

Evaluación del efecto de la aplicación de levaduras y gallinaza en la elaboración de abono orgánico

Luisa Karina Kastdalen Mendoza

**Escuela Agrícola Panamericana, Zamorano
Honduras**

Noviembre, 2017

ZAMORANO
CARRERA DE INGENIERÍA AGRONÓMICA

Evaluación del efecto de la aplicación de levaduras y gallinaza en la elaboración de abono orgánico

Proyecto especial de graduación presentado como requisito parcial para optar al título de Ingeniera Agrónoma en el Grado Académico de Licenciatura

Presentado por

Luisa Karina Kastdalen Mendoza

Zamorano, Honduras

Noviembre, 2017

Evaluación del efecto de la aplicación de levaduras y gallinaza en la elaboración de abono orgánico

Luisa Karina Kastdalen Mendoza

Resumen. El suelo está definido como el medio natural para el crecimiento de las plantas, la adición continua de residuos orgánicos de fácil descomposición lleva a la síntesis de compuestos orgánicos. El proceso de transformación de la materia orgánica consiste en la utilización de residuos que proveen el ambiente idóneo para la descomposición mediante la acción de los microorganismos. El objetivo de estudio fue evaluar el efecto de la aplicación de levaduras en la transformación de residuos orgánicos con gallinaza como fuente de nitrógeno y comparar el efecto del uso de levaduras. Se utilizó un BCA con cuatro tratamientos y tres repeticiones. Las variables evaluadas fueron la temperatura en 10 diferentes fechas y el pH, conductividad eléctrica, carbono, nitrógeno y la relación C/N para determinar la calidad una vez estabilizado el abono. Las levaduras incrementan más la temperatura en el tratamiento C/N=16:1+Lev en la etapa mesofílica y termofílica, es decir que niveles más altos de N y el uso de las levaduras permitieron mantener una mayor actividad de microorganismos. Las variables para determinar la calidad del abono no presentaron diferencias significativas entre tratamientos, es decir que la aplicación de levaduras no influyó las variables que determinan la calidad del abono.

Palabras clave: Relación carbono nitrógeno, residuos orgánicos, suelo.

Abstract. The soil is defined as the natural medium for the growth of plants, the continuous addition of easily decomposable organic waste leads to the synthesis of organic compounds the process of transformation of organic matter consists of the use of waste that provides the ideal environment for decomposition by the action of microorganisms. The objective of the study was to evaluate the effect of the application of yeast in the transformation of organic waste with chicken manure as a source of nitrogen and to compare the effect of the use of yeasts. A BCA with four treatments and three repetitions was used. The variables evaluated were the temperature in 10 different dates and the pH, electrical conductivity, carbon, nitrogen and the C / N ratio to determine the quality once the fertilizer stabilized. The yeasts increase more the temperature in the treatment C / N = 16: 1 + Lev in the mesophilic and thermophilic stage, that is to say that higher levels of N and the use of the yeasts allowed to maintain a greater activity of microorganisms. The variables to determine the quality of the fertilizer did not present significant differences between treatments, that is to say that the application of yeasts did not influence the variables that determine the quality of the fertilizer.

Key words: Carbon nitrogen ratio, organic waste, soil.

CONTENIDO

Portadilla	i
Página de firmas.....	ii
Resumen.....	iii
Contenido.....	iv
Índice de Cuadros y Figura	v
1. INTRODUCCIÓN.....	1
2. METODOLOGÍA.....	4
3. RESULTADOS Y DISCUSIÓN.....	10
4. CONCLUSIONES	15
5. RECOMENDACIONES	16
6. LITERATURA CITADA.....	17

ÍNDICE DE CUADROS Y FIGURAS

Cuadros	Página
1. Cantidades de materiales y su fuente usados en cada tratamiento	5
2. Nutrientes en la gallinaza y raquis del maíz.....	5
3. Concentración de carbono, nitrógeno y la relación carbono/nitrógeno de los componentes para la elaboración del abono orgánico para los tratamientos C/N=18:1 y C/N=18:1+Lev. Escuela Agrícola Panamericana, Zamorano.	6
4. Concentración de carbono y nitrógeno y la relación carbono/nitrógeno de los componentes para la elaboración del abono orgánico para los tratamientos C/N=16:1 y C/N=16:1+Lev.....	6
5. Calendarización de volteos y medición de temperatura en la elaboración de abono orgánico. Escuela Agrícola Panamericana Zamorano.....	7
6. Cambios de temperatura a lo largo de un mes de cuatro diferentes tratamientos en la elaboración de compost en un ensayo realizado en Zamorano, Honduras, 2017	12
7. Resultados del pH, CE, C, N y relación carbono nitrógeno en la evaluación de calidad de los tratamientos de abono orgánico. Escuela Agrícola Panamericana Zamorano.....	14
Figuras	Página
1. Precipitación diaria durante los días del ensayo	13

1. INTRODUCCIÓN

El suelo está definido como el medio natural para el crecimiento de las plantas. También se ha definido como un cuerpo natural conformado por capas denominados horizontes, estos están compuestos de materiales de minerales meteorizados, aire, agua y materia orgánica (FAO 2017).

La adición continua de residuos orgánicos de fácil descomposición lleva a la síntesis de compuestos orgánicos, los mismos que ligan partículas de suelo formando estructura y agregados. Este proceso mejora la porosidad, aireación e infiltración de los suelos (Weber 2006). Por esta razón cada vez se vuelve de mayor importancia el reciclamiento de nutrientes, a través de la incorporación de materia orgánica, más allá del manejo de residuos orgánicos, sino de mejorar las propiedades físicas químicas y biológicas del suelo y además como una fuente de nutrientes para las plantas.

El uso de materia orgánica en el suelo como prácticas culturales, ha sido usada desde hace muchos años. Pero ha ido experimentando un decrecimiento considerable, por el uso de fertilizantes, que son una fuente rápida de nutrientes la cual es conseguida a bajo costo. Sin embargo, últimamente ha vuelto el interés al tema de la materia orgánica relacionado con el manejo de residuos orgánicos. El uso de abonos orgánicos y fertilizantes naturales son de uso importante en la agricultura orgánica. Esta forma de producción ha aumentado recientemente, en el año 2000 se cultivó alrededor de 15 millones de hectáreas a nivel mundial, mientras que para el 2010 esta cifra aumentó llegando a 37 millones de hectáreas (Willer 2012). La materia orgánica sin descomponer está formada por hidratos de carbono simples y complejos, compuestos nitrogenados, lípidos, polímeros, compuestos fenólicos y minerales. Estos compuestos son depositados al suelo por factores naturales como los microorganismos y otros organismos (Meléndez y Soto 2003).

El proceso de transformación de la materia orgánica, consiste en la utilización de residuos orgánicos, compuestos principalmente por nitrógeno, carbono, oxígeno y agua. Esto, provee el ambiente idóneo para el proceso de descomposición mediante la acción de los microorganismos del suelo. A través del control y monitoreo de la humedad, temperatura, tamaño de partícula del material, se puede favorecer o acelerar el proceso de degradación de la materia orgánica. Los diferentes grados de control implican diferentes técnicas de compostaje. A grandes escalas, el compost se puede realizar en pilas, tanques o naves cerradas. La forma que se usa con mayor frecuencia son las pilas, ya que su estructura es más versátil y ofrece la facilidad de adecuar el proceso de acuerdo a las necesidades del clima, la materia prima o la disponibilidad de recursos económicos (Rodríguez y Córdova 2006).

El compostaje de estiércoles y otros residuos son procesos aeróbicos de transformación de residuos orgánicos, animales y vegetales, que ocurren constantemente en la naturaleza bajo la acción de lombrices, bacterias y hongos descomponedores de la materia orgánica. Estos microorganismos son de mucha importancia ya que cumplen roles críticos en estos servicios ecosistémicos. La amplia actividad metabólica de los microorganismos del suelo contribuye en el ciclo de elementos importantes como carbono nitrógeno, fósforo y estos ciclos influyen directamente en cómo las funciones ecosistémicas de los suelos están estructuradas y esto a su vez mejora la capacidad de los suelos para proveer servicios a los agricultores (Aislabie y Deslippe 2010).

Waksman (1927) calculó que 100 millones de bacterias por gramo de suelo, ocupan apenas 1/10,000th del volumen del suelo, lo que afirma que las reacciones bioquímicas del suelo suceden a una escala nanométrica. Los microorganismos de un suelo promedio con 2% de materia orgánica pueden generar en promedio $300 \mu\text{g C g}^{-1}$ de biomasa en el suelo, es decir un 0.06% del volumen total del suelo (Waksman 1927). Las cantidades de microorganismos son relativas y dependen de las condiciones del suelo. Las formas generales en que se maneja el suelo, la acidez y los tipos de residuos agregados determinan la abundancia de hongos y bacterias (SARE 2010).

Las bacterias son organismos de vida libre y muchas son comunes en los suelos, como los actinomicetos, de los que se derivan filamentos. Muchos de estos pueden moverse por flagelos, asimismo pueden formar filamentos delgados denominados pili, que pueden unir unos a otros o agrupar las partículas de suelo. Como todos los organismos, estas bacterias requieren carbono para poder elaborar material celular, además requieren energía para conducir las reacciones de síntesis y metabolismo. Para respirar necesitan oxígeno, mientras que otras bacterias y algunas arqueas usan electrones alternativos como nitratos y sulfatos (Aislabie y Deslippe 2010). Algunos de ellos se clasifican en autótrofos y heterótrofos. Los autótrofos usan la luz del sol como energía o compuestos inorgánicos como hierro, nitratos o nitritos para producir moléculas orgánicas. Por otro lado, los heterótrofos utilizan compuestos orgánicos como fuente de carbono y energía (Woese *et al.* 1990).

Los hongos están más relacionados con las plantas y animales a comparación de las bacterias. Estos tienen una pared celular compuesta por glucanos y quitina. Son organismos heterótrofos y su estrategia nutricional es alimentarse de materia en deterioro. Un gran número de estos organismos crece a partir de unas estructuras llamadas hifas, estas constituyen el micelio que es el cuerpo principal de los hongos. El micelio ocupa un gran volumen de suelo y produce una amplia variedad de enzimas que actúan sobre la materia orgánica del suelo y los compuestos minerales para liberar los nutrientes y energía que el hongo necesita para crecer (Lindahl *et al.* 2007).

La microbiota del suelo contribuye al ciclo de nutrientes esenciales para la vida. La mineralización de los compuestos orgánicos ocurre cuando estos se degradan completamente a compuestos inorgánicos como dióxido de carbono, amonio y agua. En los ecosistemas del suelo los mayores descomponedores son los hongos, quienes a su vez constituyen la mayor parte de la biomasa del suelo. Sin embargo, tanto las bacterias como

los hongos degradan moléculas orgánicas complejas que otros organismos no pueden desdoblar.

En el proceso de transformación de residuos orgánicos se da una descomposición aeróbica, donde los materiales más lábiles y con menor tamaño de partícula se descomponen con mayor rapidez debido a la intervención de bacterias, hongos y actinomicetos. Posteriormente aparecen los microorganismos termófilos, quienes inician la descomposición de materiales más complejos o recalcitrantes como la lignina y finalmente en la fase de enfriamiento y maduración se da la formación de las sustancias húmicas (Paul y Clark 1996).

El aprovechamiento de los residuos orgánicos cobra cada día mayor importancia como medio eficiente de reciclaje racional de nutrientes, que ayuda al crecimiento de las plantas y devuelven al suelo muchos de los elementos extraídos durante el proceso productivo (Cerrato *et al.* 2007). Asimismo, mejoran las características físicas y previenen la erosión del suelo, reducen la dependencia de insumos externos de alto costo económico y ambiental, enfocado a una agricultura sostenible, en donde se disminuye y elimina el empleo de agroquímicos a fin de proteger el ambiente y la salud animal y humana (Acevedo y Pire 2004). Para productores de subsistencia o productores a menor escala el compostaje es una alternativa para fertilizar cultivos y obtener alimentos de alta calidad nutricional gracias al reciclaje de nutrientes.

Los objetivos de este estudio fueron:

- Evaluar el efecto de la aplicación de levaduras y dos cantidades de fuente de nitrógeno en la calidad del abono orgánico.
- Evaluar el efecto de la aplicación de levaduras en la temperatura de las pilas para transformación de residuos orgánicos con gallinaza como fuente de nitrógeno.
- Evaluar el efecto de dos niveles de fuente de nitrógeno en la calidad del abono orgánico.

2. METODOLOGÍA

Ubicación del estudio.

El estudio se realizó en la compostera de parcela de Conservación de Suelos del Departamento de Ciencia y Producción Agropecuaria de la Escuela Agrícola Panamericana Zamorano. La temperatura media anual es de 24 °C y la precipitación media anual de 1,100 mm.

Limpieza y adecuación de la compostera.

En la compostera de la parcela de suelos, se removió todo el material de residuos vegetales como rastrojos, residuos de cosecha y pastos, que se obtienen después de realizar podas. Posteriormente se removió el suelo del área para disminuir la pendiente y establecer las pilas de abono orgánico.

Tratamientos.

Para la conformación de las pilas de abono orgánico se usaron pasto seco, raquis del maíz como fuente de carbono, el cual fue recolectado de la compostera de la unidad de Agricultura Orgánica, suelo extraído del área de la compostera de la parcela de suelos y gallinaza, que se encontraba en condiciones bajo techo en los galpones de las gallinas ponedoras de la unidad de Aves de Zamorano. Se estableció el volumen en sacos de los materiales usados para cada tratamiento y luego se pesaron.

El tratamiento (C/N=18:1) consistió en tres sacos de raquis del maíz, dos sacos de gallinaza, medio saco de pasto seco y un saco de suelo. El tratamiento (C/N=18:1+Lev), llevó la misma cantidad de materiales que el tratamiento uno, con la diferencia de que se agregó levadura (Lev). El tratamiento tres (C/N=16:1), llevó los mismos materiales que los tratamientos anteriores con un saco de gallinaza adicional. El tratamiento cuatro (C/N=16:1+Lev) se elaboró con los mismos materiales que el tratamiento C/N=16:1, pero se le añadió levadura.

En el Cuadro 1 se muestran los materiales, el volumen y el peso usado en cada tratamiento.

Cuadro 1. Cantidades de materiales y su fuente usados en cada tratamiento

Tratamiento	Fuente	Material	Sacos (#)	Peso (kg)
C/N=18:1	Carbono	raquis del maíz	3.0	77.7
	Nitrógeno	gallinaza	2.0	88.6
	Carbono	pasto seco	0.5	2.7
	Microorganismos	suelo	1.0	0.0
C/N=18:1+Lev	Carbono	raquis del maíz	3.0	77.7
	Nitrógeno	gallinaza	2.0	88.6
	Carbono	pasto seco	0.5	2.7
	Microorganismos	suelo	1.0	0.0
C/N=16:1	Carbono	raquis del maíz	3.0	77.7
	Nitrógeno	gallinaza	3.0	133.0
	Carbono	pasto seco	0.5	2.7
	Microorganismos	suelo	1.0	0.0
C/N=16:1+Lev	Carbono	raquis del maíz	3.0	77.7
	Nitrógeno	gallinaza	3.0	133.0
	Carbono	pasto seco	0.5	2.7
	Microorganismos	suelo	1.0	0.0

Sacos (#)= número de sacos; Lev= levaduras

Análisis de nutrientes de los materiales usados.

Los materiales se analizaron en el Laboratorio de Suelos de Zamorano (LSZ). Para el establecimiento de las pilas de abono orgánico. Se determinaron los nutrientes y la humedad en la gallinaza la cual fue de 41.1 %. En el raquis del maíz usado se analizó pH, C.O., M.O., N, la relación carbono nitrógeno (C/N) y se determinó la humedad en 6.7 %. El resultado de los análisis de la gallinaza y el raquis del maíz se detallan en el Cuadro 2.

Cuadro 2. Nutrientes en la gallinaza y raquis del maíz.

Material	g/100g								mg/kg				Rel C/N
	pH	C.O.	M.O.	N	P	K	Ca	Mg	Cu	Fe	Mn	Zn	
Gallinaza	7.0	25.4	43.8	3.4	1.8	3.5	8.4	0.8	43.0	1365.0	440.0	307.0	7.5
Raquis de maíz	5.7	42.3	72.9	1.5	-	-	-	-	-	-	-	-	27.8

C.O.= carbono orgánico; M.O. = materia orgánica; Rel C/N = relación carbono nitrógeno
Fuente: Laboratorio de Suelos Zamorano (LSZ)

Cálculo de porcentajes de carbono, nitrógeno y su relación de los materiales

Para calcular la relación C/N de la mezcla, se utilizaron los datos de C y N de la gallinaza y el raquis del maíz (Cuadro 2). Para el pasto seco se usaron los porcentajes de C y N expuestos por Restrepo (2007).

Se determinó el porcentaje de C y N y la relación entre sí de estos dos elementos en los materiales usados en cada tratamiento. Se utilizaron los valores del Cuadro 2 y para el pasto seco se usó los porcentajes de C y N expuestos por Restrepo (2007). Las relaciones se estimaron con base en el peso de cada material, restándoles la humedad, para obtener el aporte real de nutrientes de estos materiales. Los porcentajes de C y N de los materiales se sumaron para obtener la relación los porcentajes de C y N por el peso sin humedad de los materiales usados en cada tratamiento (Cuadros 3 y 4).

Los dos primeros tratamientos, donde se usaron dos sacos de gallinaza se obtuvo una relación C/N de 18:1. Para la tercer y cuarto tratamiento se usaron tres sacos de gallinaza y la relación C/N obtenida fue de 16:1 (Cuadro 3 y 4).

Cuadro 3. Concentración de carbono, nitrógeno y la relación carbono/nitrógeno de los componentes para la elaboración del abono orgánico para los tratamientos C/N=18:1 y C/N=18:1+Lev. Escuela Agrícola Panamericana, Zamorano.

Material	Peso (kg)	C (%)	N (%)	C (kg)	N (kg)	Rel. C/N
Raquis del maíz	70.0	42.3	1.5	29.6	1.1	27.8
Gallinaza	30.7	25.4	3.4	7.8	1.0	7.5
Pasto seco	2.7	54.1	0.7	1.5	0.0	83.3
Σ Total				38.9	2.1	18.3

Lev= levaduras; %C= porcentaje de carbono del material; %N= porcentaje de nitrógeno del material; C kg= aporte de carbono en kilogramos; N kg= aporte de nitrógeno en kilogramos; Rel C/N= relación carbono nitrógeno.

Cuadro 4: Concentración de carbono y nitrógeno y la relación carbono/nitrógeno de los componentes para la elaboración del abono orgánico para los tratamientos C/N=16:1 y C/N=16:1+Lev.

Material	Peso (kg)	C (%)	N (%)	C (kg)	N (kg)	Rel. C/N
Raquis del maíz	70.0	42.3	1.5	29.6	1.1	27.8
Gallinaza	46.1	25.4	3.4	11.7	1.6	7.5
Pasto seco	2.7	54.1	0.7	1.5	0.0	83.3
Σ Total				42.8	2.6	16.2

Lev= levaduras; %C= porcentaje de carbono del material; %N= porcentaje de nitrógeno del material; C kg= aporte de carbono en kilogramos; N kg= aporte de nitrógeno en kilogramos; Rel C/N= relación carbono nitrógeno.

Elaboración de las pilas de compost.

Los materiales se colocaron proporcionalmente en capas en el siguiente orden para todos los tratamientos: raquis del maíz, gallinaza, raquis del maíz, pasto seco, raquis del maíz, suelo, raquis del maíz, gallinaza, raquis del maíz y finalmente suelo

En el tratamiento C/N=18:1+Lev, se colocaron los materiales y luego se agregó levaduras diluidas con melaza. Para el tratamiento C/N=16:1 el orden de los materiales fue el mismo que en los primeros, con la diferencia de que se agregó la cantidad de gallinaza establecida para este tratamiento (Cuadro 1). En el tratamiento C/N=16:1+Lev se colocaron los materiales en el mismo orden y con la misma cantidad de fuente de nitrógeno que el tratamiento C/N=16:1 y se le agregó levadura diluida en melaza y agua.

Dilución de levadura.

Se diluyeron 9.46 L con agua hasta alcanzar un volumen de 200 L de melaza con agua. Se utilizaron dos paquetes de levadura Fermipan de 500g. La levadura se diluyó con agua en un balde para evitar la formación de grumos. Luego se agregó lentamente la levadura disuelta a la mezcla de agua y melaza de 200 litros. El factor de dilución fue de 5 g de levaduras por cada litro de mezcla de agua y melaza. Esto se agregó a los tratamientos C/N=18:1+Lev y C/N=16:1+Lev con sus respectivas repeticiones. La melaza se usa como fuente de energía para los organismos favoreciendo una rápida multiplicación de los mismos y la levadura como fuente de inoculación biológica para acelerar los procesos de descomposición (Restrepo 2010).

Volteos y medición de temperatura.

De acuerdo a las semanas programadas para este ensayo, se calendarizaron los volteos y muestreos de temperatura en 10 fechas diferentes. Los volteos se realizaron un día antes de la toma de temperatura (Cuadro 5), con palas, homogenizando los materiales de las pilas para garantizar una correcta aireación.

Durante la primera y segunda semana se realizaron tres volteos y tres mediciones de temperatura. En la tercera semana se hicieron dos volteos y dos mediciones de temperatura y en la cuarta y quinta semana se realizó un volteo y medición de temperatura en cada semana. Las mediciones de la temperatura se realizaron a 30 cm de profundidad en la pila y en tres lugares diferentes: en los dos extremos y al centro de la pila.

Cuadro 5. Calendarización de volteos y medición de temperatura en la elaboración de abono orgánico. Escuela Agrícola Panamericana Zamorano.

Mes	Actividades	
	Volteo	Medición Temperatura
Junio	3, 5, 7 DE	4, 6 DE
Julio	3, 5, 7, 12, 14, 17 y 24 DE	8, 11, 13, 15, 18, 25 Y 32 DE

DE= días después de elaborado

Medición de la calidad del abono orgánico.

Se tomó una muestra de aproximadamente medio kg del centro de cada pila y fue llevada al laboratorio de suelos de Zamorano, para medir la conductividad eléctrica, el pH, el contenido de carbono y nitrógeno del abono orgánico. La muestra fue ingresada al laboratorio y secada al aire. Se usaron los métodos del Manual de Procedimientos Técnicos del Laboratorio de suelos Zamorano.

Conductividad eléctrica. Se pesaron 200 g de muestra en un beaker plástico de 600 ml, el cual se rotuló previamente. Luego con una probeta se añadió agua destilada en pequeñas proporciones mientras se mezclaba con una espátula de metal hasta que la muestra alcanzó la saturación. Los beakers se taparon con papel aluminio y se dejaron reposar por 24 horas. Al día siguiente se corroboró el criterio de saturación las muestras. Se utilizó una bomba de vacío para realizar la filtración, se colocó la muestra en un embudo buchners y se esperó hasta que el volumen del filtrado sea por lo menos de 5 mL. Se tomó la muestra de 5 mL con una pipeta volumétrica y se colocó en un frasco plástico, después se agregó 45 mL de agua destilada a cada frasco y se agitó. Por último, se tomó la lectura de conductividad eléctrica (Rhoades 1996).

Medición de pH. Se pesaron 3 g de muestra en un beaker y se agregó 50 mL de agua destilada. Cada muestra se dejó reposar por 30 minutos. Se insertó el electrodo en la suspensión y se tomó la lectura del pH (AOAC 2005).

Determinación de carbono. Se pesaron las muestras en la balanza analítica en un papel encerado, este papel se colocó dentro de un Erlenmeyer de 500 mL. Se agregó 10 mL de dicromato de potasio con una pipeta y se giró el frasco con suavidad para dispersar la solución. En la campana de gases se agregaron 20 mL de ácido sulfhídrico concentrado y se giró el frasco para mezclar los reactivos. Estas muestras reposaron por 30 minutos y se agregó 200 mL de agua para diluir. Posteriormente se agregó 10 mL de ácido fosfórico con un dispensador y 0,2 g de NaF. Previo a la titulación se agregó 10 gotas de indicador ferroín. Finalmente se tituló agregando volúmenes de Fe^{+} , la solución se tornó amarilla, luego gris y finalmente alcanzó una coloración rojo vino lo que indicó el final (Walkley y Black 1934).

Determinación de nitrógeno. Se pesó 1 g de muestra en papel encerado y se colocó dentro del tubo de digestión. Luego se agregó catalizador para acelerar la reacción y se agregó 12 mL de ácido sulfúrico concentrado y se colocaron los tubos en el digestor por una hora aproximadamente hasta que la muestra se tornó verde. Se retiraron las muestras, se dejaron enfriar los tubos y se colocaron en el destilador de Kjeldahl por cinco minutos. El destilado se recibió en un Erlenmeyer con 25 mL de ácido bórico colocado previamente. Luego se tituló cada muestra con ácido sulfúrico agregando pequeños volúmenes hasta que se tornó color rosa violáceo (Kjeldahl 1992).

Variables evaluadas.

Las variables evaluadas fueron la temperatura a los cuatro, seis, ocho, 11, 13, 15, 18, 21, 25 y 32 días después de elaborado (DE). También conductividad eléctrica, pH, carbono, nitrógeno y la relación carbono nitrógeno al final del experimento.

Diseño experimental.

Se usó un Diseño en bloques completamente al Azar (BCA) con cuatro tratamientos y 3 repeticiones por tratamiento. Cada pila de abono orgánico representa una repetición con tres sitios de muestreo de temperatura.

Análisis estadístico.

Se realizó un Análisis de Varianza con separación de medias con el test Duncan. El nivel de significancia con $P \leq 0.05$. Para el análisis se usó el programa estadístico Statistical Analysis System (SAS versión 9.4®)

3. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Temperatura

En el día 4 después de elaborado (DE) de la pila, se encontró diferencia significativa entre los tratamientos, siendo los tratamientos C/N=18:1+Lev y C/N=16:1+Lev los que alcanzaron la temperatura más alta a diferencia de los tratamientos C/N=18:1 y C/N=16:1 (Cuadro 6). A partir del día 6DE, el abono orgánico entró en la etapa mesofílica, ya que las temperaturas estaban de 24.4 a 27.2 °C. Aquí los tratamientos C/N=18:1+Lev y C/N=16:1+Lev no presentaron diferencia ($P \leq 0.05$) entre sí, pero sí lo hicieron con los tratamientos C/N=18:1 y C/N=16:1 (Cuadro 6).

En esta etapa las temperaturas suben con facilidad debido al alto contenido de sustrato o material listo para degradar que tiene la pila al inicio. Esto genera grandes cantidades de energía calórica metabólica por la actividad de los microorganismos, provocando el incremento de la temperatura (Stofella y Kanh 2001). Se observó que en los días 4, 6 y 8DE (Cuadro 6) los tratamientos que presentaron temperaturas más altas fueron los que tenían levaduras diluidas con melaza, lo cual contribuyó a una mayor proliferación de los microorganismos y generación de calor (Restrepo 2010).

Continuó con la etapa termofílica a los 11 y 13 DE (Cuadro 6), estos resultados concuerdan con Ramos *et al.* (2014), donde las temperaturas de un bocashi ascienden progresivamente hasta el día 15DE. Por otro lado, difiere con la investigación de Medina *et al.* (2013), donde realizó un bocashi, el cual alcanza la etapa termófila a los 3DE y se mantiene en un rango de temperatura de 50 a 60°C durante tres días y luego empieza a decaer. En el día 13 DE el tratamiento C/N=16:1+Lev tuvo la temperatura más alta, seguido por el tratamiento C/N=16:1. Aquí podemos notar que el alto contenido de nitrógeno de estos tratamientos influyó en la temperatura. Para el día 15 DE (Cuadro 6) las temperaturas vuelven a caer en la etapa mesofílica y esta se extiende más que la primera debido que aquí comienza el proceso de enfriamiento y hay menor disponibilidad de sustrato. Al día 18 DE, volvió a predominar la temperatura del tratamiento con mayor contenido de nitrógeno y levaduras (C/N=16:1+Lev) mientras que en los tratamientos restantes no hubo diferencias. En el día 21 DE los tratamientos con diferentes relaciones C/N obtuvieron la mayor temperatura. En el día 25 DE el tratamiento C/N=18:1+Lev mantuvo la temperatura más alta. Los cambios de temperatura están asociados a la población microbiana altamente activa y diversa que se encuentran en las pilas. Conforme la temperatura varía, hay una sucesión de comunidades de microorganismos que se adaptan a la temperatura predominante. El tratamiento que mantuvo la temperatura más elevada en la mayoría de las mediciones fue C/N=16:1+Lev. El paso de una etapa a otra, es decir la transición entre comunidades mesófilas y termófilas puede causar una pérdida en la eficiencia de la degradación de los residuos orgánicos (Cooper *et al.* 2002).

Las temperaturas alcanzadas por los diferentes tratamientos no lograron sobrepasar las temperaturas que se requieren para garantizar un abono libre de patógenos, ya que ninguno de los tratamientos alcanzó temperaturas superiores a 60 °C (García *et al.* 2016).

Cuadro 6. Cambios de temperatura a lo largo de un mes de cuatro diferentes tratamientos en la elaboración de compost en un ensayo realizado en Zamorano, Honduras, 2017

Tratamientos	Temperatura (°C)											
	4 DE	6 DE	8 DE	11 DE	13 DE	15 DE	18 DE	21 DE	25 DE	32 DE		
C/N=18:1	21.0 b [‡]	24.4 b	31.2 b	50.7	47.0 c	43.2	40.2 b	36.0 b	34.8 b	25.7 a		
C/N=18:1+Lev	23.1 a	26.4 a	33.1 a	47.3	50.8 cb	43.7	40.0 b	38.1 a	38.9 a	25.3 ab		
C/N=16:1	21.4 b	24.8 b	31.4 b	49.8	53.0 ab	43.7	39.4 b	35.4 b	27.3 c	24.3 b		
C/N=16:1+Lev	23.7 a	27.2 a	33.4 a	48.3	56.1 a	48.6	44.6 a	39.1 a	35.8 b	25.1 ab		

[‡]: Medias entre columnas con letras diferentes indican que si hubo diferencias significativas ($P \leq 0.05$).

DE= Días después de elaborado

Efecto de la lluvia

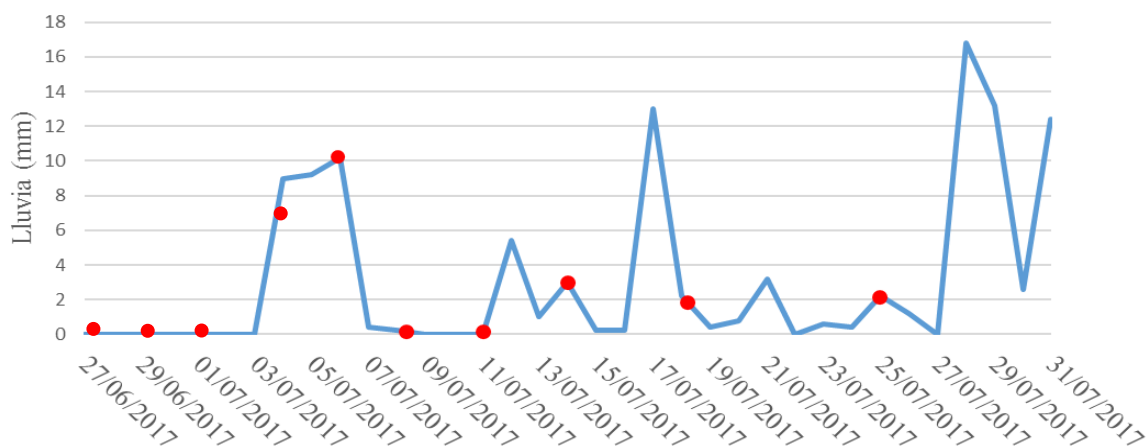


Figura 1: Precipitación diaria durante los días del ensayo.

Elaboración propia. Datos de la Estación Climatológica del Campus Central de la Escuela Agrícola Panamericana Zamorano

En los días donde se realizó la toma de temperaturas hubo precipitaciones, en los primeros días de Julio (Figura 1). En esos días la temperatura se elevó y se mantuvo por arriba de 47°C (Cuadro 6) por aproximadamente cinco días, pero no logró superar los 60 °C. Posiblemente en estos días hubiese alcanzado altas temperaturas, sin embargo, la incidencia del agua en las pilas de abono limitó la actividad microbiana al reducir la cantidad de oxígeno disponible para los microorganismos. En los días siguientes las temperaturas continuaron bajando. A los 15 días después de establecido (DE) y 18DE, no hubo precipitación, por lo cual no se provocó mayor anegamiento. En el día 21DE, las pilas volvieron a recibir agua, pero el descenso de la temperatura fue mínimo al día 25DE ya que no bajó de 27 °C. En el día 32DE se alcanzó la etapa termófila.

La humedad de la masa de la materia en descomposición debe ser suficiente sin llegar a ocupar completamente el espacio poroso de las pilas de abono, para evitar que se generen condiciones anaeróbicas que disminuyen en gran medida la velocidad de este proceso. La humedad óptima para el crecimiento microbiano debe estar entre 50-70%; la actividad biológica disminuye considerablemente cuando la humedad está por debajo de 30% o por encima de 70% (Schulze 1961).

Medición de calidad del abono.

La variable de pH no tuvo diferencia ($P > 0.05$) entre las medias de los tratamientos (Cuadros 7). También se observa que el pH es básico, lo cual no es ideal para la fertilidad del suelo. Estos resultados difieren de un estudio realizado por Pérez *et al.* (2010), donde el pH obtenido al compostar diferentes estiércoles fue 7.37 y 7.36.

Por otro lado, en una investigación realizada por Ventura y Mayanga (2012), se encontraron valores de pH entre 6.5 y 8.5 en el compost, acercándose este último a los valores de pH alcanzados con los diferentes tratamientos (Cuadro 7). Otro factor al cual se le puede

atribuir la alcalinidad del pH de las pilas es la liberación del ion amonio (Herrera *et al.* 2008).

En la variable de conductividad eléctrica (CE) tampoco se encontró diferencia significativa entre los tratamientos. Así mismo, Ventura y Mayanga (2012), afirman que la CE del compost varía de cinco a 30 mS/cm, es decir 0.5 a 3 dS/m este valor se acerca al resultado de CE de los tratamientos de abono orgánico ya que estos van de 2 a 2.4 (Cuadro 7). Según Fortis *et al.* (2009), la incorporación de biocompost al suelo, cambió la conductividad eléctrica de 0.146 dS/m a una CE de 0.285 dS/m, sin embargo, ese valor no representa una diferencia significativa entre aplicar otra enmienda orgánica en su experimento.

Con respecto al nitrógeno (N), no se percibieron diferencias significativas entre los tratamientos, pero sí se evidencia una disminución considerable del contenido de nitrógeno que tuvieron los materiales al momento de la elaboración de las pilas de abono orgánico (Cuadros 3 y 4). En un estudio, donde se evaluó el contenido de nitrógeno en diferentes etapas del proceso de transformación de residuos, se comprobó que en su mayoría el nitrógeno se pierde por volatilización en forma de amoníaco, a pesar de que el contenido de nitrito debería aumentar debido a la mineralización de este elemento, existen pérdidas por lixiviación (Riera *et al.* 2014). Por este motivo el contenido de nitrógeno disminuye a lo largo del proceso de transformación de los residuos orgánicos.

Una de las causas de la baja cantidad de carbono puede ser la incidencia de agua durante la elaboración del abono orgánico, ya que esta puede provocar la lixiviación de los nutrientes. Según estudios realizados un valor de C/N entre 10 y 20 se propone como aceptable, y se considera que los abonos con valores menores de 10 tienen una liberación más rápida de nutrientes por volatilización (Pérez *et al.* 2010).

Cuadro 7. Resultados del pH, CE, C, N y relación carbono nitrógeno en la evaluación de calidad de los tratamientos de abono orgánico. Escuela Agrícola Panamericana Zamorano.

Tratamientos	Variables				
	pH	CE (dS/m)	C (%)	N (%)	C/N
C/N=18:1	8.6	2.1	6.0	1.5	4.3
C/N=18:1+Lev	8.6	2.3	6.4	1.8	3.6
C/N=16:1	9.0	2.4	6.7	2.2	4.1
C/N=16:1+Lev	8.9	2.0	6.2	2.7	2.3

¥: No hubo diferencias significativas ($P > 0.05$).

4. CONCLUSIONES

- La aplicación de levaduras tuvo un efecto en elevar la temperatura de las pilas, sin embargo, el nivel de nitrógeno más alto con levaduras (C/N=16:1+Lev), permitió mantener altas temperaturas por más tiempo.
- Independientemente de la aplicación de levaduras, las curvas de temperatura en los tratamientos siempre siguen un patrón en cada una de sus etapas.
- Las temperaturas más altas provocadas por las levaduras no tienen un efecto en la calidad del abono orgánico por los valores presentados.

5. RECOMENDACIONES

- Evaluar el efecto en usar dosis de carbono mayores, para una relación C/N más alta.
- Repetir el experimento haciendo mediciones de temperatura previas al volteo.
- Probar en cultivo el efecto de la aplicación del abono obtenido.
- Determinar en el laboratorio la composición del abono en contenido de nutrientes.

6. LITERATURA CITADA

- Acevedo IC, Pire R. 2004. Efectos del lombricompost como enmienda de un sustrato para el crecimiento del lechoso (*Carica papata L.*). *Interciencia*. 29(5): 274-279.
- Aislabie J, Deslippe J. 2010. Soil microbes and their contribution to soil services. Manaaki Whenua Landcare research: New Zealand; [consultado 2017 oct 28]. https://www.landcareresearch.co.nz/__data/assets/pdf_file/0018/77040/1_12_Aislabie.pdf
- AOAC. AOAC 973.04 pH in peats. 2005. AOAC. Official Analysis Methods.
- Cerrato ME, Leblanc HA, Kameko C. 2007. Potencial de mineralización de nitrógeno de bocashi compost y lombricompost producidos en la universidad EARTH. *Tierra tropical*. 3(2): 183-197.
- Cooper JN, Anderson JG, Campbell CD. 2002. How resilient are microbial communities to temperature changes during composting. *In* Insam H, Riddech N, Klammer S. *Microbiology of composting*. Springer, Berlin, Heidelberg. p. 3-16.
- FAO (Organización de las naciones unidas para la alimentación y la agricultura). 2017. Portal de suelos de la FAO. [internet]. [consultado 2017 mayo 03]. <http://www.fao.org/soils-portal/about/definiciones/es/>
- Fortis M, Leos-Rodríguez JA, Preciado P, Orona I, García Salazar JA, García Hernández JL, Orozco J. 2009. Aplicación de abonos orgánicos en la producción de maíz forrajero con riego por goteo. *Terra Latinoam*. 27: 329-336. http://www.scielo.org.mx/scielo.php?pid=S018757792009000400007&script=sci_arttext
- García Castro G, Daza MC, Marmolejo LF. 2016. Evaluación de la adecuación de humedad en el compostaje de biorresiduos de origen municipal en la Planta de Manejo de Residuos Sólidos (PMRS). *Gestión y Ambiente*. 19(1): 179-191.
- Herrera F, Castillo JE, Chica AF, López B. 2008. Use of municipal solid waste compost (MSWC) as a growing medium in the nursery production of tomato plants. *Bioresource Technology*. (99): 287-296. [consultado 2017 nov 10]. <http://www.avensonline.org/wp-content/uploads/JPBSH-2331-8996-01-0005.pdf>

- Kjeldahl J. 1992. Chemical and Microbiological Properties. Determination of Nitrogen according to Kjeldahl using Block Digestion and Stream Distillation. *Methods of Soil Analysis*. 2nd ed:50-63.
- Lindal CL, Hamady K, Boberg J, Trumbore SE, Hogberg P, Stenlid J, Finlay RD. 2007. Spatial separation of litter decomposition and mycorrhizal nitrogen uptake in a boreal forest. *New Phytologist*. 173(3): 611-620.
- Conductividad eléctrica de los suelos. 2015. Manual de Procedimientos Técnicos del Laboratorio de Suelos Zamorano. Vol. LSZ-P211-9.
- Medina Saavedra T, Arroyo Figueroa G, Gómez Luna B, Herrera Méndez C. 2013. Uso de cromatogramas en el análisis de composta tipo bocashi y comparación con dos suelos. *In: José Antonio Rangel Lucio (Editor). 1er. Congreso Nacional de Ciencia y Tecnología Agropecuaria. SOMECTA. ISBN 978-607-96093-1-3. Roque, Celaya, Guanajuato, de 14 a 16 de noviembre de 2012.* https://www.researchgate.net/profile/Hiran_Moran/publication/273448784_Los_maices_criollos_y_su_conservacion_desde_la_perspectiva_de_los_productores/links/5501cf050cf231de076c3baf/Los-maices-criollos-y-su-conservacion-desde-la-perspectiva-de-los-productores.pdf#page=221
- Meléndez G, Soto G. 2003. Residuos orgánicos y la materia orgánica del suelo. Centro de Investigaciones Agronómicas Universidad de Costa Rica. Marzo 2003. Sabanilla, Costa Rica: Cámara de insumos agropecuarios no sintéticos. [consultado 2017 sep 16]. <http://www.cia.ucr.ac.cr/pdf/Memorias/Memoria%20Taller%20Abonos%20Org%C3%A1nicos.pdf>
- Paul EA, Clark FE. 1996. Soil microbiology, ecology and biochemistry. 2nd ed. Burlington: US. Elsevier. [consultado 2017 oct 19]. http://booksite.elsevier.com/samplechapters/9780125468077/Sample_Chapters/01~Front_Matter.pdf
- Pérez CR, Pérez CA, Vertel M. 2010. Caracterización nutricional, fisicoquímica y microbiológica de tres abonos orgánicos para uso en agroecosistemas de pasturas en la subregión Sabanas del departamento de Sucre, Colombia. *Revista Tumbaga*; [consultado 2017 oct 02]. 5: 27-37. <file:///D:/IR94292%20Lursa%20Kastdalen%2028-Jun-17/Downloads/Dialnet-CharacterizacionNutricionalFisicoquimicaYMicrobiolo-3628174.pdf>

- Ramos Agüero D, Terry AE, Soto F, Cabrera JA. 2014. Bocashi: abono orgánico elaborado a partir de residuos de la producción de plátanos en Bocas del Toro, Panamá. *Cultivos Tropicales*. 35(2): 90-97.
- Restrepo Rivera J. 2007. El A, B, C de la agricultura orgánica y harina de rocas. 1era ed. Managua (Nicaragua): SIMAS. 262 p.
- Restrepo J. 2010. Abonos orgánicos fermentados, experiencia de agricultores en centro América y Brasil. [internet]. [consultado 2017 may 15]. <https://bocashi.files.wordpress.com/2010/10/abonosorganicosfermentados.pdf>
- Rhoades JD. 1996. Salinity: Electrical Conductivity and Tottal Dissolved Solids. *In*: Sparks DL. *Methods of Soil Analysis*. Part 3. SSA BOOK SERIES. 5:417.435.
- Riera NI, Della Torre V, Rizzo PF, Butti M, Bressan FM, Zarate N, Weigandt C, Crespo DC. 2014. Evaluación del proceso de compostaje de dos mezclas de residuos avícolas. *Revista de Facultad de Ciencias Agrarias*. 46(1): 195-203.
- Rodríguez MA, Córdova M. 2006. Manual de compostaje urbano. México: Secretaría de medio ambiente y recursos naturales. [consultado 2017 jul 10]. <http://www.resol.com.br/cartilha5/Manual%20de%20Compostaje-SERMANAT-Mexico.pdf>
- SARE (Sustainable agriculture research and education). 2010. Building soils for better crops. 3rd ed. National institute of food and agriculture, U.S. [consultado 2017 oct 28]. <http://www.sare.org/Learning-Center/Books/Building-Soils-for-Better-Crops-3rd-Edition/Text-Version/The-Living-Soil/Soil-Microorganisms>
- Schulze KL. 1961. Continuous thermophilic composting. Department of civil engineering, Michigan State University. East Lansing, Michigan. *Appl. Microbiol.* 10: 108-122. [consultado 2017 nov 17]. <http://pubmedcentralcanada.ca/pmcc/articles/PMC1057822/pdf/applmicro00340-0018.pdf>
- Soto, G. 2001. Abonos orgánicos: producción y uso de compost. *In*: Meléndez, G., y Molina, E. *Fertilidad de Suelos y Manejo de la Nutrición de Cultivos en Costa Rica*. Universidad de Costa Rica. Agosto, 2001.
- Stofella PJ, Kanh BA. 2001. Biological, chemical and physical processes of composting. Boca Raton, Florida (EE. UU). CRC Press LLC. *Compost utilization in horticultural cropping systems*. 18-26 p. [consultado 2017 octubre 3]. <https://books.google.com.br/books?hl=es&lr=&id=F6VeWD5ewK4C&oi=fnd&pg=PA17&dq=Biological,+chemical+and+physical+processes+of+composting+Compost+utilization+in+horticultural+cropping+systems&ots=QfLGilCigI&sig=rHC>

QZIRY_agiTpnuX_4IAwzMNkU#v=onpage&q=Biological%2C%20chemical%20and%20physical%20processes%20of%20composting%20Compost%20utilization%20in%20horticultural%20cropping%20systems&f=false

Ventura JB, Mayanga S. 2012. Medición de los parámetros de temperatura y pH de bocashi y compost. [Tesis]. Universidad nacional José Faustino Sánchez Carrión. 22 p. [consultado 2017 oct 05]. <https://es.scribd.com/doc/118979251/MEDICION-DE-LOS-PARAMETROS-DE-T-Y-PH-BOCASHI>

Waksman SA. 1927. JSTORE. American association for the advancement of science. Soil and microbe. The scientific monthly. Vol. 25, No. 1: pp 40-45 <http://www.jstor.org/stable/pdf/7844.pdf>

Walkley A, Black I. 1934. An examination of the Degtjaeff method for determining soil organic matter and proposed modification of the chromic acid titration method. Soil Science 37:29-38.

Weber J. 2006. Función de la Materia Orgánica en el Suelo. [consultado 2017 mayo 03] <http://www.manualdelombricultura.com/manual/index.html>

Willer H. 2012. Organic agriculture worldwide: Current statistics. BioFach congress, Nürnberg, session, Febrero 2012. Frick, Switzerland: Research institute of organic agriculture. [consultado 2017 nov 08]. http://www.organic-world.net/fileadmin/documents/yearbook/2012/fibl-ifoam-2012-statistics-2012-02-15_.pdf

Woese C, Kandler O, Wheelis M. 1990. Towards a natural system of organisms: proposal for the domains archaea, bacteria and eucarya. National academy of sciences. USA. [consultado 2017 oct 29]. 87: 4576-4579. <http://www.pnas.org/content/87/12/4576.lo>