

Evaluación de los contenidos de metales pesados en abonos orgánicos, sustratos y plantas cultivadas en organopónicos

Mirelys Rodríguez¹, Olegario Muñiz¹, Bernardo J. Calero¹, Alfredo Montero², Francisco Martínez¹ y Teudys Limeres³

1.- Instituto de Suelos. Autopista Costa-Costa, Km. 8½., Apdo. 8022, C.P., 10800, Capdevila, Boyeros. Ciudad de la Habana. Cuba. Telf. 6451788, 6451166. Telefax:(537)453946. Email: bcalero@minag.cu

2.- CEADEN. Playa. Ciudad de la Habana.

3.- Instituto de Suelos. Dirección Provincial de Guantánamo.

Introducción.

En la década de los 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 (Rodríguez et al., 2007). 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, provocar alteración en el equilibrio biológico de los mismos y afectar los rendimientos de los cultivos y a la salud animal (Liao y Xie, 2007; Muñiz, 2008 y Ken et al., 2009).

En el trabajo se estudian los contenidos de Cadmio (Cd), Plomo (Pb), Níquel (Ni), Zinc (Zn), Cromo (Cr) y Cobre (Cu) en AO y sustratos, su influencia sobre la composición de las hortalizas que se producen en organopónicos de Ciudad de La Habana y Guantánamo y su efecto sobre la actividad microbiana de los sustratos utilizando la respiración basal (RB) como indicador biológico; adicionalmente se valora una metodología analítica para lograr una mayor confiabilidad y exactitud en la determinación de los mismos.

Materiales y Métodos.

En Guantánamo se montó un experimento en el organopónico “El Girasol” conformado por dos canteros de 3 m de largo por 1 m de ancho. Para la preparación de los sustratos, se utilizó un Suelo Pardo Sialítico (SPS). El *compost* que se aplicó se produjo a partir de los RSU procedentes del Centro de Procesamiento de Residuales Sólidos Urbanos (CEPRU) Isleta, el cual reciben la basura doméstica sin previa clasificación y ésta se clasifica, posteriormente de forma manual, antes de conformar los burros para la producción de *compost*. Se realizó la siembra de una sucesión de hortalizas (lechuga-acelga-rábano-lechuga), cuya producción no se comercializó. En Ciudad de La Habana se muestrearon cuatro organopónicos en producción (Vivero Alamar, Playa, 1ro de julio y Las Margaritas). Para preparar el sustrato correspondiente al organopónico Vivero Alamar se utilizó Suelo Ferralítico Rojo Tipo, mientras que para los restantes se utilizó suelo trasportado de origen desconocido no identificado.

La extracción de las muestras de suelos, abonos orgánicos y sustratos se realizó utilizando dos métodos.

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 3:1, para la extracción de los contenidos de MP, según la Norma ISO 11466, (2001).

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 ($\text{HClO}_4/\text{HNO}_3$), según la Instrucción Analítica IA 6746: 11-1999, (2010) del CEADEN.

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, de acuerdo al criterio planteado por Montero (2008).

La extracción de las muestras de plantas se realizó con mezcla de $\text{HClO}_4/\text{HNO}_3$, procedimiento descrito en la Norma IA 6746:10-1999, (2010) del CEADEN.

Para la determinación de los contenidos totales de Cd, Pb, Ni, Cu, Cr y Zn se empleó un espectrofotómetro de absorción atómica con llama (Sp-9 Pye-Unicam).

Se evaluó el efecto de concentraciones crecientes de Cd, Pb y Zn sobre la RB en los sustratos de los organopónicos de Ciudad de La Habana. Para determinar la RB se incubaron las muestras de sustrato por un período de 24 horas, según la metodología para suelos, que recomienda Calero et al. (1999). Las concentraciones utilizadas fueron: Cd: 0, 6, 20 y 40; Pb: 0, 150, 300 y 600 y Zn: 0, 600, 1400 y 2800 mg kg^{-1} , estas se seleccionaron considerando los LMP extremos, que reportaron Kabata-Pendias y Adriano (1997). Para garantizar la concentración requerida del MP, se prepararon soluciones acuosas de los cloruros de los metales correspondientes y se le añadió, a cada muestra, el volumen de la solución necesario para llevarlas al 70 % de la capacidad máxima de retención de humedad requerida para realizar la incubación.

Se realizó un análisis multifactorial aleatorio, con tres factores (tipo de sustrato, tipo de metal y concentraciones de metal) mediante el paquete estadístico Statgraphics Plus 5.1, (2001). Se consideraron cuatro niveles para el factor A (cuatro sustratos), tres niveles para el factor B (Zn, Pb y Cd) y cuatro niveles para el factor C (cero, baja, media y alta). La variable respuesta fue la RB y se utilizó la prueba de Fischer, como criterio de diferencia entre las medias con un 99% de confiabilidad.

Resultados y Discusión

Selección de la metodología analítica

En la Tabla 1, se muestran las concentraciones que se obtuvieron, para cada elemento, en las muestras de sustrato de las variantes estudiadas en Ciudad de La Habana y el porcentaje de exactitud o confianza del M-I considerando el valor del M-II como valor más exacto o real. Para valores mayores del 15 %, mayor es la diferencia significativa entre los métodos, por lo que el porcentaje de recobrado de los metales, por el M-I, es insuficiente (Montero, 2008).

Tabla 1. Comparación entre métodos analíticos. (Numerador; M-I, denominador; M-II).

Variantes	Pb	Cd	Zn	Cu	Ni	Cr
	mg kg^{-1}					
CH-I	18.7	<1.1	116.8	69.2	97.3	192.4
	66.5	<1.0	160.9	80.1	196.2	291.9
CH-II	29.6	<1.1	243.1	176.8	75.7	108.1
	98.1	<1.0	264.2	122.6	126.8	181.1
CH-III	20.3	<1.1	218.2	87.4	73.6	172.7
	76.6	<1.0	247.7	95.0	160.7	418.6
CH-IV	189.2	<1.1	315.3	196.3	41.6	52.5
	251.7	1.6	332.2	156.5	152.0	122.7
Veracidad (%)						
CH-I	71.9	-	27.4	13.6	50.4	34.1
CH-II	69.8	-	8.0	-	40.3	40.3
CH-III	73.5	-	11.9	8.0	54.2	58.7
CH-IV	24.8	-	5.1	-	72.6	57.2

CH-I: sustrato "Vivero Alamar", CH-II: sustrato "1ro de Julio", CH-III: sustrato "Playa" y CH-IV: sustrato "Las Margaritas".

De acuerdo a los resultados obtenidos, el M-I extrae menos cantidad de Pb, Cr y Ni que el M-II, mientras que para el Cu y el Zn no se observaron diferencias entre los métodos, exceptuando, el caso de la muestra de la variante CH-I, correspondiente al sustrato del “Vivero Alamar”, en la que igualmente el M-II extrae mayor cantidad. La determinación del contenido de Cd por ambos métodos, se encuentra por debajo del límite de detección, para las condiciones de análisis empleadas.

La utilización del *aqua regia* (mezcla de HNO_3/HCl) (M-I) para la extracción de los contenidos totales de MP en las muestras de suelo, sustrato y abono orgánico, no fue capaz de extraer completamente 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), si 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. Por otra parte, la mezcla triácida es capaz de oxidar la materia orgánica desplazando los MP que puedan estar asociados a ella.

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

Contenidos totales de MP en los abonos orgánicos.

La figura 1, muestra los contenidos totales de Cd, Pb y Zn en los AO empleados en los organopónicos de Guantánamo y de Ciudad de La Habana. Se realizó una comparación con los LMP, de mayor y menor exigencia, según Rosal *et al.* (2007).

Los contenidos totales de los MP en los AO que se utilizaron en los organopónicos de Guantánamo, se encuentran por encima de los LMP del compost clase C, según Rosal *et al.* (2007). Este resultado, puede estar asociado a que la basura doméstica extraída de los vertederos se clasifica, de forma manual, antes de conformar los burros para la producción del compost. Según planteó García (2008), la basura doméstica contiene materiales como latas, pinturas, baterías y otros productos que son fuentes importantes de MP.

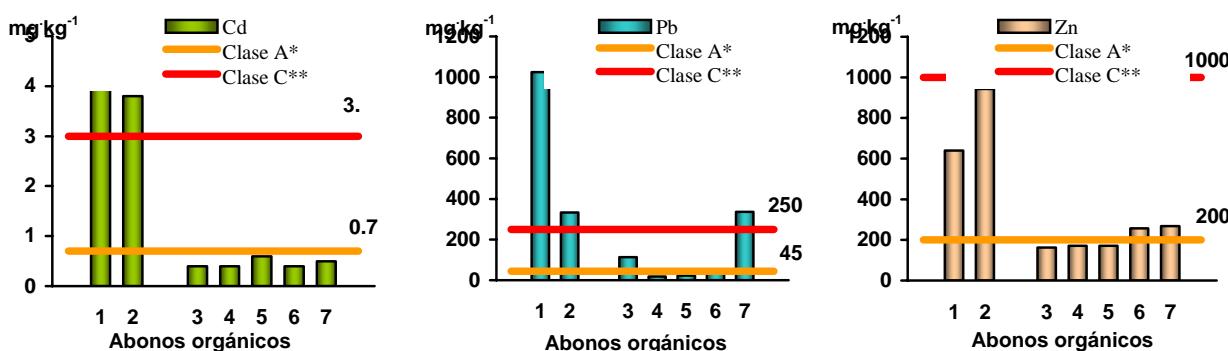


Figura 1. Contenido de MP en abonos orgánicos. Relación con los LMP.

(*) Compost Clase A y (**) Compost Clase C (Rosal *et al.*, 2007).

1 y 2: Compost de RSU en Guantánamo. 3, 4, 5, 6 y 7: AO en Ciudad de La Habana

El contenido de Pb en el estiércol vacuno utilizado como AO en el organopónico “Las Margaritas” (7), se encuentra por encima de los 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, el cual es fuente de MP (Muñiz, 2008).

Contenidos totales de MP en sustratos

La tabla 2, muestra los contenidos de los MP en las muestras estudiadas. Los contenidos totales de Cd, Pb, y Zn en el suelo y en el sustrato original que se utilizaron para la preparación de los sustratos en Guantánamo, se encuentran por debajo de los LMP. Por el contrario, en los sustratos preparados, correspondientes a las variantes G-I, G-II, G-III, G-IV y G-V, se observa que los contenidos de Cd, Ni y Pb se encuentran por encima de los LMP. Este resultado puede estar asociado a la utilización de los compost obtenidos a partir de los RSU provenientes de la basura

doméstica extraída de los vertederos sin previa clasificación, para la preparación de los sustratos. La basura doméstica contiene materiales como latas, pinturas, baterías de Cd-Ni y otros productos, los cuales son fuentes importantes de MP.

Tabla 2. Contenidos totales de MP en las muestras de suelos y sustrato.

Muestras	Contenido total del MP			
	Contenido total de MP en $\text{mg}\cdot\text{kg}^{-1}$ ($X \pm s$)			
	Ni	Cd	Pb	Zn
Sustrato original	187. 20	1. 86	23. 90	170. 40
SPS	254. 70	1. 77	23. 20	111. 20
G-I	124. 60	3. 15	152. 00	262. 90
G-II	223. 30	3. 61	71 501. 50	252. 10
G-III	156. 50	2. 86	132. 90	214. 10
G-IV	248. 00	3. 48	399. 60	334. 70
G-V	164. 70	3. 48	345. 60	277. 10
CH-I	196.23 ± 5.94	<1.00	66.46 ± 6.85	160.90 ± 12.38
CH-II	126.76 ± 5.25	<1.00	98.06 ± 8.37	264.16 ± 9.50
CH-III	160.66 ± 4.26	<1.00	76.56 ± 7.78	247.73 ± 23.04
CH-IV	152.55 ± 6.38	1.60 ± 0.10	251.72 ± 28.00	332.17 ± 9.86
LMP(*)	100	3	150	300

G-I, G-II, G-III, G-IV y G-V: variantes en Guantánamo. CH-I, CH-II, CH-III y CH-IV: variantes en Ciudad de La Habana. (*) LMP más utilizado (Kabata-Pendias y Adriano, 1997).

Los valores de concentración de los MP para los sustratos de los organopónicos de Ciudad de La Habana se encuentran dentro de los valores permisibles, excepto en el caso del sustrato correspondiente al organopónico “Las Margaritas” (variante CH-IV), en el que el contenido de Pb es elevado y sobrepasa el LMP. Resultado que puede asociarse a que, en éste organopónico, se había empleado *compost* producido a partir de los RSU del Vertedero de la Calle 100, en la construcción inicial de los canteros. Los contenidos de Ni, para todos los casos, fueron elevados, aunque debe aclararse que para la evaluación de la contaminación de estos metales en nuestro país, no pueden emplearse los criterios de la literatura internacional. De acuerdo con Muñiz *et al.* (2000), citado por Muñiz (2008), muchos suelos cubanos, por su origen a partir de rocas ricas en estos elementos, presentan contenidos de los mismos superiores a los que se reportan en la literatura internacional.

Contenidos de metales pesados en plantas

Guantánamo

En las dos variantes del organopónico “El Girasol” (G-III y G-IV) se cultivaron dos sucesiones de hortalizas con el objetivo de evaluar la cantidad de los MP que se trasloca a las plantas en un período mayor de tiempo. En las figura 2 y 3, se observan los contenidos de Pb y Cd respectivamente, comparados con los máximos permisibles según el Codex Stan 193-1995 (2007). La comparación entre las variantes, para ambos casos, indica que no existen diferencias significativas entre éstas.

En todos los casos, las mayores concentraciones de Cd y de Pb se encuentran en las hojas. Los contenidos totales de Cd (Figura 2) en las hortalizas de hoja, se encuentran por debajo de lo máximos permisibles según el Codex Stan 193-1995 (2007). El Cd presente en los órganos del Rábano, se acumula principalmente en la hoja y el tallo; sin embargo, en el fruto, si bien su concentración no rebasa el LMP para este tipo de hortaliza, se aconseja no ser consumido por el hombre, ya que los valores se encuentran cercanos al mismo.

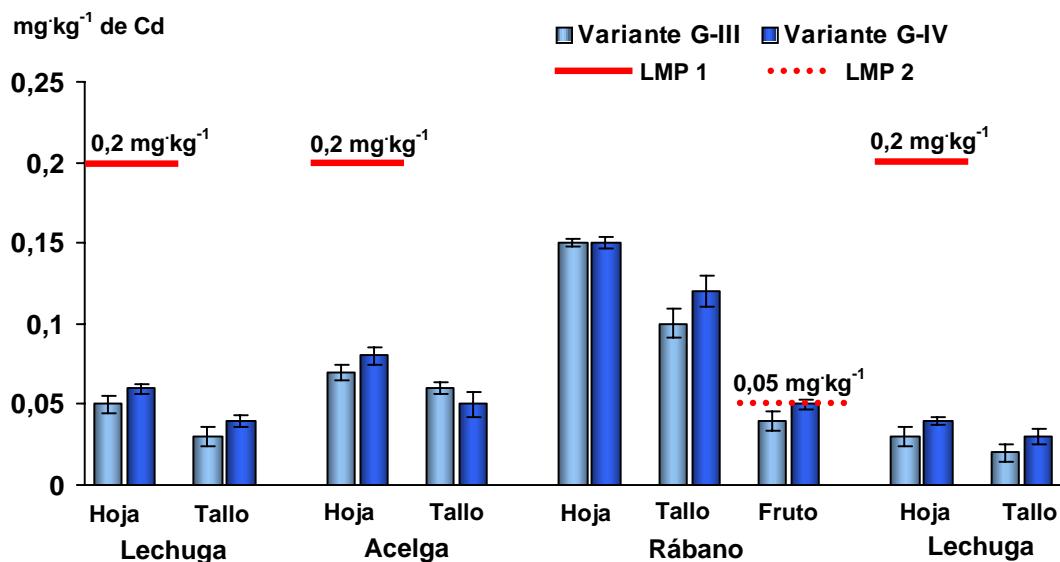


Figura 2. Contenidos totales de Cd en la sucesión de cultivo Lechuga-Acelga-Rábano-Lechuga. Organopónico “El Girasol”.

LMP 1 y 2: Para hortalizas de hoja y de fruto (Codex Stan 193-1995, 2007). Letras iguales entre variantes, para cada órgano de la planta, no difieren significativamente, para un 95 % de confianza.

Los valores de Cd encontrados en el rábano, se corresponden con los contenidos elevados de este metal en los compost de los RSU y en los sustratos utilizados para cultivar las sucesiones de hortalizas.

Por el contrario, cuando se comparan los contenidos totales de Pb con los máximos permisibles para hortalizas de hojas y de fruto (Figura 3), 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 imposibilita su consumo por el hombre, ya que la ingestión de Pb provoca daños a la salud humana.

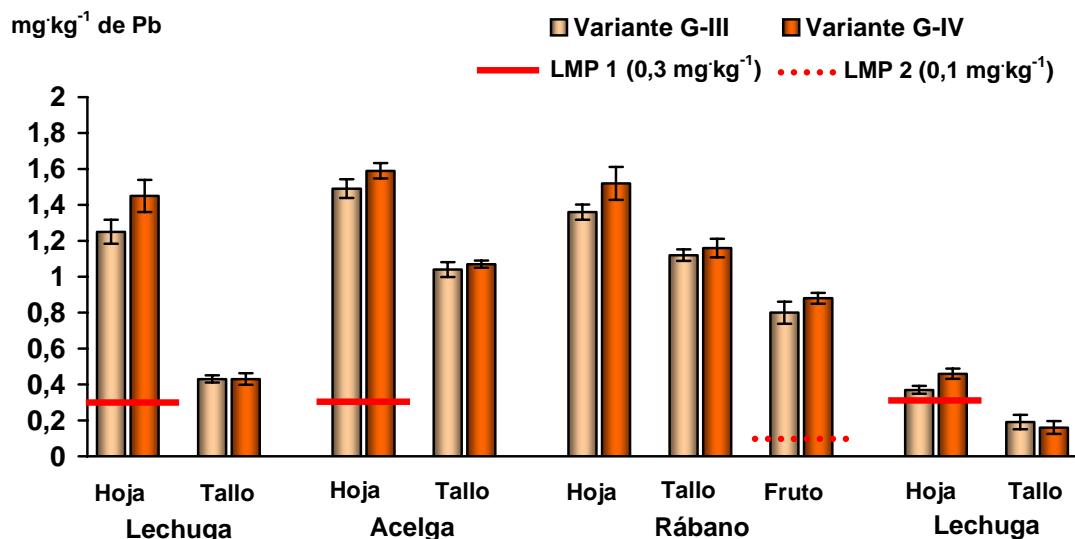


Figura 3. Contenidos totales de Pb en la sucesión de cultivo Lechuga-Acelga-Rábano-Lechuga. Organopónico “El Girasol”.

LMP 1 y 2: Para hortalizas de hojas y frutos, respectivamente (Codex Stan 193-1995, 2007). No se encontraron diferencias significativas entre variantes, para cada órgano de la planta, con un 95 % de confianza.

Es importante señalar, que el efecto contaminante se manifiesta durante toda la sucesión de los cuatro cultivos y que aún en el cuarto cultivo, se trasloca el Pb a la hoja.

La elevada concentración de Pb en los órganos de las hortalizas, están asociadas al alto contenido de éste metal encontrados en los AO (*compost* de RSU) y los sustratos, preparados a partir de estos y que se utilizaron para la siembra de los cultivos.

Ciudad de La Habana

La figura 4 (a y b) muestra los contenidos de Cd y Pb respectivamente, comparadas con los LMP según el Codex Stan 193-1995 (2007).

Las concentraciones de Cd y Pb encontradas en las hortalizas producidas en los organopónicos de “Vivero Alamar” (CH-I), “1ro de Julio” (CH-II) y “Playa” (CH-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 CH-IV) supera el LMP. Este resultado, que se corresponde con el elevado valor de Pb obtenido en el sustrato que se empleó para su producción, no permite aceptar este cultivo para el consumo humano (Muñiz, 2008).

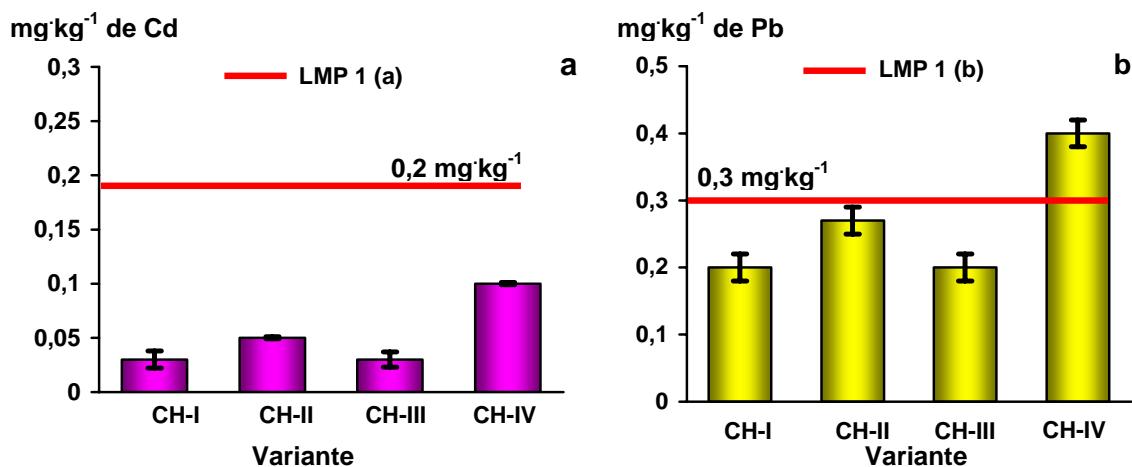


Figura 4. Contenidos totales de Cd (a) y Pb (b) en la hortaliza de hoja. Organopónicos de Ciudad de La Habana.

LMP 1 (a) y (b): Para el Cd y Pb, respectivamente, en hortalizas de hoja (Codex Stan 193-1995, 2007).

Relación entre concentraciones crecientes de metales pesados y la respiración basal en sustratos.

El análisis estadístico reveló diferencias significativas entre los valores de la RB para cada uno de los factores y no se encontró, en ningún caso, interacción entre ellos, es decir, que el efecto del MP no resultó dependiente del tipo de sustrato. Los contenido de Cd, Pb y Zn, afectan la actividad microbiana de los sustratos y resultó ser el Cd, el metal que más efecto negativo produjo (Figura 5b). En cada caso, al aumentar la concentración del metal, disminuye la cantidad de CO_2 desprendido, como resultado de la actividad metabólica de la microflora presente en los sustratos (Figura 5a y 5c). Esta afectación puede estar asociada a que los MP bloquean los grupos funcionales activos de las sustancias orgánicas y del ciclo del carbono y provocan muerte de determinados grupos microbianos (Ken *et al.*, 2009).

Cuando se comparan los valores de la RB entre los sustratos, se observa que en el sustrato del organopónico “Las Margaritas” (CH-IV), la respiración es menor, lo que parece estar asociado a la afectación inicial causada por los elevados contenidos de Pb y Zn que tenía este sustrato.

La relación que se establece entre el efecto de las diferentes concentraciones para cada uno de los metales (Figura 5a) muestra que independientemente, del tipo de metal, a mayor concentración mayor depresión de la RB de la microflora. Se aprecia igualmente que el efecto del metal y su concentración, no dependen del sustrato (Figura 5b y 5c).

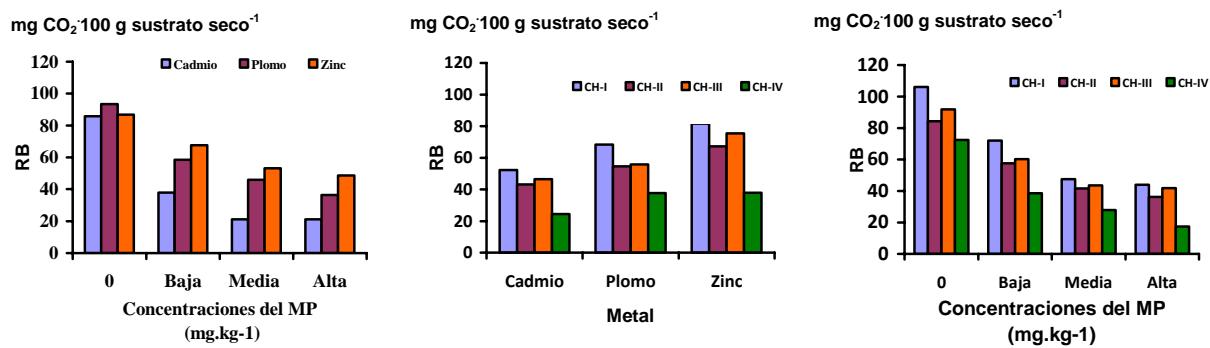


Figura 5. Comportamiento de la RB para las diferentes relaciones entre los factores estudiados.

Conclusiones.

La metodología analítica propuesta en la Instrucción IA 6746:11, donde se utiliza la mezcla triácida, permite determinar los contenidos totales de los MP en suelos, sustratos y AO con mayor confianza que en la ISO 11466, que emplea el *aqua regia*. Se encontró que los compost obtenidos a partir de la basura doméstica extraída de los vertederos sin previa clasificación y los sustratos preparados a partir de éstos, 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 los metales se traslocan a los órganos comestibles de las hortalizas cultivadas en ellos. La presencia de Cd, Pb y Zn afectan la actividad microbiana en los sustratos reduciendo la respiración. Este efecto se hace más marcado, en la medida que la concentración es superior y es independiente del porcentaje de abono orgánico presente en los sustratos. El orden de afectación resultó Cd > Pb > Zn.

Referencias

- Calero, B. J.; Guerrero, A.; Alfonso, C. A. y Somoza, V. (1999). Efecto residual de la fertilización mineral sobre el estado microbiológico del suelo. *La Ciencia y el Hombre*. XI: 89-94.
- CEADEN. IA 6746: 11-1999. y IA 6746: 10-1999 Rev. (2010). Determinación de metales por Espectrofotometría de Absorción Atómica en suelo. 6 p.
- Codex Stan 193-1995, Rev. 3. (2007). Norma General del CODEX para los contaminantes y las toxinas presentes en los alimentos. 50 p.
- García, C. (2008). 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 en opción al título de Master en Ciencias del Suelo. La Habana, 86p.
- Kabata-Pendias, A. and Adriano, D.C. (1997). 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. pp. 173-191.
- Ken, E. G.; W. Ernst y P. M. Steve (2009). Heavy metals and soil microbes. *Soil Biol. Biochem.* 1–7. Article in press.
- Liao, M. and Xie, X.M. (2007). Effect of heavy metal son substrate utilization pattern, biomass and activity of microbial communities in a reclaimed mining wasteland of red soil area. *Ecotoxicology and Environmental Safety*. 66:217-223.
- Muñiz, O. (2008). Los Microelementos en la Agricultura. Editorial Agroinfort. 132 pp
- Montero, A. (2008). Curso “métodos de análisis de metales pesados utilizando la Espectroscopia de Absorción Atómica con llama”. Impartido en EMBRAPA. Salvador de Bahía. Brasil. 10 p
- Rodríguez, A.; Companioni, N.; Peña, E.; et al. (2007). Manual técnico para Organopónicos, Huertos Intensivos y Organoponía semiprotegida. 184 p.
- Rosal, A.; Pérez, J.P.; Arcos, M.A. y Dios, M. (2007). La incidencia de metales pesados en compost de residuos sólidos urbanos y en su uso agronómico en España. *Información Tecnológica*. 15:75-82.