



Calidad de compost obtenido a partir de estiércol de gallina, con aplicación de microorganismos benéficos

Quality of compost obtained from hen manure, with application of beneficial microorganisms

Manuel Alvarez-Vera^{1,2,*}; Ana Largo²; Sergio Iglesias-Abad²; Jorge Castillo²

¹ Subdirección de Posgrados, Universidad Católica de Cuenca (UCACUE), Cuenca, Ecuador.

² Carrera de Ingeniería Ambiental, Universidad Católica de Cuenca (UCACUE), Cuenca, Ecuador.

Received March 7, 2019. Accepted September 9, 2019.

Resumen

El objetivo de esta investigación fue evaluar la calidad del compost obtenido a partir de estiércol de gallinas, con inoculación de microorganismos benéficos autóctonos. La investigación se realizó durante 13 semanas; a nivel de campo se extrajo consorcios microbianos beneficiosos CMB1 de col (*Brassica oleracea*) y CMB2 de hierba luisa (*Cymbopogon citratus*) los cuales se inocularon una vez por semana al 5% de concentración en las pilas de compostaje distribuidas en bloque completos al azar con tres repeticiones, se estableció tres tratamientos T1 (CMB1), T2 (CMB2) y T3 (Testigo). Se determinó que los consorcios microbianos benéficos suprimen los malos olores en el proceso de compostaje, a la par aceleran la degradación de la materia orgánica lo cual se evidencia en el mayor contenido de ácidos húmicos en el compost final en comparación con el control: T1 = (3-4%), T2 = (3%), (T3) = 1%. En el compost obtenido con inoculación de CMB1 y CMB2 se determinó mayor actividad biológica: T1 = 3 ug/ml, T2 = 4 ug/ml, T3 = 1 ug/ml, además se identificaron microorganismos benéficos en mayor concentración (log UFC.g⁻¹) así como más alto contenido de nutrientes con respecto al tratamiento testigo, por tanto, de calidad superior.

Palabras clave: Consorcios microbianos; compostaje; industria avícola; estiércol.

Abstract

The objective of this research was to evaluate the quality of the compost obtained from chicken manure, with inoculation of beneficial autochthonous microorganisms. The investigation was conducted for 13 weeks; At the field level, beneficial microbial consortia CMB1 of cabbage (*Brassica oleracea*) and CMB2 of lemon verbena (*Cymbopogon citratus*) were extracted, which were inoculated once a week at 5% concentration in the compost piles distributed randomly in complete block with three repetitions. Three treatments T1 (CMB1), T2 (CMB2) and T3 (Control) were established. It was determined that beneficial microbial consortiums suppress odors in the composting process, at the same time accelerate the degradation of organic matter which is evidenced in the higher content of humic acids in the final compost compared to the control: T1 = (3-4%), T2 = (3%), (T3) = 1%. In the compost obtained with inoculation of CMB1 and CMB2, higher biological activity was determined: T1 = 3 ug/ml, T2 = 4 ug/ml, T3 = 1 ug/ml, in addition beneficial microorganisms in higher concentration were identified (log UFC.g⁻¹) as well as higher nutrient content with respect to the control treatment, therefore, of superior quality.

Keywords: Microbial consortia; composting; poultry industry; manure.

1. Introducción

El continuo crecimiento de la industria avícola resulta en una mayor cantidad de desechos (Brandelli *et al.*, 2015), en el caso del estiércol la generación es diaria y está directamente relacionado con la edad de las aves, la generación de residuos de la

producción avícola, es inevitable y pueden causar problemas ambientales. Los residuos agroindustriales constituyen un serio problema a nivel mundial, impactando directamente en el cambio climático, ya que su disposición final se realiza en tiraderos a cielo abierto o en cuerpos de agua (Hernández-Cázares *et al.*, 2016).

How to cite this article:

Alvarez-Vera, M.; Largo, A.; Iglesias-Abad, S.; Castillo, J. 2019. Calidad de compost obtenido a partir de estiércol de gallina, con aplicación de microorganismos benéficos. *Scientia Agropecuaria* 10(3): 353 – 361.

* Corresponding author
E-mail: malvarezv@ucacue.edu.ec (M. Alvarez-Vera).

El compostaje es uno de los métodos más antiguos y simples de estabilización de residuos orgánicos (Sarkar *et al.*, 2016), es la descomposición biológica mejorada de los materiales orgánicos en un ambiente principalmente aeróbico (Mahmud *et al.*, 2015), que genera productos finales adecuados, como fertilizantes, sustratos para el cultivo de hongos y biogás (metano) (Sarkar *et al.*, 2016), está mediado por microorganismos en la que diferentes materiales orgánicos se transforman en compuestos más estables (Sánchez *et al.*, 2017) y utilizables, consumen oxígeno y liberan calor, agua y CO₂ (Mahmud *et al.*, 2015). El compostaje es un proceso que se está extendiendo por todo el mundo para reducir la disposición de residuos en vertederos (Muscolo *et al.*, 2018) y se ajusta a la visión de bioeconomía (Viaene *et al.*, 2016), dando así, un valor a los residuos de la producción de aves.

Los microorganismos beneficiosos pueden ser aislados de especies vegetales y aprovechados en diferentes procesos agrícolas, ambientales e industriales. Tienen la potencialidad de biodegradación, biolixiviación, biocompostación, fijación de nitrógeno, mejora la fertilidad del suelo y también en la producción de hormonas de crecimiento vegetal (Kumar y Gopal, 2015), durante el compostaje contribuyen en la transformación de la materia orgánica y además forman parte del producto final estabilizado y enriquecido.

La industria avícola es una de las de mayor crecimiento en el mundo, un importante problema que enfrentan es la acumulación a gran escala de desechos, que pueden plantear problemas de gestión, eliminación y contaminación a menos que se desarrollen tecnologías de manejo ambiental y económicamente sostenibles (Bolan *et al.*, 2010), razón por la que los consorcios microbianos beneficiosos obtenidos a partir de especies vegetales son una alternativa factible, amigable con el ambiente para aplicar en el proceso de compostaje, constituyen una alternativa viable para la agricultura orgánica (Alvarez *et al.*, 2018) y así transformar los residuos agropecuarios en productos útiles que contribuyan a mejorar la producción agrícola.

Algunos componentes de los residuos tienen un valor económico oculto, una vez recuperados correctamente pueden ser reciclados (Joshua, 2013) sin afectar al medioambiente. Los residuos de la industria avícola son materia prima de menor calidad, en su eliminación se desperdicia residuos valiosos, por lo que es necesario mediante nuevas alternativas transformarlos en un producto útil como el compost.

Es necesario desarrollar tecnologías destinadas a mejorar la calidad del compost, entre las cuales se considera la inoculación de microorganismos (Sánchez *et al.*, 2017), particularmente de consorcios microbianos nativos aislados de especies vegetales de nuestra región. Mediante la inoculación de microorganismos benéficos existe la posibilidad de obtener un compost con un valor sustancial de fertilizante (Kopec *et al.*, 2018) que desconocemos, debido a que el potencial de las unidades formadoras de colonias de microorganismos beneficiosos depende de cada especie vegetal (Alvarez-Vera *et al.*, 2018). La aplicación de microorganismos eficientes acorta el proceso de compostaje e incrementa la mineralización del compost así como los contenidos de macro y micronutrientes (Aye, 2016), pero no se conoce con certeza como incide los microorganismos benéficos autóctonos en el proceso de compostaje de estiércol de gallinas.

Como materia orgánica estabilizada, el compost, se puede usar para recuperar suelos degradados y restaurar la fertilidad, así como reducir el uso de insumos químicos (pesticidas, fertilizantes, combustibles) que resultan en la disminución de los costos de producción e impactos ambientales negativos (Pergola *et al.*, 2018), debido a sus múltiples efectos beneficiosos tiene el potencial de ser un mejorador eficaz de la calidad del suelo (Viaene *et al.*, 2016). Para reducir costos y mantener la salud del suelo, la agricultura orgánica debe promoverse como una alternativa viable (Sharma *et al.*, 2017), dentro de esta el compost enriquecido con consorcios microbianos benéficos desempeña un papel fundamental.

El objetivo de esta investigación fue evaluar la calidad de compost obtenido a partir de estiércol de gallinas, con aplicación de consorcios microbianos benéficos aislados de especies vegetales de nuestra región.

2. Materiales y métodos

La investigación se ejecutó durante un periodo de 13 semanas en el campus experimental del Centro de Innovación, Investigación y Transferencia de Tecnología (CITT) de la Universidad Católica de Cuenca, emplazado en Miracielos, parroquia Ricaurte.

2.1. Preparación de consorcios de microorganismos benéficos (CMB)

Los consorcios microbianos benéficos (CMB) se obtuvieron de plantas cultivadas en la región, de acuerdo a la metodología citada por Alvarez *et al.* (2018). Se seleccionaron dos especies vegetales: CMB1

planta col (*Brassica oleracea*) y CMB2 planta hierba luisa (*Cymbopogon citratus*). Para preparar la solución madre, de cada especie se seleccionaron 1000 g de material vegetal, se seccionaron en fragmentos pequeños y se depositaron en un envase plástico al cual incorporamos una solución constituida por 1000 ml de agua libre de cloro, 200 g de hígado de res finamente seccionado, 20 gramos de sal de mesa y 400 ml de melaza de caña de azúcar; uniformizamos toda la mezcla y dejamos reposar en un lugar sin la incidencia directa del sol por un periodo de diez días, en este intervalo de tiempo se evidenció la presencia de gases que fueron eliminados y una capa blanquecina en la parte superior del líquido que por su morfología confirmó la presencia de consorcios microbianos beneficiosos. Para la producción de microorganismos benéficos se utilizaron 1000 ml de la solución madre líquida (libre de fracciones vegetales) la misma que se depositó en un envase con 18 litros de agua libre de cloro, 2 kg de hígado de res finamente seccionado, 2 litros de melaza y 200 g de sal de mesa, se uniformizó la mezcla; toda la solución se conservó durante 10 días en un lugar sin la incidencia directa del sol (Alvarez et al., 2018), periodo a partir del cual la solución líquida quedó lista para aplicar en las pilas de compost.

2.2. Preparación de pilas de compost

En base a la relación carbono nitrógeno de cada materia prima se utilizaron 2041,2 kg de excretas de gallinas, 612,36 kg de cascarilla de arroz (residuos del proceso de obtención del grano de arroz) y 857,52 kg de residuos de plantas de maíz seccionado en fragmentos pequeños, para establecer una relación (C/N) entre 25 y 30. Todos los materiales se colocaron en una superficie impermeabilizada, bajo una infraestructura con cubierta de plástico para evitar la incidencia directa de la lluvia.

En forma manual y uniforme se mezcló toda la materia prima. Se establecieron tres tratamientos con tres repeticiones, total 9 unidades experimentales distribuidas en bloques completamente al azar (DBCA), cada unidad experimental con dimensiones 3 metros de largo 1,5 metros de ancho y 1 metro de altura; las repeticiones separadas 1 metro entre ellas.

Tres pilas de compost correspondieron a tratamiento con consorcios microbianos obtenidos de la planta col (T1), tres a tratamiento con consorcios microbianos provenientes de la planta hierba luisa (T2) y tres a testigo sin aplicación de microorganismos beneficiosos (T3).

Registro de temperatura

Diariamente en los cuatro extremos y en el centro de cada una de las pilas de compostaje se verificó la temperatura a una profundidad de 0,30 metros. Se utilizó un termómetro digital con un rango entre 0 °C a 300 °C

Registro de pH

Durante todos los días del periodo de investigación, con un equipo digital de medición directa pH metro (Digital soil pH meter, by Luster Leaf), se registró el pH a 0,30 metros de profundidad en los cuatro extremos y en el centro de cada una de las pilas de compost.

Volteo y aireación de la pila de compost

Con la finalidad de brindar condiciones favorables para el proceso de compostaje de la materia prima en estudio, particularmente para aportar aireación que favorezca la acción de los microorganismos, todas las pilas se voltearon con palas una vez por semana, para cada tratamiento se utilizaron herramientas individuales con la finalidad de evitar la contaminación entre tratamientos.

Humedad en la pila de compost

La humedad óptima en la pila es una de las condiciones fundamentales que regula el proceso de compostaje de los residuos orgánicos, por lo que de acuerdo a los requerimientos hídricos con una regadera se aplicó agua en forma uniforme. Se utilizó equipo digital para medir la humedad que permitió obtener información relacionada a sustrato seco, húmedo y mojado. Se consideró ideal 40% de contenido de humedad.

2.3. Aplicación de microorganismos benéficos

La inoculación de consorcios microbianos benéficos (CMB1 y CMB2) en las pilas de compostaje se realizó una vez por semana. Cada uno de los consorcios microbianos se prepararon al 5% de concentración, con una regadera de acuerdo a cada tratamiento (T1 y T2) excepto al tratamiento testigo que recibió únicamente agua, se aplicaron 20 litros de la solución preparada. Se utilizaron tres regaderas una para cada tratamiento con la finalidad de evitar la contaminación de la materia en proceso de compostaje.

2.4. Análisis microbiano de compost

El biograma microbiano del compost se realizó en PSL Plantsphere Laboratories mediante observación directa (OD), colorimetría de muestras de estados inducidos (CMES), análisis en microplots (AMP: MA, APD, NA, KB, KA), microscopía N/CO

conjugados enzimáticos (CE), cámara microscópica infiltrada (CMI), difusión microscópica normanski (DMN), reacción enzimática microbiana (REM) y microscopia de fluorescencia (MF).

3. Resultados y discusión

Conforme avanzó el proceso de compostaje se evidenció la ausencia de malos olores y moscas particularmente en los tratamientos que recibieron inoculación de consorcios microbianos benéficos (T1 y T2). La calidad del compost se evaluó 13 semanas después de iniciada la investigación, se determinó que los ácidos húmicos de T1 (3-4%) y T2 (3%) fueron superiores al del tratamiento testigo (1%); el valor más alto de M.O se constató en T2 (41%) mientras que el más bajo en T1 (35%). La mayor actividad biológica se verificó en T2 (4 ug/ml) y T1 (3 ug/ml) en tanto que en el tratamiento control (T3) se registró únicamente (1 ug/ml).

4.1. Temperatura promedio

En la temperatura de los extremos, no existió diferencias notables entre tratamientos (Figura 1a).

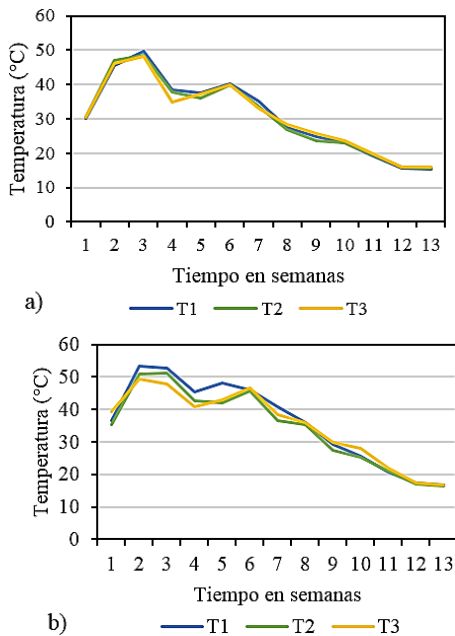


Figura 1. Variación de temperatura en las pilas de compost: a) En los extremos; b) En el centro.

La variación de temperatura fue acorde al proceso normal del proceso de compostaje, en la primera semana se registró una temperatura promedio de 30 °C mientras que en la semana tres se registraron los valores más altos con valores cercanos a 50 °C, en la semana 13 la temperatura fue ligeramente superior a 15 °C (T1 = 15,36 °C; T2 = 15,72 °C; T3 = 15,97 °C).

Existió ligera variación en la temperatura del centro de las pilas de compostaje (Figura 1b). En la primera semana se registraron valores entre 35 °C y 40 °C, las temperaturas más elevadas se verificaron entre la semana dos y tres, entre las semanas cuatro y seis existió un incremento, a partir de allí descendieron hasta la semana 13 con valores cercanos a 16 °C (T1 = 16,72 °C; T2 = 16,56 °C; T3 = 16,78 °C).

4.2. pH

El pH en las pilas de compostaje se registró tanto en los extremos como en el centro de las unidades experimentales.

En los extremos de las pilas el valor inicial de pH fue cercano a siete (Figura 2a) sin embargo conforme avanzó el proceso de compostaje, en todos los tratamientos se incrementó el valor hasta la semana 11 (T1 = 8,01; T2 = 7,94; T3 = 8,16) a partir de allí descendió ligeramente hasta la semana 13 (T1 = 7,85; T2 = 7,93; T3 = 8,03), el valor más bajo se evidenció en T1 mientras que el más alto en T3.

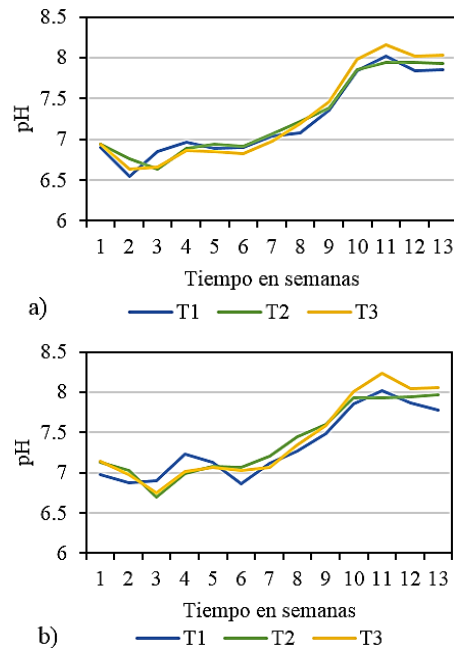


Figura 2. Variación de pH en las pilas de compost: a) En los extremos; b) En el centro.

Al finalizar la primera semana en el centro de las pilas de compostaje el pH en los tres tratamientos se ubicó en valores cercanos a siete (Figura 2b), posteriormente se presentó una variación heterogénea, descendió y se incrementó hasta la semana 11 (T1 = 8,01; T2 = 7,92; T3 = 8,23) a partir de allí decreció hasta la semana 13 (T1 = 7,77; T2 = 7,96; T3 = 8,05) el valor más bajo se constató en T1 y el más alto en T3.

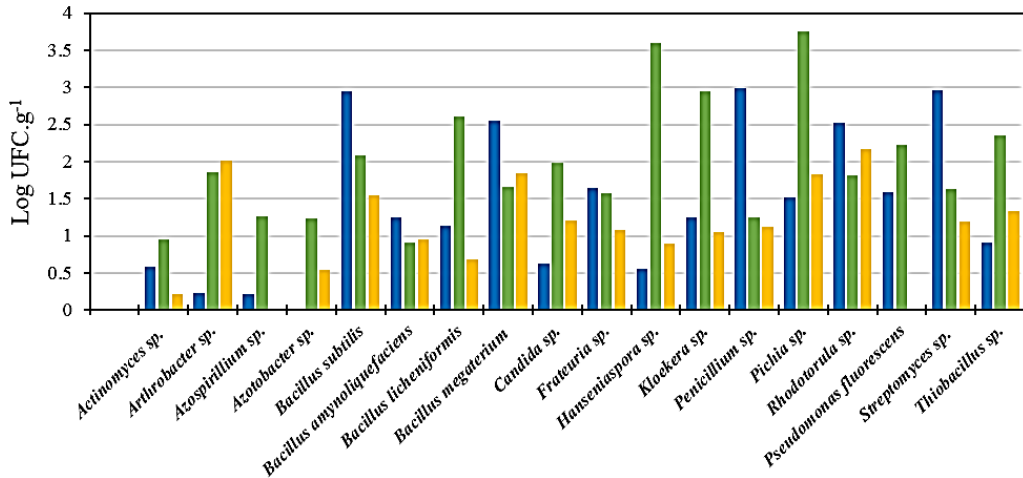


Figura 3. Análisis microbiano del compost de los tres tratamientos.

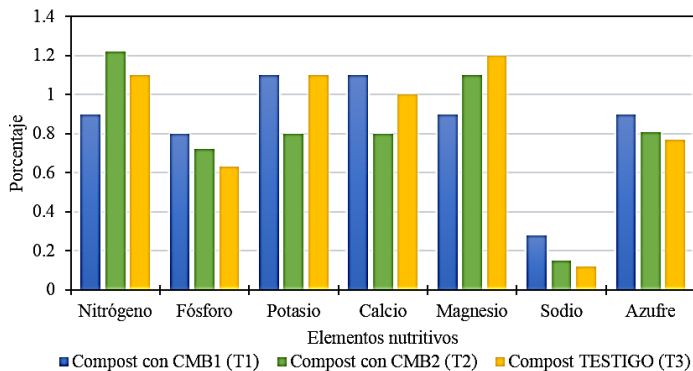


Figura 4. Variación en porcentaje de los elementos nutritivos presentes en el compost.

Biograma microbiano

En los tres tratamientos se determinó la presencia de: *Actinomyces* sp., *Arthrobacter* sp., *Azospirillum* sp., *Azotobacter* sp., *Bacillus subtilis*, *Bacillus amynoliquefaciens*, *Bacillus licheniformis*, *Bacillus megaterium*, *Candida* sp., *Frateuria* sp., *Hanseniaspora* sp., *Kloekera* sp., *Penicillium* sp., *Pichia* sp., *Rhodotorula* sp., *Pseudomonas fluorescens*, *Streptomyces* sp. y *Thiobacillus* sp., sin embargo, en los compost inoculados con CMB (T1 y T2) la concentración fue superior que la del compost testigo T3 (Figura 3).

Azotobacter sp. bacteria fijadora de nitrógeno atmosférico está ausente en el compost con CMB1, mientras que *Azospirillum* sp. y *Pseudomonas fluorescens* no se registraron en el compost testigo. El microorganismo *Pichia* sp., con 3,7580215 (log UFC.g⁻¹) se determinó en la más alta concentración en el compost con CMB2 con respecto a los otros microorganismos.

En el compost con CMB1 se determinó en más altas concentraciones *Bacillus subtilis* 2,9531241 (log UFC.g⁻¹), *Penicillium* sp.

2,9898329 (log UFC.g⁻¹) y *Streptomyces* sp. 2,9578932 (log UFC.g⁻¹), en más baja concentración se registró *Azospirillum* sp. 0,2153742 (log UFC.g⁻¹).

En el compost con CMB2 se determinó en más altas concentraciones *Pichia* sp., con 3,7580215 (log UFC.g⁻¹) y *Hanseniaspora* sp. con 3,5987152 (log UFC.g⁻¹).

En el compost testigo se registró en la más alta concentración *Rhodotorula* sp. 2,1615971 (log UFC.g⁻¹), *Arthrobacter* sp. 2,0124013 (log UFC.g⁻¹) y *Bacillus megaterium* 1,8452173 (log UFC.g⁻¹).

Características químicas del compost

La más alta concentración de elementos nutritivos se registró en los compost enriquecidos con consorcios microbianos benéficos a excepción de magnesio (1,20%) que fue superior en el compost testigo (Figura 4). El más alto porcentaje de Nitrógeno se determinó en el compost con CMB2 (1,22%) mientras que las más altas concentraciones de Fósforo (0,80%), Potasio (1,10%), Calcio (1,1%), Sodio (0,28%) y Azufre (0,9%) se constató en el compost enriquecido con CMB1.

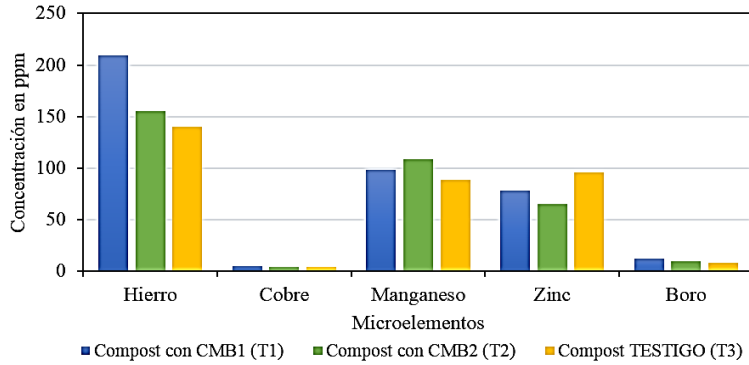


Figura 5. Concentración de microelementos presentes en el compost (ppm).

La presencia de microelementos fue diferente entre todos los tratamientos (Figura 5). Las más altas concentraciones de Hierro (209 ppm), Cobre (5 ppm) y Boro (12 ppm) se registraron en el compost inoculado con CMB1, la mayor concentración de Zinc (96 ppm) se evidenció en el compost testigo.

Reducción de masa en el proceso de compostaje

Durante el proceso de compostaje ocurre degradación de la materia orgánica mediada por la actividad microbiana lo cual conlleva a reducción de la masa inicial, en esta investigación el peso final en los tres tratamientos fue diferente (Figura 6), el mayor rendimiento se obtuvo en T1 con una reducción del 23,87%, seguido de T2 en el que decreció 32,42% y finalmente T3 en el cual disminuyó 34,68% de peso, con respecto a los pesos iniciales.

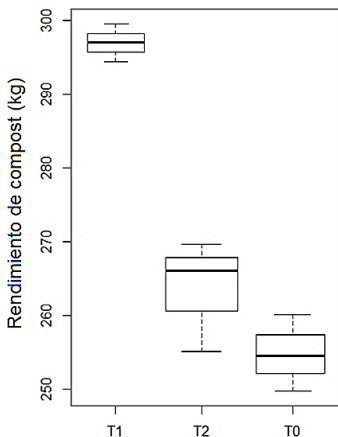


Figura 6. Rendimiento final de compost a partir de estiércol de gallinas con aplicación de microorganismos benéficos.

El compostaje de material orgánico depende de la actividad microbiana (He *et al.*, 2013); la aplicación de consorcios microbianos benéficos afectó el contenido de ácidos húmicos, siendo estos superiores en los compost con CMB1 (T1= 3-4%) y

CMB2 (T2= 3%) en comparación al tratamiento testigo (T3= 1%). La formación de sustancias húmicas se ve afectada por las características de la materia prima, la presencia de aditivos, la actividad microbiana y otros factores todos los cuales pueden interactuar entre sí (Guo *et al.*, 2019), los microorganismos cumplen funciones específicas que inciden en el proceso de compostaje y la calidad del producto final.

En los tratamientos inoculados con microorganismos benéficos se evidenció la supresión de malos olores desde la primera fase de compostaje coincidiendo con la investigación realizada por Fan *et al.* (2018) en la que evidencia que los resultados generales sugirieron el efecto positivo provisto de los microorganismos eficientes conformado por microorganismos benéficos, especialmente en el control del olor y la humificación.

La inoculación de consorcios microbianos benéficos no incide en la temperatura de los extremos ni del centro de la pila de compostaje, la fluctuación de temperatura en el tratamiento testigo fue análoga a la de los tratamientos inoculados con microorganismos benéficos, se deduce que la inoculación de microorganismos provenientes de especies vegetales no afecta a la temperatura de la pila y que esta varía acorde a las fases normales de compostaje: mesófila, termófila, enfriamiento y maduración. La temperatura más alta se constató en la semana 3, que es una fase muy dinámica donde la alta actividad microbiana conduce a una degradación acelerada de la materia orgánica (Sarkar *et al.*, 2016) por lo tanto al incremento de la temperatura. Al final del proceso en los tres tratamientos la temperatura se encuentra en los rangos de las características deseadas de un compost maduro; es un indicador de la calidad de la materia prima y también una buena respuesta que informa sobre la idoneidad de un procedimiento tecnológico aplicado (Marešová y Kollárová, 2010).

Durante el proceso de compostaje los valores de pH sufrieron modificaciones similares en todos los tratamientos, a las 13 semanas se incrementó su valor. Se considera que la actividad microbiana y la degradación de la materia orgánica tienen incidencia directa en la modificación del pH, se estima que de por sí la materia prima contiene microorganismos, el tipo de residuo determina los microorganismos que pueden desarrollarse en la etapa de maduración del compost (Villar *et al.*, 2016), por lo tanto, al tratarse de una materia orgánica común, los microorganismos predominantes serían los mismos, así como sus efectos. Se correlacionó positivamente la diversidad de la comunidad microbiana con el pH del compost así como con la relación carbono nitrógeno, actividad de la proteasa y nivel de nitrógeno total (He *et al.*, 2013). El contenido de nutrientes en el compost inoculado con consorcios microbianos benéficos difiere entre tratamientos, pero son superiores al del tratamiento testigo. El compost obtenido de estiércol de gallinas se considera de particular calidad, por ejemplo por sus contenidos nutricionales de fósforo y potasio cercano al de otros obtenidos de varios materiales en los que valores totales de P y K oscilaron entre 0,27% y 1,13% y 0,27% y 2,11%, respectivamente (Khater, 2015). La suplementación con materias primas ricas en nutrientes, adición de nutrientes de fuentes naturales y la inoculación de microorganismos, tiene el potencial de aumentar la concentración de nutrientes en el compost que al mismo tiempo, están disponibles para las plantas (Sánchez *et al.*, 2017), la importancia de las comunidades microbianas (bacterias, actinomicetos y hongos) está bien establecida durante el proceso (Chandna *et al.*, 2013), cumplen un papel determinante. De acuerdo al biograma microbiano se determinó prácticamente los mismos microorganismos en todos los tres tratamientos, pero en concentraciones mayores en los compost inoculados con consorcios microbianos benéficos. La diversidad microbiana durante el compostaje puede cambiar con la variedad de materiales de compostaje y suplementos nutricionales (Chandna *et al.*, 2013), el tamaño de las partículas se identificó como un control potencial de la diversidad bacteriana (Liu *et al.*, 2018), en este caso los tipos de residuos y tamaños son los mismos, por lo tanto, la diversidad de microorganismos. Las condiciones ambientales bajo las cuales se ejecutó la investigación fueron las mismas para todos los tratamientos y son condicionantes para el éxito microbiano. Los principales factores

ambientales se identificaron como un posible control de la diversidad bacteriana (Wang *et al.*, 2015).

Estimamos que la inoculación de consorcios microbianos benéficos favorece el proceso de compostaje, incrementa la carga microbiana y los contenidos nutricionales. Los inóculos bacterianos influyen en el proceso de compostaje, a través de la acción extracelular de enzimas como celulasa, hemicelulosa y ligninasas (Nadia *et al.*, 2015) alterando la descomposición de la celulosa y las hemicelulosas, causando modificaciones en la temperatura y los niveles de nitrógeno durante todo el proceso de compostaje (Ribeiro *et al.*, 2017), por consiguiente la disminución en la masa del producto final, como ocurrió en otra investigación con diferentes materiales en los que las reducciones en masa promediaron el 19,4% de la masa inicial y oscilaron entre el 11,5% y el 31,4% (Breitenbeck y Schellinger, 2004), a pesar que en un estudio de compostaje de residuos orgánicos domésticos se verificó que podría no ser necesario agregar inoculantes comerciales para facilitar el compostaje (Karnchanawong y Nissaikla, 2014).

En general, el impulso de bio-insumos enriquecidos con nutrientes requiere investigación y desarrollo no solo en la suplementación del compost mismo, sino también en el aislamiento e identificación de microorganismos y genes que permiten la degradación de la materia orgánica (Sánchez *et al.*, 2017), particularmente microorganismos obtenidos de especies vegetales, ya que cada planta es una fuente microbiana diversa (Alvarez-Vera *et al.*, 2018), la dinámica de la comunidad microbiana durante el proceso de compostaje permanece oscura (He *et al.*, 2013), los microorganismos poseen un potencial bio-tecnológico indiscutible (López-González *et al.*, 2015) que merecen especial atención.

En el compost final obtenido de estiércol de gallinas se verifica la presencia de un sinnúmero de microorganismos de interés agrícola, ambiental e industrial. El ecosistema de compostaje es una fuente adecuada para el descubrimiento de nuevos microorganismos y metabolitos secundarios (Jurado *et al.*, 2014), el compostaje es una fuente prometedora de nuevos organismos y enzimas termoestables que pueden ser útiles en la gestión ambiental y los procesos industriales (Antunes *et al.*, 2016). Los microorganismos de importancia agrícola son opciones amigables con el medio ambiente que regulan la eficiencia y accesibilidad de los nutrientes a las plantas de cultivo, mejorando así la fertilidad al

enriquecer la biodiversidad y los nutrientes en el suelo (Mahawar y Prasanna, 2018). En las 13 semanas de investigación de acuerdo a los parámetros registrados se considera que los compost de los tres tratamientos se encuentran maduros, sin embargo la madurez del compost no significa la calidad ya que esta principalmente se relaciona con la composición química (Muscolo *et al.*, 2018), la cual es superior en los dos tratamientos inoculados con consorcios microbianos benéficos en comparación con el tratamiento testigo, debido a que presenta contenido superior de nutrientes y ácidos húmicos, así como carga microbiana diversa y en mayor concentración. A través del compostaje; el reciclaje y la utilización de desechos agrícolas se consideran un paso importante para la protección del medio ambiente, estructura energética y desarrollo agrícola (Wang *et al.*, 2016), el compost se aplica para ayudar a restaurar los suelos perturbados, acelerar la revegetación y controlar la erosión (Al-Bataina *et al.*, 2016) en la que los microorganismos desempeñan un papel integral (Wang *et al.*, 2017).

4. Conclusiones

La aplicación de consorcios microbianos benéficos obtenidos de especies vegetales favorece el proceso de compostaje; la diferencia de temperatura y pH entre tratamientos no es notable. Los consorcios microbianos benéficos aceleran la degradación de la materia orgánica lo cual se evidencia en el mayor contenido de ácidos húmicos en comparación con el control. El compost obtenido a partir de estiércol de gallinas con aplicación de consorcios microbianos benéficos es de mejor calidad, presenta superiores características químicas y biológicas con respecto al tratamiento testigo, por lo tanto, es pertinente su aplicación en suelos para incrementar su fertilidad, así como el desarrollo de especies vegetales cultivadas y mejorar la anhelada producción de alimentos para la población en constante crecimiento. Los consorcios microbianos benéficos disminuyen la emisión de malos olores en el proceso de compostaje. Debido a las características del compost obtenido con inoculación de consorcios microbianos benéficos sería importante evaluar la incidencia de estos en la comunidad microbiana de las raíces, así como en el desarrollo de las plantas.

Referencias bibliográficas

- Al-Bataina, B.B.; Young, T.M.; Ranieri, E. 2016. Effects of compost age on the release of nutrients. *International Soil and Water Conservation Research* 4(3): 230-236.
- Alvarez-Vera, M.; Vázquez, J.; Castillo, J.; Tucta, F.; Meza, V. 2018. Potencial de la flora de la provincia del Azuay (Ecuador) como fuente de microorganismos benéficos. *Scientia Agropecuaria* 9(4): 561-568.
- Alvarez, M.; Tucta, F.; Quispe, E.; Meza, V. 2018. Incidencia de la inoculación de microorganismos benéficos en el cultivo de fresa (*Fragaria* sp.). *Scientia Agropecuaria* 9(1): 33-42.
- Antunes, L.P.; Martins, L.F.; Pereira, R.V.; Thomas, A.M.; Barbosa, D.; Lemos, L.N.; Silva, G.M.M.; Moura, L.M.S.; Epamino, G.W.C.; Digiampietri, L.A.; Lombardi, K.C.; Ramos, P.L.; Quaggio, R.B.; De Oliveira, J.C.F.; Pascon, R.C.; Da Cruz, J.B.; Da Silva, A.M.; Setubal, J.C. 2016. Microbial community structure and dynamics in thermophilic composting viewed through metagenomics and metatranscriptomics. *Scientific Reports* 6: 1-13.
- Aye, S.L. 2016. Composting of rice straw with effective microorganisms (EM) and its influence on compost quality. *Jour. Myan. Acad. Arts & Sc.* XIV (1): 317-331.
- Bolan, N.S.; Szogi, A.A.; Chuasavathi, T.; Seshadr, B. 2010. Uses and management of poultry litter. *World's Poultry Science* 66(4): 673-698.
- Brandelli, A.; Sala, L.; Kalil, S.J. 2015. Microbial enzymes for bioconversion of poultry waste into added-value products. *Food Research International* 73: 3-12.
- Breitenbeck, G.A.; Schellinger, D. 2004. Calculating the reduction in material mass and volume during composting. *Compost Science & Utilization* 12(4): 365-371.
- Chandna, P.; Nain, L.; Singh, S.; Kuhad, R.C. 2013. Assessment of bacterial diversity during composting of agricultural byproducts. *BMC Microbiology* 13(99): 1-14.
- Fan, Y Van.; Lee, C.T.; Klemes, J.J.; Chua, L.S.; Sarmidi, M.R.; Leow, C.W. 2018. Evaluation of Effective Microorganisms on home scale organic waste composting. *Journal of Environmental Management* 216: 41-48.
- Guo, X.; Liu, H.; Wu, S. 2019. Humic substances developed during organic waste composting: Formation mechanisms, structural properties, and agronomic functions. *Science of the Total Environment* 662: 501-510.
- He, Y.; Xie, K.; Xu, P.; Huang, X.; Gu, W.; Zhang, F.; Tang, S. 2013. Evolution of microbial community diversity and enzymatic activity during composting. *Research in Microbiology* 164: 189-198.
- Hernández-Cázares, A.S.; Real-Luna, N.; Delgado-Blancas, M.I.; Bautista-Hernández, L.; Velasco-Velasco, J. 2016. Residuos agroindustriales con potencial de compostaje. *Agroproductividad* 9(8): 10-17.
- Joshua, O.O. 2013. Solid waste management for sustainable development and public health: A case study of Lagos State in Nigeria. *Universal Journal of Public Health* 1(3): 33-39.
- Jurado, M.; López, M.J.; Suárez-Estrella, F.; Vargas-García, M.C.; López-González, J.A.; Moreno, J. 2014. Exploiting composting

- biodiversity: Study of the persistent and biotechnologically relevant microorganisms from lignocellulose-based composting. *Bioresource Technology* 162: 283-293.
- Karnchanawong, S.; Nissaiakla, S. 2014. Effects of microbial inoculation on composting of household organic waste using passive aeration bin. *International Journal of Recycling of Organic Waste in Agriculture* 3(4): 113-119.
- Khater, E.-S.G. 2015. Some physical and chemical properties of compost. *International Journal of Waste Resources* 5(1): 1-5.
- Kopec, M.; Gondek, K.; Mierzwa-Hersztek, M.; Antonkiewicz, J. 2018. Factors influencing chemical quality of composted poultry waste. *Saudi Journal of Biological Sciences* 25: 1678-1686.
- Kumar, B.L.; Gopal, D.V.R.S. 2015. Effective role of indigenous microorganisms for sustainable environment. *3 Biotech* 5(6): 867-876.
- Liu, L.; Wang, S.; Guo, X.; Zhao, T.; Zhang, B. 2018. Succession and diversity of microorganisms and their association with physicochemical properties during green waste thermophilic composting. *Waste Management* 73: 101-112.
- López-González, J.A.; Suárez-Estrella, F.; Vargas-García, M.C.; López, M.J.; Jurado, M.M.; Moreno, J. 2015. Dynamics of bacterial microbiota during lignocellulosic waste composting: Studies upon its structure, functionality and biodiversity. *Bioresource Technology* 175: 406-416.
- Mahawar, H.; Prasanna, R. 2018. Prospecting the interactions of nanoparticles with beneficial microorganisms for developing green technologies for agriculture. *Environmental Nanotechnology, Monitoring & Management* 10: 477-485.
- Mahmud, A.; Mehmood, S.; Hussain, J.; Ahmad, S. 2015. Composting of poultry dead birds and litter. *World's Poultry Science Journal* 71(4): 621-629.
- Marešová, K.; Kollárová, M. 2010. Influence of compost covers on the efficiency of biowaste composting process. *Waste Management* 30: 2469-2474.
- Muscolo, A.; Papalia, T.; Settineri, G.; Mallamaci, C.; Jeske-Kaczanowska, A. 2018. Are raw materials or composting conditions and time that most influence the maturity and/or quality of composts? Comparison of obtained composts on soil properties. *Journal of Cleaner Production* 195: 93-101.
- Nadia, O.F.; Xiang, L.Y.; Lie, L.Y.; Dzulkornain, C.A.; Mohammed, M.A.P.; Baharuddin, A.S. 2015. Investigation of physico-chemical properties and microbial community during poultry manure co-composting process. *Journal of Environmental Sciences* 28: 81-94.
- Pergola, M.; Persiani, A.; Palese, A.M.; Di Meo, V.; Pastore, V.; D'Adamo, C.; Celano, G. 2018. Composting: The way for a sustainable agriculture. *Applied Soil Ecology* 123: 744-750.
- Ribeiro, N.D.Q.; Souza, T.P.; Costa, L.M.A.S.; De Castro, C.P.; Dias, E.S. 2017. Microbial additives in the composting process. *Ciência e Agrotecnologia* 41(2):159-168.
- Sánchez, Ó.J.; Ospina, D.A.; Montoya, S. 2017. Compost supplementation with nutrients and microorganisms in composting process. *Waste Management* 69: 136-153.
- Sarkar, S.; Pal, S.; Chanda, S. 2016. Optimization of a vegetable waste composting process with a significant thermophilic phase. *Procedia Environmental Sciences* 35: 435-440.
- Sharma, A.; Saha, T.N.; Arora, A.; Shah, R.; Nain, L. 2017. Efficient Microorganism compost benefits plant growth and improves soil health in calendula and marigold. *Horticultural Plant Journal* 3(2): 67-72.
- Viaene, J.; Lancker, J. Van.; Vandecasteele, B.; Willekens, K.; Bijttebier, J.; Ruyschaert, G.; Neve, S. De; Reubens, B. 2016. Opportunities and barriers to on-farm composting and compost application: A case study from northwestern Europe. *Waste Management* 48: 181-192.
- Villar, I.; Alves, D.; Garrido, J.; Mato, S. 2016. Evolution of microbial dynamics during the maturation phase of the composting of different types of waste. *Waste Management* 54: 83-92.
- Wang, B.; Dong, F.; Chen, M.; Zhu, J.; Tan, J.; Fu, H.; Wang, Y.; Chen, S. 2016. Advances in recycling and utilization of agricultural wastes in China: Based on environmental risk, crucial pathways, influencing factors, policy mechanism. *Procedia Environmental Sciences* 31: 12-17.
- Wang, J.; Song, Y.; Ma, T.; Raza, W.; Li, J.; Howland, J.G.; Huang, Q.; Shen, Q. 2017. Impacts of inorganic and organic fertilization treatments on bacterial and fungal communities in a paddy soil. *Applied Soil Ecology* 112: 42-50.
- Wang, X.; Cui, H.; Shi, J.; Zhao, X.; Zhao, Y.; Wei, Z. 2015. Bioresource technology relationship between bacterial diversity and environmental parameters during composting of different raw materials. *Bioresource Technology* 198: 395-402.