

Evaluación del proceso de compostaje con diferentes tipos de mezclas basadas en la relación C/N y la adición de preparados biodinámicos en la Granja Modelo Pairumani

Evaluation of the composting process with different types of mixtures based on the C/N ratio and the addition of biodynamic preparations at the Pairumani Model Farm

Fabiola Escobar, José Sánchez Ponce¹, Mauricio Azero A.²

¹ Departamento de Investigación y Difusión Agrobiológica, Granja Modelo Pairumani, Fundación Simón I. Patiño, Cochabamba, Bolivia. Pairumani – Vinto s/n.

² Departamento de Ciencias Exactas e Ingeniería, Universidad Católica Boliviana Av. General Galindo s/n, Cochabamba, Bolivia

granja@fundacionpatino.org

Resumen: El objetivo de este estudio es mejorar el proceso de compostaje en la Granja Modelo Pairumani (GMP), a través de la elaboración de compost con una relación C/N inicial adecuada y la adición de preparados biodinámicos. Para lograr este objetivo se realizaron ocho tratamientos de compost descritos a continuación: T1 (Estiércol, C/N = 15); T2 (Estiércol + preparados biodinámicos, C/N = 15); T3 (Estiércol + chala de maíz picada, C/N = 25); T4 (Estiércol + chala de maíz picada + preparados biodinámicos, C/N = 25); T5 (Estiércol + gallinaza, C/N = 14); T6 (Estiércol + gallinaza + preparados biodinámicos, C/N = 14); T7 (Estiércol + gallinaza + chala de maíz picada, C/N = 25); T8 (Estiércol + gallinaza + chala de maíz picada + preparados biodinámicos, C/N = 25). Durante el proceso de compostaje se realizaron evaluaciones en campo y análisis en laboratorios para determinar la influencia de la relación C/N inicial y la adición de preparados biodinámicos en el proceso de compostaje de la GMP. Las evaluaciones realizadas permitieron observar que los tratamientos elaborados con una relación inicial C/N=25 mostraron mejores características químicas, físicas y microbiológicas para un compost maduro. Por otra parte se vio la influencia de los preparados biodinámicos en la etapa termófila ya que los tratamientos con preparados biodinámicos presentaron temperaturas significativamente más elevadas que los que no tenían preparados biodinámicos.

Palabras clave: compostaje, relación C/N, preparados biodinámicos.

Abstract: The aim of this work was to improve the process of compost in the Model Farm of Pairumani, through the elaboration of compost with an adequate initial relation of 15 C/N and the addition of biodynamic preparations. To fulfill this objective the next 8 treatments of compost were made: T1 (Manure, C/N = 15); T2 (Manure + biodynamic preparations, C/N = 15); T3 (Manure + grinded corn foliage, C/N = 25); T4 (manure + grinded corn foliage, + biodynamic preparations, C/N = 25); T5 (manure + hen droppings, C/N = 14); T6 (manure + hen droppings + biodynamic preparations, C/N = 14); T7 (manure + hen droppings + grinded corn foliage, C/N = 25); T8 (manure + hen droppings + grinded corn foliage, + biodynamic preparations, C/N = 25). During the process of compost, field and laboratory evaluations were made to determine the influence of the C/N initial relation and the addition of biodynamic preparations in the process of compost at the Pairumani Model Farm. The evaluations allowed us to observe that the treatments elaborated with a relation of 25 C/N showed a better chemical, physical and microbiological characteristics for a mature compost. On the other hand, we observed the influence of the biodynamic preparations in the thermophile stage because the treatments with biodynamic preparations showed higher temperatures than the ones without biodynamic preparations.

Key Words: Compost, C/N relation, biodynamic preparations

1 Introducción

El proceso de compostaje es la descomposición biológica aerobia que ocurre bajo condiciones controladas. Durante este proceso, la materia orgánica heterogénea es transformada en un producto homogéneo conocido como "compost". La calidad del compost es variable y depende principalmente del tipo de materia orgánica utilizada, la presencia de aditivos, la técnica de compostaje y tiempo de duración del proceso (AVENDAÑO 2003).

Se pueden utilizar diferentes aditivos para facilitar o acelerar el proceso de compostaje, entre ellos los preparados biodinámicos, que están hechos con milenrama, manzanilla, ortiga, roble, diente de león y valeriana, todas ellas plantas medicinales que actúan activando la actividad de los microorganismos y acelerando los procesos de descomposición. De esta forma sirven para favorecer la digestión de los materiales orgánicos brutos y los procesos de formación de humus. El fin último del uso de aditivos es mejorar la calidad final del compost (EHRENFRIED 1992).

El compostaje de desechos orgánicos ha sido practicado durante cientos de años por agricultores y horticultores en muchas partes del mundo. El ejemplo más significativo es el de los chinos en los ríos, ya que mediante la devolución al suelo de los residuos de cosechas, basuras y barros aluviales transportados por ríos y

canales, han sido capaces de mantener altos niveles de producción (DALZELL *et al.* 1991).

Sin embargo, las diferentes técnicas de compostaje, aún no han desarrollado de manera suficiente los procedimientos y sistemas de control que permitan procesos de compostaje eficientes a nivel comercial (YAÑEZ *et al.* 2007). En esta línea, diversos autores recomiendan un mayor control técnico en todas las fases y actividades del proyecto. Sin un seguimiento técnico, el proceso de compostaje se torna artesanal y comienza a presentar problemas que dificultan su continuidad.

En la ciudad de Cochabamba, la Granja Modelo Pairumani (GMP) ha desarrollado un proceso agrobiológico basado en el manejo de la fertilidad del suelo a través del compostaje de los residuos orgánicos generados de la crianza de ganado lechero y los cultivos agrícolas. Desde el año 1999, la GMP ha efectuado diversas experiencias en la elaboración de compost a partir de estiércol vacuno, añadiendo preparados biodinámicos. En las mismas no se han realizado análisis o evaluaciones de los aspectos físicos, químicos y biológicos. Aunque se llevan a cabo controles básicos en la elaboración de compost aún no ha realizado de manera suficiente los procedimientos y sistemas de control que permitan un proceso de compostaje eficiente. Es necesario monitorear la temperatura, humedad y pH entre otras variables, ya que si no se realiza un control adecuado, el proceso de compostaje empieza a presentar problemas que dificultan su continuidad. Uno de los factores puntuales se centra en la relación C/N inicial de los tratamientos de residuos orgánicos vacunos y vegetales, ya que las proporciones usadas actualmente no están cuantificadas en torno a dicha relación. Se propone, para modificar la relación C/N, la mezcla con residuos de maíz forrajero, principal producto forrajero de la GMP (GUZMAN *et al.* 2011).

En este sentido, el presente trabajo tiene el propósito de documentar la evaluación del proceso de compostaje con diferentes tipos de mezclas basadas en la relación C/N y la adición de preparados biodinámicos en la GMP. Se evalúa el proceso de compostaje a través de las características físicas, químicas y microbiológicas del compost obtenido, con el fin de determinar el efecto de la relación C/N inicial en el proceso de compostaje y el producto final, el efecto de los preparados biodinámicos en el proceso de compostaje y el producto final.

2. Metodología

Se implementaron pilas de compost utilizando diversos tratamientos diferenciados principalmente por la relación C/N inicial y la adición de preparados biodinámicos. A continuación se efectuaron las evaluaciones de las variables correspondientes durante el proceso de compostaje. El estudio se realizó en la zona

de compostaje ubicada al este de la granja. Contempló un periodo de seguimiento a la maduración del compost de 120 días, en el período julio-noviembre del año 2008.

Fase 1: Implementación de la parte experimental

Preparación de las mezclas en torno a la relación C/N: La GMP elabora dos tipos de mezclas de compost: estiércol (vacuno) y estiércol con gallinaza, los cuales fueron sometidos a un análisis de laboratorio donde se determinó la relación C/N inicial del proceso de compostaje para cada compost. Los resultados obtenidos mostraron que el estiércol tiene una relación inicial C/N = 15 y el estiércol con gallinaza tiene una relación inicial C/N = 14. Analizando los resultados y revisando la bibliografía se llegó a la conclusión de que la relación C/N al inicio del proceso de compostaje debería ser más alta. Para esto se optó por añadir materia rica en carbono como la chala de maíz a cada uno de los compost descritos llegando a una relación C/N de 25 al inicio del proceso de compostaje.

Para obtener una relación C/N de 25 al inicio del proceso de compostaje se procedió a realizar un análisis de laboratorio considerando los parámetros de humedad, relación C/N y Nitrógeno para el estiércol, gallinaza y chala de maíz. Luego se calculó la cantidad de material rico en Carbono y rico en Nitrógeno que se debía mezclar para alcanzar una relación inicial C/N = 25, para esto se usó la siguiente relación (TCHOBANOGLIOUS *et al.* 1994):

$$\frac{C}{N} \text{ deseada} = \frac{C \text{ en 1 kg de materia rica en Carbono} + x (C \text{ en 1 kg de materia rica en Nitrógeno})}{N \text{ en 1 kg de materia rica en Carbono} + x (N \text{ en 1 kg de materia rica en Nitrógeno})}$$

(ec. 1)

donde x representa los kg de peso seco de materia rica en Nitrógeno necesaria para los kg de peso seco de materia rica en Carbono. A este resultado se debe considerar la humedad de cada material utilizado.

Realizados los cálculos se obtuvo:

- Para empezar el proceso de compostaje con una relación C/N = 25 se deben mezclar 1,33 kg de peso fresco de estiércol (81 % humedad) por cada 1,27 kg de peso fresco de chala de maíz picada (27 % humedad).
- Para empezar el proceso de compostaje con una relación C/N = 25 se deben mezclar 0,73 kg de peso fresco de gallinaza y estiércol (60 % humedad) por cada 1,27 kg de peso fresco de chala de maíz picada (27 % humedad).

De esta manera se obtuvieron cuatro mezclas:

- M1: Estiércol con una relación inicial C/N = 15
- M2: Estiércol + chala de maíz picada con una relación inicial C/N = 25
- M3: Estiércol + gallinaza con una relación inicial C/N = 14

- M4: Estiércol + gallinaza + chala de maíz picada con una relación inicial C/N = 25

Por otro lado la GMP dentro de su modelo agrobiológico de producción usa preparados biodinámicos para la elaboración de compost, es así que se evaluó cada mezcla con y sin preparados biodinámicos, obteniendo ocho tratamientos.

Formación de las pilas: Se utilizó una máquina compostadora para homogeneizar el material y armar las pilas con forma triangular. Cada pila de compost contaba con una base de 2,5 m, 4,0 m de largo y 1,2 m de altura.

Adición de preparados biodinámicos: Se tomó 10 g de cada uno de los siguientes preparados biodinámicos: milenrama (*Achillea millefolium*) (502), manzanilla (*Matricaria chamomilla*) (503), ortiga (*Urtica dioica*) (504), roble (*Quercus robur*) (505) y diente de león (*Taraxacum officinale*) (506) recubriéndolos con compost húmedo, formando pequeñas capsulas. Para su introducción en las pilas de compost se efectuaron cinco orificios con una vara de madera. Estos preparados se aplicaron en la pila de compost en distintas posiciones 502 y 505 van en la parte sud de la pila a cada extremo; 503 y 506 van en el extremo norte de la pila y finalmente el preparado 504 se introdujo en la parte central de la cima de la pila de compost.

Para el preparado líquido de valeriana (*Valeriana officinalis*), se mezclaron vigorosamente dos a tres gotas de valeriana en 5 litros de agua tibia durante quince minutos, luego se roció el líquido sobre la superficie de las pilas de compost de la forma más rápida, utilizando una regadera manual.

Tapado de las pilas de compost: Inmediatamente después de añadir los preparados biodinámicos, se cubrieron las pilas de compost con hojas de palmera, para proteger de la desecación.

Fase 2: Evaluación del proceso de compostaje

Evaluación en campo: Los parámetros de temperatura, pH, color, olor y test de la vara de madera fueron registrados en una hoja de evaluación. Para el control de los distintos parámetros se realizaron visitas periódicas a las pilas de compost, evaluando estas características diariamente durante los primeros quince días, después, dos veces por semana hasta cumplir con los 120 días de descomposición.

Temperatura: Las lecturas de temperatura se realizaron con un geotermómetro a 30 cm de profundidad en las distintas pilas de compost, la toma de temperatura se registró en los dos lados de la pila. Cada lado a la vez fue dividido en tres puntos en la parte media de la pila, registrándose en total 6 lecturas de temperatura para cada pila.

Olor: Para realizar este control se introdujo un palo de madera limpio en forma perpendicular dentro de la pila, se dejó reposar durante tres minutos, se sacó

el palo de madera y se sintió el olor a lo largo del mismo realizando el registro correspondiente. Las lecturas fueron realizadas por el mismo operador para evitar ambigüedad en el carácter de evaluación clasificando el olor con los siguientes valores: (1) amoniacal fuerte (muy desagradable), (2) amoniacal ligero (desagradable), (3) neutro y (4) tierra vegetal.

Color: Para describir el color se tomaron muestras a distintas profundidades en toda la superficie de la pila, una vez tomada la muestra fue caracterizada con los valores y categorías siguientes: (3) marrón oscuro y brillante, (2) marrón claro y (1) original.

Test de la vara de madera: Este test sirve para ver el grado de descomposición de los materiales en el compostaje además de los posibles problemas relacionados con el mismo. Se introdujo una vara de madera en la pila de compost, dejándola enterrada durante quince minutos, al remover la vara se verificó el estado de la misma clasificándola en diferentes categorías según el estado de la vara, como se observa en la tabla 1.

Tabla 1. Criterios del test de la vara de madera.

Estado de la vara de madera	Resultado
Fría y mojada.	No hay fermentación, probablemente por el exceso de agua.
Levemente normal y seca, con filamentos blanco de micelio de hongos.	La pila necesita más agua.
Caliente, húmeda y manchada de pardo oscuro.	Las condiciones para compostaje estas correctas.
Libre de barro, introducida con facilidad de vuelta a la pila.	El compost está listo para ser usado

Fuente: En base a KIEHL (1985).

Porcentaje de descomposición: Finalizado el proceso de compostaje se tamizó cada tratamiento con un tamiz de 1 x 1 cm, para separar los materiales que no llegaron a descomponerse totalmente, y así tomar en cuenta solamente el compost útil (SZTERN Y PRAVIA 1999). Una vez realizado el tamizado se calculó el porcentaje de compost apto para la utilización agrícola:

$$\text{Porcentaje de descomposicion} = \frac{\text{Volumen del material tamizado}}{\text{Volumen total}} * 100$$

(ec. 2)

Control de pH: Se extrajeron muestras de las diferentes pilas de compost obteniendo una muestra representativa de 50 g que fue diluida en 200 ml de agua

destilada, se agitó cuidadosamente hasta obtener una mezcla homogénea y se dejó reposar por 15 min. Para la medición se utilizó un pH-metro digital Hanna de laboratorio.

Test de lacto-fermentación: Los 8 tratamientos fueron evaluados con el test de lacto-fermentación cada 30 días desde el inicio del proceso de compostaje, realizando tres repeticiones para cada muestra en cada evaluación. Para realizar el test de lacto-fermentación se preparó una mezcla madre de compost, disolviendo 50 g de compost en 125 ml de agua destilada, agregando 1 cucharilla de sal, cerrando y agitando vigorosamente. Preparada la muestra madre se dejó en la incubadora a 37 °C por 24 h y a 25 °C por las siguientes 24 h.

Una vez preparada la muestra madre se sacaron de tres a cuatro gotas y se colocaron en tubos de ensayo con 20 ml de leche aproximadamente. Se constató previamente que la leche utilizada para realizar el test presenta coagulación homogénea. Se introdujeron las gotas de muestra madre en los tubos de ensayo con leche y se colocaron estos últimos en la incubadora a 37 °C por 24 h y a 25 °C por las siguientes 24 h. Pasadas las 48 h se observó el tipo de coagulación que presentó cada tubo de ensayo.

Se clasificó el tipo de coagulación según el sistema de Poëncet (2000), en cinco categorías: Homogénea (Ho), Rajada (Ra), Floculosa (Flo), Caseosa (Ca) y No Coagulada (Nc).

Análisis de laboratorio: Se tomaron muestras al inicio y final del proceso de compostaje, los parámetros para los análisis fueron los siguientes: Potasio total, Fósforo total, Carbono Orgánico, Nitrógeno Total, Relación C/N, Humedad, Coliformes termotolerantes (*E. coli*), Enterobacterias patógenas, Hongos (Mohos y Levaduras) y Actinomicetos.

Fase 3: Análisis estadístico

Diseño estadístico: Para el diseño estadístico se consideraron dos factores: preparados biodinámicos con dos categorías (sin preparados biodinámicos y con preparados biodinámicos) y mezclas en torno a la relación inicial C/N con cuatro categorías. Como resultado de la combinación de los factores de estudio se obtuvieron ocho tratamientos: T1 (Estiércol, C/N = 15); T2 (Estiércol + preparados biodinámicos, C/N = 15); T3 (Estiércol + chala de maíz picada, C/N = 25); T4 (Estiércol + chala de maíz picada + preparados biodinámicos, C/N = 25); T5 (Estiércol + gallinaza, C/N = 14); T6 (Estiércol + gallinaza + preparados biodinámicos, C/N = 14); T7 (Estiércol + gallinaza + chala de maíz picada, C/N = 25); T8 (Estiércol + gallinaza + chala de maíz picada + preparados biodinámicos, C/N = 25).

El diseño estadístico usado para este estudio fue el de parcelas divididas, donde el factor principal es el de los preparados biodinámicos y el factor de sub-parcela es la mezcla en torno a la relación inicial C/N de los residuos orgánicos. Con los datos obtenidos de las variables de respuesta de temperatura, pH, color y olor evaluados en campo, se realizó un análisis de varianza (ANVA) y una comparación de medias con el procedimiento Duncan, con el paquete estadístico SAS.

3. Resultados y discusión

Temperatura: La figura 1 muestra que la fase mesófila duró aproximadamente 5 días, donde los tratamientos T3 y T4 fueron los primeros en alcanzar temperaturas de 40 °C, coincidiendo con AVENDAÑO (2003). Al contrario los tratamientos T1, T2, T5, T6, T7 y T8 registraron temperaturas por debajo de los 30 °C que son consideradas dentro de la etapa mesófila (SZTERN Y PRAVIA 1991).

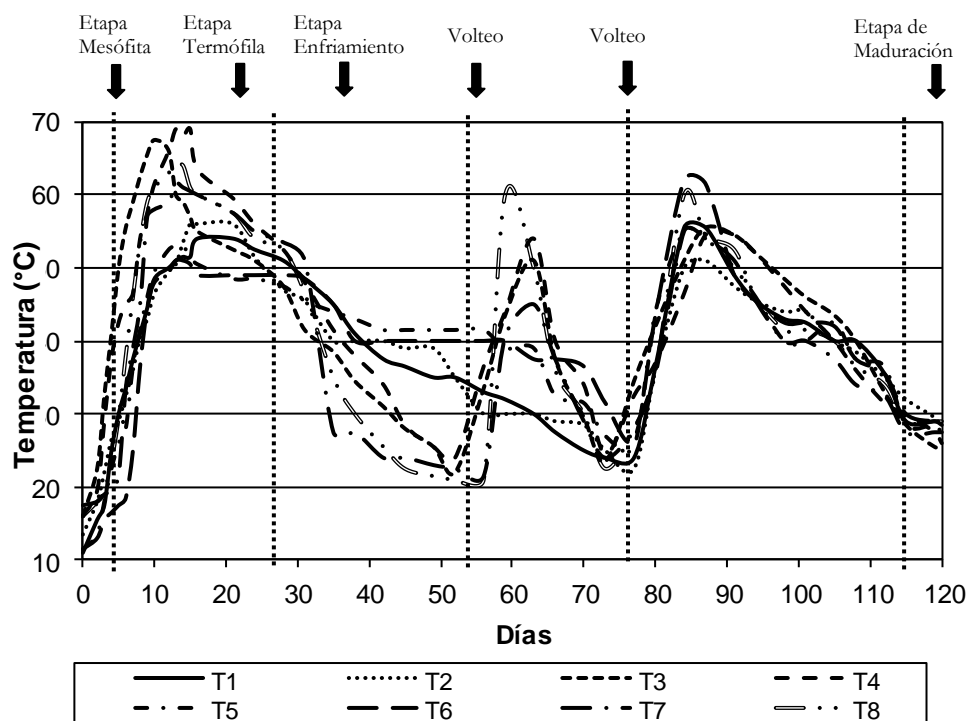


Figura 1: Variación de la temperatura durante el proceso de compostaje.

En la etapa termófila los tratamientos T3, T4, T7 y T8 registraron las temperaturas más elevadas de 67, 69, 61 y 64 °C respectivamente, consideradas óptimas, ya que temperaturas por encima de los 70 °C son consideradas

innecesarias, ya que así como la alta temperatura es capaz de sanitizar patógenos, también puede terminar con la flora benéfica, las enzimas responsables de la degradación se desnaturalizan y se convierten en no funcionales, provocando que los microorganismos no puedan nutrirse de manera adecuada, también son conducentes a una pérdida evaporativa excesiva de agua y emanación de olores (GRAVEZ 2000 cit. por AVENDAÑO 2003). Los tratamientos T2, T1, T5 y T6 registraron temperaturas máximas de 55, 53, 52 y 51 °C respectivamente, las cuales también se encuentran dentro de un rango deseable, considerándose una fase óptima para compostaje de 50 a 70 °C, siendo 60 °C la más indicada (KIEHL 1985).

La tabla 2 muestra que la comparación de medias, permite comparar el mismo tipo de mezcla, diferenciando los tratamientos por la adición de preparados biodinámicos. En promedio el tratamiento T1 comparado con T2, T3 comparado con T4, T5 comparado con T6 y T7 comparado con T8; los tratamientos T2, T4, T6 y T8 a los que fueron agregados preparados biodinámicos registraron temperaturas significativamente más elevadas durante la etapa termófila en relación a los tratamientos T1, T3, T5 y T7 que no tenían preparados biodinámicos, coincidiendo con VON *et al.* (1998).

Tabla 2. Comparación de medias de temperatura para las mezclas en la etapa termófila.

Tipo de Mezcla	Temperatura Media	Nivel de Significancia al 5%
M2: Estiércol+ chala de maíz picada, C/N = 25	63,50	A
M4: Estiércol + gallinaza + chala de maíz picada, C/N = 25	62,50	A
M1: Estiércol, C/N = 15	52,50	B
M3: Estiércol + gallinaza, C/N = 14	52,50	B
CON Preparados Biodinámicos	59,13	A
SIN Preparados Biodinámicos	56,13	B

Los tratamientos T3, T4, T7 y T8 que contienen materia rica en carbono (chala de maíz picada) registraron las temperaturas más elevadas en comparación con los tratamientos T1, T2, T5 y T6, los cuales no tienen un aporte de materia rica en carbono (chala de maíz picada), reflejando la importancia de los residuos fácilmente fermentables para una mejor sanitización.

Se observó que durante la etapa de enfriamiento los tratamientos T1, T2, T5 y T6 que no tienen aporte de materia rica en carbono todavía registraban temperaturas elevadas encima de los 35 °C, al contrario de los tratamientos T3, T4, T7 y T8 que mostraban un descenso de temperatura paulatina hasta alcanzar

temperaturas próximas a las del medio ambiente, siendo un indicador para realizar el primer volteo y riego de los tratamientos correspondientes.

Después de haber realizado los volteos y riegos, los cuales son un factor operacional muy importante para mantener la actividad aerobia, ayudar a romper pedazos más grandes de material, exponer superficies frescas al ataque de los microorganismos, acelerar la velocidad de fermentación (DALZELL *et al.* 1991; TCHOBANOGLOUS *et al.* 1994), las pilas volvieron a presentar todas las fases anteriormente mencionadas, siendo esto normal según LABRADOR (2001); pero, esta vez, con menores tiempos de duración. A partir del día 112 aproximadamente las temperaturas de los tratamientos bajaron regularmente hasta alcanzar temperaturas próximas al medio ambiente, considerándose como fase de maduración o de estabilización.

pH: La figura 2 muestra que al iniciar el proceso de compostaje se registraron pH variados entre los tratamientos yendo en un rango de 5 a 10, en respuesta a los materiales utilizados en la mezcla inicial. Los valores de pH comprendidos entre 5 y 8 correspondieron a los tratamientos que tienen un aporte de materia rica en carbono T3, T4, T7 y T8 son considerados aceptables por ser compatibles con la generalidad de las necesidades de los microorganismos presentes en el proceso, ya que la mayor parte de las bacterias se desarrolla mejor a pH neutros o ligeramente alcalinos, mientras que el grupo de los hongos toleran pH ácidos (AVENDAÑO 2003 y JIMÉNEZ 1998).

La tabla 3 muestra que la comparación de medias entre mezclas realizadas para la etapa termófila mostró que los tratamientos T3, T4, T7 y T8 correspondientes a las Mezclas M4 y M2 tuvieron un descenso de pH, lo cual es natural por la liberación de ácidos orgánicos, por acción fundamental de hongos que se desarrollan mejor en medio ácido (JIMÉNEZ 1998). También se observó que los tratamientos T4 y T8 que tenían preparados biodinámicos tendieron a acidificarse más que los tratamientos T3 y T7. Después del descenso del pH se observa que los tratamientos T3, T4, T7 y T8 se vuelven ligeramente alcalinos alcanzando los valores más altos alrededor de un pH entre 7 y 8,5, lo cual coincide con el máximo de la fase termófila (GUERRA *et al.* 2001 cit. por AVENDAÑO 2003). Finalmente, los tratamientos T3, T4, T7 y T8 en la etapa de maduración registraron valores de pH en un rango de 7 a 7,5, compatible con el crecimiento de las plantas.

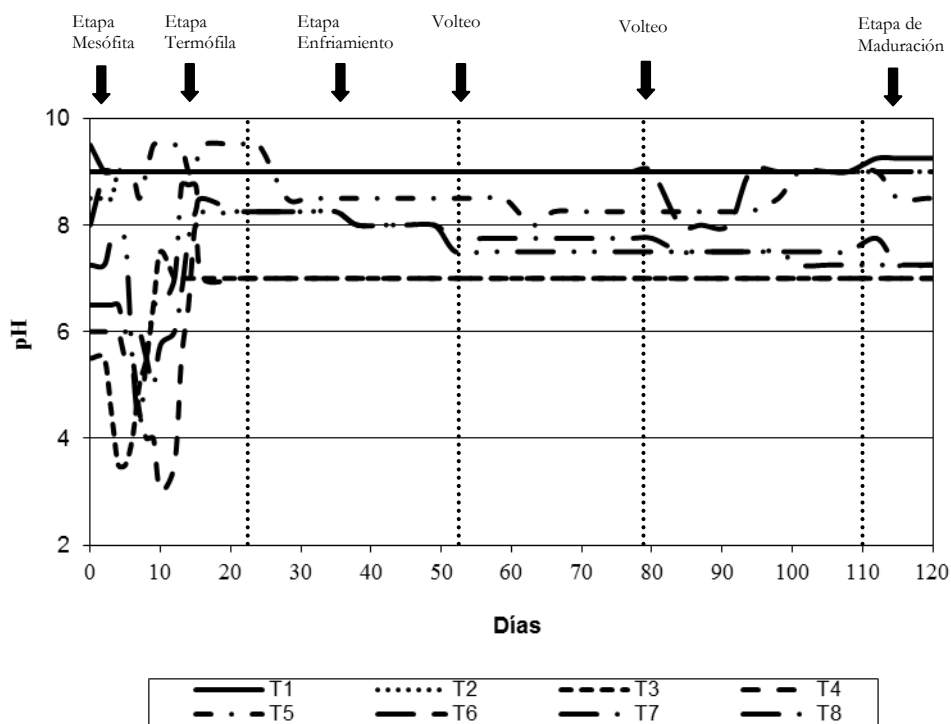


Figura 2: Variación del pH durante el proceso de compostaje.

Tabla 3. Comparación de medias de pH para las mezclas en la etapa termófila

Tipo de Mezcla	pH	Nivel de significancia al 5%
M3: Estiércol + gallinaza, C/N = 14	9,20	A
M1: Estiércol, C/N = 15	9,00	A
M4: Estiércol + gallinaza + chala de maíz picada, C/N = 25	6,10	B
M2: Estiércol+ chala de maíz picada, C/N = 25	5,20	B

De manera estadísticamente significativa, los tratamientos T1, T2, T5 y T6 registraron niveles de pH más elevados, mostraron ligeras variaciones que mantuvieron en un rango de 8 a 10 durante todo el proceso de compostaje, relacionado con la presencia de estiércol y gallinaza, materiales ricos en nitrógeno que tienen una reacción superior a 8. Este nivel de acidez genera el problema de reducir la disponibilidad de nutrientes esenciales para los organismos de la descomposición (NAVARRO 1995; SZTERN Y PRAVIA 1999).

Olor: La tabla 4 muestra que la comparación de medias para los tratamientos a los cuales se añadió preparados biodinámicos (T2, T4, T6 y T8) presentaron un olor más característico al de tierra vegetal, concordando con VON *et al.* (1998). Los tratamientos T3, T4, T7 y T8 que tienen aporte de materia rica en carbono (chala de maíz picada), presentaron un olor más semejante al de tierra vegetal que las mezclas M3 y M4 las cuales contenían gallinaza y estiércol, materiales ricos en nitrógeno y que suelen desprender amoníaco (NAVARRO, 1995).

En general, al final del proceso de compostaje, ninguno de los tratamientos presentó un olor desagradable (amoniaco), que es característico de un proceso de anaerobiosis, evidenciando un proceso aeróbico, ideal en el proceso de compostaje.

Tabla 4. Comparación de medias de olor en la etapa de maduración

Tipo de Mezcla	Olor	Nivel de significancia al 5%
M2: Estiércol+ chala de maíz picada, C/N = 25	4,00	A
M4: Estiércol + gallinaza + chala de maíz picada, C/N = 25	4,00	A
M1: Estiércol, C/N = 15	2,70	B
M3: Estiércol + gallinaza, C/N = 14	2,70	B
CON Preparados Biodinámicos	3,50	A
SIN Preparados Biodinámicos	3,25	B

Color: La tabla 5 muestra que la comparación de medias mostró que a partir del día 16 ocurrieron diferencias significativas entre los tratamientos con preparados biodinámicos y las mezclas diferenciadas unas de otras por la relación C/N inicial. La comparación de medias mostró que en promedio el tratamiento T1 comparado con T2; T3 comparado con T4; T5 comparado con T6 y T7 comparado con T8; los tratamientos T2, T4, T6 y T8 a los que fueron agregados preparados biodinámicos presentaron un color más cercano a marrón oscuro, concordando con VON *et al.* (1998). La comparación de medias para las mezclas M4 y M2 correspondientes a los tratamientos T3, T4, T7 y T8 ya presentaban un color más oscuro desde el inicio.

En general, al final del proceso de compostaje todos los tratamientos presentaron un color marrón oscuro.

Tabla 5. Comparación de medias de Color en la etapa termófila

Tipo de Mezcla	Media de color	Nivel de significancia al 5%
M2: Estiércol+ chala de maíz picada, C/N = 25	2,50	A
M4: Estiércol + gallinaza + chala de maíz picada, C/N = 25	2,00	A
M1: Estiércol, C/N = 15	1,00	B
M3: Estiércol + gallinaza, C/N = 14	1,00	B
CON Preparados Biodinámicos	1,80	A
SIN Preparados Biodinámicos	1,30	B

Porcentaje de descomposición: Finalizado el proceso de compostaje de los diferentes tratamientos, se procedió al tamizado de las pilas de compost con un tamiz de 1 x 1 cm para la utilización agrícola (SZTERN Y PRAVIA 1999), tomando en cuenta solamente el volumen del compost útil. También se vio que T1 comparado con T2; T3 comparado con T4; T5 comparado con T6 y T7 comparado con T8; los tratamientos T2, T4, T6 y T8 a los que fueron agregados preparados biodinámicos lograron un mayor porcentaje de descomposición en comparación con los tratamientos que no presentaban preparados biodinámicos, como se observa en la tabla 6.

Tabla 6. Porcentaje de descomposición en los tratamientos.

Tratamiento	Volumen Total	Volumen material grueso	Volumen material tamizado	Porcentaje de descomposición
	---m ³ ---	---m ³ ---	---m ³ ---	---%---
T1	6	3,3	1,7	28
T2	6	2,5	2,0	33
T3	6	1,5	3,0	50
T4	6	0,5	3,5	58
T5	6	3,0	1,8	30
T6	6	2,6	2,2	37
T7	6	1,3	2,8	47
T8	6	0,5	3,0	50

Lacto-fermentación: La tabla 7 muestra que los tratamientos T3, T4, T7 y T8, que llevaban un aporte de materia rica en carbono y nitrógeno mostraron coagulación homogénea, indicando la presencia de organismos benéficos a partir del segundo mes. Además, estos tratamientos alcanzaron temperaturas elevadas

durante la etapa termófila lo cual es de gran interés para la higienización del material por que se eliminan todos los mesófilos patógenos, hongos, esporas, semillas y elementos biológicos indeseables (SZTERN Y PRAVIA 1999).

Tabla 7. Lacto-fermentación en los tratamientos

Tratamiento	Lacto-fermentación				Resultado final
	Mes 1	Mes 2	Mes 3	Mes 4	
T1	Nc	Nc	Flo	Ra	Presencia de patógenos
T2	Nc	Nc	Ra	Ra	Presencia de patógenos
T3	Nc	Ho	Ho	Ho	Presencia de organismos benéficos
T4	Nc	Ho	Ho	Ho	Presencia de organismos benéficos
T5	Nc	Flo	Flo	Ra	Presencia de patógenos
T6	Nc	Ra	Ra	Ra	Presencia de patógenos
T7	Nc	Ho	Ho	Ho	Presencia de organismos benéficos
T8	Nc	Ho	Ho	Ho	Presencia de organismos benéficos

Análisis físicos y químicos: Las tablas 8 y 9 muestran que los porcentajes de Carbono Orgánico (CO) en los diferentes tratamientos se encontraron dentro de los valores de referencia de 8 a 50 %.

El Nitrógeno total en todos los tratamientos se encuentra dentro del rango de 0,4 a 3,5 %, adecuado según DALZELL *et al.* (1991). Los tratamientos a los que se añadieron preparados biodinámicos, mostraron un incremento en el valor de Nitrógeno desde el inicio del proceso de compostaje. Según PIAMONTE (2002), la incorporación de los preparados biodinámicos muestra claramente que los valores de Nitrógeno total establecen una relación más equilibrada aumentando considerablemente.

Los valores de Fósforo total revelan que todos los tratamientos están dentro del rango de referencia para un compost maduro 0,1 a 0,6 %, según JIMENEZ (1998) el Fósforo es fundamental en los procesos de multiplicación celular y contribuye de forma insustituible a la formación de tejidos vegetales.

La mayor parte de los tratamientos tienen altos contenidos de Potasio, comparando con la normativa australiana, que consideran un 0,3 % como contenido mínimo de Potasio para clasificar como producto de buena calidad, los compost obtenidos de los distintos tratamientos se clasifican de buena calidad.

En cuanto a la relación C/N final se observó que todos los tratamientos se encuentran dentro del rango de referencia de 10 a 20, a excepción de los tratamientos T2, T7 y T8 que presentaban un valor inferior a 10.

Los valores de humedad al inicio del proceso de compostaje para los tratamientos T1, T2 son de 80 y 77,9 % respectivamente, siendo elevados en relación a la referencia. KIEHL (1985) indica que cuanto más finas son las partículas de los residuos orgánicos a ser compostados mayor será la retención de agua. Así por ejemplo, en el caso de los estiércoles, cuyo tamaño de partícula es relativamente pequeño, estos retienen de 70 a 80 % de agua (KIEHL, 1985). Los otros tratamientos registraron valores de humedad dentro de los rangos de 50 a 60 % considerados adecuados al inicio del proceso de compostaje (DALZELL *et al.* 1991). Al final del proceso de compostaje los tratamientos registraron valores dentro del marco de referencia inferior al 45 %, al contrario de los tratamientos T1 y T4 que registraron valores de humedad superiores al 50 %, considerados óptimos para la comercialización del compost (ALTAMIRANO *et al.* 2006).

Tabla 8. Relación de tratamientos en sus parámetros físico químicos

Tipo de análisis	Tratamientos								Valores de referencia ¹
	T1		T2		T3		T4		
	P _i	P _f	P _i	P _f	P _i	P _f	P _i	P _f	
% CO	27,68	22,91	29,12	20,4	42,28	20,29	49,50	21,65	8 a 50
% Nt	1,820	1,89	1,820	2,20	1,680	1,68	1,855	1,867	0,4 a 3,5
% Pt	2,576	0,96	2,283	1,86	2,369	1,05	2,716	0,746	0,1 a 0,6
% K	1,169	1,82	0,909	1,88	1,299	1,52	1,364	1,589	0,4 a 1,6
C/N	15,2	12,1	16	9,25	25,2	11,9	26,5	11,9	10 a 20
% W	80	53,38	77,9	45,145	63,5	43,93	60	52,79	< 45

¹Compost maduro en base a Dalzell *et al.* 1991

Nota: % en peso seco

W: humedad

P_i = Proceso inicial del compostaje

P_f = Proceso final del compostaje

Tabla 9. Relación de tratamientos en sus parámetros físico químicos
(continuación tabla 8)

Tipo de análisis	Tratamientos								Valores de referencia ¹
	T5		T6		T7		T8		
	P _i	P _f	P _i	P _f	P _i	P _f	P _i	P _f	
% CO	27,77	19,35	33,19	21,86	49,37	21,23	48,75	20,395	8 a 50
% Nt	1,886	1,89	1,960	2,03	2,00	2,275	1,867	2,3975	0,4 a 3,5
% Pt	3,718	1,343	3,718	1,20	3,163	1,178	2,541	1,088	0,1 a 0,6
% K	1,364	1,62	1,364	1,885	1,104	2,145	0,909	1,915	0,4 a 1,6
C/N	14,9	10,35	16,9	11,4	24,7	9,4	26,1	8,5	10 a 20
% W	62,3	39,86	59,6	38,49	55,3	44,67	59	44,035	< 45

¹Compost maduro en base a Dalzell *et al.* 1991

Nota: % en peso seco

W: humedad

P_i = Proceso inicial del compostaje

P_f = Proceso final del compostaje

Análisis microbiológicos: Las tablas 10 y 11 muestran que el recuento de *Escherichia coli* mostró que todos los tratamientos se encuentran debajo del valor máximo tolerado por USDA garantizando la sanitización del compost.

Todos los tratamientos registraron la ausencia *Salmonella sp.*, uno de los patógenos entéricos más estudiados encontrados en el compost. Es conocido que *Salmonella sp.* no se desarrolla por encima de los 46 °C muriendo en 30 minutos entre 55 y 60 °C. Asimismo el contacto con este patógeno puede causar salmonelosis y gastroenteritis en los seres humanos (GÓMEZ 2004 y GARCÍA 1986).

Todos los tratamientos registraron la ausencia de *Shigella sp.*, uno de los patógenos más numerosos y peligrosos en el compost. Su incidencia está relacionada con la calidad sanitaria del agua, la destrucción de este género microbiano tiene lugar en un período más corto que la destrucción de *Salmonella sp.*, el contacto con este microorganismo patógeno puede causar fiebre tifoidea (FEACHEM *et al.* 1983 cit. por GÓMEZ 2004).

Tabla 10. Relación de tratamientos en sus parámetros microbiológicos

Tipo de análisis	Tratamientos								Valores de referencia ¹
	T1		T2		T3		T4		
	P _i	P _f	P _i	P _f	P _i	P _f	P _i	P _f	
<i>Escherichia coli</i>	2x10 ³	1x10 ²	2x10 ³	0x10 ¹	1x10 ³	0x10 ¹	0x10 ¹	0x10 ¹	1 x 10 ³ *
<i>Salmonella sp.</i>	Ausente	Ausente	Ausente	Ausente	Ausente	Ausente	Ausente	Ausente	Ausente 25/ g
<i>Shigella sp.</i>	Ausente	Ausente	Ausente	Ausente	Ausente	Ausente	Ausente	Ausente	Ausente 25/ g
<i>Clostridium sp.</i>	2x10 ²	3x10 ²	1x10 ²	1x10 ²	2x10 ²	0x10 ¹	1x10 ²	0x10 ¹	
<i>Staphylococcus</i>	2x10 ³	1x10 ¹	3x10 ²	0x10 ¹	0x10 ¹	0x10 ¹	0x10 ¹	0x10 ⁰	
Hongos filamentosos	5x10 ⁴	4x10 ³	3x10 ⁴	2x10 ³	3x10 ⁴	2x10 ³	9x10 ⁴	2x10 ²	1 x 10 ⁷ *
Levaduras	9x10 ⁴	2x10 ³	7x10 ⁴	1x10 ³	6x10 ⁴	2x10 ³	8x10 ⁴	2x10 ²	
Actinomicetos	5x10 ³	3x10 ²	3x10 ³	0x10 ¹	1x10 ³	0x10 ¹	1x10 ³	2x10 ¹	1 x 10 ⁴ #

Tabla 11. Relación de tratamientos en sus parámetros microbiológicos
(continuación tabla 10)

Tipo de análisis	Tratamientos								Valores de referencia ¹
	T5		T6		T7		T8		
	P _i	P _f	P _i	P _f	P _i	P _f	P _i	P _f	UFC*g
<i>Escherichia coli</i>	3x10 ²	0x10 ¹	2x10 ²	0x10 ¹	1x10 ¹	0x10 ¹	2x10 ²	0x10 ¹	1 x 10 ³ *
<i>Salmonella sp.</i>	Ausente	Ausente	Ausente	Ausente	Ausente	Ausente	Ausente	Ausente	Ausente 25/ g
<i>Shigella sp.</i>	Ausente	Ausente	Ausente	Ausente	Ausente	Ausente	Ausente	Ausente	Ausente 25/ g
<i>Clostridium sp.</i>	2x10 ³	1x10 ²	6x10 ²	0x10 ¹	2x10 ¹	0x10	3x10 ³	0x10 ¹	
<i>Staphylococcus</i>	1x10 ²	1x10 ¹	2x10 ³	0x10 ¹	0x10 ¹	0x10 ¹	1x10 ²	0x10 ¹	
Hongos filamentosos	9x10 ⁵	3x10 ³	6x10 ⁴	4x10 ⁴	6x10 ²	2x10 ¹	4x10 ³	1x10 ³	1 x 10 ⁷ *
Levaduras	6x10 ⁴	3x10 ³	9x10 ⁴	5x10 ⁴	8x10 ²	1x10 ¹	5x10 ³	2x10 ³	
Actinomicetos	9x10 ³	2x10 ³	3x10 ³	2x10 ¹	2x10 ²	0x10 ¹	4x10 ²	0x10 ¹	1 x 10 ⁴ #

¹Compost maduro en base a datos de la USDA (1995)

* Máximo tolerado

Mínimo esperado

P_i = Proceso inicial del compostaje

P_f = Proceso final del compostaje

El *Staphylococcus* presente en el compost, no presenta ningún riesgo en los cultivos, aunque puede llegar a contaminar los cultivos y suelos. Se ha comprobado que produce infecciones en muchos tejidos, órganos y tractos del ser humano (ATLAS *et al.* 2002).

Todos los tratamientos presentaron la presencia de hongos filamentosos y levaduras. Esta presencia es importante por la conversión biológica de residuos orgánicos que realizan (TCHOBANOGLIOUS *et al.* 1994).

Ninguno de los tratamientos registró el mínimo esperado respecto a los actinomicetos, esto puede ser a consecuencia de que las muestras a analizarse fueron congeladas, esto pudo influir en su desarrollo ya que se desarrollan a temperatura ambiente. Su presencia es importante al ser un grupo de organismos con propiedades intermedias entre bacterias y hongos, garantizan la producción de antibióticos que ejercen una actividad regulatoria en el suelo, además de que degradan las sustancias que no han degradado bacterias ni hongos, siendo responsables del olor característico a compost maduro (TCHOBANOGLIOUS *et al.* 1994).

Los tratamientos compuestos de materia rica en Nitrógeno (estiércol y gallinaza):

- Empezaron el proceso con un pH 8 a 9 fluctuando entre estos valores durante todo el proceso de compostaje sugiriendo que durante el proceso hubo volatilización del amoníaco (NH_3)

Los tratamientos que tenían aporte de materia rica en Carbono (chala de maíz picada):

- Alcanzaron temperaturas encima de los 60 °C permitiendo la sanitización del compost
- Terminaron el proceso con un pH de 7 a 7,5 recomendable para la aplicación en cultivos
- Favorecieron a una mayor descomposición obteniendo mayor cantidad de material fino
- Presentaron coagulación homogénea en el test de lacto-fermentación desde el día 30 de iniciado el proceso de compostaje

Los tratamientos a los que fueron añadidos preparados biodinámicos:

- Incrementaron la temperatura durante el proceso de compostaje en relación a los demás tratamientos
- Lograron un mayor porcentaje de descomposición
- Incrementaron considerablemente el contenido de Nitrógeno durante el proceso de compostaje

Los tratamientos que tenían aporte de materia rica en Carbono (chala de maíz picada) y preparados biodinámicos:

- Permitieron incrementar los valores de temperatura, alcanzando los valores más elevados
- Presentaron un olor característico a suelo de bosque a los 42 días y un color marrón oscuro ya a los 16 días de iniciado el proceso de compostaje
- Lograron un mayor porcentaje de descomposición

4. Conclusiones

De manera general se observó que todos los tratamientos evaluados permitieron diferenciar claramente la etapa mesófila, termófila y de maduración en cuanto a la variable de temperatura. Durante la etapa termófila los tratamientos que tenían un aporte de materia rica en Carbono (chala de maíz picada) T3 (estiércol,

chala de maíz picada, C/N=25), T4 (estiércol, chala de maíz picada, preparados biodinámicos, C/N=25), T7 (estiércol, gallinaza, chala de maíz picada, C/N=25) y T8 (estiércol, gallinaza, chala de maíz picada, preparados biodinámicos, C/N=25) alcanzaron las temperaturas elevadas encima de los 60 °C garantizando la sanitización del compost. Los tratamientos a los que fueron añadidos preparados biodinámicos registraron temperaturas más elevadas durante el proceso de compostaje en relación a los otros tratamientos.

Respecto al pH, los tratamientos T3 (estiércol, chala de maíz picada, C/N=25), T4 (estiércol, chala de maíz picada, preparados biodinámicos, C/N=25), T7 (estiércol, gallinaza, chala de maíz picada, C/N=25) y T8 (estiércol, gallinaza, chala de maíz picada, preparados biodinámicos, C/N=25) que tenían aporte de materia rica en Carbono (chala de maíz picada) llegaron a acidificarse durante la etapa termófila, para luego alcanzar un pH de 7 a 7,5 que es la recomendable para su aplicación en cultivos. También se observó que los tratamientos T4 y T8 que contenían preparados biodinámicos presentaron una tendencia a acidificarse más.

Los tratamientos T1 (estiércol, C/N=15), T2 (estiércol, preparados biodinámicos, C/N=15), T5 (estiércol, gallinaza, C/N=14) y T6 (estiércol, gallinaza, preparados biodinámicos, C/N=14) compuestos de materia rica en Nitrógeno empezaron el proceso con un pH 8 a 9 fluctuando entre estos valores durante todo el proceso de compostaje indicando que durante el proceso hubo volatilización del amoníaco (NH₃).

Todos los tratamientos evaluados presentaron un olor agradable típico a humus y color uniforme (oscuro brillante) a los 120 días finalizado el proceso de compostaje. Los tratamientos que tenían un aporte de materia rica en Carbono y adición de preparados biodinámicos mostraron un olor característico a suelo de bosque a los 42 días y un color marrón oscuro ya a los 16 días de iniciado el proceso de compostaje.

Los tratamientos T3 (estiércol, chala de maíz picada, C/N=25), T4 (estiércol, chala de maíz picada, preparados biodinámicos, C/N=25), T7 (estiércol, gallinaza, chala de maíz picada, C/N=25) y T8 (estiércol, gallinaza, chala de maíz picada, preparados biodinámicos, C/N=25) que tenían aporte de materia rica en Carbono (chala de maíz picada), favorecieron a una mayor descomposición obteniendo mayor cantidad de material fino. También se observó que los tratamientos T4 y T8 que contenían preparados biodinámicos lograron un mayor porcentaje de descomposición.

Los análisis físico químicos mostraron que todos los tratamientos se encuentran dentro del rango esperado. Se observó que los tratamientos que tenían añadidos preparados biodinámicos tuvieron un incremento considerable de Nitrógeno durante el proceso de compostaje.

Los resultados sugieren que la relación C/N y los preparados biodinámicos permiten mejorar el proceso de compostaje y el producto final.

Referencias

- [1] AVENDAÑO, D. 2003 “*El proceso de compostaje*”. En: www.puc.cl/agronomia/2_alumnos/ProyectosTitulos/pdf/ (20/10/2008).
- [2] ALTAMIRANO, M. 2006 “*Estudio comparativo para la elaboración de compost por técnica manual*”, en sisbib.nmsm.edu.pe/BibVirtualData/publicaciones/geología/vol9_n17/a10.pdf (20/02/2009)
- [3] ATLAS, R.; BARTHA, R.; GUERRERO, R. 2002 *Ecología microbiana y microbiología ambiental*. Madrid. Pearson Educación
- [4] CASTILLO, A 1999 “*Caracterización química y física de compost de lombrices elaborados a partir de residuos orgánicos puros y combinados*”. Agricultura técnica, Vol. 60, N° 1.
- [5] CEAMSE, COORDINACIÓN ECOLÓGICA ÁREA METROPOLITANA SOCIEDAD DEL ESTADO () 2006 “*Revista informativa – Los Agroquímicos en el Banquete*”, en www.ceamse.gov.ar/revista/revista2/losagroquimicosenelbanquete.pdf (20/04/08)
- [6] DALZELL, A.; BIDDLESTONE, A.J.; GRAY K.R.; THURAIRAJAN K. 1991 *Manejo del suelo: producción y uso del composte en ambientes tropicales y subtropicales*. Roma. ONU - FAO
- [7] EHRENFRIED, E 1992 “*Introducción al método agrícola biodinámico*”, en www.canricastell.net/documentos/PfeifferIntro.pdf (25/01/2009).
- [8] GOMEZ, Y. 2004 “*Microorganismos presentes en el compost. Importancia de su control sanitario*”, en http://www.medioambiente.cu/revistama/7_01.asp (11/02/2009)
- [9] GARCIA, C 1986 “*El compostaje de residuos urbanos orgánicos y su aplicación agrícola*”. II congreso de agricultura biológica. Madrid
- [10] GESCHE, M. 2003 “*Eficiencia de anaerobios sulfito reductores como indicadores de calidad sanitaria del agua*”, en www.scielo.cl/scielo.php?pid=S0301-732X2003000100011&script=sci_arttext - 59k - (02/06/09)
- [11] GUZMAN, K.E.; AZERO A., M.; SANCHEZ, J. 2011. *Estimación del coeficiente isohúmico de residuos de maíz en Inceptisoles de Pairumani, Vinto, Cochabamba*. Revista Boliviana de la Ciencia del Suelo, Vol. 1, N° 1, pp. 24-36.

- [12] JIMÉNEZ, M. 1998 *Normas de calidad del compost*. Tesis de Licenciatura en Ingeniería en Agronomía, Universidad de Córdoba Escuela Técnica Superior de Ingenieros Agrónomos y de Montes. Córdoba.
- [13] KIEHL, J. 1985 *Fertilizantes orgánicos*. Brasil. Agronómica CERES Ltda.
- [14] LABRADOR, A. 2001 *La materia orgánica en los agrosistemas*. España. Mundi
- [15] NAVARRO, P. 1995 “Residuos orgánicos y agricultura”, en <http://www.okupa.acervo.org/pdfs/Residuosorganicosyagricultura.pdf> (21/05/09)
- [16] PIAMONTE, R. 2002 “Biofertilizante líquido enriquecido”. Revista Mensual Associação Brasileira de Agricultura Biodinâmica. Brasil.
- [17] POËNCET, J. 2000 *Informe técnico Granja Modelo Pairumani: método de lacto-fermentación*. Granja Modelo Pairumani, Fundación Simón I. Patiño, Cochabamba.
- [18] SÁNCHEZ, K. 2006 *Evaluación inicial de suelos para la implementación de un sistema agroecológico con un enfoque de sostenibilidad ambiental en la Hacienda Pairumani*. Maestría profesional. Universidad Mayor de San Simón. Cochabamba.
- [19] SZTERN, D.; PRAVIA, M. 1999 “Manual para la elaboración de compost bases conceptuales y procedimientos”, en www.bvsops.org.uy/pdf/compost.pdf (24/08/07)
- [20] TCHOBANOGLIOUS, G.; THEISEN, H.; VIGIL, S. 1994 *Gestión integral de residuos sólidos*. España. McGraw-Hill
- [21] VON, C.; SCHEIBE, W.; HEILMANN H. 1998. *El empleo y la elaboración de los preparados biodinámicos*. España Primera Edición. Rudolf Steiner. España.
- [22] YÁÑEZ, P; LEVY, A; AZERO A., M. 2007. Evaluación del *compostaje de residuos de dos agroindustrias palmiteras del trópico de Cochabamba en silos hiperventilados*. ACTA NOVA, Vol. 3, N° 4, pp. 720-735