

Compostas 2. Evaluación de la presencia de metales pesados en compostas

Ignacio García Martínez^{1,2}, José J. Pineda Rodríguez²,
Alfonso Totosa Sánchez², Leandro Rodrigo González-González^{1,2}

¹Universidad Simón Bolívar

²Tecnológico de Estudios Superiores de Ecatepec

Resumen

*El empleo de compostas con la finalidad de enriquecer o mejorar el suelo es una práctica habitual, ya que la composta idealmente es un producto estable, libre de patógenos y elementos tóxicos. Esto no siempre es cierto, pues algunas compostas con potencial de uso agrícola pueden producir fitotoxicidad. Con el fin de evaluar la presencia de metales como Pb, Cd, Fe, Zn, Cu, Ni y Mn y su toxicidad en plantas, se analizaron muestras de una composta comercial denominada humus activo (HA) y una municipal (CM). Las muestras de HA evidenciaron la presencia de Fe, Zn, Cu y Mn, mientras que las muestras de CM tuvieron Pb, Cd, Fe, Zn, Cu y Mn. Incluso cuando el contenido de metales es mayor en la CM, la composta HA presentó una mayor fitotoxicidad en el bioensayo de la germinación de semillas de trigo (*Triticum aestivum*) y alfalfa (*Medicago sativa*), cuyas muestras arrojaron hasta un 100% de inhibición.*

Palabras clave: *composta, metales pesados, fitotoxicidad.*

Abstract

*The use of composts to improve the quality of the soil is a common practice. The compost is ideally a stable product, free of pathogens and toxic elements, but this is not always true, since some composts used in agriculture, can produce phytotoxicity. In order to evaluate the metal content (Pb, Cd, Fe, Zn, Cu, Ni and Mn) and its toxicity in plants, some samples were analyzed. The samples were collected from a commercial compost denominated humus activo (HA) and from municipal compost (CM). The samples of humus activo showed evidence of the presence of Fe, Zn, Cu and Mn. Also the samples of municipal compost had traces of Pb, Cd, Fe, Zn, Cu and Mn. Even though the metal content was higher in municipal compost, the HA compost showed a higher phytotoxicity in the bioessay of the inhibition about the germination of wheat seeds (*Triticum aestivum*) and alfalfa (*Medicago sativa*) whose samples showed 100% of inhibition.*

Keywords: *compost, heavy metals, phytotoxicity.*

Introducción

La disminución constante de la materia orgánica en la mayoría de los suelos agrícolas, debido a las intensivas labores agroindustriales, ha incrementado la necesidad del empleo de fertilizantes orgánicos (García et.al., 1991). Una alternativa para este problema es el uso de las compostas, las cuales se obtienen mediante el proceso de composteo, que consiste en degradar la materia orgánica para estabilizarla biológicamente, bajo condiciones aerobias controladas. Esto da como resultado un producto final denominado composta, la cual es estable, libre de patógenos y elementos fitotóxicos para las plantas y que puede ser aplicada para el mejoramiento de suelos y cultivos (Widman et.al., 2005).

A pesar de que la composta es un producto que tiende a variar extensamente debido a la multiplicidad de compuestos (materia orgánica) que le dieron origen y los métodos de composteo empleados, las compostas son consideradas excelentes fuentes de materia orgánica y humus, que se utilizan con frecuencia para reacondicionar y mejorar suelos (García et.al., 1991).

El incremento en el empleo del composteo de Residuos Sólidos Municipales (RSM), promueve el análisis a detalle para detectar la presencia de metales en la composta obtenida, pues su aplicación puede perjudicar el crecimiento de las plantas, organismos del suelo y la salud animal y humana. Este efecto se centra sobre todo en cómo estos elementos (metales pesados) son incorporados a las plantas que crecen en suelos a los cuales se les ha incorporado compostas de RSM con contenidos de metales (Woodbury, 1993; Wershaw, 2004).

El impacto de los metales sobre los cultivos que se desarrollan en suelos enriquecidos con compostas provenientes de RSM, depende no sólo de la concentración de metales presentes, sino también de las características propias del suelo, tales como pH, contenido de materia orgánica y la capacidad del intercambio catiónico; además las plantas también reaccionan de diversas formas ante la presencia de diversos metales. (Woodbury, 1993)

Los métodos empleados para caracterizar los metales pesados presentes en las compostas y suelos acondicionados con compostas, incluyen técnicas de fraccionamiento y extracción química. Las metodologías de extracción química son empleadas con

mayor frecuencia para fraccionar los metales en las muestras analizadas. Una desventaja que comparten estas metodologías de extracción es que los procedimientos son complejos y requieren de una fuerte inversión en tiempo y reactivos. Una solución a estos inconvenientes es el uso de la extracción acelerada mediante ultrasonido, la cual reduce el tiempo de extracción y costos del análisis (Iwegbue et.al., 2007; D Amore et.al., 2005; Petrell, 2003).

La asociación entre los metales pesados y la composta incluye, entre otros aspectos: la hidrosolubilidad, intercambio iónico, precipitación, co-precipitación de óxidos metálicos y absorción por ligandos orgánicos. La fase de asociación y solubilidad de metales, cambia durante el proceso de composteo, de tal modo que se alteran las formas de disponibilidad de los metales. Es evidente que los efectos positivos resultantes del uso de composta compensan por mucho los probables efectos negativos, pero más investigaciones son necesarias, ya que el reciclaje de materia orgánica para la obtención de compostas para su empleo en zonas agrícolas, es un proceso que hoy en día está tomando un mayor auge y representa un mercado para los productores de residuos, una fuente potencial y barata de materia orgánica y fertilizantes (Iwegbue et.al., 2006; Iwegbue et.al., 2007).

De tal forma que la presencia de metales pesados en las compostas es un serio problema que incrementa la preocupación sobre las consecuencias adversas para el medio ambiente, debido al uso excesivo en regiones agrícolas. La alta y excesiva acumulación de metales pesados en el suelo puede contaminar eventualmente la cadena alimenticia de hombres y animales. Por tal motivo, se hace necesario establecer normas sustentadas principalmente en los efectos fitotóxicos, límites de metales pesados, entre otras (Iwegbue et.al., 2006; Iwegbue et.al., 2007).

Objetivo

El principal objetivo del presente trabajo es determinar la concentración de metales pesados (cadmio, cromo, cobre, plomo y zinc), en muestras de composta de diferentes orígenes y evaluar su calidad agronómica y fitotoxicidad empleando cultivos tipo, para después proponer las explicaciones para las determinaciones evaluadas a las muestras de composta.

Método

Se emplearon muestras de composta de dos diferentes orígenes: una composta comercial elaborada a partir de residuos agrícolas y orgánicos domiciliarios, denominada humus activo o HA marca Happy Flower, S.A. de C.V. y una composta municipal o CM, elaborada por la planta de composta ubicada en el sitio Bordo Poniente IV Etapa, a partir de residuos orgánicos de poda de los programas operados por la Dirección General de Servicios Urbanos de la Secretaría de Obras y Servicios, Comisión Federal de Electricidad y Luz y Fuerza del Centro, así como una fracción de residuos provenientes del área de flores y hortalizas de la Central de Abasto de la Ciudad de México. Todos los estándares utilizados durante el experimento fueron de grado analítico Sigma Chemical Co. (St. Louis Missouri, USA) y J.T. Baker (Phillipsburg, N.J. USA). Los reactivos y disolventes empleados fueron de grado analítico J.T. Baker.

Determinación de pH y conductividad

Se pesaron 10 gramos de la muestra de composta (HA o CM), a las cuales se les incorporaron 100 ml de agua desionizada; las muestras se homogenizaron mediante ultrasonido, empleando un sonicador marca Cole Parmer modelo PC620R-2 durante 30 minutos a temperatura ambiente. Transcurrido este tiempo las muestras se filtraron utilizando papel Whatman de poro grueso y el filtrado obtenido se utilizó para la determinación de pH y conductividad eléctrica utilizando un conductímetro con celda de inmersión cubierta de PVC y electrodo de níquel platinizado marca Conductronic modelo PC18, a temperatura ambiente.

Determinación de la humedad

Cinco gramos de la muestra de composta se colocaron en una estufa durante dos horas a 70°C. Transcurrido el tiempo la muestra se enfrió en un desecador y se pesó; esta operación se repitió hasta que no existiera variación en el peso obtenido.

Determinación de cenizas

Se colocó una muestra seca de 5 gramos en una mufla, en donde la temperatura fue aumentando gradualmente hasta llegar a la calcinación de las muestras, aproximadamente a 800 °C. Trascorrida una hora a esta temperatura, se dejó enfriar la muestra en un desecador y posteriormente se pesó.

Determinación de la materia orgánica

El análisis se realizó de acuerdo con la Norma Mexicana (NMX-AA-021-1985). A muestras de 0.1 gramos de composta, se les agregaron 10 ml de dicromato de potasio 1N y 20 ml de ácido sulfúrico concentrado. La mezcla se agitó vigorosamente durante un minuto, dejándola reposar por 30 minutos a temperatura ambiente. Posteriormente se adicionaron 100 ml de agua desionizada, 10 ml de ácido fosfórico y 0.5 ml de difenilamina; se mezcló perfectamente empleando ultrasonido por 10 minutos a temperatura ambiente y, posteriormente, se dejó reposar por 10 minutos y se tomó una alícuota de 25 ml, la cual se tituló empleando sulfato ferroso 0.5N.

Cuantificación de metales

El análisis de metales se inició con la preparación de las muestras de composta, realizando una digestión ácida. Para ello se empleó ácido nítrico concentrado con una relación peso/volumen de 1:10. Posteriormente, empleando una parrilla de calentamiento, se elevó la temperatura de la muestra a 110°C, hasta obtener una solución color amarillo claro (aproximadamente de 6 a 8 horas), indicativa de que la digestión había concluido. La solución obtenida se filtró empleando papel Whatman de poro grueso, del filtrado obtenido se tomó una alícuota de 10 ml y se aforó hasta un volumen de 100 ml, empleando agua desionizada. Esta solución se conservó en un frasco de plástico opaco a una temperatura de 5°C, hasta su empleo.

Las muestras obtenidas se analizaron en un espectrofotómetro de absorción atómica Sprettr AA*20 plus Varian, empleando como dispositivo de flama aire y acetileno. El análisis de Pb, Cd, Zn, Fe, Ni, Mn y Cu se evaluó mediante el uso de estándares con un gradiente de concentración para cada metal: Plomo (Pb) 5, 10 y 20 ppm; Cadmio (Cd) 1, 3 y 5 ppm; Manganeso (Mn) 100, 200 y 300 ppm; Níquel (Ni) 5, 10 y 20 ppm; Hierro (Fe) 10, 30 y 50 ppm; Zinc (Zn) 100, 200 y 300 ppm y Cobre (Cu) 5, 10 y 20 ppm, de acuerdo con los intervalos reportados por Mbila et al., (2001); Petrell, (2003); Wershaw, (2004); D Amore et al., (2005); Iannacone y Alvarriño, (2005); Iwegbue et al., (2007); Madrid et al., (2007) y Rosal et al., (2007).

Bioensayo para la evaluación de la fitotoxicidad de las compostas

Este bioensayo fue seleccionado debido a la respuesta rápida que presenta y su selectividad; se desarrolló bajo condiciones controladas de temperatura, humedad y luz, para obtener un resultado lo mas exacto posible y que no sea el resultado de factores ajenos a la actividad del extracto a evaluar (Larque y Rodríguez, 1993; García-Martínez et.al., 2002; García-Martínez, 2004; García-Martínez y González, 2005).

A 40 gramos de composta se adicionaron 100 ml de agua desionizada, homogenizando la mezcla en un sonicador marca Cole Parmer modelo PC620R-2, en donde se introdujo la muestra por un periodo de 15 minutos a temperatura ambiente; concluido el tiempo, la muestra obtenida se filtró empleando papel Whatman de poro grueso, obteniéndose así un extracto acuoso para cada muestra de composta. A cada extracto obtenido, se le realizó una serie de diluciones con agua desionizada en una proporción porcentual volumen/volumen de 0, 20, 40, 60, 80 y 100 %. Estas diluciones se envasaron y conservaron en refrigeración y obscuridad hasta su uso.

Se utilizaron semillas de trigo (*Triticum aestivum*) y alfalfa (*Medicago sativa*) marca Happy Flower, S.A. de C.V., de las cuales se seleccionaron 200 semillas de cada una. Posteriormente de lavaron y desinfectaron con una solución de hipoclorito de sodio comercial marca Cloralex al 5% volumen/volumen con agua destilada durante 5 minutos; una vez limpias y desinfectadas las semillas, se sumergieron en agua por 4 horas aproximadamente y una vez tratadas se realizó una selección homogénea en cuanto a forma y tamaño.

Los tratamientos de los bioensayos se desarrollaron de la siguiente forma: a seis cajas Petri de 20 cm. de diámetro se les colocó un disco de papel filtro Whatman de poro grueso. Posteriormente se adicionaron 10 ml de cada una de las soluciones preparadas obteniéndose así los tratamientos para cada muestra de composta y un testigo con agua desionizada; preparadas las cajas de germinación, se colocaron 10 semillas (trigo o alfalfa) por cada caja. Las cajas Petri con los tratamientos y semillas se taparon para reducir la evaporación y se etiquetaron.

La germinación se realizó en un cuarto oscuro dentro de una cámara con humedad constante, regando cada 24 horas con la solución del tratamiento respectivo en casos en que se consideró necesario; la duración del bioensayo fue de 72 horas.

Los resultados obtenidos se analizaron empleando PROC ANOVA del paquete estadístico S.A.S. versión 6.0 (S.A.S. Institute, 1989). Las diferencias entre las medias de los tratamientos se determinaron por un análisis de medias de Tuckey ($\alpha = 0.05$).

Resultados

Los análisis efectuados a las muestras de compostas se realizaron por triplicado, con el fin de verificar la reproducibilidad de los datos. La tabla 1 muestra los resultados del análisis de calidad de las muestras de humus activo (HA) y composta municipal (CM). En la tabla 2, se muestran los resultados del análisis de metales en partes por millón (ppm) para las muestras de humus activo (HA) y composta municipal (CM).

Tabla 1. Caracterización de las muestras de composta de humus activo (HA) y composta municipal (CM)



Análisis	HA	CM
pH	8.24 ± 0.31	8.5 ± 0.43
Conductividad Eléctrica (µS/cm)	4.82 ± 0.36	3.01 ± 0.46
Humedad (%)	30.72 ± 4.38	28.29 ± 3.88
Cenizas (%)	42.76 ± 3.0	40.46 ± 2.75
Materia orgánica (%)	29.03 ± 2.98	39.36 ± 2.69

Tabla 2. Resultados del análisis de metales en muestras de humus activo (HA) y composta municipal (CM) en gramos/Kilogramo (media ± desv. estándar)

METAL	HA	CM
Plomo (Pb)	ND	0.130 ± 0.01
Cadmio (Cd)	ND	0.00186 ± 0.0001
Hierro (Fe)	0.82 ± 0.10	5.921 ± 0.09
Zinc (Zn)	0.021 ± 0.01	0.213 ± 0.02
Cobre (Cu)	0.011 ± 0.004	0.0847 ± 0.001
Níquel (Ni)	ND	ND
Manganeso (Mn)	0.157 ± 0.012	0.1341 ± 0.005

ND: Análisis no detectado

Los resultados del efecto de los extractos acuosos de HA y CM sobre la inhibición de la germinación de semillas de trigo (*Triticum aestivum*) y alfalfa (*Medicago sativa*), después de 72 horas de tratamiento, se puede observar en las figuras 1 y 2.

Figura 1. Efecto de la concentración de extractos acuosos de HA, sobre la inhibición de la germinación de semillas de  trigo (*Triticum aestivum*) y  alfalfa (*Medicago sativa*)

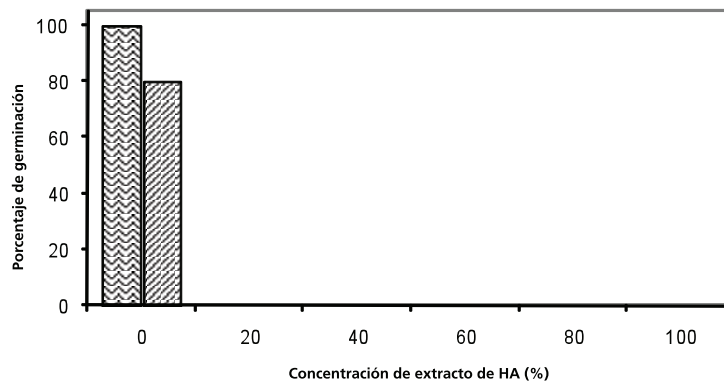


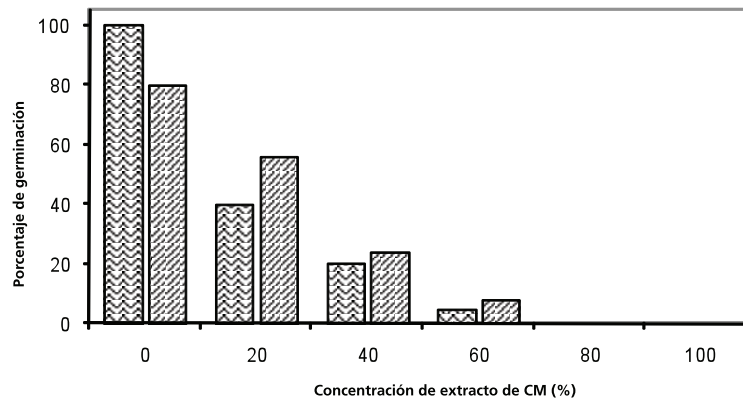


Figura 2. Efecto de la concentración de extractos acuosos de CM, sobre la inhibición de la germinación de semillas de  trigo (*Triticum aestivum*) y  alfalfa (*Medicago sativa*)



Discusión

Como se puede observar en la tabla 3 las muestras de HA y CM exponen datos similares entre ellas, pero de acuerdo a las especificaciones NMX-FF-109-SCFI-2007 (SAGARPA, 2007), sólo los valores de cenizas no se encuentran reportados. Sin embargo, en ambos casos el PH se encuentra en el límite máximo deseado; la conductividad eléctrica de las muestras de HA está por arriba de lo recomendado, mientras que para CM está en el rango; la humedad de ambas muestras está por arriba de la norma. En cuanto a la materia orgánica se está dentro del rango preferente, pero siendo mayor su contenido en las muestras de CM.

Tabla 3. Comparación de los valores obtenidos de las muestras de composta de humus activo (HA) y composta municipal (CM) con los recomendados por la NMX-FF-109-SCFI-2007

Análisis	HA	CM	NMX
pH	8.24 ± 0.31 ^a	8.5 ± 0.43 ^b	5.5-8.5 ^c
Conductividad Eléctrica (µS/cm)	4.82 ± 0.36 ^a	3.01 ± 0.46 ^b	<4 ^c
Humedad (%)	30.72 ± 4.38 ^a	28.29 ± 3.88 ^b	20-40 ^c
Cenizas (%)	42.76 ± 3.0 ^a	40.46 ± 2.75 ^b	-----
Materia orgánica (%)	29.03 ± 2.98 ^a	39.36 ± 2.69 ^b	20-50 ^c

Medias con la misma letra en el mismo reglón, no son significativamente diferentes (P<0.05) para cada muestra

Sin embargo, comparando con los datos reportados por Rosal et.al., (2007), Barral et.al., (2007) y Widman et.al., (2005), las muestras aún se encuentran en la etapa de maduración, siendo consideradas compostas no maduras.

En cuanto al contenido de metales (ver tabla 4) el Níquel (Ni) no fue detectado en ambas muestras de HA y CM, mientras que el Plomo (Pb) y Cadmio (Cd) no se encontraron en las muestras de humus activo (HA).

Las tablas 4 y 5 muestran el contenido de metales expresado en miligramos/Kilogramo para las muestras de composta; con respecto al contenido de Pb, la muestra de CM en ningún caso rebasa los límites reportados, sólo se acerca moderadamente a lo encontrado por Lima et.al., (2004).

Tabla 4. Comparación de los valores obtenidos del análisis de metales en muestras de composta de humus activo (HA) y composta municipal (CM) con los recomendados por la NMX-FF-109-SCFI-2007, en miligramos/Kilogramo

METAL	HA	CM	NMX
Plomo (Pb)	ND ^a	0.130 ± 0.01 ^b	100 ^c
Cadmio (Cd)	ND ^a	0.00186 ± 0.0001 ^b	2.0 ^c
Hierro (Fe)	0.82 ± 0.10 ^a	5.921 ± 0.09 ^b	---
Zinc (Zn)	0.021 ± 0.01 ^a	0.213 ± 0.02 ^b	200 ^c
Cobre (Cu)	0.011 ± 0.004 ^a	0.0847 ± 0.001 ^b	100 ^c
Níquel (Ni)	ND	ND	20.0 ^c
Manganeso (Mn)	0.157 ± 0.012 ^a	0.1341 ± 0.005 ^a	---

ND: Análisis no detectado

Medias con la misma letra en el mismo reglón, no son significativamente diferentes (P<0.05) para cada muestra

Para el caso del Cd, los resultados de las muestras de HA y los expuestos por Lima et.al., (2004) reportan valores idénticos, mientras que los valores de CM son relativamente mayores a los expuestos por Lima et.al., (2004). Los valores de Zn y Cu para HA y CM se encuentran por debajo de todos los reportados y son ligeramente cercanos a las concentraciones encontradas por Martensson et.al., (1999). Ver tabla 5.

El Níquel (Ni) no fue detectado en las muestras de HA y CM, mientras que para el resto de los reportados sí se encuentra presente; aun cuando se encontró Mn en las muestras de HA y CM en concentraciones que no son significativamente diferentes, no excede los valores reportados por Iwegbue et.al., (2006), Martensson et.al., (1999) y Sadi et.al., (2002). Ver tabla 5.

Martensson et.al., (1999) fue el único que reporta valores para Fe, siendo mayores para la muestra HA y menor a lo encontrado en CM. Ver tabla 5.

Tabla 5. Comparativo del contenido de metales, en miligramos /Kilogramo

METAL	HA	CM	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Pb (Pb)	N.D.	0.130	100	117	234	5.6	157	640	120	126	98.48	70-1000
Cd	N.D.	0.00186	2.0	1.5	3.3	N.D.	---	10.0	4.0	1.5	0.95	0.7-10
Fe	0.82	5.921	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---
Zn	0.021	0.213	200	220	655	58	422	1.15	90	324	134.71	210-4000
Cu	0.011	0.0847	100	50.2	281	25	288	0.71	47.0	90.6	30.8	70-600
Ni	N.D.	N.D.	20.0	15	340	5.0	38.0	0.58	98.0	58.7	---	20-200
Mn	0.157	0.1341	---	---	501	---	---	0.39	---	182	---	---

1. SAGARPA (2007)
 2. Greenway y Song (2002)
 3. Iwegbue et.al., (2006)
 4. Lima et.al., (2004)
 5. Madrid et.al., (2007)
 6. Martensson et.al., (1999)
 7. Rosal et.al., (2007)
 8. Sadi et.al., (2002)
 9. Whittle y Dyson (2002)
 10. William (2000)
- N.D. No detectable

La diversidad de los valores reportados puede deberse a que las compostas fueron elaboradas empleando una gran variedad de desechos, los cuales por lo general no son sometidos a una adecuada selección y separación de residuos; incluso algunos autores reportan el empleo de aguas residuales para mantener la humedad durante el proceso de composteo, siendo ésta una de las vías de incorporación de los metales a las compostas.

Sin embargo, los procesos por medio de los cuales se obtuvieron las compostas HA y CM no presentan esta particularidad, ya que HA, al igual que lo reportado por Greenway y Song (2002), es una composta que se obtiene a partir de residuos agrícolas, pero aun así en ningún caso se acercaron a los valores de metales reportados.

La composta CM, dado su origen a partir de residuos sólidos municipales seleccionados (residuos orgánicos de poda y los provenientes de flores y hortalizas), no presenta similitud con lo reportado por Lima et.al., (2004) aun cuando tengan un origen similar.

Con respecto a la toxicidad, los extractos acuosos obtenidos a partir de las muestras de HA mostraron una fuerte inhibición de la germinación de semillas de trigo y alfalfa. Aun cuando se emplearon concentraciones bajas del extracto acuoso (20%), se presentó este efecto.


Los extractos acuosos de CM mostraron mayor inhibición de la germinación de trigo y alfalfa; conforme se aumentaba la concentración del extracto acuoso, presentaron una inhibición total de la germinación hasta una concentración de 80% o más.

El probable efecto de los extractos acuosos de CM y HA en la germinación podría suponerse debido a la presencia de metales en las muestras analizadas de HA y CM; sin embargo, el contenido encontrado en CM es mucho mayor que el de HA, aspecto que no se ve reflejado en los bioensayos de germinación, pues quienes inhiben totalmente la germinación son los extractos acuosos de HA. Esto probablemente se debe a la presencia en CM de algunos componentes esenciales para el desarrollo de los cultivos y por ende de la germinación. Por ejemplo, Iannacone y Alvaríño (2005) y Lima et al., (2004) encontraron que la inhibición en el desarrollo de los cultivos no sólo dependía de un parámetro, sino que es un efecto sinérgico, debido a una gama de diversos componentes presentes en las compostas, mientras que para García-Martínez y González (2005) y García-Martínez et al., (2002) las compostas presentan compuestos bioactivos que promueven el desarrollo de los cultivos.

Conclusión

El contenido de metales de las muestras de humus activo (HA) y composta municipal (CM), nunca fue mayor a los límites recomendados por la norma oficial.

Las muestras de HA evidenciaron la presencia de Fe, Zn, Cu y Mn, mientras que las muestras de CM contuvieron Pb, Cd, Fe, Zn, Cu y Mn; aun cuando el contenido de metales fue mayor en CM, los extractos acuosos de HA presentaron inhibición de la germinación de semillas de trigo (*Triticum aestivum*) y alfalfa (*Medicago sativa*).

Esto nos da evidencia significativa de que la presencia de metales no es un parámetro único para determinar la toxicidad de las compostas y su posible aplicación; promoviendo así el estudio de la interacción composta-suelo-cultivo y sobre todo la presencia de compuestos bioactivos en las compostas. 

Referencias

- Barral, S.M.T., Moldes, M.A., Cendón, S.Y. y Diaz-Fierros, V.F. (2007). Assessment of municipal soil waste compost quality using standardized methods before preparation of plant growth media. *Waste Management & Research*. 25(2), 99-108.
- D Amore, J.J., Al-Abed, S.R., Scheckel, K.G. y Ryan, J.A. (2005). Methods for speciation of metals in soils: A Review. *Journal Environmental Quality*. 34(5), 1707-1745.
- García, C., Hernández, T., Costa, F. y Polo, A. (1991). Humic substances in composted sewage sludge. *Waste Management & Research*. 9(1),189-194.
- García-Martínez, I. (2004). *Análisis e Identificación de Reguladores del Crecimiento Vegetal en una composta*. Tesis Doctoral. Universidad Autónoma Metropolitana: México.
- García-Martínez, I. y González, L.R. (2005). Análisis e identificación de bioestimulantes indólicos en una composta. *Investigación Universitaria Multidisciplinaria*, 4(4), 7-13.
- García-Martínez, I., Cruz, F., Larqué-Saavedra, A. y Soto, M. (2002). Extraction of auxin-like substances from compost. *Crop Research*, 24, 323-327.
- Greenway, G.M. y Song, Q.J. (2002). Heavy metal speciation in the composting process. *Journal of Environmental Monitoring*. 4,300-305.
- Iannacone, O.J. y Alvaríño, F.L. (2005). Efecto ecotoxicológico de tres metales pesados sobre el crecimiento radicular de cuatro plantas vasculares. *Agricultura Técnica*. 65(2), 198-203.
- Iwegbue C.M.A., Egun, A.C., Emuh, F.N. y Isirimah, N.O. (2006). Compost maturity evaluation and its significance to agriculture. *Pakistan Journal of Biological Sciences*. 9(15), 2933-2944.
- Iwegbue, C.M.A., Emuh, F.N., Isirimah, N.O. y Egun, A.C. (2007). *Fractionation*, characterization and speciation of heavy metals in composts and compost-amended soils. *African Journal of Biotechnology*. 6(2), 67-78.
- Lima, J.S., de Queiroz, J.E.G. y Feitas, H.B. (2004). Effect of selected and non-selected urban waste compost on the initial growth of corn. *Resources Conservation and Recycling*. 42(4), 309-315.
- Madrid, F., López, R., y Cabrera, F. (2007). Metal accumulation in soil after application of municipal solid waste compost under intensive farming conditions. *Agriculture, Ecosystems & Environment*. 119 (3), 249-256.
- Martensson, A.M., Aulin, C., Wahlberg, O. y Agren, S. (1999). Effect of humic substances on the mobility of toxic metals in a mature landfill. *Waste Management & Research*. 17(4), 296-304.
- Mbila, M.O., Thompson, M.L., Mbagwu, J.S. y Laird, D.A. (2001). Distribution and movement of sludge-derived trace metals in selected Nigerian soils. *Journal of Environmental Quality*. 30(5), 1667-1674.

- Petrell, R. (2003). *Amount and leaching potential of heavy metals in bark mulch and compost used on the University of British Columbia grounds*. Reporte de Investigación. Canadá: University of British Columbia.
- 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*. 18(6), 75-82.
- Sadi, B.B.M., Wrobel, K., Wrobel, K., Kannamkumarath, S.S., Castillo, J.R. y Caruso, J.A. (2002). SEC-ICP-MS studies for elements binding to different molecular weight fractions of humic substances in compost extract obtained from urban solid waste. *Journal of Environmental Monitoring*. 4, 1010-1016.
- Secretaría de Agricultura, Ganadería, Desarrollo Rural, Pesca y Alimentación -SAGARPA- (2007). *NMX-FF-109-SCFI-2007. Humus de lombriz (Lombricomposta) – Especificaciones y Métodos de prueba*.
- Wershaw, R.L. (2004). *Evaluation of conceptual models of natural organic matter (Humus) from a consideration of the chemical and biochemical processes of Humification*. Reporte de Investigación. Reston, Virginia: U.S. Geological Survey.
- Whittle, A.J. y Dyson, A.J. (2002). The fate of heavy metals in green waste composting. *The Environmentalist*. 22(1), 13-21.
- Widman, A.F., Herrera, R.F., y Cabañas, V.D. (2005) El uso de composta proveniente de residuos sólidos municipales como mejorador de suelos para cultivos en Yucatán. Estudios preliminares. *Ingeniería Revista Académica*. 9(3), 31-38.
- William, F.B. (2000). *Compost quality standards & guidelines*. New York: New York State Association of Recyclers.
- Woodbury, P.B. (1993). *Potential effects of heavy metals on plants and the environment*. Ithaca, NY: Cornell Waste Management Institute.