

CONTRIBUCIONES DEL COMPOST AL MEJORAMIENTO DE LA FERTILIDAD DEL SUELO

Jairo Ricardo Mora Delgado (1)

PALABRAS CLAVE:

Compost, suelo.

INTRODUCCIÓN

El aprovechamiento de residuos orgánicos, tanto de origen urbano como agro-industrial mediante de sistemas de compostaje y su relación con la calidad del suelo, en términos de mejoramiento de la estructura, de la fertilidad y la actividad biológica, constituye un campo de investigación que a nivel del trópico está por desarrollarse. Los avances científicos que reporta la literatura especializada se han realizado al nivel de países de la zona templada (Estados Unidos, España, Alemania, Israel, Canadá y Francia), mientras que en los países tropicales la información difundida se limita a la aplicación empírica de mezclas de materiales orgánicos (a manera de "receta") y a la evaluación de resultados en el campo (evaluación tipo "caja negra"), sin reparar en las reacciones bioquímicas que ocurren en el proceso de maduración y estabilización de los materiales orgánicos. Esto permitiría un control de calidad de la composta, dando una base científica no sólo a la práctica del compostaje sino también al uso de los abonos orgánicos.

Si se tiene en cuenta la gran cantidad de residuos producidos en los países latinoamericanos, provenientes de centros urbanos y de sistemas agroindustriales (v.g. plantaciones de palma de aceite, banano, caña de azúcar, café, etc.), los cuales muchas veces son mal manejados causando contaminación en acuíferos subterráneos y fuentes superficiales de agua de consumo humano, se puede deducir la importancia de desarrollar procesos de la investigación básica y aplicada en este campo, que desemboque en productos de investigación útiles para la producción agrícola empresarial y para la pequeña producción campesina. Entre estos, la fabricación de compostas maduras y abonos fermentados que contribuyan al mejoramiento de la calidad del suelo y a la conservación de un ambiente sano, serían opciones a considerar.

En este orden de ideas, en el presente documento se exponen algunos conceptos tomados de la literatura especializada, con los cuales se pretende contribuir a despertar el interés por la investigación sobre la calidad de los abonos orgánicos y su relación con la calidad de suelos agrícolas.

¿CÓMO SE PRODUCE LA DESCOMPOSICIÓN DE LOS RESIDUOS ORGÁNICOS?

El compostaje es un proceso de descomposición aeróbica que requiere condiciones controladas, particularmente de humedad y aireación, en el cual participan bacterias, hongos y actinomicetes. Dichas poblaciones y actividad microbiana varían en función de los cambios de temperatura, que en el proceso pueden oscilar desde 30-40 oC (fase mesofílica) hasta 70-75 oC (fase termofílica) (Chen e Inbar, 1993).

Aunque el proceso de descomposición aeróbica de los diversos substratos orgánicos sigue la misma tendencia de una función exponencial negativa a través del tiempo, la velocidad de degradación y la proporción de subproductos de partición y síntesis varían en función de las condiciones ambientales (temperatura, humedad, aireación), de la diversidad de las poblaciones microbianas y de la calidad química de los substratos.

Puesto que el tema de interés en el presente documento está más relacionado con el tercer grupo de factores, en los siguientes párrafos nos ocuparemos en comentar algunos elementos relacionados con la calidad química de los substratos y su relación con el enriquecimiento de las diferentes fracciones de la materia orgánica del suelo.

Los restos vegetales tienen los mismos grupos de sustancias (ceras, grasas, resinas, carbohidratos simples y compuestos, proteínas, ligninas, entre otros); sin embargo, la proporción de éstas en los diferentes materiales es diversa, lo que va a influir en la velocidad de descomposición de los materiales orgánicos cuando ingresan al suelo o cuando son utilizados como materias primas (substratos) para la fabricación de abonos orgánicos mediante procesos de compostaje. La variación en las proporciones de estos compuestos, es un factor de gran peso en la velocidad de descomposición de los residuos orgánicos, así, sustancias de alto peso molecular y de estructura aromática como polifenoles, resinas y ceras son bastante resistentes al embate de los microorganismos del suelo, a diferencia de otras sustancias de fácil descomposición como los azúcares y compuestos proteicos.

Los residuos vegetales con elevado contenido de lignina y otros polifenoles son más resistentes a la descomposición que los materiales pobres en estos compuestos y ricos en compuestos nitrogenados fácilmente descomponibles. Al respecto Jenkinson (1992) sostiene que la hojarasca de especies arbóreas con elevada relación C/N y ricas en polifenoles se descompone con relativa lentitud, si se compara con la hojarasca de plantas ricas en nitrógeno y carbohidratos solubles pero pobres en polifenoles, como sucede con los residuos de leguminosas.

Durante los procesos de compostaje, el componente más resistente a la descomposición es la lignina y sustancias fenólicas. La lignina es un polímero aromático de unidades de fenilpropano. La heterogeneidad estructural de la lignina constituye su particular resistencia a la degradación microbial (Lynch, 1993).

Las lignocelulosas usualmente proveen el principal sustrato de carbono y energía para los microorganismos en la producción de la composta. La lignina es relativamente resistente comparada con la celulosa y hemicelulosa. En muchas lignocelulosas, una proporción de la fracción celulósica está íntimamente enlazada a la lignina haciendo que este componente sólo sea lentamente disponible (Lynch, 1993). En la figura 1 se pueden observar los diferentes cambios que se presentan en el proceso de compostaje de las distintas sustancias químicas.

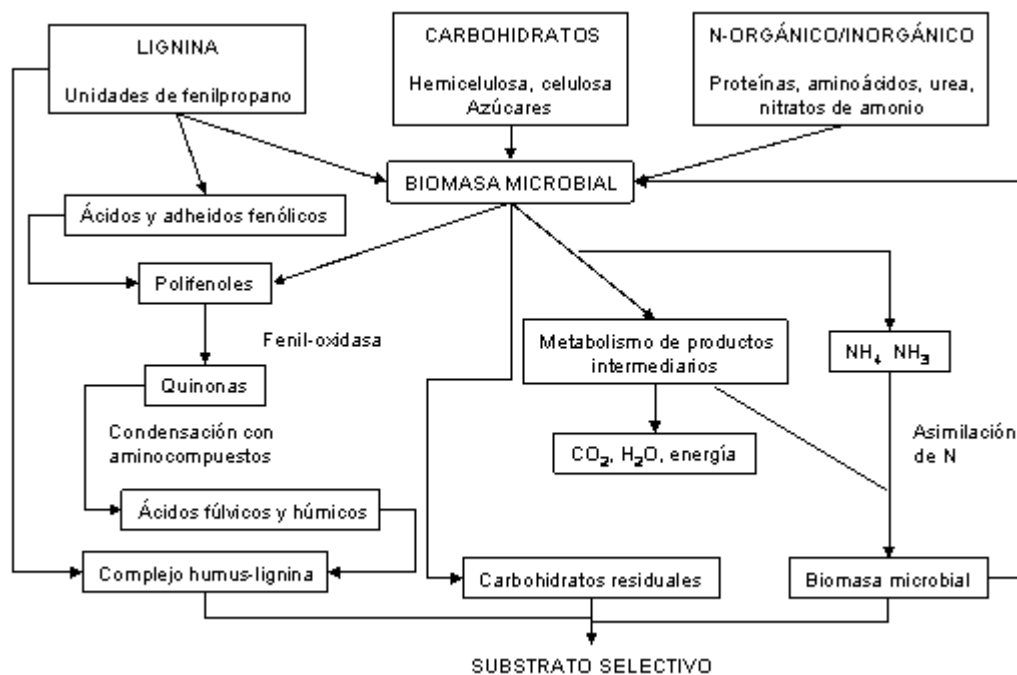


Figura 1. Cambios químicos en el ciclo del compostaje (Smithe, 1990).

El conocimiento de estas características de descomponibilidad de los materiales orgánicos es muy importante cuando se trata de utilizarlos como sustratos para la fabricación de compostas y, más que todo, cuando se quiere diferenciar la calidad del producto final en función del propósito de la aplicación del abono orgánico bien sea para enriquecer las fracciones activa o pasiva de la materia orgánica o para inducir procesos de mejoramiento de las propiedades físicas o químicas del suelo.

CAMBIOS EN ALGUNOS ATRIBUTOS FÍSICO-QUÍMICOS DEL SUELO INDUCIDOS POR LAS COMPOSTAS

Son innumerables los reportes de literatura acerca de los beneficios en la fertilidad del suelo logrados por las adiciones de enmiendas orgánicas y, más precisamente, por las aplicaciones de compostas maduras. Para citar algunos, los trabajos de Dick y McCoy (1993), Chen e Inbar (1993), Huang y Wang (1993), Paino et. Al. (1996) y Keeling et. al. (1996), entre otros, dan cuenta de los beneficios de la utilización de compostas maduras en el mejoramiento de la fertilidad del suelo y el crecimiento de las plantas.

Generalmente el mejoramiento de las propiedades físico-químicas de los suelos es inducido por la aplicación de altas tasas de composta, razón por la cual no es sorprendente que se incremente el contenido de materia orgánica y nutrientes para las plantas (Dick y McCoy, 1993). Además, la materia orgánica migra hacia los horizontes más profundos del suelo, más abajo de donde fue incorporado el abono orgánico, contribuyendo a mejorar algunas propiedades de fertilidad de las capas más profundas. Por ejemplo, las concentraciones de nitrógeno y carbono son incrementadas gradualmente por adiciones de la composta. Al respecto, Dick y McCoy (1993) revisaron diferentes estudios, los cuales dan cuenta de ello y documentan el mejoramiento de la capacidad de retención de nutrientes minerales aplicados en los

fertilizantes, reflejándose posteriormente en el crecimiento de las plantas.

Según Epstein (1976) citado por Dick y McCoy (1993) las bases intercambiables también tienden a incrementarse cuando se aplican compostas al suelo. Esto fue ratificado en los trabajos realizados por Paino et. Al. (1996) en cuyo estudio se evidencia el cambio de la saturación de bases en mezclas de suelos inceptisoles y oxisoles con compostas de diferente edad.

Se ha documentado que la adición de compostas contribuye a incrementar la disponibilidad de fósforo para las plantas (Manzur et. al., 1983) y reducir la efectividad de la concentración de los pesticidas en el suelo mediante la formación de enlaces de sus moléculas con las moléculas orgánicas (Chopra y Magu, 1985a, 1985b, citados por Dick y McCoy, 1993). También la materia orgánica puede enlazar o quelar minerales trazas disminuyendo la extracción por las plantas en período de crecimiento (Dick y McCoy, 1993).

Por otra parte, es probable que la habilidad de mejoramiento de la CIC esté relacionada con el enriquecimiento de la fracción húmica que se logra a medida que se incrementa la madurez de la composta y la estabilización de la materia orgánica. Al respecto, Chen e Inbar (1993) han demostrado que la CIC se incrementa en los primeros 60 días de compostaje y se logra un valor final (a los 150 días) tres veces más alto que el valor en el material fresco, los valores cambiaron de 63 a 181 cmol kg⁻¹ de materia orgánica. Simultáneamente, se presentan incrementos en el contenido de ácido húmico, pasando de 377 a 710 g.kg⁻¹ de materia orgánica (MO). Estos parámetros están correlacionados inversamente con la relación C/N, la cual decrece rápidamente desde 27:1 a 10:1 durante los primeros 60 días y de ahí en adelante el cambio es muy pequeño, obteniéndose a los 150 días una relación de 9:1. Tales parámetros están altamente correlacionados (Figura 2).

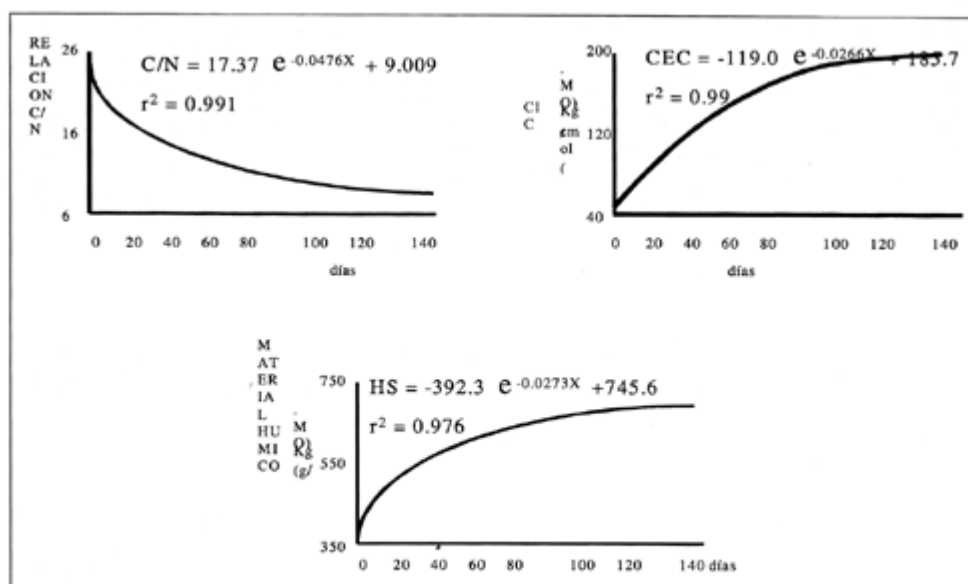


Figura 2. Cambios en la relación C/N, CIC y sustancias húmicas (Inbar et. al., 1989).

Según Paino et. al. (1996), la capacidad de intercambio catiónico (CIC) de molisoles y oxisoles ha mostrado un relativo incremento con la composta adicionada, pero los tratamientos que contenían 26.5% (por volumen) de composta mezclada con un suelo del orden inceptisol sólo presentaron un ligero incremento en la CIC. Los resultados obtenidos por estos autores evidencian que el mayor aporte de la composta al incremento de la CIC fue en suelos oxisoles y molisoles al pasar de 10.2 y 0.5 (cmol.Kg⁻¹) a 16.3 y 5.2 respectivamente, después de 6 meses de aplicación. En inceptisoles, el cambio sólo fue 1.1(cmol.Kg⁻¹) al pasar de 34.5 a 36.6 cmol.Kg⁻¹ (Paino et. al., 1996).

El estudio en mención también muestra que en suelos inceptisoles y oxisoles la saturación de bases (suma de bases/CIC) se incrementa en la medida del incremento de la proporción de la composta adicionada al suelo. Estos incrementos, tanto en la CIC como en la saturación de bases, demuestran la importancia de la materia orgánica en la capacidad de almacenamiento de suelos tropicales ferralíticos, especialmente constituidos con caolinitas de baja capacidad de almacenamiento.

Al comparar la incidencia de la aplicación de diferentes proporciones de fertilizante orgánico (composta de estiércol de ganado lechero) versus fertilización química, el estudio de Huang y Wang (1993) muestra un incremento en los valores de la CIC, alcanzando un incremento en 3 cmol.Kg⁻¹ después de 2 años (6 cultivos). Las diferencias en los valores de la CIC fueron altamente significativas al tercer cultivo. Similarmente, las diferencias entre el contenido de carbono orgánico del suelo fueron significativas entre los tratamientos, después del segundo cultivo (con y sin aplicación de fertilizante orgánico), con una evidente ventaja para los tratamientos con fertilización orgánica.

INCREMENTO DE LAS POSICIONES DE ADSORCIÓN

Para comprender el origen de la formación de posiciones de intercambio catiónico en los fertilizantes orgánicos, es necesario diferenciar dos procesos los cuales están en función de la madurez de la composta: la partición de las cadenas fenólicas y el enriquecimiento de las fracciones húmicas.

Partición de las cadenas fenólicas

Tal parece que el incremento de las posiciones de adsorción en compostas parcialmente maduras está asociado al proceso de partición de la lignina y a la modificación de las estructuras de fenilpropanoico. Las reacciones claves en la degradación de la lignina son: divisiones oxidativas de cadenas laterales del fenilpropanoico, demetilación de los grupos metoxi, hidroxilación de anillos aromáticos y partición de los anillos aromáticos, los cuales todavía están en los polímeros (Christensen, 1996).

Los procesos de degradación inicialmente involucran el rompimiento de enlaces arilo-éter para liberar monómeros, la demetilación de los grupos metoxi y la oxidación de las cadenas laterales de propionil (Figura 3). Diferentes líneas de hongos participan en la solubilización de la lignina por hidrólisis extracelular de los enlaces de éter (Andreux, 1982). Esto conduce a un incremento de los grupos carboxilo (McKeague et. al., 1986), los cuales al incrementarse el pH disocian el H⁺ (desprotonación), quedando cargados negativamente y disponibles para retener cationes intercambiables. Empero, también las transformaciones causadas por la ruptura de las cadenas de propileno y la apertura de anillos aromáticos conducen a la liberación de sustancias fenólicas simples, las cuales son extractables con solventes acuosos o alkali diluido y pueden ser degradados u oxidados a policondensados prehúmicos (Andreux, 1982).

Según algunas teorías (Martin y Haider, 1980, citados por McKeague et. al., 1986) los monómeros liberados de la lignina pueden llegar a ser fenoles, los cuales son condensados dentro de las moléculas de ácidos húmicos. Se ha sugerido que la habilidad de formar complejos de las sustancias puede ser aumentada por el incremento de la capacidad de formar radicales libres (Steelink y Tollin, 1967; Haworth, 1971, citados por McKeague et. al., 1986), lo cual es importante para el mejoramiento de la capacidad de intercambio catiónico o para la formación de complejos organominerales.

Enriquecimiento de la fracción húmica

La fracción húmica es enriquecida a medida que las sustancias precursoras son renovadas continuamente al suelo. Según Andreux (1982), a partir de la partición de moléculas de lignina y síntesis de sustancias prehúmicas, se producen reacciones de policondensación que tienden a la formación de estructuras tridimensionales por la formación de enlaces C-C ó C-O, formándose así macromoléculas.

Los productos así policondensados, que bien pueden considerarse ya sustancias húmicas, son altamente estables debido a que sus sitios de reacción son bloqueados por cationes polivalentes o por adsorción sobre la matriz mineral del suelo (Andreux, 1982). Según Bonh et. al. (1993) aquí intervienen principalmente enlaces electrostáticos o cuolómicos, aunque también pueden ser enlaces parcialmente covalentes.

Hay un acuerdo en la comunidad científica respecto a la manera general como la carga negativa del ácido húmico se debe a la disociación de H⁺ de los grupos funcionales, principalmente COOH y OH. La disociación de grupos carboxilo y fenol probablemente producen entre el 85 y 90% de la carga negativa del humus (Bonh et. al., 1993). Tales procesos de formación de cargas negativas en las sustancias húmicas pueden explicar el incremento en la CIC producida por las compostas maduras.

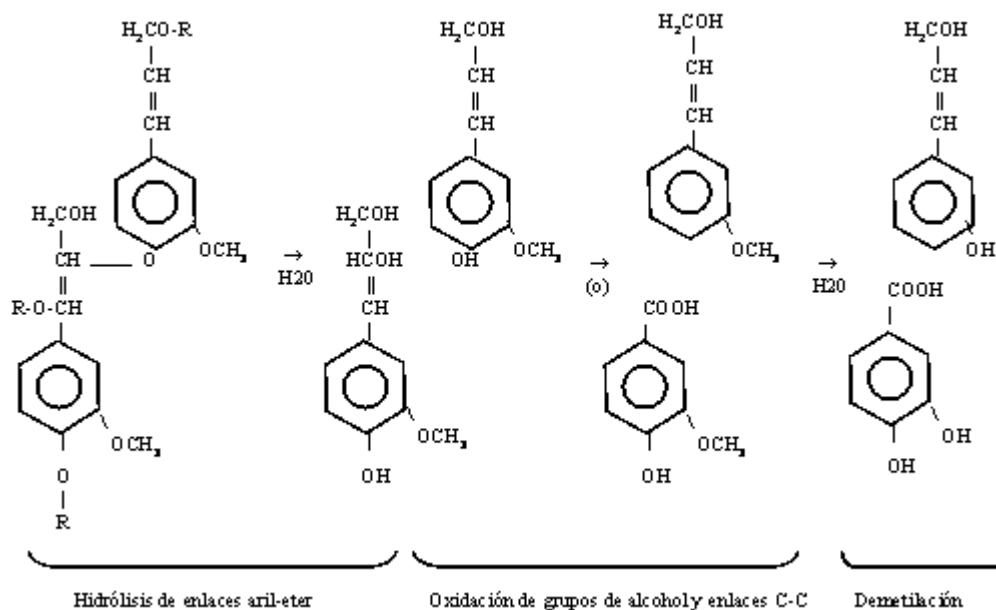


Figura 3. Degradación de una estructura polifenólica (F. Andreux, 1981).

Las unidades diversas de R-COOH se disocian a diversos valores de pH, muchas especies de ácidos fuertes se disocian a pH menor de 6; pero a medida que el sistema sobrepasa este valor se disocian grupos carboxílicos débiles. A pH mayor que 8 se disocian los grupos OH del fenol, y es posible que la disociación de del OH enólico, la imida (=NH) y otros grupos también contribuyan a la carga negativa (Bonh et. al., 1993). Aunque los grupos protonados como (R-OH₂)⁺ y (R-NH₃)⁺, pueden producir cargas positivas, predominantemente la carga global del humus permanece negativa (Bonh et al, 1993).

Durante el proceso de compostaje, suceden tanto los procesos de partición de las estructuras de lignina y el subsecuente proceso de humificación de los componentes resistentes no descompuestos por los microorganismos, como los sintetizados por los mismos. La determinación de dichas sustancias húmicas constituye uno de los más empleados indicadores de madurez de la materia orgánica de la composta.

CONCLUSIONES

Desde el punto de vista de la fertilidad del suelo lo más recomendable es permitir la madurez de la composta, con el objeto de inducir el fraccionamiento de estructuras polifenólicas y lignínicas y la policondensación de sustancias precursoras para la formación de sustancias húmicas. Esto con el objeto de propiciar la formación de posiciones de adsorción que retengan cationes polivalentes y se formen complejos organominerales de mayor capacidad de intercambio catiónico.

Así, la incorporación de sustancias húmicas al suelo provenientes de la composta madura, permitirá retener nutrientes, sincronizándose la liberación de los mismos con las necesidades de extracción de las plantas y disminuyendo las pérdidas por lixiviación.

BIBLIOGRAFÍA

ANDREUX, F. Genesis and properties of humic molecules. In : M. Bonneau and B. Souchier (Eds.) Constituents and properties of soil. New York : Academic Press, 1982.

BONH, et. al. Química del suelo. Trad. M. Sánchez y R. Guajardo. México : Limusa, 1993.

CHEN, Y. and INBAR, Y. Chemical and spectroscopical analyses of organic matter transformations during composting in relation to compost maturity. In: Science and Engineering of composting: Design. environmental, microbiological and utilization aspects. Ed: H.A. Hoitink and H. Keener. The Ohio State University, 1993.

CHRISTENSEN, B.T. Carbon in primary and secondary organomineral complex. In : Structure and organic matter storage in agricultural soils. Edited by Carter, M. and Steward, B.A. CRC, Lewis Publishers, 1996.

DICK, W.A. and McCLOY, E.L. Enhancing soil fertility by addition of compost. In : Science and Engineering of composting: Design. environmental, microbiological and utilization aspects. Ed: H.A. Hoitink and H. Keener. The Ohio State University, 1993.

HUANG, Y.M. and WANG, Y.P. The effects of organic fertilizer on crops production and chemical

properties. 7th. International Congress of the Society for the Advancement of Breeding Research in Asia and Oceanic (SABRAO) and International Symposium of World Sustainable Agriculture Association (WSAA) in Taipei, Republic of China, 1993.

INBAR, Y. et. al. Humic substances formed during the composting of matter organic. In : Soil Sci. Soc. Am. J. 54.1316-1323. 1990.

JENKINSON, D.S. La materia orgánica del suelo: evolución. En : Condiciones del suelo y desarrollo de las plantas. Comp. A. Wild. Madrid : Mundi-Prensa, 1992.

KEELING, A.A. et. al. Germination and growth of the plants in media containing unstable refuse derived compost. In : Soil Biol. Biochem 26: 767-772. 1994.

------. Effects of compost stability on plant growth, microbiological parameters and nitrogen availability in media containing mixed garden-waste compost. In : Bioresource Technology 54: 279-284. 1996.

LYNCH, J.M. Substrate availability in the production of compost. In : Science and Engineering of composting: Design, environmental, microbiological and utilization aspects. Ed: H.A. Hoitink and H. Keener. The Ohio State University, 1993.

LYNCH, J.M. and ELLIOTT, L.F. Aggregate stability of volcanic ash and soil during microbial decomposition of straw. In : Appl. Environ. Microbiol., 45: 1393-1401. 1983.

MANZUR et. al. Effect of composted urban waste on availability of phosphorus in an acid soil. In : Revista Brasileira de Ciencia do solo. 7:153-156. 1983.

McKEAGUE, J.A. et. al. Organomineral complex in relation to pedogenesis. In: Interaction on soils minerals with natural organics and microbes. SSSA Spec. Public. No. 17. Madison, USA. 1986.

PAINO, V. et. al. Municipal tropical compost: effects on crops and soil properties. In : Compost Science & Utilization. Vol. 4, No. 2, Spring. 1996.

NOTAS:

1. M. Sc. Candidato a PhD. Profesor-investigador, Universidad de Costa Rica.
jairom@cariari.ucr.ac.cr

Close Window