

Evaluación de la toxicidad puntual en un sitio de disposición final de residuos municipales

Sosa-Olivier José Aurelio, Laines-Canepa José Ramón, Enríquez-Murguía Jorge Francisco, Molina Fernando, Bautista-Martínez Liliana, Segura-García Andrea Eduviges, Hernández-Alcudia Sheyla Esthefany

Fecha de recepción: febrero de 2015 – Fecha de aprobación: mayo 2015

RESUMEN

En el año 2014 se llevó a cabo la determinación de toxicidad de cinco puntos con evidencia de acumulación de lixiviados, cercanos al frente de trabajo de un sitio de disposición final de residuos sólidos urbanos. Se determinaron parámetros fisicoquímicos y metales pesados como Cn, Cu, Cr, Fe, Ni, Zn. Para conocer el grado de toxicidad, se realizó un bioensayo de evasión con lombrices de tierra *E. foetida*, contrastando muestras de los cinco puntos con un punto tomado a 250 m de distancia al frente de trabajo. Los resultados obtenidos, demuestran la presencia de algunos de los metales de interés, se determinó una evasión >70 %. Se realizó una prueba de Tukey, obteniendo un valor de $p < 0.05$, lo que concluye que el punto número 3, fue el que presenta mayor toxicidad, alcanzando el 100% de evasión.

Palabras clave: *E. Foetida*, bioensayo, metales pesados, níquel.

Evaluation of toxicity in a timely final site municipal waste disposal

SUMMARY

In 2014 was conducted to determine toxicity of five points, with evidence of leachate accumulation, near the working face of a final disposal site for solid waste. Physicochemical parameters and heavy metals as Cn, Cu, Cr, Fe, Ni, Zn were determined. To determine the degree of toxicity bioassay was performed with evasion earthworms *E. foetida* land, contrasting samples of the five points with a point taken at 250 m distance work front. The results obtained show the presence of some of the metals of interest, an escape > 70% was determined. Tukey test was performed, obtaining a value of $p < 0.05$, which concludes that the point 3, which was the most toxic, reaching 100% avoidance.

Index words: *E. foetida*, bioassay, heavy metals, nickel.

¹División Académica de Ciencias Biológicas. Universidad Juárez Autónoma de Tabasco. 0.5 km Carretera Villahermosa Cárdenas. Villahermosa, Tabasco. C.P. 86130. México.
Correo electrónico: ing-jaso@hotmail.es

Nota: El período de discusión está abierto hasta el 1° de septiembre de 2015. Este artículo de investigación es parte de Ingeniería–Revista Académica de la Facultad de Ingeniería, Universidad Autónoma de Yucatán, Vol. 19, No.2, 2015, ISSN1665-529-X.

INTRODUCCIÓN

Los sitios de disposición final (SDF) de residuos, han sido una tecnología muy usada en el manejo integral de los residuos sólidos urbanos (RSU). Sin embargo, cuando los sitios no cumplen con la normativa (NOM-083-SEMARNAT-2003, para el caso de México), además de una operación y mantenimiento inadecuado, estos sitios se convierten en tiraderos a cielo abierto (TACA).

Los impactos ambientales que generan los TACA es la migración de contaminantes, por lixiviados, emisiones de gases de efecto invernadero como el metano y dióxido de carbono, por la descomposición anaerobia de la fracción orgánica y cuando existe quema de RSU, se liberan contaminantes como metales pesados, hidrocarburos, compuestos orgánicos semivolátiles (SVOC), bifenilos policlorados (PCB) y dioxinas y furanos (Volke *et al.* 2005, Zairi *et al.*, 2004 y Atencio *et al.*, 2013).

Todo SDF genera lixiviados, los cuales se forman principalmente por la percolación de las aguas meteóricas a través de la masa de residuos, sin embargo, en la mayoría de los casos los RSU contienen cantidades de agua suficientes para generar lixiviados, aún sin la entrada de aguas meteóricas (Robles 2008).

Los lixiviados producidos en los SDF normalmente contienen metales como Cu, Zn, Pb y Hg (Volke *et al.*, 2005). El manejo inadecuado de los lixiviados, provoca la migración de contaminantes inmersos, en el suelo natural de zonas aledañas a los sitios, provocando su deterioro y acumulación de sustancias contaminantes. Pastor y Hernández (2012), reportan los siguientes valores, 6.3 a 7.6 de pH, 5047 a 28,453 mg Fe kg⁻¹, 46 a 552 mg Mn kg⁻¹, 13.8 a 960 mg Zn kg⁻¹, 2.5 a 3,680 mg Cu kg⁻¹, 0 a 797 mg Pb kg⁻¹, 0 a 10 mg Cd kg⁻¹, 0 a 17 mg Cr kg⁻¹, 0 a 32 mg Ni kg⁻¹, 0 a 9 mg Co kg⁻¹, 15,250 a 65,790 mg Al kg⁻¹, obtenidos muestras de suelo a una profundidad de 10 cm del suelo y las muestras de control tomadas a una profundidad de 15 cm, en terrenos de pastoreo de los alrededores a un SDF. Kasassi *et al.* (2008) reportan valores de metales en rangos de concentración, 0.50 a 18.75 mg Cd kg⁻¹, 3.88 a 171.88 mg Cr kg⁻¹, 8.13 a 356.25 mg Cu kg⁻¹, 5.63 a 63.75 mg Ni kg⁻¹, 2.50 a 92.50 mg Pb kg⁻¹ y 6.38 a 343.75 mg Zn kg⁻¹, las muestras fueron obtenidas en excavaciones de más de 2.5 m de profundidad.

En las últimas dos décadas el uso de bioensayos, con el uso de organismos para determinar efectos adversos de algún contaminante, han tenido gran auge. La aplicación de microcosmos en laboratorio se ocupa de la variabilidad y la reproducibilidad, al igual que ayudan a la comprensión de los efectos ambientales (Cairns y Pratt, 1988, Teuben y Verhoef, 1992, Lisa *et al.*, 2002).

Las lombrices de tierra, a diferencia de otros grupos de organismos del suelo, son organismos muy sensibles a los productos químicos, por ello el uso de diversas especies de lombrices como la *E. foetida*, en pruebas de evasión, crecimiento y reproducción, al igual de ensayos oxidativos (Römbke, 2003, Li *et al.*, 2011).

Existe un bioensayo denominado, prueba de evasión, esta se basa en la evaluación de efectos sub letales caracterizados por el comportamiento de evasión de las lombrices, para la cual se mide el número de lombrices que se desplazan desde un suelo contaminado y que, por tanto, evaden la exposición, considerando esta conducta como un parámetro ecológico pertinente para evaluar la nocividad de los suelos contaminados con metales u otras sustancias (Lukkari y Haimi, 2004, Cuevas *et al.*, 2012). Römbke y Moser (1999) mencionan tiempos desde dos a nueve semanas en bioensayos con lombrices, además de su uso en la determinación de ciertos contaminantes como PAC, PCB, Cd, Cu, Pb, Zn, Fe, Mn, Ni, As (Achazi *et al.*, 1996, Posthuma *et al.*, 1997, Posthuma *et al.*, 1998 y Filiminova *et al.*, 2000).

En el estado de Tabasco, ha habido casos aislados en cuestión del buen manejo de los RSU, desafortunadamente, en algún momento surge el descontrol de los SDF, convirtiéndose en TACA, que promueven el aporte de contaminantes en diferentes fases. El presente estudio tiene como objetivo, el determinar la toxicidad de 5 puntos contaminados con lixiviados en un SDF, a partir de un bioensayo con lombrices *E. foetida*.

MÉTODO

Ubicación del sitio y puntos de muestreo

El Relleno Sanitario Municipal se encuentra ubicado en el km. 13 de la carretera Villahermosa-Nacajuca, en la R/a. Arroyo Sector San Cipriano, del Municipio de Nacajuca, Tabasco. El Relleno Sanitario se ubica en las coordenadas 92°58'59.99" de longitud oeste y 18°06'42.16" de latitud Norte (Tabla 1).

Tabla 1. Localización y descripción de los puntos de muestreo

Puntos de muestreo	Ubicación	Coordenadas	
		Norte	Oeste
1	Frente de trabajo	18°06'52.85"	92°57'18.36"
2	Frente de trabajo	18°06'52.50"	92°57'17.84"
3	Frente de trabajo	18°06'51.67"	92°57'17.08"
4	Sitios posterior a una barrera natural (Canal)	18°06'52.40"	92°57'18.54"
5	Costado del frente de trabajo	18°06'54.38"	92°57'17.45"
6	Testigo (Terreno de pastoreo de ganado a 250 m de distancia)	18°06'59.00"	92°57'23.68"

Con una superficie de 2 ha se determinaron seis puntos de muestreo (PM), en base a recorridos previos al sitios, donde se observó la presencia de lixiviados. Los cuales se presentan en el Tabla 1 y en la Figura 1, se muestra su ubicación.

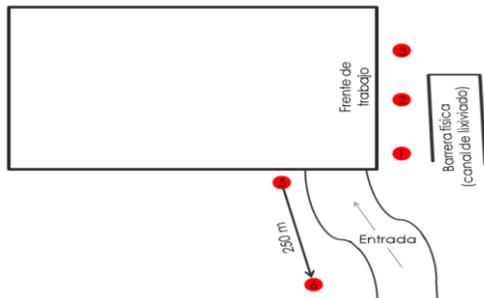


Figura 1. Ubicación de los puntos de muestreo Toma de muestras.

En los PM se realizaron excavaciones de 30 cm de profundidad (NOM-021-SEMARNAT-2000), obteniendo 2 kg de muestra (Figura 2). Se tomaron esos puntos de manera estratégica, con la finalidad de observar algún tipo de toxicidad que puede causar los lixiviados generados por residuos sólidos urbanos.



Figura 2. Toma de muestras.

Preparación de las muestras

La preparación consistió en secarlas, triturarlas y tamizarlas esto basado en la NOM-021-

SEMARNAT-2000. Por cada punto de muestreo se pesaron 500 g, los cuales se colocaron en charolas de aluminio y se introdujeron a una estufa a 103°C durante 24 h, como establece la NMX-AA-16-1984. Las muestras secas fueron trituradas y tamizadas en malla no. 10.

Parámetros fisicoquímicos

Se realizaron mediciones fisicoquímicas al suelo, utilizando 10 g de suelo y diluyéndolo en 90 mL H₂O destilada, agitando la mezcla durante 10 min y dejando reposar 30 min, hasta obtener el sobrenadante, al cual se le midió el pH, Conductividad eléctrica ((μS/cm) potencial oxido reducción, salinidad y oxígeno disuelto, con un equipo multiparamétrico marca Hanna® modelo 9828. Además se determinaron metales pesados como Cn, Cu, Cr, Fe, Ni, Zn, en un fotómetro marca Hanna® modelo c99.

Textura

La textura de un suelo representa su composición granulométrica. Cada término corresponde a una determinada composición cuantitativa de arena, limo y arcilla. Para determinar la textura del suelo, se utilizó el método Bouyoucos. En un vaso Berzelius, de 500 mL, se depositaron 70 mL H₂O (grado comercial). Se pesaron y agregaron 55 g de suelo. Se agregó y mezcló 20 mL H₂O₂, dejando que reaccionara por 10 min. Se colocaron 50 g del suelo en el vaso de una batidora y se agregaron 5 ml de oxalato de sodio, y 5 ml de Na₂SiO₃. Se agregó agua hasta la segunda ranura y se agitó durante 10 min. Se vertió en una probeta 1000 mL. La probeta se aforo con agua fría, manteniendo una temperatura de 20 °C. La muestra se agitó 1 min y se dejó reposar 40 s. Posteriormente se tomó la primera lectura con un hidrómetro y la temperatura. Se dejó reposar otras 2 h y se tomó la segunda lectura.

Finalmente con las ecuaciones siguientes y el triángulo de textura, se realizó la determinación.

$$\begin{aligned} & \frac{\% \text{ Limos} + \% \text{ Arcillas}}{\text{(primero lectura} \times 100)} \\ & = \frac{g \text{ suelo}}{\% \text{ Arena} = 100 - (\% \text{ Limo} + \% \text{ Arcilla})} \\ & \frac{\% \text{ Arcilla} = \text{(segunda lectura} \times 100)}{g \text{ suelo}} \\ & \% \text{ Limo} = (\% \text{ Limo} + \% \text{ Arcillo}) \\ & \quad - \% \text{ Arcilla} \end{aligned}$$

Densidad real

Este valor se determinó en base a lo reportado por Valencia (2004). Se colocaron 20 g de suelo seco en un matraz aforado de 100 mL, completamente seco y previamente pesado. Posteriormente se agregó lentamente agua destilada, girándolo y agitando el matraz suavemente para facilitar el desalojo del aire atrapado en el fondo del matraz. Se agitó continuamente el matraz de forma circular evitando la formación de espuma y se añadió agua hasta cerca del cuello del matraz, dejándolo reposar unos minutos hasta que ya no existan burbujas de aire. Se aforo conservando el menisco en el límite de la marca de 100 mL. Se pesó el matraz con la mezcla suelo/agua y posteriormente se vertió todo el contenido del matraz. Finalmente se lavó y seco para pesarlo y restarle el peso del matraz, para obtener todos los pesos que se utilizaron en la siguiente ecuación:

$$D_{real} = \frac{P_s}{P_s + P_{H_2O} - P_{(S+H_2O)}}$$

Donde:

P_s = Peso suelo = 20 g

P_{H_2O} = Peso agua

$P_{(S+H_2O)}$ = Peso de la mezcla (suelo + agua)

Bioensayo

Para evaluar la calidad del suelo se realizó un bioensayo de evasión subletal (Loureiro *et al.*, 2005), durante 15 días, con tres replicas por cada PM contaminado, obteniendo 15 unidades experimentales (UE), las cuales constaban de recipientes transparentes con tapa (Figura 3). Se utilizaron 250 g de suelo contaminado y 250 g de suelo testigo y finalmente con una barrera natural se dividió físicamente cada suelo. Dentro del surco, se colocaron 10 individuos, con un peso promedio de 0.232 ± 0.019 g. Los puntos 1 al 5 se consideraron suelos contaminados y el punto 6 se consideró suelo testigo o blanco. A cada UE se añadieron 30 g de sustrato que mantendrían con alimento a las lombrices. Previo al ingreso las lombrices fueron lavadas, y promoviendo su excreción, durante 5 horas sin alimento. Se tomaron dos lecturas de evasión, una a los 7 y 15 días.

Para determinar los valores de evasión, se utilizó la siguiente ecuación (Busch *et al.*, 2011; Tammeorg *et al.*, 2014):

$$\% \text{Evasión} = \frac{(n_c - n_T)}{N} * (-100)$$

Donde:

$\% \text{Evasión}$: Porcentaje de evasión

n_c : Número de individuos encontrados en el suelo control

n_T : Número de individuos encontrados en el suelo contaminado

N : Total de individuos utilizados por cada UE



Figura 3. Unidades experimentales (UE).

Análisis estadístico

Se montó un diseño experimental completamente aleatorizado, aplicando un Análisis de Varianza (ANOVA) con un nivel de significancia del 95%, utilizando el paquete estadístico STATGRAPHICS® Centurion XV.II.

RESULTADOS

Obtención de muestras

Las muestras obtenidas (Figura 4) del sitio fueron trasladadas a la planta piloto no. 3 de Tratamiento de aire y residuos sólidos, donde fueron preparadas para sus análisis.

Mediciones fisicoquímicas

Los resultados fisicoquímicos de cada punto de muestreo se muestran en el Tabla 2.

Características físicas del suelo

En base a las pruebas realizadas de textura, densidad y humedad se determinaron las características, como se muestra en el Tabla 3.

Metales pesados

En el Tabla 4 se muestran los valores promedios de la concentración de metales pesados por punto de muestreo.

Con respecto a la NOM-017-SEMARNAT-2004, los puntos 2 y 4 superan los límites máximos permisibles para el aprovechamiento del sitio,

Bioensayo

Los resultados del bioensayo para los primeros 7 días se muestran en el Tabla 5.

Los valores obtenidos en la segunda revisión (a los 15 días) se muestran en el Tabla 6. Es posible observar que durante casi todo el bioensayo, el suelo del punto 3 tuvo mayores % evasión.

Análisis estadístico

La prueba de Tukey se realizó, como se muestra en la Figura 5.

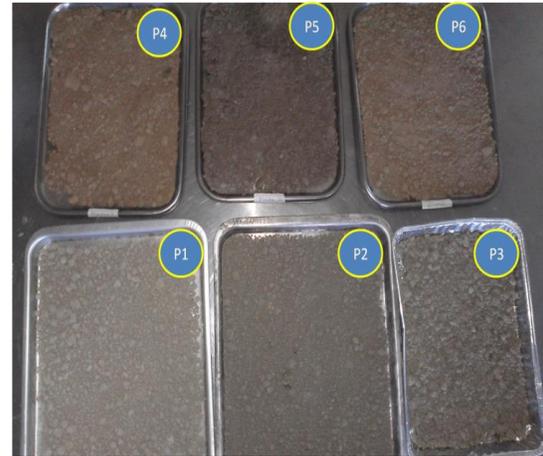


Figura 4. Muestras obtenidas por cada punto.

Tabla 2. Valores fisicoquímicos de cada punto de muestreo.

Punto de muestreo	pH	Conductividad Eléctrica ($\mu\text{s cm}^{-1}$)	Potencial oxido Reducción (mV)	Salinidad (psu)
1	8.15±0.30	169.33±38.28	49.40±42.584	0.05±0.03
2	8.64±0.10	189.00±62.35	2.87±24.4	0.09±0.03
3	8.79±0.07	245.33±44.54	-20.00±21.52	0.11±0.02
4	8.56±0.10	124.33±43.38	-5.80±13.59	0.06±0.02
5	8.48±0.26	85.67±80.00	-10.33±20.40	0.04±0.04
6	8.41±0.14	95.00±55.74	-1.47±13.58	0.04±0.02

Tabla 3. Características físicas del suelo.

Punto de muestreo	Textura	Humedad (%)	Densidad (g ml^{-1})
1	Arcillo- limoso	27.86	2.41
2	Franco	26.44	2.08
3	Arcillo-limoso	31.54	2.15
4	Franco- arenoso	20.12	2.33
5	Arenoso	17.2	2.44
6	Franco limoso	25.94	2.08

Tabla 4. Valores promedio de metales pesados determinados (mg kg⁻¹).

Punto de muestreo	Cianuro	Cobre	Cromo VI	Hierro	Níquel	Zinc
1	10±0.173	33.33±0.05	4.67±5.68	97±0.01	FR	40±0.69
2	1.33±0.002	63.33±0.037	4.33±3.785	53.33±0.015	26,667±0.05	83.333±0.14
3	FR †	50±0.017	11±9.64	130±0.02	FR	140±0.24
4	FR	16.67±0.015	FR	536.67±0.030	23,333±0.02	FR
5	0.33±0.005	20±0.02	13.33±8.02	46.67±0.04	FR	FR
6	0.67±0.001	6.67±0.011	7±6.24	30±0.02	300±0.2	33.33±0.06

†FR: Fuera de rango

Tabla 5. Porcentaje de evasión (7 días).

Tipo de suelo	% Evasión			Media
	Replica 1	Replica 2	Replica 3	
1	60	70	60	63.33±5.77
2	70	60	40	56.67±15.28
3	100	90	100	96.67±5.77
4	70	60	80	70.00±10.00
5	50	40	20	36.67±15.28

Tabla 6. Porcentaje de evasión (15 días).

Tipo de suelo	% Evasión			Media
	Replica 1	Replica 2	Replica 3	
1	70	80	60	70.00±10.00
2	80	80	90	83.33±5.77
3	100	100	100	100.00±0.00
4	80	80	80	80.00±0.00
5	70	70	80	73.33±5.77

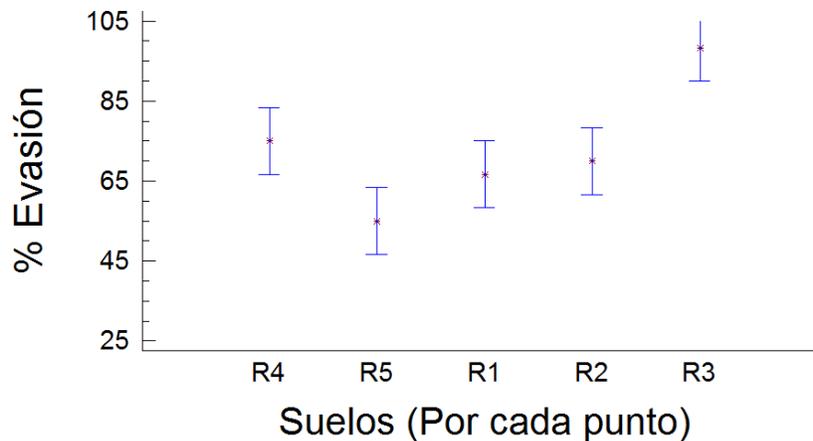


Figura 5. Análisis estadístico.

Dado que el valor de p es inferior a 0.05, existen diferencias estadísticamente significativas entre los puntos comparados, con un nivel de confianza del 95.0%, destacando el punto 3, con el mayor % de evasión.

DISCUSIÓN

Los valores de pH, indican un rango de ligera alcalinidad, en cambio los puntos 2,3 y 4 fueron altamente alcalinos, lo que puede provocar una dificultad en el desarrollo de cultivos y una posible clorosis férrica esto de acuerdo a la NOM-021-REC.NAT-2000. Los valores de POR indican para el punto 1 y 2, valores positivos, por lo cual indica que existen reacciones de oxidación; para los puntos 3, 4, 5 y 6, se obtuvieron valores negativos, donde se llevan a cabo reacciones de reducción. Para el caso de los metales pesados, los puntos 2 y 4, presentan concentraciones por encima de la norma. Los resultados de textura, indican que solo el punto 1 y 3, presenta una ligera predominancia arcillosa, lo cual podría

impedir la migración de contaminantes, y por ende, la concentración de estos. Sin embargo en el bioensayo, se muestra que en todos los suelos contaminados, presentaron una evasión > 70%. Esto genera hipótesis a resolver, como el uso de otras técnicas de determinación de metales, la ampliación de puntos de muestreo y las profundidades a monitorear.

CONCLUSIÓN

Los resultados confirman la existencia de ciertos niveles de contaminación, sin embargo en estudios posteriores, es recomendable el uso de técnicas más precisas en la determinación de metales pesados. La implementación de los SDF, como los rellenos sanitarios, son buenas tecnologías, sin embargo, el mal diseño, construcción, operación y mantenimiento, además de la falta del monitoreo ambiental, provocan su conversión a Tiraderos a Cielo Abierto.

REFERENCIAS

- Atencio R., Reyes J. y Guevara J. (2013). Evaluación de riesgo ambiental en un tiradero con quema de basura. "Internacional de Contaminación Ambiental" 29: 107-117.
- Busch D., Kammann C., Grünhage L., Muller C. (2011). Simple biotoxicity tests for evaluation of carbonaceous soil additives: establishment and reproducibility off our test procedures. "Environ. Quality" 40: 1–10 pp.
- Cairns J., Pratt J. (1988). Ecotoxicological effect indices: A rapidly evolving system. "Water Sci. Tech." 19: 1–12.
- Cuevas M., Espinosa G., Ilizaliturri C., Mendoza A. (2012). Métodos ecotoxicológicos para la evaluación de suelos contaminados con hidrocarburos. Instituto Nacional de Ecología. Secretaria de Medio Ambiente y Recursos Natrales. México. 136 p.
- Kasassi A., Rakimbei P., Karagiannidis A., Zabaniotou A., Tsiouvaras K., Nastis A., Tzafeiropoulou K. (2008). Soil contamination by heavy metals: measurements from a closed unlined landfill. "Bioresource Technology" 99: 8578–8584.
- Li D., Hockaday W., Masiello C. y Alvarez P. (2011). Earthworm avoidance of biochar can be mitigated by wetting. "Soil Biology & Biochemistry" 43: 1732 – 1737.
- Loureiro S., Soares A. y Nogueira A. (2005). Terrestrial avoidance behavior tests as screening tool to assess soil contamination. "Environmental Pollution" 138: 121-131.
- Lukkari T. y Haimi J. (2005). Avoidance of Cu- and Zn-contaminated soil by three ecologically different earthworm species. "Ecotoxicology and Environmental Safety" 62: 35–41.
- Norma Oficial Mexicana 021. (2000). Especificaciones de fertilidad, salinidad y clasificación de suelos. Estudios, muestreos y análisis. Secretaria de medio ambiente y recursos naturales. México.

Pastor J., Hernández J. (2012). Heavy metals, salts and organic residues in old solid urban waste landfills and surface waters in their discharge areas: determinants for restoring their impact. "Journal of environmental management" 95: 42 – 49.

Robles, F. (2008). Generación de biogás y lixiviados en los rellenos sanitarios. 2ª edición. revillagigedo 83: 112 p.

Tammeorg P., Parviainen T., Nuutinen V., Simojoki A., Vaara E. y Helenius J. (2014). Effects of biochar on earthworms in arable soil: avoidance test and field trial in boreal loamy sand. "Agriculture, Ecosystems and Environment" 191: 150–157 pp.

Teuben A. y Verhoef H. (1992). Relevance of micro-and mesocosm experiments for studying soil ecosystem processes. "Soil Biol. Biochem" 24: 1179.

Volke T., Velasco J., De la Rosa D. (2005). Suelos contaminados por metales y metaloides. Instituto Nacional de Ecología. Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales. México. 144 p.

Zairi M., Ferchichi M., Ismail A., Jenayeh M., y Hammami H. (2004). Rehabilitation of yahoudia dumping site, tunisia. "Waste Manage". 24: 1023-1034 pp.

Este documento debe citarse como: Sosa-Olivier J.A., Laines-Canepa J.R., Enríquez-Murguía J. F., Molina F., Bautista-Martínez L., Segura-García A. E., Hernández-Alcudia S. E. (2015). **Evaluación de la toxicidad puntual en un sitio de disposición final de residuos municipales.** Ingeniería, Revista Académica de la FI-UADY, 19-2, pp. 110-117, ISSN 1665-529-X.