura 1).

### Métodos

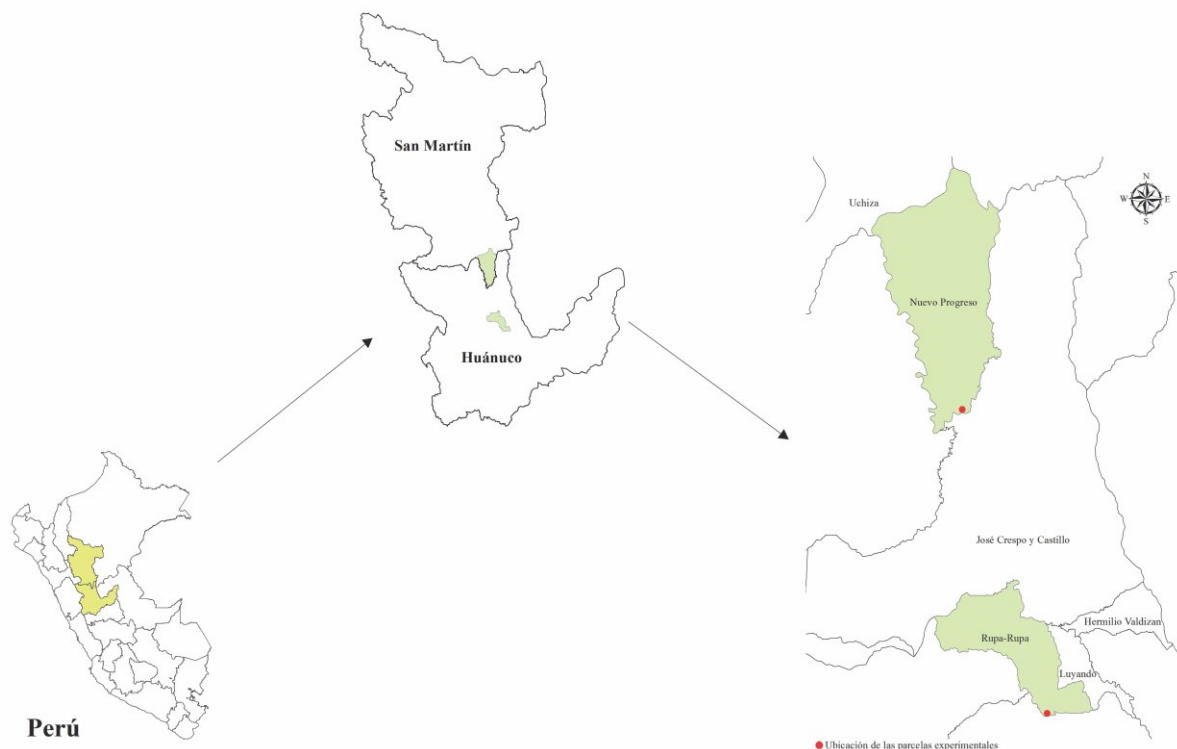
En cada parcela de cacao se procedió a realizar las siguientes evaluaciones:

#### 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. A continuación, las muestras fueron enviadas al laboratorio de análisis de suelo de la Facultad de Agronomía de la Universidad Nacional Agraria de la Selva (UNAS), para su análisis.

#### De los tejidos

En cada parcela de investigación se seleccionaron 20



**Figura 1.** Mapa de ubicación geográfica de las parcelas de estudio.

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

- **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.
- **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 secadas.
- **Hojas:** De las mismas plantas de cacao donde se obtuvieron las raíces y ramas, se obtuvieron también las muestras de hojas. De cada parte y por planta se

obtuvieron dos hojas, totalizando cuarenta por cada planta y sección. De las cuarenta hojas se obtuvo una muestra.

- **Almendras:** De cada planta donde se obtuvieron 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.

- **Cáscara:** De las veinte mazorcas, se obtuvieron 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 suelos de la Facultad de Agronomía (UNAS) para su respectivo análisis.

#### **Análisis de suelos**

##### **Análisis físico**

Análisis granulométrico % Ao, % Lo y % Ar: método

del hidrómetro de Bouyoucos.

#### Análisis químico

- pH: Medido en el potenciómetro en una suspensión suelo agua 1:1.
- Materia orgánica: Método Walkley y Black.
- Fosforo disponible: Método de Olsen modificado. Extractor NaHCO<sub>3</sub> 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 pH>5,5).
- CICE: KCl 1 N (Suelos pH<5,5).
- Cd Disponible: Extractante EDTA 0.05M pH 7.

#### Análisis de tejidos

- Cd: digestión por vía seca (ácido clorhídrico).

- Lectura en el espectrofotómetro de absorción atómica.

#### Análisis estadísticos

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

### III. RESULTADOS y DISCUSIONES

#### **Descripción de los perfiles de suelo**

##### Suelo Jacintillo.

Se presenta la descripción del perfil del suelo a partir de la descripción de la calicata (Tabla 1), ubicada en la localidad de Jacintillo, distrito de Rupa Rupa, provincia de Leoncio Prado (Departamento de Huánuco).

**Tabla 1.** Descripción del perfil por horizontes del suelo residual Jacintillo

Descripción	M.O. (%)
<b>Horizonte A:</b> 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 M.O., distribución de raíces: abundantes finas y medias	6,55
<b>Horizonte AB:</b> 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 M.O., distribución de raíces: finas y pocas	1,97
<b>Horizonte B:</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 M.O., distribución de raíces: no existe	1,64

##### Suelo Ramal de Aspuzana

Se presenta la descripción del perfil del suelo a partir de la descripción de la calicata (Tabla 2), ubicada en la localidad de Ramal de Aspuzana, distrito de Nuevo Progreso, provincia de Tocache (Departamento de San Martín).

##### **Análisis fisicoquímico de los suelos**

Los suelos recolectados en las dos parcelas se analizaron para conocer sus concentraciones fisicoquímicas.

El suelo de Jacintillo presenta una clase textural franco, franco-arcilloso y arcillo-arenoso, con bajo contenido de pH, alto contenido de materia orgánica, alto

**Tabla 2.** Descripción del perfil por horizontes del suelo aluvial Ramal de Aspuzana

Descripción	M.O. (%)
<b>Horizonte A:</b> de 0 a 17 cm, de color gris claro (7,5 YR 7/1) en húmedo y en seco color gris (10 YR 5/1), estructura granular, muy ácido, alto contenido de M.O., distribución de raíces: abundantes finas y medias	5,44
<b>Capa AC:</b> de 17 a 60 cm, de color gris pardo claro (10 YR 5/2) en húmedo y en seco color amarillo pálido (2,5 Y 8/2), estructura granular, ácido, adecuado contenido de M.O., distribución de raíces: pocas y finas	3,2
<b>Capa C1:</b> de 60 a 85 cm, de color gris pardusco (10 YR 5/1) en húmedo y en seco color gris claro (2,5 Y 7/2), estructura granular, muy ácido, alto contenido de M.O., distribución de raíces: no existe	4,32
<b>Capa C2:</b> de 85 a 120 cm, de color gris (10 YR 6/1) en húmedo y en seco color amarillo opaco (10 YR 7/3), estructura granular, ácido, alto contenido de M.O., distribución de raíces: no existe	3,84

contenido en fósforo, bajo contenido de  $K_2O$  y bajo contenido de CIC (Capacidad de Intercambio Catiónico). Asimismo el suelo de Ramal de Aspuzana presenta textura franco-limoso, arcillo-limoso, franco-arcillo-limoso y arcillo-limoso, con bajo contenido de pH, alto contenido de materia orgánica, alto contenido en fósforo, bajo contenido de  $K_2O$  y bajo contenido de CIC (Tabla 3).

Los dos suelos presentan una adecuada textura según Martínez y Palacios (2010); por otro lado, los valores de pH,  $K_2O$  y CIC recomendados por IPNI (2015), son bajos tanto en suelo residual como aluvial. Asimismo, los valores de acidez cambiante son bajos, lo que se correlaciona con un porcentaje de saturación de aluminio bajo.

**Tabla 3.** Resultados de los análisis fisicoquímicos en suelos residual y aluvial

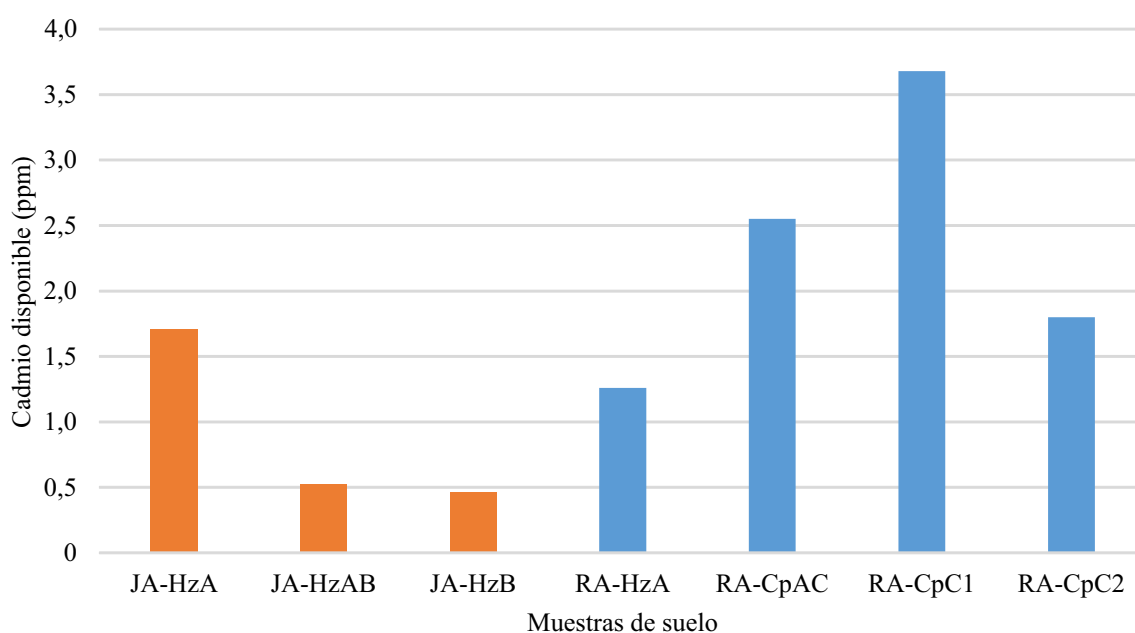
Código	Textura	pH (1:1)	M.O. (%)	N (%)	P (ppm)	$K_2O$ (ppm)	Cd (ppm)	CIC (Cmol/kg)	Sat. Al (%)
JA-HzA	Fra	5,14	6,55	0,29	29,6	221,04	1,71	5,07	3,31
JA-HzAB	Fra-arc	5,20	1,97	0,09	48,6	317,40	0,52	2,43	6,9
JA-HzB	Arc-arc	5,67	1,64	0,07	52,6	348,10	0,46	3,25	0
RA-HzA	Fra-lim	5,49	5,44	0,25	48,4	285,50	1,26	5,51	1,52
RA-CpAC	Arc-lim	5,88	3,20	0,14	78,8	327,70	2,55	5,16	0
RA-CpC1	Fra-arc-lim	5,36	4,32	0,19	43,8	165,03	3,68	5,95	1,41
RA-CpC2	Arc-limo	5,67	3,84	0,17	52,7	197,60	1,80	7,03	0
Ref. (*)		>5,6	>2	>0,2	>7	>300	0,80	>7	<30

(\*) Subero (2013); IPNI (2015). JA-HzA: Jacintillo Horizonte A; JA-HzAB: Jacintillo Horizonte AB; JA-HzB: Jacintillo Horizonte B; RA-HzA: Ramal de Aspuzana Horizonte; RA-CpAC: Ramal de Aspuzana Capa AC; RA-CpC1: Ramal de Aspuzana Capa C1; RA-CpC2: Ramal de Aspuzana Capa C2

### ***Cadmio disponible en el suelo***

Según la Guía de Protección Ambiental de la Comunidad Europea, el nivel crítico de cadmio disponible es  $0,8 \text{ mg kg}^{-1}$  (Subero, 2013). En la Figura 2 podemos visualizar que el suelo de Jacintillo supera el límite máximo permisible ( $0,8 \text{ pmm}$ ) 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 el mayor valor. Insuasty *et al.* (2006) mencionan que el cadmio se deposita en la parte superficial del suelo. Además señalan que la mayor concentración de cadmio se encuentra en la superficie, de 0 – 13 cm. Asimismo, Mite *et al.* (2010), en estudios de contenido de cadmio en Ecuador, refiere que las mayores concentraciones de cadmio disponible se encontraron en la parte superficial del suelo.



**Figura 2.** Concentración de cadmio disponible en el 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 el 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 continua 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 se presentan en las riberas de los ríos Huallaga y Tulum-

yo, respectivamente. Washl (2010), observó presencia de cadmio en los sedimentos del río Huallaga, siendo más altos en épocas secas. En el suelo aluvial del Ramal de Aspuzana se presenta un mayor contenido de cadmio disponible en relación al suelo residual de Jacintillo.

En cuanto al suelo residual, se muestran los resultados de los análisis de correlación realizados (Tabla 4) Se obtiene significación positiva entre el contenido de cadmio en el suelo con el contenido de materia orgánica, mientras que en el caso del porcentaje de arcilla es negativa.

**Tabla 4.** Coeficientes de correlación del contenido de cadmio disponible en el suelo residual y propiedades fisicoquímicas del suelo

	<b>Arena</b>	<b>Arcilla</b>	<b>pH</b>	<b>M.O.</b>	<b>P</b>	<b>K<sub>2</sub>O</b>	<b>CIC</b>
<b>Cadmio Suelo Residual</b>	-0,337	-0,997*	-0,621	0,999*	-0,993	-0,982	0,939

\*Correlación significativa ( $p < 0,05$ )  $n=3$

**Tabla 5.** Coeficientes de correlación del contenido de cadmio disponible del suelo aluvial y propiedades físico químicas del suelo

	<b>Arena</b>	<b>Arcilla</b>	<b>pH</b>	<b>M.O.</b>	<b>P</b>	<b>K<sub>2</sub>O</b>	<b>CIC</b>
<b>Cadmio Suelo Aluvial</b>	-0,314	0,109	-0,256	-0,402	-0,031	-0,455	-0,221

Ningún valor tuvo significancia estadística  $n=4$

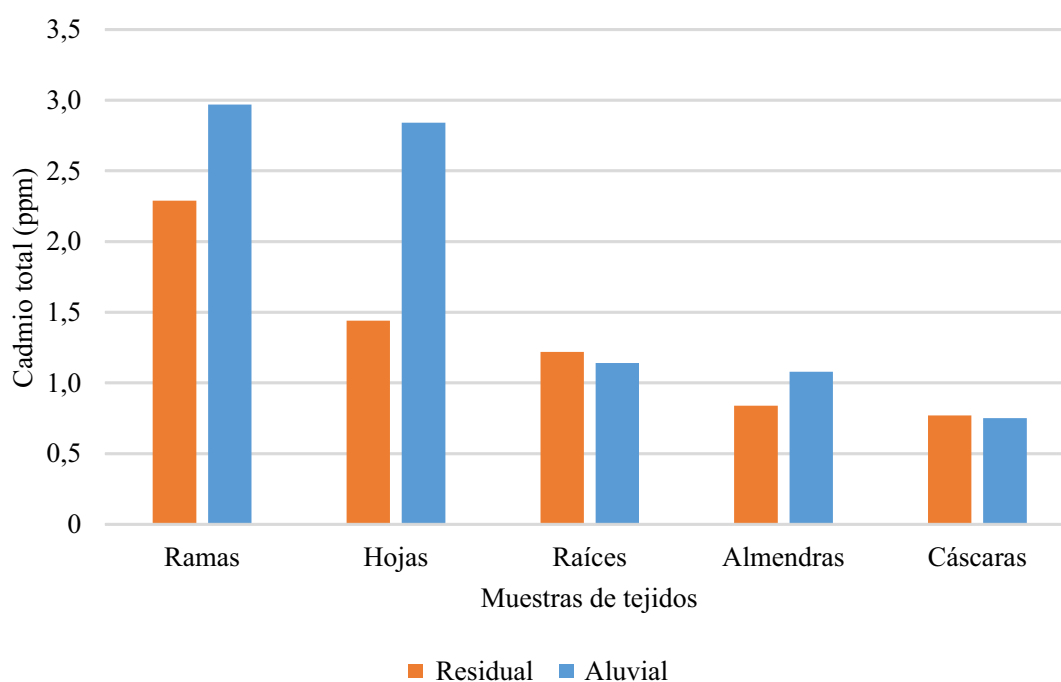
En relación al suelo aluvial se observa que al correlacionar los valores de cadmio disponible con las variables estudiadas no hubo correlación significativa (Tabla 5). Sin embargo, se puede apreciar una tendencia negativa entre la presencia de cadmio con % arena, pH, % M.O., P, K<sub>2</sub>O y CIC, así como una relación positiva con él % arcilla.

De acuerdo a los datos mostrados en las tablas 2 y 3, se percibe la variabilidad de la relación o asociación entre el contenido de cadmio disponible en el suelo en relación a las propiedades fisicoquímicas 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) indica que la composición granulométrica de los suelos tiene una gran importancia en la retención de los meta-

les 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 adsorción 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. Gonzales (2010), menciona que cuanto mayor sea la capacidad de intercambio catiónico, mayor será la capacidad del suelo de fijar los metales.

#### **Resultados de los análisis en tejidos**

Analizando los resultados de nuestro trabajo, se puede apreciar una mayor concentración de cadmio total en las ramas muestreadas en Jacintillo y Ramal de Aspuzana (Figura 3).



**Figura 3.** Concentración de cadmio total en tejidos del cacao.

De acuerdo a la figura 3 podemos observar que en las partes evaluadas a nivel de tejidos, principalmente las ramas son las que destacan, con un alto contenido de cadmio total, tanto de Jacintillo como de Ramal de Aspuzana. De acuerdo con nuestros resultados podemos decir, que a nivel de las ramas, el cadmio es móvil. Inés (2011), indica que el cadmio, es considerado elemento fácil de translocar a la parte superior de las plantas. El alto contenido de cadmio en hojas se debería al alto contenido de cadmio en el suelo y tallos 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. Tiene relación con los suelos muestreados en la misma parcela, ya que se encontraron niveles de cadmio disponibles en la parte superior del suelo. Pernía *et al.* (2008), indican que la absorción de cadmio por parte de las raíces depende de su concentración en el suelo; 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. Asimismo

podemos observar que las almendras de cacao muestreadas en Jacintillo (JA) y Ramal de Aspuzana (RA), superan el contenido máximo de cadmio total, y que de acuerdo con la norma FAO/OMS (2007) y a la Legislación Australiana y Neozelandesa de metales pesados, esto muestra que el contenido máximo de cadmio para chocolates y productos de cacao es de 0,5 mg/kg (Barrueta y Subero, 2013). El cadmio en el fruto de cacao se distribuye de manera desigual (IPNI, 2015), y los resultados de nuestro trabajo coinciden con la referencia, porque ciertamente el cadmio se encuentra distribuido en forma desigual en las almendras del cacao. Las altas concentraciones de cadmio total en almendras, pueden ser debidas a las altas concentraciones de cadmio disponible en el suelo, cadmio 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.

De esta manera, hay que tener muy en cuenta estos resultados a la hora de utilizar las cáscaras como parte del abono orgánico ya que se determinó un valor máximo de 1,05 ppm de cadmio total.



En la tabla 6 se presenta la matriz de correlación entre el contenido de cadmio en los diferentes tejidos vegetales. Se aprecia que existe significancia positiva entre el cadmio en almendras y el cadmio en las hojas. Significa que a mayor contenido de cadmio en hojas mayor contenido de cadmio en almendras.

#### Análisis de regresión lineal múltiple

Considerando el resultado anterior, se procedió a reali-

zar un análisis de regresión lineal múltiple para obtener el modelo que explique el contenido de cadmio total en almendras en función del cadmio existente en los demás tejidos vegetales. Nuestra ecuación indica que ciertamente el contenido de cadmio en almendras es en función al contenido de cadmio en las hojas, con un coeficiente de determinación de 0,713.

$$\text{Cd-almendra} = 0,142(\text{Cd hojas}) + 0,658 \quad r^2 = 0,713$$

**Tabla 6.** Coeficientes de correlación del contenido de cadmio total a nivel de cáscaras, tallos, hojas y almendras

	Cadmio en cáscaras	Cadmio en ramas	Cadmio en hojas
Cadmio en ramas	-0,106		
Cadmio en hojas	0,254	0,425	
Cadmio en almendras	-0,016	0,261	0,845*

\*Correlación significativa ( $P < 0,05$ )  $n = 4$

#### IV. CONCLUSIONES

En el suelo residual de Jacintillo, el mayor contenido de cadmio disponible se registró a una profundidad de 0 a 10 cm, y fue de 1,71 ppm. El promedio en los tres horizontes o capas fue de 0,90 ppm. 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.

Se determinó que el tallo presenta mayor contenido de cadmio total, seguido por hojas, raíces, almendras y cáscaras.

El cadmio total en las plantas de cacao se distribuye por toda la planta en forma desigual.

#### V. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- 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*. Tesis de Grado. Universidad Colegio Mayor, Cundinamarca (Colombia)
- Barrueta, S. 2015. *Guía de métodos de detección y análisis de Cadmio en cacao (Theobroma Cacao L)*. Lima (Perú): DEVIDA.
- Cárdenas, M. 2012. *Evaluación de la presencia de cadmio en el cultivo de cacao orgánico en la Cooperativa Agraria Industrial Naranjillo - Tingo María Perú*. Tesis de Grado.

Universidad Nacional Agraria de la Selva. Tingo María (Perú)

- Gonzales, A. 2010. *Determinación y validación de cadmio total e intercambiable en algunos suelos cacaoteros del departamento de Santander*. Tesis de Grado. Universidad Industrial de Santander. Bucaramanga (Colombia).
- 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*. Tesis de Doctorado. Universidad de Buenos Aires. Buenos Aires (Argentina).
- Insuasty, B., O. Burbano, y F. Menjivar. 2006. "Dinámica del cadmio en suelos cultivados con papa en Nariño, Colombia". *Acta Agron (Palmira)* 57 (1): 51-54.
- IPNI. 2015. *Metales pesados en cacao, perspectiva y posible manejo*. Sao Paulo (Brasil): IPNI. Recuperado de: <http://nla.ipni.net/article/NLA-3112>.
- Isaura, R. 2010. *Capacidad de amortiguación de la contaminación por plomo y por cadmio en suelos de la comunidad de Madrid*. Tesis de Grado. Universidad Complutense de Madrid. Madrid (España).
- Martínez, G., y Palacios, C. "Determinación de

- metales pesados cadmio y plomo en suelos y granos de cacao fresco y fermentado mediante espectroscopia de absorción atómica de llama”. Tesis de Grado. Universidad industrial de Santander. Bucaramanga (Colombia).
- Miranda, D., C. Carranza, C. Rojas, C. Jérez, G. Fischer, y J. Zurita. 2008. “Acumulación de metales pesados en suelo y plantas de cuatro cultivos hortícolas, regados con agua del Río Bogotá”. *Revista Colombiana de Ciencias Hortícolas* 2 (2): 180-191.
- Mite, F. M. Carrillo, y W. Durango. 2010. “Avances del monitoreo de presencia de cadmio en almendras de cacao, suelos y aguas en Ecuador” En *XII Congreso Ecuatoriano de la Ciencia del Suelo*. Quito (Ecuador).
- Nava, R., y A. Méndez. 2011. “Efectos neurotóxicos de metales pesados (cadmio, plomo, arsénico y talio)”. *Arch Neurocién (Mex)* 16 (3): 140-147.
- Peris, M. 2006. *Estudio de metales pesados en suelos bajo cultivos hortícolas de la Provincia de Castellón*. Tesis de Grado- Universidad de Valencia. Valencia (España). Recuperado de : <http://www.tesisenxarxa.net/TDX-0301107-140644/>
- Pernía, B., A. De Sousa, R. Reyes, y M. Castrillo. 2008. “Biomarcadores de contaminación por cadmio en las plantas”. *Interciencia* 33 (2): 112-119.
- Prieto, J., C. González, C. A. Román, y F. Prieto. 2009. “Contaminación y fitotoxicidad en plantas por metales pesados provenientes de suelos y agua”. *Tropical and Subtropical Agroecosystems* 10 (1): 29-44.
- Rodríguez, S., Martínez; R., P. Romero, y L. Sandalio. 2008. “Toxicidad del Cadmio en Plantas”. *Ecosistemas* 17: 139-146.
- Rueda, G., Rodríguez, J., y R. Madriñán. 2011. “Metodologías para establecer valores de referencia de metales pesados en suelos agrícolas: Perspectivas para Colombia”. *Acta Agronómica* 60 (3): 203-218.
- Ruíz, J. 2011. “Evaluación de tratamientos para disminuir cadmio en lechuga (*Lactuca sativa* L.) regada con agua del río Bogotá”. *Revista Colombiana de Ciencias Hortícolas* 5 (2): 233-243.
- 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*. Tesis de Grado. Universidad Central de Venezuela. Caracas (Venezuela).