

## Determinación de niveles de cadmio en granos de maíz (*Zea mays* L.) de la costa y sierra ecuatoriana

Determination of cadmium levels in maize grains (*Zea mays* L.) from  
the coast and ecuadorian sierra

Joela Condo-Franco<sup>1\*</sup> & Beatriz Pernía<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Profesional, egresado Facultad de Ciencias Naturales, Universidad de Guayaquil, Av. Raúl  
Gómez Lince s/n y Av. Juan Tanca Marengo, Guayaquil, Ecuador

<sup>2</sup>Docente de la Facultad de Ciencias Naturales, Universidad de Guayaquil, Av. Raúl Gómez  
Lince s/n y Av. Juan Tanca Marengo, Guayaquil, Ecuador

Recibido 2 de agosto 2018; recibido en forma revisada 26 de agosto 2018, aceptado 3 de octubre 2018  
Disponible en línea 20 de diciembre 2018

### Resumen

Se determinó las concentraciones de Cd en granos de maíz de la costa y sierra del Ecuador, para los análisis se eligieron seis variedades de mayor consumo: dulce, duro, canguil, morocho, chulpi y blanco. Las muestras se tomaron por triplicado (n=3) de cada variedad, además fueron procesadas y analizadas por Espectrofotometría de Absorción Atómica con Horno de Grafito. Las seis variedades presentaron concentraciones de Cd por debajo del límite máximo permisible (0,1 mg/kg) establecido por la Unión Europea, el *Codex Alimentarius* y la norma INEN 187:2013. En el análisis comparativo por regiones, los niveles promedio de Cd son mayores en la Sierra (0,019 mg/kg) que en la Costa (0,006 mg/kg Cd). No hubo diferencias estadísticamente significativas entre variedades (p>0,05). La mayor concentración de Cd la obtuvo el morocho (0,025±0,022 mg/kg Cd) y la menor la variedad dulce (0,001±0,000 mg/kg Cd). Se evidenció que las concentraciones de Cd están directamente relacionadas a los días de cosecha y a la altitud a la que se cultivan. Además, se planteó una propuesta para mitigar o disminuir la contaminación por Cd en los suelos agrícolas. **Palabras claves:** bioacumulación, cadmio, Ecuador, granos de maíz, *Zea mays*.

### Abstract

Concentrations of Cd were determined in corn grains harvested on coast and sierra of Ecuador, six varieties of greater consumption have been chosen for analysis: sweet, dent, popcorn, morocho, chulpi and white. For each variety, the samples were taken in triplicate (n=3), besides were processed and analyzed by Graphite Furnace Atomic Absorption Spectrophotometry. The six varieties presented concentrations below the maximum permissible limit (0.1 mg/kg) established by the European Union, the *Codex Alimentarius* and the INEN 187:2013. In the comparative analysis by regions, average levels of Cd are higher in the sierra (0.019 mg / kg) than in the coast (0.006 mg / kg Cd). There were no statistically significant differences between varieties (p > 0.05). The highest concentration of Cd was obtained by the morocho (0.025 ± 0.022 mg / kg Cd) and the lowest by the sweet variety (0.001 ± 0.000 mg / kg Cd). It was evidenced that the concentrations of Cd are directly related to the days of harvest and the altitude at which they are grown. In addition, a proposal to mitigate or decrease the contamination by Cd in agricultural soils has been presented.

**Keywords:** bioaccumulation, cadmium, corn grains, Ecuador, *Zea mays*.

### Introducción

Una de las más graves problemáticas del siglo XXI, es la contaminación de cuerpos hídricos, suelos y aire por metales pesados, que ponen en riesgo la salud pública y seguridad alimentaria a nivel mundial (Reyes *et al.*, 2016). A nivel global se conocen registros de múltiples casos de afectaciones a la salud por el consumo de

alimentos con elementos químicos perjudiciales para el ser humano. Dentro de los contaminantes de los alimentos tenemos el cadmio y el plomo como metales pesados más tóxicos y capaces de producir enfermedades en seres humanos (Pernía *et al.*, 2015). El cadmio posee una vida media de diez a cuarenta años en humanos, a consecuencia de que su eliminación es lenta en el organismo, se

\* Correspondencia del autor:  
E-mail: jiavett@hotmail.com



acumula y con el paso del tiempo las concentraciones aumentan (López, 2016).

La primera causa de exposición al cadmio en fumadores es el humo de cigarrillo y para las personas no fumadoras la primera causa es la ingesta de alimentos contaminados (Reyes *et al.*, 2016). Entre los efectos predominantes causados por el cadmio tenemos las afectaciones en los huesos y riñones, con mayor vulneración a estos efectos se encuentran las personas con niveles bajos de hierro (Pérez y Azcona, 2012). También se ha descrito que el Cd genera diabetes, hipertensión y cáncer en animales y humanos, donde se ha reportado cáncer de mama, de próstata y pulmones (ATSDR, 2012; Clemens *et al.*, 2013; Martínez *et al.*, 2013).

En los últimos años existe la preocupación de la contaminación de los suelos con metales pesados, principalmente en los suelos de uso agrícola debido a que la absorción de metales por parte de las especies vegetales es la principal causa de ingreso de estos elementos a la cadena alimenticia. La contaminación de los suelos agrícolas por el elemento cadmio proviene del uso de fertilizantes con contenidos fosforados, entre otras causas secundarias está el uso de agua contaminada para riego, uso de lodos industriales y la mineralización de rocas (Marrero *et al.*, 2012). Debido a esto se buscan estrategias para remediar los suelos, como el caso de la materia orgánica capaz de disminuir o precipitar el cadmio dejándolo no disponible para las plantas (Huaynates, 2013).

El maíz, *Zea mays*, es capaz de absorber cadmio y distribuirlo entre sus órganos (Pernía, 2013). Los contenidos de cadmio en el maíz pueden ingresar al ser humano mediante la ingesta de granos de maíz o sus derivados, también por el consumo de carne de animales alimentados a base de este cultivo. Por esta razón, detectar la presencia de cadmio en granos de maíz es primordial para asegurar la soberanía alimentaria y prevenir enfermedades a la población, también permite hacer una panorámica ambiental sobre la contaminación presente en los suelos y la cantidad acumulada de cadmio en la parte comestible del maíz (grano).

## Materiales y métodos

### Área de estudio

El presente estudio se circunscribe a las regiones costa y sierra del Ecuador, en donde el uso del suelo agrícola se encuentra destinado al cultivo del maíz (fig. 1). La adquisición de muestras de granos de maíz se realizó en el Mercado Central de la ciudad de Guayaquil, en donde se comercializan diferentes variedades provenientes de la costa y sierra ecuatoriana. Las coordenadas UTM de la ubicación geográfica del sitio de adquisición de los granos de maíz son 623675, 9757451.

### Determinación de muestras

Al analizar la información recolectada de bases de datos de varias instituciones (Iniap, Pronaca, Ecuquímica, Sinagap, Agripac), se obtuvo que existen muchas variedades de maíz, por lo que se optó seleccionar para el muestreo a los maíces de mayor consumo ecuatoriano y se procedió a clasificarlos de acuerdo a su procedencia regional sea del Litoral o Sierra del Ecuador, como se detalla en la tabla 1.

Las características botánicas y agrícolas de cada variedad de maíz se puntualizan en la tabla 2.

### Colecta y número de muestras

Las muestras de granos de maíz de las seis variedades se adquirieron por triplicado ( $n=3$ ) en el mercado Central de la ciudad de Guayaquil, obteniendo un total de dieciocho muestras con un peso de mínimo 500 gramos. Estas fueron almacenadas en fundas herméticas ziploc, rotuladas con su código de identificación y georeferenciadas empleando un GPS portátil.

### Análisis de muestras

El análisis de las muestras fue realizado por el Laboratorio de Análisis Químico y Microbiológico de Alimentos de la Dirección de Regulación y Diagnóstico de la Calidad e Inocuidad del Instituto Nacional de Pesca de la ciudad de Guayaquil. La medición del Cd se realizó través de la digestión ácida con microondas y Espectrofotometría de Absorción Atómica en Horno de Grafito, empleando un espectro de horno de grafito marca Variam modelo 220Z Spectra, utilizando el método de referencia AOAC 999.10 Ed. 20, 2016.

### Análisis estadísticos

Las pruebas estadísticas se realizaron con el programa Minitab versión 17. Se empleó la prueba paramétrica de ANOVA de una vía y se aplicó comparación de medias con la prueba test a posteriori de Tukey ( $p>0.05$ ), para determinar la existencia de diferencias significativas estadísticas entre las medias de las concentraciones de cadmio. Los resultados se presentaron como medias  $\pm$  desviación estándar ( $n=3$ ).

Se efectuó un análisis de correlación de Pearson para determinar la correlación entre las concentraciones de cadmio, la altitud y los días de cosecha, dichos resultados se mostraron en un gráfico de contorno (fig. 5).

## Resultados

### Tamaño de los granos de maíz de las distintas variedades

Los tamaños de los granos variaron según la variedad de maíz (fig. 2). El grano con mayor longitud fue el blanco ( $1,92 \pm 0,13$  cm), seguido por el Chulpi ( $1,67 \pm 0,13$  cm), y los más pequeños el duro ( $1,11 \pm 0,04$  cm) y el canguil ( $0,95 \pm 0,05$  cm). Según ANOVA de una vía y test a posteriori de Tukey el maíz dulce presenta un valor intermedio de longitud ( $1,40 \pm 0,16$  cm;  $F=44,12$ ;  $p=0,000$ ).

En cuanto al ancho de los granos solo se observó diferencia significativa en el blanco ( $1.51 \pm 0.17$  cm) y el chulpi ( $1.43 \pm 0.18$  cm) con respecto al ancho de las demás variedades ( $F=20,50$ ;  $P=0,000$ ). El canguil fue variedad con menor longitud ( $0.76 \pm 0.01$  cm).

#### Concentración de cadmio en grano de las diferentes variedades de maíz

En cuanto a la concentración de Cd por variedad de maíz, se evidenció que el morocho tiene el mayor contenido de este metal ( $0,025 \pm 0,022$  mg/kg Cd) y la menor concentración la presenta el maíz dulce ( $0,001 \pm 0,000$  mg/kg Cd) (fig. 3); sin embargo, las diferencias no son estadísticamente significativas según ANOVA de una vía ( $F=3,63$ ;  $p=0,129$ ).

Es importante destacar que se encontraron variaciones entre los granos provenientes de diferentes proveedores, debido a que en el caso del morocho se registró un valor mínimo de  $0,0170$  mg/kg Cd y máximo de  $0,0500$  mg/kg Cd. De igual manera en el caso del canguil se evidenció un valor no detectable y por el contrario un valor máximo de  $0,027$  mg/kg Cd.

#### Concentración de cadmio en granos de maíz en las regiones costa y sierra

Por otro lado, en cuanto a la concentración de Cd por zona, se evidenció que en la sierra los niveles promedio de cadmio ( $0,019$  mg/kg Cd) son mayores que en la costa ( $0,006$  mg/kg Cd) y sus diferencias son significativas según ANOVA de una vía y test a posteriori de Tukey ( $F=5,98$ ;  $P=0,027$ ) (fig. 4).

#### Concentración de cadmio respecto a las características morfológicas del maíz

Con la finalidad de conocer si existía o no correlación entre las concentraciones de cadmio y las características morfológicas de cada variedad de maíz, se presenta las características que diferencian a seis variedades híbridas de maíces adaptados a las

condiciones de la costa y sierra del Ecuador (tabla 3). La correlación directa entre los días de cosecha, la altitud y la concentración de Cd en los granos de maíz a través de un gráfico de contorno, mediante un análisis de correlación de Pearson, se corroboró que a mayor número de días de cosecha ( $r=0,720$ ) y a mayor altitud ( $r=0,806$ ), las concentraciones de Cd son mayores (fig. 5).

#### Medidas para prevenir y/o minorar el contenido de cadmio en los cultivos de maíz

##### Evitar el uso de agua contaminada con metales para la irrigación de cultivos.

Se debe evitar el uso de aguas servidas o contaminadas con Cd, debido a que el cadmio contenido en el agua constituirá un aporte de este elemento al suelo y posteriormente a las especies vegetales. Así mismo, hay que mantener bajas concentraciones de cloro en el agua, debido que a valores mayores a  $450$  mg/L incrementa la biodisponibilidad del cadmio y por ende su acumulación en las plantas. En este sentido, el cloro es capaz de movilizar el Cd en el suelo. En un experimento realizado por Khoshgoftarmensh, Jaafari y Shariatmadari (2008) al incrementar las concentraciones de NaCl en el agua de riego, aumentó la absorción de Cd en las plantas por la formación de complejos como  $(CdCl_n^{2-n})$  (Khoshgoftarmensh *et al.*, 2008).

##### Usar cantidades adecuadas de fertilizantes preferentemente con bajos niveles de metales pesados.

El uso de fertilizantes nitrogenados aumenta el contenido de cadmio en suelos y posteriormente en cultivos de maíz, por lo que se debe reducir la aplicación de estos fertilizantes (Yu-kui, Fu-suo y Jian-bo, 2009). Además, utilizar nitrogenados amoniacales puede disminuir el pH a mediano y largo plazo, siendo este otro factor que incrementa la biodisponibilidad de los metales en el suelo (Morón y Díaz, 2003).

Tabla 1. Variedades de maíz muestreados, su consumo y procedencia.

Especie	Nombre común o comercial	Consumo	Zonificación
<i>Zea mays</i> L.	Maíz duro	Humano y animal	Todo el litoral ecuatoriano
<i>Zea mays</i> L.	Maíz dulce	Humano	Litoral
<i>Zea mays</i> L.	Maíz canguil	Humano y animal	Litoral
<i>Zea mays</i> L.	Maíz blanco	Humano	Sierra, especialmente Pichincha, Azuay y Cañar
<i>Zea mays</i> L.	Maíz morocho	Humano	Sierra (recomendado para Imbabura, Pichincha y Chimborazo)
<i>Zea mays</i> L.	Maíz Chulpi	Humano	Algunas provincias de la Sierra

Tabla 2. Descripción de los maíces muestreados

Nombre común o comercial	Características		Ciclo vegetativo (días)		Foto
	Color	Textura	Choclo	Seco	
Maíz duro	Amarillo anaranjado	Duro, cristalino con leve capa harinosa	55	120	
Maíz dulce	Amarillo	Suave, arrugado	80	100	
Maíz canguil	Amarillo anaranjado	Duro, cristalino	-	235	
Maíz blanco	Blanco	Harinoso	125	205	
Maíz morocho	Blanco	Cristalino	147	224	
Maíz Chulpi	Amarillo pálido	Arrugado, semi-harinoso	105	126	

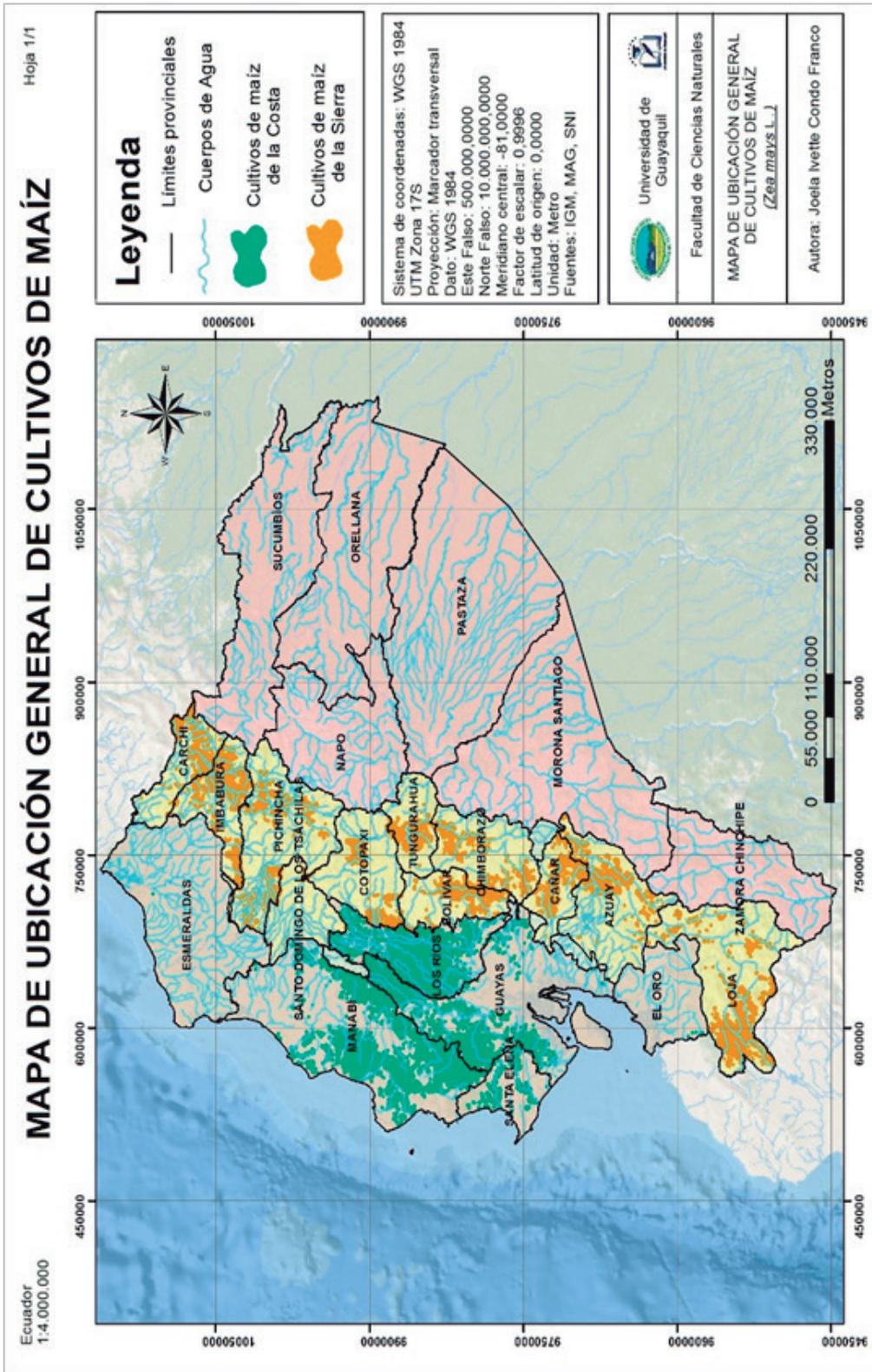
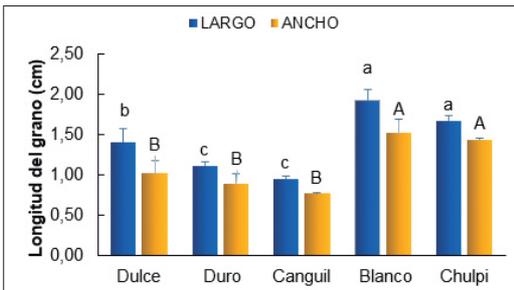
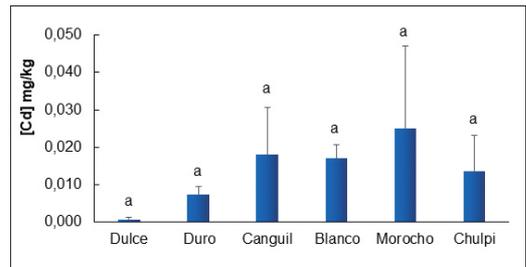


Figura 1. Área de estudio, cultivos de maíz distribuidos en la costa y sierra.



**Figura 2.** Comparación del largo y ancho de los granos de las variedades de maíz. Los resultados se muestran como medias±desviación estándar (n=4). Letras iguales indican que no existen diferencias significativas entre las medias según ANOVA de una vía y test a posteriori de Tukey (p>0.05).



**Figura 3.** Concentraciones de cadmio en las diferentes variedades de maíz provenientes de la costa y sierra de Ecuador. Los resultados se muestran como medias±desviación estándar (n=3). Letras iguales indican que no existen diferencias significativas entre las medias según ANOVA de una vía y test a posteriori de Tukey (p>0.05).

*Evitarse la utilización de fertilizantes fosfatados*

Durante la fabricación de los fertilizantes fosfatados, pequeñas cantidades de Cd contenidos en roca fosfórica son transferidos al mismo (Terry, 2014). En un estudio realizado por Muñoz (2017) se determinó que los fertilizantes fosfatados distribuidos en Ecuador contenían altos niveles de cadmio (Muñoz, 2017).

*Aumentar en los suelos el contenido de materia orgánica.*

La materia orgánica es capaz de absorber fuertemente al cadmio y otros metales, dejándolo no disponible, por este motivo las especies vegetales pese a encontrarse en suelos contaminados no presentarían concentraciones de Cd. Con la finalidad de incrementar el contenido de materia orgánica en los suelos agrícolas se pueden emplear compost, guano, carbón marrón, estiércol, entre otros (Huaynates, 2013; Puschenreiter, Horak, Friesl y Hartl, 2005).

*Aplicar cal en suelos de cultivos de maíz para regular el pH*

El pH puede intervenir en la disponibilidad y la solubilidad del Cd. En una investigación realizada por Huaynates (2013), en suelos con un pH ácido las plantas acumularon mayores concentraciones de cadmio y al aplicar cal se redujo la absorción de Cd

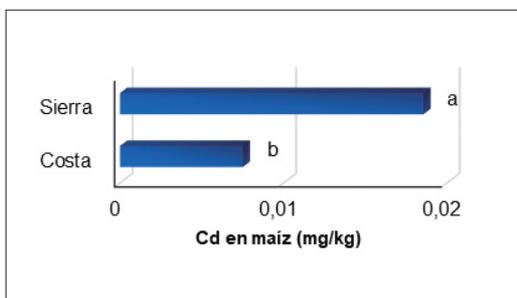
en plantas de maíz. La cal aumenta el pH del suelo dejándolo no disponible al metal, su aplicación debe darse en cantidades que no afecten al desarrollo de la planta (Puschenreiter *et al.*, 2005).

*Emplear la fitorremediación para la restauración de suelos contaminados*

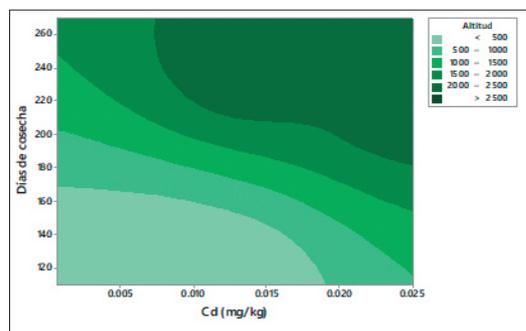
Realizar técnicas de biorremediación en aguas contaminadas, como el uso de microorganismos (*Phanerochaete chrysosporium*) capaz de remover de aguas contaminadas con altas concentraciones los metales: cadmio, plomo y níquel (Fonseca y Tovar, 2008).

Emplear fitorrestauración para remover contaminantes a través de la actividad microbiana como bacterias, microorganismos rizosféricos y hongos que se asocian a la raíz de la planta, estos métodos son viables en el saneamiento de suelos contaminados con metales pesados (Marrero *et al.*, 2012).

La fitorremediación es otra estrategia ambientalmente amigable que se puede utilizar para remover el cadmio de los suelos agrícolas tal y como lo proponen Castrillo, Pernía, De Sousa y Reyes (2012) y Pernía *et al.* (2016) es el uso del helecho acuático *Azolla sp.* y *Limnocharis flava* para extraer el cadmio.



**Figura 4.** Concentraciones de cadmio en granos de maíz proveniente de la costa y sierra de Ecuador. Los resultados se muestran como medias±desviación estándar (n=9). Letras iguales indican que no existen diferencias significativas entre las medias según ANOVA de una vía y test a posteriori de Tukey (P>0.05).



**Figura 5.** Correlación entre concentraciones de cadmio, altitud y días de cosecha para *Zea mays*. En la gráfica de contorno se observa que, a mayor cantidad de días de cosecha y mayor altitud se registra mayor concentración de Cd en los granos de maíz.

**Tabla 3.** Variedades híbridas de maíz con sus respectivas características agronómicas y morfológicas.

Características agronómicas y morfológicas						
Nombre común	Dulce	Duro	Canguil	Blanco	Morocho	Chulpi
Zona	Costa	Costa	Costa	Sierra	Sierra	Sierra
Variedad	-	INIAP H-552	-	INIAP 102	INIAP H-160	INIAP 192
Altitud (m)	20	20	80	2800	3100	2800
Altura de planta (cm)	230	240	160	238	231	195
Longitud mazorca (cm)	15	17	12	14	17,2	16,5
Cosecha (días/seco)	110	120	115	270	224	240

#### Medidas generales

- No cultivar especies vegetales cerca de zonas industriales y a carreteras, evitando así la exposición a contaminantes atmosféricos.
- No incinerar residuos urbanos próximos a zonas de cultivos.
- Cultivar como mínimo a diez metros de distancia de fábricas de fertilizantes.
- Implementar la rotación de cultivos para reducir la transferencia de metales pesados.

#### Discusión

En promedio se encontró trazas de cadmio en el 89% de las muestras de maíz. Sin embargo, las concentraciones de este elemento no superan el límite máximo permisible (LMP) para cereales de 0,1 mg/kg Cd según las normas internacionales *Codex Alimentarius* (FAO/OMS, 2015), la Unión Europea (EU, 2014) y la norma nacional INEN 187:2013 para cereales y leguminosas (Instituto Ecuatoriano de Normalización, 2013).

Se evaluó la variabilidad de los niveles del metal pesado (Cd) en maíz en grano entre diferentes variedades y cultivos de costa y sierra ecuatoriana y se encontró la mayor concentración del metal pesado en la sierra, las diferencias significativas halladas podrían deberse a la presencia de volcanes en la región andina, los cuales se han descrito como fuentes naturales de cadmio.

También se evidenció que, dependiendo del proveedor, el maíz puede tener mayores o menores niveles de cadmio, por lo que se recomienda a las autoridades realizar estudios de Cd en los suelos y fertilizantes de la costa, enfocando mayor interés a los de la sierra para encontrar el origen de la contaminación. Así mismo, se encontró que las concentraciones de cadmio están relacionadas a la altitud y a los días de cosecha, es decir mientras más días de cosecha mayor tiempo de absorción y acumulación tendrá la planta de maíz.

La presencia del cadmio en los granos de maíz podría explicarse por el uso de fertilizantes fosfatados que contienen este metal pesado. Bonomelli *et al.* (2003), demostraron que al emplear en los suelos dosis de fertilizantes fosforados con contenidos de cadmio, una parte considerable de este metal queda disponible para las plantas. En un estudio realizado por Barrow (1998) y Bonomelli *et al.* (2003) encontraron que la fracción del cadmio disponible en el suelo, no varió ni disminuyó durante noventa días, lo que constituye la acumulación de este metal con el tiempo. Muñoz (2017) halló concentraciones de cadmio que excedían los 20 mg/Kg en fertilizantes empleados por agricultores en los cantones Daule y Nobol.

Los granos de maíz estudiados no mostraron contaminación por cadmio a niveles que afecten la salud humana. Se evaluaron seis variedades de maíz y su reconocimiento de granos en el mercado se realizó utilizando datos obtenidos de Instituto Nacional de Investigaciones Agropecuarias (INIAP) y del Ministerio de Agricultura, Ganadería, Acuicultura y Pesca (MAGAP), principalmente. A su vez las variedades de maíz fueron agrupadas en dos grupos, las pertenecientes a la costa ecuatoriana como el maíz duro para gallinas, el maíz dulce y el canguil, y en el segundo grupo se encuentran las variedades de maíz blanco, morocho y chulpi en la Sierra.

Los valores hallados en la presente investigación son menores a los mencionados por Kabata y Pendias (2001) para granos de maíz dulce 0,012 mg/kg en New York. Lara *et al.* (2015) evaluaron en México concentraciones de cadmio en dos variedades de maíz en semilla, la variedad "Caimán" y "Ocelote" con valores de 0.043 y 0.036 mg/kg de peso seco, respectivamente, estos valores son menores en comparación a los hallados en el maíz morocho (0,050 mg/kg) y mayores al resto de maíces estudiados. De igual forma, Branco *et al.* (2015) encontraron en Mato Grosso y Minas Gerais en Brasil una concentración media de 0,04 mg/kg en granos con presencia de humedad y estimaron que en grano seco podría llegar a contener 0,11 mg/kg.

No se encontraron referencias sobre estudios de análisis de contenidos de cadmio en granos de maíz a

nivel nacional, pero Villacrés (2013) encontró que las plantas de maíz (*Zea mays*) mostraban cierto grado de tolerancia al cadmio.

Las concentraciones de cadmio en granos de maíz obtenidos en este estudio, en comparación a otras investigaciones internacionales, no muestran diferencias significativas, lo cual podría deberse a que las variedades de maíz poseen similares características morfológicas y agronómicas como la altura de la planta, tamaño de la mazorca y tiempo de cosecha, también podría deberse a la capacidad de bioacumular cadmio. Cabe destacar que los niveles de cadmio en las plantas pueden variar de acuerdo a las concentraciones de metales pesados contenidos en suelos de donde se cultiven. El comportamiento del Cd presente en el suelo dependerá de los procesos químicos, físicos y biológicos que en el ocurran (Bonomelli *et al.*, 2003; Melo *et al.*, 2014).

Los granos de maíz presentaron concentraciones medias de 0,013 mg/kg Cd, estos valores fueron inferiores a los reportados en otros cereales de Ecuador, de acuerdo a Muñoz (2017) en granos de arroz se encontraron concentraciones de  $0,19 \pm 0,050$  mg/kg Cd, de igual forma para los valores registrados por López (2017) en granos de soya con  $0,183 \pm 0,044$  mg/Kg Cd. Los niveles bajos de cadmio presentados en las muestras en comparación a otros cereales, podría corresponder a que según Kobaissi *et al.* (2014) “el potencial de acumulación y translocación de metales pesados depende de las especies vegetales y del tipo de metal”. En comparación con otras especies vegetales, el maíz posee una acumulación relativamente baja de Cd (Puschenreiter *et al.*, 2005).

*Zea mays* fue capaz de absorber y acumular cadmio en sus granos, siendo concordante con los resultados conseguidos por Mojiri (2012) quien indica que el maíz es eficaz para la fitorremediación de suelos contaminados mediante la acumulación de plomo y cadmio, de igual forma Zhang *et al.* (2009) demostraron que el porcentaje de cadmio intercambiable en el suelo disminuyó con las plantaciones de maíz, cabe mencionar que la “bioconcentración de cadmio en las raíces es más alta que en los brotes” (Azevedo *et al.*, 2014; Mojiri, 2012; Zhang *et al.*, 2009).

## Conclusiones

Las concentraciones de cadmio en granos de maíz de la costa y sierra de Ecuador se encuentran por debajo del límite máximo permisible para cereales (0,1 mg/kg) según el Codex Alimentarius de la FAO.

Esto indica que las concentraciones de cadmio en los cultivos de maíz no representan un riesgo para la salud humana.

Las seis variedades de maíces analizadas en el presente estudio mostraron contener cadmio en sus granos; sin embargo, los valores hallados son menores a lo establecido según las normativas regulatorias (0,1 mg/kg).

Los mayores niveles de cadmio se registraron en granos de maíz provenientes de la sierra, esta mayor incidencia de Cd podría deberse a la presencia de volcanes y a las condiciones climáticas propias de la región andina.

La producción de maíz va en aumento en el Ecuador, el creciente interés de sembrar semillas de mejor calidad para obtener una producción mayor, resistente a plagas y enfermedades, llega a niveles de poder sobrepasar la demanda nacional y servir para el mercado internacional. Según las concentraciones de cadmio analizadas en este estudio, el maíz ecuatoriano es clasificado como de excelente calidad para exportación.

## Recomendaciones

Analizar la distribución de las concentraciones de cadmio en raíces, tallos, hojas y mazorcas en plantas de maíz, con la finalidad de conocer su capacidad de absorción y el órgano que presente mayor acumulación de este metal.

Realizar análisis del contenido de cadmio y otros metales pesados en plantas de maíz, cultivados en diferentes tipos de suelo y clima, con la finalidad de conocer la influencia de estos factores en la cantidad de absorción y distribución de metales pesados en el maíz.

Continuar las evaluaciones de metales pesados, en suelos, sedimentos y agua que se encuentren relacionados directa o indirectamente a las zonas destinadas a uso de suelo agrícola, principalmente a los cultivados en la sierra de Ecuador.

Evaluar el contenido de cadmio en carne de ave de consumo humano, radica su importancia debido a que los resultados de este estudio comprobó que existe la presencia de cadmio en granos de maíz y pese a encontrarse por debajo del límite máximo permisible (0,1 mg/kg) constituyen un aporte de este metal en el alimento para aves de corral que posteriormente es consumido por el hombre siendo el valor máximo permitido en carne de ave (0,05 mg/kg peso fresco), en hígado y riñones de ave de corral (0,5 y 1,0 mg/kg peso fresco), respectivamente.

Determinar las concentraciones de cadmio en productos derivados del maíz tales como harinas, balanceados, aceites, snacks, entre otros productos alimenticios.

## Referencias

- ATSDR. 2012. *Toxicological Profile for Cadmium*. Agency for Toxic Substances and Disease Registry, Public Health Service- U.S. Department of Health and Human Services, (Septiembre), 1-487. <http://www.atsdr.cdc.gov/toxprofiles/tp5.pdf%5Cnhttp://www.ncbi.nlm.nih.gov/books/NBK158845/> Consulta Noviembre 2017
- Azevedo, L., Barbosa, E., y Ferracciú, L. (2014). Transfer of cadmium and barium from soil to crops grown in tropical

- soils. Revista Brasileira de Ciência Do Solo, 1939-1949. <https://doi.org/10.1590/S0100-06832014000600028>
- Barrow, N. (1998). Effects of time and temperature on the sorption of cadmium, zinc, cobalt, and nickel by a soil. Australian Journal of Soil Research, 36(6), 941. <https://doi.org/10.1071/S98048>
- Bonomelli, C., Bonilla, C., y Valenzuela, A. (2003). Efecto de la fertilización fosforada sobre el contenido de cadmio en cuatro suelos de Chile. Pesquisa Agropecuaria Brasileira, 38(10), 1179-1186. <https://doi.org/10.1590/S0100-204X2003001000007>
- Branco, A., Amaral, G., Cardoso, V., Andrade, C., Amaral, W., Dias, F., y Guimaraes, L. (2015). Assessing arsenic, cadmium, and lead contents in major crops in Brazil for food safety purposes. Journal of Food Composition and Analysis, 37, 143-150. <https://doi.org/10.1016/j.jfca.2014.08.004>
- Castrillo, M., Pernía, B., De Sousa, A., y Reyes, R. (2012). Utilization of Different Aspects Associated with Cadmium Tolerance in Plants to Compare Sensitive and Bioindicator Species. Phytotechnologies. En N. Anjum, M. Pereira, I. Ahmad, A. Duerte, S. Umar, N. Khan (Ed.), Remediation of Environmental Contaminants (429-442). Florida, Estados Unidos: CRC Press.
- Clemens, S., Aarts, M., Thomine, S., y Verbruggen, N. (2013). Plant science: The key to preventing slow cadmium poisoning. Trends in Plant Science, 18(2), 92-99. <https://doi.org/10.1016/j.tplants.2012.08.003>
- EU. (2014). Reglamento (UE) No 488/2014 de la Comisión de 12 de mayo de 2014 que modifica el Reglamento (CE) no 1881/2006 por lo que respecta al contenido máximo de cadmio en los productos alimenticios. Diario Oficial de La Unión Europea, 9(L138), 75-79. <https://doi.org/10.2903/j.efsa.2011.1975>
- FAO/OMS. (2015). Codex Alimentarius. Norma general para los contaminantes y las toxinas presentes en los alimentos y piensos. Ginebra, Suiza.
- Fonseca, D., y Tovar, K. (2008). Determinación de la capacidad de remoción de cadmio, plomo y níquel por hongos de la podredumbre blanca inmovilizados (Tesis de grado). Pontificia Universidad Javeriana, Bogotá, D.C. Colombia.
- Huaynates, J. (2013). Efecto de la materia orgánica en la absorción de cadmio por el suelo, en la localidad de Supte (Tesis de grado). Universidad Nacional Agraria de la Selva, Tingo María, Perú.
- Instituto Ecuatoriano de Normalización. NORMA TÉCNICA ECUATORIANA NTE INEN 187: 2013 Tercera revisión (2013). Ecuador.
- Kabata, A., y Pendas, H. (2001). Trace elements in soils and plants. New York (Vol. 2nd). <https://doi.org/10.1201/b10158-25>
- Khoshgoftarmensh, A., Jaafari, B., y Shariatmadari, H. (2008). Effect of salinity on Cd and Zn availability. Shoot, (33), 1-7.
- Lara, F., Ventura, A., Ehsan, M., Rodríguez, A., Vargas, J., y Landero, N. (2015). Contenido de cd y pb en suelo y plantas de diferentes cultivos irrigados con aguas residuales en el valle de Mezquital, Hidalgo, México.
- López, L. (2016). Estudio de complejos metálicos con ligandos de interés biológico (Tesis doctoral). Universidad Nacional de la Plata, Buenos Aires, Argentina.
- López, J. (2017). Determinación de cadmio y plomo en soya (*Glycine max* L.) en grano, en polvo y líquida comercializada en la ciudad de Guayaquil-Ecuador (Tesis de grado). Universidad de Guayaquil, Guayaquil, Ecuador.
- Marrero, J., Amores, I., y Coto, O. (2012). Fitorremediación, una tecnología que involucra a plantas y microorganismos en el saneamiento ambiental. ICIDCA. Sobre Los Derivados de La Caña de Azúcar, 46(3), 52-71. <https://doi.org/ISSN: 0138-6204>
- Martínez, F., Souza, V., Bucio, L., Gómez, L., y Gutiérrez, M. (2013). Cadmio: efectos sobre la salud. Respuesta celular y molecular. Acta Toxicológica Argentina, 21, 33-49.
- Melo, L., Silva, E., y Alleoni, L. (2014). Transfer of cadmium and barium from soil to crops grown in tropical soils. Revista Brasileira de Ciência Do Solo, (November), 1939-1949. <https://doi.org/10.1590/S0100-06832014000600028>
- Mojiri, A. (2012). The Potential of Corn (*Zea mays*) for Phytoremediation of Soil Contaminated with Cadmium and Lead. J. Biol. Environ. Sci, 5(13), 17-22.
- Morón, A., y Díaz, R. (2003). Principales contribuciones del experimento de rotaciones cultivos-pasturas de INIA La Estanzuela en el área de fertilidad de suelos (1963-2003). En P. Bonino (Presidencia). 40 AÑOS DE ROTACIONES AGRÍCOLAS-GANADERAS. Simposio llevado a cabo en el INIA La Estanzuela, Montevideo, Uruguay.
- Muñoz, J. (2017). Determinación de Cadmio en fertilizantes, plantas de *Oryza sativa* L. y suelos de la provincia del Guayas: Propuesta de saneamiento (Tesis de grado). Universidad de Guayaquil, Guayaquil, Ecuador.
- Pérez, P., y Azcona, M. (2012). Los efectos del cadmio en la salud. Revista de Especialidades Médico-Quirúrgicas, 17(3), 199-205.
- Pernía, B. (2013). Respuestas a la exposición al cadmio y su tasa de acumulación en plantas de *Amaranthus lividus*, *Phaseolus vulgaris* y *Wedelia trilobata* (Tesis doctoral). Universidad Simón Bolívar, Santa Ana de Coro, Venezuela.
- Pernía, B., Mero, M., Bravo, K., Ramírez, N., López, D., Muñoz, J., y Egas, F. (2015). Detección de cadmio y plomo en leche de vaca comercializada en la ciudad de Guayaquil, Ecuador. Ciencias Naturales y Ambientales, 8(2), 81-86.
- Puschenreiter, M., Horak, O., Friesl, W., y Hartl, W. (2005). Low-cost agricultural measures to reduce heavy metal transfer into the food chain - A review. Plant, Soil and Environment, 51(1), 1-11.
- Reyes, Y., Vergara, I., Torres, O., Díaz, M., y González, E. (2016). Contaminación Por Metales Pesados: Implicaciones En Salud, Ambiente Y Seguridad Alimentaria. Investigación Y Desarrollo, 16(2), 66-77.
- Terry, R. (2014). Cadmium and phosphorus fertilizers: The issues and the science. Procedia Engineering, 83, 52-59. <https://doi.org/10.1016/j.proeng.2014.09.012>
- Villacrés, B. (2013). Implementación de un banco de hongos micorrízicos arbusculares, aislados de suelos del área de influencia de Ep Petroecuador y su efecto en el crecimiento de plantas de maíz (*Zea mays*) en condiciones de estrés por cadmio, en el cantón La Joya de Los Sachas. Escuela Politécnica del Ejército Departamento, Sangolquí, Ecuador.
- Zhang, H., Dang, Z., Zheng, L. C., y Yi, X. (2009). Remediation of soil co-contaminated with pyrene and cadmium by growing maize (*Zea mays* L.). International Journal of Environmental Science and Technology, 6(2), 249-258. <https://doi.org/10.1007/BF03327629>