

## EVALUACIÓN DEL SISTEMA DE PRODUCCIÓN DE EM-COMPOST UTILIZANDO AIREACIÓN FORZADA Y RESIDUOS DE BANANO

K. Reátegui, H. Zenteno, C. Hernández<sup>1</sup>, L. Quirós

*Universidad EARTH  
Las Mercedes de Guácimo, Limón, Costa Rica*

Recibido 16 de enero 2006. Aceptado 17 de octubre 2006.

### RESUMEN

La Empresa Agro-comercial de la Universidad EARTH evaluó el sistema de producción de EM-compost utilizando residuos de banano con aire forzado y determino que el sistema es viable. Tomando como base estos resultados, surge esta investigación para optimizar el sistema de producción; con los tiempos de aireación, inoculación y agregados adecuados. Se trabajo con cuatro tratamientos a diferentes tiempos de aireación en dos fases investigativas con diferentes agregados; aserrín y chips de madera. Finalmente se determinó que el sistema producción de EM-compost con aire forzado es técnicamente viable y económicamente rentable. El tratamiento que presentó los mejores resultados fue el que contenía chips de madera como agregado con aireación cada 6 días e inoculación de EM dirigida. La calidad del producto se determinó en base a las características físicas, químicas y biológicas.

**Palabras clave:** agregados, aire inyectado, aserrín, chips de madera, EM-compost, inoculación dirigida, rentabilidad.

### ABSTRACT

For sustainable banana production, the EARTH University's Agro-commercial Enterprise has investigated management alternatives for the biodegradable banana residues from harvest and packing processes. Several investigations have been carried out in the area of organic fertilizer production as a way of optimizing resources and EM-compost with forced aeration was found to be a viable alternative. Using the results of these experiments, this study was conducted to optimize the production system testing ventilation time and suitable inoculation method, effect of aggregates, and the profitability of the system. Four treatments with different ventilation times were tested in two experimental phases using different aggregates: sawdust and wood chips. Finally it was determined that the EM-compost production system with forced air is technically viable and economically profitable for the Agro-commercial Enterprise. The treatment that presented the best results contained wood chips as aggregate with injected EM inoculation and ventilation every 6 days. The quality of the final product was determined based on its physical, chemical and biological characteristics.

**Key words:** Aggregates, injected air, sawdust, wood chips, EM-Compost, inject inoculation, profitability.

### INTRODUCCIÓN

La Empresa Agro-comercial de la Universidad EARTH, buscando una producción sostenible de banano, ha investigado varias alternativas para el manejo de los residuos degradables generados en el proceso de producción y empaqueo de banano. Actualmente se está produciendo EM-

---

<sup>1</sup> Contacto: Carlos Hernández ([chernand@earth.ac.cr](mailto:chernand@earth.ac.cr))

compost con un método semiartesanal donde es necesario los volteos manuales. Este proceso resulta en una alta demanda de mano de obra, espacio, tiempo, pérdida de lixiviados y de nutrientes. El EM-compost es un abono orgánico y los abonos orgánicos son considerados como mejoradores del suelo con ciertas ventajas (Cruz, 1986). Con la adición de EM-compost a las plantaciones de banano, se está reincorporando parte de los nutrimentos extraídos en la cosecha y microorganismos benéficos al suelo. Además, EM-Compost coadyuva con los fertilizantes en la nutrición vegetal incrementando la producción agrícola y alimenticia (Cruz, 1986).

La presente investigación pretende comprobar y afinar una alternativa de producción de EM-compost tomando como línea base los resultados generados en el Proyecto de Graduación de Valle (2004), donde se evaluó dos sistemas de producción de EM-compost. El sistema de producción por aire inyectado presentó mejores resultados en cuanto a tiempo, calidad y costos de producción en comparación al sistema semi-artesanal. Sin embargo, este estudio no logró determinar con precisión los períodos de aplicación de aire más eficientes debido a que el número de repeticiones no fueron suficientes para determinar diferencias significativas a través de un análisis estadístico entre los tratamientos. Además, con esta investigación quedó la expectativa de mejorar la calidad del producto. Por tal razón, este proyecto está orientado a validar los resultados obtenidos por Valle (2004) y a continuar con la investigación para definir una metodología de producción de EM-compost con aire inyectado que presente una mejor calidad, eficiencia y rentabilidad para este proceso.

### MATERIALES Y MÉTODOS

El experimento se realizó en las instalaciones de la antigua empacadora de raíces y tubérculos EARTH, con piso de concreto y techo de zinc. Los materiales utilizados fueron pinzote y banano de rechazo triturados, aserrín, EM activado al 4 % y chips de madera de una pulgada. Para inyección de aire se usó una bomba de 30 HP, 175 rpm, 220 V, corriente trifásica con los tubos de PVC de 10 cm (4") de diámetro perforado con una broca de 0,6 cm (1/4"), a una distancia promedio de 5 cm x 5 cm. Para la aplicación de EM se usó una bomba de aspersión con la varilla perforada con una broca de 0.3 cm (1/8") a una distancia promedio de 1 cm.

En el experimento se realizaron dos fases. En la Fase 1 se determinó el mejor tiempo de aireación y cual de los dos tipos de inoculación era la más adecuada (Cuadro 1). Las camas de compostaje tuvieron las siguientes dimensiones: 1,3 m de alto, 2,8 m de ancho y 9 m de largo. Las camas estaban cubiertas por una capa de aserrín de aproximadamente 20 cm de profundidad. En todos los tratamientos el tiempo de aireación fue de 30 min.

En la Fase 2 se evaluó el efecto del agregado (chips de madera) en la calidad del EM-compost (Cuadro 1). Durante la Fase 1 se notaron diferencias significativas en la distribución del aire inyectado en relación al largo de la tubería. Para mejorar la distribución de la aireación se decidió dividir la cama en dos formando un pasadizo al centro para poder movilizar el equipo e inyectar las camas a ambos lados del pasadizo. Las camas de compostaje tuvieron las siguientes dimensiones: 1,3 m de alto, 2,8 m de ancho y 4.5 m de largo. Además las camas estaban cubiertas por una capa de aserrín de aproximadamente 20 cm y en el medio de la cama llevaba una capa de chips de madera de aproximadamente 10 cm de espesor. En todos los tratamientos el tiempo de aireación fue de 30 min.

En la Fase 1, cada tratamiento se dividió en 7 parcelas y se obtuvo una muestra homogénea de 4 sub-muestras por parcela. Para determinar la calidad del producto se realizaron evaluaciones y análisis físicos, químicos y biológicos mediante muestreos compuestos de cuatro submuestras en cada parcela. Las variables dependientes medidas fueron físicos (humedad final pH y

temperatura) y químicos (relación de C:N y análisis químico de elementos mayores y menores). No se pudo realizar una medición directa de la actividad microbiana, debido a que no contamos con el equipo y herramientas necesarias. Por tal razón, se utilizó indicadores como el pH (análisis al producto final) y temperatura (monitoreo diario) para lograr estimar mediante una correlación de estos datos, el tipo de las poblaciones y su actividad. El instrumento para medir la temperatura también varió. En la primera fase fue una thermocouple K, sustituyéndose por un termómetro de reloj en la Fase 2.

**Cuadro 1.** Matriz del diseño experimental.

Fase	Tratamiento	Inoculación	Días entre aireación	Agregados	Largo de la cama (m)
1	T0	superficial	3	aserrín	9
	T1	dirigida	3		9
	T2	dirigida	6		9
	T3	dirigida	9		9
2	T0'	superficial	3	chips de madera	4,5
	T1'	dirigida	3		4,5
	T2'	dirigida	6		4,5
	T3'	dirigida	9		4,5

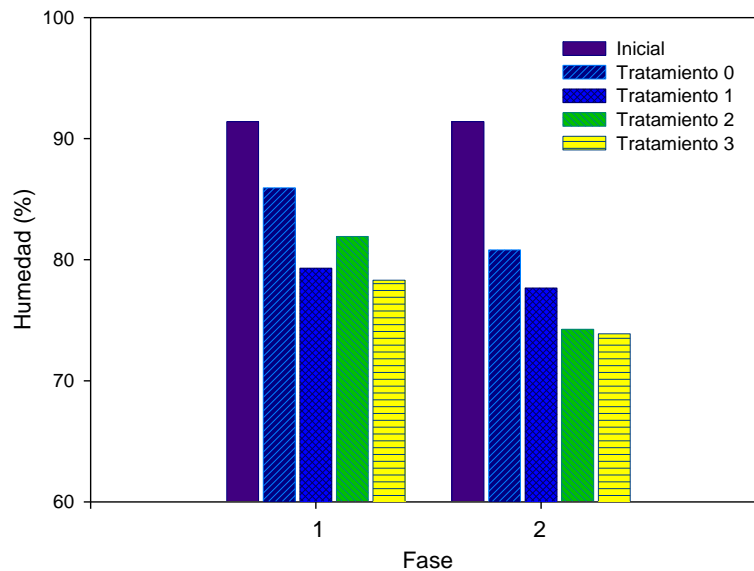
Con la comparación de los resultados de las variables dependientes de estos tres tratamientos se busca determinar estadísticamente el tiempo de aireación más eficiente. El modelo estadístico para evaluar la fase de campo fue  $Y_{ij} = \mu + \tau_i + \varepsilon_{ij}$  con un diseño completamente al azar. Para el análisis de varianza se trabajó con la metodología de Fisher, donde la variación total se parte en dos componentes: tratamientos y error experimental. Además una prueba complementaria de Duncan para formar grupos homogéneos es decir medias similares. También se comparó los costos de producción convencionales contra los que arrojó la investigación, tomando en cuenta los costos variables y fijos.

### RESULTADOS Y DISCUSIÓN

En la Fase 1 T0 presenta un significativo mayor contenido de humedad 86 % en comparación al T2, T1 y T3 con 81 %, 79 % y 79 % de humedad, respectivamente (Figura 1). Pero, en la Fase 2 no hubo diferencias significativas entre tratamientos. En la comparación entre fases el T0 y T0' y el T2 y T2' presentan diferencias significativas.

La humedad inicial del residuo de banano es de 91,4 % lo que significa que en el proceso hay que eliminar agua (Figura 1). La humedad óptima para el proceso metabólico de los microorganismos es de 55 % - 65 % en la pila de compostaje (Fundación Güilombé, 1995). En base a los resultados expuestos se observa un exceso de humedad en las dos fases de experimentación. Así también, el alto porcentaje de humedad en las camas de compostaje en las dos fases pudo estar influenciado por la falta de buen drenaje para los lixiviados. Esto debido a que cada cama de EM-compost tuvo una capa de aserrín de 20 cm en la base para lograr atrapar los lixiviados. Al no existir pérdida de lixiviados se disminuye la pérdida de nutrientes, pero se

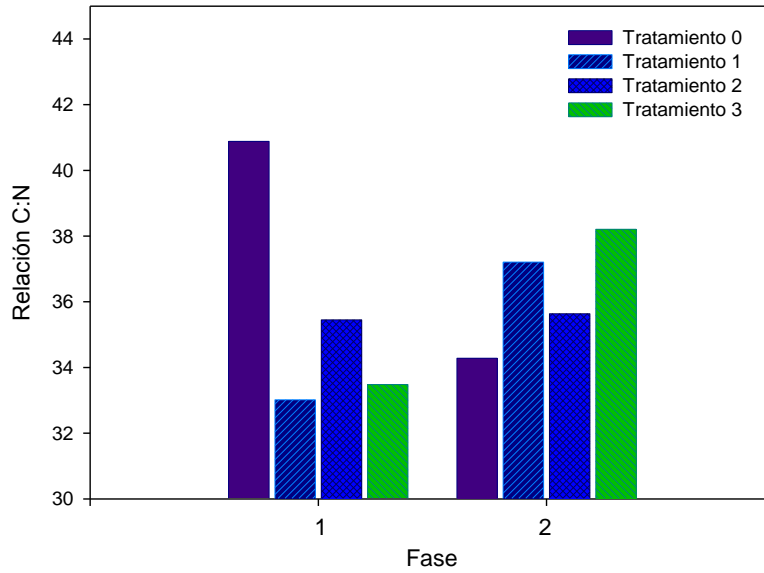
mantiene una humedad alta ya que su única forma de evacuación es como vapor de agua cada vez que se airea la cama.



**Figura 1.** La humedad inicial y final en las dos fases de experimentación en los tres tratamientos y testigo.

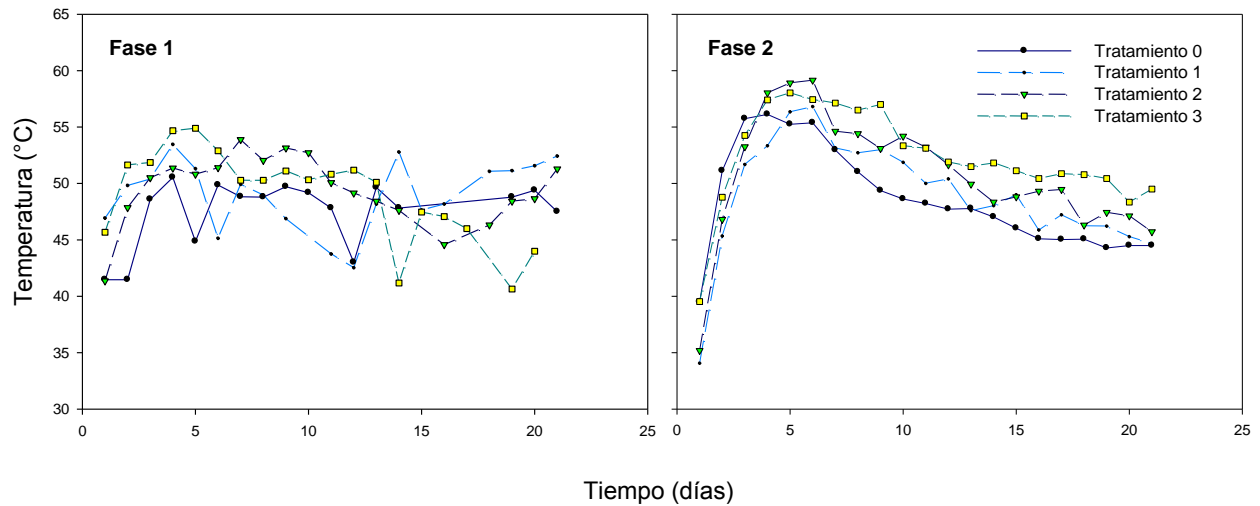
Debido a una mejor aireación y temperaturas más altas, la Fase 2 tuvo menor contenido de humedad con un rango de 74 % - 81 % (Figura 1). La Fase 2 presentó mejores condiciones porque tuvo mayor aireación, al reducir el largo de la cama y mejoró la circulación de aire con los chips de madera. Esto permite una mayor evaporación de agua. Además en la Fase 1 el aserrín, absorbe la humedad, mientras que en la Fase 2 los chips drenan el agua. El drenaje de agua incrementa con los chips debido a que se mejora la estructura del material. El efecto fue notorio en la reducción de altura de las camas, y en la menor humedad del material cosechado. Además, con una humedad mayor al 60 %, puede existir zonas anaeróbicas dentro de la cama porque se bloquean los espacios porosos (Epstein, 1997). Esto nos indica que es posible que en la cama de compostaje se dieron dos procesos; anaeróbico en el interior de la cama y aeróbico en las partes externas (Dalzell *et al.*, 1987).

En la Fase 2 se encontraron los tratamientos con mayor contenido de K, Ca y Mg. Esto se dio por el cambio del agregado y largo de cama. Estas dos variables optimizaron las condiciones de aireación, humedad, temperatura y pH brindando un mejor ambiente para los organismos que ayudaron a mineralizar y retener el contenido de nutrientes. Así también en la Fase 2 hubo una reducción de N en comparación a la Fase 1. Por tal razón, la relación C:N es mayor en la Fase 2 para los T1, T2, y T3 (Figura 2). La diferencia del contenido de N en las dos fases se atribuye al comportamiento de las temperaturas. En la Fase 1 las temperaturas fueron inferiores a la Fase 2. Además el pH en la Fase 2, fue más alcalino (entre de 9.6 a 9.9) en comparación a la Fase 1 (entre de 7.8 a 7.9). El pH alcalino facilita la pérdida de nitrógeno en forma amoniacal (Foth, 1987).



**Figura 2.** La relación C:N finales en las dos fases de experimentación en los tres tratamientos y testigo.

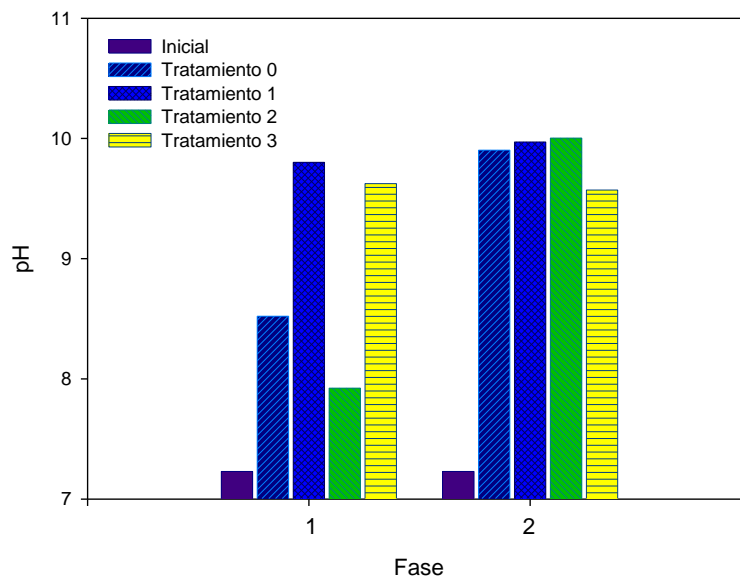
El comportamiento de las temperaturas del proceso de compostaje se divide en cuatro fases de temperatura; fase inicial o mesofílica 25 °C - 45 °C, fase termofílica > 45 °C, fase de estabilización y fase de maduración (Epstein, 1997). La Fase 1 presenta heterogeneidad en los resultados de temperatura mientras que en la Fase 2 se observa claramente la fase mesofílica que va desde el día 1 al 2 con un rango promedio de 35 °C a 47 °C. En el día 3 empieza la fase termofílica y termina en el día 6 con un promedio de 57 °C. A partir del día 6 la temperatura desciende hasta estabilizarse en el día 14. Esto indica que a partir del día 14 se puede cosechar el EM-compost.



**Figura 3.** Resultados de los promedios diarios de temperatura en las dos fases de experimentación en los tres tratamientos y testigo.

En la Fase 1 la aireación no fue homogénea en toda la cama ya que por error humano al montar las camas inicialmente se dejó la parte final de los tubos descubierta. Por tal razón, al momento de inyectar aire, este se movilizó por donde hubo menor resistencia. En la Fase 2 se corrigió este error y la aireación fue más homogénea. Esta variación afectó la experimentación ya que las parcelas no estuvieron bajo las mismas condiciones. Así también en Fase 1 las camas tenían 9 m de largo y en Fase 2 se modificó a 4.5 m de largo. Las dos fases tuvieron la misma aireación (intensidad y duración) lo que significa que en la Fase 2 se inyectó mayor cantidad de aire.

En el análisis de pH, la Fase 2 presenta resultados más homogéneos entre tratamientos en comparación a la Fase 1 (Figura 4). En la Fase 1, los resultados presentaron diferencias significativas entre los tratamientos. En la fase 2, los resultados no presentaron diferencia significativa entre los tratamientos.



**Figura 4.** Resultados de la media inicial y final de pH en las dos fases de experimentación en los tres tratamientos y testigo.

En la evaluación de la inoculación más eficiente con EM activado se probaron dos formas: dirigida T1 y superficial T0. El propósito en el T1 era inyectar EM a los puntos donde probablemente los microorganismos no sobreviven a las altas temperaturas provocando una recolonización. En base a los resultados, T0 presentó mayor humedad y contenido de C. En N no hay diferencia significativa entre los dos tratamientos. En la comparación del contenido de macroelementos el T1 fue superior en K, Ca y P y en microelementos (Fe, Mn y Mg), mientras que Zn y Cu no presentaron diferencia significativa entre los tratamientos. Por tal razón se definió que la mejor manera de inocular es la dirigida, ya que presentó mayor contenido de varios nutrientes y menor contenido de humedad.

La comparación de costos presenta una gran diferencia entre el sistema convencional y el de aire forzado. La disminución de costos con el sistema de aire forzado es por el menor requerimiento de mano de obra. Además, con el sistema propuesto se puede seguir disminuyendo los costos fijos ya que se puede incrementar la producción con las mismas instalaciones, herramientas, maquinarias y mano de obra. Así también, el tiempo de producción del EM-compost se puede reducir de 21 días a 14 días como se demuestra en el comportamiento de temperaturas. La

disminución del tiempo de producción ayudaría a maximizar el uso mensual de las instalaciones pasado de 1.4 ciclos/mes a 2.1 ciclos/mes.

### CONCLUSIONES

El sistema de producción de EM-compost con aire forzado y chips de madera como agregado es el que presenta mejores resultados de calidad en comparación al sistema con aserrín como agregado. El lapso de aireación más eficiente para el sistema de producción de EM-compost es cada 6 días ya que al final del proceso se obtiene un material de características físicas, químicas y biológicas de mejor calidad. Para la inoculación de EM en las camas de compostaje, el método más eficiente es la inoculación dirigida en comparación a la inoculación superficial. Los chips de madera ayudan a mejorar la textura del material lo que facilita la circulación de aire en la cama. Esta característica produce una mayor pérdida de agua en forma de vapor ya que las temperaturas son más altas. Adicionalmente, la mejor circulación de aire estimula una mayor actividad biológica. Sin embargo, el efecto de oxigenación no es atribuible por completo a el efecto de los chips, ya que al acortar la cama y mantener el tiempo e intensidad de aireación es un factor que pudo influenciar la cantidad de oxígeno por m<sup>3</sup>. La rentabilidad del sistema de producción de EM-compost con aire forzado es superior al sistema convencional de la Empresa Agro-comercial.

### REFERENCIAS CITADAS

- Cruz, S. 1986. Abonos Orgánicos Manejo, Procesamiento y Utilización. Tesis, M.Sc. Universidad Autónoma Chapingo (UACH). Chapingo, MX. 129 p.
- Dalzell, H.W.; Biddlestone, A.J.; Gray, K.R.; Thurairajan, K. 1987. Soil management: Compost production and use in tropical and subtropical environments. FAO Soils Bulletin 56. United Nations Food and Agriculture Organization (FAO). Rome, IT. p. 20-28.
- Epstein, E. 1997. The Science of Composting. Lancaster-Basel. Pennsylvania, US. 483 p.
- Foth, H.D. 1987. Fundamentos de la Ciencia del Suelo. Compañía Editorial Continental (CECSA). México, D.F., MX. 433 p.
- Fundación Güilombé. 1995. Principios y prácticas de la agricultura orgánica en el trópico. Universidad Nacional (UNA) y Fundación Güilombé. San José, CR. 86 p.
- Valle, R. 2004. Evaluación de dos sistemas de producción de EM-compost elaborado con desechos de banano (*Musa AAB*. Gran enano) en la Universidad EARTH, CR. Proyecto de Graduación, Licenciado Ingeniero Agrónomo. Universidad EARTH, Guácimo, CR. 67 p.