

Potenciales abonos para uso en la producción orgánica: Manejo de residuos orgánicos municipales con activadores

Potential manure in organic production use: management of municipal organic waste with activators

Ruiz Jessica², Acero Mauricio², Ortúñoz Noel^{1*}

Datos del Artículo	Resumen
<p>*Fundación para la Promoción e Investigación de Productos Andinos (PROINPA). Casilla 4285. Cochabamba. Bolivia</p> <p>²Universidad Católica Boliviana San Pablo, Unidad Académica Regional Cochabamba. Ingeniería Ambiental. Cochabamba-Bolivia. Tel. +591(2)8781991.</p> <p>*Dirección de contacto: Noel Ortúñoz. Fundación PROINPA-Fundación para la Promoción e Investigación de Productos Andinos. P.O. Box 4285 Cochabamba, Bolivia. Tel: +591-4-4319595, Fax: +591-4-4319500. E-mail: n.ortuno@proinpa.org</p>	<p>En el Municipio de Tiquipaya se genera 22 t dia⁻¹ de residuos sólidos, 63% son orgánicos y 37% inorgánicos. Dichos residuos son desechados al botadero municipal, convirtiendo el lugar en una amenaza para el medio ambiente y para la salud humana. Con el propósito de disminuir el efecto nocivo del mal manejo de residuos sólidos en el municipio de Tiquipaya, se desarrolló el presente estudio, considerando tres áreas de trabajo: la compostera y el vivero municipal de Tiquipaya, y las instalaciones de la Fundación PROINPA, inicialmente, el compostaje de los residuos se realizó con dos tratamientos: con y sin activador orgánico. Luego, estos fueron utilizados para el lombricompostado, donde se tuvo otros cuatro tratamientos, dos de ellos con y sin adición de activador orgánico.</p> <p>En el compost, a los 64 días, el activador logró reducir un 60.02% de volumen inicial, dejando un 39.99% de material grueso. Después del procesado del compost por las lombrices, se evaluó a los 47 días, donde el tratamiento con activador desde la fase del compostado logró reducir un 90.67% de volumen inicial, proporcionando mayor cantidad de materia fina en relación a los otros tratamientos, dejando solo 9.33% de material grueso.</p> <p>En el bioensayo realizado para evaluar la fitotoxicidad del lombricompostado sobre las plantas de cebada, mostró que los tratamientos con concentración del 50% presentaron porcentajes menores de germinación (40 al 50%). Por otro lado, con los tratamientos que contenían el 100% de lombricompost se obtuvo del 60 a 70% de germinación.</p>
<p>Palabras clave:</p> <p>Compost, lombricompostado, manejo de residuos.</p>	<p>© 2015. <i>Journal of the Selva Andina Biosphere. Bolivia. Todos los derechos reservados.</i></p>
<p>J Selva Andina Biosph. 2015; 3(1):39-55.</p> <p>Historial del artículo</p> <p>Recibido enero, 2014. Devuelto julio 2014 Aceptado abril, 2015. Disponible en línea, mayo 2015</p> <p>Editado por: <i>Selva Andina Research Society</i></p>	<p>Abstract</p> <p>The Tiquipaya Municipality produces 22 t day⁻¹ of solid, 63% of it is organic and 37% is inorganic. This waste is disposed of in the Municipal Landfill, rendering it into an environmental and health threat.</p> <p>In order to diminish the negative effects of poor management of municipal solid waste in Tiquipaya, we have carried out the present study in the Tiquipaya municipal composting site, the municipal nursery and the facilities of the PROINPA foundation. At the beginning, the waste composting was done using two treatments: one with organic activator and the other without it. Later the same two methods were used in worm composting, this second process in turn yielded other four treatments two of which included organic activator.</p> <p>After 64 days, within the compost, the activator achieved to reduce 60.02% of the initial volume, leaving a remaining</p>

Key words:

Compost,
worm composting,
solid waste management.

39.99% of thick material. After the compost had been processed by the worms it was evaluated on the 47th day, we found that the organic activator treatment used from the beginning of the composting phase, yielded a 90.67% decrease from the initial volume of fine matter, compared to the other treatments; it left only 9.33% of thick material. Bio-tests were conducted on barley plants to evaluate the phytotoxicity of the worm compost, these studies showed that treatments with a 50% worm compost concentration had lower germination values (40 to 50%). Whereas treatments that contained 100% of worm compost stood out for their higher yield that ranged from 60 to 70% in their germination values.

© 2015. *Journal of the Selva Andina Biosphere. Bolivian. All rights reserved.*

Introducción

Toda actividad humana consume materias primas produciendo a largo o corto plazo desechos. En la sociedad antigua, esencialmente rural y diseminada sobre inmensos territorios la eliminación de los desechos era hecha de manera natural, los espacios libres eran suficientemente extendidos para asimilar los desechos producidos por una población poco densa. Actualmente, nuestra sociedad va confrontando de una manera aguda este problema tanto en las ciudades como en el campo. Las razones de este problema son múltiples: expansión demográfica, aumento de los productos de consumo, disminución en la durabilidad de vida de los bienes y productos: aparatos electrodomésticos, automóviles, incremento de los embalajes no naturalmente destructibles: vidrio, metales, materias plásticas, cartones, entre otros, y aumento de información impresa: periódicos, volantes de publicidad (Orsa 2006).

Eliminar los desechos sólidos es un problema en todo el mundo y este se agrava más aún a medida que la población no solo aumenta en número, sino también en calidad de vida, puesto que produce más residuo (EDAE 2002). Según su composición, los residuos sólidos (RS) se clasifican en residuos orgánicos (RO) y residuos inorgánicos (RI) (Oten 2007). Entre los residuos orgánicos se encuentran los restos de comida, cáscaras, hojas, ramas, papel, excremento de ganado y virutas de madera. Los residuos inor

gánicos los conforman el vidrio, plástico, metal y otros (Alvarado 2007).

El compost es un abono orgánico que resulta de la descomposición del estiércol de animales con residuos vegetales, los cuales son mezclados en un montón o pila y dejados en reposo por algún tiempo, en el que actúan millones de microorganismos que descomponen estos residuos, lo cual puede durar de tres a seis meses, según el clima donde se construya el compostero (Sánchez 2003).

La lombricultura es una biotecnología que utiliza a la lombriz como una herramienta de trabajo permite rescatar los desechos orgánicos biodegradables, ya que son ingeridos por la lombriz y transformados en humus, los cuales son descartados en millones de toneladas en el mundo transformándolos en productos de gran beneficio para el hombre y su medio (Sánchez 2003).

Esta actividad por su parte repercutirá positivamente en el medio ambiente ya que ayudará a reducir la cantidad de residuos depositados en el botadero que contaminan las aguas subterráneas y generan gases de efecto invernadero. Asimismo, se podrá lograr beneficios económicos a través de un sistema auto sustentable para la producción de abonos para uso interno.

Por esto la producción auto sustentable del humus de lombriz presenta una alternativa para la reducción de Residuos Orgánicos, ingresos económicos como también beneficios para el uso del mismo municipio

como: inducir a la población generadora de basura a separar los residuos sólidos orgánicos de aquellos inorgánicos para el posterior aprovechamiento de los mismos; contribuir a lograr una mejor disposición final de los residuos sólidos generados en el municipio en el botadero municipal, contribuir en forma indirecta a extender la vida útil del botadero al reducir la carga de residuos que llegan hasta él, y se ha determinado que el 63% de los mismos están conformados por residuos sólidos orgánicos, reducir los costos municipales incurridos al proveerse de abono orgánico de origen externo a la localidad para el manejo y cuidado del vivero municipal y la unidad parques y jardines.

El punto más importante en este trabajo es de poder producir a menor o igual tiempo del compost realizando lombricompostado con activadores orgánicos que ayudaran en la preparación del sustrato para las lombrices (Schuld 2006), beneficiando al Municipio a la producción de flores y hortalizas, por ende la producción de tubérculos y cría de camélidos en la parte montañosa.

Materiales y métodos

Fase I Diagnóstico de la situación actual de los residuos sólidos orgánicos.

Para determinar la situación actual de los residuos sólidos orgánicos (RSO) en el Municipio de Tiquipaya se realizó entrevistas estructuradas a funcionarios del sistema de recolección para obtener información referente a la cantidad de residuos sólidos orgánicos que se generan.

La cuantificación de RSO en el cementerio municipal de Tiquipaya, se realizó el método volumétrico, que consiste en cubicar un carro basurero una vez a la semana, la determinación del porcentaje de RO se

utilizó el método del cuarteo, que consiste en vaciar los RS del basurero, extenderlos en el suelo formando una circunferencia, luego se divide en cuatro partes iguales, se descartan dos lados opuestos, lo restante se homogeniza, se repite el proceso hasta obtener una muestra, que posteriormente se pesa (Norma Boliviana-743 1996).

La cuantificación de estiércol generado en el matadero, se determinó la cantidad promedio mensual de ganado sacrificado y el promedio de estiércol por animal sacrificado. Para estimar la cantidad de RSO procedentes del mantenimiento de parques y jardines, se realizó una observación directa en el botadero municipal, cada día, durante una semana.

Fase II Elaboración de sustrato (compost).

La preparación del sustrato se hizo mediante descomposición aeróbica. Se aplicó un biodegradador de residuos orgánicos Biograd, (Tabla 1) que permite acelerar la descomposición de la materia orgánica.

Tabla 1 Composición del activador orgánico Biograd

Azúcares naturales	50 GB
<i>Saccharomyces cereviceae</i>	2×10^8
Hongos totales	$2,5 \times 10^7$
Actinomicetos	3×10^8
Ortuño <i>et al.</i> 2011	

Tabla 2 Tratamientos con sustrato para las lombrices

Sustrato Tratamiento 1 Sin activador (T1A)	Sustrato Tratamiento 2 con Activador (T2B)
Estiércol	Estiércol
Rastrojos de parques y jardines	Rastrojos de parques y jardines

Este activador fue añadido a un grupo de pilas, cada uno tuvo 3 repeticiones y fueron de 3.6 m^3 .

Los residuos orgánicos que se evaluaron (Tabla 2) fueron los disponibles en el botadero Municipal de Tiquipaya.

Preparación del sustrato. Se realizó lo siguiente: Se niveló el terreno, luego se realizó el trazado de la cama compostera de 1.5 m de ancho por 2 m de largo y 1.2 m de alto, una capa de residuos vegetales picados 10 cm, una capa de estiércol de 5 cm.

Se humedeció con agua, las pilas que no llevaron activador y las que llevaron activador fueron humedecidas con el activador orgánico (Biograd). Este proceso se realizó alternadamente hasta completar su altura. Finalmente las pilas fueron tapadas con plástico negro para conservar su humedad, y protegerlas de las precipitaciones y evitar el lavado de nutrientes.

Las variables evaluadas fueron: (i) temperatura, (ii) pH, (iii) microfauna y (iv) porcentaje de descomposición. Para el análisis de microfauna se trabajó en muestras simples de cada tratamiento y repeticiones, se hizo un muestreo del sustrato húmedo, se pesó 100 g de muestra, que fueron colocadas en la parte superior de unas campanas metálicas, fueron iluminadas con focos incandescentes por el periodo de 48 horas, debajo de las campanas se colocaron vasos de plástico con una solución de alcohol al 75%, que actúa como trampa de captura de los microorganismos.

Para el porcentaje de descomposición se utilizó un tamiz de 0.5 cm y se separó el volumen fino y el grueso, que permite determinar porcentaje de materia fina y gruesa realizado al final de esta fase.

Los datos fueron analizados con un diseño experimental completamente al azar con tres repeticiones, luego se hizo comparación de medias con la prueba de Tukey ($p=0.05$).

FASE III Procesado de lombricompostado.

Cajones de madera. El lecho se construyó con madera sobre el suelo, con dimensiones de 1 m de largo, 1 m de ancho y 30 cm de alto.

Tratamientos en las camas. La disposición espacial de las camas fue de la siguiente:

Tabla 3 Tratamientos utilizados para el manejo de sustrato de lombrices

Preparado en la Fase II	ETAPA III Proceso de lombricompostado
Sustrato 1 Sin activador	T1 Sustrato sin activador T2 Sustrato con activador
Sustrato 2 Con activador	T3 Sustrato sin activador T4 Sustrato con activador

Cada tratamiento se realizó con dos repeticiones. El activador fue proporcionado por la Fundación PROINPA. Los datos fueron analizados con un diseño experimental completamente al azar con tres repeticiones, luego se hizo comparación de medias con la prueba de Tukey ($p=0.05$).

Manejo de las camas. Se colocó una capa de 15 cm de sustrato obtenido en la Fase II, en el fondo de la superficie del terreno seleccionado, se sembró 1 kg de lombrices por m^2 . Posteriormente las cajas fueron tapadas con plástico negro para proteger a las lombrices de las altas precipitaciones.

Para este manejo fue importante:

Alimentación. Se analizó a través de la P50L (prueba de las 50 lombrices) (Ferruzzi 1987), método para comprobar si el alimento es apto, luego colocar sobre el alimento 50 lombrices y exponerlas a la luz del sol. Si las lombrices se entierran rápidamente y no salen del recipiente en unos minutos, el alimento es apto para su consumo. Pero si al contrario, no se entierran, huyen rápidamente del recipiente, o mueren antes de 48 horas en el medio de prueba, eso representa que aún no está listo para ser consumido.

Fue fundamental evitar encharcamientos y siempre mantener aireación.

Cosecha. La cosecha se realizó a los 49 días de la primer siembra utilizando trampas de malla, que es muy fácil de aplicar, primero se les quito el alimento por dos días a las lombrices, luego se colocó la malla en la superficie de la cama y se depositó el alimento fresco dentro de ésta, al cabo de 2 o 3 días las lombrices subieron a comer es entonces cuando fue retirada la malla y con ellas las lombrices (Orsa 2006).

Las variables que se evaluaron fueron: microfauna y porcentaje de descomposición. Los datos se analizaron con un diseño estadístico de parcelas divididas y se hicieron comparaciones de medias con Tukey ($p=0.05$), asistidos con el sistema SAS-2004.

Fase IV Prueba de fitotoxicidad en plantas. Este trabajo se realizó en invernaderos, las muestras por cada unidad experimental se depositó un kilogramo de muestra en macetas de dos kg, se hicieron diluciones de: 0, 25, 50 y 100% del lombricompostado, cada uno con 3 repeticiones. Luego se aleatorizó, se sembró en cada maceta 20 semillas de cebada de la variedad IBTA-80, todas las macetas fueron humedecidas y dejadas a temperatura ambiente.

En esta fase se evaluó el porcentaje de emergencia y altura de plantas registradas a los 7, 14 y 21 días después de la siembra. Para todo eso se tomó en cuenta los cambios en la coloración de las hojas en base a la siguiente relación:

Tabla 4 Escala para evaluar la fitotoxicidad en cebada por efecto de lombricompostado

Escala	Coloración	Indicador
A	Verde intenso (típico)	Buena nutrición con N
B	Verde pálido	
C	Amarillento	Déficit de N en la planta

También se tomó el volumen de raíz con ayuda de una probeta graduada conteniendo agua, se midió el desplazamiento por las raíces, esta se realizó a los 21 días de la siembra.

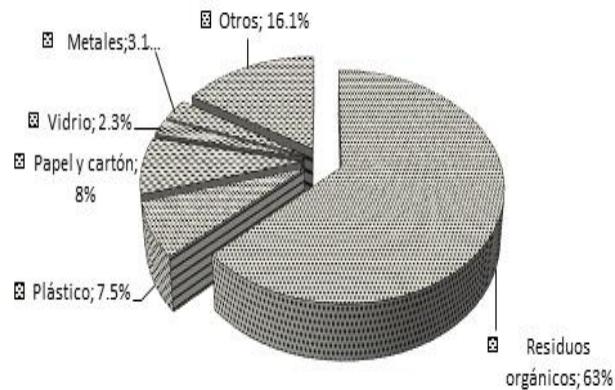
Resultados

Fase I Diagnóstico de la situación actual de los residuos sólidos (RS) orgánicos.

Según la entrevista efectuada a los funcionarios del sistema de recolección de residuos sólidos orgánicos del municipio de Tiquipaya se pudo obtener la siguiente información:

La tasa de generación per cápita corresponde a 0.53 kg hab dia⁻¹, significa que diariamente se produce aproximadamente 22 t dia⁻¹.

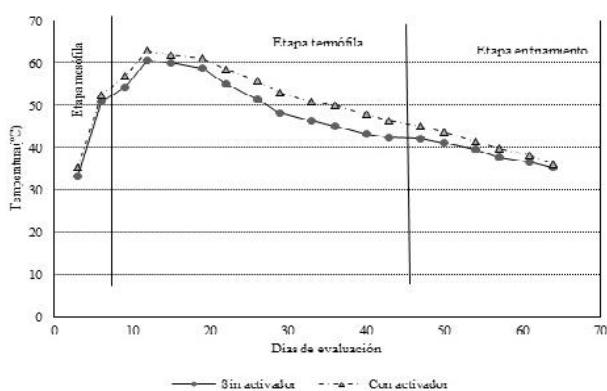
Figura 1 Composición de los residuos sólidos en el Municipio de Tiquipaya



Fase II Manejo de sustrato (compost)

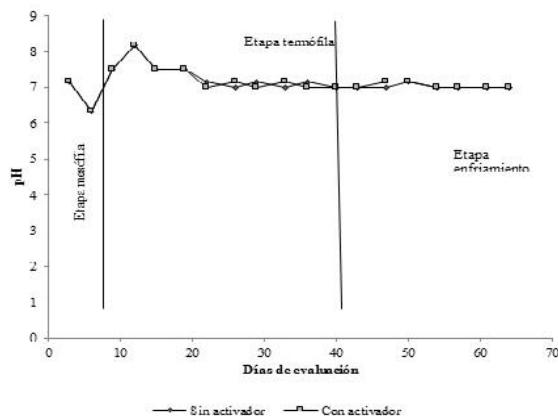
Temperatura. Según el análisis (Figura 2) la temperatura presentó significancia estadística para los días de evaluación y tratamientos a ($p=0.01$), es decir que difieren entre días de evaluación y entre los tratamientos.

Figura 2 Temperatura del compost por efecto de los tratamientos y días de evaluación



pH. Presenta diferencias significativas ($p= 0.05$) entre los días de evaluación. En relación a la interacción tratamiento por días no fue significativa ($p= 0.05$) deduciéndose que el pH es independiente de los tratamientos en el compost.

Figura 3 pH del compost en el transcurso de los días evaluados después del establecimiento



Microfauna en el compost. La figura 4 muestra la cantidad promedio de Collembola encontrada para cada tratamiento, siendo la menor para el T1 A que es el compost sin activador y siendo mayor para el T2 B compost con activador orgánico.

Figura 4 Análisis de microfauna Collembolas Fase II

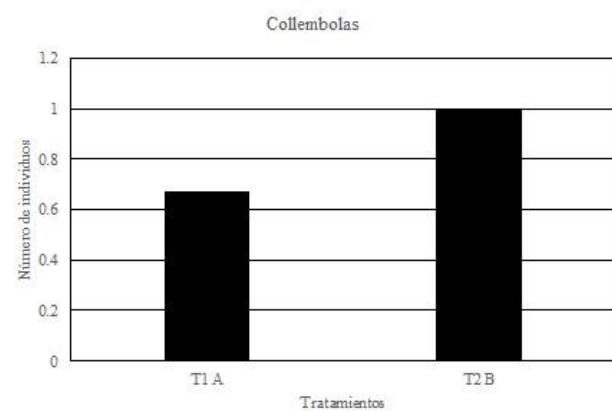
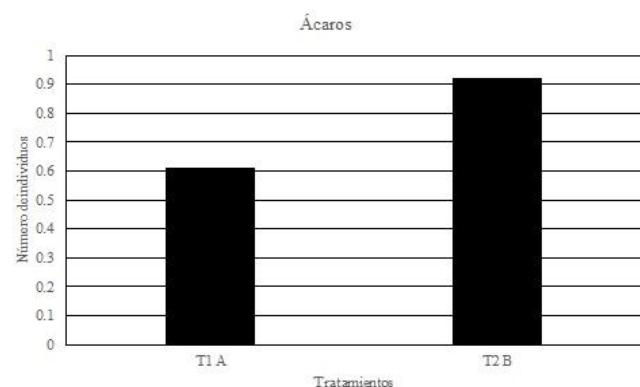


Figura 5 Análisis de microfauna Ácaros Fase II



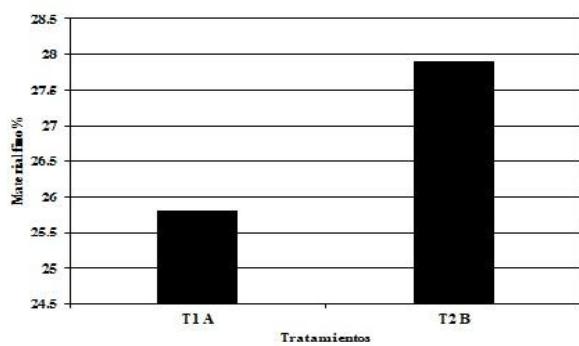
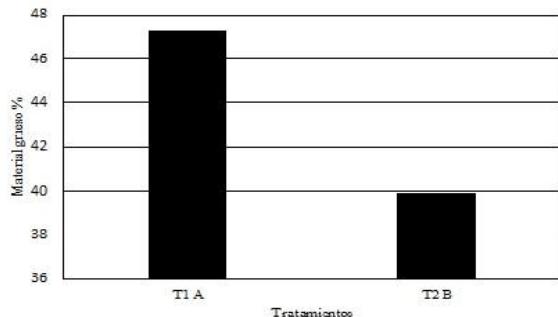
La figura 5 muestra la cantidad promedio de ácaros encontrados para cada tratamiento, siendo el menor para el tratamiento T1 A compost sin activador orgánico y siendo el mayor para el T2 B compost con activador orgánico.

Porcentaje de descomposición del compost. Después de la fase de compostaje, se tamizó cada una de las pilas de compost, para así obtener el volumen de materia fina y gruesa procesadas (Tabla 5), con sus respectivos porcentajes.

Tabla 5 Volumen inicial y final de las pilas de compost por cada tratamiento

Tratamientos	Volumen inicial	Volumen Final					
		Material fino			Material grueso		Pérdida
		---m ³ --	---m ³ --	--%--	---m ³ --	--%--	---m ³ --
T1	3.078	0.78	25.34		1.46	47.43	0.838
T2	3.051	0.86	28.19		1.22	39.99	0.971

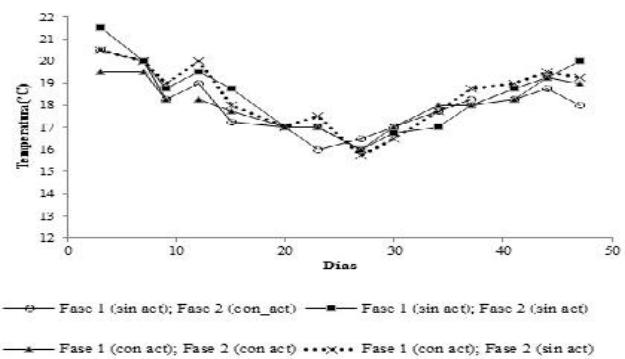
En la tabla 5 es importante resaltar que el tratamiento T2 (con activador orgánico), logró reducir el 60.02% de volumen inicial, restando un 39.99% para posterior reutilización, en el proceso de lombricompostado.

Figura 6 Porcentaje del volumen descompuesto de la materia fina**Figura 7 Porcentaje del volumen descompuesto de la materia gruesa**

En la figura 7, se observa que el porcentaje de materia gruesa corresponde al material que no terminó de descomponerse, obteniendo mayor cantidad de materia gruesa en el T1 ya que fue del que se obtuvo menos materia fina.

Fase III Procesado de lombricompostado

Durante este proceso las variables que se evaluaron fueron la temperatura, pH y microfauna.

Figura 8 Temperatura del lombricompostado en el transcurso de los días, evaluados después del establecimiento, tratamientos de la Fase 2

Temperatura. La temperatura del lombricompostado (Figura 8) son significativos en el factor días y tratamientos en la Fase II ($p= 0.05$). Esta última interacción implica que los tratamientos aplicados en la fase anterior tienen efectos independientes.

La temperatura varió significativamente ($p=0.01$), a través de los días. Asimismo, hubo diferencia significativa ($p=0.01$) entre tratamientos, durante el proceso de lombricompostado.

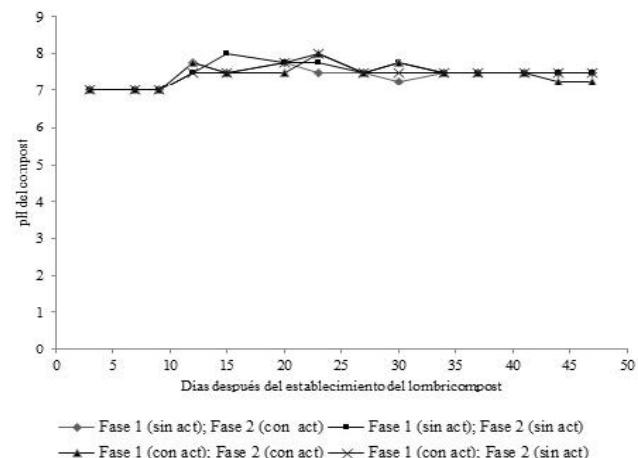
Las diferencias mínimas entre los tratamientos registrados en cada día evaluado muestran la presencia de la interacción. Asimismo, la temperatura hasta el día 25 disminuye, luego aumenta gradualmente hasta los 47 días.

Este comportamiento se debe a los cambios de temperatura en el medio en que se encontraban las camas de lombrices que estaban expuestas y no se encontraban bajo techo, solo tapadas con plástico negro para su protección a las precipitaciones, como ya se mencionó anteriormente.

pH. Según figura 9, en su efecto simple los tratamientos aplicados en la primera fase carecen de diferencia significativa ($p= 0.05$), entre tanto tratamientos aplicados en la segunda fase son diferentes ($p= 0.05$). Pero la interacción de días y tratamientos son significativos ($p= 0.05$). Esto quiere decir que los días influyen en el efecto de los dos tratamientos sobre el pH.

El pH varió significativamente ($p= 0.05$), a través de los días. Asimismo, hubo diferencia significativa ($p= 0.05$) entre tratamientos, durante el proceso de lombricompostado.

Figura 9 pH del lombricompostado en el transcurso de los días, evaluados después del establecimiento, por tratamientos de la Fase II



Evaluación de la Cosecha de lombricompostado.

Durante este proceso las variables que se evaluaron fueron microfauna y porcentaje de descomposición.

Porcentaje de descomposición. Finalizada esta fase de lombricompostado, se procedió a tamizar de cada tratamiento y sus respectivas repeticiones para así obtener el volumen de materia fina y materia gruesa, con sus respectivos porcentajes.

La Tabla 6 muestra el volumen inicial de cada pila de compost y el volumen final de la pila de compost, además de sus respectivos porcentajes.

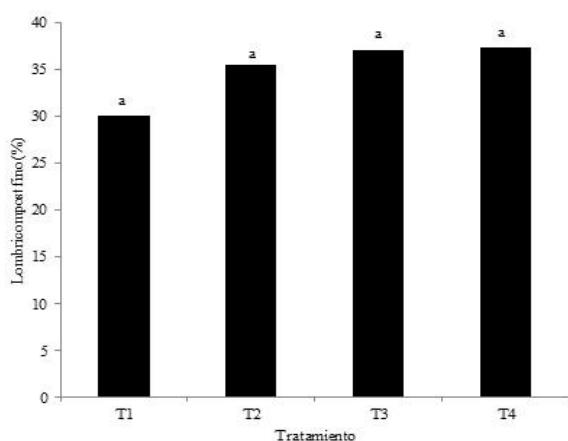
Tabla 6 Volumen inicial y final de lombricompostado

Tratamientos	Volumen inicial ---m ³ --	Volumen Final					
		Material fino		Material grueso		Pérdida	
		---m ³ --	--%--	---m ³ --	--%--	---m ³ --	--%--
T1	0.15	0.0451	30.07	0.0624	41.60	0.0425	28.33
T2	0.15	0.0531	35.40	0.0394	26.27	0.0575	38.33
T3	0.15	0.0556	37.07	0.0269	17.93	0.0675	45.00
T4	0.15	0.0560	37.34	0.0140	9.33	0.08	53.33

*T1 (Fase II: sin activador- Fase III sin activador); T2 (Fase II: sin activador-Fase III con activador); T3 (Fase II: con activador-Fase III sin activador); T4 (Fase II: con activador; Fase III con activador).

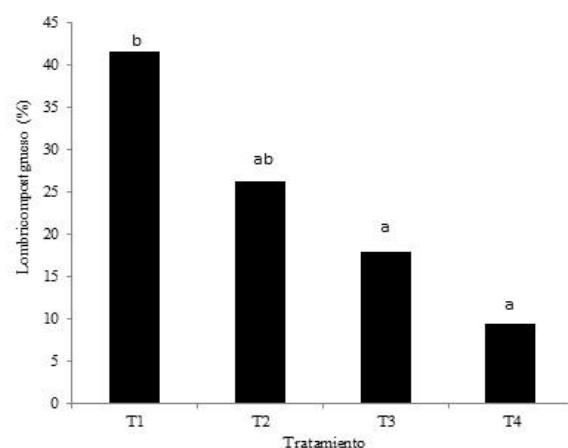
En la tabla 6 es importante resaltar que el tratamiento T4 (con activador orgánico), logró reducir un 90.67% de volumen inicial, restando un 9.33% para posterior reutilización.

Figura 10 Degradación del lombricompostado de la materia fina por efecto de los cuatro tratamientos



T1 (Fase II: sin activador- Fase III sin activador); T2 (Fase II: sin activador-Fase III con activador); T3 (Fase II: con activador-Fase III sin activador); T4 (Fase II: con activador; Fase III con activador).

Figura 11 Degradación del lombricompostado de la materia gruesa por efecto de los cuatro tratamientos



T1 (Fase II: sin activador- Fase III sin activador); T2 (Fase II: sin activador-Fase III con activador); T3 (Fase II: con activador-Fase III sin activador); T4 (Fase II: con activador; Fase III con activador).

Como se puede observar en la figura 11 el T1 y T2 fueron los tratamientos que obtuvieron el mayor porcentaje de materia gruesa ya que estos fueron los que no obtuvieron el activador orgánico desde la Fase 2.

Los tratamientos T3 y T4 fueron los que obtuvieron un menor porcentaje de materia gruesa el T3 obtuvo activador orgánico solo en la primera fase a diferencia del T4 que recibió activador en las

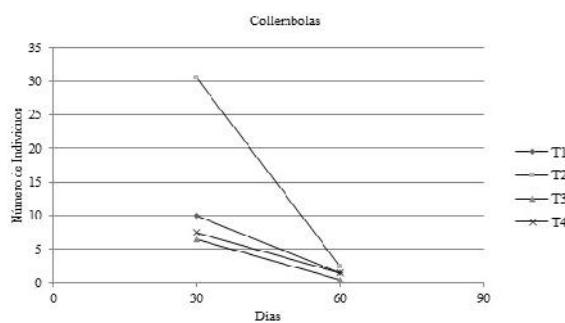
dos fases por lo cual es claro el efecto que produce el activador en los diferentes tratamientos.

Los tratamientos T1, T3 y T4 son significativamente diferentes, siendo el T2 un intermedio entre estos.

Microfauna

Análisis de microfauna

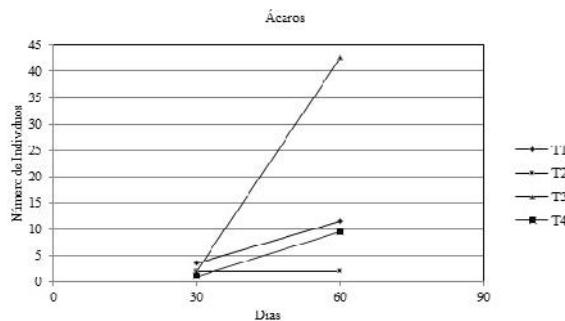
Figura 12 Análisis de microfauna Collembolas Fase II y Fase III



T1 (Fase 1: sin activador- Fase 2 sin activador); T2 (Fase 1: sin activador-Fase 2 con activador); T3 (Fase 1: con activador-Fase 2 sin activador); T4 (Fase 1: con activador; Fase 2 con activador).

Como se puede observar en la figura la cantidad de Collembolas en el lombricompostado a los 30 días fue mayor que a los 60 días, lo cual nos indica que la actividad biológica fue mayor a los 30 días.

Figura 13 Análisis de microfauna Ácaros Fase II y Fase III



T1 (Fase 1: sin activador- Fase II sin activador); T2 (Fase I: sin activador-Fase II con activador); T3 (Fase I: con activador-Fase II sin activador); T4 (Fase I: con activador; Fase II con activador).

En la figura 13 la cantidad de ácaros en el lombricompost a los 30 días fue menor que a los 60 días lo cual nos indica que la actividad biológica a los 60 días fue mayor.

Fase IV. Prueba de fitotoxicidad

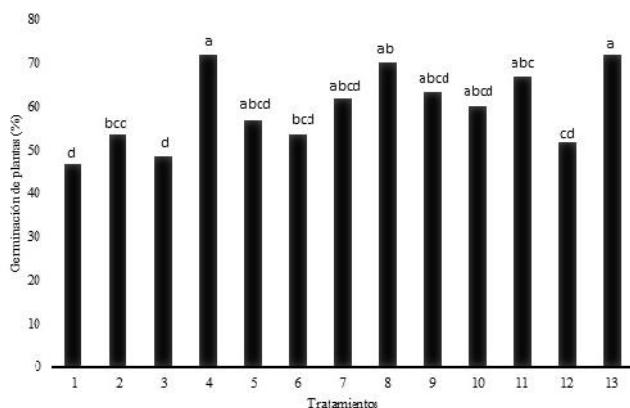
Porcentaje de germinación. Porcentaje de germinación por plantas registradas fue en proporción al número de plantas emergidas sobre el número de semillas sembradas.

El porcentaje de las plantas registradas presentan diferencias significativa a ($p= 0.05$) entre tratamientos y carece de significación entre semanas de evaluación. También la interacción semana por tratamiento fue no significativo a ($p= 0.05$) deduciéndose que los tratamientos tienen efectos que se expresan en forma diferenciada en las semanas evaluadas sobre el porcentaje de plantas evaluadas.

En los tratamientos 4 con 100% de lombricompostado y 3 con un 100% de lombricompostado presentan valores superiores de porcentaje germinación registrada entre el 60 a 70 % aproximadamente, en los valores de germinación de estos tratamientos el contenido del sustrato (100% de lombricompostado) coadyuvo.

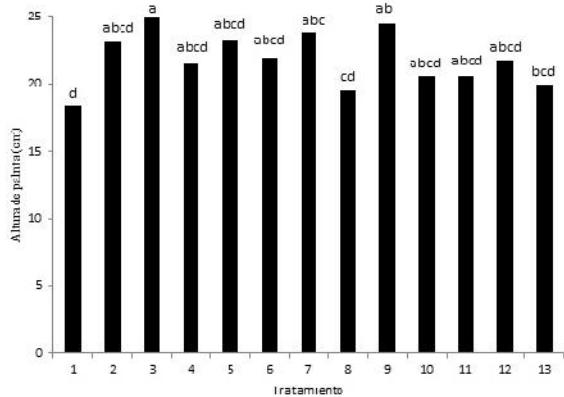
Los tratamientos 1 (testigo), 2 con 25% de lombricompostado, 3 con 50% de lombricompostado, 6 con 50% de lombricompostado y el 12 con 50% lombricompostado, presentan valores inferiores de porcentaje de germinación registrada en el 50% aproximadamente. El resto de los tratamientos presentan valores entre 50 al 60 %.

Figura 14 Porcentaje de germinación de plantas por efecto de tratamientos a la segunda semana



Altura de la planta. La altura de planta también fue significativo el efecto de las semanas y tratamiento ($p=0.01$). Pero la interacción el análisis reporta efectos independientes de los tratamientos respecto a las semanas evaluadas ($p= 0.05$). Por otra parte el número de plantas por unidad experimental fue significativo a ($p=0.01$) deduciéndose la existencia de variación de esta variable afectando a la altura de planta, es decir unidades experimentales con menor cantidad de plantas tienen mayor altura, entre tanto unidades experimentales con mayor cantidad de plantas tienen menor altura.

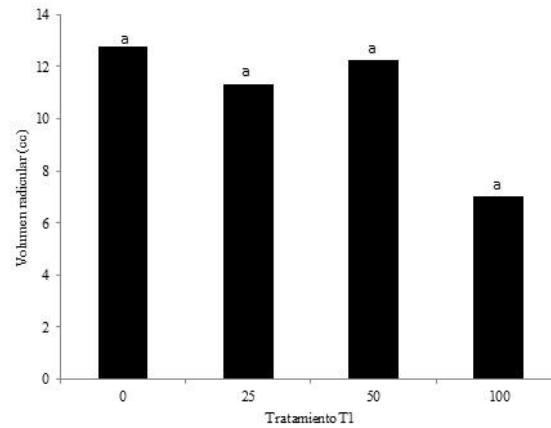
Figura 15 Altura de planta por efecto de tratamientos en la tercera semana



Observándose extremos diferentes el tratamiento 3 es superior a los tratamientos 1 y 8 los que presentan valores menores, resultando los demás tratamientos con valores intermedios entre ambos. El tratamiento 3 no contenía activador lo que benefició a este tratamiento se debió a la concentración de 50% de lombricompostado. El tratamiento 1 no contenía activador orgánico ya que este era el testigo, a esto se debe la poca altura de la planta para este tratamiento. El tratamiento 8 contenía activador solo en la primera fase, contaba con una concentración de 25% de lombricompostado, lo cual no favoreció mucho a la altura de la planta.

Volumen de raíz. El volumen radicular, no es afectado por los tratamientos a ($p=0.07$) y obsérvese la covariable número de plantas por unidad experimental tiene variación significativa a ($p= 0.01$). Eso significa que hay efecto sobre el número de plantas, ese hecho se puede atribuir más a la viabilidad de la semilla que a los tratamientos.

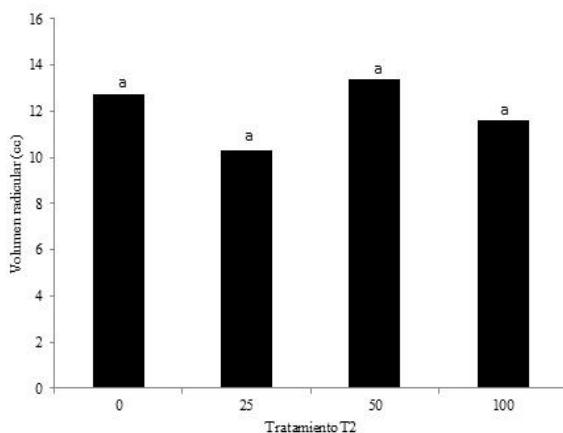
Figura 16 Volumen radicular por efecto de tratamiento 1. Tratamientos con la misma letra no son significativamente diferentes a P: 0.05.



Como se puede observar según el análisis estadístico no hay efecto del sustrato ni diferencias entre estos tratamientos. En la figura se observa que el desarrollo de la planta fue similar y las plantas en

todos los tratamientos tuvieron un normal desarrollo de las raíces ya que no es afectada por los tratamientos.

Figura 17 Volumen radicular por efecto de tratamiento 2. Tratamientos con la misma letra no son significativamente diferentes a $P > 0.05$

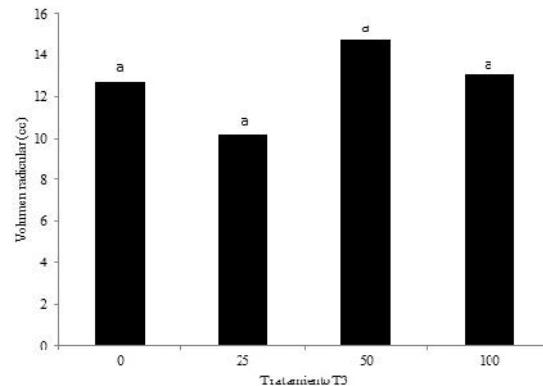


Según el resultado del análisis estadístico como se puede observar no hay efecto del sustrato ni diferencias entre estos tratamientos.

Esta figura nos muestra que no hay fitotoxicidad para el normal desarrollo de las raíces ya que no es afectada por los tratamientos, debido a que todos no son significativamente diferentes.

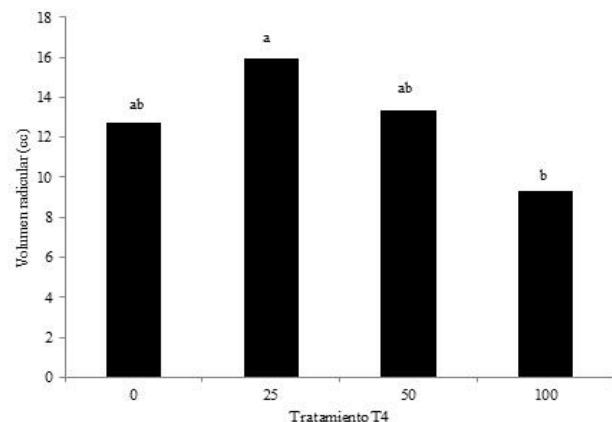
Figura 18. En la tabla, la semana uno presenta en la mayoría de los tratamientos plantas categorizadas con el color C (amarillento), con déficit de N en las plantas, en la semana dos el color B (verde pálido), nivel intermedio entre ambos y en la semana 3 el color A (verde intenso), lo cual refleja buena nutrición con N. Este comportamiento se observó en los tratamientos 4, 5, 9, 10, 11, 12 y 13, respectivamente.

Figura 18 Tratamientos con la misma letra no son significativamente diferentes a $P > 0.05$



De igual manera para este tratamiento según el análisis estadístico no hay efecto del sustrato ni diferencias entre estos tratamientos. Esto indica que no hay fitotoxicidad para el normal desarrollo de las raíces ya que no es afectada por los tratamientos, debido a que todos no son significativamente diferentes.

Figura 19 Volumen radicular por efecto de tratamiento 4. Tratamientos con la misma letra no son significativamente diferentes a $P > 0.05$



Como se puede observar en el resultado del análisis estadístico los únicos que difieren son los tratamientos con 25% de lombricompost el cual con-

tiene desde el inicio de la etapa activador orgánico siendo el superior y 100% de lombricompostado con activador orgánico desde el inicio siendo el inferior en el que puede haber efectos negativos con esta dosis resultando fitotóxico para el crecimiento de la raíz como se puede observar en la figura 19.

En la tabla 8, la semana uno presenta en la mayoría de los tratamientos plantas categorizadas con el color C (amarillento), con déficit de N en las plantas, en la semana dos el color B (verde pálido), nivel intermedio entre ambos y en la semana 3 el color A (verde intenso), lo cual refleja buena nutrición con N. Este comportamiento se observó en los tratamientos 4, 5, 9, 10, 11, 12 y 13, respectivamente.

Discusión

Fase I. La figura 1 muestra que el 63% de los RS generados en el Municipio de Tiquipaya corresponde a la fracción orgánica biodegradable (RO) y 37% a los residuos inorgánicos.

Como se puede observar la cantidad de RO son considerables, que optar un método para poder reducir este porcentaje y así evitar que este llegue

al botadero es una alternativa para el Municipio, y de esta manera se puede lograr alargar la vida útil del botadero, logrando convertirlos en un recurso útil mediante el compostaje y la lombricultura.

Gracias a la cuantificación realizada de la cantidad de RSO en el cementerio municipal, mediante el método volumétrico, se obtuvieron los siguientes resultados:

El carro basurero lleva 3.6 m^3 (1.50 m de ancho x 1.2 m alto y 2 m largo) de residuos procedentes del cementerio una vez por semana, con una densidad aproximada de 0.52 t/m^3 (Dato proporcionado por el proyecto GIRS.), lo cual genera en promedio de 1.87 t^{-1} . El 88% corresponde a la fracción orgánica, valor determinado según el método de cuarteo (Norma Boliviana-743 1996).

Según los resultados de la entrevista al responsable del matadero municipal se obtuvieron los siguientes datos: La cantidad de ganado sacrificado anualmente es de 3980 cabezas (HAMT 2005), semanalmente es de aproximadamente 83 cabezas, las cuales generan una cantidad aproximada de 20 kg de estiércol cada una, lo cual nos da una cantidad de 1660 kg por semana los cuales son transportados a la compostera municipal semanalmente.

Tabla 8 Proporción de colores de planta según tratamiento y por semana

Tratamiento	Semana								
	1			2			3		
	Color								
	A	B	C	A	B	C	A	B	C
1	0.0	33.3	66.7	0.0	66.7	33.3	0.0	33.3	66.7
2	0.0	66.7	33.3	66.7	33.3	0.0	100.0	0.0	0.0
3	0.0	33.3	66.7	33.3	66.7	0.0	66.7	33.3	0.0
4	0.0	0.0	100.0	33.3	66.7	0.0	66.7	33.3	0.0
5	0.0	0.0	100.0	0.0	100.0	0.0	66.7	33.3	0.0
6	0.0	33.3	66.7	66.7	33.3	0.0	100.0	0.0	0.0
7	0.0	66.7	33.3	33.3	66.7	0.0	66.7	33.3	0.0
8	0.0	33.3	66.7	0.0	100.0	0.0	33.3	66.7	0.0
9	0.0	0.0	100.0	0.0	100.0	0.0	100.0	0.0	0.0
10	0.0	33.3	66.7	0.0	100.0	0.0	100.0	0.0	0.0
11	0.0	33.3	66.7	0.0	100.0	0.0	100.0	0.0	0.0
12	0.0	0.0	100.0	0.0	100.0	0.0	66.7	33.3	0.0
13	0.0	0.0	100.0	0.0	100.0	0.0	33.3	66.7	0.0

La estimación de los RSO procedentes del mantenimiento de parques y jardines, fue realizada mediante observación directa en el sitio de almacenamiento de RO de la compostera municipal, ya que el transporte de estos residuos se realiza de forma irregular y con diferentes tipos de vehículos públicos y privados.

De la estimación de los RSO procedentes del mantenimiento de parques y jardines, se obtuvo en promedio $1\text{ m}^3\text{dia}^{-1}$.

Si bien no existe una separación en origen, los residuos utilizados en el proceso fueron recogidos del matadero, cementerio, parques y jardines las cuales son zonas en que la composición de residuos es mayoritariamente orgánica requiriendo una selección mínima.

Fase II. La temperatura que se observó en el compost según los días de evaluación presenta tres etapas la primera mesófila 3 días, termófila 40 días, y 21 días enfriamiento para los dos trata-

mientos. Nótese que el comportamiento de las temperaturas en las tres etapas, los tratamientos presentan similares valores para cada día de evaluación ($p=0.05$).

La temperatura inicial fue similar entre los dos tratamientos oscilando alrededor de los $33\text{ }^{\circ}\text{C}$ perteneciendo a la etapa mesófila (Finstein 1986, Cooperband 2002, Barrena 2006).

A los 3 días se observó un incremento de las temperaturas, y a 12 días los 2 tratamientos alcanzaron su máxima temperatura $62\text{ }^{\circ}\text{C}$ pila sin activador y $63.5\text{ }^{\circ}\text{C}$ pila con activador. Correspondientes a la etapa termófila (Finstein 1986, Cooperband 2002, Barrena 2006).

Se observan diferencias significativas ($p = 0.01$) entre tratamientos, donde el activador mostró la mayor temperatura por el lapso de una semana. Este hecho hace que exista una mayor desinfección del sustrato ya que la fase termófila tiene la característica de realizar ese fin (Labrador 2001),

permitiendo descomponer un sustrato de mejor calidad.

Después de registrarse las máximas temperaturas en los dos tratamientos, estos fueron disminuyendo hasta llegar a la etapa de enfriamiento la cual comenzó a los 40 días aproximadamente y tuvo una duración de 21 días.

Se observó la similitud de pH entre los tratamientos en cada día de evaluación. El pH presenta valores que disminuyen en la etapa mesófila, esto debido a la formación de ácidos libres, pero a lo largo del proceso aumenta por el amoníaco desprendido en la descomposición de las proteínas (CalRecovery 2005). El pH subió hasta el día 12 en la etapa termófila, para disminuir y mantenerse próximos al valor neutral (7) incluyendo la etapa de enfriamiento en los dos tratamientos, que favorece el desempeño (6.5 y 8) para el proceso de descomposición (Rynk 1992 Cooperband 2002).

En las figuras 4 y 5 de los dos tipos de microorganismos observados no existió diferencia significativa en la actividad biológica, porque su cantidad por muestra experimental fue mínima y similar para ambos tratamientos. Su aparición nos indica que están empezando su actividad biológica, pues aparecen en la etapa de enfriamiento, pues se benefician de los residuos en la etapa termófila, así los productos metabólicos finales de un grupo constituyen los nutrientes necesarios para otro (Rynk 1992, USDA 2000, CalRecovery 2005, Otten 2007).

El T2 descompuso más que el tratamiento T1, esto se debió a que el T2 contenía activador orgánico el cual ayuda a descomponer y activar el proceso de compostaje (Jiménez 1998). Lo que representa que solo el 39% tendrían que procesar las lombrices en la Fase III. Eso permite disponer anticipadamente 60% de humus.

Fase III. Las diferencias mínimas entre los tratamientos registrados en cada día evaluado muestran la presencia de la interacción. Asimismo, la temperatura hasta el día 25 disminuye, luego aumenta gradualmente hasta los 47 días. Este comportamiento se debe a los cambios de temperatura en el medio en que se encontraban las camas de lombrices que estaban expuestas y no se encontraban bajo techo, solo tapadas con plástico negro para su protección a las precipitaciones, como ya se mencionó anteriormente.

En el transcurso del proceso la temperatura se mantuvo entre 15.5 °C y 22 °C lo cual no fue perjudicial porque se encuentra dentro del rango que pueden soportar las lombrices que es de 14 °C a 27 °C (Sánchez 2003).

Los tratamientos aplicados desde la primera y segunda fase el pH fluctúan entre 7 a 8, y con una variación registrada en el día 15, 23 y 30 días, lo cual no es significativo ya que no afecta en la producción de las lombrices debido a que se encuentra dentro de los parámetros aceptables para la lombriz, que al ingerir el alimento mediante sus glándulas puede lograr neutralizar el pH siempre y cuando este no esté ni muy ácido o básico (Sánchez 2003), el comportamiento del pH durante los días evaluados es similar entre los tratamientos.

En la tabla 6 es importante resaltar que el tratamiento T4 (con activador orgánico), logró reducir un 90.67% de volumen inicial, restando un 9.33% para posterior reutilización.

El mayor porcentaje de descomposición se obtuvo con los tratamientos T4 y T3 (figura 10), la aplicación del activador orgánico desde la Fase I, esto indica que el activador tiene influencia en la tasa de descomposición para obtener material fino y procesado (Franco *et al.* 2005, Paz 2008).

La mayor diversidad microbiana en un proceso de descomposición está relacionado al proceso de descomposición de la materia orgánica, entonces la mayor diversidad de microfauna muestra una gran actividad de descomposición (Rynk 1992, USDA 2000 CalRecovery 2005, Otten 2007). Entonces cuanto mayor sea diversidad de la microfauna observada se verá manifestado con alto grado de descomposición activa.

El T3 a diferencia del T4 no recibió activador orgánico durante la Fase III, se observó que no influye si no se usa el activador orgánico durante el lombricompostado, si ya fue colocado durante el compostado (Fase I). Entonces si aplicamos solo en la primera fase y los resultados persisten positivamente y los costos disminuirán.

Los tratamientos T2 y T1 fueron los que obtuvieron un menor porcentaje de descomposición el T2 obtuvo activador orgánico durante la segunda fase a diferencia al T1 que no recibió activador en ninguna de sus fases, por lo cual es claro el efecto que produce el activador en los diferentes tratamientos, pero no es de gran magnitud ya que no existe mucha variación en cuanto a la descomposición de los diferentes tratamientos.

En la figura 13 la cantidad de ácaros en el lombricompost a los 30 días fue menor que a los 60 días lo cual nos indica que la actividad biológica a los 60 días fue mayor. Esta diversidad microbiana permite que el proceso de descomposición continúe pese a los constantes cambios ambientales. Uno de los aspectos más interesantes relacionado al proceso de descomposición de la materia orgánica es que requiere la interacción de distintos grupos de microorganismos (Rynk 1992, USDA 2000, CalRecovery 2005, Otten 2007).

Fase IV. Los bioensayos mostraron claramente que a mayor tiempo la nutrición por N aumenta

para las plantas, lo que demuestra una coloración de las plantas, porque el N más que cualquier otro elemento, se manifiesta en el color verde oscuro e intenso debido a que producen grandes cantidades de clorofila, un pigmento verde oscuro (Plaster 2000). En general no se observaron síntomas de fitotoxicidad en las plantas, lo cual muestra que es apto para la producción agrícola.

Conflictos de intereses

Esta investigación recibió financiamiento del programa BID/FONTAGRO y no presenta conflictos de interés.

Agradecimientos

Nuestros agradecimientos por la colaboración y facilidades brindadas por la honorable alcaldía de Tiquipaya-Cochabamba y al apoyo financiero del programa BID-FONTAGRO.

Literatura citada

- Alvarado E. Campaña por la calidad de vida. Residuos sólidos entre el problema y las soluciones. Oruro, Bolivia. 2007; 40 pp.
- Barrena R. Compostaje de residuos sólidos orgánicos. Aplicación de técnicas respirométricas en el seguimiento del proceso. Tesis doctoral. Universidad Autónoma de Barcelona. Barcelona. 2006.
- CalRecovery Inc. Solid Waste Management. Chapter 8 Composting. UNEP. Japan. 2005.
- Cooperband L. The Art and Science of Composting: A resource for farmers and Compost producers. Center for Integrated agricultural systems; University of Wisconsin-Madison. 2002.

- EDAE. Gestión y Tratamiento de Residuos, Módulo I: Graduado superior en medio ambiente y calidad, EDAE (Alta Escuela de Dirección y Administración de Empresas). 2002.
- Ferruzzi C. Manual de lombricultura. Ediciones Mundi Prensa, Madrid. 1987; 138 pp.
- Finstein MS, Miller FC Strom PF. Monitoring and evaluating composting process performance. J Water Pollut Control Fed. 1986; 58:272-278.
- Franco, F; J, Herbas J y N. Ortúñoz. Producción sostenible de la papa en áreas urbanas y periurbanas de los Andes por la combinación de biocompostamiento e inoculantes microbianos. Cochabamba, Bolivia. 2002.
- HAMT. Reglamento Ambiental Industrial del matadero municipal de Tiquipaya. Unidad de Medio Ambiente/Alcaldía de Tiquipaya, Cochabamba. 2005.
- Jiménez D. Normas de calidad del compost. Tesis licenciatura. Universidad de Córdoba, Escuela Técnica Superior de Ingenieros Agrónomos y de Montes, Córdoba España. 1998.
- Labrador J. La materia orgánica en los agrosistemas. 2^a ed. Editorial Mundi Prensa. España. 2001.
- Norma Boliviana NB-743. Norma Boliviana de Residuos Sólidos. IBNORCA. La Paz-Bolivia. 1996; 139 pp.
- Orsa S. Curso de la maestría de Agroecológica y Desarrollo Sostenible. 2006 (2008 Jul 11). Disponible en <http://www.monografias.com/trabajos49/lombriculturatenicaagroecologica/lombricultura-tecnica-agroecologica2.shtml/>.
- Ortuño, N. O. Navia; E. Meneses; D. Barja; S. Villca; G. Plata; M. Claros; C. Gutierrez; W. Arandia y L. Crespo. 2011. Catálogo de Bioinsumos. Fundación PROINPA-Biotop srl. Cochabamba, Bolivia. 42 pp.
- Otten L. Recycling organic wastes: Science and technology. Short course on ISWM at Instituto Superior Politécnico José Antonio Echeverría, Habana. Cuba. 2007.
- Paz L. Evaluación de Activadores orgánicos en un proceso de compostaje Para el reciclaje de Residuos Orgánicos Urbanos. Tesis Maestría. Facultad de Ciencias Agrícolas, Pecuarias, Forestales y Veterinaria., Universidad Mayor de San Simón, Cochabamba. Bolivia. 2008.
- Plaster E. La ciencia del suelo y su manejo. Ed. Paraninfo. Madrid, España. 2000.
- Rynk R. On-Farm Composting Handbook. Northeast Regional Agricultural Engineering Service Pub. No. 54. Cooperative Extension Service, Ithaca, N.Y. 1992.
- Restrepo RJ. Elaboración de abonos orgánicos fermentados y biofertilizantes foliares: Experiencias con agricultores en Mesoamérica y Brasil. Instituto Interamericano de Cooperación para la Agricultura (IICA). San José, Costa Rica. 2001.
- Sánchez C. Abonos Orgánicos y Lombricultura. Lima: Ediciones Ripalme. 2003.
- Schuldt M. Lumbricultura. Teoría y práctica. Mundi-Prensa. Madrid. 2006; 307 pp.
- USDA (United States Department of Agriculture). Environmental Engineering National Engineering Handbook. Part 637, Chapter 2 Composting. Natural Resources Conservation Service, s.l. 2000.