

AVANCES DEL MONITOREO DE PRESENCIA DE CADMIO EN ALMENDRAS DE CACAO, SUELOS Y AGUAS EN ECUADOR

Francisco Mite¹, Manuel Carrillo¹ y Wuellins Durango¹

¹ Instituto Nacional Autónomo de Investigaciones Agropecuarias (INIAP). Estación Experimental Tropical Pichilingue. Departamento Nacional de Manejo de Suelos y Aguas. Correo electrónico: fmitev@gye.satnet.net

ANTECEDENTES

El informe 2007 del Banco Central del Ecuador sostiene que el sector agropecuario para el año 2007 creció en un 4,2%. Esta situación favorable se debe principalmente al incremento del 43% en las exportaciones de cacao, El Ecuador es el primer productor mundial de este cultivo fino y de aroma (produce más del 60% de la producción mundial), utilizado en la fabricación de chocolates de alta calidad y de tipo gourmet. El cacao en el Ecuador en la actualidad constituye el tercer rubro de importancia, después del banano y las flores, generando empleo a más de 100.000 familias de pequeños productores ecuatorianos y otras 20.000 familias en el resto de la cadena de valor, lo que equivale a una influencia directa sobre 600.000 personas.

Sin embargo, las exportaciones del cacao fino de aroma de Ecuador, especialmente hacia los mercados Europeos, se ve amenazado por indicios de contaminación de metales pesados como el cadmio (Cd) en las almendras de cacao exportable, en niveles superiores a los permitidos por Normativas alimentarias de la Comunidad Europea. Se considera que las fuentes de contaminación de cadmio pueden provenir de forma natural, mediante las erupciones volcánicas, la mineralización del material parental o inducidas por el hombre (antropogénicas), donde sobresale las explotaciones de minas, quemados de basuras urbanas, uso de lodos urbanos en la agricultura, agroquímicos, gases provenientes de las industrias, quema de combustibles fósiles, entre estos el carbón, contaminación por derivados del petróleo al secar el cacao en carreteras, etc.

Actualmente se encuentran en revisión en Europa los niveles máximos permitidos de metales pesados en productos de consumo humano. En este marco, por ejemplo el Instituto Alemán para la valoración y análisis de riesgos BfR ha propuesto un contenido máximo permitido de cadmio de 0,1 – 0,3 mg por kg de chocolate, independientemente del porcentaje de cacao que contenga, después de haber analizado las posibles consecuencias que el consumo del mismo pueda tener en la salud humana y tomando en cuenta el consumo diferenciado de chocolates en niños y adultos. Esta propuesta está sujeta a revisión, ya que el límite podrá ser modificado una vez recibidos los resultados del estudio de consumo de chocolate en la Unión Europea a fines de este año y se cuente con datos actuales acerca del consumo de otros alimentos que contienen cadmio.

Lo anterior, ha puesto en alerta a los actores del sector, especialmente a los pequeños productores, que serían los más afectados por posibles restricciones en este aspecto. El INIAP con el apoyo de la GTZ, de CORPEI, y de la Asociación de Exportadores de Cacao-ANECACAO iniciaron una investigación aplicada que permita precisar las áreas que tienen problemas de acumulación de cadmio, para definir medidas de prevención y remediación, mediante el uso de técnicas de ingeniería, como: remoción mediante el uso de la fitorremediación que involucra el empleo de técnicas biológicas y químicas, con la finalidad de mitigar la incidencia económica y social que podría provocar inconvenientes en la comercialización del cacao ecuatoriano por los altos índices de contenido de cadmio en la almendra.

JUSTIFICACION

El promedio de vida del hombre a nivel mundial tiende a disminuir. Frecuentemente y como es conocido por todos, el apareamiento de un sinnúmero de enfermedades nuevas o enfermedades existentes, en mayor número que antes, son las responsables de este problema.

Algunos trastornos o quebrantos en la salud del hombre, pueden ser generados por el consumo de productos alimenticios contaminados o por simple exposición de las personas a ambientes poluidos, especialmente por metales pesados.

Elementos pesados como el Plomo (Pb), Cadmio (Cd), Mercurio (Hg), Zinc (Zn), Cobre (Cu) cuando están presentes en cantidades elevadas son considerados tóxicos (Hewitt y Smith, citados por Adriano, 1986) teniendo preferencia de acumulación en ciertos órganos y ocasionan problemas en la salud.

El primer indicio de toxicidad por cadmio, se detectó a finales de los años 70 a raíz de un problema aparecido localmente en Jadun, una ciudad de Japón donde hubo una contaminación elevada con cadmio. Este metal pasó a la cadena alimenticia, sobretodo acumulado en arroz (alimento básico de la población), provocando un síndrome o enfermedad que se denominó enfermedad de Itai-itai, caracterizada por problemas renales graves y óseos, en mujeres de 45–70 años que vivían junto a un río que provenía de una zona con una mina de cadmio y donde se observó que los alimentos y la bebida estaban contaminados.

Los contaminantes pueden provenir de forma natural, sea por las erupciones volcánicas, debido a la mineralización del material parental o inducidas por el hombre (antropogénicas), donde sobresale las explotaciones de minas, quemas de basuras urbanas, uso de lodos urbanos en la agricultura, agroquímicos, gases provenientes de las industrias, quema de combustibles fósiles, entre estos el carbón, los derivados del petróleo, etc. Las plantas cultivadas representan una importante vía para el movimiento de metales pesados potencialmente tóxicos desde el suelo hacia los humanos, acumulándolos en diferentes cantidades y en sus diferentes órganos vegetales y reproductivos, resultando contribuciones venenosas en las dietas alimenticias.

En Cuenca del Ecuador se tiene reportes que Hewitt y Candy, citados por Sánchez-Camazano et al (1994), encontraron suelos con contenidos de $0.20 - 0.27 \text{ mg kg}^{-1}$ de Cd; Carrera (1994), encontró, en fincas cacaoteras de Santa Rosa en la provincia del Oro y Naranjal en la provincia del Guayas, almendras de cacao con cantidades mayores a 1 mg kg^{-1} de Cd. Así mismo, Carrillo (2003) observó en suelos del Litoral Ecuatoriano cantidades de Cd en forma total y biodisponible, mayores a las permitidas por el Codex Alimentarius.

El INIAP-PROMSA (2003), reportaron la presencia de Cd en niveles tóxicos en un suelo cacaotero de la Provincia de El Oro y almendras de cacao con cantidades superiores a 1 mg kg^{-1} de Cd, en las provincias de El Oro, Guayas, Zamora, Los Ríos, Francisco de Orellana, Esmeraldas y la parte tropical de Pichincha; además, se indicó como principales posibles fuentes de contaminación, la quema de fundas plásticas usadas en la agricultura, cercanía a las carreteras y uso de aguas provenientes de minas.

No obstante, la característica de país productor y exportador de cacao fino y de aroma, la venta de cacao proveniente de los lugares contaminados, podrían poner en riesgo la adquisición de este producto en los mercados internacionales. Se sabe que cada vez hay mayores exigencias en la inocuidad de los productos que provienen de áreas donde no hay mayores controles de calidad

Por lo anteriormente enunciado, es necesario precisar las áreas que tienen problemas de acumulación de cadmio para iniciar trabajos de descontaminación de suelos, que podrían influir en la cadena alimenticia. Según Pavesi y Siqueira (2001), se puede remediar la contaminación de los suelos por M.P., mediante el uso de técnicas de ingeniería, como remoción, lavado o usado el suelo en mezcla para construcción de capas asfálticas y mediante el uso de la fitorremediación que involucra el empleo de técnicas biológicas y químicas.

Como consecuencia, surge la necesidad de profundizar en el conocimiento de la presencia del cadmio en los suelos, aguas y frutos del sistema de cultivo de cacao, proponiendo con este proyecto alcanzar los siguientes objetivos:

OBJETIVOS

General

Identificar las áreas y los niveles de contaminación por cadmio en los diferentes sistemas de cultivo de cacao en el Ecuador, previo al desarrollo de alternativas de remediación para contrarrestar su efecto tóxico.

Específicos

1. Determinar las áreas con presencia de cadmio en los sistemas de cultivo de cacao en el Ecuador.
2. Conocer las concentraciones de Cd en cacao comercial en las principales zonas cacaoteras del país.
3. Determinar en que parte de la almendra se acumula más el cadmio

MATERIALES Y METODOS

Este trabajo se realizó en campo y laboratorio. En el laboratorio, las determinaciones de Cd se realizaron directamente en el mineralizado utilizando un espectrofotómetro de absorción atómica marca Perkin Elmer modelo AA-400, bajo longitud de onda de 228.8 nm.

Las soluciones para los trabajos, se prepararon usando reactivos categoría p.a. (para análisis) de la marca Merck y con agua ultra pura. Los materiales de vidrio utilizados en laboratorio y campo siempre fueron lavados con una solución 20 % de la mezcla HNO₃ y HCl en la proporción 1:1, seguido de un enjuague con agua destilada y finalmente con agua ultra pura.

Selección del área

Las muestras se colectaron a nivel nacional, en suelos de 142 fincas cacaoteras representativas de 25 organizaciones beneficiarias de la Agencia de cooperación alemana (GTZ), distribuidas en las regiones del Litoral, Sierra y Oriente, donde se cultiva cacao en el país. Una descripción de los lugares del muestreo se indica en la **Tabla 1**.

Colecta de las muestras

Las muestras de suelos, tejidos y aguas de cada finca seleccionada, se tomaron durante la época seca del 2008 y lluviosa del 2009. En este trabajo se presentan un avance de los resultados obtenidos en la época seca del 2008 para suelos, tejidos y agua. Las muestras correspondientes a los Centros de acopio corresponden a los muestreos realizados en ambas épocas.

Tabla 1. Provincias, número y tipos de muestras colectadas durante la época seca del 2008, en fincas cacaoteras del Ecuador.

REGION	PROVINCIA	No. Muestras Colectadas			
		SUELOS	TEJIDOS	CENTRO ACOPIO	AGUA
Litoral	Esmeraldas	9	11	6	-
	Manabí	14	17	2	-
	Los Ríos	18	20	13	1
	Guayas	26	37	8	11
	Sta. Elena	3	5	-	-
	El Oro	19	19	5	10
Sierra	Azuay	2	2	-	3
	Bolívar	7	7	1	-
	Cotopaxi	3	3	-	-
	Pichincha	2	4	2	1
	Sto. Domingo	5	5	-	-
Oriente	M. Santiago	1	2	-	-
	Napo	8	8	4	-
	Orellana	12	12	6	1
	Pastaza	3	3	-	-
	Sucumbios	6	6	7	-
	Z. Chinchipe	4	4	-	1
	Subtotal	142	165	54	28
	Total	568	803	108	28
	Suman		1507		

Suelos

Se colectaron 10 submuestras de suelos para cada muestra, en un peso aproximado de 1 Kg, a profundidades de 0-5, 6-10, 11-15 y 16-20 cm, con ayuda de un barreno, colocadas en fundas plásticas y trasladadas al laboratorio de suelos de la Estación Experimental Tropical Pichilingue del INIAP, para la determinación de los contenidos totales de Cd. En la época seca se colectaron 568 muestras de suelo.

Tejidos

Al igual que las muestras de suelos, se colectaron en un mismo número de submuestras (hojas) para formar una muestra compuesta. Se colectaron tres tipos de tejidos vegetales por finca: muestras de hojas, almendras con testa y almendras sin testa (solo cotiledones), resultantes de diez mazorcas. Se utilizó una hielera para mantener las muestras frescas.

Aguas

En las fuentes donde se tomaron el agua para riego, se colectaron muestras de agua (250 mL) a una profundidad de 20 a 30 cm de la superficie de la fuente en caso de pozo y si es canal o río, a la misma profundidad, a favor de la corriente y no cerca de la rivera. Para el efecto, se utilizó botellas plásticas transparentes, lavadas en el laboratorio con HNO₃ al 10 % y antes de la colecta, lavado con el agua a muestrear. Para mantener las muestras frescas, se utilizó una hielera.

Digestión y determinación

Suelos

La extracción de Cd total, se hizo usando el procedimiento propuesto por Berrow et al (1983) y modificado por Bacon & Hudson (2001).

De la muestra compuesta, se tomó 0,5 g de suelo (partículas < 63 µm), los mismos que fueron colocados en tubos digestores, adicionándose 1 mL de agua desionizada para obtener una pasta. Luego en seguida se colocó 5 mL de agua regia (HCl + HNO₃ relación 3:1) y los tubos fueron tapados con papel, dejándose en reposo por 16 h. Después del tiempo estimado, los tubos fueron colocados en

el bloque digestor a $\pm 105\text{ }^{\circ}\text{C}$ por 2 h, tapados con vidrio de reloj o embudo pequeño de vidrio, luego se dejó enfriar y colocó 5 mL de agua regia para dejarlos por 2 h a $105\text{ }^{\circ}\text{C}$, tapados con vidrio de reloj o embudo pequeño de vidrio. Se dejó enfriar un poco y se filtró la solución en papel filtro rápido, colectándose el filtrado en balón de 25 mL. Los residuos del tubo digestor y papel filtro fueron lavados con algunos mL de HNO_3 2 mol L^{-1} a aproximadamente $50\text{ }^{\circ}\text{C}$. Se dejó enfriar y se llevó a volumen con HNO_3 2 mol L^{-1} .

Muestras de tejidos

Para la extracción de Cd en las muestras de tejidos, se tomó aproximadamente 0,5 g de cada una de ellas, las que fueron sometidas a mineralización nítrico-perclórica (relación 4:1), metodología usada por Carrillo (2003). Se colocó aproximadamente 0,5 g de tejido en un Becker de 100 mL, recibiendo enseguida una mezcla de HNO_3 (8 mL) + HClO_4 (2 mL). Una hora después se colocó esta mezcla en una placa calentadora a $\pm 180\text{ }^{\circ}\text{C}$, por aproximadamente 90 min hasta digestión total. La digestión estuvo completa con el apareamiento de humo blanco y la formación de un líquido incoloro. El extracto fue filtrado en balón de 50 mL y llevado a volumen con agua desionizada.

Muestras de agua de riego

Las cantidades de Cd presentes en el agua de riego, fueron determinadas directamente o pre-concentradas por calentamiento en placa calentadora a $60\text{ }^{\circ}\text{C}$ siguiendo el procedimiento realizado por Stephen et al (1985).

Determinación de los niveles de Cd en muestras de cacao tomadas en centros de acopio del país.

Selección de unidades de muestreo

Considerando el mapa de organizaciones beneficiarias de la GTZ, existen 41 centros de acopio distribuidos en las diferentes zonas de estudio, donde cada centro de acopio, fue una unidad de muestreo.

Colecta de muestras

Se colectó aproximadamente 1 Kg de muestra de cacao en cada centro de acopio. Estas fueron colocadas en fundas plásticas, identificadas y trasladadas en hielera hasta el laboratorio, donde fueron separadas en dos grupos, para su respectivo análisis de contenido de Cd. El primero, consistía de muestras de granos con testa y el segundo de granos sin testa (solo cotiledones).

Digestión

Las muestras de tejidos, fueron digeridas de igual manera que las realizadas en el numeral 4.3.2.

Análisis estadístico

Para la evaluación estadística de los resultados obtenidos, se aplicó estadísticas no paramétricas, en donde los datos de las medias se expresan en Tablas y Gráficos.

RESULTADOS Y DISCUSION

a) Suelos

En la figura 1, se aprecia en los suelos dedicados al cultivo de cacao de las provincias de Esmeraldas y Santo Domingo, que la mayoría de los lugares muestreados, presentan contenidos de Cd más elevados, en los primeros cinco centímetros de profundidad, disminuyendo a manera que se profundiza, principalmente en los suelos de Esmeraldas (ES). Esto podría deberse a que las raíces del cacao extraigan Cd del subsuelo y por reciclado los vayan depositando en las primeras capas. No se descarta que ese elemento pueda haberse contaminado vía antrópica; sin embargo, con el segundo muestreo se confirmará esta aseveración.

En la misma figura, se puede notar que en dos localidades de la provincia de Esmeraldas los mayores valores llegan a 0,88 mg kg⁻¹ en los primeros 0-5 cm, mas estos valores se encuentran por debajo de la concentración crítica en los suelos reportada por Cornell (1999), que es 2,00 mg kg⁻¹.

Al igual que en las dos provincias mostradas en la **Figura 1**, los suelos cacaoteros de las provincias de Los Ríos y Manabí (**Figura 2**), presentan mayores contenidos de Cd, en la primera capa del suelo. Estos valores disminuyen a manera que se profundiza.

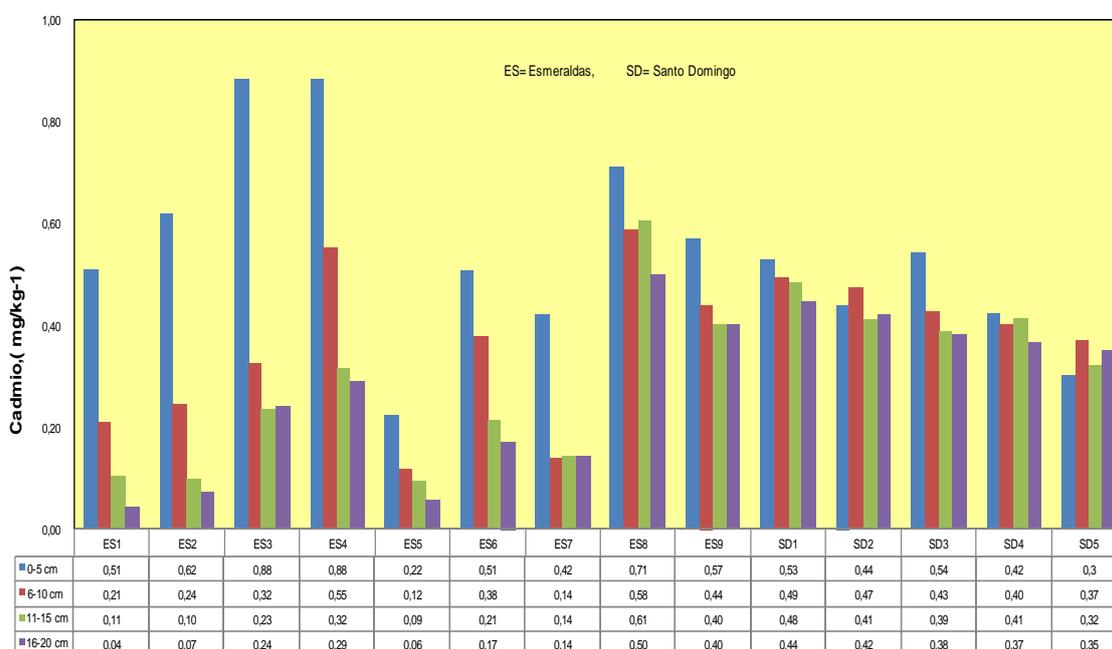


Figura 1. Contenidos de Cd en profundidad en 14 suelos dedicados al cultivo de cacao en las provincias de Esmeraldas y Santo Domingo. Época seca, 2008.

Sobresale el contenido que se observa en dos muestras colectadas en la provincia de Manabí (MA1 y 12), donde en la superficie presentan valores de 2,37 y 2,16 mg kg⁻¹ y a los 15 centímetros, llegan a tener 2,00 mg kg⁻¹. En estos suelos sería interesante conocer las propiedades físicas como textura y densidad aparente, para conocer el movimiento del metal en el suelo a profundidad.

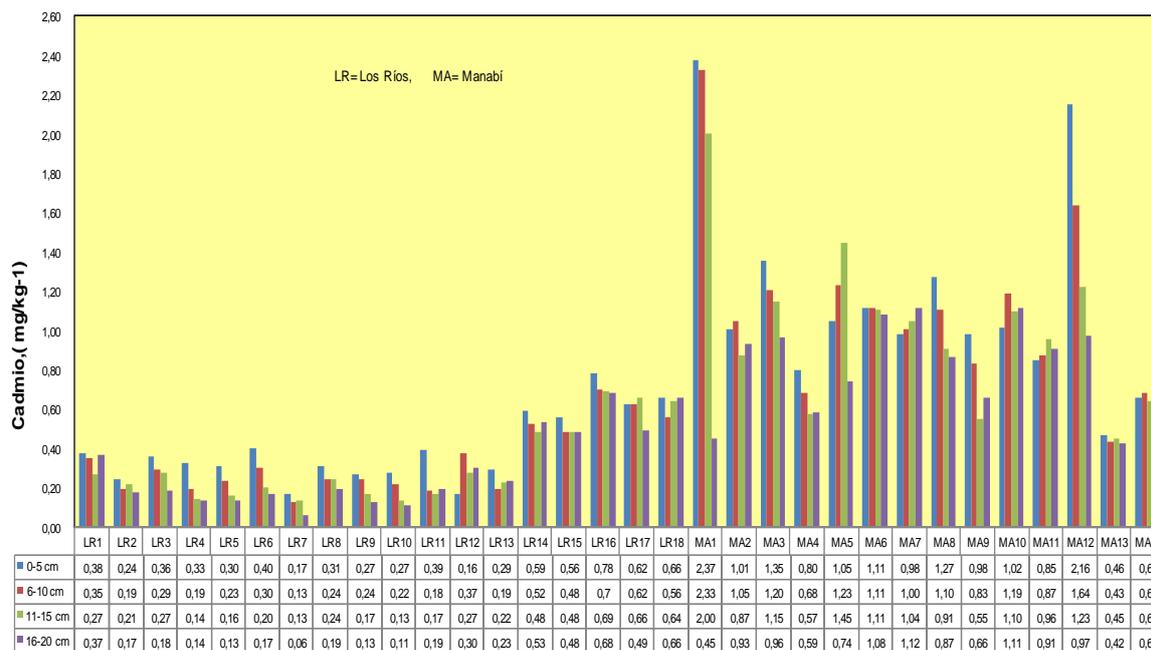


Figura 2. Contenidos de Cd en profundidad en 32 suelos dedicados al cultivo de cacao en las provincias de Los Ríos y Manabí. Época seca, 2008.

La **Figura 3**, indica que los suelos dedicados al cultivo de cacao de la provincia del Guayas, presentan contenidos de Cd más altos, en los primeros centímetros de profundidad, que si bien van disminuyendo a manera que se profundiza, las diferencias de contenidos son muy pequeñas. Siendo la muestra GU6 con $1,65 \text{ mg kg}^{-1}$ en los primeros centímetros la que reporta la más alta concentración en esta provincia. De todas maneras se encuentra bajo la concentración crítica en los suelos.

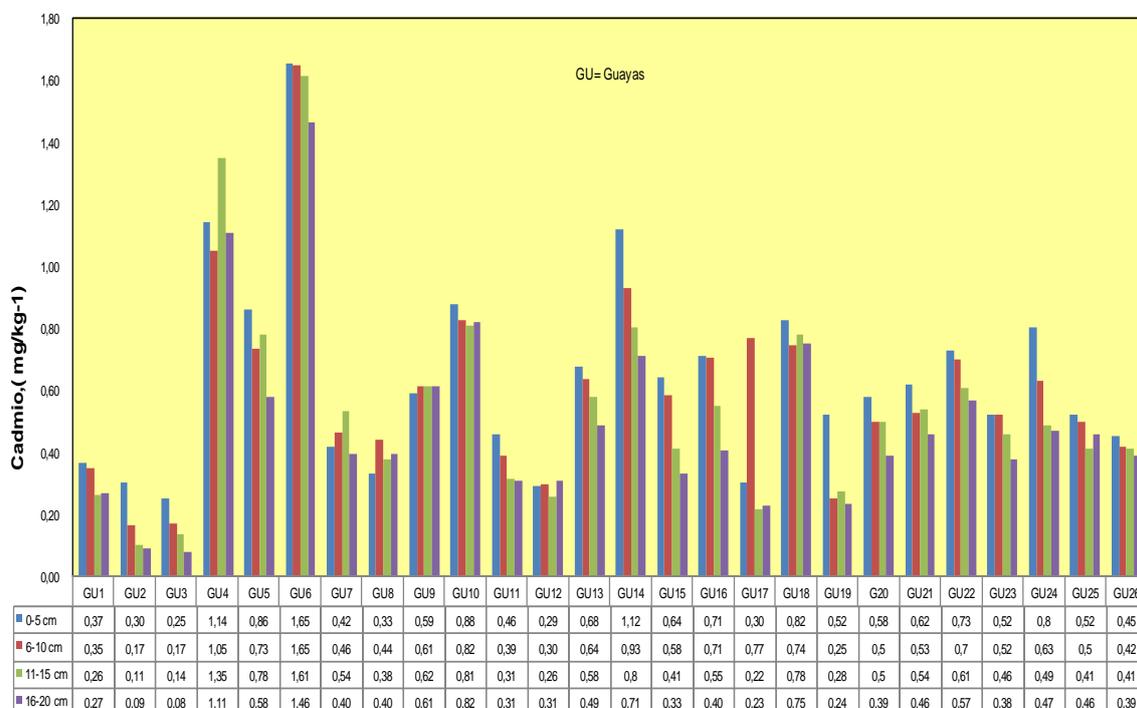


Figura 3. Contenidos de Cd en profundidad en 26 suelos dedicados al cultivo de cacao en la provincia de Guayas. Época seca, 2008.

La **Figura 4**, muestra los suelos cacaoteros de las provincias de El Oro y Santa Elena, donde al igual que las otras provincias del Litoral ecuatoriano la tendencia es presentar mayores contenidos de Cd, en los primeros centímetros de profundidad, que disminuyen a manera que se profundiza.

Sin embargo, los resultados indican que en la provincia de El Oro (EO10 y 11) se encuentra contaminación por este metal con contenidos de 2,53 y 2,23 mg kg⁻¹ en la capa superficial y de 240 mg kg⁻¹ hasta los 20 centímetros, valores que sobrepasan los 2,00 mg kg⁻¹, de concentración crítica. Además, cabe indicar que esta provincia es la que presenta mayor contaminación, causada posiblemente por la quema indiscriminada de plásticos de acuerdo a lo reportado por INIAP-PROMSA 2003 y el efecto de la minería.

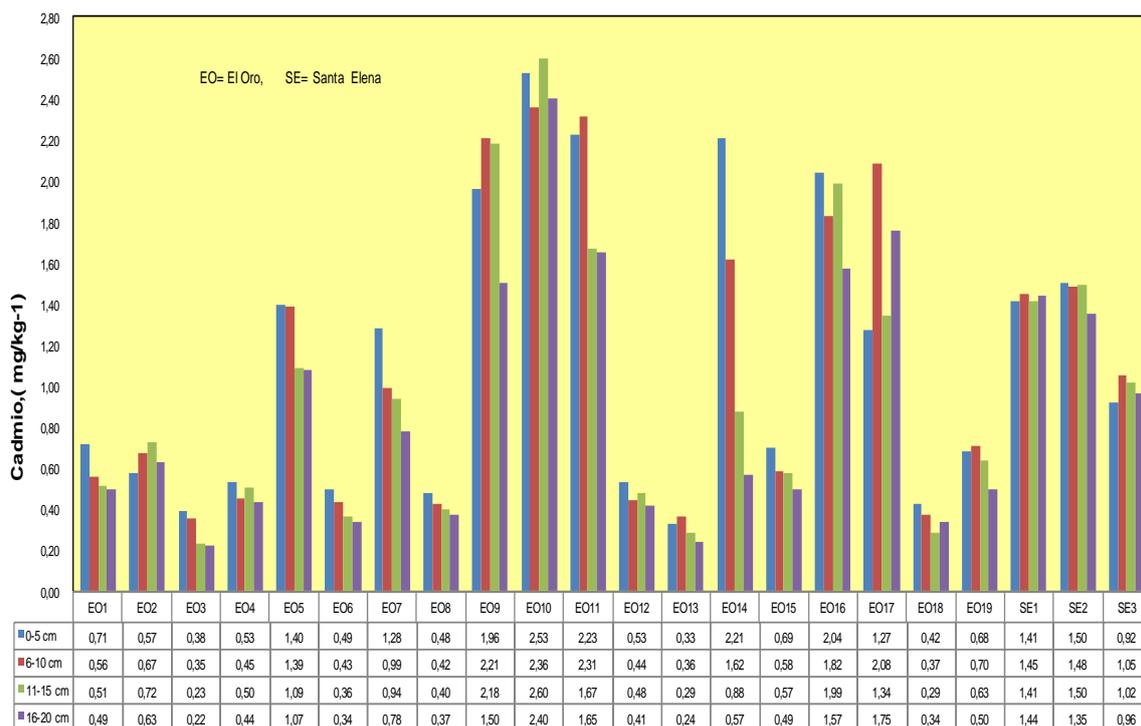


Figura 4. Contenidos de Cd en profundidad en 22 suelos dedicados al cultivo de cacao en las provincias de El Oro y Santa Elena. Época seca, 2008.

En la **Figura 5**, se encuentran los contenidos de Cd en suelos cacaoteros de cuatro provincias de la Sierra, cuyos valores, siguen la misma tendencia que los encontrados en los suelos del Litoral, donde la mayor concentración se presenta en los primeros centímetros del suelo, salvo en suelos de la provincia de Bolívar (BO1), en la mayor profundidad muestra valor similar al de la superficie. En general, los valores encontrados se encuentran dentro del límite de 2,0 mg kg⁻¹.

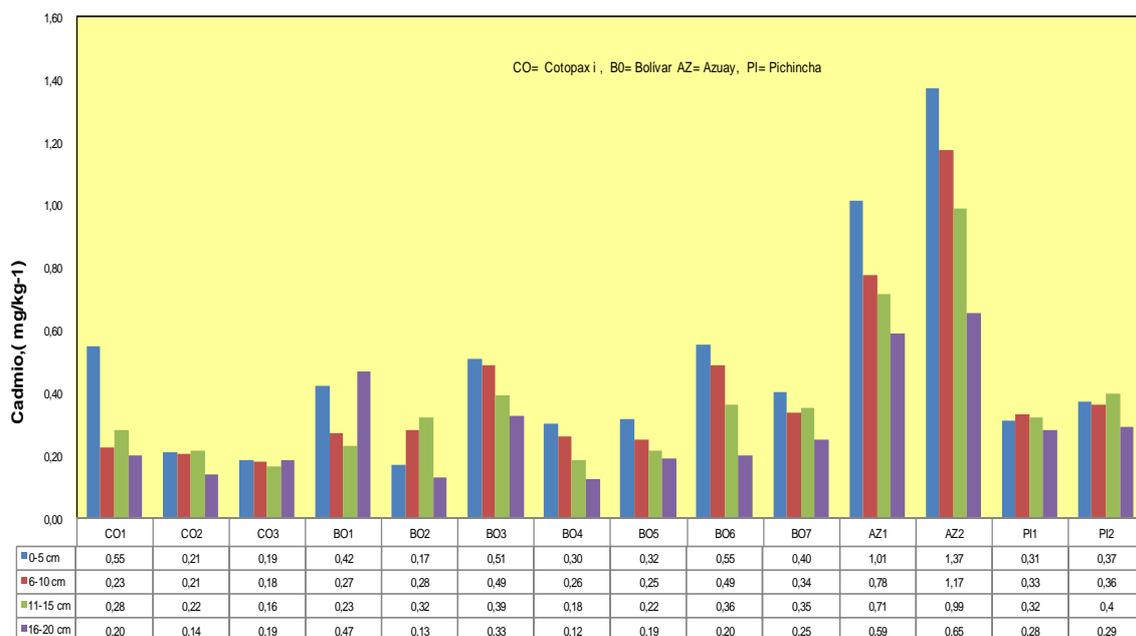


Figura 5. Contenidos de Cd en profundidad en 14 suelos dedicados al cultivo de cacao en cuatro provincias de la Sierra ecuatoriana. Época seca, 2008.

La **Figura 6**, indica los resultados obtenidos en suelos de las provincias de la región oriental, donde todos los valores, se encuentran dentro de los límites permisibles. Sobresalen las muestras de Napo (NA4), Zamora (ZC4) y Sucumbíos (SU3), que alcanzan valores de 1,73; 1,24 y 1,15 mg kg⁻¹, respectivamente, en los primeros 5 cm de profundidad. Estos valores son bajos, considerando que en estas provincias existen un gran número de pozos petroleros activos y minas, que emanan gases y residuos tóxicos a la atmósfera.

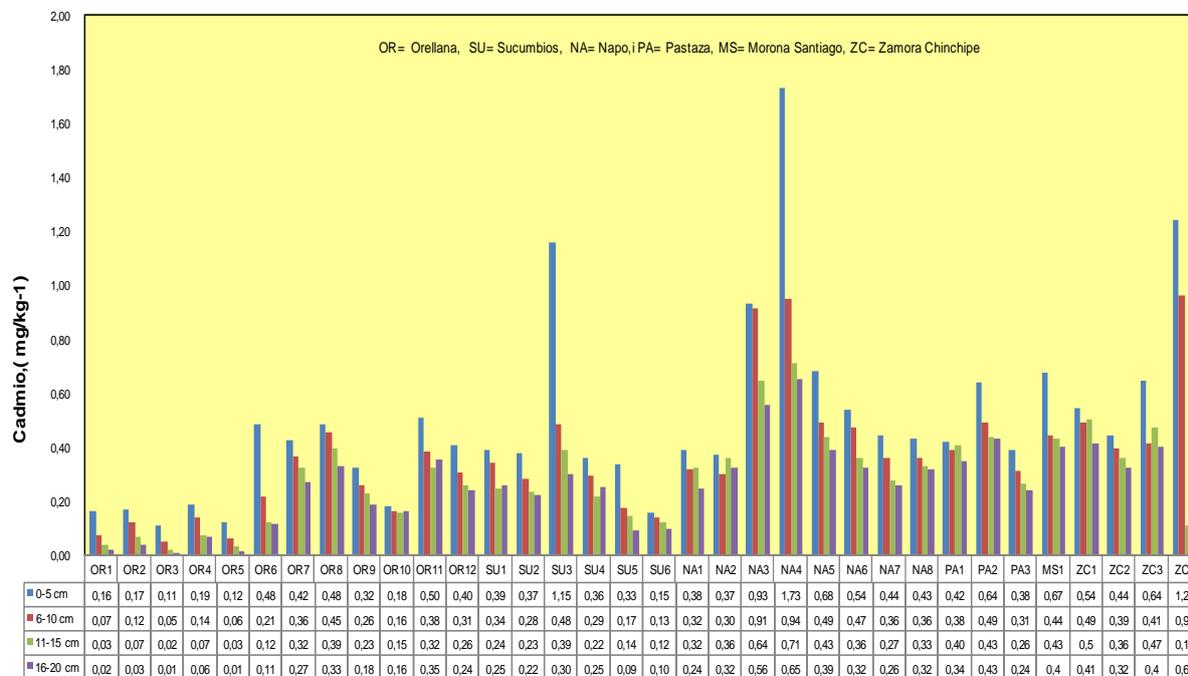


Figura 6. Contenidos de Cd en profundidad en 34 suelos dedicados al cultivo de cacao en seis provincias del Oriente ecuatoriano. Época seca, 2008.

Los contenidos de Cd, que se observan en la parte superficial, probablemente se deba al Cd presente en la materia orgánica, que proviene de las mismas plantas de cacao, absorbidas de estratos inferiores y que con el tiempo han reciclado primero a la biomasa y luego por la caída de las hojas que se han depositado sobre la capa superficial del suelo. También, podría deberse a la absorción del elemento que se encuentra en la atmósfera y haya sido absorbida por las plantas.

b) Tejidos

• Cáscaras

Las muestras de cáscaras de cacao analizadas, presentan un promedio $1,01 \text{ mg kg}^{-1}$ de Cd (**Tabla 2**), que resulta menor a los $2,00 \text{ mg kg}^{-1}$ de Cd reportado por INIAP-PROMSA (2003). El mayor promedio (dos muestras) se registra en cáscaras de cacao sembrado en la provincia del Azuay, que tiene influencia de la minería. En tanto que, el menor promedio de $0,13 \text{ mg kg}^{-1}$ de Cd, se encuentra en Cotopaxi y Pichincha (7 y 2 muestras, respectivamente).

En esta misma **Tabla 2**, se observa que los valores mínimos registrados fueron en las provincias de Bolívar, Cotopaxi, Los Ríos, Manabí, Napo y Santo Domingo, que no llegaron a $0,1 \text{ mg kg}^{-1}$ de Cd.

Cuando se aprecia las concentraciones máximas encontradas en las cáscaras, se tiene que en ocho provincias, las muestras han sobrepasado los $2,5 \text{ mg kg}^{-1}$ de Cd, indicando que hay fincas que tienen cacao con bajos y altos niveles de contaminación. Aunque esto no es indicativo de la cantidad de metal que llegue a la almendra, los valores hacen suponer que se encontrarán cantidades altas. Al igual que lo mencionado por INIAP-PROMSA (2003) y Carrillo (2003), tejidos de cacao de la provincia de El Oro, presentan contenidos muy altos de Cd. En esta investigación, hasta el momento se han encontrado valores de $9,94$ y $4,94 \text{ mg kg}^{-1}$ de Cd en la cáscara, que son los más elevados.

Tabla 2. Valores promedio, mínimo y máximo de contenidos de Cd registrados en muestras de cáscara de cacao provenientes de fincas de 17 provincias del Ecuador. Época seca, 2008.

REGION	PROVINCIA	PROMEDIO	MÍNIMO	MÁXIMO	MUESTRAS
			mg kg^{-1}		Nº
Litoral	Esmeraldas	1,11	0,35	2,91	11
	Manabí	0,97	0,03	2,68	17
	Los Ríos	0,63	0,07	1,53	19
	Guayas	1,26	0,12	3,66	36
	Sta. Elena	1,96	0,50	3,00	5
	El Oro	1,36	0,22	4,94	19
Sierra	Azuay	1,55	0,25	2,85	2
	Bolívar	0,36	0,07	0,79	7
	Cotopaxi	0,13	0,08	0,24	3
	Pichincha	0,13	0,11	0,15	2
	Sto. Domingo	0,17	0,07	0,26	5
Oriente	M. Santiago	0,78	0,44	1,12	3
	Napo	0,78	0,05	2,69	8
	Orellana	1,35	0,12	3,13	12
	Pastaza	0,78	0,23	1,62	3
	Sucumbios	0,45	0,18	1,07	6
	Z. Chinchipe	3,33	0,72	9,94	4
PROMEDIO		1,01	0,21	2,50	

- **Hojas**

En la **Tabla 3**, se aprecia que al igual que en las cáscaras, las hojas de plantas de cacao muestreadas en las provincias de Santo Domingo, Pichincha y Cotopaxi, presentan los valores promedios de Cd más bajos (menos de 0,40 mg kg⁻¹ de Cd). Lo contrario sucede con las muestras colectadas en las provincias de Azuay, El Oro, Guayas y Zamora Chinchipe, donde las hojas presentan contenidos mayores a 2,30 mg kg⁻¹ de Cd.

En esta misma Tabla, se observa que así como en la provincia de El Oro, se encontraron hojas con promedios elevados del metal, también hay fincas con los más bajos contenidos de éste (0,09 mg kg⁻¹ de Cd). Por lo que no habría como generalizar la presencia de este elemento tóxico en toda la provincia.

Los contenidos más elevados registrados en las muestras analizadas, corresponden a las provincias de El Oro, Guayas y Zamora Chinchipe, cuyos valores superan los 8 mg kg⁻¹ de Cd. También hay provincias que la máxima concentración de Cd en las hojas es bajo como es el caso de Cotopaxi, Pichincha y Santo Domingo, que muestran valores menores a 0,45 mg kg⁻¹ de Cd.

Tabla 3. Valores promedio, mínimo y máximo de contenidos de Cd registrados en muestras de hojas de cacao provenientes de fincas de 17 provincias del Ecuador. Época seca, 2008.

REGION	PROVINCIA	PROMEDIO	MÍNIMO	MÁXIMO	MUESTRAS
			mg kg ⁻¹		N°
Litoral	Esmeraldas	1,11	0,35	2,91	11
	Manabí	0,97	0,03	2,68	17
	Los Ríos	0,63	0,07	1,53	19
	Guayas	1,26	0,12	3,66	36
	Sta. Elena	1,96	0,50	3,00	5
	El Oro	1,36	0,22	4,94	19
Sierra	Azuay	1,55	0,25	2,85	2
	Bolívar	0,36	0,07	0,79	7
	Cotopaxi	0,13	0,08	0,24	3
	Pichincha	0,13	0,11	0,15	2
	Sto. Domingo	0,17	0,07	0,26	5
Oriente	M. Santiago	0,78	0,44	1,12	3
	Napo	0,78	0,05	2,69	8
	Orellana	1,35	0,12	3,13	12
	Pastaza	0,78	0,23	1,62	3
	Sucumbios	0,45	0,18	1,07	6
	Z. Chinchipe	3,33	0,72	9,94	4
	PROMEDIO	1,01	0,21	2,50	

REGION	PROVINCIA	PROMEDIO	MÍNIMO	MÁXIMO	MUESTRAS
		mg kg^{-1}			N°
LITORAL	Esmeraldas	1,50	0,41	2,06	11
	Manabi	1,63	0,14	4,81	17
	Los Ríos	0,94	0,13	3,51	20
	Guayas	2,32	0,13	9,66	37
	Sta. Elena	2,04	0,28	2,81	5
	El Oro	2,44	0,09	8,70	19
SIERRA	Azuay	2,87	1,62	4,11	2
	Bolívar	0,64	0,19	1,46	7
	Cotopaxi	0,26	0,15	0,38	3
	Pichincha	0,18	0,10	0,30	4
	S. Domingo	0,35	0,24	0,44	5
ORIENTE	M. Santiago	0,77	0,48	1,06	2
	Napo	1,72	0,23	6,85	8
	Orellana	2,19	0,34	5,50	12
	Pastaza	2,09	0,49	3,98	3
	Sucumbios	0,98	0,34	2,15	6
	Z. Chinchipe	2,86	0,35	8,61	4
	PROMEDIO	1,52	0,34	3,91	

- **Magüey**

Los datos encontrados en muestras de magüey de cacao analizadas, presentan un promedio $0,67 \text{ mg kg}^{-1}$ de Cd (**Tabla 4**). Se registró el mayor valor promedio de magüey en el cacao sembrado en las provincias de Santa Elena y el Oro, con $1,16$ y $0,94 \text{ mg kg}^{-1}$ de Cd, respectivamente. En tanto que, el menor promedio de $0,22 \text{ mg kg}^{-1}$ de Cd, se encontró en Pichincha.

En esta misma Tabla, se observa que los valores mínimos registrados fueron en las provincias de Morona Santiago y Guayas con $0,04$ y $0,07 \text{ mg kg}^{-1}$ de Cd, respectivamente.

Cuando se aprecia las concentraciones máximas encontradas en el magüey, se tiene que Manabí y El Oro, reportan valores de $2,43$ y $2,20 \text{ mg kg}^{-1}$ de Cd, más estos valores son inferiores a los reportados por INIAP-PROMSA (2003), que presentó valores de hasta 9 mg kg^{-1} de Cd.

Tabla 4. Valores promedio, mínimo y máximo de contenidos de Cd registrados en muestras de magüey de cacao provenientes de fincas de 17 provincias del Ecuador. Época seca, 2008.

REGION	PROVINCIA	PROMEDIO	MÍNIMO	MÁXIMO	MUESTRAS
		mg kg^{-1}			N°
Litoral	Esmeraldas	0,88	0,34	1,48	11
	Manabí	0,90	0,10	2,43	17
	Los Ríos	0,58	0,25	1,15	19
	Guayas	0,78	0,07	2,10	37
	Sta. Elena	1,16	0,68	1,48	5
	El Oro	0,94	0,40	2,20	19
Sierra	Azuay	0,82	0,33	1,32	2
	Bolívar	0,55	0,33	1,10	7
	Cotopaxi	0,38	0,12	0,60	3
	Pichincha	0,22	0,18	0,27	2
	Sto. Domingo	0,43	0,23	0,79	5
Oriente	M. Santiago	0,29	0,04	0,52	3
	Napo	0,43	0,15	1,26	8
	Orellana	0,99	0,36	1,90	12
	Pastaza	0,57	0,27	0,94	3
	Sucumbios	0,74	0,29	1,00	6
	Z. Chinchipe	0,70	0,30	1,20	4
	PROMEDIO	0,67	0,26	1,28	

- **Almendras**

En las muestras de almendras de cacao analizadas, se encontró un promedio $0,84 \text{ mg kg}^{-1}$ de Cd (Tabla 5), que resulta menor a los $2,00 \text{ mg kg}^{-1}$ de Cd reportado por INIAP-PROMSA (2003).

El mayor promedio en almendras se registra en cacao sembrado en las provincias de El Oro, Santa Elena y Orellana con $1,35$; $1,32$ y $1,15 \text{ mg kg}^{-1}$ de Cd. Mientras que, el menor promedio de $0,47 \text{ mg kg}^{-1}$ de Cd, se encuentra en Morona Santiago.

En cuanto a los valores mínimos registrados, en esta misma Tabla se observa que fueron en las provincias de Bolívar, Cotopaxi, con $0,15$ y $0,16 \text{ mg kg}^{-1}$ de Cd, quienes reportan los más bajos valores.

Las concentraciones máximas encontradas en las almendras que presentan valores mayores a los $2,0 \text{ mg kg}^{-1}$ ocurren en seis provincias. Las muestras han sobrepasado los valores críticos, pues hay fincas que tienen índices de contaminación elevados. Al igual que lo mencionado por INIAP-PROMSA (2003) y Carrillo (2003), tejidos de cacao de la provincia de El Oro, presentan contenidos muy altos de Cd. En esta investigación, hasta el momento se ha encontrado un valor de $4,08 \text{ mg kg}^{-1}$ de Cd en la almendra, que es el más elevado. Le siguen Guayas y Manabí con $3,57$ y $3,46 \text{ mg kg}^{-1}$, respectivamente.

Tabla 5. Valores promedio, mínimo y máximo de contenidos de Cd registrados en muestras de almendra de cacao provenientes de fincas de 17 provincias del Ecuador. Época seca, 2008.

REGION	PROVINCIA	PROMEDIO	MÍNIMO	MÁXIMO	MUESTRAS
		mg kg^{-1}			N°
Litoral	Esmeraldas	0,96	0,30	1,96	11
	Manabí	1,06	0,23	3,46	14
	Los Ríos	0,57	0,23	1,23	16
	Guayas	1,04	0,24	3,57	37
	Sta. Elena	1,32	0,84	1,65	5
	El Oro	1,35	0,47	4,08	18
Sierra	Azuay	1,07	0,44	1,70	2
	Bolívar	0,53	0,15	0,84	7
	Cotopaxi	0,50	0,16	0,72	3
	Pichincha	0,21	0,19	0,38	2
	Sto. Domingo	0,68	0,38	1,26	5
Oriente	M. Santiago	0,47	0,39	0,71	3
	Napo	0,80	0,20	2,18	8
	Orellana	1,15	0,34	2,20	12
	Pastaza	0,68	0,38	1,25	3
	Sucumbios	0,77	0,24	1,24	6
	Z. Chinchipe	1,05	0,31	2,13	4
	PROMEDIO	0,84	0,32	1,80	

- Testa

Los valores de Cd en las muestras de testa presentaron un promedio de $1,51 \text{ mg kg}^{-1}$ de Cd (**Tabla 6**).

El promedio mayor de Cd en la testa se registró en el cacao sembrado en las provincias de Azuay, Santa Elena y Orellana, con valores de $2,99$, $2,61$ y $2,07 \text{ mg kg}^{-1}$ de Cd, respectivamente. Mientras que, el menor promedio de $0,59 \text{ mg kg}^{-1}$ de Cd, se encontró en Pichincha.

Los valores mínimos registrados se observan, en esta mismo **Tabla 6**, mostrando que con $0,35 \text{ mg kg}^{-1}$ de Cd, las provincias de Guayas y Los Ríos, tuvieron el menor valor de contaminación de Cd en la testa.

Cuando se aprecia las concentraciones máximas encontradas en la testa, Manabí y El Oro, reportan valores sobre los 6 mg kg^{-1} de Cd.

Tabla 6. Valores promedio, mínimo y máximo de contenidos de Cd registrados en muestras de testa de cacao provenientes de fincas de 16 provincias del Ecuador. Época seca, 2008.

REGION	PROVINCIA	PROMEDIO	MÍNIMO	MÁXIMO	MUESTRAS
		mg kg^{-1}			N°
Litoral	Esmeraldas	1,65	0,42	3,27	11
	Manabí	1,97	0,51	6,14	14
	Los Ríos	0,99	0,35	2,12	16
	Guayas	1,89	0,35	6,70	37
	Sta. Elena	2,61	1,25	3,70	5
	El Oro	1,95	0,81	6,53	18
Sierra	Azuay	2,99	0,84	5,13	2
	Bolívar	0,99	0,38	1,41	7
	Cotopaxi	1,05	0,51	1,71	3
	Pichincha	0,50	0,47	0,71	2
	Sto. Domingo	1,06	0,61	2,08	5
Oriente	M. Santiago	1,09	0,75	1,54	3
	Napo	1,59	0,57	3,90	8
	Orellana	2,07	0,84	4,50	12
	Pastaza	1,46	0,71	1,99	3
	Sucumbios	1,49	0,73	2,21	6
	Z. Chinchipe	1,84	0,76	4,16	4
PROMEDIO		1,60	0,64	3,40	

c) Aguas

En cuanto a las aguas utilizadas para riego, se encontró un promedio $0,31 \mu\text{g L}^{-1}$ de Cd (**Tabla 7**). El mayor valor promedio se registró en el agua de la provincia de Azuay, con $0,88 \mu\text{g L}^{-1}$ de Cd. Mientras que, el menor promedio de $0,01 \mu\text{g L}^{-1}$ de Cd, se encontró en Pichincha.

Los valores mínimos registrados se observan, en esta misma **Tabla 7**, mostrando que con $0,01$ y $0,07 \mu\text{g L}^{-1}$ de Cd, las provincias de Pichincha y El Oro, respectivamente tuvieron los menores valores de contaminación de Cd en las aguas. Cuando se aprecia las concentraciones máximas encontradas en el agua, en El Oro, se reportan valores de $3,61 \mu\text{g L}^{-1}$ de Cd.

Tabla 7. Valores promedio, mínimo y máximo de contenidos de Cd registrados en las muestras de aguas de riego utilizadas en el cacao, en 7 provincias del Ecuador. Época seca, 2008

REGION	PROVINCIA	PROMEDIO	MÍNIMO	MÁXIMO	MUESTRAS
		$\mu\text{g L}^{-1}$			N°
Litoral	Los Ríos	0,13	0,13	0,13	1
	Guayas	0,20	0,20	0,20	1
	El Oro	0,67	0,07	3,61	10
Sierra	Azuay	0,88	0,70	1,11	3
	Pichincha	0,01	0,01	0,01	1
Oriente	Orellana	0,20	0,20	0,20	1
	Z. Chinchipe	0,11	0,11	0,11	1
PROMEDIO		0,31	0,20	0,77	

d) Centros de Acopio

En las **Figuras 7 y 8**, se observa los resultados de los análisis de Cd de muestras de almendra y testa de cacao analizadas en las épocas seca 2008 y lluviosa 2009, provenientes de los diferentes centros de acopio de la Costa, donde se aprecia que en la época seca 2008, el cacao comercializado en la provincia de Esmeraldas, Guayas y El Oro, presentan en las almendras contenidos de Cd, que superan el nivel crítico de 1ppm, en alimentos reportado por Accioly y Siqueira 2000. Los contenidos del Cd en la testa siempre fueron mayores a los encontrados en las almendras.

En la época lluviosa 2009 los niveles de contaminación de Cd, en las almendras disminuyeron, sin embargo en algunos centros se encontró valores sobre el nivel crítico, más en la testa se reporta la mayor concentración de Cd, similar a la época seca.

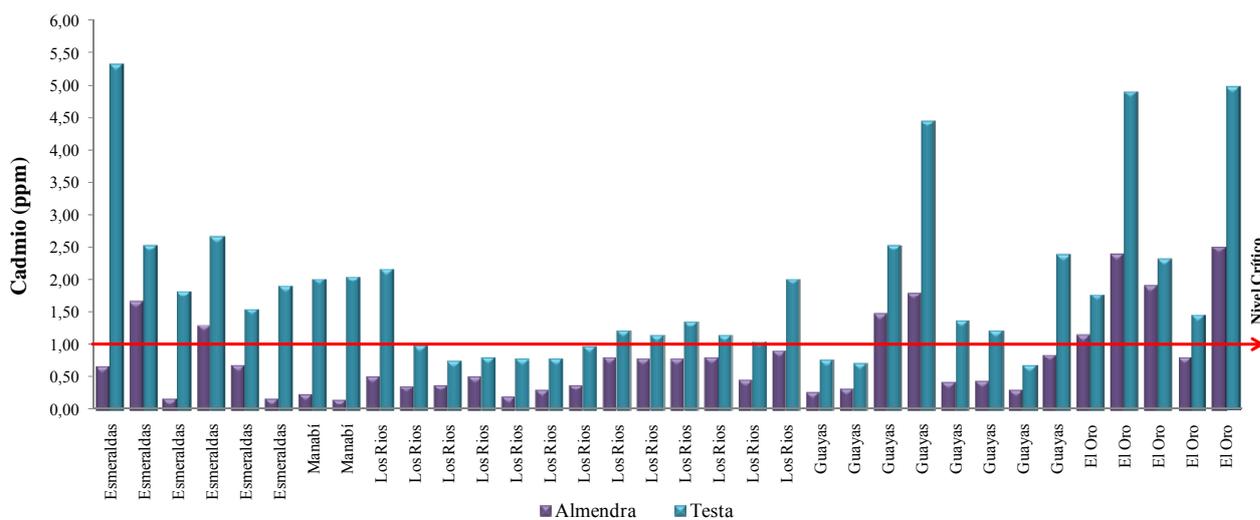


Figura 7. Contenidos de Cd, en muestras de cacao, colectadas en Centros de Acopio de la Costa. Época seca, 2008.

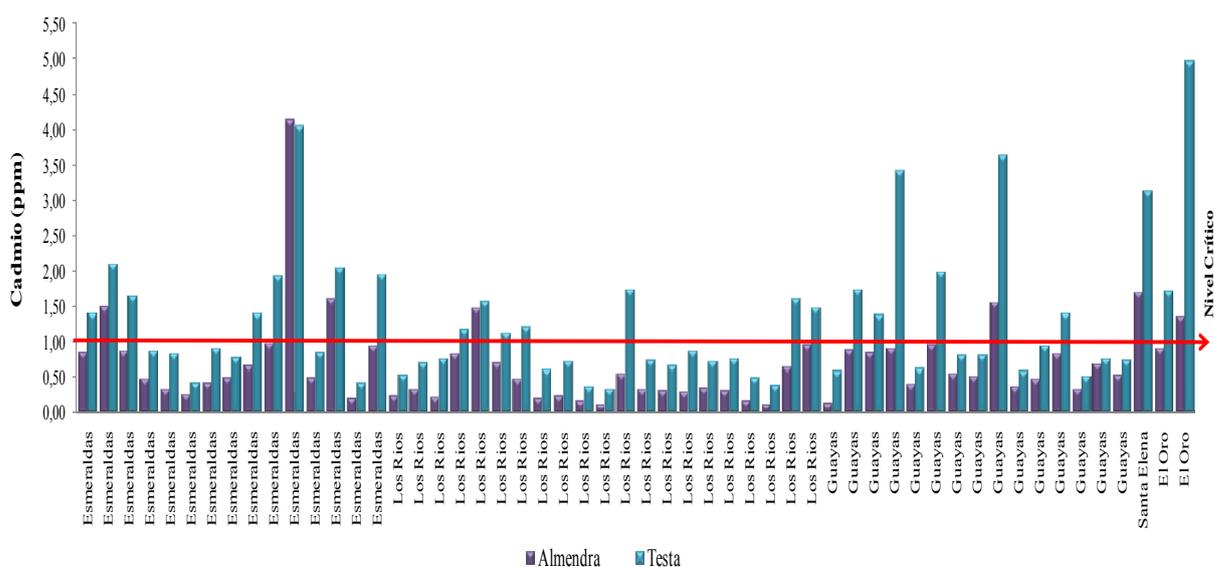


Figura 8. Contenidos de Cd, en muestras de cacao, colectadas en Centros de Acopio de la Costa. Época lluviosa, 2009.

Los datos de los análisis de Cd, encontrados en los centros de acopio de las provincias de la región Amazónica durante las épocas seca 2008 y lluviosa 2009, los observamos en las figuras 9 y 10, donde se puede apreciar que los las mayores contenidos de Cd, se encuentran ubicados en la testa en las dos

épocas analizadas, sobre pasando el nivel crítico para tejidos. Cabe señalar que en algunos centros de acopio de la provincia de Orellana existen muestras de almendras de cacao con niveles superiores a 1ppm.

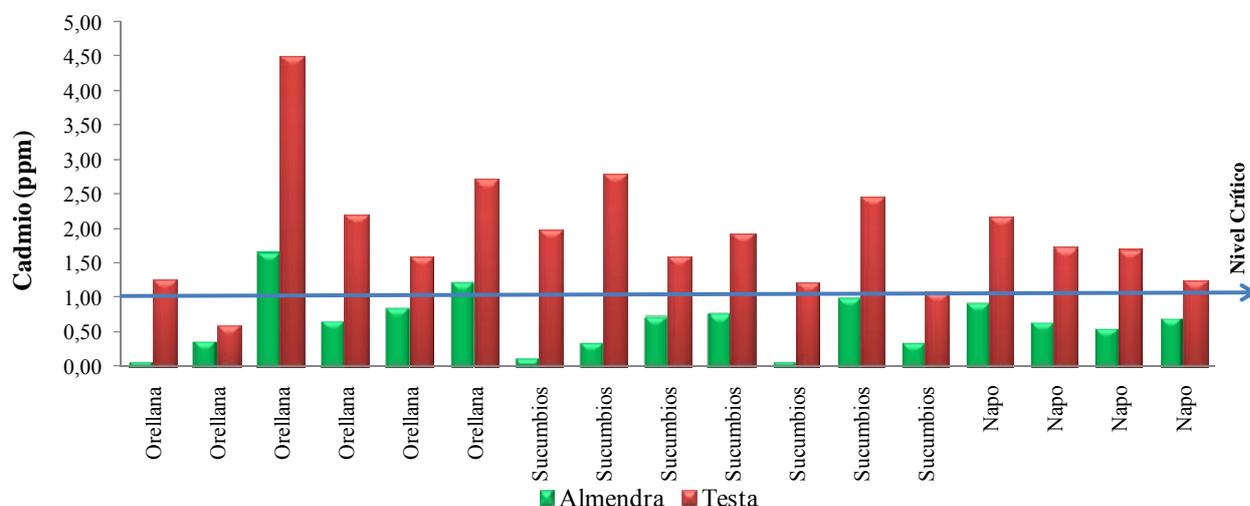


Figura 9. Contenidos de Cd, en muestras de cacao, colectadas en Centros de Acopio de la Amazonía. Época seca, 2008.

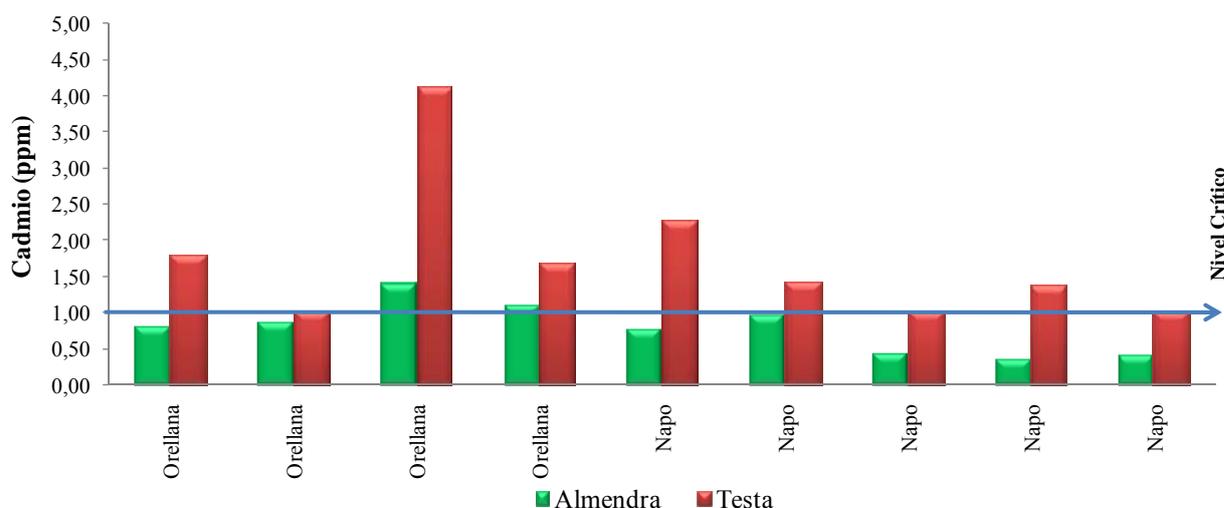


Figura 10. Contenidos de Cd, en muestras de cacao, colectadas en Centros de Acopio de la Amazonía. Época lluviosa 2009.

Los resultados de Cd de las muestras de cacao colectadas en los centros de acopio de las provincias de la Sierra, durante las épocas seca 2008 y lluviosa 2009, se reportan en las figuras 11 y 12, donde se puede observar en las dos épocas los contenidos de Cd almendras de cacao se encuentran por debajo del límite permitido reportado por Accioly y Siqueira 2000 (1ppm). Más en la testa se encontraron muestras con niveles sobre 1,5ppm de Cd.

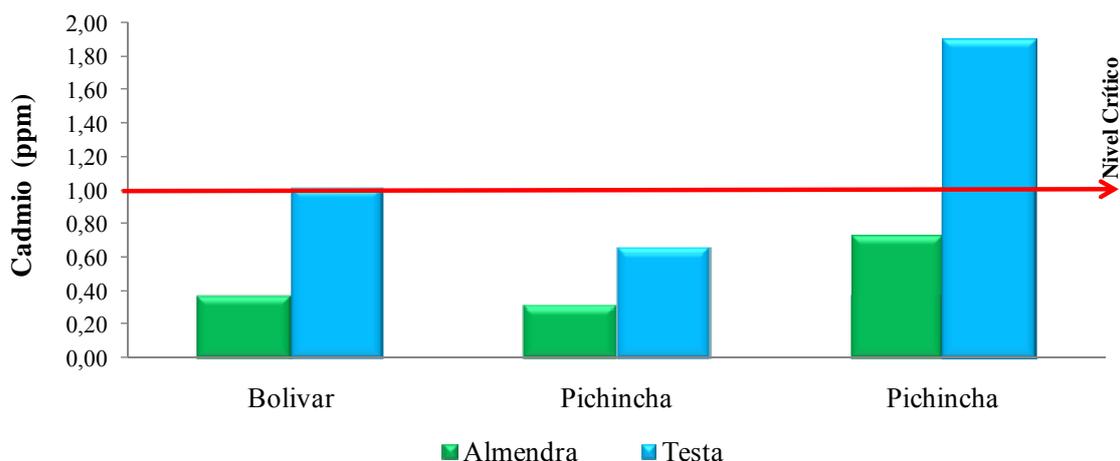


Figura 11. Contenidos de Cd, en muestras de cacao, colectadas en Centros de Acopio de la Sierra, en la época seca 2008.

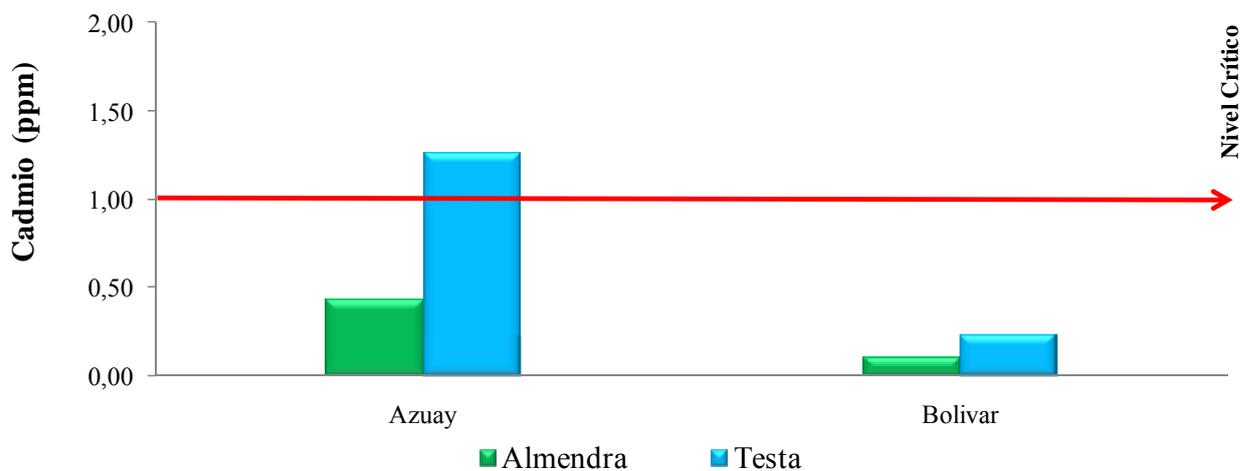


Figura 12. Contenidos de Cd, en muestras de cacao, colectadas en Centros de Acopio de la Sierra, en la época lluviosa 2009.

e) Mapas

Otro de los resultados del presente trabajo, fue la elaboración de los mapas sobre los contenidos de Cd del suelo y almendras de las plantaciones de cacao ubicadas en las principales zonas productoras del país, lo cual se ha logrado plasmar, utilizando la información obtenida de los análisis realizados en la época seca del 2008. Estos se ilustran en las **Figuras 13 y 14** respectivamente, donde las áreas que presentan coloración más fuerte indican mayor presencia de Cd.

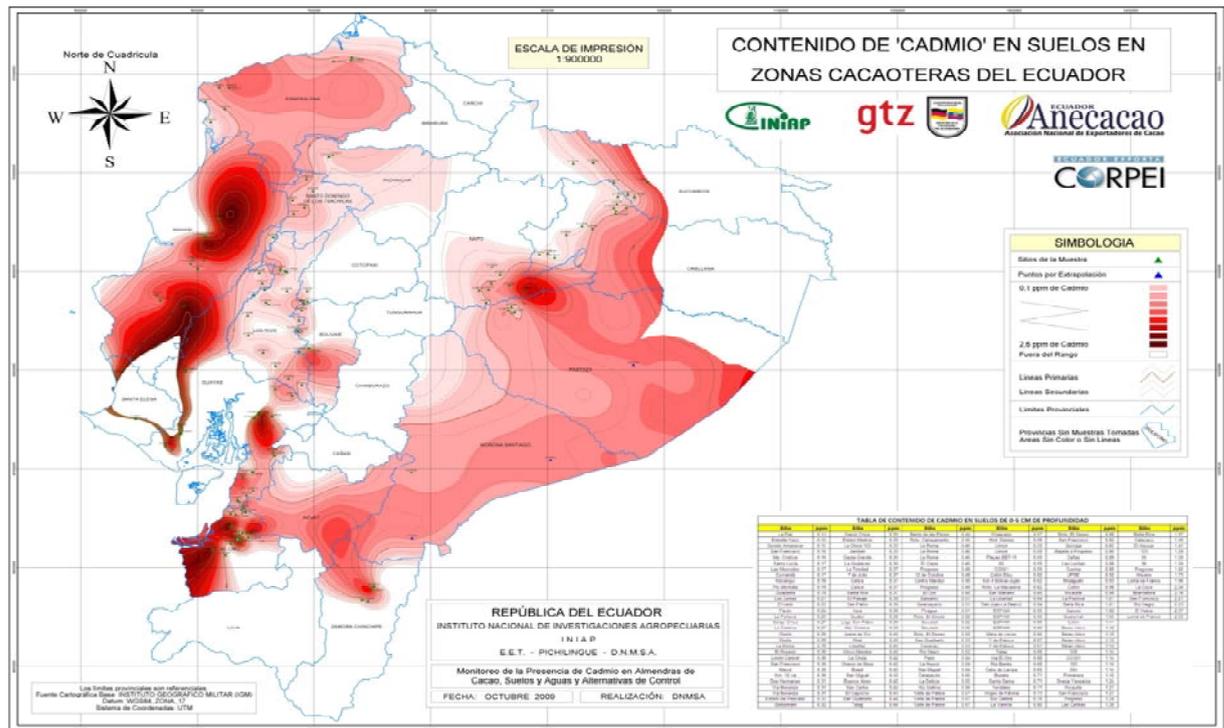


Figura 13. Mapa de contenido de Cd en suelos de las zonas cacaoteras del Ecuador. Convenio INIAP-GTZ-ANECACAO-CORPEI.

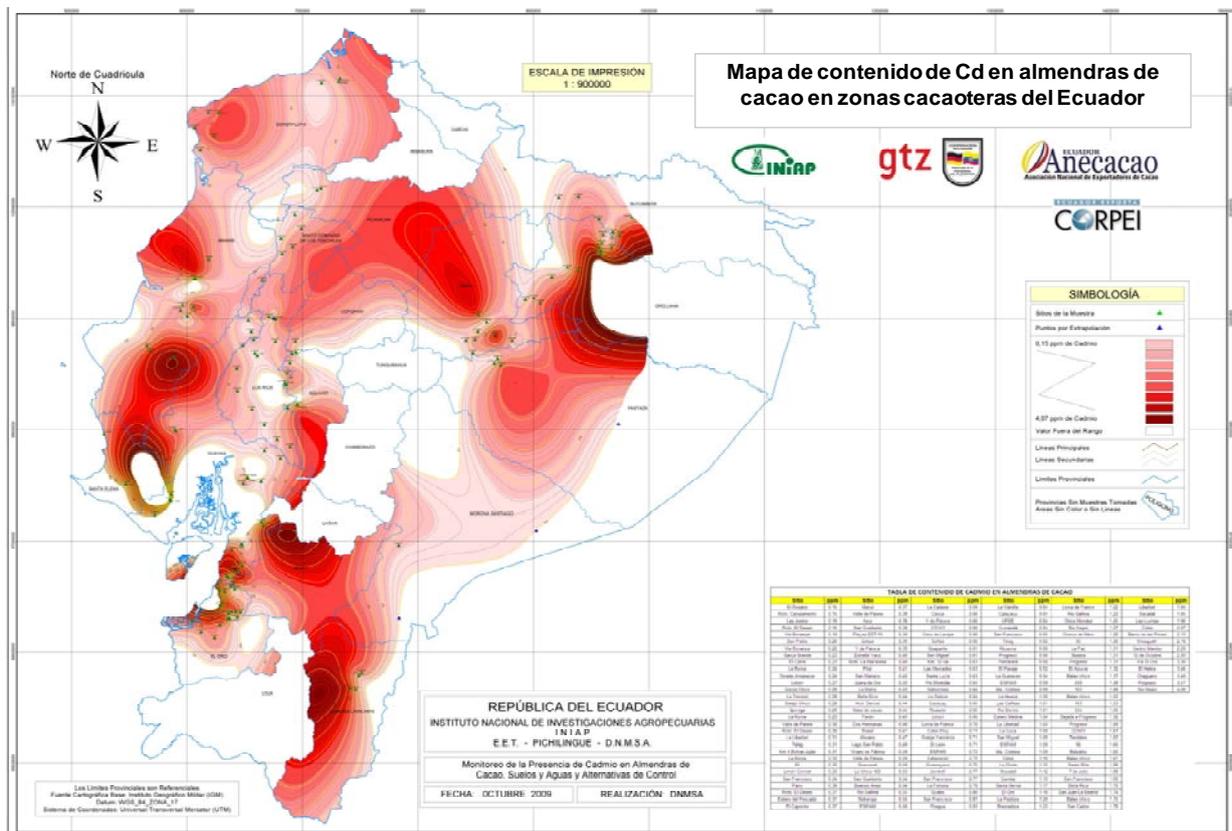


Figura 14. Mapa de contenido de Cd en almendras de cacao en zonas cacaoteras del Ecuador. Convenio INIAP-GTZ-ANECACAO-CORPEI.

CONCLUSIONES

- ✓ Aún no se cuenta con resultados definitivos. En los resultados observados hasta la fecha se ha determinado que existen zonas con niveles altos de Cd, en suelos que sobrepasan los niveles permisibles. Esto está causando en algunos lugares contaminación del producto que se produce, lo cual ocasiona una disminución muy clara de la calidad del cacao.
- ✓ En cuanto a los tejidos al comparar los contenidos de Cd encontrados los mayores se los ha detectado en la testa (cascarilla), en relación a la almendra. Hay que tener presente que la testa en el proceso de elaboración de tostado para elaborar el chocolate es desechada.
- ✓ Sin el aporte económico y la disposición para colaborar por parte de la GTZ, CORPEI y ANECACAO es probable que los miembros de la cadena del cacao, no hubieran presentado interés en realizar esta investigación. Ahora, se encuentran formando parte de este trabajo y se han involucrado con decisión de alcanzar resultados satisfactorios.
- ✓ El personal involucrado en la cadena de cacao, esta consiente de la problemática de la presencia del Cd en su producto, por lo que ha puesto mucho interés en esta situación. lo importante es que ya hay conciencia en el país de la imperiosa necesidad de trabajar en esta área, que pretende disminuir las concentraciones de Cd en la almendra del cacao.
- ✓ Los miembros de las organizaciones de productores de cacao que se han visitado para coleccionar las muestras, han colaborado y se les ha hecho conocer que el objetivo de esta investigación es conseguir la solución a la problemática de la contaminación de los suelos y que no es un trabajo inmediato, sino que toma tiempo, por tanto el 100% de ellos, están dispuestos a colaborar con sus plantaciones para desarrollar el trabajo de campo.

LITERATURA

- Accioly, A., y J. Siqueira. 2000. Contaminação química e biorremediação do solo: Tópicos em ciencia do solo. Sociedade Brasileira de Ciencia do Solo. Viçosa, BR. v. 1. p. 352.
- Adriano, D.C. 1986. Trace elements in the terrestrial environment. New York, Spriger-Verlag. 533p.
- Bacon, J.R., & G. Hudson. 2001. A flexible methodology for the characterization of soils: a case study of the heavy metal status of a site at Dornach. The Science of the Total Environment. 264:153-162.
- Carrera, J. 1994. Evaluación del contenido de cadmio en el sistema suelo-cacao de varias zonas del Ecuador. Tesis Ingeniero Agrónomo. Universidad Agraria del Ecuador. Facultad de Ciencias Agrarias. Guayaquil, Ecuador. 65 p.
- Carrillo, M.D. 2003. Caracterização das formas de metais pesados, sua biodisponibilidade e suas dinâmicas de adsorção e de mobilidade em solos do Equador. Departamento de Solos. Tese de Mestrado. Universidade Federal de Viçosa, MG – Brasil. 49 p.
- INIAP - PROMSA. 2003. Determinación de metales contaminantes en cultivos de exportación y su repercusión sobre la calidad de los mismos. Informe Técnico 2003. Dpto. Suelos. Quevedo, Los Ríos, Ecuador. 60 p.
- INIAP. 2009. Estación Experimental Tropical Pichilingue. Informe Técnico Anual, Dpto Suelos. Quevedo-Los Ríos –Ecuador. 155 p.
- Pavesi, J.B., & J. O. Siqueira. 2001. Solos contaminados por metais pesados: características, implicações e remediação. Informe Agropecuario. 22:18-26.

Sánchez Camazano, M., M.J. Sánchez Martín, & L.F. Lorenzo. 1994. Lead and cadmium in soils and vegetables from urban gardens of Salamanca (Spain). *The Science of the Total Environment*. 146-147:163-168.

Stephen, P., A. McGrath, and C.H. Cunliffe. 1985. A simplified method for the extraction of the metals Fe, Zn, Cu, Ni, Cd, Pb, Cr, Co and Mn from soils and sewage sludges *J. Sci. Food Agric.* 36, 794.