

# ELABORACIÓN DE ABONOS ORGÁNICOS A PARTIR DEL COMPOSTAJE DE RESIDUOS AGRÍCOLAS EN EL MUNICIPIO DE FUSAGASUGÁ

Wilson Acosta Carrión, Milton Iván Peralta Franco \*

## Resumen

Se elaboraron 6 mezclas utilizando los residuos orgánicos más representativos del municipio, y se dispusieron en bloques completamente al azar por triplicado en microcomposteras. Se realizó seguimiento a las variables físicas: temperatura, humedad, y químicas: pH, cada 3 días, y cuantificación microbiológica de bacterias y hongos cada 15 días durante los 75 días del procesos de compostaje. Se hizo un análisis físico químico de cada muestra al día 75, así como una caracterización microbiológica para determinar los géneros más representativos de hongos y bacterias. Por último se realizó un bioensayo de germinación con los extractos de cada mezcla, utilizando semillas de una gramínea Pasto Braquiaria (*Brachiaria decumbens*) y una leguminosa Alfalfa (*Medicago sativa*) para determinar el índice de fitotoxicidad de los abonos. La información obtenida se analizó mediante el paquete estadístico InfoStat versión 2014 con alfa de 0,05. Se identificaron varios géneros de bacterias de gran importancia en la descomposición de residuos como *Streptomyces*, *Arthrobacter* y *Pseudomonas*, y géneros de hongos como *Penicillium* y *Aspergillus*. Los resultados del bioensayo indican que la mayoría de las mezclas no presentan una alta fitotoxicidad cuando son utilizadas en semillas de Alfalfa, mientras que para las semillas de Brachiaria, un bajo porcentaje de estas germinaron. La mezcla 6 presento los valores más altos en cuanto a indicadores de calidad como químicos (C/N, N, K, Na, Ca, P, B y S), físicos (Color y Olor) y mayor concentración final de microorganismos.

**Palabras clave:** Agroecología, microbiología, calidad, compostaje.

## ORGANIC FERTILIZER PRODUCTION FROM AGRICULTURAL WASTE COMPOSTING IN THE MUNICIPALITY OF FUSAGASUGÁ

### Abstract

6 mixtures were prepared using the most representative organic waste in the municipality, and were arranged in a randomized complete block in microcomposteras triplicate. Temperature, humidity, and chemical: the physical variables pH monitoring was performed every 3 days and microbiological quantification of bacteria and fungi every 15 days for 75 days of composting processes. A physical-chemical analysis of each sample on day 75 and microbiological characterization was done to determine the most representative genera of fungi and bacteria. Finally germination bioassay was performed with extracts from each mixture, using seeds of a grass (*Brachiaria decumbens*) and Alfalfa (*Medicago sativa*) legume to determine the phytotoxicity index of fertilizers. The information obtained was analyzed using the Statistical Package InfoStat 2014 alpha version 0.05. Several bacterial genera of great importance in the decomposition of waste as *Streptomyces*, *Arthrobacter* and *Pseudomonas*, and fungal genera *Aspergillus* and *Penicillium* and identified. Bioassay results indicate that most of the mixtures do not exhibit high phytotoxicity when used on alfalfa seeds, whereas *Brachiaria* seeds, such a low percentage of germinated. Overall the results indicate that the mixture 6 present the highest values in terms of quality indicators as chemical (C / N, N, K, Na, Ca, P, B and S), physical (color and smell) and more final concentration of microorganisms.

**Key words:** Agroecology, microbiology, quality, composting.

---

\* Estudiantes de Zootecnia. Facultad de Ciencias Agropecuarias, Universidad de Cundinamarca. Fusagasugá, Cundinamarca. Email: acostawilson@rocketmail.com.

## 1. Introducción

La creciente demanda de alimentos ha establecido como alternativa un manejo sustentable de los sistemas de producción, promoviendo prácticas que preserven los recursos naturales y permitan hacer un uso eficiente y adecuado de los residuos que se derivan directa o indirectamente del sector agropecuario. Dichos residuos pueden ser reutilizados si se les da un tratamiento sostenible. El compostaje es un método biológico que permite la transformación de residuos orgánicos en un producto relativamente estable. El estiércol y los demás residuos deben ser mezclados en proporciones tales que la relación carbono/nitrógeno (C/N), la humedad y la aireación sean adecuadas para que estimulen una actividad microbiana intensiva, que modifique la estructura química y física de los materiales, para que los nutrientes sean disponibles (Hernández et al., 2013). El compostaje no debe ser visto simplemente como un sistema de tratamiento de residuos agrícolas a pesar de utilizar como materia prima residuos, sino como un proceso basado en la actividad de microorganismos vivos quienes son los responsables de la descomposición de la materia orgánica (Morales y Aristizabal, 2007). Este proceso debe realizarse con los cuidados necesarios para lograr unas condiciones óptimas de temperatura, humedad y oxigenación, donde se establezcan tomas de muestras y controles a lo largo del mismo para seguir su funcionamiento con el fin de obtener un producto de calidad (Torrentó, 2011). La calidad de los compostajes se determina a través de las propiedades físicas, químicas y biológicas, así como de su contenido nutricional y de su capacidad de proveer nutrientes a un cultivo (Santamaria, 2001). El objetivo de este trabajo fue establecer como los microorganismos (bacterias y hongos) asociados a variables físico-químicas en el proceso de compostaje se pueden relacionar con indicadores de calidad en la elaboración de abonos orgánicos, y además evaluar en un bioensayo el efecto de las mezclas

sobre la germinación de semillas de cultivos con potencial forrajero como uno de los indicadores de madurez del compost.

## 2. Materiales y métodos

Para la realización del proyecto se utilizaron residuos agropecuarios del municipio de Fusagasugá, se tuvieron en cuenta los cultivos más representativos del municipio y los principales sistemas de producción animal, levantando esta información de los registros encontrados en el Plan de desarrollo municipal 2012–2015 (2012) de la Oficina de planeación de la Alcaldía de Fusagasugá. Se establecieron microcomposteras para hacer un seguimiento de las variables fisicoquímicas en el invernadero del Centro de Investigaciones La Esperanza (CIE), ubicado en la vereda Guavio Bajo del municipio de Fusagasugá. El experimento se realizó empleando un diseño en bloques completamente al azar con 3 repeticiones. Se evaluaron seis tratamientos (Tabla 1), considerando que la relación ideal de C/N para comenzar el compostaje es de 25:1 a 30:1.

**Tabla 1.** Materiales utilizados para elaborar cada una de las mezclas. (Fuente: Autores, 2014).

TRATAMIENTO	RESIDUOS UTILIZADOS
M1	Bovinaza + Plantas de tomate (tallos, hojas y tomate residual) + Compost de casa (cascaras de huevo, plátano y residuos de hortalizas)
M2	Gallinaza + Cacota + Plantas de tomate
M3	Porquinaza + Pasto estrella + Cítricos (naranja y hojarasca de la misma planta)
M4	Gallinaza + Porquinaza + Compost de casa + Cacota
M5	Bovinaza + Gallinaza + Cítricos
M6	Porquinaza + Bovinaza + Pasto estrella + Plantas de tomate

Posteriormente se realizó la mezcla de los materiales por medio de un volteo y se adiciono melaza diluida, la cual se utiliza como fuente energética de los microorganismos con el fin de favorecer la multiplicación y la actividad microbiológica (Restrepo, 2001); además de ser necesario se aplicó agua a cada mezcla hasta obtener una humedad adecuada del 45% al 60 % aproximadamente. Con cada una de estas mezclas se elaboraron microcomposteras en lonas de 0.80 x 1.20m, las cuales se llenaron con aproximadamente 45 kg del material orgánico. A cada una de la microcomposteras se les dispuso un tubo de PVC de 90 cm de largo los cuales estaban perforados y fueron ubicados en el centro del material hasta la base de la lona, para mantener una adecuada aireación dentro de la mezcla. Se realizó seguimiento cada tercer día (desde día inicial 1 hasta el día final 75) de las variables temperatura, pH y humedad, para cada mezcla. También se realizó un volteo cada tres días para asegurar una adecuada oxigenación de las muestras. Se tomaron 500g de muestra de las 6 mezclas a los: 1, 15, 30, 45, 60 y 75 días de manera aleatoria; se depositaron en bolsas de autosellado, y se almacenaron en nevera a 4°C (Kirk, 2004), hasta su posterior análisis en el Laboratorio de Microbiología de la Universidad de Cundinamarca.

### 2.1 Medición de variables Microbiológicas

Se realizaron muestreos para determinar las variables microbiológicas de: UFC/ml (Unidades Formadoras de Colonia) de bacterias y hongos; este procedimiento se desarrolló en el Laboratorio de Microbiología de la Universidad de Cundinamarca, teniendo en cuenta la Norma Técnica Colombiana (NTC 4491-2) sobre procedimientos microbiológicos. Las UFC/ml de actinomicetos se determinaron dentro de las poblaciones totales de bacterias, para estos microorganismos solo se realizó la caracterización microbiológica mediante la tinción de Gram y la utilización del kit BBL Crystal. Para realizar el conteo bacteriano se utilizó el medio Agar Agar AA OXOID. Para el

conteo de hongos se utilizó el medio Agar papa PDA (Potato Dextrosa Agar).

### 2.2 Determinación de indicadores químicos

A los 75 días del proceso de compostaje, se tomaron muestras de los tratamientos M1, M2, M3, M4, M5 y M6 de distintas partes de la microcompostera para lograr un volumen final de (1 Kg/Mezcla), para evaluar la calidad de cada mezcla mediante la determinación de indicadores químicos (pH, relación C/N, CIC, MO, C, N, K, Na, Ca, Mg, P, Cu, Zn, Fe, Mn, B y S); estas muestras fueron analizadas en el Laboratorio de Suelos de la Universidad del Tolima.

### 2.3 Bioensayo de Germinación

Se evaluó el efecto del compostaje sobre la germinación de semillas en dos especies de plantas con potencial forrajeros, una gramínea Pasto Braquiaria (*Brachiaria decumbens*) y una leguminosa Alfalfa (*Medicago sativa*). Se realizó un diseño experimental en bloques completamente al azar con 3 repeticiones para cada mezcla bajo condiciones controladas en el laboratorio de la Universidad de Cundinamarca, con el fin de evaluar el grado de fitotoxicidad de cada una de las mezclas.

Se tomaron 100 g de muestra de cada una de las mezclas al día 75 de compostaje. Cada muestra fue pesada y luego macerada. Se prepararon los extractos en una proporción de 1:5 (muestra: agua destilada). Posteriormente se filtró cada extracto y se adiciono 10 ml de este en cajas de Petri, en cada caja se colocaron 10 semillas sobre papel filtro. Se llevaron a la cámara de germinación por espacio de 5 días a una temperatura de 25° C. Luego se determinó el Índice de Germinación (IG), que combina Germinación Relativa (PGR) y Crecimiento de Radícula Relativo (CRR), para cada una de las mezclas comparadas con un tratamiento control (agua destilada), según metodología propuesta por Zucconi et al., (1981).

$$PGR = \frac{N^{\circ} \text{ de Semillas Germinadas en el Extracto}}{N^{\circ} \text{ de Semillas Germinadas en el Testigo}} \times 100$$

$$CRR = \frac{\text{Enlongación de Radículas en el Extracto}}{\text{Enlongación de Radículas en el Testigo}} \times 100$$

$$IG = \frac{PGR \times CRR}{100}$$

## 2.4 Métodos Estadísticos

La verificación del efecto de las variables físicas (pH, temperatura interna y humedad), sobre la concentración de bacterias y hongos, durante el proceso de compostaje se realizó mediante un análisis del coeficiente de correlación de Spearman del paquete estadístico InfoStat versión 2014 para cada variable.

Los indicadores químicos (pH, relación C/N, CIC, MO, C, N, K, Na, Ca, Mg, P, Cu, Zn, Fe, Mn, B y S), para cada sustrato fueron tratados con estadística no paramétrica mediante la prueba de Kruskal-Wallis del paquete estadístico InfoStat versión 2014.

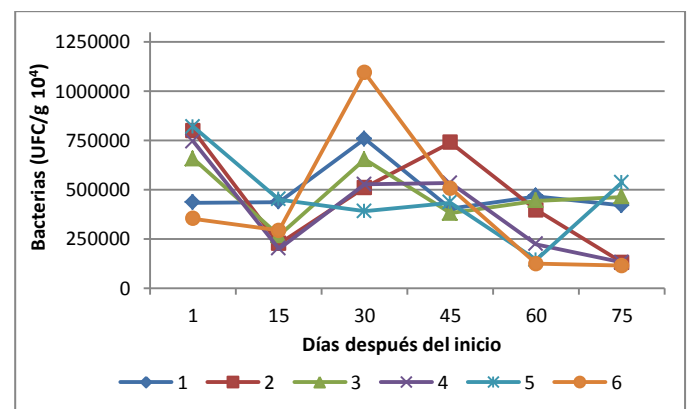
Se evaluó el efecto de las seis mezclas sobre la germinación de semillas mediante un análisis de varianza del paquete estadístico InfoStat versión 2014, además se realizó una comparación no planeada de Tukey ( $p < 0,005$ ) para las medias de los índices de germinación (IG) determinados en cada especie.

## 3. Resultados y discusión

### 3.1 Bacterias

La sucesión de las diferentes poblaciones microbianas se observa en la gráfica 1. Al inicio del proceso las poblaciones de bacterias mostraron una disminución desde el día 1 hasta el día 15, esta tendencia puede estar relacionada con la primera etapa del proceso donde empieza a aumentar la temperatura en las mezclas y la población inicial de bacterias mesófilas se reduce. Desde el día 15 del proceso las

poblaciones de bacterias en las mezclas presentan un aumento, a diferencia de la mezcla 5 la cual presenta una tendencia a estabilizarse. Desde el día 30 se observa nuevamente una tendencia a la baja ya que las mezclas empiezan la etapa de maduración en la cual disminuye la población de bacterias termófilas y vuelven a aparecer las bacterias mesófilas, aunque en menor número ya que la materia orgánica se ha degradado casi por completo debido a su mineralización y a la consiguiente pérdida de carbono en forma de anhídrido carbónico (Zucconi et al., 1987), esta disminución del carbono representa menor disponibilidad de energía para los microorganismos con lo cual se reduce la población. Estos resultados se relacionan con el estudio de Chroni et al., (2009) los cuales describen que después de registrar las temperaturas más altas en las mezclas hacia el día 35 los recuentos en las poblaciones de bacterias siguieron el descenso de temperatura a partir de entonces.



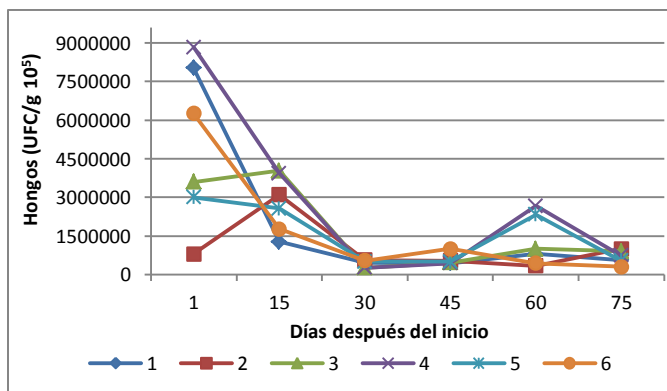
Gráfica 1. Conteo de UFC/g para bacterias en factor de dilución  $10^4$ . (Fuente: Autores, 2015)

Se presentó un descenso en la UFC/g en la mayoría de las mezclas hacia el día 15, el cual se relaciona con el porcentaje de humedad en las mezclas, ya que los procesos de oxidación llevados a cabo por los microorganismos requieren de la disponibilidad de agua, a este respecto.

### 3.2 Hongos

Las poblaciones de hongos en las 6 mezclas presentaron una tendencia al descenso desde la fase inicial hasta el día 30 (gráfica 2). La presencia y abundancia de hongos durante el compostaje está condicionada principalmente por la temperatura, la población de estos microorganismos disminuye cuando las temperaturas son superiores a 50°C, por esta razón desaparecen completamente durante la fase termófila (Uribe, 2003). La mayor cantidad de UFC de las poblaciones de hongos se presentó al inicio del proceso, en la fase mesofílica, y descendió de forma muy marcada en las primeras semanas, esta tendencia se puede deber a lo mencionado por Pérez, Y., (2010) en el cual los restos de comida y vegetales frecuentemente tienen un pH ligeramente ácido entre 4,5 - 5 que estimula la proliferación de los hongos al inicio del proceso, luego se empiezan a agotar las fuentes de nitrógeno lo que hace descender la población.

Hacia el día 60 aumento la población de hongos en las mezclas 4 y 5, esta tendencia de crecimiento hacia el final del proceso se deben principalmente como lo menciona Sánchez (2009), a la capacidad de los hongos de descomponer residuos orgánicos como la lignina, la hemicelulosa y la celulosa, siendo activos en la última fase del proceso de compostaje, caso contrario a las bacterias que también mantienen una habilidad celulítica, pero en menor comparación con los hongos.



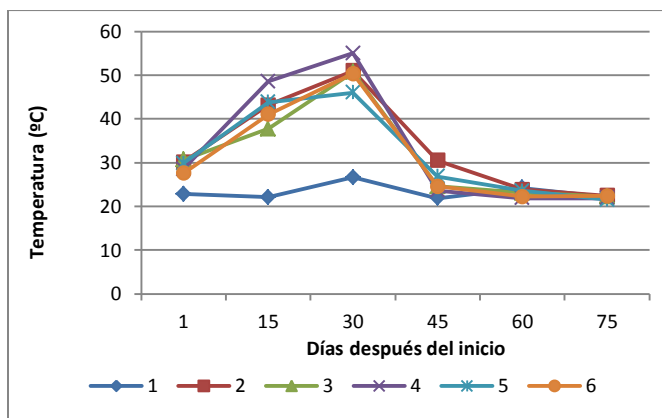
**Gráfica 2.** Conteo de UFC/g para Hongos en factor de dilución  $10^5$ . (Fuente: Autores, 2015)

### 3.3 Temperatura

Las diferentes mezclas presentaron un aumento progresivo de la temperatura interna hasta el día 30, alcanzando temperaturas entre 40 y 60 °C (gráfica 3). Después de esto presentaron un rápido descenso hasta el día 45, para luego estabilizarse con la temperatura ambiente entre los días 60 a 75. La producción de calor se asocia principalmente con la disponibilidad de compuestos como azúcares y almidones, fácilmente digeribles en los residuos utilizados en las mezclas, estos compuestos son de gran importancia durante el proceso de compostaje (Ruggieri et al., 2008). Esto indica que entre los días 15 y 30 había gran disponibilidad de sustrato de fácil degradación para los microorganismos termófilos que están presentes en esta etapa y la elevada temperatura se relaciona con una alta actividad microbiana. La disminución de la temperatura señala el agotamiento de los sustratos en cada una de las mezclas (Liang et al., 2003). La mezcla 1 presentó la temperatura inicial más baja, con 22 °C en promedio, las demás mezclas iniciaron con una temperatura de entre 28 y 30 °C. Se observa también que la mezcla 1 presentó muy poca variación en la temperatura durante los 75 días del proceso de compostaje, pues estuvo en un rango promedio de 23 °C alcanzando un máximo de 26 °C a mitad del proceso. Esta mezcla contenía bovina, residuos de tomate y compost de una casa, cuando se dispusieron estos materiales al inicio del proceso presentaban gran contenido de humedad, esto sugiere que un exceso de agua en la mezcla (> 65 % de humedad), afecta negativamente la disponibilidad de oxígeno, y ya que el compostaje es un proceso desarrollado por microorganismos con metabolismo aeróbico, es de gran importancia permitir el acceso de oxígeno a todas las partes del material (Moreno y Moral, 2008).

La temperatura más alta registrada fue de 55 °C en el día 30 del proceso de compostaje, la mezcla 4 fue la que presentó este registro. Este

marcado incremento en la temperatura se relaciona con la fase termófila (45 – 60 °C) del compostaje, etapa en la cual hay un crecimiento activo de los microorganismos y una elevada disponibilidad de nutrientes, también con este rango de temperatura muchos patógenos y semillas de malezas son eliminadas (Turner & Williams, 2005). Hacia el día 30 del proceso las mezclas presentan un marcado descenso en la temperatura, entrando en un proceso de enfriamiento debido al agotamiento de compuestos fácilmente biodegradables y, como consecuencia de la reducción de la actividad microbiana, como lo indica Tiquia (2005) los altos índices de temperatura se relacionados con altas tasas de descomposición, mientras que la disminución se encuentra relacionada con el declive de la actividad microbiana y la transformación de los residuos orgánicos en compuestos más estables.

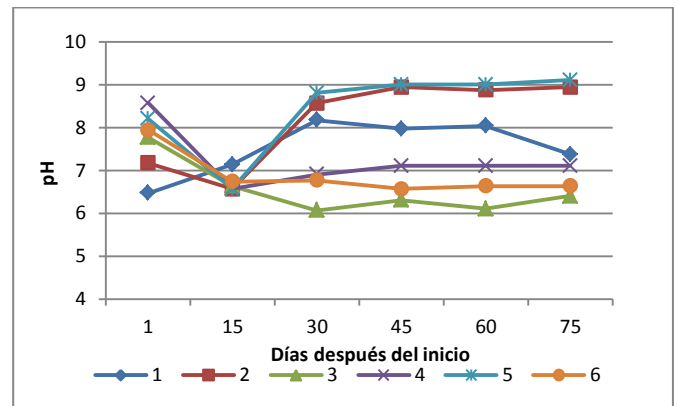


**Gráfica 3.** Temperatura promedio para cada una de las mezclas. (Fuente: Autores, 2015).

### 3.4 pH

La gráfica 4 describe el comportamiento registrado del pH en las mezclas durante los 75 días de compostaje. Inicialmente las 6 mezclas tienen un pH entre 7 y 8.5, a excepción de la mezcla 1 que inicia con un pH sobre 6.5. El pH tiene una influencia directa en el compostaje debido a su acción sobre la dinámica de los procesos microbianos. Mediante el seguimiento

del pH se puede obtener una medida indirecta del control de la aireación de la mezcla, ya que si en algún momento se crean condiciones anaeróbicas se liberan ácidos orgánicos que provocan el descenso del pH (Moreno y Moral, 2008).



**Gráfica 4.** pH promedio para cada una de las mezclas. (Fuente: Autores, 2015).

En el día 15 se observa un descenso en los niveles de pH en las mezclas, y a partir de este punto las mezclas 3, 4 y 6 tienden a estabilizar el pH (6 a 7). En las mezclas 1, 2 y 5 el pH aumenta (8 a 9), manteniéndose sobre estos niveles hasta el final del proceso. Según Sánchez (2001), la evolución del pH en el compostaje presenta tres fases. Durante la fase mesófila inicial se observa una disminución del pH debido a la acción de los microorganismos sobre la materia orgánica más lábil, produciéndose una liberación de ácidos orgánicos. En una segunda fase se produce una progresiva alcalinización del medio, debido a la pérdida de ácidos orgánicos y la generación de amoníaco procedente de la descomposición de las proteínas y en la tercera fase el pH tiende a la neutralidad debido a la formación de compuestos húmicos que tienen propiedades tampón. Se puede observar que la mezcla 4 al final del proceso registro un pH final por encima de 7, de acuerdo con lo reportado con Suler & Finstein (1977) se estableció una relación entre los cambios de pH y la aireación de la mezcla, concluyendo que el compostaje con la aireación adecuada conduce a productos finales con un pH

entre 7 y 8; valores más bajos del pH son indicativos de fenómenos anaeróbicos y de que el material aún no está maduro. Las mezclas 6 y 3 registraron valores de pH por debajo de 7 al final del proceso, lo que puede indicar un inadecuado ingreso de oxígeno al interior del material.

### 3.5 Humedad

Todas las mezclas al inicio del proceso registraron una humedad inicial entre 60 al 75 %, Picado (2005) indica que la humedad óptima de las mezclas para el proceso es de 50% a 60%. Sin embargo la mezcla 1 presentó un mayor porcentaje de humedad el cual estaba en 80 % aproximadamente, este exceso de humedad se debió principalmente a la bovina utilizada en esta mezcla, la cual se recolectó sin darle un tiempo previo de secado, lo que afectó de forma negativa el proceso de compostaje de esta. Soto (2003) reporta que cuando se compostan materiales como la broza de café o la pulpa de naranja estos presentan un contenido de humedad de hasta el 90%, por lo cual deben ser volteados frecuentemente en los días iniciales del proceso para reducir la humedad. Este autor también indica que un exceso de agua (> 65 % de humedad), afecta negativamente la disponibilidad de oxígeno y puede originar condiciones de anaerobiosis y un lavado de nutrientes por lixiviación. Desde el inicio hasta el día 15 todas las mezclas presentaron un marcado descenso de la humedad, llegando como en el caso de la mezcla 3 a niveles por debajo del 30 %, lo cual no es recomendable ya que niveles menores del 40-45 % originan un descenso en la actividad microbiana, principalmente en las bacterias, ya que los hongos permanecen activos a humedades más bajas (Picado, 2005).

### 3.6 Indicadores físicos

#### Olor

Al inicio del proceso las mezclas presentaban olores característicos de acuerdo a los sustratos

utilizados en cada una. Al aumentar el proceso estos olores fueron disminuyendo a medida que los compuestos se degradaban. Costa et al., (1991) indica que a pesar de ser una medida subjetiva, la presencia de olores desagradables puede indicar que el producto se encuentra en fases iniciales del proceso o que esta ha sufrido condiciones anaerobias. Al finalizar el proceso ninguna de las mezclas presentó olores desagradables y se ajusta a lo descrito por Canet (2007), que los olores generados por los residuos en las fases iniciales, causados principalmente por sustancias volátiles (ácidos orgánicos, amoníaco entre otros) desaparecen, dando al compost maduro un olor característico similar al de la tierra húmeda, producido fundamentalmente por la excreción de geosmina, metabolito secundario producido por actinomicetos mesófilos, los cuales predominan durante la fase de maduración del compost.

#### Color

La descomposición de los materiales de las mezclas a lo largo del proceso cambiaron gradualmente a un color oscuro en las 6 mezclas al final del proceso, como lo reporta Canet (2007) el compost toma un color marrón oscuro, casi negro debido al mayor grado de humificación de los residuos. También describe que el color final depende principalmente del material inicial, así, en las mezclas que contenían residuos verdes como la 1, 2 y 3 al finalizar el proceso tenían un color negro oscuro, mientras que las mezclas que contenían más de 1 tipo de estiércol como la 4, 5 y 6 el color final fue generalmente más marrones.

### 3.7 Indicadores químicos

La mezcla 6 fue la que presentó los valores más altos en la mayoría de los componentes químicos, (C/N, Nitrógeno, Potasio, Sodio, Calcio, Fósforo, Boro y azufre), seguida por la mezcla 4 en los componentes (C.I.C, Nitrógeno, Potasio, Sodio, Fósforo, Manganeso y Boro). Estas mezclas tienen algunas características en común, ambas están elaboradas con 2 sustratos

de origen animal, porquinaza + bovinaza (Mezcla 6) y gallinaza + porquinaza (Mezcla 4). También un pH final entre 6 y 7, y temperaturas máximas de 50 °C en promedio en la etapa termófila. Estos parámetros pueden ser los indicados para elaborar un abono orgánico de muy buena calidad.

### 3.8 Microorganismos identificados al final del proceso de compostaje

#### Bacterias

Al finalizar el proceso de compostaje este material contiene un variado grupo de microorganismos los cuales proveen o mejoran la disponibilidad de nutrientes cuando se aplican a los cultivos, como lo indica Acuña (2003) bacterias como las *Nitrosomonas* las cuales se identificaron en forma leve en todas las muestras (Tabla 2) realizan la liberación de fosfatos insolubles a formas disponibles para las plantas mediante la producción de ácidos orgánicos como el ácido nítrico, otras como bacterias del genero *Bacillus* presente en todas las mezclas en su mayoría de forma abundante, son microorganismos que durante su actividad metabólica son capaces de producir y liberar sustancias reguladoras de crecimiento para las plantas.

La tabla 2 muestra los géneros de bacterias identificadas al final del proceso de compostaje en el día 75. Dentro de estas se encuentran 2 géneros de actinobacterias (*Micrococcus* y *Streptomyces*) presentes en casi todas las mezclas de forma abundante especialmente el género *Streptomyces*, según Irola (2010), este género es capaz de degradar sustancias complejas como lignocelulosa y quitina o peptidoglicano contribuyendo notablemente a la mineralización de estos compuestos en las últimas etapas del compostaje.

**Tabla2.** Géneros de bacterias identificadas en cada una de las mezclas al final del proceso (Día 75).

Género Bacterias	MEZCLAS					
	1	2	3	4	5	6
<i>Arthrobacter</i>	+++	+	+++	+++	+++	+++
<i>Bacillus</i>	+	+++	++	+++	++	+++
<i>Enterobacter</i>	-	++	+	++	++	+
<i>Escherichia</i>	++	++	+	++	-	+
<i>Micrococcus</i>	++	-	+++	+	+	-
<i>Morganella</i>	-	++	-	+	+	+
<i>Nitrobacter</i>	+++	-	-	+++	+	+++
<i>Nitrosomonas</i>	+	+	+	+++	+	+
<i>Paucimonas</i>	-	-	-	+	-	+
<i>Proteus</i>	++	++	-	++	+	+
<i>Pseudomonas</i>	+++	+	+	+++	+++	+++
<i>Staphylococcus</i>	-	-	-	+	+	+
<i>Streptomyces</i>	+	+++	+++	+++	+++	+++

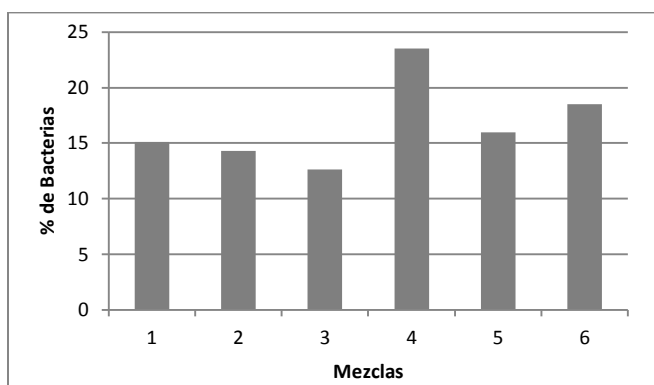
(Ausente -), (Leve +), (Moderado ++), (Abundante +++)

Se identificaron 5 géneros de bacterias Gram positivas (*Arthrobacter*, *Bacillus*, *Micrococcus*, *Staphylococcus* y *Streptomyces*). Estos géneros también fueron identificados en compostaje utilizando residuos de café, banano, gallinaza y bovinaza (Escobar et al., 2012). Según Uribe (2003), durante la fase inicial del proceso donde las cantidades de carbohidratos asimilables son altas predominan las bacterias, y decrecen considerablemente en la fase de maduración debido a la reducción de sustratos disponibles conforme avanza el proceso de estabilización de la materia orgánica.

Se identificaron 8 géneros de bacterias Gram negativas de las cuales *Nitrobacter*, y *Nitrosomonas* se asocian con la nitrificación, que forma parte del proceso de mineralización de la materia orgánica (Storey et al., 2014). También están presentes aunque en menor frecuencia, algunos géneros de enterobacterias como *Escherichia*, *Morganella* y *Proteus*, estas bacterias se encuentran en residuos de origen animal como el estiércol, y aunque participan en la degradación de la materia orgánica pueden ser



considerados patógenos en un elevado número, estas presentan escasa viabilidad prolongada frente a elevadas temperaturas, es por eso no solo es necesario alcanzar altas temperaturas durante el proceso de compostaje, sino también que estos niveles se prolonguen cierto tiempo, esto se logró con la mayoría de las mezclas (M2, M3, M4, y M6) las cuales alcanzaron temperaturas de 50 a 55 °C durante más de 3 días. Varios géneros de estas bacterias identificadas al final del proceso pueden encontrar aplicaciones como potenciales agentes de biocontrol de patógenos de las plantas transmitidas por el suelo, entre ellos bacterias del género *Bacillus* y *Pseudomonas* (Ryckeboer et al., 2003).



**Gráfica 5.** Porcentaje de bacterias identificadas en cada una de las mezclas al final del proceso de compostaje.

La gráfica 5 muestra el porcentaje de bacterias identificadas en cada mezcla, la mezcla 4 (M4) es la que presenta un número más elevado de microorganismos, superando en gran medida a las demás mezclas. Una de las razones por las cuales las mezclas 4 y 6 presentan el mayor porcentaje de bacterias puede deberse a la composición inicial de los sustratos los cuales tienen gran aporte de materia orgánica de origen animal como lo es la porquinaza y al gallinaza.

### Hongos

Se identificaron 21 géneros de hongos (Tabla 3).

**Tabla 3.** Géneros de hongos identificados en cada una de las mezclas al final del proceso (Día 75).

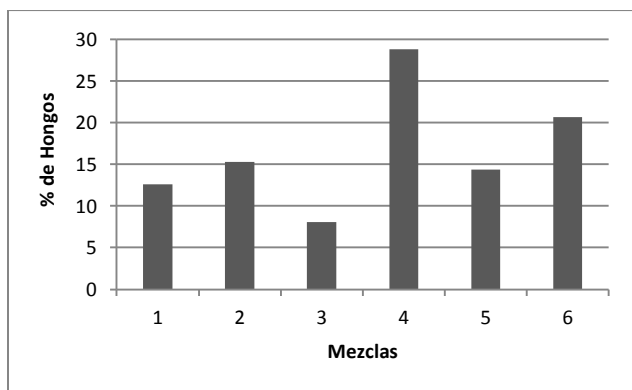
Género Hongos	MEZCLAS					
	1	2	3	4	5	6
<i>Alternaria</i>	++	+	-	++	-	++
<i>Aspergillus</i>	++	+++	-	+++	+++	+++
<i>Cephalophora</i>	-	-	+	++	-	-
<i>Cladosporium</i>	-	+	-	+	-	++
<i>Humicola</i>	+	-	-	++	+	+
<i>Macrosporium</i>	-	++	-	++	-	-
<i>Moniliella</i>	-	-	-	+	++	+
<i>Nigrospora</i>	-	-	-		+	-
<i>Penicillium</i>	+++	++	+++	+++	++	+++
<i>Phoma</i>	-	+	-	+	-	-
<i>Preussia</i>	++	-	-	+	-	+
<i>Rhizopus</i>	-	-	-	++	+	+
<i>Sordaria</i>	-	++	-	+	-	++
<i>Staphylotrichum</i>	-	-	++	+	-	+
<i>Sistotrema</i>	-	-	+	+	++	-
<i>Thielavia</i>	+	-	-	+	+	-
<i>Thysanophora</i>	-	+	-	++	-	+
<i>Trichoderma</i>	-	++	-	+++	+	++
<i>Trichurus</i>	-	-	++	-	-	+
<i>Verticillium</i>	++	+	-	+	++	-
<i>Zygorhynchus</i>	+	+	-	++	-	++

(Ausente -), (Leve +), (Moderado ++), (Abundante +++)

En un estudio presentado por Pérez, Y., (2010), indica que géneros de hongos como *Aspergillus* desempeñan un papel importante en la biorremediación de suelos contaminados por metales pesados como Cr y Ni; también reporta que el género *Penicillium* participa en la mineralización del fósforo orgánico del suelo, permitiendo la absorción de este mineral por las plantas, además tiene la habilidad de colonizar y degradar gran variedad de sustratos lo que contribuye a la fertilidad del suelo. Los altos porcentajes de este género identificados en las 6 mezclas determinan que éstas pueden tener un impacto muy positivo en el suelo.

El género *Alternaria* fue identificado de forma leve en 3 de las 6 mezclas (M1, M4 y M6), aunque no todas las especies de este hongo son patógenas y algunos se consideran agentes de biocontrol de plantas invasoras, además de intervenir en el proceso de descomposición de la pectina y lignina. Sin embargo, Pérez, Y., (2010) reporta que este género está presente como agente de pudrición en enfermedades post cosecha de una gran variedad de cultivos y como patógeno sobre varias especies de pastos y forrajes. Por lo anterior es importante determinar las especies de este hongo que están presentes en el compostaje ya que puede tener efectos desfavorables cuando sea utilizado como abono.

La gráfica 6 muestra el porcentaje de hongos identificados en cada mezcla, al igual que los géneros de bacterias la mezcla 4 (M4) es la que presentó un número más elevado de hongos al final del proceso de compostaje.



**Gráfica 2.** Porcentaje de hongos identificados en cada una de las mezclas al final del proceso de compostaje.

### 3.9 Bioensayo de germinación

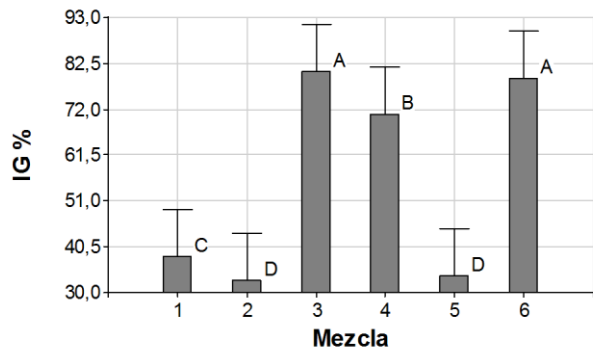
Se evaluó la sensibilidad de una leguminosa Alfalfa (*Medicago sativa*) y una gramínea Pasto Braquiaria (*Brachiaria decumbens*), a los extractos obtenidos de cada una de las mezclas que estaban en la fase de maduración del proceso de compostaje en el día 75.

#### Alfalfa (*Medicago sativa*)

El valores obtenidos para el índice de germinación indican que las mezclas 1, 2 y 5 presentan valores inferiores al 50% (37.8%, 32.5% y 33.7%) respectivamente, lo que indica un nivel alto de fitotoxicidad; las mezclas 6 y 4 tienen índices de germinación entre el 50% al 80% (78.7% y 70.4%), indicando un nivel moderado de fitotoxicidad; la mezcla 3 fue la única que presentó un nivel mayor al 80% (80.1%), siendo esta la que se definiría como un compost maduro.

En la gráfica 7 se representa el índice de germinación para las semillas de alfalfa en los extractos de las 6 mezclas. Según estudios como el de Varnero (2007) las mezclas que presentan índices de germinación menores al 50%, puede deberse a que estos residuos no han finalizado la etapa de madurez y contienen sustancias fitotóxicas que no se han metabolizado completamente. Este mismo autor indica en los resultados de los bioensayos a tres residuos un alto nivel de fitotoxicidad utilizando semillas de rabanito, en cambio cuando utilizo semillas de lechuga con estos mismos residuos el nivel de fitotoxicidad fue menor. Esto indicaría que algunas semillas son más sensibles a ciertas sustancias fitotóxicas presentes en las mezclas.

También otros autores como Zucconi et al., (1981) y Tiquia (2000) determinaron que el índice de germinación es el indicador más completo para saber si un compost se encuentra en etapa de maduración, según los resultados esto indicaría que la mezcla 3 y la 6 son las más maduras y podrían tener mejores resultados al ser utilizadas como abono orgánico para leguminosas como la alfalfa.



**Gráfica 3.** Índice de Germinación % (IG) de las semillas de Alfalfa en cada uno de los extractos.

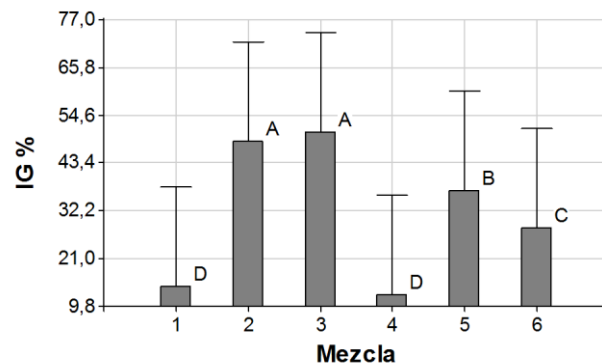
### Pasto Braquiaria (*Brachiaria decumbens*)

Los resultados obtenidos para la prueba de germinación con semillas de pasto *Brachiaria* indican un muy bajo porcentaje de germinación, pero las semillas que germinaron presentaron una longitud mayor de radícula en comparación con las semillas germinadas en agua destilada, esto puede indicar que este bajo porcentaje se debió quizás a otro factor y no a la presencia de sustancias fitotóxicas en el material. Lo anterior se relaciona con lo mencionado en el estudio de Martínez (2013), en el cual determino que las semillas de los pastos *Brachiaria brizanta* y *Marandu* presentan porcentajes muy bajos de germinación o latencia, que es un estado en el cual una semilla viable no germina aunque se coloque en condiciones óptimas para hacerlo, según este autor esta es una propiedad adaptativa que posee los pastos y se puede presentar por la presencia de un embrión inmaduro o que la cubierta seminal sea impermeable al agua, por lo tanto recomienda algunos procedimientos físicos para superar este estado como realizar una inmersión de las semillas de pastos en agua durante periodos de 12 a 24 horas.

El aporte adecuado de nutrientes y elementos químicos presentes en las mezclas puede determinar la respuesta positiva de las semillas de *Brachiaria* en cuanto a la longitud radicular presentada con los extractos. Sobre esto Navajas (2011) menciona que en un estudio realizado en

pasto *Brachiaria* determino que en las primeras etapas del desarrollo de este pasto es muy importante el aporte de elementos como el potasio (K) que después del nitrógeno es el nutriente más extraído por las plantas para los procesos fisiológicos y bioquímicos; el boro (B) que está involucrado en los procesos de división celular en la primeras etapas de crecimiento de las plantas; y otros como el cobre (Cu) y el zinc (Zn). Indicando la presencia de estos elementos en las mezclas y su efecto positivo o fitoestimulante sobre las semillas de *Brachiaria*.

El índice de Germinación % (IG) de las semillas de *Brachiaria* en cada uno de los extractos se muestra en la gráfica 8. La mezcla 3 presento un valor de (50,8%) indicando una fitotoxicidad moderada, aunque no presenta diferencia estadística significativa con la mezcla 2 que presento un valor de (48.7%); valores por debajo del 50%, como los de las mezclas 2, 5, 6, 1 y 4 indican una alta fitotoxicidad en los extractos según metodología de Zucconi et al., (1981).



**Gráfica 4.** Índice de Germinación % (IG) de las semillas de *Brachiaria* para cada uno de los extractos.

Los mejores resultados en el bioensayo de germinación se presentaron en las semillas de alfalfa con las mezclas 3 y 6, ya que estas mezclas presentaron unos índices de germinación entre el 78% y el 80% indicando una fitotoxicidad moderada para esta especie forrajera.

#### 4. Conclusiones

Las mezclas 6 y 4 son las que presentaron mejores parámetros de calidad tanto físicos, químicos y biológicos. Esto se asocia principalmente a la utilización de dos tipos de estiércol en su elaboración (porquinaza + bovinaza) y (gallinaza + porquinaza), los cuales aportan a las mezclas gran variedad de macro y microelementos (K, Na, Ca, Mg, P, y Cu, Zn, Mn), debido a que el alimento que se le suministra a estas especies tiene un buen aporte de proteínas y minerales.

La variable que más influye sobre la concentración de UFC/G de hongos y bacterias es la temperatura ya que si no se está dentro de los rangos óptimos (35 °C a 60 °C), detiene o inhibe el desarrollo de los microorganismos afectando en forma directa como en la mezcla 1 la descomposición de los residuos.

Al finalizar el proceso de compostaje se identificaron géneros de microorganismos los cuales tienen una gran importancia en la actividad biológica del suelo y están relacionados con la nutrición vegetal, estos fueron bacterias como *Bacillus*, y *Arthrobacter*, hongos como *Penicillium* y *Aspergillus*, y actinobacterias como *Micrococcus* y *Streptomyces*.

El tratamiento que presentó más diversidad en cuanto a la identificación de microorganismos al finalizar el proceso fue la mezcla 4, seguida en proporción de la mezcla 6 en cuanto a bacterias y hongos. Las actinobacterias estuvieron presentes de forma moderada a abundante en las seis mezclas.

Los resultados del bioensayo indican que la mezcla 6 presentó los mejores Índices de Germinación sobre las semillas de Alfalfa; para el caso de la *Brachiaria* los resultados mostraron un bajo Índice de Germinación, pero se obtuvo valores positivos del (IER) en estas semillas, lo que puede indicar que las mezclas tienen un efecto fitoestimulante.

De acuerdo con los resultados de los indicadores químicos (pH, C/N, Materia orgánica, N, K, Na, Ca, P, B), físicos (color y olor) y microbiológicos (bacterias, hongos y actinobacterias), se puede determinar que estos se correlacionan con los resultados obtenidos en la prueba de germinación.

#### Referencias

- Acuña, O. (2003). El uso de biofertilizantes en la agricultura. Centro de Investigaciones Agronómicas. Costa Rica. 67-75.
- Canet, R. (2007). Uso de la materia orgánica en la agricultura. Instituto Valenciano de Investigaciones Agrarias. España. 11-17.
- Escobar, N., Delgado, J., y Romero, N. (2012). Identificación de poblaciones microbianas en compost de residuos orgánicos de fincas cafeteras de Cundinamarca. Universidad de Cundinamarca. Colombia. *bol.cient.mus.hist.nat.* 16 (1): 75 – 88.
- Hernández, S., y Rodríguez, O. (2013). Calidad nutrimental de cuatro abonos orgánicos producidos a partir de residuos vegetales y pecuarios. México. 31: 35-46.
- InfoStat. Versión 2014. Grupo InfoStat, FCA. Universidad Nacional de Córdoba. Argentina. URL <http://www.infostat.com.ar>
- Irola, E. (2010). Microbiología: *Streptomyces*. Instituto tecnológico superior de Champotón. México. 1-4.
- Kirk, J. (2004). Methods of studying soil microbial diversity. Wastewater Technology Center, Burlington. Ontario, Canadá. (58): 169-188.
- Liang, C., Das, K., & McClendon, R. (2003). The influence of temperature and moisture contents regimes on the aerobic microbial activity of a biosolids composting blend. Department of Biological and Agricultural Engineering. University of Georgia. USA. 76:275-278.
- Martínez, J. (2013). Estrategias de escarificación para eliminar la latencia en semillas de *Cenchrus ciliaris* L. y *Brachiaria brizantha* cv. Marandu.

- Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias. México. 1263-1272.
- Morales, G., y Aristizabal, O. (2007). Estudio de factibilidad técnico financiero de abono orgánico a partir de los desechos orgánicos de la plaza de corabastos de Bogotá. Universidad de la Salle. Colombia. 1-29.
- Moreno, J., y Moral, R. (2008). Compostaje. Mundi-Prensa. Barcelona España. 570 p.
- Navajas, V. (2011). Efecto de la fertilización sobre la producción de biomasa y la absorción de nutrientes en *Brachiaria decumbens* y *Brachiaria híbrido* Mulato. Universidad Nacional de Colombia. Facultad Agronomía. Colombia. 40-64.
- Norma Técnica Colombiana 4491-2. (2004). Suspensión inicial y diluciones decimales para análisis microbiológico.
- Pérez, Y., Rebolledo, R., y Martínez, J. (2010). Aislamiento e identificación de hongos en compost elaborado a partir de residuos sólidos urbanos. Universidad de la Habana. Cuba. 38(1), 1-7.
- Picado, J., y Añasco, A. (2005). Agricultura orgánica. En Preparación y uso de abono orgánico sólidos y líquidos. Costa Rica.
- Plan de Desarrollo Municipal 2012 – 2015. (2012). Alcaldía de Fusagasugá. Oficina de planeación. Colombia.
- Restrepo, J. (2001). Elaboración de abonos orgánicos fermentados y biofertilizantes. San Jose, Costa Rica.
- Ruggieri, L., Gea, T., Artola, A., & Sanchez, A., (2008). Influence of different co-substrates biochemical composition on raw sludge co-composting. Biodegradation. 403–415.
- Ryckeboer, J., Mergaert, J., & Vaes, K. (2003). A survey of bacteria and fungi occurring during composting and self-heating processes. Annals of Microbiology. Belgium. 53(4), 349-410
- Sánchez, M. (2001). Nitrogen transformation during organic waste composting by the Rutgers system and its effects on pH, EC and maturity of the composting mixtures. 78(3), 301-308
- Sánchez, T. (2009). Caracterización microbiológica del proceso de compostaje a partir de residuos azucareros. Universidad Central. Venezuela. 59(3), 309-316.
- Santamaria, S. (2001). Dinámica y relaciones de microorganismos, C-Orgánico y N-Total durante el composteo y vermicomposteo. Especialidad de Edafología. México. 35: 377-384.
- Storey, S., Chualain, D., Doyle, O., Clipson, N., & Doyle, E. (2014). Comparison of bacterial succession in green waste composts amended with inorganic fertiliser and wastewater treatment plant sludge. Science Centre West. University College Dublin. Ireland. 71–77.
- Suler, D., & Finstein, S. (1977). Effect of Temperature, Aeration, and Moisture on CO<sub>2</sub> Formation in Bench-Scale, Continuously Thermophilic Composting of Solid Waste. Appl. Environ. Microbiol. 33(2), 345-350.
- Tiquia, S. (2000). Evaluating toxicity of pig manure from the pignon-litter system. Department of Food, Agricultural, and Biological Engineering. The Ohio State University. U.S.A. 1-23.
- Tiquia, S. (2005). Microbiological parameters as indicators of compost maturity. Department of Natural Sciences. University of Michigan. USA. 99(4), 816-828.
- Torrentó, M. (2011). Materia orgánica y compostaje. Control de la calidad y del proceso. Jornada Técnica: Fertilidad y Calidad del Suelo. Instituto Canario de Investigaciones Agrarias. Chile. 19.
- Turner, C., & Williams, A. (2005). Inferring pathogen inactivation from the surface temperatures of compost heaps, Bioresour. Technology. 96(5), 521-529.
- Zucconi, F., Forte, M., Monaco, A., & Bertoldi, M. (1981). Biological evaluation of compost maturity. Italia. 1-4.
- Zucconi, F., & Bertoldi, M. (1987). Specifications for solid waste compost. Italia.