

Contaminación de suelos y cultivos con metales pesados y nutrientes en Venezuela

Ricardo Ramírez

¹ Postgrado de Ciencias del Suelo, Facultad de Agronomía, Universidad Central de Venezuela, Apdo. 4579, Maracay 2101, Aragua, Venezuela.

RESUMEN

En Venezuela se ha puesto poca atención a la contaminación de los suelos y cultivos con metales pesados y fertilizantes. Los metales pesados en los suelos constituyen un riesgo para la seguridad alimentaria debido a su toxicidad. En este trabajo se pretende recopilar la poca y dispersa información disponible sobre metales pesados en suelos y cultivos, así como de altos niveles de fósforo en suelos y plantas. El principal contaminante en suelos y almendras del cacao es el cadmio (Cd), en la zona de producción de Miranda, principalmente, seguida en menor proporción en Sur del Lago y Oriente. También se ha encontrado contaminación del cacao con plomo, sin embargo, el número de muestras a nivel nacional fue pequeño, 265. El uso excesivo de fertilizantes y abonos orgánicos en los suelos dedicados al cultivo de la papa, en la región de los Andes, ha dado lugar a la acumulación de P en los suelos por encima del valor considerado alto para el cultivo, 30mg/kg. 60% de las muestras analizadas en los años 2011 a 2015 resultaron con valores de P entre 100 y 250 mg/kg.

Palabras clave: Arsénico, cadmio, fósforo, plomo.

Soil and crops contamination with heavy metals and nutrients in Venezuela

ABSTRACT

Not much attention has been paid to the contamination of soils and crops with heavy metals and fertilizers in Venezuela. Heavy metals in soils constitute a risk for food security due to their toxicity. This work aims to collect the in scattered information available on heavy metals in soils and crops as well as high levels of phosphorus in soils and plants. The main contaminant in cocoa soils and almonds is cadmium (Cd), mainly in the Miranda production area, followed to a lesser extent in south of the Maracibo lake and in the east of the country. Contamination of cocoa with lead has also been found, however the number of soil samples at the national level was small, 265. The excessive use of fertilizers and manures in the soils cropped with potatoes, in the high lands of Andes region, has given rise to the accumulation of P in the soils above 30mg/kg t value considered high for the crop, 60% of the samples analyzed in the years 2011 to 2015 resulted in P values between 100 and 250 mg/kg.

Key words: Arsenic, Cadmium, phosphorus, lead.

*Autor de correspondencia: Ricardo Ramírez

E-mail: abisam28@gmail.com

INTRODUCCIÓN

Se entiende por contaminación del suelo a la pérdida de su calidad natural debido a la presencia de sustancias tóxicas que afectan sus propiedades. Se conoce como contaminante a la sustancia capaz de deteriorar la calidad del medio ambiente donde actúa.

La salud de una comunidad depende, en parte, de su buena alimentación, la cual está relacionada con lo que se conoce como seguridad alimentaria que, según FAO, es “cuando todas las personas tienen en todo momento acceso físico, social y económico a los alimentos suficientes, inocuos y nutritivos que satisfagan sus necesidades energéticas diarias y preferencias alimentarias para llevar una vida sana y activa”. En general, hay la preocupación de consumir suficiente cantidad de alimentos y, en lo posible, de calidad, pero no hay el cuidado de seleccionar alimentos que sean inocuos, es decir que no estén contaminados con metales pesados, pesticidas y otros elementos tóxicos.

Actualmente, en Venezuela, hay preocupación en algunos sectores por la contaminación con metales pesados, en particular con cadmio en suelos y plantas, este es un metal altamente tóxico que puede producir cáncer pulmonar.

Los metales pesados se encuentran normalmente en los suelos, algunos de ellos son micronutrientes esenciales para el desarrollo de las plantas como el zinc, cobre y manganeso (Lassat, 1999). Una característica de los metales pesados es que no son biodegradables por lo cual pueden acumularse en el medioambiente, dando origen a su contaminación y posterior efecto tóxico sobre las plantas y organismos que viven en los suelos (Ali, 2013), la actividad humana es responsable, en parte, de la acumulación de metales pesados en el medio ambiente en especial en los suelos (Sue, 2014).

Los metales pesados en los suelos no permanecen inmóviles, sino que pueden ser movilizados de un sitio a otro por el efecto de los vientos y de las aguas (Varsa *et al.* 2015), la vecindad de los sistemas de producción con los centros mineros cobra una alta importancia sobre el contenido de metales pesados en los suelos. Otro

fenómeno que puede cambiar la distribución de los metales pesados en los suelos es el fuego, es decir los incendios de la vegetación, alterando con frecuencia la naturaleza de los compuestos metálicos debido a un proceso de reducción que convierte a los metales a formas solubles en el agua y disponibles para la planta (Varsa *et al.* 2015). Poco conocemos en el país del efecto de estos fenómenos sobre la contaminación de los suelos con metales pesados.

Las propiedades químicas, físicas y biológicas de los suelos son producto de la interacción de la materia orgánica, agua, gases y organismos vivos del suelo, es decir que no son estáticas sino altamente dinámicas, por consiguiente, susceptibles de ser modificadas debido al efecto de los cambios climáticos, biológicos y antropogénicos (Jonathan *et al.* 2004).

Los suelos bajo cultivo son propensos a acumular los compuestos que se aplican comúnmente para mejorar la productividad agrícola, la contaminación de los suelos agrícolas con metales pesados ha sido relacionada con el uso de fertilizantes fosfatados, los cuales pueden contener cantidades variables de cadmio entre 0,1 a 200 mg/kg (Wagner, 1993), aguas residuales para riego, pesticidas en especial aquellos que tienen como base Pb y As, abonos orgánicos, emisiones de gases de vehículos, y deposiciones atmosféricas de las áreas urbanas e industriales (Govence *et al.* 2003, Ali *et al.* 2014).

La presencia de metales pesados en los suelos agrícolas es de alto riesgo para la seguridad alimentaria, debido a que son altamente tóxicos, aún a niveles de concentración bajos, debido a su carácter de persistencia y su potencial de bioacumulación (Ali *et al.* 2014). Los contaminantes en los suelos pueden acumularse relativamente rápido, pero se degradan más lentamente que en la hidrósfera y atmósfera.

La absorción de los metales pesados por la planta, su contaminación, está sujeta a varios factores, entre ellos la biodisponibilidad de los metales, especie vegetal y algunas propiedades de los suelos como pH, textura, capacidad de intercambio, contenido de materia orgánica, y conductividad eléctrica.

Los fertilizantes inorgánicos como los fosfatos son considerados como la mayor fuente de metales pesados en los suelos agrícolas (Kabata-Pendias, 2001; Atafar *et al.* 2010; Huan y Jin 2008; Twawornchais y Poloraset, 2009), pero también los biosólidos como la excreta de cerdos y camas de aves son fuentes de metales pesados cuando se los usa en los sistemas de producción agrícola (Cai, *et al.* 2007; Pakpain *et al.* 2000; Doelsch *et al.* 2006)

En los suelos tropicales y cosechas la acumulación de metales pesados como el Cd, Zn, Pb, Cu y Cr tiene lugar principalmente por el uso prolongado y mal dosificado de pesticidas, fertilizantes inorgánicos y biosólidos orgánicos como la excreta de cerdos y camas de aves, usados comúnmente como fertilizantes en los sistemas de producción agrícola (Uchimiya *et al.* 2012, Camilotti *et al.* 2012, Atafar *et al.* 2010, Mishra *et al.* 2009; Huang y Jin 2008; Cai *et al.* 2007; Doelsch *et al.* 2006).

La contaminación de los suelos con metales pesados constituye una amenaza para el medio ambiente, la agricultura y la seguridad alimentaria, por lo cual es necesario trabajar en busca de soluciones que alivien el problema de la contaminación con metales porque afectan la productividad y calidad de las cosechas.

En Venezuela poco se conoce sobre la contaminación con metales pesados en los sistemas de producción agrícola. Existe información sobre la contaminación con cadmio en suelos y almendras de cacao, así como con plomo en menor escala y con arsénico en arroz.

El objetivo de este trabajo es recopilar la información dispersa sobre la contaminación con metales pesados en los suelos y plantas en el país, así como de nutrientes a altos niveles de concentración en los suelos.

Cadmio

El cadmio (Cd) es un metal pesado no esencial para el desarrollo de las plantas, pero los cultivos pueden acumularlo, dependiendo del grado de disponibilidad en el suelo y de las características genéticas del cultivo (Grand y Shepard, 2008). El Cd en las plantas cuando es acumulado en altas dosis puede ser tóxico para ellas (Kirkham, 2006).

El Cd en los humanos produce daños en los riñones, enfisema pulmonar y osteoporosis debido al reemplazo del Ca por el Cd en los huesos, causando la enfermedad conocida en Japón como *tai-itai* (Yeung and Hsu, 2005)

El origen del Cd en los suelos es de carácter natural, derivado del material parental en el proceso de formación del suelo y de carácter antropogénico, cuando se usan aguas residuales contaminadas para el riego, abonos orgánicos y fertilizantes fosfatados. El Cd se encuentra en los suelos en forma natural, generalmente 1 mg/kg o menos, por lo cual casi todos los alimentos contienen Cd en alguna proporción.

Zarcinas *et al.* (2004) han atribuido los niveles altos de Cd en suelos y almendras del cacao en Malasia a la aplicación regular de fertilizantes fosfatados contaminados. El incremento del contenido de Cd en los suelos en Europa durante 20 a 30 años ha sido señalado, con frecuencia, como producto del uso de lodos residuales y fertilizantes con contenidos de Cd (Jensen y Bro-Rasmussen, 1992). La concentración de Cd en las rocas fosfóricas usadas para la fabricación de fertilizantes es ampliamente variable, entre los países de origen y también entre los depósitos dentro de cada país (Van Kauwenbrgh, 2001)

Los factores de suelo que afectan más el comportamiento del Cd y que controlan las fracciones disponibles para la planta son el pH y el contenido de materia orgánica (Baranciková *et al.* 2004). El pH del suelo ha sido señalado como el factor más importante capaz de controlar la absorción del Cd del suelo por la planta (Kukier *et al.* 2004; Adams *et al.* 2004; Basta *et al.* 2005). Se ha demostrado que en la medida que el pH decrece el Cd tomado del suelo por las plantas crece (Kuo *et al.* 2004; Tsadilas *et al.* 2005)

En mayo del 2012 la organización ICCO (International Cocoa Organization) estableció niveles permitidos de cadmio de 0,6 mg/kg para almendra de cacao. Esta regulación entro en vigor en el año 2019.

En el caso de los suelos agrícolas el valor crítico establecido por USEPA (2002) fue de 0,43 mg kg⁻¹, por su parte Kabata-Pendias y Wiacek (1985) sugirieron 0,5 mg/kg

Arsénico

La naturaleza del material parental del suelo tiene una alta importancia en la determinación de su contaminación con Arsénico (As), éste se encuentra ampliamente distribuido como trazas en las rocas, suelos, sedimentos de agua, aire y biota (Vaughan, 2006; Jarup, 2003), pero los procesos antropogénicos pueden elevar su concentración en las aguas subterráneas, suelos y sedimentos a niveles considerados tóxicos por el uso de pesticidas (Alam *et al.* 2007) y de fosfatos que favorecen la disponibilidad del As en la solución del suelo (Peryea, 1998). La toxicidad del As para humanos y animales puede prevalecer cuando el As coexiste con la baja disponibilidad de los fosfatos en el suelo (Pigna, *et al.*, 2010)

El As en el suelo se comporta en forma diferente si se trata de suelos inundados (anaerobiosis) o de no inundados (aerobiosis), la especie de As predominante en el primer caso es la Arsenite (As III), la más tóxica, y en el segundo caso predomina la Arsenate (As V), la primera condición es más favorable para la absorción del As por las plantas (Heikens, 2006).

El riego con aguas ricas en As ha dado lugar a la contaminación de los suelos y a que las cosechas obtenidas tengan altos niveles de As en las partes comestibles (Heikens, 2006; Bremmer, 2005; Zabala y Duxbur, 2008.). La contaminación de las aguas de pozos, en varios países del Asia, ha sido reportada como uno de los problemas más severos de la región (Cheng *et al.* 1991; Islam *et al.* 2004; Sukanchan *et al.* 2019).

Zabala y Heikens (2006) analizaron datos obtenidos de la literatura y de 204 muestras de grano de arroz, obtenidas en el mercado en USA, y sugirieron un valor global de As en arroz entre 0,08 y 0,20 mg/kg.

Plomo

El plomo (Pb) como el Cd se diferencian de otros contaminantes porque no son biodegradables y pueden acumularse en los organismos vivos causando daños aún a concentraciones bajas (Pehlivan *et al.* 2009). El Pb en los suelos contaminados puede quedar como fuente para las plantas por largo tiempo.

Son varias las fuentes de contaminación con Pb de los suelos y plantas, entre ellos se mencionan los gases de combustión de los vehículos, gases provenientes de la industria, uso de insecticidas que contengan plomo.

El Pb en los suelos se encuentra por lo general en los primeros 20 cm de profundidad, pero como es inmóvil permanece en el suelo por largo tiempo si no se toman medidas para removerlo (Trauteld y Clement, 2001).

Cadmio en los suelos y almendras del cacao

El origen de la contaminación de los suelos con Cd tiene dos causas principales: natural y antropogénico, es decir provocada por la actividad humana.

La primera forma, la natural, se refiere a que el material parental de los suelos contiene formas no disponibles a diferentes concentraciones, que se convierten a formas disponibles por efecto de los cambios en el proceso de meteorización.

La contaminación antropogénica se refiere a la causada por la actividad del hombre y tiene diferentes orígenes (Figura 1.)

No todas las fuentes de contaminación antropogénica son aplicables para el cultivo de cacao en Venezuela, en la mayoría de los casos las siembras de cacao no están cerca de las fuentes de residuos industriales, o de las emanaciones de gases producto de la combustión interna de los motores. Los sistemas de producción de cacao usan muy poco o nada de fertilizantes fosfatados y abonos orgánicos como estiércoles. En cambio usan con frecuencia pesticidas que pudieran estar contaminados.

La contaminación con fertilizantes fosfatados depende del origen de las rocas con las que fabrican (Van Kauwenborgh, 2001).

Aparentemente la contaminación con Cd de los suelos bajo producción de cacao, en el país, es de origen natural. Esta conclusión debe ser validada en las zonas de producción de Oriente, Sur del Lago y Miranda.

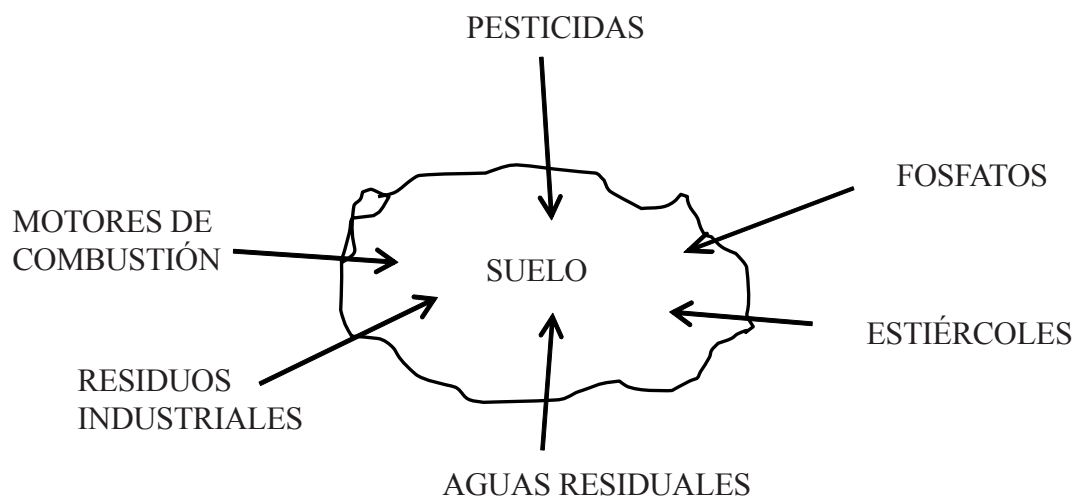


Figura 1. Fuentes de contaminación antropogénica de los suelos

La primera información de la presencia de Cd en los suelos y almendras del cacao fue publicada por Matissek (1990), las muestras de almendras colectadas en Venezuela mostraron valores de Cd que variaron entre 0,54 y 4,10 mg/kg y fueron mayores que las correspondientes a los países del África 0,03 a 0,34 mg/kg, Oceanía y Asia con 0,06 a 1,83 y los de América como: Brasil, Colombia, Jamaica, Trinidad y Costa Rica con 0,04 a 1,02 mg/kg.

FONCACAO realizó un muestreo de suelos y almendras en el estado Miranda, zona de Barlovento, con el propósito de analizar las muestras para cadmio, Shorin y coautores (1992) mostraron valores de Cd en el suelo que variaron entre 0,25 y 0,65 mg/kg y en almendra desde 0,23 hasta 0,94 mg/kg.

Izquierdo en 1998 presentó su tesis de maestría en el Postgrado de Ciencias del Suelo, Facultad de Agronomía, UCV bajo la tutoría del autor. En ella se da cuenta de la contaminación de suelos y almendras de cacao en la región de Barlovento, parte de la información fue adaptada, por el autor, para esta publicación. Se consideraron los datos obtenidos en los meses de diciembre de 1993 y enero de 1994, época de máxima producción del cultivo.

Para el trabajo se escogieron ocho localidades,

cuatro de ellas a lo largo del Río Tuy, la primera a la entrada a Barlovento cerca la población de Araguaita (ARA), dos sitios intermedios: Tapipa (TAP) y El Clavo (CLA) y una cuarta cerca de la población de Agua Clara (ACL), próxima a la desembocadura del río en el mar Caribe.

Otras cuatro localidades se ubicaron en las zonas de influencia de los ríos Capaya, Merecure, Yaguapita y Curiepe, cercanas a las poblaciones de Capaya (CAP), Marcelo (MAR), Yaguapita (YAG) y Curiepe (CUR)

En cada localidad se ubicaron dos parcelas, la primera por encima la cota más alta del río, parcela no inundable (NIn) y la segunda por debajo la cota del río parcela inundable (In).

Los productores de cacao, de las parcelas seleccionadas, no aplicaban fertilizantes, abonos orgánicos ni insecticidas, las malezas las controlaban en forma manual. El área de muestreo dentro de cada parcela fue de aproximadamente 2500 m².

Los datos de Cd en el suelo corresponden a muestras tomadas a una profundidad de 0 a 50 cm, donde se localiza el mayor volumen de raíces de la planta de cacao. El cadmio total (Cd To) fue extraído, del suelo, con una solución de HNO₃ 4N (Sposito, 1983) y para el cadmio intercambiable se usó HNO₃ 1M (Anderson y Hahzin, 1981).

La concentración de Cd To en mg/kg en los suelos no inundados (Nin) varió entre 0,63 en Yaguapita hasta 2,68 en Araguaita, en el caso de los suelos inundados (In) la variación fue entre 0,81 en Curiepe y 2,29 en Araguaita. Estos niveles de Cd están por encima del valor máximo de 0,5 mg kg⁻¹ sugerido por Kabata-Pendias y Wiacek (1985)

El Cd en el tejido vegetal fue extraído por digestión húmeda con H₂SO₄ y H₂O₂ (Jones *et al.* 1991).

La concentración de Cd en las almendras (Cuadro 1) en ambas condiciones de inundación varió entre 1,50 y 4,50 mg/kg, valores por encima el nivel crítico de 0,6 mg/kg establecido por la organización ICCO (2012), solo en la parcela más cerca el mar, Curiepe el Cd almendra fue 0,50 mg/kg. El Cd en la hoja mostró valores mayores que 2,00 mg/kg en ambas condiciones de inundación.

La información disponible de Cd Alm indica que el 88 % de las parcelas están contaminadas con Cd, este metal no es biodegradable y es altamente persistente (Ali *et al.*, 2013) lo que significa que actualmente la contaminación con Cd en la región está presente en alta proporción.

El Cd To en el suelo mostró una relación significativa para P<0,01 con el contenido de materia orgánica y Zn y de P<0,05 con la arcilla, las correlaciones encontradas para Cd Int fueron significativas para P<0,05 (Cuadro 2). Este comportamiento demuestra que en la medida que crece el contenido de materia orgánica, arcilla y Zn en los suelos estudiados la disponibilidad de Cd se incrementa.

En los años 2008 a 2012 la empresa Nestlé C.A. realizó 277 muestreos de almendra de cacao en las regiones de Barlovento, Edo. Miranda, Oriente, Edo Sucre, Sur del Lago, Edo. Mérida y Barinas, (Cuadro 3).

Considerando 0,4 mg kg⁻¹ (valor asumido por Nestlé) como límite máximo permitido para Cd en la almendra de cacao, se encontró que los rangos de contaminación variaron considerablemente en las tres regiones motivo del muestreo (Cuadro 3). El mayor porcentaje de muestras contaminadas correspondió a la región Central con 86,40 %, seguida por la región Occidental con 38,05 % y finalmente la Oriental con 31,07 %.

Cuadro 1. Cadmio total (Cd To) e intercambiable (Cd In) entre 0 y 50 cm de profundidad de los suelos no inundados (NI) e inundados (IN) y en almendras (Cd Alm) y hojas de cacao (Cd Ho) en mg/kg.

| Localidad | Cd To | Cd Int | Cd Alm | Cd Ho |
|------------|-------|--------|--------|-------|
| N In | | | | |
| Araguaita | 2,28 | 1,11 | 3,00 | 5,00 |
| Tapipa | 1,71 | 0,58 | 3,00 | 3,50 |
| El Clavo | 2,00 | 0,55 | 3,50 | 4,00 |
| Agua Clara | 1,69 | 0,59 | 3,00 | 4,00 |
| Marcelo | 1,44 | 0,46 | 4,00 | 5,50 |
| Yaguapita | 0,63 | 0,16 | 2,50 | 3,50 |
| Capaya | 1,05 | 0,24 | 1,50 | 3,50 |
| Curiepe | 0,88 | 0,20 | 0,50 | 1,50 |
| In | | | | |
| Araguaita | 2,29 | 1,06 | 3,20 | 5,00 |
| Tapipa | 1,88 | 0,69 | 3,70 | 4,00 |
| El Clavo | 1,57 | 0,49 | 3,50 | 5,00 |
| Agua Clara | 1,50 | 0,50 | 4,50 | 2,50 |
| Marcelo | 1,81 | 0,52 | 4,50 | 7,00 |
| Yaguapita | 1,83 | 1,07 | 1,50 | 12,00 |
| Capaya | 1,33 | 0,53 | 2,50 | 2,00 |
| Curiepe | 0,81 | 0,21 | 0,50 | 3,00 |

Fuente: Izquierdo 1988.

Cuadro 2. Coeficientes de correlación del Cadmio total e intercambiable con la materia orgánica, Arcilla y Zinc del suelo en la región de Barlovento.

| | Cd To | Cd I |
|------------------|--------|-------|
| Materia Orgánica | 0,85** | 0,76* |
| Arcilla | 0,78* | 0,79* |
| Zinc | 0,94** | 0,80* |

* P<0,05
** P<0,01

El rango de contaminación con Cd más alto se encontró en la región Oriental con 0,50 a 20,9 mg/kg seguido por la región Central con 0,50 a 2,50 mg/kg y finalmente en la región Occidental con 0,50 a 2,50 mg/kg.

Crozier en 2012 mostro datos sobre contaminación con Cd en los estados Aragua, Mérida y Sucre, en una muestra de 92 unidades con un rango de Cd en la almendra entre 0,03 y 3,52 mg/kg, 74 muestras fueron inferiores a 0,6 mg/kg es decir 80% y 18 muestras resultaron mayores a 0,6 mg/kg que representan el 20%.

La información disponible sobre el contenido de Cd en la almendra del cacao señala que aproximadamente el 86,0% de las muestras colectadas en la región de Barlovento, estado Miranda, tienen niveles de Cd por encima del nivel de tolerancia de 0,4 mg/kg (usado por Nestle), 38,0% en el Oriente del país y 32% en el Occidente del país sobre el nivel de tolerancia de 0,6 mg/kg. Esta información señala que la mayor contaminación tiene lugar en el cacao proveniente de Miranda seguido por el de Sur del lago y finalmente el de Oriente.

Cadmio en arroz

La contaminación con Cd en otros cultivos, además del cacao, es posible, en especial en aquellos que se ubican en suelos ácidos como el caso del café, pero solo se tiene una información para el caso del arroz.

La determinación de Cd en arroz se hizo en 57 muestras de grano colectadas en el estado Portuguesa por la empresa Nestlé C. A. El límite

de tolerancia de Cd en grano de arroz y trigo ha sido fijado en 0,40 mg/kg (400 μ g/kg) por Codex Alimentarius Commissium (2019)

La contaminación en el grano partido fue muy parecida al encontrado en el grano entero 8,57 % y 10,53 % respectivamente (Cuadro 4) lo que indica un incremento muy pequeño de la contaminación debido al procesamiento del grano.

Aproximadamente el 91,43 % del arroz mostro un contenido de cadmio inferior a 0,40 mg/kg estipulado como nivel máximo permitido para el arroz y el trigo (Codex Alimentarius 2019), esta información no es posible tomarla como un indicador para el arroz en el estado Portuguesa porque se trata de una muestra pequeña, es necesario señalar la importancia de hacer un muestreo representativo de las áreas de cultivo, teniendo en cuenta el manejo del riego, del suelo, orígenes de las aguas y materiales genéticos, para tener una información confiable sobre el estado del Cd en el suelo y grano de arroz en el estado.

Ramírez y colaboradores (2015), estudiaron el efecto de la aplicación de fosfatos por largo tiempo, hasta 50 años, en el cultivo de arroz en el estado Guárico. El nivel de Cd encontrado en el grano, cascarilla y rastrojo (Cuadro 5), en todas las muestras, se ubicó por debajo del límite máximo permitido de 400 μ g/kg, estos datos parecen demostrar que el arroz cosechado en el Sistema de Riego de Río Guárico no está contaminado con Cd, posiblemente debido al bajo nivel de este metal en el suelo, inferior al límite de tolerancia de 500 μ g/kg señalado por Kabata-Pendias y Wiacek (1985).

Sin embargo, es necesario señalar que el número de muestras es pequeño para concluir que no existe contaminación, es necesario realizar un muestreo representativo de la zona productora de arroz para conocer con seguridad la presencia de Cd en los suelos y grano de arroz.

El Cd en el grano mostro estar positivamente correlacionado con el contenido de Cd en el suelo el coeficiente de correlación de 0,83 fue significativo para P<0,05, los datos ajustados a una regresión lineal mostraron un coeficiente de determinación de 0,69 (Figura 2), lo que indica que se podría

Cuadro 3. Cadmio en almendras de cacao en las zona central, oriente y occidental años 2009 y 2011, considerando 0,40 mg/kg -l como valor crítico asumido por de Nestlé C. A

| Zona | Estado | Localidad | Cd mg kg ⁻¹ | N° Muestras | % Contaminado | | |
|------------|-------------|-------------------------|------------------------|-------------|---------------|----|---------------|
| Central | Miranda | El Clavo | 0,09-0,29 | 3 | 86,40 % mayor | | |
| | | | 0,66-2,96 | 16 | 13,60 % menor | | |
| | | Caucagua | 0,33-0,39 | 2 | | | |
| | | | 0,72-3,41 | 15 | | | |
| | | San José | ----- | | 0 | | |
| | | | 0,62-2,98 | 18 | | | |
| | | Ocumare | 0,16-0,23 | 3 | | | |
| | | | 1,71-1,91 | 2 | | | |
| | | Occidental Sur del Lago | Mérida | Tucani | 0,05-0,44 | 37 | 38,05 % mayor |
| | | | | | 0,50-2,50 | 12 | 61,95 % menor |
| Guayabones | 0,03-0,39 | | | 31 | | | |
| | 0,50-,18 | | | 13 | | | |
| Arapuey | 0,18-0,25 | | | 3 | | | |
| | 0,50 -0,66 | | | 3 | | | |
| Barinas | Borburata | | | ----- | | 0 | |
| | | | | 2,01-2,08 | 2 | | |
| | Chuponal | | | ----- | | 0 | |
| | | | | 0,54-1,07 | 3 | | |
| | Camiri | | 0,19 | 1 | | | |
| 0,56-1,34 | | | 7 | | | | |
| Zulia | Corpo Zulia | | 0,33 | 1 | | | |
| | | | 0,82 | 1 | | | |
| Oriental | Sucre | | Carúpano | ----- | 0 | | |
| | | 0,54-1,92 | | 3 | | | |
| | | Río Caribe | 0,11-0,30 | 3 | 31,07 % mayor | | |
| | | | 0,50-6,34 | 8 | 69,93 % menor | | |
| | | Yaguaraparo | 0,06-0,43 | 19 | | | |
| | | | 0,74-4,50 | 3 | | | |
| | | Irapa | 0,05-0,40 | 22 | | | |
| | | | 0,55-2,33 | 5 | | | |
| | | Guiria | 0,12-0,32 | 9 | | | |
| | | | 0,50-1,55 | 2 | | | |
| | | El Pilar | 0,01-0,26 | 14 | | | |
| | | | ----- | 0 | | | |
| | | San Bonifacio | 0,16-0,30 | 2 | | | |
| | | | 0,56-2,19 | 8 | | | |
| | | | | 0,07-0,27 | 2 | | |
| 2,37-20,9 | 6 | | | | | | |

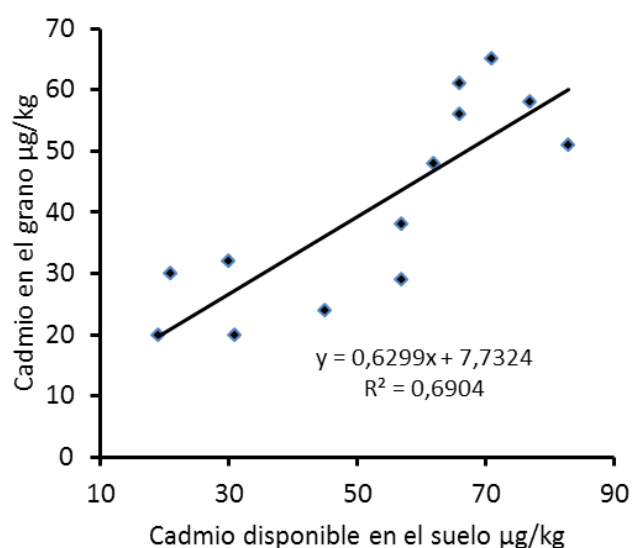
Cuadro 4. Resumen del contenido de cadmio en mg/kg en 57 muestras de grano de arroz entero y partido colectadas por la empresa Nestle CA. en el estado Portuguesa.

| | Grano Entero | Grano Partido |
|-----------------------|---------------|---------------|
| Rango de Cd* | 0,008 – 1,279 | 0,010 – 0,993 |
| Muestras totales | 57 | 57 |
| Muestras contaminadas | 5 | 6 |
| % contaminadas | 8,57 | 10,56 |
| % no contaminadas | 91,43 | 89,47 |

*Máximo valor de Cd permitido 0,40 mg/kg.

Cuadro 5. Cadmio en μgkg^{-1} en grano, cascarilla, rastrojo de arroz y suelo en el Guárico.

| No Muestra | Cd grano | Cd Rastrojo | Cascarilla | Cd suelo |
|------------|----------|-------------|------------|----------|
| 16 | 56 | 56 | 45 | 66 |
| 17 | 61 | 45 | 17 | 66 |
| 18 | 51 | 22 | 19 | 83 |
| 26 | 29 | 108 | 22 | 57 |
| 45 | 65 | 209 | 52 | 71 |
| 46 | 20 | 39 | 36 | 19 |
| 47 | 17 | 38 | 30 | 318 |
| 49 | 20 | 93 | 36 | 31 |

**Figura 2.** Relación del Cd disponible en el suelo con el Cd en el grano de arroz

explicar la presencia de Cd en el grano en 69 % de los casos por la presencia del Cd en el suelo, esta misma relación del Cd en planta con el Cd del suelo ha sido encontrada por Kabata Pendias (2011).

La materia orgánica de los suelos, del Sistema de Riego del Río Guárico, mostró relación positiva con el Cd en el suelo y en el grano de arroz, los coeficientes de correlación positivos fueron de 0,71 para el Cd suelo y 0,66 para el cadmio del grano. Los datos de Cd y MO se ajustaron a funciones lineales (Figura 3). El coeficiente de determinación más alto de 0,51 correspondió a la relación de la MO con Cd suelo, lo que indica que la medida que se incrementa el contenido de Mo en el suelo mayor es la cantidad de Cd adsorbido en el suelo, la relación lineal MO-Cd grano también fue positiva con un $R^2 = 0,44$. Estas funciones demuestran la

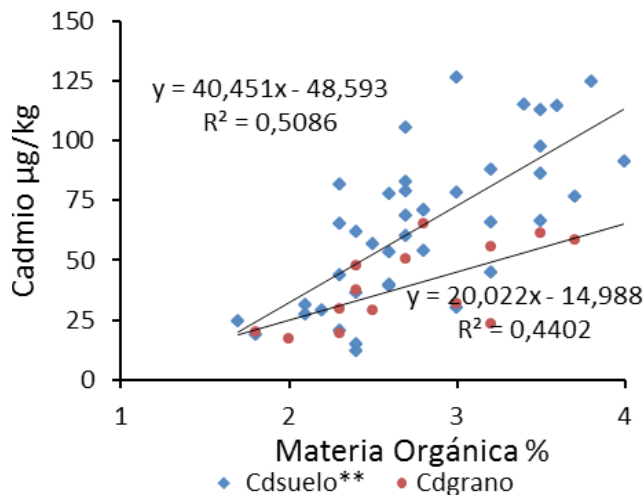


Figura 3. Relación materia orgánica del suelo con cadmio suelo y grano de arroz

importancia que tiene la MO del suelo sobre el comportamiento del cadmio.

La capacidad de intercambio catiónico también mostro estar altamente relacionada con el Cd en el suelo y con el acumulado en el grano, los coeficientes de correlación fueron positivos y significativos 0,77 para Cd en el suelo y 0,82 para Cd en grano. Las funciones lineales calculadas (Figura 4) resultaron con coeficientes de determinación de 0,58 para Cd suelo y 0,67 para Cd grano, ambas funciones lineales mostraron pendientes parecidas.

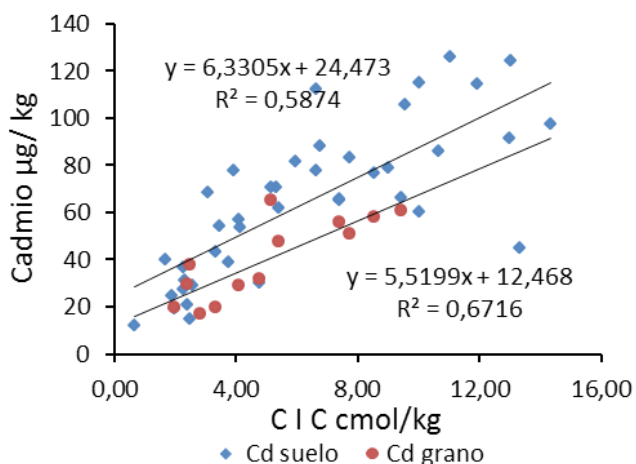


Figura 4. Relación de la capacidad de intercambio catiónico con el cadmio suelo y grano de arroz.

Arsénico en arroz

Los niveles de As en las 57 muestra de arroz suministradas por Nestlé mostraron estar por debajo del máximo valor permitido de 200 µg/kg sugerido por el Codex Alimentarius. EL 93 % de las muestras de grano de arroz entero mostro niveles de As por debajo de 100 µg/kg y el grano partido 78 % (Cuadro 6).

La anterior información sugiere que aparentemente no hay contaminación con As en Portuguesa, sin embargo, es necesario señalar que el tamaño de la muestra no cubre toda el área de producción, por lo que se debería hacer un muestreo bien planificado para determinar con seguridad el estado actual de la contaminación con As en el arroz producido bajo riego y de temporal en el estado Portuguesa.

Plomo en cacao

El plomo en los suelos puede permanecer disponible por largo tiempo en los primeros 20 cm del suelo debido a que es altamente inmóvil y no biodegradable (Traunteld y Clement, 2001). Es conocido que el Pb puede acumularse en los organismos vivos causando daños aún a bajas concentraciones (Pehlivan *et al.* 2009).

La empresa Nestle C. A. recolectó 265 muestras de almendras de cacao, en los en cuatro zonas productoras: Barlovento, Sur del Lago, Oriente y Barinas (Cuadro 7).

Solo una de las 13 muestras pertenecientes a Barinas resulto con un contenido mayor al límite permitido de 0,20 mg/kg (Cuadro 7). En Oriente el rango de contaminación encontrado fue entre 0,23 y 4,27 mg/kg afectando al 59,19 % de las

Cuadro 6. Resumen del contenido de arsénico en el grano de arroz (µg/kg) en 57 muestras colectadas por Nestlé C. A. en el estado Portuguesa.

| | Nº muestras | Cd rango* |
|---------------|-------------|-----------|
| Grano entero | 57 | 0-153 |
| Grano partido | 57 | 0-170 |

*Máximo valor de Cd permitido 200 µg/kg.

Cuadro 7. Resumen del contenido de plomo (mg/kg) en 265 muestras de cacao colectadas en Barlovento, Sur del Lago, Barinas y Oriente.

| Localidad | N° muestras | Rango Pb | Muestras Contaminadas* | | |
|--------------|-------------|-----------|------------------------|-----------|------------|
| | | | N° Muestras | Rango Pb | Porcentaje |
| Barinas | 13 | 0,02-0,22 | 1 | 0,22 | 7,69 |
| Oriente | 98 | 0,02-4,27 | 58 | 0,23-4,27 | 59,19 |
| Sur del Lago | 99 | 0,02-2,26 | 67 | 0,21-2,26 | 67,68 |
| Barlovento | 55 | 0.02-0,87 | 38 | 0,24-0,81 | 69,09 |

*Limite máximo permitido 0.20 mg kg⁻¹

muestras, seguido por Sur del Lago con un rango de 0,21 a 2,26 mg kg⁻¹ que significó que el 67,68 % de las muestras estaban contaminadas, finalmente en Barlovento se encontró la mayor contaminación con el 69,09 % y un rango de Pb en la almendra entre 0,24 y 0,81 mg/kg.

Los suelos y plantas pueden ser contaminados con plomo por varias fuentes como los gases de combustión interna de los vehículos, gases producidos por las industrias, y uso de pesticidas que contienen plomo, entre otros. (Traunteld y Clement, 2001).

Debido a la alta toxicidad del Pb es necesario tomar en cuenta esta información preliminar para determinar con seguridad la magnitud y distribución del Pb en los suelos agrícola y en las cosechas.

Los nutrientes como contaminates del medio ambiente

La consecuencia de la contaminación de los suelos es la degradación de la calidad de este, debido a la presencia de sustancias químicas nocivas para el ecosistema y la salud humana.

El buen manejo de los fertilizantes enriquece los suelos y da lugar a buenas cosechas, sin embargo, el manejo equivocado de los mismos puede dar lugar a procesos de eutrofización, que es el enriquecimiento de los ecosistemas acuáticos con nutrientes lavados de los suelos como nitrógeno y fósforo, especialmente, dando lugar al crecimiento de algas y otros organismos que consumen el oxígeno disponible en el agua.

En el país la técnica de fertilización de los cultivos extensivos, como el maíz y sorgo entre otros, muchas veces realizada en forma equivocada, con mucha frecuencia se usa la aplicación fraccionada de nitrógeno quedando la segunda aplicación del fertilizante sobre la superficie del suelo expuesta al lavado por las aguas de lluvia (Figura 5).

Otra práctica muy común es la aplicación tardía del fertilizante (NPK), cuando el maíz o sorgo tienen aproximadamente 15 o más días de edad, colocando el fertilizante sobre la superficie del suelo, sin incorporarlo (Figura 6) expuesto al efecto de lavado de las aguas de lluvia. Vera (2010) demostró, en el estado Portuguesa, que la aplicación tardía del fertilizante correlacionó negativamente con los rendimientos en los años 2001 y 2002, lo que quiere decir que en la medida que se aplique el fertilizante, tarde después de la siembra, hay una disminución significativa de la cosecha, debido al efecto conocido como la nutrición temprana que tiene una alta influencia sobre el desarrollo y rendimiento de los cultivos (Grant *et al.* 2001).



Figura 5. Aplicación fraccionada de nitrógeno en maíz sin incorporar al suelo.



Figura 6. Aplicación de fertilizante postsiembrada en maíz, sin incorporar al suelo.

El fertilizante aplicado sin incorporar al suelo queda expuesto al lavado por las aguas de lluvia o riego siendo su destino final los cuerpos de agua como embalses, lagunas o pequeños reservorios que finalmente sufren el proceso de eutroficación.

En el país hay evidencias de las pérdidas de nitrógeno de los suelos cultivados, debido al manejo deficiente de los sistemas de producción (Cuadro 8), las pérdidas en los suelos de labranza convencional o poco protegidos por cubiertas de residuos vegetales mostraron pérdidas de N de 6,6 a 7,6 veces más que cuando cuando se protegió el suelo.

La aplicación de fertilizantes a los suelos, sin la supervisión de personal técnico, versado en el problema, da lugar al uso equivocado del mismo en cuanto a la forma y época de aplicación pero también respecto a las dosis de nutrientes necesarios para los cultivos.

El uso excesivo de fertilizantes y abonos orgánicos ha dado lugar a la acumulación de fósforo y potasio en los suelos dedicados al cultivo de papa de la región andina.

Es una práctica común, seguida por los productores de papa, usar fertilizante de origen químico y además estiércoles de ganado o de aves, cuya composición química no se conoce, no se puede descartar la existencia de metales pesados en las enmiendas orgánicas usadas por los productores de papa, Basta *et al.* (2005) encontraron que la concentración de Cd en los suelos que recibieron enmienda de gallinaza con cama de paja fue estadísticamente superior a la del suelo sin tratamiento, lo que sugiere que el estiércol de aves es potencialmente una fuente de contaminación de cadmio. (Figuras 7 y 8).

Solo el 12 % de los 70 suelos en la zona productora de papa muestreados en cinco años, 2011 a 2015, mostraron niveles de fósforo por debajo de 30 mg/kg, (Figura 9) este valor es considerado muy alto para los cultivos y se recomendaría no aplicar fósforo al suelo, 27,78 % de las muestras se ubicaron entre 31 y 100 mg kg⁻¹ y 60 % entre 100 y 250 mg/kg. Estos niveles de P en los suelos son excesivamente altos y podrían dar lugar a una reducción en la absorción y utilización del zinc en la planta (Jones, J. Jr. 1998). En general se considera que un contenido de P en el tejido vegetal de 1,00 % como nivel potencial de toxicidad, desafortunadamente no se disponen de datos de análisis foliar de la papa.

En el caso del potasio solo el 4,3 % de las muestras se ubicaron por debajo del nivel máximo

Cuadro 8. Pérdidas de nitrógeno por ecurrimiento bajo diferentes sistemas de manejo los suelos.

| Cultivo | Sistema labranza | N kg/ha | Fuente |
|---------|----------------------|---------|----------------------|
| SORGO | Convencional | 36,00 | Casanova et al. 1999 |
| | Minima | 4,70 | |
| SORGO | Residuos gramineas | 10,42 | Torres et al. 2005 |
| | Residuos Leguminosas | 4,20 | |
| SORGO | Cultivo desnudo | 20,00 | Lobo, D. 1990 |
| CAFÉ | Cultivo con residuos | 3,00 | Arellano R. G. 2000 |
| | Sombra | 0,60 | |
| | Sin sombra | 0,48 | |

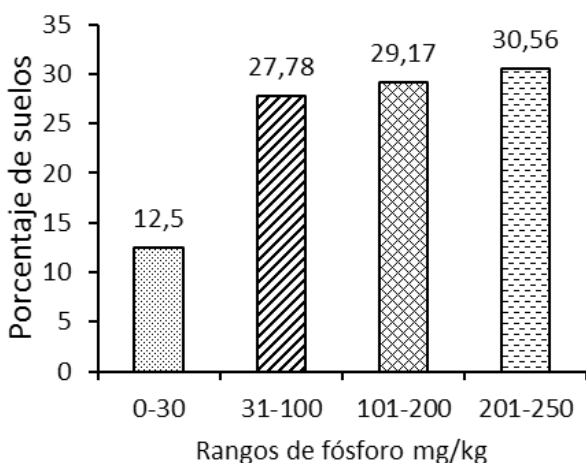


Figura 7. Porcentajes de suelos en rangos de fósforo en los suelos cultivados con papa.

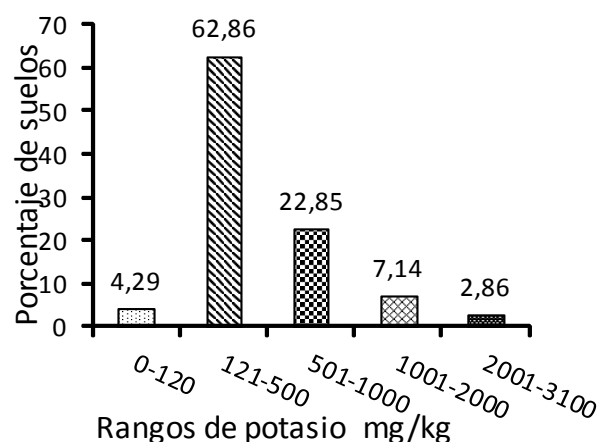


Figura 8. Porcentajes de suelos en rangos de potasio en los suelos cultivados con papa.

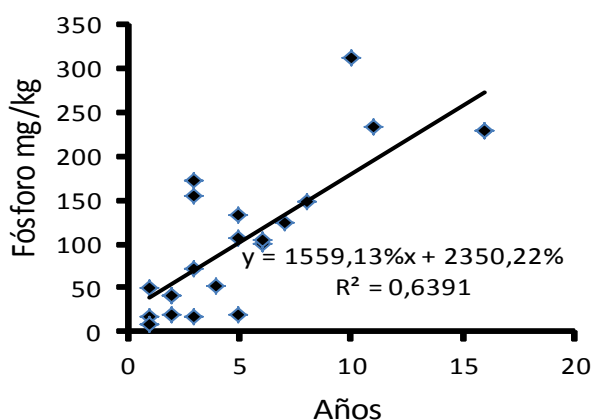


Figura 9. Fósforo disponible y tiempo de fertilización en los suelos con papa en los Andes.

recomendado que es 120 mg/kg aproximadamente 10 % de las muestras mostraron niveles de K tan altos como de 1000 a 3100 mg/kg.

Los datos de fósforo y potasio en el suelo se ajustaron a regresiones lineales con los años de fertilización (Figuras 10 y 11). El ajuste para fósforo-años mostró un coeficiente de determinación de 0,64 lo que explicaría que el enriquecimiento de los suelos con fósforo se debe en el 64% de los casos a la aplicación de fuentes inorgánicas y orgánicas de fósforo en el tiempo. El coeficiente R^2 para potasio en el suelo y años fue de 0,50 es

decir que la acumulación de potasio en los suelos se puede atribuir en el 50 % de los casos a la aplicación continua de fertilizantes y abonos ricos en potasio.

La disponibilidad de fósforo en los suelos considerados mostró estar fuertemente vinculada al pH de los suelos con un coeficiente R^2 de 94, que explicaría en el 94% de los casos que la disponibilidad de fósforo esta asociada al nivel de pH de los suelos (Figura 11).

Actualmente en el país hay necesidad de crear condiciones para lograr cosechas de altos rendimientos, libres de contaminantes como metales pesados y nutrientes. Este es un objetivo que debe ser considerado con carácter de urgencia, en vista de los problemas que existen, los cuales los conocemos solo en parte.

Es necesario formar un equipo de trabajo bajo una sola dirección, dentro de un programa cuyo objetivo sería la solución del problema de la contaminación, de los suelos y cosechas, con metales pesados y nutrientes. El programa debería ser financiado por las empresas interesadas, con la contribución del estado.

Por otra parte, las instituciones de investigación públicas y privadas deberían desarrollar programas cooperativos a largo plazo para estudiar y dar solución a la contaminación de los suelos con nutrientes, en especial fósforo y potasio.

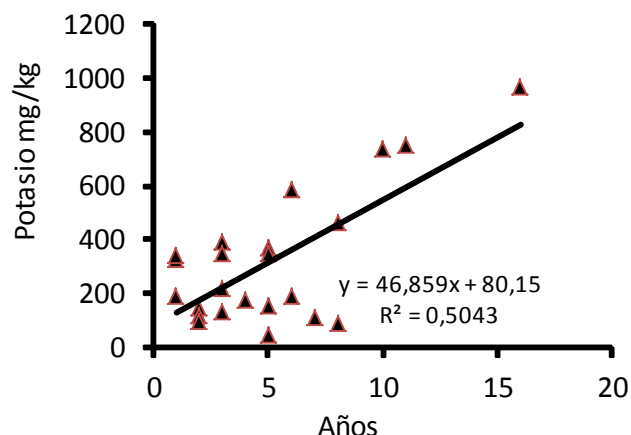


Figura 10. Potasio disponible y tiempo de fertilización en los suelos con papa en los Andes.

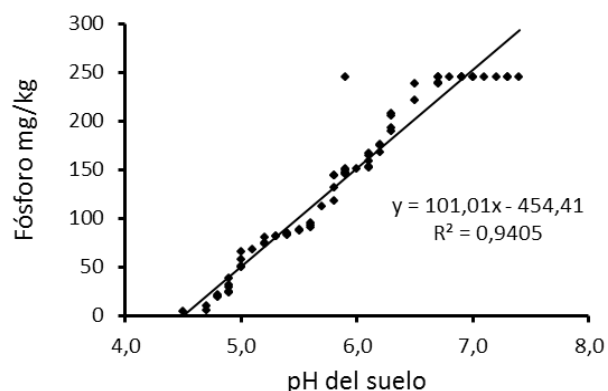


Figura 11. Efecto del pH de los suelos bajo producción de papa en los Andes sobre el fósforo por Olsen.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Adams, M.L.; F. J. Zhao; S.P. Mc Grath; F. A. Nicholson and B.J. Chambers. 2004. Predicting cadmium concentration in wheat and barley grain using soil properties. *Journal of Environment Quality*. 33: 352-541.
- Alam, M.G.; S. Tocunagua and F. Stagnitti. 2007. Removal of arsenic from contaminated soils using different salt extractants. *J. Environmental Sci. Health. Part A*. 42: 447-451.
- Ali, H. E. 2013. Phytoremediation of heavy metals concepts and applications. *Chemosphere*. 91: 869-881.
- Ali, Z.; R.N. Malik; Z.K. Shinwari and A. Qadir. 2014. Enrichment, risk assessment and statistical apportionment of heavy metals in Tanneray affected areas. *Int. J. Environ. Sci.Tech.*: 1-14
- Anderson, A. and M. Hahzin. 1981. Cadmium effects from phosphorus fertilization in field experiments. *Swedish J. Agric. Res.* 11:3-10.
- Arellano, R.G. 2000. Pérdida de suelo y nutrientes en agrosistemas de café en la subcuenca del río Castán, Trujillo, Venezuela. *Revista Forestal Venezolana*. 44: 79-86.
- Atafar, Z.; A. Mesdaghinia; J.Noun; M. Homase; M. Yunesian; S. W. Ahmadimoghaddam; Mahvi, A.H. 2010. Effect of fertilizer application on soil heavy metal concentration. *Environ. Monit. Assess.* 160: 83-89.
- Baranciková, G.; M. Madaras, and O. Rybar. 2004. Crop contamination by selected trace elements. *Journal of Soil and Sediments*. 4: 37-42.
- Basta, N.T.; J. A. Ryan and R. L. Cheney. 2005. Trace elements chemistry in residual-treated soils: key concepts and metal bioavailability. *Journal of Environmental Quality*. 34: 49-63.
- Bremmer, H. 2005. The arsenic problem in Bangladesh. *Trop. Agric. Associat. News. Antalya, Turkey*. *Environ. Int.* 29:631-640.
- Camilotti, F.; Silva A.R. B.; Marques, M.O. 2012. Biomass and yield of peanut growth on tropical soil amended with sewage sludge contaminated with lead. *Appl. Soil. Ecol.* 2012: 1-6.
- Casanova, E.; M.L. Paez; O.S. Rodriguez. 1989. Pérdidas de nutrientes por erosión bajo diferentes condiciones de manejo en dos suelos agrícolas. *Rev. Fac. Agronomía, Alcance* 3. *Erosión Hídrica Diagnóstico y Control*. 12 p.

- Chen, S.L.; S.J. Yeh; M.H. Yang and T.H. Lin. 1991. Trace element concentration and arsenic speciation in the well water of a Taiwan area with endemic black foot disease. *Biol.Tr. Elem. Res.* 48: 263-274.
- Cai, Q-Y.; MO. C-H; Wu Q-T.; Zong Q-Y; Katsoyiannis A. 2007. Concentration and speciation of heavy metal in six different sewage sludge-composts. *J. Hazzard Mater.* 147: 1063-1072.
- CODEXALIMENTARIUSCOMMISSIUM. 2019. Cxs 193-1996. Adaptada en 1996. Revisada en 1997-2009, enmendada en 2010-2019.
- Crozier, J. 2012. Heavy metals in cocoa. International workshop on possible E. U. regulations on cadmium in cocoa and chocolate products. 3^{er} and 4th may.
- Doelsch, E.; B. Derocha; V. Van de Kerchove. 2006. Impact of sewage sludge spreading on heavy metal speciation in tropical soils. *Chemosphere* 65: 285-293.
- Govence, N.; O. Alagha; G. Tuncel. 2003. Investigation of multielement composition in Antalya. *Turkey Environ. Int.* 29: 631-640.
- Grand, C.A. and S.C. Sheppard. 2008. Fertilizer impacts on Cadmium availability in Agricultural soils and crops. *Human Assessment* 14: 210-228.
- Grant, C.A.; D.N. Flaten; D.J. Tamasiewicz and S. C. Shappard. 2001. The important of early season phosphorus nutrition. *Can. J. Plant Sc.* 81: 211-224.
- Heikens, A. 2006. Arsenic contamination of irrigation water soil and crops in Bangladeesh: Risk implications for sustainable agriculture and food safety in Asia. Food and Agriculture Organization of the United Nations. Regional Office for Asia and the Pacific. Bangkok.
- Huang, S-W.; Jin J-Y. 2008. Status of heavy metals in agricultural soils as affected by different patterns of land use. *Environ. Monit. Assess.* 139: 317-327.
- International Cocoa Organization (ICCO). 2012. International Workshop on Cadmium in Cocoa and Chocolate Products.
- Islam, M. R.; M. Jairuddin and S. Islam. 2004. Assessment of the arsenic in the water-soil-plant systems in Gangetic flood plains of Bangladesh. *Asian Journal of plant Sciences* 3: 489-493.
- International Cocoa Organization (ICCO). 2012. International workshop on cadmium in cocoa and chocolate products.
- Izquierdo, A.R. 1998. Determinación de la contaminación con cadmio en el cultivo de cacao (*Theobroma cacao* L.) y su posible origen en la region de Barlovento, estado Miranda. Tesis de maestría, Tutor Dr. Ricardo Ramirez, Postgrado de Ciencias del Suelo, Facultad de Agronomía, UCV.
- Jarup, L. 2003. Hazards of heavy metal contamination. *Br. Med. Bull.* 68:167-182.
- Jensen, A.; F. Bro-Rasmussen. 1992. Environmental cadmium in Europe. *Reviews of Environmental Contamination and Toxicology.* 125: 101-181.
- Jonathan, M.; V. Ram-Moham and S. Srinivasalu. 2004. Geochemical variations of major and trace elements in recent sediments of the Gulf of Mannar, the Southeast Coast of India. *Environ. Geol.* 45: 466-480.
- Jones, J.B. Jr.; B. Wolf; H.A. Mills; 1991. *Plant Analysis Handbook. Micro and macro.* Publishing Athens. EUA.
- Jones, J. B., Jr. 1998. Phosphorus toxicity in tomato plants: when and how does it occur. *Commun. Soil Sci. Plant Anal.* 29: 1779-1784.
- Kábata-Pendias, A.; K. Wiacek. 1985. Excessive uptake of heavy metal by plants from contaminated soil. *Soil Sci. Ann.* 36: 4-36.
- Kábata-Pendias, A. 2011. Trace elements in soils and plants. 4th edn. CRC. Boca Raton. California, SA.

- Kirkham, M.B. 2006. Cadmium in plants in polluted soils: effects of soil factors, hyperaccumulation and amendmens. *Geoderma*. 137: 19-33.
- Kukier, U.; C.A. Peters; R.L. Chaney; J.S. Angle and R.J. Roseberg.2004. The effect of pH on metal accumulation in two Alyssun species. *Journal of Environment Quality*. 33: 2090-2102.
- Kuo, S.; B. Huang and R. Bembenck. 2004. The availability to lecttuce of zinc and cadmium in a zinc fertilizer. *Soil Science* 169: 363-373.
- Lassat, M.M. 1999. Phytoextraction of metals from contaminated soils: A review of plant/soil/metal interaction and assessment of pertinent agronomic issues. *Journal of Hazardous Substance Research*. 2: 1-23.
- Lobo, D. 1990. Pérdidas de agua y suelo y nutrimentos en un alfisol de Chaguaramas , estado Guárico, bajo coberturas diferentes. *Agron. Trop. Serie Edafologia*. 40: 79-89.
- Mattissek, R. 1990. Metales pesados en cacao y los productos del cacao. Organización Internacional del Cacao. ICCO. 20 p.
- Mishra, V.K.; Upahyay, A.R.; Tripatti, B. 2009. Bioaccumulation of heavy metals and the organochlotine pesticides (DDT and BHC) in crops irrigated with secundaru treated waste wáter. *Environ. Monit.Assess*. 156: 99-107.
- Pakpain, P.; S. Sreesai; R. Delaune. 2000. Bioavailability of heavy metals in swage sludge amended Thai soils. *Water Air Soil Pollut*. 122: 163-182.
- Pehlivan, E.; A.M. Ozkan; S. Dinc and S. Parlayici. 2009. Adsorption of Cu²⁺ and Pb²⁺ ion on dolomite powder. *Journal of Hazardous Materials*. 167: 1040-1079.
- Peryea, F. J. 1998. Phosphorus starter fertilizer temporarily enhances soil arsenic uptake by apple trees grown under field conditions. *Hot. Science* 33: 826-829.
- Pigna, M.; V. Cozzolino; A. Giandonato-Caporalo; M.L. Mora; V. DiMeo; A.A. Jara and A. Violante. 2010. Effects of phosphorus fertilization on arsenic uptake by wheat grown in polluted soils. *J. Soil Sci Plant Nutr*. 10: 428-442.
- Ramirez, R.; N. Subero; O. Sequera; J. Parra. 2015. Contenido de cadmio en arroz (*Oriza sativa* L.) en suelos fertilizados con fosfatos por un período entre 5 y 51 años. *Rev. Fac. Agron. UCV*. 41: 43-48.
- Shorin, H.; C. Gomez; E. Marcano; M. Quintal y P. Araujo. 1992. Informe de análisis de treinta muestras de almendras de cacao y treinta muestras de suelos de FONCACAO Miranda. Instituto Venezolano de Investigaciones Científicas. Centro de Química. Altos de Pipe. Edo. Miranda, Venezuela. 4 p.
- Sposito, G. 1983. The Chemical Forms of the Metals in the Soils. In: I. Thornton, Ed. *Applied Environmental geochemistry*. Academic Press, London. pp 123-170.
- Sue, C.N. 2014. A review of heavy metal contamination in the soil world wide: situation, impact and remediation thecniques. *Environ Skep Crit*. 3: 24-38.
- Sukanchan,P; M. Kshipra; M. Jign. 2019. Arsenic contamination in South Asian Regions: The difficulties, chalanges and visión for the future. In: *Separation Science and Thecnology*. Vol. 11. pp 113-123.
- Torres, D.A.; A. Florentino; M. Lopez. 2005. Pérdidas de suelo y nitrógeno por escorrentia en un suelo Vertisol degradado bajo diferentes practices de manejo consevacionista en Guárico, Venezuela. *Agron. Trop*. 55: 475-496.
- Traunteld, J. H. and D. L. Clement. 2001. Lead in Garden Soils. Home and Gardens. Maryland Cooperative Extension, University of Maryland. http://www.hgig.umd.edu/media/documents/hg_18.pdf.

- Tsadilas C.D.; N.A. Karaivazoglon; N.C. Tsotsolis; S. Stamatiadis and V. Samaras. 2005. Cadmium uptake by tobacco as effect by liming, N form and year of cultivation. *Environmental Pollution* 134: 239-24.
- Twawornchaisit, U.; C. Polprasert. 2009. Evaluation of phosphate fertilizers for the stabilization of cadmium in highly contaminated soils. *J. Hazard Mater.* 165: 1109-1113.
- Uchimiya, M.; C. H. Wartelle; V. M. Boddu. 2012. Sorption of triazine and organo phosphorus pesticides on soil and biochar. *J. Agric. Food Chem.* 60: 2989-2997.
- United States Environment Protection Agency (USEPA) 2002. Supplemental guidance for developing soil screening levels for superfund sites available from <http://www.epasuperfund/health/comedia/soil/index.htm>.
- Varsa, S.J.; M. Violeta; V.M. Seneza; I. Marija and S. Strahinja. Part I. Sources of heavy metals in soils, In: *Heavy metals contamination of soils*. Ed. Irena Sheramenti y Agit Varna. Springer International Publishing Switzerland 2015.
- Vaughan, D.J. 2006. Arsenic. *Elements* 2:71-75.
- Van Kauwenborgh, S.J. 2001. Cadmium in phosphate rock and fertilizers. *World Fertilizer Conference*. Pg 25. Chicago, Illinois, EUA.
- Vera, E. 2010. Factores que limitan el rendimiento del maíz en parcelas comerciales ubicadas en la Colonia Agrícola Turén del estado Portuguesa. Trabajo de grado. Facultad de Agronomía, Universidad Central de Venezuela. 166 p.
- Wagner, G. I. 1993. Accumulation of cadmium in crop plants and its consequences to human health. *Adv. Agron.* 51: 173-212.
- Yeung, A.T. and C. Hsu. 2005. Electrokinetic remediation of cadmium contaminated clay. *Journal of Environmental Engineering*. 131: 298-304.
- Zabala, Y. J. and Duxbury. 2008. Arsenic in rice: I. Estimating normal level of total arsenic in rice grains. *Envir. Sci. Technol.* 42: 3856-3860.
- Zarcinas, B.A.; Ishak, C.F.; Mclaughlinz, M. G.; Cozens, G. 2004. Heavy metals in soils and crops in southeast Asia. 1. Peninsular Malaysia. *Environmental Geochemistry and Health*. 26: 343-357.