

Estimación de la fitotoxicidad de compost de lodos residuales utilizando *Raphanus sativus* L. como planta indicadora^a

Estimation of phytotoxicity from sewage sludge compost using Raphanus sativus L. as indicator plant

Raúl Jesús Jiménez Solórzano

Instituto Nacional de Investigaciones Agrícolas, INIA-CENIAP, Unidad de Recursos Agroecológicos. Avenida Universidad. Vía El Limón, Maracay, estado Aragua. Apartado Postal 4653. Correo electrónico: rjjimenez@inia.gob.ve

RESUMEN

La descomposición de la materia orgánica sobre cualquier tipo de suelos libera compuestos orgánicos fitotóxicos que pueden afectar todo un ecosistema. El compostaje surge como opción de saneamiento para la estabilización de materiales orgánicos que en su constitución presenten nutrientes esenciales para el desarrollo de las plantas, y carbono orgánico que les otorguen propiedades como fertilizantes de liberación lenta y acondicionadores de suelo. Sin embargo, es importante estimar el grado de fitotoxicidad que puedan poseer estos materiales antes de ser incorporados en un suelo. En la presente investigación, se presentan las características químicas (macro y micronutrientes) de dos composts elaborados a partir de lodos de plantas de tratamiento de aguas residuales, y la estimación de la fitotoxicidad que pudieran contener estos lodos de ser utilizados en forma directa, sin ningún tipo de tratamiento. Los efectos de los composts elaborados con diferentes materiales de relleno: hoja seca y paja común (C₁), y aserrín (C₂); sobre las plantas, se evaluaron a través de pruebas de germinación, y un ensayo con rabanitos (*Rhaphanus sativus* L.) bajo condiciones de invernadero contando número de hojas verdaderas formadas, longitud de la planta (cm.) y peso fresco de la planta (g). La prueba de germinación mostró un mejor comportamiento en C₁ traducándose en un compost de mejor calidad. El rendimiento en peso fresco total presentó valores mayores donde se emplearon los composts como enmiendas (1,22 g). No obstante, la misma característica fue menor (0,35 g) en donde se utilizó el lodo residual seco, sin ningún tipo de tratamiento.

Palabras clave: lodos residuales, compostaje, compost, fitotoxicidad, rabanito

ABSTRACT

The decomposition of organic matter on any soil releases phytotoxic organic compounds that could affect an entire ecosystem. Composting emerges as a sanitation option for stabilizing organic materials which contain essential nutrients for plant growth, and organic carbon that give them properties as slow release fertilizers and soil conditioners. However, it is important to estimate the degree of phytotoxicity that those materials may possess before incorporating them into the soil. This research analyses the chemical composition (macro and micronutrients) of two composts, one prepared with straw (C₁) and the other with sawdust (C₂), from a sludge-treatment plant of wastewater. Then, it estimates the phytotoxicity of such composts if they were to be used directly. The effects of the composts on plants were evaluated through 1) germination tests, and 2) a test with radishes (*Rhaphanus sativus* L.) under greenhouse conditions, by measuring the number of true leaves, plant length (cm), and fresh plant weight (g). The germination test showed a better performance with C₁. The highest value of total fresh weight (1.22 g) was obtained when composts were used as amendments. Instead, the lowest value of this variable (0.35 g) corresponded to the sludge applied directly with no amendment.

Key words: sewage sludge, compost, composting, phytotoxicity, radish

^a Recibido: 30-10-13; Aceptado: 17-11-14

INTRODUCCIÓN

Uno de los grandes problemas que afecta a nuestro planeta es la gran cantidad de desechos urbanos e industriales que se generan en la producción de cualquier insumo (entendiendo como desecho aquel subproducto creado en una determinada actividad de producción o de consumo que carece de un valor económico en el mercado, y cuya eliminación genera problemas y riesgos para el medioambiente). Los lodos o biosólidos son subproductos líquidos, sólidos o semisólidos generados durante el tratamiento de aguas servidas (Castro *et al.* 2007). La posibilidad de reutilizar materiales orgánicos ricos en nutrientes hace de la aplicación de lodos residuales en suelos agrícolas y forestales una alternativa importante (Salcedo *et al.* 2007). Algunos autores (Martínez *et al.* 2011) exponen que los lodos residuales que no contienen sustancias tóxicas pueden ser compostados y ser usados para mejorar la calidad de los suelos, ya que son ricos en materia orgánica, macro y micro nutrientes. García *et al.* (1992) refieren que las sustancias fitotóxicas pueden ser degradadas mediante el proceso de compostaje. No obstante, antes de aplicar lodos a un suelo, es necesario llevar a cabo la caracterización de los mismos especialmente en lo referente a elementos inorgánicos acumulables, determinación óptima de las dosis y los lapsos de aplicación mediante experimentos en invernadero y en campo de lodos compostados, ya que la descomposición termofílica de los constituyentes orgánicos, producida por microorganismos aerobios, permite obtener un material relativamente estable (Ortiz, 1994).

Acosta *et al.* (2004) señalan que bajo condiciones favorables, la germinación de las semillas es el primer paso en el desarrollo de una planta, y cualquier efecto adverso tendría un impacto directo sobre la sobrevivencia de la misma. Es una prueba indicadora muy común por ser un método bastante simple, rápido y no destructivo. De la misma manera, los rabanitos (*Raphanus sativus* L.) son prácticos como plantas indicadoras de efectos fitotóxicos, por ser una especie de rápido crecimiento (cinco semanas) y por presentar contacto directo entre el sustrato y la parte comestible (Ramírez y Pérez, 2006; Gómez y Pérez, 2013). Un buen compost debería ser tolerado por los cultivos y no afectar el crecimiento y desarrollo de las raíces. Varnero *et al.* (2007) señalan que la madurez de un compost se puede establecer mediante bioensayos de germinación con especies sensibles a metabolitos fitotóxicos. En su investigación, evaluando sensibilidad de la lechuga (*Lactuca sativa*) y rabanitos (*Raphanus sativus* L.) con extractos obtenidos de residuos agroindustriales que estaban en la fase de maduración del proceso de compostaje, el rabanito fue más sensible a la presencia de fitotóxicos.

En la presente investigación, se estimó la fitotoxicidad de dos composts elaborados a partir de lodos de planta de tratamiento de aguas residuales, a través de pruebas de germinación por medio del Índice de germinación de Zucconi *et al.* (1985), y la medición directa de tres características biométricas en el cultivo de rabanito (*Raphanus sativus* L.) bajo condiciones de invernadero: hojas verdaderas (n), longitud total de la planta (cm.), y peso fresco de la planta (g); y los posibles efectos sobre este cultivo de los lodos sin ningún tipo de tratamiento.

MATERIALES Y MÉTODOS

Ubicación del experimento

La investigación se realizó en el Instituto de Edafología de la Facultad de Agronomía de la Universidad Central de Venezuela (Maracay, Aragua).

Compostaje de lodos residuales

En la elaboración del compost se tomaron todas las consideraciones propias del proceso. El lodo residual seco (LRS) originario de una planta de digestión aeróbica de una procesadora de refrescos, se sometió a un proceso de compostaje utilizando dos materiales de relleno: hojas secas y paja común (C₁) en una proporción 1:2 (según hoja de cálculo de la Cornell University, 2003), y virutas de madera (C₂) en una proporción en volumen 1:2 (Wilson *et al.*, 1980; Negro *et al.*, 1999). El compostaje del lodo se realizó en un Módulo de Compostaje diseñado para esta investigación a partir de principios establecidos por otros autores (Sikora *et al.*, 1983; Luque *et al.*, 1986); en donde, se simulaban las condiciones que se presentan en una pila de compostaje aireada con volteo, y se controló la temperatura, humedad y aireación. El proceso de compostaje se completó en dos meses en sus diferentes fases (mesofílica, termofílica, enfriamiento y maduración). La fase termofílica tuvo una duración de 21 días con temperaturas superiores a los 55°C según recomendaciones referenciales por Rivas (1978) y Rivero (1999). Se determinaron los macro y micronutrientes presentes en los dos composts y el LRS, utilizando la metodología del Laboratorio General de Suelos del Departamento de Edafología de la Facultad de Agronomía de la Universidad Central de Venezuela: nitrógeno total (N) por Kjeldahl, fósforo (P) por Olsen modificado, potasio (K) por fotometría de llama y solución doble ácida, y calcio (Ca), magnesio (Mg), hierro (Fe),

cobre (Cu), zinc (Zn) y manganeso (Mn), determinados por Espectrofotometría de Absorción Atómica EAA, previa extracción con una solución de ácido sulfúrico. En el Cuadro 1 se presenta la caracterización química del LRS.

Cuadro 1. Nutrientes presentes en el lodo residual seco (LRS) proveniente de una Planta de Tratamiento de Aguas de una procesadora de refrescos

pH	CE (dS/m)	Macronutrientes*					Micronutrientes*			
		N	P	K (%)	Mg	Ca	Fe	Cu (mg. kg ¹)	Zn	Mn
7,1	2,39	3,81	2,24	0,39	0,53	17,46	6117,5	47,5	290	62,5

Fuente: datos propios

Índice de germinación

Para el ensayo de germinación se colocaron en cápsulas de Petri y sobre papel suave 20 semillas de rabanitos, y se añadieron 5 mL de extracto (con una proporción 1:10 según Ayuso *et al.*, 1992) de los composts C₁ y C₂ (T₁ y T₂, respectivamente), y de la muestra de LRS (T₃). Cápsulas con 20 semillas y 5 mL de agua destilada se utilizaron como control (T₀). El experimento se efectuó por triplicado. Las cápsulas se mantuvieron en cámaras de germinación a 28°C durante 48 horas, y se determinó entonces el índice de germinación (IG) de acuerdo con Zucchini *et al.* (1985, citado por Ayuso *et al.*, 1992), dado por la expresión:

$$IG = (\% g) * (\text{longitud de las radículas}) / \text{longitud de las radículas del control}$$

Se considera una alta fitotoxicidad cuando este índice alcanza valores inferiores a 50% (Emino y Warman, 2004). Luego de la medición de las radículas, las cápsulas se llevaron de nuevo a la estufa donde se mantuvieron un total de 7 días, con el propósito de observar si se trató de una inhibición o de un retraso en la germinación.

Prueba agronómica

El rabanito fue sembrado en envases plásticos de 2 L de capacidad (5 semillas por cada envase), en los que se añadió 1,5 Kg. de un suelo de la serie Maracay (Ostos, 1993) proveniente del Campo Experimental de la Facultad de Agronomía de la Universidad Central de Venezuela, franco arenoso mixto, bien drenado y de fertilidad media. Las enmiendas de suelos se aplicaron en dosis de 20 Mg.ha⁻¹ obteniendo los siguientes tratamientos: suelo sin ningún tipo de enmienda (R₀), suelo más compost C₁ (R₁), suelo más compost C₂ (R₂), y suelo más LRS (R₃); con 3 repeticiones por cada tratamiento para un total de 12 unidades experimentales, en un diseño factorial con un arreglo completamente aleatorizado. El riego fue uniforme (a capacidad de campo) de manera periódica. Los envases plásticos se desmontaron a los 40 días después de la siembra. Se midieron las siguientes características biométricas: hojas formadas completamente (número), longitud total de la planta (cm) y rendimiento en peso fresco (g). Los datos fueron evaluados estadísticamente a través de análisis de varianza (ANOVA) con prueba de F para determinar interacciones significativas, y la prueba de rango múltiple de Duncan ($P < 0.05$) para comparación de medias a través del programa SAS (Statistical Analysis Systems, 1999).

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Nutrientes

En el Cuadro 2 se muestran los nutrientes presentes (macro y micro) en los compost producidos a partir de LRS. El nitrógeno es necesario para la actividad de los microorganismos durante el proceso de compostaje. Los datos refieren una menor concentración de este elemento en C₂ (1,22%) que describe un compost de menor calidad desde el punto de vista de la concentración del mismo con respecto al primer compost (C₁). La concentración de P fue de 1,61 y 1,86% para C₁ y C₂, respectivamente; similar a

la registrada en otros compost producidos a partir de este tipo de materiales (Quinteiro *et al.*, 1998; Negro *et al.*, 1999). Según la información reportada por Costa *et al.* (1992), los valores de P obtenidos son bastante altos. Los mismos autores señalan que el contenido en potasio de los compost, por el contrario, no es por lo general alto publicando un valor promedio del 0,3% en este tipo de materiales. Los compost presentaron una concentración de 0,44 y 0,34% de K para C₁ y C₂, respectivamente.

Cuadro 2. Nutrientes presentes (macro y micro) en las muestras de compost (C₁ y C₂) producidos a partir de LR de PTAR

Compost	Macronutrientes*					Micronutrientes*			
	N	P	K (%)	Mg	Ca	Fe	Cu	Zn (mg kg ¹)	Mn
C ₁	1,33a	1,61b	0,44a	0,063a	15,45a	3495b	47,5a	232,5b	200a
C ₂	1,22b	1,86a	0,34b	0,056b	9,33b	3955a	37,5b	247,5a	47,5b

* En cada columna valores seguidos de distinta letra difieren al nivel del 5% según el test de Duncan

La importancia de los micronutrientes contenidos en los compost, se centra en las concentraciones presentes, que pudieran llegar a ser tóxicas en altas dosis. Sin embargo, estos elementos acompañan las principales funciones de la planta, aunque se requieren en menores cantidades que los macronutrientes, su presencia es importante para que suplan las necesidades vegetales y estos materiales puedan ser usados como fertilizantes orgánicos. El Fe es el micronutriente de mayor concentración en el LRS (Cuadro 1), y por consiguiente, su valor es superior en ambos compost a los otros micronutrientes (Cuadro 2).

Índice de germinación

Los resultados de germinación (%) se presentan en el Cuadro 3, en donde se observan tres grupos en que los promedios son significativamente diferentes uno de otros según el test de Duncan. El compost C₁ presentó el valor mayor de IG (88,9) de los demás tratamientos considerados (incluso sobre el tratamiento control donde se utilizó únicamente agua destilada).

Cuadro 3. Germinación e Índice de Germinación determinados con semillas de rabanitos (*Raphanus sativus* L.)

Tratamiento	Parámetro*	
	germinación (%)	índice de germinación
T ₀	84,9a	84,9b
T ₁	85a	88,9a
T ₂	68,3b	71,9c
T ₃	12,87c	10,1d

T₀ = agua destilada; T₁ = extracto de compost C₁; T₂ = extracto de compost C₂; T₃ = LRS

* En cada columna valores seguidos de distinta letra difieren al nivel del 5% según el test de Duncan.

La prueba de germinación fue utilizada por Acosta *et al.* (2004) incubando semillas de *Lepidium sativum* L. para evaluar la posible fitotoxicidad que podía contener un extracto acuoso de lodos residuales provenientes del tratamiento de aguas servidas, mostrando un índice de germinación de 53,2%; en donde, sugieren que ciertos efectos desfavorables pudieron estar presentes producto de la aplicación del mismo, por presentar este índice de germinación un valor inferior a 60%, planteado por Zucconi *et al.* (1981) como valor por debajo del límite de fitotoxicidad. En este caso, utilizando semillas

de rabanitos, un porcentaje de germinación de 84,9% en T_0 nos lleva a concluir que los elementos presentes (macro y micronutrientes) favorecen el desarrollo de la radícula, que se evidencia por el IG calculado en el tratamiento T_1 (88,9) que se encuentra sobre el T_0 pese a que su %G para ambos tratamientos resultó similar. Los resultados mostrados en el Cuadro 3 para T_3 coinciden con los publicados por Francisco *et al.* (2011), en los que utilizando como enmiendas lodos de planta de tratamiento de aguas residuales en un ensayo de maíz bajo condiciones de invernadero, los porcentajes de emergencia de las plántulas mostraron una merma significativa atribuida a la salinidad del LR, y a la posible lenta mineralización del mismo material que afectó la absorción de los nutrientes. En el caso del LRS (sin ningún tipo de tratamiento), el valor del IG (10,1) muestra un alto grado de fitotoxicidad en este tipo de residuos.

Prueba agronómica

En el Cuadro 4, se presentan los valores de hojas verdaderas por planta, longitud de la planta (cm) y el rendimiento en peso fresco de la planta (g).

Cuadro 4. Características biométricas medidas en el cultivo de rabanitos (*Raphanus sativus* L.) sembrado en condiciones de invernadero

Parámetro	Tratamiento*			
	R ₀	R ₁	R ₂	R ₃
Hojas verdaderas (n)	5,43b	7,2a	7,2a	4,3c
Longitud total de la planta (cm)	20c	25b	27,56a	14,06d
Peso fresco de la planta (g)	0,59b	1,22a	1,22a	0,35b

* En cada fila valores seguidos de distinta letra difieren al nivel del 5% según el test de Duncan.

El número de hojas verdaderas se puede utilizar como un indicativo del estado de desarrollo de las plantas. En el presente estudio, los valores mayores se registraron en los tratamientos R_1 y R_2 ; siendo menor donde se utilizó el LRS (R_3). Gómez y Pérez (2013) evaluaron la calidad de tres compost: el primero, elaborado por un campesino local a partir de materiales fácilmente disponibles, humus de lombriz producido por una pequeña empresa familiar a partir de lombrices rojas californianas alimentadas con pulpa de café, y finalmente un compost comercial elaborado por una empresa certificada productora de insumos orgánicos. Encontraron, en general para todos los tratamientos, un incremento directo del número de hojas con el cultivo de rabanitos rojo en relación con la cantidad de compost aplicada. En su investigación, Ramírez y Pérez (2006) plantearon el uso de biosólidos de plantas de tratamiento de aguas residuales con el propósito de evaluar el potencial de estos materiales, en dosis de 100 % biosólidos (equivalente a 294 ton ha⁻¹), 75 % biosólidos (220 ton ha⁻¹), 50 % biosólidos (147 ton ha⁻¹), 25 % biosólidos (73 ton ha⁻¹) y 100 % suelo como control sin ningún tipo de tratamiento, para su aplicación en la agricultura por medio de la valoración del crecimiento, desarrollo y producción del cultivo de rábano rojo *Raphanus sativus* L., y encontraron, que el mayor número de hojas por planta durante el periodo de estudio se observó en aquellos tratamientos con menos porcentaje de residuos utilizados como enmiendas de suelos (valores de 8 a 9 hojas en total), y en donde solamente se utilizó biosólidos (100%) se presentó el menor número de hojas (menos de 5).

La variable longitud de planta (cm) presentó una diferencia significativa entre los tratamientos R_1 y R_2 según el test de Duncan. Los valores de las diferentes variables medidas en el tratamiento R_0 (donde no se utilizó ningún tipo de enmienda) se encontraron siempre por debajo de los tratamientos en los que se utilizaron las enmiendas de compost; pero a su vez, estos valores fueron mayores a los registrados en el tratamiento R_3 en donde se utilizó LRS produciendo un efecto negativo sobre las características biométricas medidas en el cultivo. Con el cultivo de rabanito, Gómez *et al.* (2008) encontraron que la altura de la planta mostró un incremento del 48% con la aplicación de 5 Mg.ha⁻¹ de composta, en relación a un tratamiento sin fertilización. Con el rendimiento en peso fresco (g), no se observó ninguna diferencia significativa entre los tratamientos R_1 y R_2 . En los otros dos tratamientos (R_0 y R_3) se presentó una significativa diferencia que siguió la misma tendencia de los parámetros anteriores. Ramírez y Pérez (2006) observaron un comportamiento similar en las variables rendimiento y longitud de planta, con el mismo cultivo. La prueba de Duncan mostró en el número de hojas verdaderas que existen tres grupos en que los promedios presentan diferencias significativas uno de otros, agrupando de esta manera tratamientos en los que se utilizó compost como enmienda de suelo (en los que se presentaron

mejores resultados). En la longitud de la planta, se evidencian cuatro grupos según la misma prueba. Este comportamiento sufre una modificación en la siguiente variable (peso fresco de la planta), en donde según la prueba de rangos múltiples de Duncan, los tratamientos se clasifican en dos grupos homogéneos (a y b) en que los promedios presentan diferencias significativas uno de otros (con y sin uso de compost como enmiendas de suelo). Los resultados en R₃ muestran como por medio de las plantas indicadoras, se puede predecir los efectos fitotóxicos de cualquier enmienda orgánica sobre un suelo de uso agrícola.

CONCLUSIONES

1. El uso del lodo residual seco (sin ningún tipo de tratamiento) como material de enmienda afectó negativamente la germinación de la semilla del rabanito, y las características biométricas del cultivo.
2. El índice de germinación evidenció que fue más adecuado el uso de hojas secas y paja común como materiales de relleno en la elaboración de C₁ en comparación con el aserrín utilizado en C₂ con la misma proporción.
3. El estudio demostró que el compostaje es un proceso adecuado para el tratamiento de lodos de plantas de tratamiento de aguas residuales, y su disposición de manera segura sobre suelos de uso agrícola.

LITERATURA CITADA

- Acosta, Y., J. Paolini, y E. Benítez.** 2004. Índice de humificación y prueba de fitotoxicidad en residuos orgánicos de uso agrícola potencial. Revista de la Facultad de Agronomía de LUZ. 21 (4): 185-194.
- Ayuso, M., T. Hernández, F. Costa, C. García, J. Pascual.** 1992. Influencia del grado de madurez de un residuo urbano sobre la germinación y disponibilidad de nitrógeno. Suelo y Planta. 2: 517-527.
- Castro, C., O. Henríquez Y R. Freres.** 2007. Posibilidades de aplicación de lodos o biosólidos a los suelos del sector norte de la Región Metropolitana de Santiago. Rev. Geogr. Norte Gd. 37:35-45.
- Cornell University.** 16/05/03. Moisture and Carbon/Nitrogen Ratio Calculation Spreadsheet, [Online]. <ftp://www.cfe.cornell.edu/compost/pc/MIXCALC5.XLS>
- Costa, F., C. García, T. Hernández, A. Polo.** 1992. Residuos Orgánicos Urbanos. Manejo y utilización. Consejo Superior de Investigaciones Científicas. Centro de Edafología y Biología Aplicada de la Segura. Murcia, España. 181 p.
- Emino, E. y P. Warman.** 2004. Biological assay for compost quality. En: Compost Science & Utilization 12(4): 342-348.
- Francisco, J., P. Ramos y G. Aguirre.** 2011. Aprovechamiento agrícola del lodo generado en la PTAR de Puente Piedra - Lima. Revista de la Sociedad Química del Perú. 77 (1): 75-85.
- García, C., T. Hernández, F. Costa, J. Pascual** 1992. Phytotoxicity due to the agricultural use of urban wastes. Germination Experiments. J. Sci. Food Agric. 59: 313-319.
- Gómez, J. y S. Pérez.** 24/10/2013. Efectos sobre el cultivo de rabanitos rojo (*Raphanus sativus* L.) de tres fertilizantes orgánicos. VIII Congreso SEAE. Murcia 200. http://www.agroecologia.net/recursos/publicaciones/publicaciones-online/2009/eventos-seae/cds/congresos/actas-bullas/seae_bullas/verd/posters/9%20P.%20FER/fer6.pdf
- Gómez, R., G. Lázaro y J. León.** 2008. Producción de frijol (*Phaseolus vulgaris* L.) y rabanitos (*Rhabanus sativus* L.) en huertos biointensivos en el trópico húmedo de Tabasco. Universidad y Ciencia. Trópico húmedo. 24 (1): 11-20.
- Luque, O., R. Sucre y L. Chaurán.** 1986. Estudio de los lodos residuales de cervecería como acondicionadores de suelos. Informe Final. Fundación Polar. 284 p.
- Martínez, A., M. Pérez, J. Pinto, B. Gurrola, A. Osorio.** 2011. Biorremediación de suelo contaminado con hidrocarburos empleando lodos residuales como fuente alterna de nutrientes. Rev. Int. Contam. Ambient. 27 (3): 241-252.
- Negro, M., M. Solano, P. Ciria, J. Carrasco.** 1999. Composting of sweet sorghum bagasse with other wastes. Bioresource Technology. 67: 89-92.
- Ortiz, M., M. Gutiérrez y E. Sánchez.** 1995. Propuesta de manejo de los lodos residuales de la planta de tratamiento de la ciudad industrial del Valle de Cuernavaca, estado de Morelos, México. Rev. Int. Contam. Ambient. 11 (2): 105-115.

- Ostos, A.** 1993. Diagnóstico de las propiedades del suelo que afectan el desarrollo de plantas de cítricas en el lote "E" sector este del campo experimental de la Facultad de Agronomía de la UCV. Tesis de grado para optar al Título de Ingeniero Agrónomo. Maracay, Venezuela, Facultad de Agronomía de la Universidad Central de Venezuela. 87 p.
- Quintero, M., M. Andrade, E. De Blas.** 1998. Efecto de la adición de un lodo residual sobre las propiedades del suelo: experiencias de campo. EDAFOLOGÍA. Sociedad Española de la Ciencia del Suelo. 5: 1-10.
- Ramírez, R. y M. Pérez.** 2006. Evaluación del potencial de los biosólidos procedentes del tratamiento de aguas residuales para uso agrícola y su efecto sobre el cultivo de rabanitos rojo *Raphanus sativus* L.). Revista de la Facultad Nacional de Agronomía. Colombia, Medellín. 59 (2): 3543-3556.
- Rivas, G.** 1978. Tratamiento de aguas residuales. Ediciones Vega, s.r.l. Caracas, Venezuela. 534 p.
- Rivero, C.** 1999. Materia orgánica del suelo. Alcance 57. Universidad Central de Venezuela, Facultad de Agronomía, Maracay, Venezuela. 211 p.
- Salcedo, E., A. Vázquez, L. Krishnamurthy, F. Zamora, E. Hernández, R. Rodríguez.** 2007. Evaluación de lodos residuales como abono orgánico en suelos volcánicos de uso agrícola y forestal en Jalisco, México. 32 (2): 115-120.
- SAS.** 1999. Statacal Analysis Systems. Copyright (c) 1999 by SAS Institute Inc., Cary, NC, USA.
- Sikora, L., M. Ramirez and T. Troeschel.** 1983. Laboratory Composter for Simulation Studies. J. Environ. Qual. 12 (2): 219-224.
- Varnero M., C. Rojas y R. Orellana.** 2007. Índices de fitotoxicidad en residuos orgánicos durante el compostaje. Revista de la Ciencia del Suelo y Nutrición Vegetal. 7 (1): 28-37.
- Willson, G., J. Parr and E. Epstein.** 1980. Manual for composting sewage by the Beltsville Aerated Method. Cincinnati: U.S. Environmental Protection Agency. 64 p.
- Zucconi, F., M. Forte, A. Mónaco and M. De Bertoldi.** 1981. Evaluating toxicity of in nature compost. Biocycle. 22: 54-57.