

CONTENIDO DE METALES PESADOS EN ABONOS ORGÁNICOS, SUSTRATOS Y PLANTAS CULTIVADAS EN ORGANOPÓNICOS

Heavy metals content in organic manures, substrates and plants cultivated in organoponics

Mirelys Rodríguez Alfaro✉, **Olegario Muñiz Ugarte**,
Bernardo Calero Martín, **Alfredo Montero Álvarez**,
Francisco Martínez Rodríguez, **Teudys Limeres Jiménez**,
Mercedes Orphee Montoya y **Adriana M. de Aguilar Accioly**

ABSTRACT. The use of organic manures of different sources, like composts obtained from urban solids residuals (USR), in urban agriculture organoponics, is an alternative for low input food production. In order to use these materials, it is required the systematic evaluation of heavy metals (HM) content, because they can accumulate in soils and substrates altering their biological balance and affecting crop yields and animal health, including human health. It was evaluated the analytical methodology with highest accuracy and recovery for the determination of Cadmium (Cd), Lead (Pb) and Nickel (Ni) and it was used in the determination HM content in organic manures and substrates as well as their effect in the vegetables produced in organoponics at La Habana and Guantánamo. It was found that the compost produced from USR from rubbish dump not previously classified and the substrates elaborated with them, present HM content, specially Pb and Cd, over the maximum permissible limits (MPL), and must not be employed for food production, because these metals are traslocated to the edible organs of the cultivated vegetables.

RESUMEN. La utilización de abonos orgánicos (AO) de diversos orígenes, como los *compost* obtenidos a partir de residuales sólidos urbanos (RSU), en organopónicos de la agricultura urbana, es una alternativa para la producción de alimentos con bajos insumos. Para el uso de estos productos, se requiere una evaluación sistemática de sus contenidos en metales pesados (MP), porque pueden acumularse en los suelos y sustratos, alterar el equilibrio biológico de los mismos y afectar al rendimiento de los cultivos y la salud animal, inclusive la del hombre. Se evaluó la metodología analítica de mayor exactitud y porcentaje de recobrado en la determinación de Cadmio (Cd), Plomo (Pb) y Níquel (Ni) y se empleó para el estudio del contenido de estos MP en AO y sustratos así como su efecto en las hortalizas que se producen en organopónicos de La Habana y Guantánamo. Se encontró que los *compost* obtenidos a partir de los RSU provenientes de la basura doméstica extraída de los vertederos sin previa clasificación y los sustratos preparados a partir de estos, presentan contenidos de MP, especialmente Cd y Pb, por encima de los límites máximos permisibles (LMP), por lo que no deben ser empleados para la producción de alimentos, ya que estos metales se traslocan a los órganos comestibles de las hortalizas cultivadas en ellos.

Key words: heavy metals, organic manures, vegetables

Palabras clave: metales pesados, abonos orgánicos, hortalizas

M.Sc. Mirelys Rodríguez Alfaro, Aspirante Investigador; Dr.C. Olegario Muñiz Ugarte y Bernardo Calero Martín, Investigadores Titulares; Francisco Martínez Rodríguez, Investigador Auxiliar, Instituto de Suelos, Autopista Costa-Costa, km 8½., Apdo. 8022, CP 10 800, Capdevila, Boyeros, La Habana; M.Sc. Alfredo Montero Álvarez, Investigador Auxiliar, Centro de Aplicaciones Tecnológicas y Desarrollo Nuclear, La Habana; M.Sc. Teudys Limeres Jiménez, Investigador Agregado y Mercedes Orphee Montoya, Especialista, Instituto de Suelos, Dirección Provincial Guantánamo; Dra.C. Adriana M. de Aguilar Accioly, Investigador Titular, Embrapa Mandioca y Fruticultura Tropical, Cruz Das Almas, Bahía, Brasil.

✉ sccsmuniz@ceniai.inf.cu; bcalero@minag.cu

INTRODUCCIÓN

En la década de los años noventa ocurrió una disminución del consumo de los fertilizantes minerales en Cuba y con ello, la necesidad de encontrar alternativas para el mantenimiento de la producción agrícola. Con este fin, el empleo de abonos orgánicos (AO) de diversos orígenes en los organopónicos de la agricultura urbana, resultó una alternativa eficaz como nueva forma para la producción de alimentos con bajos insumos (1). Los abonos orgánicos como el estiércol de diferentes orígenes, la cachaza (residuo de la industria azucarera), el humus de

lombriz, la gallinaza, el guano de murciélago, los residuos de cosecha, los lodos residuales y biosólidos y los *compost* de diversos materiales, como los de residuales sólidos urbanos (RSU), son materiales comúnmente utilizados para elevar la fertilidad de los suelos y mejorar los rendimientos agrícolas (2). Para el uso de estos productos se requiere una evaluación sistemática de sus contenidos en metales pesados (MP) porque pueden acumularse en los suelos y los sustratos (3, 4), provocar alteración en el equilibrio biológico de los mismos (5, 6) y afectar el rendimiento de los cultivos y la salud humana (7, 8).

En varios países del mundo, uno de los mayores problemas de la contaminación en los suelos, las aguas y la atmósfera se produce por una mala gestión de los RSU, es decir, de todo desecho doméstico, de los centros comerciales y de servicios, de los hospitales y otros, depositados en los vertederos sin previa clasificación (9). En Cuba, no son muchos los estudios realizados sobre este tema; no obstante, desde el año 2006, el Instituto de Suelos del Ministerio de la Agricultura, emitió una circular de prohibición del uso de los RSU como fuente de abonos orgánicos en la agricultura, por la posibilidad de presentar contenidos elevados de MP, que pueden ser incorporados al suelo y a los sustratos empleados para la producción (2).

Otro aspecto de interés resulta contar con una metodología analítica capaz de extraer contenidos de los MP con alto porcentaje de recobrado para la determinación de los contenidos de los MP, y que puedan ser comparados con los contenidos totales de las referencias internacionales.

El objetivo del trabajo fue definir una metodología analítica para lograr una mayor exactitud, confiabilidad y porcentaje de recobrado en la determinación de los MP, así como evaluar el contenido de Cadmio (Cd), Plomo (Pb) y Níquel (Ni) en AO, sustratos y hortalizas cultivadas en organopónicos de la provincia de La Habana y de Guantánamo.

MATERIALES Y MÉTODOS

Para seleccionar la metodología analítica de mayor porcentaje de recobrado y exactitud, se compararon dos métodos de extracción de MP en muestras de sustratos tomadas de tres organopónicos de La Habana (variantes H-I, H-II y H-III)(Tabla I).

Método I (M-I): Mineralización de 0.25 g de las muestras con *aqua regia*, mezcla de ácidos nítrico y clorhídrico (HNO_3/HCl) relación 1:3, para la extracción de los contenidos de MP (10).

Método II (M-II): Mineralización de 1 g de las muestras con mezcla triácida. La disolución inicial, se realizó con ácido fluorhídrico (HF) para disolver los silicatos y para oxidar los altos contenidos de materia orgánica se utilizó una mezcla de ácidos perclórico y nítrico ($\text{HClO}_4/\text{HNO}_3$) (11).

Se comparó la metodología analítica propuesta en el M-I con la propuesta en el M-II. Como criterio de confiabilidad se empleó el cálculo del porcentaje de veracidad, exactitud o de recobrado (12), donde:

$$\text{Veracidad (\%)} = \frac{(\text{valor promedio M-II} - \text{valor promedio M-I})}{\text{Valor promedio M-II}} \times 100$$

Se empleó el paquete estadístico *Statgraphics Plus 5.1* (2001), mediante un análisis multifactorial aleatorio, con cuatro niveles para el factor A (sustratos) y dos niveles para el factor B (método). La variable respuesta fue la concentración del MP y se utilizó como criterio de diferencia entre las medias la prueba de Fischer con 95 % de confiabilidad.

En La Habana, se tomaron muestras de cuatro organopónicos en producción (UBPC "Vivero Alamar"; Organopónico "146 y 25"; UBPC "1º de Julio" y UBPC "Las Margaritas"). Los sustratos muestreados fueron mezclas de suelos con diferentes tipos de AO (Tabla I); para el organopónico "Vivero Alamar" (variante H-I), el sustrato se obtuvo a partir de suelo Ferralítico Rojo Típico (13), mientras que para los restantes se utilizó suelo transportado no identificado (variantes H-II, H-III y H-IV). Los abonos orgánicos empleados en estos organopónicos y la composición de las variantes se muestran en la Tabla I.

En la ciudad de Guantánamo se montaron dos experimentos, uno en el organopónico "El Girasol" y otro en el organopónico "El Jardín del Caribe", conformados por dos canteros de 3 m de largo por 1 m de ancho para cada caso. Para la preparación de los sustratos se utilizó un suelo Pardo Sialítico (SPS) (13) y el *compost* que se aplicó se produjo a partir de los Residuales Sólidos Urbanos (RSU) procedentes del Centro de Procesamiento de Residuales Sólidos Urbanos (CEPRU) Isleta, el cual recibe la basura doméstica sin previa clasificación y posteriormente se clasifica de forma manual, antes de conformar los burros para la producción del *compost* (14). En el organopónico «El Girasol» se realizó la siembra de la sucesión de hortalizas lechuga-aceituna-rábano-lechuga, y en el organopónico «El Jardín del Caribe» la sucesión pimienta-aceituna. En ambos casos, la producción no se comercializó.

Para las muestras de AO, se tomaron en cada pila tres muestras compuestas de 10 submuestras. En los sustratos y las hortalizas, se tomaron tres muestras compuestas conformadas por 20 submuestras en zigzag a lo largo de cada cantero. Las muestras de hortalizas fueron divididas en frutos, hojas y tallos en el caso del pimienta y del rábano, así como en hojas y tallos para la aceituna y la lechuga. Este procedimiento de muestreo se utilizó para todos los casos en estudio, la composición de las variantes se muestra en la Tabla I.

La extracción de las muestras de suelos, abonos orgánicos y sustratos se realizó por la metodología analítica descrita en el método que logra un mayor porcentaje de recobrado.

La extracción de las muestras de plantas se realizó con mezcla de $\text{HClO}_4/\text{HNO}_3$ procedimiento descrito en Norma Analítica (15). Para la determinación de los contenidos totales de Cd, Pb y Ni se empleó un espectrofotómetro de absorción atómica con llama (SP-9 Pye-Unicam).

Tabla I. Características de las variantes

Variante	Organopónico	Composición del sustrato	Sucesión de cultivos
H-I	UBPC "Vivero Alamar", municipio Habana del Este	50 % suelo Ferralítico Rojo+50 % abono orgánico (humus de lombriz)	Lechuga (<i>Lactuca sativa</i>)
H-II	UBPC "1 de Julio", municipio Cerro	50 % suelo transportado+50 % abono orgánico (<i>compost</i> de residuo de cosecha)	
H-III	"Organopónico 146 y 25", municipio Playa	50 % suelo transportado+50 % abono orgánico (<i>compost</i> de estiércol vacuno y residuos vegetales)	
H-IV	UBPC "Las Margaritas", municipio Marianao	50 % suelo transportado+50 % abono orgánico (<i>compost</i> de estiércol vacuno)	Acelga (<i>Beta vulgaris</i>)
G-I	"El Jardín del Caribe", municipio Guantánamo	50 % suelo Pardo Sialítico (SPS)+10 % <i>compost</i> CEPRU Isleta	Sucesión: pimiento (<i>Capsicum annuum</i>)-acelga (<i>Beta vulgaris</i>)
G-II		50 % SPS+50 % <i>compost</i> CEPRU Isleta	
G-III	"El Girasol", municipio Guantánamo	50 % SPS+10 % <i>compost</i> CEPRU Isleta	Sucesión: lechuga (<i>Lactuca sativa</i>)- acelga (<i>Beta vulgaris</i>)-rábano (<i>Raphanus sativus</i>)- lechuga (<i>Lactuca sativa</i>)
G-IV		50 % SPS + 50 % <i>compost</i> CEPRU Isleta	

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Selección de la metodología analítica

En la Tabla II se muestran los valores de MP obtenidos por los dos métodos de extracción en las muestras de sustrato utilizadas y los límites máximos permisibles (LMP) para cada metal. De acuerdo a los resultados, el M-I extrae significativamente menos cantidad de Pb y Ni que el M-II, mientras que la determinación del contenido de Cd por ambos métodos, se encuentra por debajo del límite de detección, para las condiciones de análisis empleadas y para las muestras utilizadas en la comparación entre los métodos analíticos, lo que indica que el equipo de absorción atómica empleado no es capaz de detectar concentraciones tan bajas de Cd, por lo que para muestras con muy bajos contenidos de este metal, debe emplearse un equipo de mayor sensibilidad como el de Absorción Atómica con Plasma Acoplado.

El porcentaje de veracidad, exactitud o confianza del M-I considerando el valor del M-II como valor más exacto o real, se muestra en la Tabla III.

Para valores superiores al 15 % de veracidad, mayor es la diferencia significativa entre los métodos, por lo que es insuficiente el porcentaje de recobrado de los metales por el M-I respecto al M-II (12).

La utilización del *aqua regia* (mezcla de HNO_3/HCl) (método M-I) en las muestras de sustrato y abono orgánico, no fue capaz de extraer, totalmente, aquellos metales asociados a los silicatos y a la materia orgánica; sin embargo, el método en el que se emplea la mezcla triácida conformada por HF, HClO_4 y HNO_3 (M-II), sí lo logra. Este resultado está asociado a que el HF es capaz de disolver los silicatos y extraer los MP que se encuentran asociados a ellos.

Tabla II. Contenidos de los MP según los dos métodos analíticos

Muestras de sustrato	Métodos	Pb	Cd ($\text{mg}\cdot\text{kg}^{-1}$)	Ni
1	M-I	18.7 d	<1.0	97.3 d
	M-II	66.5 c	<1.1	196.2 c
2	M-I	29.6 d	<1.0	75.7 d
	M-II	98.1 c	<1.1	126.8 c
3	M-I	20.3 d	<1.0	73.6 d
	M-II	76.6 c	<1.1	160.7 c
4	M-I	189.2 b	<1.1	41.6 b
	M-II	251.7 a	1.6	152.0 a
LMP (*)		150	3	100

M-I (método I): Extracción con *aqua regia*;

M-II (método II): Extracción con mezcla triácida.

LMP(*) (16)

Letras iguales, para cada metal y entre métodos, no difieren significativamente, para un 99 % de confiabilidad

Tabla III. Porcentajes de veracidad obtenidos en la comparación de métodos analíticos

Muestras de sustrato	Pb	Cd	Ni
	(% veracidad)		
1	71.9	-	50.4
2	69.8	-	40.3
3	73.5	-	54.2
4	24.8	-	72.6

Por otra parte, la mezcla triácida es capaz de oxidar la materia orgánica desplazando los MP que puedan estar asociados a ella.

Al comparar los contenidos de Ni extraídos por el M-I con el máximo permisible según regulaciones internacionales (16), se observa que estos se encuentran por debajo de los límites, lo que indica que existe una cantidad del metal que no se extrae; mientras que con el M-II, los contenidos se encuentran por encima del LMP.

Resulta evidente, que una recomendación dada a partir de una determinación realizada por el método M-I, pone en riesgo el uso de un producto con contenidos elevados de MP, que no revela el análisis.

Contenidos totales de MP en los abonos orgánicos

La Figura 1 muestra el contenido total de Cd, Pb y Ni, obtenido por el M-II, en los AO empleados en los organopónicos de Guantánamo y de La Habana. Se realizó una comparación con los LMP, de mayor y menor exigencia (17).

El contenido total de los MP en los AO que se utilizaron en los organopónicos de Guantánamo, se encuentra por encima de los LMP del *compost* clase C de menor exigencia (17). Este resultado, puede estar asociado a que la basura doméstica extraída de los vertederos, que se utiliza para obtener el *compost*, contiene materiales como latas, pinturas, baterías y otros productos que son fuentes importantes de MP (2).

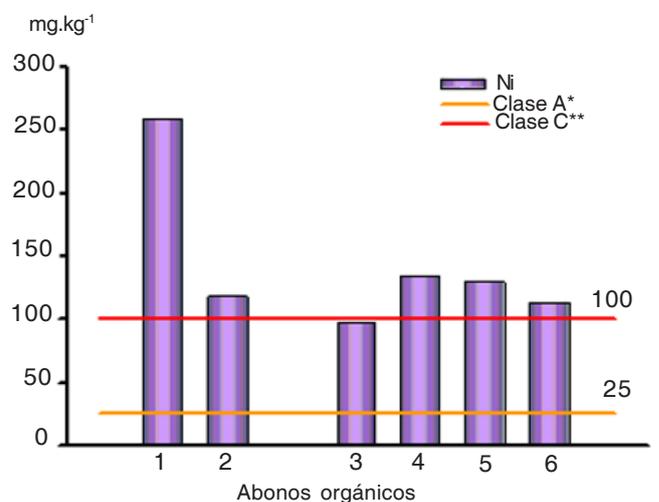
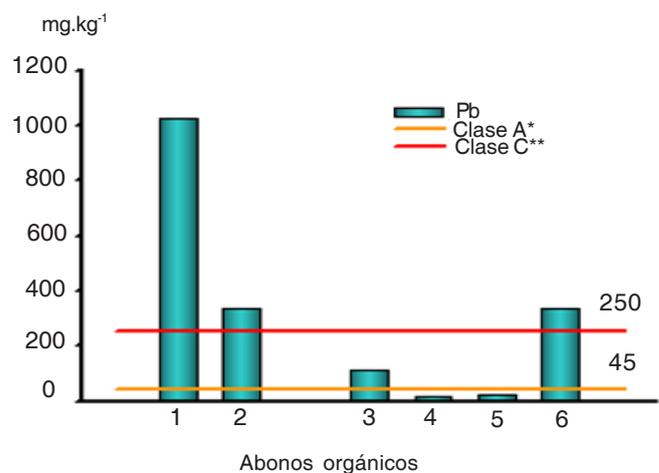
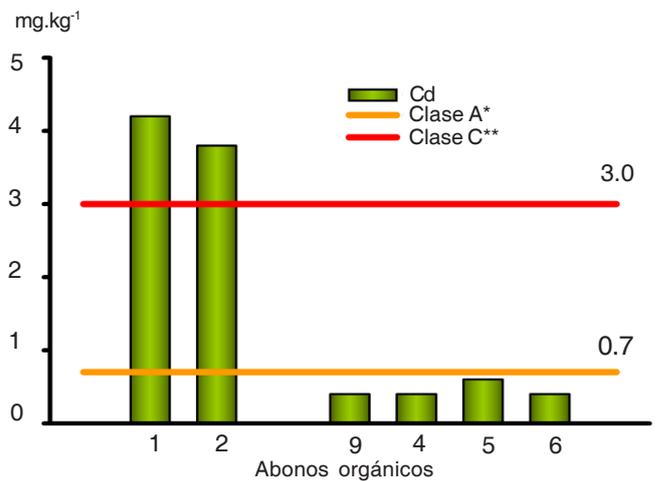
El contenido de Pb en el *compost* de estiércol vacuno utilizado como AO en el organopónico "Las Margaritas" (correspondiente al número 6 de los AO representados para el Pb en la Figura 1), se encuentra por encima del LMP; lo cual se asocia a que este estiércol se deposita en áreas cercanas a la calle 100, del municipio Marianao, avenida que presenta un elevado tránsito vehicular, lo que podría ser una fuente de MP (4).

Los contenidos totales de Ni, obtenidos en los AO que se emplean en los organopónicos de La Habana fueron elevados, al compararlos con el LMP para este metal, reportado en la literatura internacional (17). Este resultado puede estar asociado a que los abonos orgánicos provienen de estiércoles de animales, restos de cosechas y otros materiales orgánicos (2), reciben un aporte indirecto del material parental que dio origen al suelo, resultado que será explicado posteriormente.

Contenido total de MP en sustratos

La Tabla IV muestra el contenido de los MP en las muestras de sustrato estudiadas, así como los correspondientes LMP (16). El contenido total de Cd y Pb en el suelo utilizado para la preparación de los sustratos en Guantánamo, se encuentran por debajo de los LMP. Por el contrario, los contenidos de Ni son superiores a estos límites, lo cual puede estar asociado al material parental de algunos suelos de Cuba, resultados que coinciden con los obtenidos por algunos investigadores (18, 19).

Por el contrario, en los sustratos correspondientes a las variantes G-I, G-II, G-III y G-IV, se observa que el contenido de Cd, Ni y Pb se encuentra por encima de los LMP. Este resultado puede estar asociado a que para la preparación de los sustratos, se utilizó *compost* obtenido a partir de los RSU provenientes de la basura doméstica extraída de los vertederos sin previa clasificación, con contenido elevado de los MP.



(*) *compost* clase A de mayor exigencia (17)
 (**) *compost* Clase C de menor exigencia (17)
 1 y 2: *compost* de RSU (Guantánamo)
 3: humus de lombriz (La Habana)
 4: *compost* de estiércol vacuno y residuos vegetales (La Habana)
 5: *compost* de residuos de cosecha (La Habana)
 6: *compost* de estiércol vacuno (La Habana)

Figura 1. Contenido de MP en abonos orgánicos. Relación con los LMP

Tabla IV. Contenidos totales de MP en las muestras de suelo y sustratos

Muestras	Organopónico	Contenido total del MP mg.kg ⁻¹ (X ± s)		
		C d	P b	Ni
SPS		1.77 ± 0.05	23.20 ± 2.95	254.70 ± 2.52
G-I	El Jardín del Caribe	3.15 ± 0.59	152.00 ± 5.02	124.60 ± 6.33
G-II		3.61 ± 0.63	71.50 ± 20.60	223.30 ± 2.01
G-III	El Girasol	2.86 ± 0.50	132.90 ± 19.20	156.50 ± 9.66
G-IV		3.48 ± 0.90	399.60 ± 15.20	248.00 ± 12.99
H-I	UB PC "Vivero Alamar"	<1.00	66.46 ± 6.85	196.23 ± 5.94
H-II	UB PC "1 de Julio"	<1.00	98.06 ± 8.37	126.76 ± 5.25
H-III	"Organopónico 14 6 y 25"	<1.00	76.56 ± 7.78	160.66 ± 4.26
H-IV	UB PC "Las Margaritas"	1.60 ± 0.10	251.72 ± 28.00	152.55 ± 6.38
	LMP (*)	3	150	100

G-I, G-II, G-III y G-IV: variantes en Guantánamo, muestras de sustratos H-I, H-II, H-III y H-IV: variantes en La Habana, muestras de sustratos (*) LMP (16)

Los valores de concentración de los MP para los sustratos de los organopónicos de La Habana se encuentran dentro de los valores permisibles, excepto en el caso del sustrato correspondiente al organopónico «Las Margaritas» (variante H-IV), en el que el contenido de Pb es elevado y sobrepasa el LMP, resultado que puede asociarse a que, el abono orgánico utilizado presenta contenidos elevados de este metal; además, en la construcción inicial de los canteros de este organopónico, se empleó *compost* producido a partir de los RSU del vertedero de la calle 100 (2).

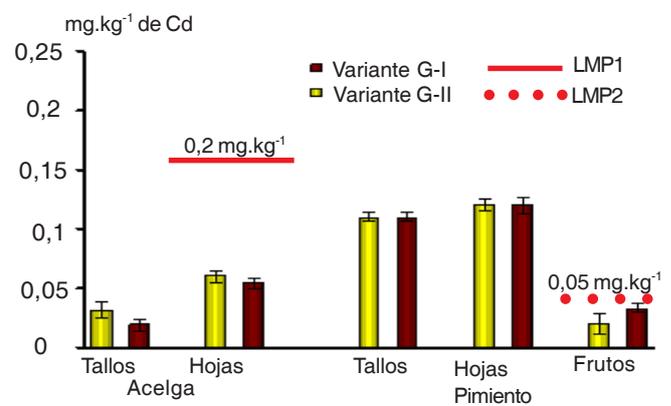
Los contenidos de Ni, para todos los casos, fueron elevados de acuerdo a los criterios internacionales, pero existen resultados (4, 18) que evidencian que para la evaluación de la contaminación del Ni en Cuba, no pueden emplearse los criterios de la literatura internacional; ya que algunos suelos cubanos, por su origen a partir de rocas ricas en este elemento, presentan contenidos del mismo superior a los reportados.

Contenidos de metales pesados en plantas

Guantánamo

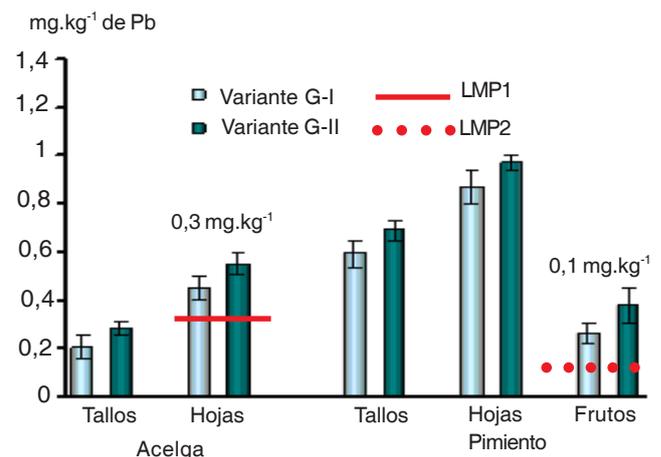
En las Figuras 2 y 3 se muestran las concentraciones de Cd y Pb, respectivamente, que se encontraron en la sucesión acelga-pimiento cultivadas en los sustratos correspondientes a las variantes G-I y G-II en el organopónico "El Jardín del Caribe", en Guantánamo.

No se encontraron diferencias significativas entre variantes para cada órgano de la planta para un 95 % de confianza (Figuras 2 y 3). Cuando se comparan los contenidos totales de Cd, con los máximos permisibles para hortalizas de hojas (0.2 mg.kg⁻¹) y de fruto (0.05 mg.kg⁻¹), en peso fresco (20), se observa que para las hojas de la acelga, el contenido de Cd, se encuentra por debajo del LMP, lo que la hace apta para su consumo. Para el caso del pimiento, la mayor concentración de Cd se encuentra en las hojas y el tallo y no se trasloca al fruto, de tal forma que podría ser consumida sin riesgo para el hombre, resultado que coincide con los reportados en la literatura (19).



LMP 1 y 2: para hortalizas de hojas y de frutos, respectivamente (20) No se encontraron diferencias significativas entre variantes, para cada órgano de la planta, con un 95 % de confianza

Figura 2. Contenidos totales de Cd en la sucesión de cultivo acelga-pimiento. Organopónico "El Jardín del Caribe"



LMP 1 y 2: para hortalizas de hojas y de frutos, respectivamente(20) No se encontraron diferencias significativas entre variantes, para cada órgano de la planta, con un 95 % de confianza

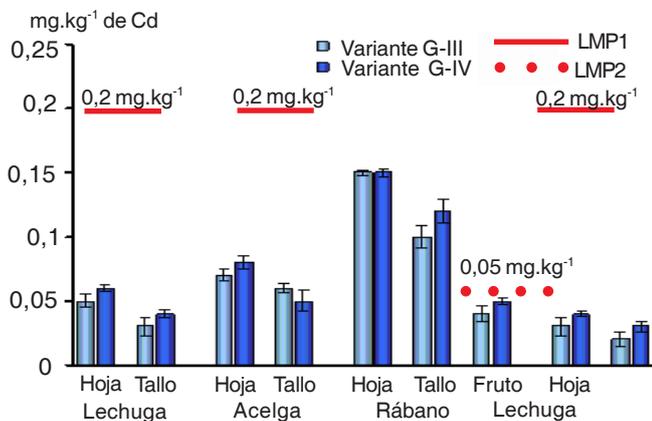
Figura 3. Contenidos totales de Pb en la sucesión de cultivo acelga-pimiento. Organopónico "El Jardín del Caribe"

Por el contrario, los contenidos totales de Pb (Figura 3), tanto en las hojas de la acelga como en el fruto del pimiento, sobrepasan los máximos permisibles para las hortalizas de fruto y de hojas respectivamente, lo que los hacen no aptos para su consumo por el hombre (21).

Al igual que para el Cd, en el caso del Pb, no hubo diferencias significativas entre las variantes para cada órgano de la planta.

Los valores elevados de Pb que se encontraron en estos cultivos confirman, que los *compost* obtenidos a partir de los RSU y los sustratos que se preparan a partir de estos, contienen altos contenidos de este metal, que provocan la contaminación de las hortalizas producidas en los mismos.

En las dos variantes del organopónico "El Girasol" (G-III y G-IV) se cultivaron cuatro hortalizas en sucesión, con el objetivo de evaluar la cantidad de cada MP que se trasloca a las plantas en un período mayor de tiempo. En las Figuras 4 y 5 se observan los contenidos de Pb y Cd respectivamente, comparados con los máximos permisibles (20).



LMP 1 y 2: para hortalizas de hoja y de fruto (20)
No se encontraron diferencias significativas entre variantes, para cada órgano de la planta, con un 95 % de confianza

Figura 4. Contenidos totales de Cd en la sucesión de cultivo lechuga-acelga-rábano-lechuga. Organopónico "El Girasol"

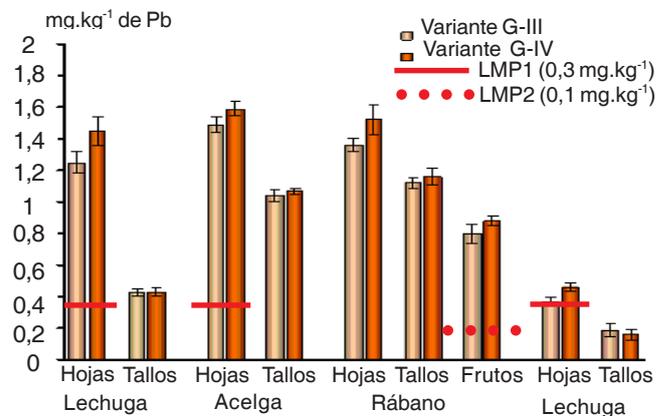
En todos los casos, las mayores concentraciones de Cd y Pb se encuentran en las hojas. La comparación entre las variantes, para ambos casos, indica que no existen diferencias significativas entre estas.

El contenido total de Cd (Figura 4) en las hortalizas de hojas, se encuentra por debajo del máximo permisible (20).

El Cd se acumula principalmente en las hojas y el tallo del rábano; sin embargo, en el fruto, si bien su concentración no rebasa el LMP para este tipo de hortaliza, resulta aconsejable que no sea consumido, ya que los valores se encuentran cercanos al mismo.

Por el contrario, cuando se compara el contenido total de Pb con los máximos permisibles para hortalizas de hojas y de fruto (Figura 5), se aprecia que los contenidos

de Pb, tanto en el fruto del rábano como en las hojas de las lechugas y de la acelga, se encuentran por encima de los máximos permisibles, lo cual aconseja que no sean consumidas por el hombre, ya que la ingestión de Pb provoca daños a la salud humana (21).



LMP 1 y 2: para hortalizas de hojas y de frutos, respectivamente (20)
No se encontraron diferencias significativas entre variantes, para cada órgano de la planta, con un 95 % de confianza

Figura 5. Contenidos totales de Pb en la sucesión de cultivo lechuga-acelga-rábano-lechuga. Organopónico "El Girasol"

Es importante señalar, que el elevado contenido de Pb se mantiene en todos los cultivos de la sucesión y que aun, en el cuarto, el metal se encuentra en las hojas en una concentración superior al LMP. Este resultado está asociado al alto contenido de Pb encontrado en los AO (*compost* de RSU) y los sustratos utilizados para su cultivo en estas condiciones.

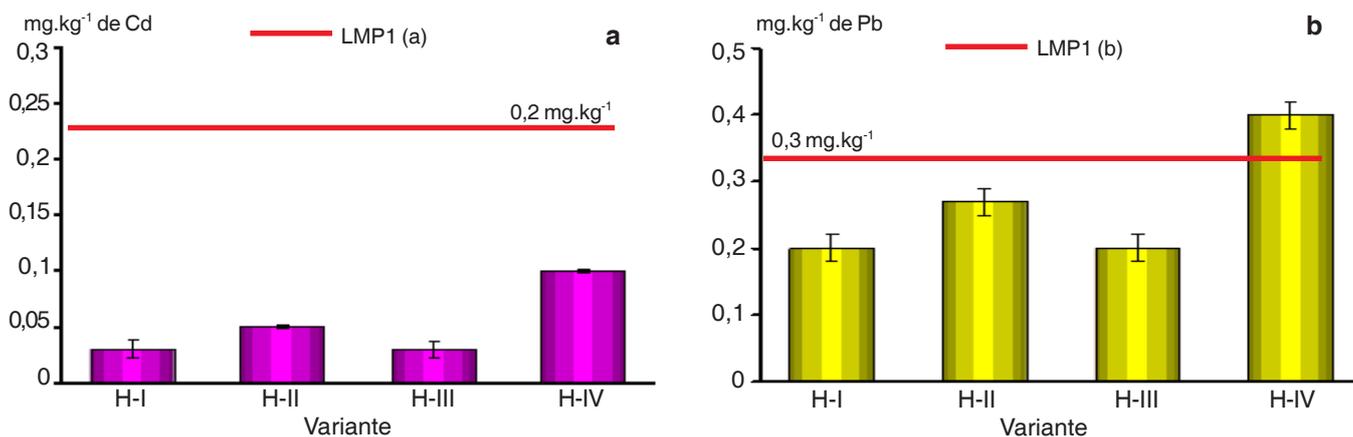
La Habana

La Figura 6 (a y b) muestra los contenidos de Cd y Pb respectivamente, comparadas con los LMP (20).

Las concentraciones de Cd y Pb encontradas en las lechugas producidas en los organopónicos de "Vivero Alamar" (H-I), "1ro de Julio" (H-II) y "Playa" (H-III) son inferiores a los máximos permisibles, por lo que no constituyen riesgo para la salud humana. Por el contrario, el contenido de Pb en la acelga cultivada en el organopónico "Las Margaritas" (variante H-IV) supera el LMP. Este resultado se corresponde con el elevado valor de Pb obtenido en el sustrato que se empleó para su producción (ver Tabla IV), lo que fue analizado anteriormente y no permite su consumo por el hombre (4).

CONCLUSIONES

La metodología analítica propuesta en la Instrucción IA 6746:11, donde se utiliza la mezcla triácida, permite determinar el contenido total de los MP en suelos, sustratos y AO con mayor confianza, exactitud y porcentaje de recobrado que en la ISO 11466, que emplea el *aqua regia*.



LMP 1 (a) y (b): para el Cd y Pb, respectivamente, en hortalizas de hojas (20)

Figura 6. Contenidos totales de Cd (a) y Pb (b) en la hortaliza de hojas. Organopónicos de La Habana

Los *compost* obtenidos a partir de la basura doméstica extraída de los vertederos sin previa clasificación y los sustratos preparados a partir de estos, presentan contenidos de MP, especialmente Cd y Pb, por encima de los límites máximos permisibles, por lo que no deben ser empleados para la producción de alimentos ya que estos metales se traslocan a los órganos comestibles de las hortalizas cultivadas en ellos, en cantidades perjudiciales para la salud humana. Una alternativa sería el posible uso de estos materiales en la producción de forestales y plantas ornamentales.

Los contenidos de Cd y Pb en los abonos orgánicos y los sustratos de los organopónicos estudiados en La Habana, con la excepción de "Las Margaritas" se encuentran dentro de los valores permisibles de acuerdo a regulaciones internacionales, por lo que no constituyen riesgo de contaminación para plantas y animales.

REFERENCIAS

- Rodríguez, A.; Companioni, N. y Peña, E. Manual técnico para Organopónicos, Huertos Intensivos y Organoponía semiprottegida. 2007. 184 p.
- García, C. Evaluación de las características químicas y microbiológicas del humus de lombriz formado a partir de los residuales sólidos orgánicos urbanos (RSOU) tratados mediante la lombricultura. [Tesis de Maestría]. La Habana, 2008. 86 p.
- Kabata-Pendias, A. y Mukherjee, A. B. Trace Elements from Soil to Human. Springer-Verlag Berlin Heidelberg. 2007. 519 p.
- Muñiz, O. Los microelementos en la agricultura. *Editorial Agroinform*, 2008. 132 p.
- Liao, M. y Xie, X. M. Effect of heavy metals on substrate utilization pattern, biomass and activity of microbial communities in a reclaimed mining wasteland of red soil area. *Ecotoxicology and Environmental Safety*, 2007, vol. 66, p. 217-223.
- Ken, E. G.; W. Ernst y P. M. Steve. Heavy metals and soil microbes. *Soil Biol. Biochem.*, 2010. vol. 5, p. 1-7.
- Adriano, D. C. Introduction. *En: Adriano, D.C., ed. Trace elements in the terrestrial environment*. Ed. Springer Verlag, New York. 1986. p. 1-45.
- Alloway, B. J. Micronutrient Deficiencies in Global Crop Production. The University of Reading, UK. 2008. 350 p.
- Pardo, F.; Blanco, D. y Meseguer, S. Restauración ambiental y paisajística de un vertedero incontrolado en Castellón (Este de España). 2011. 330 p.
- International Organization for Standardization. Soil Quality-Dissolution for the determination of total element content. Part 1: Dissolution with Hydrofluoric and perchloric acids. International Standard ISO 14869-1. 2001. 10 p.
- CEADEN. IA 6746: 11-1999. Rev. Determinación de metales por espectrofotometría de absorción atómica en suelo. 2010. 6 p.
- Montero, A. Curso " Métodos de análisis de metales pesados utilizando la espectroscopia de absorción atómica con llama". Impartido en EMBRAPA. Salvador de Bahía. Brasil. 2008. 10 p.
- Hernández, A.; Pérez, J. M.; Marsán, R. Morales, M.; López, R. Correlación de la nueva versión de clasificación genética de los suelos de Cuba, con clasificaciones internacionales (Soil Taxonomy y FAO-UNESCO) y clasificaciones nacionales (2da. clasificación genética y clasificación de series de suelos). 1999. 69 p.
- Rodríguez, M. Evaluación de los contenidos de metales pesados en abonos orgánicos, sustratos y plantas. Tesis en opción al título de Master en Ciencias del Suelo. La Habana, 2010. 90 p.
- CEADEN. IA 6746: 10-1999. Rev. Determinación de metales pesados en material biológico. 2010. 6 p.
- Kabata-Pendias, A. y Adriano, D. C. Trace Metals balance in Soil-a current problem in Agriculture. In: Biogeochemistry of trace Metals. Ed by D. C. Adriano, Zueng-Song Chen and I. K. Iskandar. *Science Reviews, Northwood*, 1997, p. 173-191.
- Rosal, A.; Pérez, J. P.; Arcos, M. A. y Dios, M. La incidencia de metales pesados en *compost* de residuos sólidos urbanos y en su uso agronómico en España. *Información Tecnológica*, 2007. vol. 15, p. 75-82.

18. Muñiz, O.; Molina, J.; Estévez, J.; Quicute, S.; Vega, E.; Montero, A.; Pupo, I. y Padilla, R. Contaminación por metales pesados en algunos de los principales agroecosistemas cubanos. Informe Final del Proyecto 002.042 perteneciente al PNCT Producción de Alimentos por Métodos Sostenibles. Archivos del CITMA. 2000. 25 p.
19. Muñiz, O.; Estévez, J.; Quicute, S.; Montero, A.; Fraser, T. y Vega, E. Extracción de Ni y Cd por la patata cultivada sobre suelo Ferralítico Rojo de la provincia Habana. En: Medioambiente en Iberoamérica. Visión desde la física y química en los albores del S. XXI. Juan Gallardo (ed) Badajoz. España. Tomo III. 2006. p. 261-266.
20. Codex Stan 193-1995, Rev. 3. Norma General del CODEX para los contaminantes y las toxinas presentes en los alimentos. 2007. 50 p.
21. Moreno, D. Toxicología Ambiental. Evaluación de riesgo para la salud humana. Madrid. McGraw Hill/ Interamericana de España S.A. 2003. 370 p.

Recibido: 2 de junio de 2011

Aceptado: 4 de abril de 2012

¿Cómo citar?

Rodríguez Alfaro, Mirelys; Muñiz Ugarte, Olegario; Calero Martín, Bernardo; Montero Álvarez, Alfredo; Martínez Rodríguez, Francisco; Limeres Jiménez, Teudis; Mercedes Orphee Montoya y de Aguilar Accioly, Adriana M. Contenido de metales pesados en abonos orgánicos, sustratos y plantas cultivadas en organopónicos. *Cultivos Tropicales*, 2012, vol. 33, no. 2, p. 5-12. ISSN 1819-4087