



**UNIVERSIDAD DE ORIENTE  
NÚCLEO DE MONAGAS  
ESCUELA DE ZOOTECNIA  
MATURÍN**

**EVALUACIÓN FÍSICOQUÍMICA Y MICROBIOLÓGICA DEL PROCESO DE  
COMPOSTAJE CON GALLINAZA Y MATERIAL VEGETAL**

**TESIS DE GRADO PRESENTADO POR:  
FABIOLA DEL CARMEN ZAMORA SUÁREZ**

**COMO REQUISITO PARCIAL PARA OBTENER EL TÍTULO DE:  
INGENIERO EN PRODUCCIÓN ANIMAL**

Marzo, 2020

**EVALUACIÓN FÍSICOQUÍMICA Y MICROBIOLÓGICA DEL  
PROCESO DE COMPOSTAJE CON GALLINAZA Y MATERIAL  
VEGETAL**

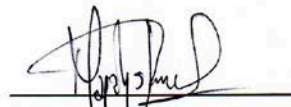
TRABAJO DE GRADO PRESENTADO POR

**FABIOLA DEL CARMEN ZAMORA SUÁREZ**

COMO REQUISITO PARCIAL PARA OPTAR AL TÍTULO DE

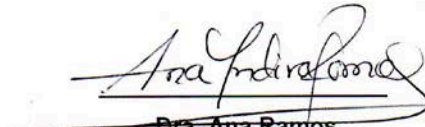
**INGENIERO EN PRODUCCIÓN ANIMAL**

APROBADO



Ing. Magalys Rivas

Asesor



Dra. Ana Ramos

Jurado



MSc. Marcial González

Jurado

## DEDICATORIA

Con amor a mis padres, **Rafael Zamora y Eugenia Suarez**, quienes me han sabido guiar, con esfuerzo y paciencia han podido apoyarme y son mi principal motivación para culminar cada una de mis metas, a mi hermana **Paola Zamora**, que siempre me ha brindado su apoyo a lo largo de mi formación.

A mi preciosa sobrina, **Fabiana Paola**, por darme motivos para ser su ejemplo a seguir.

A mi novio, **Daniel Delgado**, por brindarme su cariño, apoyo y confianza en todo momento.

A mi abuela **Paula Rondón**, que siempre ha creído en mí.

## AGRADECIMIENTOS

Principalmente a **Dios**, quien me guía y me fortalece en los momentos más difíciles.

A mis padres, por darme la fuerza y apoyo incondicional que he necesitado a lo largo de mi vida. Son mi inspiración.

A mi hermana y mi sobrina quienes me motivan siempre.

A mi abuelita, tíos y primos que con positivos consejos me impulsa a seguir con mis objetivos.

A mi novio **Daniel Delgado**, gracias por ser mi compañero y amigo incondicional, siempre dispuesto a ayudarme en todo.

A mi Asesora, **Magalys Rivas** por guiarme en todo momento, dedicarme su tiempo, brindarme su confianza y sus palabras de aliento para culminar esta meta, este logro es por y para las dos.

A los profesores **Iván Maza, Julio Royett y Guillermo Romero** por ser mis guías y darme consejos oportunos.

A mis amigos **Bárbara Guevara, Nanyimar Ortega, Juan Tenias y Lucio Bastidas** quienes fueron un apoyo en todo este trabajo además de serlo a lo largo de mi carrera.

A cada uno de los profesores de la **Escuela de Zootecnia, Universidad de Oriente, núcleo Monagas**, por sus enseñanzas.

Al técnico **Freddy Vásquez** por la paciencia y colaboración que me brindo.

Al personal de la Granja “**Las Palmas Ranch**” por la colaboración durante mi permanencia en la granja, me ayudaron mucho cuando lo necesite

## ÍNDICE GENERAL

DEDICATORIA .....	iii
AGRADECIMIENTOS .....	iv
ÍNDICE GENERAL .....	v
ÍNDICE DE CUADROS DEL TEXTO.....	vii
ÍNDICE DE FIGURAS DEL TEXTO.....	viii
ÍNDICE DE CUADROS DEL APÉNDICE .....	ix
RESUMEN.....	xi
SUMMARY .....	xii
INTRODUCCIÓN .....	1
OBJETIVOS .....	2
GENERAL .....	2
ESPECÍFICOS.....	2
REVISIÓN DE LITERATURA .....	3
FASES Y MICROORGANISMOS PRESENTES EN EL PROCESO DE COMPOSTAJE .....	5
VARIABLES FÍSICAS Y QUÍMICAS QUE AFECTAN EL PROCESO DE COMPOSTAJE .....	8
Temperatura.....	9
Humedad.....	9
Tamaño de las partículas y porosidad.....	10
Aireación .....	10
pH.....	11
Conductividad eléctrica (CE) .....	11
Materia orgánica (MO).....	12
Relación carbono nitrógeno (C/N) .....	12
MATERIALES Y MÉTODOS .....	13
UBICACIÓN DEL EXPERIMENTO.....	13
MATERIAS PRIMAS UTILIZADAS Y PROPORCIONES .....	13
ELABORACIÓN DE LOS COMPOSTEROS .....	14
MUESTREO DE TRATAMIENTOS .....	15
DETERMINACIÓN DE LAS VARIABLES FÍSICAS Y QUÍMICAS .....	15
Temperatura.....	15
Humedad.....	15
Potencial de Hidrógeno (pH) .....	16
Conductividad eléctrica .....	16
Materia Orgánica, Carbono Orgánico y Nitrógeno Total.....	17
Relación Carbono: Nitrógeno (C/N).....	18
CUANTIFICACIÓN DE LAS BACTERIAS MESÓFILAS Y MOHOS.....	18
DISEÑO DE EXPERIMENTO .....	20

MODELO LINEAL ADITIVO.....	20
ANÁLISIS DE LOS DATOS .....	21
<b>RESULTADOS Y DISCUSIÓN .....</b>	<b>22</b>
VARIACIÓN DE LOS FACTORES FÍSICOQUÍMICOS DURANTE EL PROCESO DEL COMPOSTAJE .....	22
Temperatura.....	22
Porcentaje de humedad (%H) .....	25
pH.....	29
Conductividad Eléctrica (CE).....	31
Porcentaje de Materia Orgánica (%MO).....	33
Porcentaje de Carbono Orgánico (%CO) .....	36
Porcentaje de Nitrógeno Total (%NT) y Relación Carbono Nitrógeno(C/N) .....	38
CUANTIFICACIÓN DE BACTERIAS AEROBIAS MESÓFILAS Y MOHOS DURANTE EL PROCESO DE COMPOSTAJE .....	42
Bacterias Aerobias Mesófilas (BAM) .....	42
Mohos.....	44
Determinación de <i>Salmonella</i> sp. en las pilas de compost al inicio y al final del proceso de compostaje .....	46
<b>CONCLUSIONES .....</b>	<b>48</b>
<b>RECOMENDACIONES.....</b>	<b>50</b>
<b>REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS .....</b>	<b>51</b>
<b>APÉNDICE .....</b>	<b>59</b>
<b>HOJAS METADATOS.....</b>	<b>67</b>



## ÍNDICE DE CUADROS DEL TEXTO

Cuadro 1 Análisis químicos de compost elaborados con gallinaza.....	5
Cuadro 2 Proporciones utilizadas en cada tratamiento (kg) .....	14
Cuadro 3 Promedios % Nitrógeno Total (%NT) y Relación Carbono/Nitrógeno (C/N).....	39
Cuadro 4 Presencia de <i>Salmonella</i> sp. en las pilas de compost.....	47

## ÍNDICE DE FIGURAS DEL TEXTO

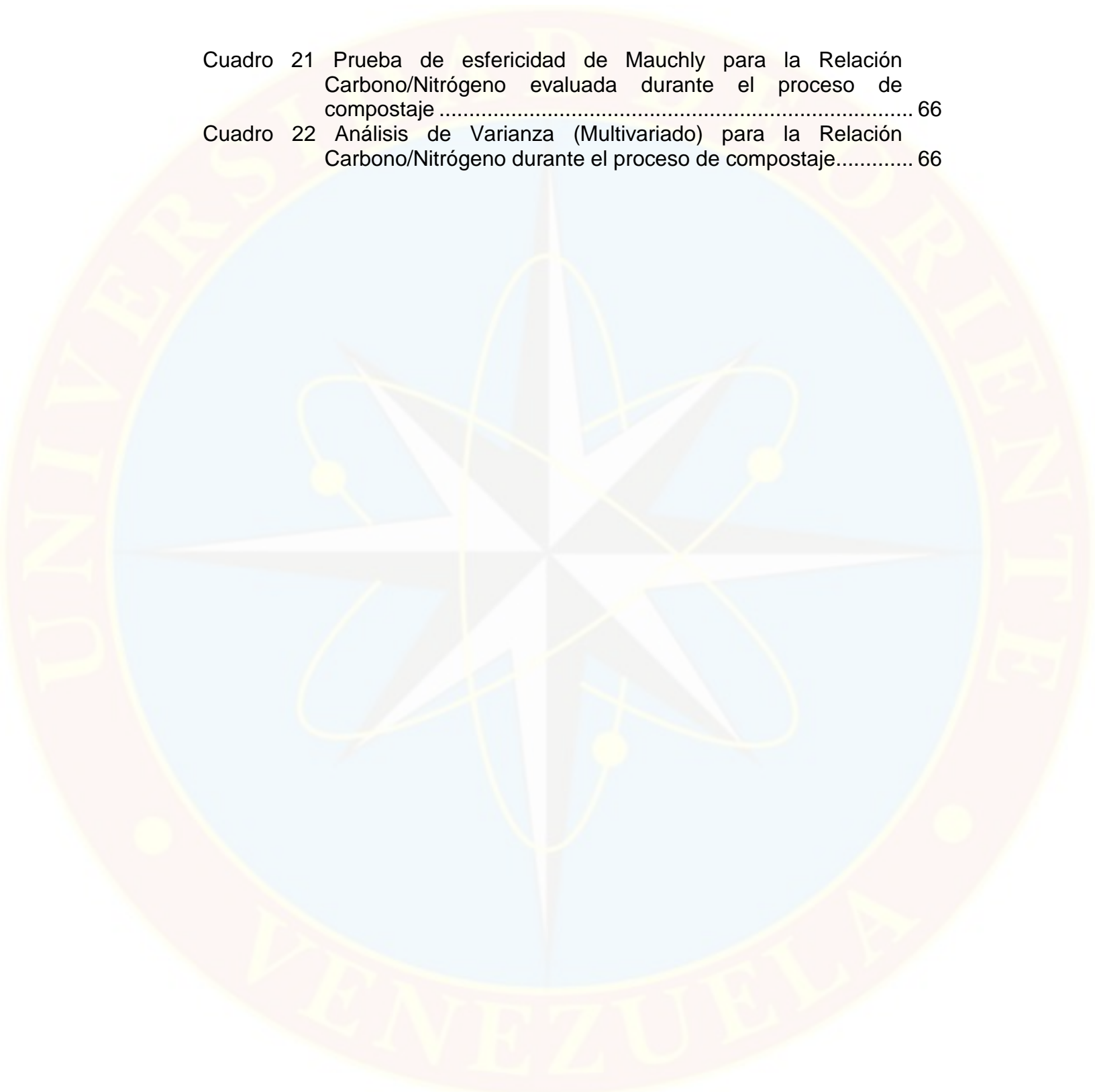
Figura 1. Fases del proceso de compostaje, variaciones de temperatura y pH .....	6
Figura 2. Variación en los promedios de temperatura (°C) durante el compostaje, en los diferentes tratamientos con la inclusión de gallinaza y material vegetal. ....	23
Figura 3. Variación en el porcentaje de humedad (%H) durante el compostaje, en los diferentes tratamientos con la inclusión de gallinaza y material vegetal. ....	27
Figura 4. Variación de pH durante el compostaje, en los diferentes tratamientos con la inclusión de gallinaza y material vegetal. ...	29
Figura 5. Conductividad eléctrica (CE) expresada en dS/cm, en los diferentes tratamientos con la inclusión de gallinaza y material vegetal. ....	32
Figura 6. Variación del porcentaje de materia orgánica (%MO), en los diferentes tratamientos con la inclusión de gallinaza y material vegetal. ....	34
Figura 7. Variación del porcentaje de carbono orgánico (%CO), en los diferentes tratamientos con la inclusión de gallinaza y material vegetal. ....	37
Figura 8. Variación en la población de bacterias aerobias mesófilas en los diferentes tratamientos con la inclusión de gallinaza y material vegetal. ....	43
Figura 9. Variación en la población de mohos a lo largo del proceso en los diferentes tratamientos con la inclusión de gallinaza y material vegetal. ....	45



## ÍNDICE DE CUADROS DEL APÉNDICE

Cuadro 1. Prueba de Normalidad (Shapiro-Wilk) para las variables fisicoquímicas evaluadas durante el proceso de compostaje ...	60
Cuadro 2. Prueba de Homogeneidad (Levene) para las variables fisicoquímicas evaluadas durante el proceso de compostaje ...	60
Cuadro 3. Promedios registrados de temperaturas (°C) y Desviación estándar (DE) del proceso de compostaje.....	61
Cuadro 4. Prueba de esfericidad de Mauchly para %Humedad evaluado durante el proceso de compostaje.....	61
Cuadro 5. Análisis de Varianza (Univariado) para %Humedad durante el proceso de compostaje.....	61
Cuadro 6. Promedios de % Humedad registrados en el proceso de compostaje .....	62
Cuadro 7. Prueba de esfericidad de Mauchly para pH evaluado durante el proceso de compostaje.....	62
Cuadro 8. Análisis de Varianza (Univariado) para pH durante el proceso de compostaje .....	62
Cuadro 9. Promedios de pH registrados en el proceso de compostaje .....	63
Cuadro 10 Prueba de esfericidad de Mauchly para Conductividad eléctrica evaluada durante el proceso de compostaje .....	63
Cuadro 11 Análisis de Varianza (Multivariado) para Conductividad eléctrica durante el proceso de compostaje .....	63
Cuadro 12 Prueba de tukey para conductividad eléctrica.....	63
Cuadro 13 Prueba de esfericidad de Mauchly para %Materia Orgánica evaluado durante el proceso de compostaje .....	64
Cuadro 14 Análisis de Varianza (Multivariado) para %Materia orgánica durante el proceso de compostaje.....	64
Cuadro 15 Promedios de %Materia Orgánica registrados en el proceso de compostaje .....	64
Cuadro 16 Prueba de esfericidad de Mauchly para %Carbono Orgánico evaluado durante el proceso de compostaje .....	65
Cuadro 17 Análisis de Varianza (Multivariado) para %Carbono Orgánico durante el proceso de compostaje.....	65
Cuadro 18 Promedios de %Carbono Orgánico registrados en el proceso de compostaje .....	65
Cuadro 19 Prueba de esfericidad de Mauchly para %Nitrógeno Total evaluado durante el proceso de compostaje .....	66
Cuadro 20 Análisis de Varianza (Multivariado) para %Nitrógeno total durante el proceso de compostaje.....	66

Cuadro 21	Prueba de esfericidad de Mauchly para la Relación Carbono/Nitrógeno evaluada durante el proceso de compostaje .....	66
Cuadro 22	Análisis de Varianza (Multivariado) para la Relación Carbono/Nitrógeno durante el proceso de compostaje.....	66



## RESUMEN

La presente investigación tuvo como objetivo evaluar las variables fisicoquímicas y microbiológicas durante el proceso de compostaje con gallinaza y material vegetal. Los materiales empleados para la realización de los composteros fueron *Pennisetum purpureum*, cascarilla de arroz, compost maduro y gallinaza con diferentes proporciones de inclusión T1 (20%), T2 (40%) y T3 (60%). Se realizó un diseño aleatorizado con medidas repetidas en el tiempo, con 3 tratamientos y 4 repeticiones. Se tomaron muestras semanalmente por un lapso de 2 meses. Los datos se analizaron a través de un ANAVA, ajuste de regresión simple y prueba de Tukey al 5% de probabilidad a los efectos significativos del factor tratamiento. En cada tratamiento se determinaron las variables fisicoquímicas: temperatura (T), humedad (%H), pH, conductividad eléctrica (CE), materia orgánica (%MO), carbono orgánico (%CO), nitrógeno total (%NT), la relación carbono: nitrógeno (C/N); y las microbiológicas bacterias aerobias mesófilas, mohos y presencia de *Salmonella* sp. Los promedios obtenidos para temperatura evidenciaron dos fases mesófilas y dos termófilas con máximas de 59°C para el T3. El %H, pH, %MO y %CO disminuyeron al finalizar el compostaje, para la CE se detectó diferencia significativa solo para el factor tratamiento, siendo superior T3 consecuencia del mayor contenido de gallinaza. Las variables %NT y la relación C/N no mostraron diferencias significativas para la interacción tiempo\*tratamiento ni para el factor tratamiento, esta última se encontró entre 44-45, valores indicativos de que el tiempo de compostaje no había finalizado. La población de mesófilos y hongos decrecieron en el compostaje y al evaluar la presencia *Salmonella* sp las pruebas resultaron positivas al inicio y al final de proceso lo que demuestra que las etapas termófilas que se presentaron no se prolongaron el tiempo requerido para la adecuada higienización del material.

**Palabras clave:** Compost, materia orgánica, microorganismos.

## SUMMARY

Composting is the aerobic degradation of organic material by the action of microorganisms under controlled conditions of aeration, humidity and temperature. The objective of this research was to evaluate the physicochemical and microbiological variables during the composting process with chicken manure and plant material. The materials used to produce the composters were *Pennisetum purpureum*, rice husk, mature compost and chicken manure with different inclusion ratios T1 (20%), T2 (40%) and T3 (60%). A randomized design was made with repeated measures over time, with 3 treatments and 4 repetitions. Samples were taken weekly for a period of 2 months. Data were analyzed through an ANOVA, simple regression adjustment and Tukey at 5% probability. In each treatment the physical and chemical variables were determined: temperature (T), humidity (%H), pH, electrical conductivity (EC), organic material (%MO), organic carbon (%CO), total nitrogen (% NT) and the carbon: nitrogen (C/N) ratio; and the microbiological aerobic mesophilic bacteria, molds and presence of *Salmonella* sp. The averages obtained for temperature showed two mesophilic and two thermophilic phases with a maximum of 59 ° C for T3. The %H, pH, %MO and %CO decreased at the end of composting, for the EC significant differences were detected only for the treatment factor, with T3 being higher. The variables %NT and the C/N ratio showed no significant differences for the time \* treatment interaction or for the treatment factor, the latter was between 44-45, that are indicative values that the composting time had not ended. The population of mesophiles and fungi decreased in composting and when evaluating the presence of *Salmonella* sp the tests were positive both at the beginning and at the end of the process, what proves that the thermophilic stages that were presented did not extend the time required for proper sanitation of the material.

**Keywords:** Compost, organic material, microorganisms.



## INTRODUCCIÓN

El constante incremento de la población humana y la creciente demanda de huevos comerciales han hecho que los sistemas intensivos avícolas aumenten el número de aves en producción, generándose grandes volúmenes de excretas cuya permanencia en las explotaciones ocasionan la proliferación de moscas y malos olores.

En Venezuela la mayoría de las granjas no establecen un manejo adecuado de estos residuos orgánicos y en muchos casos suelen aplicarse al suelo sin tratamientos de higienización y estabilización con riesgo de convertirse en un problema importante para la población por ser fuente de contaminación ambiental y reservorio de enfermedades.

No obstante las excretas generadas de la cría de gallinas ponedoras tienen un alto potencial bajo condiciones adecuadas de manejo, cuando son utilizadas como materia prima para la elaboración de abono orgánico mediante distintos procesos como el bocashi, los biofermentos, el humus y en especial el compostaje. Esta última técnica permite la disminución de los microorganismos patógenos presentes, confiere un valor agregado a estos residuos orgánicos, representa ingresos adicionales al productor y reduce el impacto negativo sobre el ambiente que produce su concentración.

De tal forma que la presente investigación tuvo el propósito de evaluar las variables fisicoquímicas y microbiológicas del proceso de compostaje con gallinaza y material vegetal, como contribución al uso eficiente y planificado de estos residuos, para la mejora de las propiedades físicas, químicas y biológicas del suelo.

## OBJETIVOS

### GENERAL

- Evaluar las variables fisicoquímicas y microbiológicas del proceso de compostaje con gallinaza y material vegetal.

### ESPECÍFICOS

- Determinar las variaciones de: temperatura, humedad, pH, conductividad eléctrica, materia orgánica, carbono orgánico, nitrógeno total y relación carbono-nitrógeno en el proceso de compostaje.
- Cuantificar las bacterias mesófilas y mohos durante el proceso de compostaje.
- Determinar la presencia de *Salmonella* sp. en las pilas de compost al inicio y al final del proceso de compostaje



## REVISIÓN DE LITERATURA

Los abonos orgánicos son aquellas sustancias de las que las plantas pueden obtener importantes cantidades de nutrimentos y proporcionan efectos favorables al suelo al mejorar sus características físicas, químicas y biológicas (SAGARPA, 2000). Entre los tipos de abonos orgánicos que se pueden encontrar está el bocashi, los biofermentos, los abonos verdes, humus y los compost que son resultado de un proceso denominado compostaje (Pérez y Villegas, 2009).

El arte del compostaje es muy antiguo y sus principios básicos han sido apreciados y usados a lo largo de los siglos (Moreno y Moral, 2008). Consiste en un proceso aerobio que combina fases mesófilas y termófilas para conseguir la reducción de los microorganismos patógenos y su transformación en un producto estable y valorizable (Gómez *et al.*, 2004).

El proceso tiene que ser controlado, lo que implica una monitorización y control de variables durante el desarrollo del mismo, tales como la temperatura, humedad y oxigenación que inciden profundamente en el desarrollo del proceso. Este se puede considerar como una alternativa simple y de bajo costo, como también una tecnología ambiental para convertir los residuos orgánicos en un producto de alta calidad transformándolos de manera segura en insumos para la producción agrícola (Avendaño, 2003). La materia orgánica obtenida favorece a la estabilidad de la estructura de los suelos agrícolas, reduce la densidad aparente, aumenta la porosidad y permeabilidad, y eleva su capacidad de retención de agua (Picado y Añasco, 2005).

Al ser un producto rico en micro y macronutrientes, se convierte en un excelente abono para las plantas. En cuanto a la actividad biológica del suelo actúa como soporte y alimento de los microorganismos, lo cuales viven a expensas del humus, que es la materia orgánica descompuesta por los mismos contribuyendo a la mineralización (Estrada, 2010).

Dentro de los residuos orgánicos utilizados para el compostaje se encuentra la gallinaza, que se considera el más representativo que generan las explotaciones avícolas tanto por su volumen como por sus características, es la mezcla entre deposiciones sólidas y líquidas de los animales (Pérez y Villegas, 2009).

La gallinaza es un residuo de excelente calidad también puede estar constituida por el material usado como cama que por lo general es la cascarilla de arroz que aporta beneficios al residuo y al suelo al facilitar la aireación, absorción de humedad y filtraje de nutrientes (Cantarero y Martínez, 2002)

Estrada (2005), asegura que su composición depende principalmente del ave, la cantidad de alimento desperdiciado, la cantidad de plumas, la temperatura ambiente y la ventilación del galpón. Siendo entonces el compostaje una alternativa para darle un valor agregado a este residuo orgánico tan abundante y mitigar el impacto ambiental que puede ocasionar cuando no se procesa, además de ser acumulado durante largos periodos de tiempo.

Pravia (1992), realizó un análisis al compost elaborado con gallinaza y material vegetal, con un tiempo de compostaje de 91 días, obteniendo una relación carbono/nitrógeno (C/N) de 7,8; mientras que en un análisis al

compost elaborado con gallinaza más cascarilla de arroz realizado por Sztern y Pravia (1999) obtuvo una relación C/N de 17 con un tiempo de compostaje de 110 días (Cuadro 1). La calidad de un abono orgánico se determina por la disponibilidad de aquellos nutrientes necesarios para el desarrollo de las plantas y por su potencial de mineralización, el cual se estima por la relación entre el carbono y el nitrógeno (C/N) (Ruiz *et al.*, 2011).

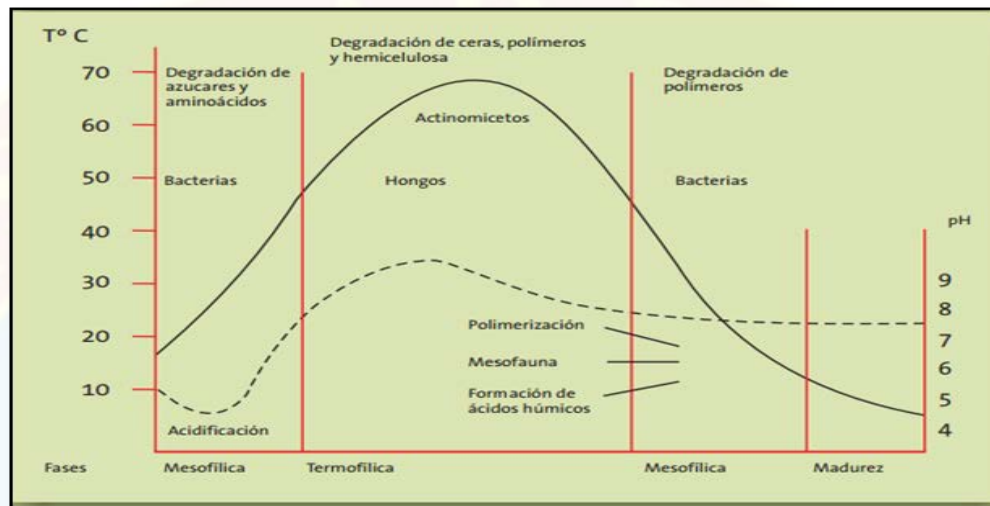
**Cuadro 1 Análisis químicos de compost elaborados con gallinaza**

Material	Autor	Días	C/N	pH	%MO	%NT	%P
Gallinaza y material vegetal	Pravia (1992)	91	7,8	6,2	27,3	1,7	3,7
Gallinaza + cascarilla de arroz	Sztern y Pravia (1999)	110	17	6,8	42	1,5	-

C/N: Carbono Nitrógeno, MO; Materia orgánica, NT; Nitrógeno total, P: Fósforo

## **FASES Y MICROORGANISMOS PRESENTES EN EL PROCESO DE COMPOSTAJE**

Jaramillo y Zapata (2008), indican que en el compostaje se observan tres fases: mesófila, termófila y de madurez (Figura 1). Al principio hay un periodo de aclimatación de los microorganismos a su nuevo medio y se caracteriza por la presencia de bacterias que son capaces de mejorar la rapidez de la descomposición de los residuos orgánicos y aumentar la calidad microbiológica del abono. Como consecuencia de la acción de estas bacterias mesófilas que actúan a temperaturas medias, aproximadamente hasta 45°C, se comienza a calentar la pila de residuo y se observa la emanación de vapor de agua en la parte superior de la materia vegetal.



Fuente: Laos, 2003

**Figura 1. Fases del proceso de compostaje, variaciones de temperatura y pH**

Las bacterias constituyen entre el 80% y el 90% de los microorganismos existentes en el compost, tratándose de un grupo de gran diversidad metabólica, que utilizan un amplio rango de enzimas para degradar químicamente una gran variedad de compuestos orgánicos (Laich, 2011).

Trillas *et al.* (2008), aseguran que las bacterias son organismos muy competitivos en relación a otros grupos microbianos, ya que se adaptan mejor a cambios bruscos en la disponibilidad de sustratos, temperatura, humedad y concentración de oxígeno.

Como consecuencias de la intensa actividad de las bacterias y el aumento de la temperatura alcanzada en la pila de residuos, el pH se incrementa hasta la alcalinidad y provoca la aparición de organismos termófilos como los actinomicetos produciendo una rápida degradación de los materiales (Acosta y Peralta, 2015).



Según Silva *et al.* (1999), los actinomicetos que son un grupo considerado intermedio entre las bacterias procariotas más primitivas y los hongos eucariotas. Pueden resistir condiciones adversas, para su nutrición metabolizan toda clase de materia orgánica (glúcidos, almidones, alcoholes, ácidos orgánicos) generando proteasas, amilasas y lipasas. Forman ácidos orgánicos a partir de los glúcidos y amoníaco a partir del nitrógeno orgánico. Comúnmente producen sustancias antibióticas, las cuales pueden actuar sobre otras especies de actinomicetos, bacterias y hongos.

Gómez *et al.* (2004), indican que los hongos son muy importantes en la descomposición de materia orgánica compleja y de la celulosa que es una de las partes más resistentes de la materia orgánica, la que en algunos materiales representa hasta el 60% de la masa total. Los hongos se destruyen a temperaturas superiores a 70°C, aunque algunos permanecen en estado de latencia reactivándose cuando la temperatura disminuye.

En cuanto son agotadas las fuentes de carbono y, en especial el nitrógeno en el material en compostaje, la temperatura desciende hasta los 40-45°C, durante este periodo, continúa la degradación de polímeros como la celulosa, y aparecen algunos hongos al bajar de 40 °C, los organismos mesófilos reinician su actividad y el pH del medio desciende levemente, aunque en general se mantiene ligeramente alcalino (Román *et al.*, 2013).

Por último, hay un periodo de fermentación lenta en el que la parte menos biodegradable (la más resistente) de la materia orgánica se va degradando. La temperatura de la pila va disminuyendo lentamente al igual que la actividad de las bacterias, produciéndose la colonización de la pila microorganismos que ayudan a la degradación de esas partes menos

biodegradables y finalmente toda la pila se convierte en un producto estable (Jaramillo y Zapata, 2008).

Según Bautista (2009), adicionalmente es común encontrar agentes patógenos en las pilas de compost especialmente cuando se utilizan materiales orgánicos como lodos de aguas residuales o algún tipo de residuo agroindustrial, dentro de estos se puede localizar *Salmonella* sp. que pertenece a la familia Enterobacteriaceae y se caracteriza por ser un bacilo Gram negativo con un rango de temperatura para su crecimiento entre 37-45°C.

Dentro de la *Salmonella* entérica se clasifican más de 2.500 serotipos, en donde se encuentran las bacterias adaptadas a las aves y que les causan enfermedades sistémicas como es el caso de *S. pullorum* y *S. gallinarum*; y otras de relevancia en salud pública, esta tiende a desaparecer totalmente de residuos agrícolas y lodos después de cinco meses de composteo, por lo tanto es importante su determinación al inicio y al final del proceso (Ramírez, 2014).

## **VARIABLES FÍSICAS Y QUÍMICAS QUE AFECTAN EL PROCESO DE COMPOSTAJE**

Márquez *et al.* (2008), mencionan que el proceso de compostaje se basa en la actividad de microorganismos que viven en el entorno, ya que son los responsables de la descomposición de la materia orgánica. Dentro de las principales variables para que estos microorganismos puedan vivir y desarrollar la actividad descomponedora se encuentra: la temperatura, humedad, tamaño de las partículas, aireación, pH, materia orgánica, carbono orgánico, nitrógeno total y la relación carbono- nitrógeno.



## **Temperatura**

Es uno de los factores que influye de forma crítica sobre la velocidad de descomposición de la materia orgánica durante el compostaje. Esta varía ampliamente a lo largo del compostaje, y resulta importante para el control de las poblaciones microbianas predominantes en las distintas fases del proceso, cada especie de microorganismo tiene un intervalo de temperatura óptima en el que su actividad es mayor y más efectiva (Márquez *et al.*, 2008).

Un requisito importante es que se alcancen temperaturas altas (60-70°C), capaces de reducir la población de microorganismos patógenos (higienización). Se recomienda evitar temperaturas superiores a 70°C, porque inhibe el desarrollo de gran parte de los microorganismos, lo que reduce la velocidad de descomposición (Avendaño, 2003)

## **Humedad**

Está en función de la capacidad de aireación del proceso y de la naturaleza estructural de los materiales. Cuanto menor sea el contenido de humedad de los residuos mayor disponibilidad tienen las bacterias implicadas en descomposición para captar el oxígeno retenido en los intersticios del material y por lo tanto se facilitará la descomposición aeróbica (Negro *et al.*, 2000). La humedad óptima para el crecimiento microbiano está entre el 50-70%; la actividad biológica decrece mucho cuando la humedad está por debajo del 30% y por encima del 70% se produce una anaerobiosis que originan malos olores, disminuye la velocidad del proceso y hay pérdidas de nutrientes por lixiviación (Hurtado, 2014).

### **Tamaño de las partículas y porosidad**

Entre más grandes sean los trozos de materiales usados, más tiempo van a tardar en descomponerse las partículas a degradar, el área de contacto para los microorganismos es muy pequeña y el proceso será muy lento, sin embargo si las partículas son demasiado pequeñas, la tendencia de estas es compactarse, formando bolas o paquetes, causando problemas con la circulación de aire (Mullo, 2012).

Picar los materiales y organizarlos en capas intercaladas de diferentes clases, requiere un poco más de trabajo pero permite mejor calidad y más velocidad en el proceso de descomposición (Picado y Añasco, 2005).

La porosidad está relacionada con la circulación del aire, y es un indicador del espacio para el aire que existe en el interior de la masa de residuos. Mientras más grandes y uniformes sean las partículas, mayor será la porosidad y menor la resistencia a la circulación de aire (Arrigoni, 2011)

### **Aireación**

El proceso de compostaje es aeróbico, o sea que necesita que haya aire, al preparar la mezcla y dejarla en forma de pila, se debe tener cuidado de no compactar los materiales, estos deben estar sueltos (Picado y Añasco, 2005).

Cuando la aireación es ineficiente la fracción orgánica se descompone lentamente y de forma anaeróbica, originando malos olores, menores temperaturas y un material de mala calidad. El consumo de oxígeno está en relación directa con la actividad microbiana, por lo que la aireación debe

incrementarse cuando la temperatura de la masa aumenta, la aireación no debe ser excesiva, puesto que pueden producir variaciones en la temperatura y en el contenido en humedad además podría provocar evaporación que inhibiría la actividad microbiológica hasta parar el proceso de compostaje (Hurtado, 2014).

### **pH**

Esta variable afecta a las reacciones enzimáticas, de ahí que sea también un indicador importante de la evolución del compostaje. El pH define la supervivencia de los microorganismos y cada grupo tiene pH óptimos de crecimiento y multiplicación (Román *et al.*, 2013). Las bacterias prefieren valores de pH entre 6 y 7,5, mientras que los hongos toleran un rango más amplio entre 5,5 y 8. Si el pH desciende de 6, la descomposición microbiana disminuye o se detiene y valores cercanos o superiores a 9, favorecen la formación de amonio, afectando negativamente al crecimiento y actividad de los microorganismos (Acosta y Peralta, 2015)

### **Conductividad eléctrica (CE)**

Está va en función de la composición de los materiales originales y a su vez con el contenido de sales de éstos. En menor medida, la CE del compost está relacionada con la presencia de iones amonio o nitratos formados en cada una de las etapas (Arrigoni, 2011). La CE es elevada en general en materiales compostados, pero también valores excesivamente elevados pueden relacionarse con un mal control del proceso, con materiales contaminados, riegos excesivos con lixiviados o aguas salinas (Soliva y López, 2004).

### **Materia orgánica (MO)**

Tiene sentido aplicar el compostaje a materiales con proporciones elevadas de MO, ésta es considerada el principal factor para determinar la calidad agronómica del compost (Arrigoni, 2011). El contenido final será la consecuencia del valor inicial de MO, de su degradabilidad y de la transformación que haya sufrido durante el tratamiento. Resulta fundamental examinar en un compostaje los contenidos inicial y final de materia orgánica para tener idea de la transformación sufrida por el material. Es un parámetro importante en caso de aplicación en el suelo ya que incidirá de forma global sobre todas sus propiedades (Soliva y López, 2004).

### **Relación carbono nitrógeno (C/N)**

El carbono y el nitrógeno son dos constituyentes de la materia orgánica, por ello para obtener un compost de buena calidad es importante que exista una relación equilibrada entre ambos elementos. Teóricamente una relación C/N de 25/35 es la adecuada, pero esta variará en función de las materias primas que conforma el compost. (Hurtado, 2014).

Valores de relación C/N superiores a la indicada retardan el proceso de descomposición ya que no hay suficiente nitrógeno para el crecimiento óptimo de las poblaciones microbianas, mientras que una muy baja hace que pierda nitrógeno en forma de amoníaco por falta de estructuras de carbono que permitan su retención (Soto y Muñoz, 2002).



## MATERIALES Y MÉTODOS

### UBICACIÓN DEL EXPERIMENTO

La fase de campo se realizó en el invernadero del Consejo de Investigación de la Universidad de Oriente, Núcleo de Monagas ubicado en el *Campus* Juanico, con coordenadas geográficas de 9°45' LN y 63°11' LO' con altitud de 65 msnm, temperatura promedio anual de 28,27°C y precipitación total anual 904mm (INAMEH, 2009). Los análisis fisicoquímicos y microbiológicos se realizaron en el laboratorio de microbiología del *Campus* Los Guaritos y el laboratorio de suelos del *Campus* Juanico respectivamente.

### MATERIAS PRIMAS UTILIZADAS Y PROPORCIONES

Los materiales que se utilizaron en la preparación de los composteros fueron: gallinaza, cascarilla de arroz, compost maduro de residuos de jardinería y pasto de corte (*Pennisetum purpureum*). La gallinaza y la cascarilla de arroz fueron obtenidas en la unidad de producción “Las Palmas Ranch” ubicada en el sector San Luis, municipio Maturín estado Monagas, el compost maduro de la microestación del Instituto de Investigaciones Agropecuarias de la Universidad de Oriente (IIAPUDO), *Campus* Juanico y la gramínea fue recolectada en el Programa Integral de Desarrollo Lechero Nacional (PIDEL), localizado en el sector de La Cruz, municipio Maturín del estado Monagas

En el Cuadro 2 se observa las cantidades de los materiales que conformaron cada tratamiento. Calculadas en base a la relación C/N teórica.

Se mezclaron las materias primas de cada tratamiento hasta homogenizarlos y se introdujeron en el compostero.

**Cuadro 2 Proporciones utilizadas en cada tratamiento (kg)**

<b>Materiales</b>	<b>Trat.1 20% Gallinaza</b>	<b>Trat. 2 40% gallinaza</b>	<b>Trat. 3 60% Gallinaza</b>
Gallinaza (kg)	4	8	12
Cascarilla de arroz	6	4	2
<i>P. purpureum</i> (kg)	6	4	2
Compost maduro (kg)	4	4	4
Total (kg)	20	20	20

### **ELABORACIÓN DE LOS COMPOSTEROS**

El pasto de corte verde fue repicado utilizando un molino de martillo, esparcido en una superficie de plástico y secado al aire libre. La gallinaza se recolectó antes de que se mezclara en las fosas de desecho con el resto de las excretas, por medio de lonas de plástico elaboradas con sacos de alimento que fueron reciclados para la ocasión, suspendidas debajo de los módulos de jaulas, posteriormente se mezcló y se dejó secar con volteos periódicos. Se pesaron cada uno de los materiales a compostar con un peso de reloj.

En el invernadero se elaboraron 12 composteros, utilizando sacos de polietileno con capacidad de 50 kg para introducir el material previamente mezclado. Se introdujeron tubos PVC perforados, en cada uno, para facilitar la aireación, semanalmente fueron realizadas remociones manuales extrayendo todo el material y se realizaron riegos cada dos días.



## **MUESTREO DE TRATAMIENTOS**

Cada tratamiento constó de 4 repeticiones y de cada repetición se colectaron 3 submuestras al azar, extrayendo una muestra compuesta de cada repetición, aproximadamente de 200 g, realizándose muestreos por un lapso de 8 semanas (a los 7, 14, 21, 28, 35, 42, 49 y 56 días). Las muestras compuestas se introdujeron en bolsas plásticas estériles de cierre hermético, las cuales se trasladaron en una cava con hielo hasta el Laboratorio de Microbiología General, *Campus* Los Guaritos, para los análisis microbiológicos y al Laboratorio de Suelo, *Campus* Juanico para los análisis físicos y químicos.

## **DETERMINACIÓN DE LAS VARIABLES FÍSICAS Y QUÍMICAS**

### **Temperatura**

Se utilizó un termómetro de mercurio, colocándolo en la parte central del saco, a través de un canal abierto previamente con una varilla de madera, las mediciones se realizaron al día 0, una vez terminada la elaboración de los composteros y posteriormente a las 7:20 am de la mañana, una vez por semana, durante las 8 semanas del experimento.

### **Humedad**

Para la determinación de la humedad se utilizaron crisoles de porcelana limpios y secados en estufa por una hora a 105°C, dejándolos enfriar en un desecador por dos horas, luego fueron pesados en la balanza de precisión y posteriormente se introdujeron aproximadamente 5 g de muestra parcialmente seca, se anotaron los pesos correspondientes, se colocó el

crisol con la muestra en la estufa durante 24 horas a una temperatura de 105°C, se dejaron enfriar en un desecador por dos horas y se pesaron (NTC, 2004).

El porcentaje de humedad se calculó usando la fórmula:

$$\% H = \frac{\text{Peso muestra húmeda} - \text{peso de la muestra seca}}{\text{peso de la muestra húmeda}} \times 100$$

### **Potencial de Hidrógeno (pH)**

La determinación del pH, se realizó por el método del potenciómetro (Fernández *et al.*, 2006). Se colocaron 5 g de muestra de compost en un vaso de precipitado de 25 mL, se le agregaron 40 mL de agua destilada, se agitó durante 1 min con un agitador de vidrio. La solución compost-agua, se dejó reposar por 15 minutos, luego se agitó nuevamente durante 1 minuto, dejándose reposar por 15 minutos, se ajustó el potenciómetro con las soluciones amortiguadoras y pasados los 15 minutos se midió el pH.

### **Conductividad eléctrica**

Se determinó por el método del conductímetro (NOM, 2000), se pesaron 5 g de cada muestra en un envase plástico de 25 mL de capacidad y se les adicionó 40 mL de agua destilada, agitándolos a intervalos regulares durante 15 min. Una vez obtenida la solución fue calibrado el conductímetro con agua destilada (mínima cantidad de sales), se introdujo el electrodo en la solución y anotó el valor de CE mostrado en pantalla del conductímetro.

### **Materia Orgánica, Carbono Orgánico y Nitrógeno Total**

La materia orgánica y carbono orgánico se determinó empleando el método de Walkley and Black – colorímetro (Walkley, 1947) y el nitrógeno total según la metodología de Casanova (2005), las cuales consistieron en:

Procedimiento:

Para la determinación de materia orgánica se pesaron 0,5 g de muestra, en un Erlenmeyer de 500 mL, se agregó 10 mL de dicromato de potasio ( $K_2Cr_2O_7$ ) 1 N y 10 mL de ácido sulfúrico ( $H_2SO_4$ ) 95% de pureza, agitándolo y dejándolo enfriar a temperatura ambiente, luego se adicionó 180 mL de agua destilada, inmediatamente se colocó 50 mL de la solución en un tubo de ensayo y se procedió a centrifugar a 3500 rpm por 5 min (usando cilindros graduados), se colocó 5 mL de la solución en el tubo de muestra del spectronic, se calibró el equipo, utilizando la solución o blanco mezclando todos los reactivos antes mencionados menos la muestra, posteriormente se obtuvo el porcentaje de transmitancia (%T) a una longitud de onda de 600u.

$$\%MO = \frac{34,35 - (17,18 \times \text{Log } \% \text{ Transmitancia})}{\text{Peso de la muestra}}$$

$$\%CO = \frac{15,34 - (7,69 \times \text{Log } \% \text{ Transmitancia})}{\text{Peso de la muestra}}$$

$$NT = \frac{\text{kg de MO}}{100 \text{ kg de MO}} \times \frac{5 \text{ kg NT}}{100 \text{ kg MO}}$$

Donde:

MO= Materia Orgánica

CO = Carbono Orgánico

NT= Nitrógeno Total

### **Relación Carbono: Nitrógeno (C/N)**

Después de conocer los porcentajes de carbono orgánico y nitrógeno total, se dividió el % carbono orgánico entre el % de nitrógeno total, obteniendo la relación Carbono: Nitrógeno (Sadzawka *et al.*, 2005).

### **CUANTIFICACIÓN DE LAS BACTERIAS MESÓFILAS Y MOHOS**

El recuento de los diferentes grupos microbianos se realizó por el método de dilución en placas, descrito por la Comisión Venezolana de Normas Industriales para alimentos (COVENIN, 1987).

#### **Preparación de las diluciones decimales seriadas**

Se pesó 11 g de compost y se diluyó en 99 mL de agua destilada estéril. Esta representa la dilución  $10^{-1}$ . Se agitó vigorosamente la dilución hasta lograr el homogenizado de la suspensión. Con una pipeta estéril de 11 mL se transfirió esa cantidad a la segunda botella de dilución, así sucesivamente hasta la dilución  $10^{-8}$ . Luego fueron sembradas las diluciones predeterminadas anteriormente según el grupo microbiológico a determinar.

Para la siembra de bacterias aerobias mesófilas, las diluciones preparadas fueron utilizadas inmediatamente para la siembra por el método de vaciado en placa utilizando 1 mL de las diluciones respectivas en cajas de Petri por duplicado.

Se utilizó Agar Nutritivo y se añadió a cada placa de 15 a 20 mL del medio de cultivo previamente temperado y fundido a  $45^{\circ}\text{C}$ , se mezcló



convenientemente y se dejó solidificar sobre una superficie plana. Se invirtieron las placas e incubaron a una temperatura de 32°C por 24 horas. Terminado el tiempo de incubación se seleccionaron las placas que contengan entre 30 y 300 colonias, se multiplicaron los promedios de los conteos por el factor de la dilución de las placas contadas, reportando los resultados en Log<sub>10</sub>UFC/g de compost.

Para hongos se utilizó como medio de cultivo Agar Papa Dextrosa con adición de antibiótico (Oxitetraciclina, 1 mL por litro de medio). Las placas se invirtieron e incubaron a una temperatura de 28°C durante 3 a 5 días, observándolas diariamente. Se seleccionaron las placas que contengan entre 10 y 100 colonias por dilución. Se contaron todas las colonias de mohos y se anotó la dilución correspondiente. Se reportaron los resultados en Log<sub>10</sub>UFC/g de compost. (COVENIN, 1990).

#### **Determinación de *Salmonella* sp. (COVENIN 1988)**

Pre-enriquecimiento: se pesó 25 g de compost, luego se disolvió en un Erlenmeyer con 225 mL de Caldo Lactosado y se incubó a 37°C durante 24 horas.

Enriquecimiento: del cultivo anterior se transfirió 10 mL a un matraz que contenga 100 mL de Caldo Tetracionato más 1mL de yodo, se agitó y se incubó a 43°C durante 24 horas.

Aislamiento: se sembró una asada por estrías en superficie al Agar Sulfito de Bismuto un inóculo del cultivo anterior, se incubó a 37°C durante 24 horas. Se identificarán como *Salmonella* aquellas colonias negras con o



sin brillo metálico. Se reportó los resultados como presencia o ausencia de *Salmonella* en 25 g de muestra.

## DISEÑO DE EXPERIMENTO

Se utilizó un diseño completamente aleatorizado con medidas repetidas en el tiempo, se consideraron 3 niveles de incorporación de gallinaza (variable inter-sujeto) con 4 repeticiones por tratamiento. La variable intra-sujeto fue representada por los muestreos semanales. Durante el proceso de compostaje, se midieron en el tiempo las variables físicas, químicas y microbiológicas del material.

## MODELO LINEAL ADITIVO

$$Y_{ijk} = \mu + \alpha_i + \beta_j + (\alpha * \beta_{ij}) + \epsilon_{ijk}$$

Dónde:

$Y_{ijk}$  = Representa la k-ésima observación en el i-ésimo tratamiento en la j-ésima semana.

$\mu$  = Media general.

$\alpha_i$  = Efecto de i-ésimo nivel de incorporación de gallinaza ( $i = 20\%, 40\%, 60\%$ ).

$B_j$  = Efecto de j-ésima semana de compostaje ( $j = 1, 2, 3, \dots, 10$ ).

$\alpha * \beta_{ij}$  = Interacción del i-ésimo nivel de incorporación de gallinaza por la j-ésima semana de compostaje

$E_{ijk}$  = Error experimental.

## ANÁLISIS DE LOS DATOS

Los datos obtenidos para las variables humedad, pH, conductividad eléctrica, materia orgánica, carbono orgánico, nitrógeno total y relación C/N fueron analizados previamente por prueba de Shapiro-Wilk y prueba de Levene para corroborar normalidad y homogeneidad de varianzas respectivamente. Posteriormente se aplicó prueba de análisis de varianza en medidas repetidas, considerando el estadístico W de Mauchly como determinante de la vía univariada o multivariada de análisis.

Los efectos significativos para la variable intrasujeto (tiempo y la interacción tiempo\*tratamiento) fueron analizados por prueba de regresión simple teniendo como variable independiente el factor tiempo, con ajustes de tipo lineal y cúbico según la variable; mientras que, los efectos significativos para la variable intersujeto (tratamiento) fueron analizados por prueba de Tukey.

Para la variable física temperatura y las variables microbiológicas (bacterias aerobias mesófilas y mohos) se utilizó estadística descriptiva basada en media y desviación estándar en cada nivel. Todos los procedimientos fueron realizados en el programa estadístico IBM SPSS (2013), considerando un nivel de significancia de 5% de probabilidad.

## RESULTADOS Y DISCUSIÓN

### VARIACIÓN DE LOS FACTORES FISICOQUÍMICOS DURANTE EL PROCESO DEL COMPOSTAJE

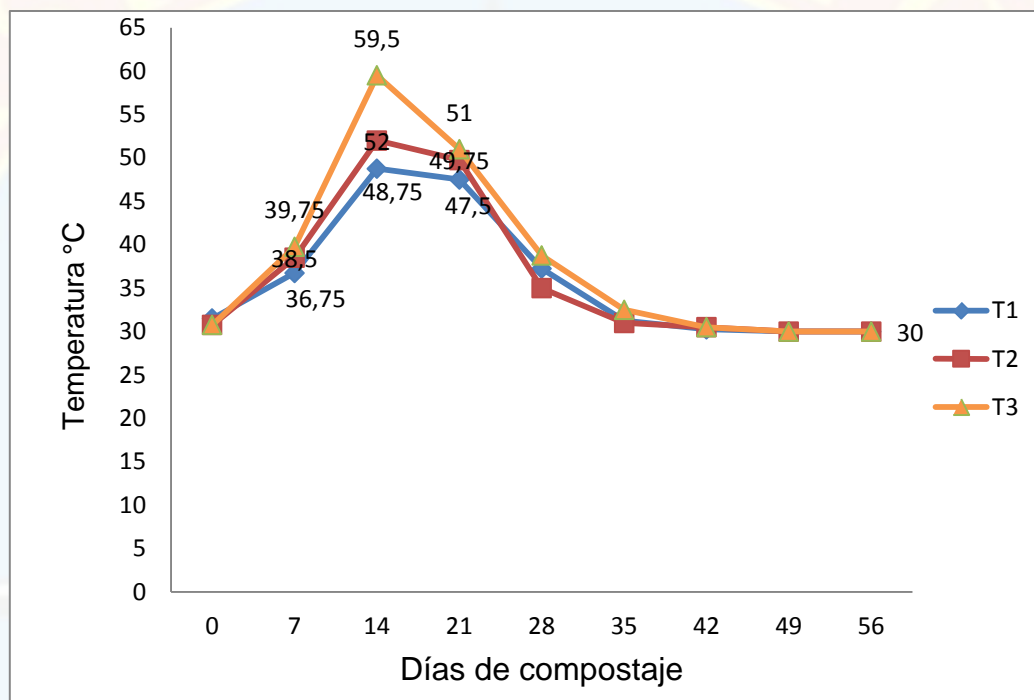
Entre las variables físicas estudiadas se encuentran: la temperatura y humedad, dentro de los factores químicos: pH, conductividad eléctrica, materia orgánica, carbono orgánico, nitrógeno total y la relación carbono/nitrógeno. Los datos presentaron normalidad y homogeneidad de varianza según la prueba de Shapiro-Wilk y la prueba de Levene respectivamente (Cuadro 1 y 2 del Apéndice).

#### Temperatura

La temperatura es una de las variables más importantes en el proceso de biodegradación, debido a que está directamente relacionada con la actividad de los microorganismos en el material tratado, puesto que el calor generado en los procesos de anabolismo y catabolismo celular trae como consecuencia un aumento en la temperatura de los desechos compostados (Chandler *et al.*, 2008).

En la Figura 2 se puede observar los promedios de las temperaturas registradas durante el compostaje, al día cero de medición se registró una temperatura alrededor de 30°C en todos los tratamientos, que posteriormente fue aumentando. A los 7 días se apreció un incremento para T1= 36,75 T2=38,5 y T3 39,75°C. Barrena (2006) señala que el incremento de la temperatura en la primera parte del compostaje indica la presencia de

materiales muy degradables y condiciones de trabajo adecuadas, mostrando el desarrollo correcto del proceso.



**Figura 2. Variación en los promedios de temperatura (°C) durante el compostaje, en los diferentes tratamientos con la inclusión de gallinaza y material vegetal.**

Luego del volteo a los 7 días, los tratamientos alcanzaron las temperaturas termófilas (>45°C), registrándose los valores más altos de temperatura al día 14 del proceso, el T3 obtuvo 59°C, seguido del T2 con 52°C y el T1 con 48,75°C (Cuadro 3 del Apéndice). El T3 mantuvo los promedios más elevados a lo largo del proceso, puede atribuirse a su composición que fue de 60% de inclusión de gallinaza, este presentó las partículas más pequeñas lo que aceleró la degradación microbiana.



Esta etapa termófila se prolongó hasta el día 21, influenciada por la remoción de la masa compostada mediante los volteos realizados lo que es indicativo de una reactivación de la actividad microbiana por la constante aireación de las pilas. Coincidiendo con lo señalado por Salazar (2014), donde observó un incremento en la temperatura posteriormente al volteo lo que mantuvo la fase termófila durante las primeras tres semanas del proceso.

Riera (2009), encontró un comportamiento parecido al evaluar la temperatura en el proceso de compostaje de residuos avícolas y señaló que durante el experimento se mantuvo un rango de 50-60°C durante los primeros 28 días que posteriormente fueron descendiendo hasta terminar el proceso.

Paulatinamente en todos los tratamientos, los promedios de T°C fueron descendiendo luego de los 21 días a pesar de los riegos y volteos semanales, hasta mantenerse constante a partir del día 35. Esta estabilización térmica se puede considerar muy temprana dado que los materiales aún no se encontraban completamente degradados, lo puede atribuirse a la presencia de materiales de difícil asimilación por parte de los microorganismos. Zapata *et al.* (2015), evaluando el efecto de dos métodos de aireación en la biodegradación de residuos lignocelulósicos en cultivos de uva y espárrago registró un aumento de temperatura luego de las 48 horas hasta la etapa termófila prolongándose de 1 a 2 semanas con máximos de 53 a 63°C en todas las pilas que fueron descendiendo gradualmente debido a una baja en la actividad microbiana, como consecuencia de la falta de sustrato de fácil asimilación.

Además una aireación excesiva puede disminuir las temperaturas en las pilas de compost, esto se puede apreciar a partir del día 28. Negro *et al.* (2000), señalan que una de las causas de las estabilizaciones tempranas también puede originarse por una aireación excesiva, puesto que se pueden producir disminuciones en la temperatura y en el contenido de humedad inhibiéndose la actividad microbiológica hasta parar el proceso de compostaje, con lo que podría dar la impresión de que el proceso ha concluido.

Al respecto, Iglesias (2008) asegura que para que un compost se considere estable biológicamente se debe asegurar que no haya variaciones en la temperatura, aunque en algunos casos no implica necesariamente que no haya actividad microbiana. La estabilidad de la temperatura no puede considerarse como criterio convincente en la madurez del compost, ya que con frecuencia ocurre una inactivación de los microorganismos cuando se sobrepasan los 70°C aproximadamente, sin embargo esto no fue el caso de este estudio.

### **Porcentaje de humedad (%H)**

El análisis estadístico para el %H presentó diferencia altamente significativa ( $P < 0,01$ ) para la interacción tiempo\*tratamiento, asumiendo esfericidad según el estadístico W de Mauchly con aproximación univariada (Cuadro 4 y 5 del Apéndice). En la Figura 3 se observa que la curva tuvo una tendencia ajustada por regresión cúbica, donde la ecuación resultante explica las variaciones en el %H de los tratamientos.

Los mayores porcentajes registrados fueron a los 7 días del proceso (Cuadro 6 del Apéndice), comportamiento que puede estar influenciado por

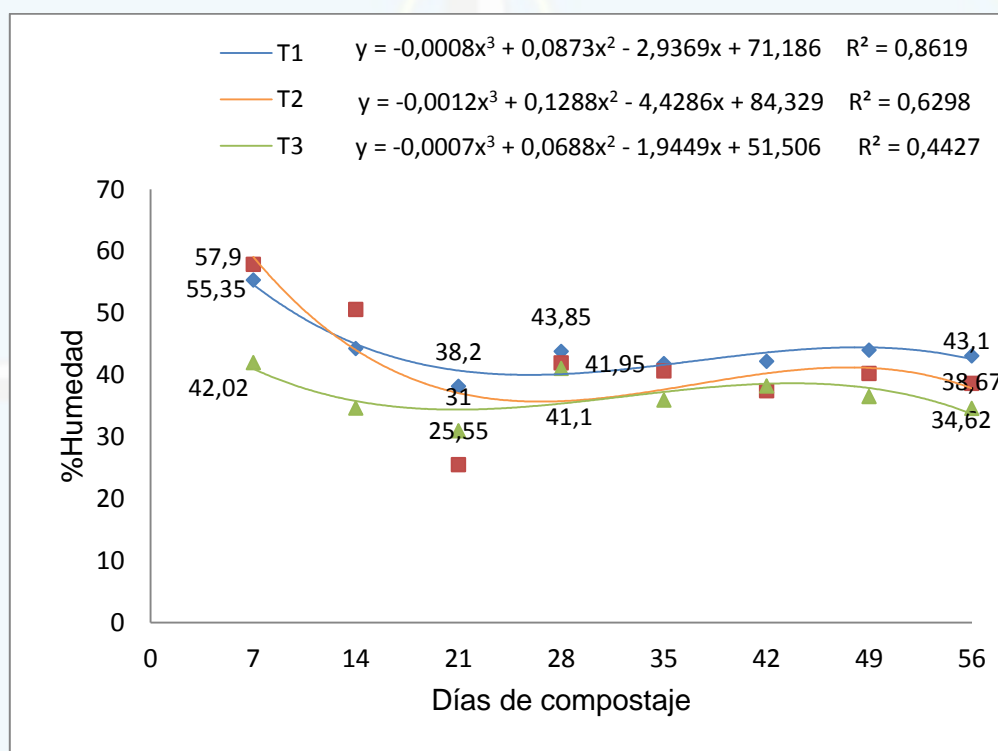
el riego. Para T1= 55,35% y T2= 57,9% mientras que el T3 42,02%H, este resultado coincidió con los mayores promedios de temperatura alcanzados en este tratamiento.

Valores referenciales del proceso indican que el rango óptimo de humedad para compostaje debe estar entre 45% a 60%, aunque varía dependiendo del estado físico y tamaño de las partículas, así como del sistema empleado para realizar el compostaje (Pilar *et al.*, 2013). De acuerdo con esto, Sánchez (2008) señala un rango más amplio para comenzar el proceso de compostaje, entre 30 a 60%H.

Márquez *et al.* (2008) asegura que la presencia de agua es imprescindible para las necesidades fisiológicas de los microorganismos, ya que es el medio de transporte de las sustancias solubles que sirven de alimento a las células y de los productos de deshecho de las reacciones que tienen lugar durante dicho proceso

Se aprecia la disminución en el %H para todos los tratamientos a partir de los 14 días, dado que se redujo la cantidad de agua aplicada en los composteros, como consecuencia de la proliferación de olores amoniacales que fue atribuido a un exceso de humedad en la parte inferior de los composteros. Sin embargo esto puede ser normal debido a que las partículas más densas de la materia prima utilizada para la elaboración de las mezclas, se acumularon en ese lugar. Palmero (2010), indica que las partículas demasiado finas crean poros pequeños que se llenan de agua, facilitando la compactación del material y un flujo restringido del aire creando malos olores.

GRAMA (2005), coincide que como consecuencia de una mala aireación la concentración de oxígeno alrededor de las partículas de las materias primas utilizadas, baja a valores inferiores al 20% y en la práctica esta situación se diagnostica por la aparición de un fuerte olor a amoníaco, producto de respiraciones anaeróbicas por lo tanto se debe proceder a suspender los riegos y a la remoción del material.



**Figura 3. Variación en el porcentaje de humedad (%H) durante el compostaje, en los diferentes tratamientos con la inclusión de gallinaza y material vegetal.**

Al realizar la tercera remoción del material y una vez alcanzados los 28 días se pudo notar una disminución del mal olor en los composteros en su totalidad y un incremento en los %H para todos los tratamientos entre 41,1 y 43,85%, dado que se regularizó la práctica de riego, posteriormente se



incrementó y mantuvo una tendencia a descender luego de los 49 días de compostaje. Finalizando a los 56 días entre 34,62 a 43,1%H.

Machuca y Muñoz (2018), evaluando dos métodos de compostaje como alternativa al manejo de equinaza registraron %H iniciales de 60 y 70% en dos tratamientos y evidenciaron un descenso a lo largo del proceso hasta alcanzar valores de 38 y 40% que pudieron estar asociados a la frecuencia de los volteos, estos promedios en el %H fueron similares a los encontrados en este experimento.

Por otro lado, Pérez (2008), evaluó el efecto de la aireación en pilas de compostaje de biosólidos, señalando amplias variaciones en todo el proceso, al inicio se observaron niveles altos de 70% de humedad que posteriormente disminuían y luego presentaban ligeros incrementos hasta estabilizarse en valores cercanos a los 55% en la octava semana del proceso.

Las variaciones en los %H pueden atribuirse a la restricción del riego y a las constantes remociones realizadas a lo largo del proceso, incidiendo también con el descenso de la temperatura (Figura 1), por lo que se pudo evidenciar que estas variables están directamente relacionadas.

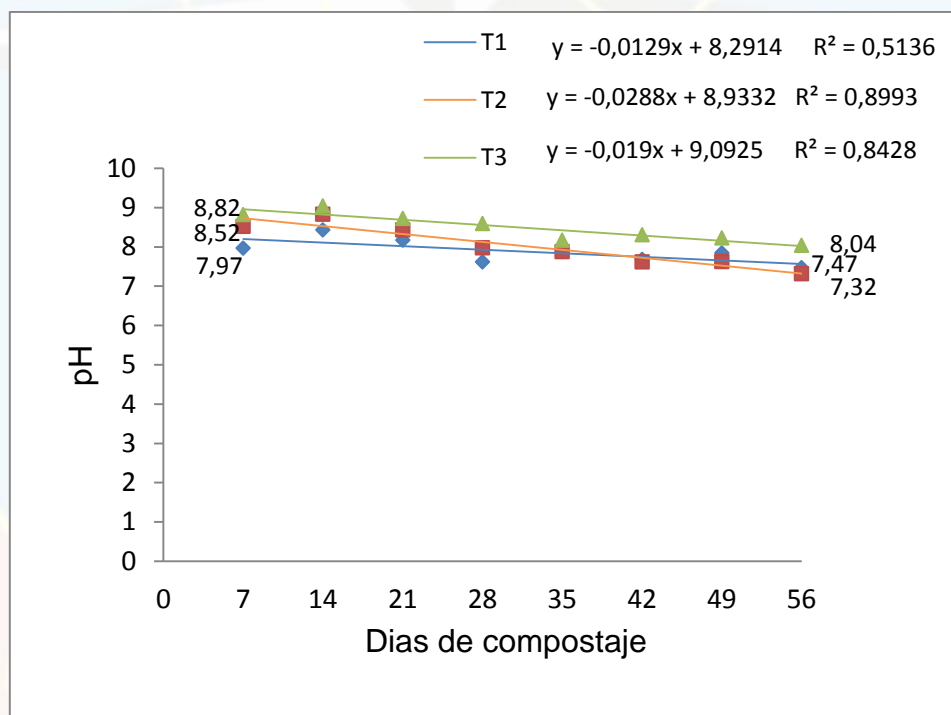
Adicionalmente Palmero (2010), menciona que a la hora de regar y tomar muestras se debe tener cuidado pues el agua puede circular sin llegar a todo el material y puede escurrirse por los lados sin penetrar en el interior.

Además Espinoza *et al.* (2017), indican que muchas veces la humedad en los abonos no es uniforme, el mejor procedimiento es usar criterio propio y tomar varias muestras en proporciones variables dependiendo de las condiciones que observe el colector de la muestra. El muestreo se debe

realizar de afuera hacia adentro hasta lograr una mezcla completa. Se recomienda tomar de 6 a 12 puntos y mezclar para obtener la muestra final

## pH

El análisis estadístico para el pH presentó diferencia altamente significativa ( $P < 0,01$ ) para la interacción tiempo\*tratamiento, asumiendo esfericidad según el estadístico W de Mauchly con aproximación univariada (Cuadro 7 y 8 del Apéndice). En la Figura 4 se observa que la curva tuvo una tendencia ajustada por regresión lineal, donde la ecuación resultante explica que a medida que avanza el proceso de compostaje los valores de pH disminuyeron.



**Figura 4. Variación de pH durante el compostaje, en los diferentes tratamientos con la inclusión de gallinaza y material vegetal.**

Los niveles de pH varían en respuesta a los materiales utilizados en la mezcla inicial y a la producción de varios compuestos durante el proceso de degradación por parte de los microorganismos. De acuerdo a la Figura 4 los valores iniciales en los T1, T2 y T3 que oscilaron entre 7,90 a 8,82 (Cuadro 9 del Apéndice) los cuales pudieron estar influenciados al porcentaje de inclusión de gallinaza. Mullo (2012) asegura que la gallinaza posee un pH alrededor de 8,01 donde el nitrógeno proveniente de ella en su mayor parte se encuentra en forma de amonio, que puede ser muy volátil. Lo que explica los altos valores de pH encontrados en los análisis.

A los 14 días del proceso se apreció un ligero incremento. Al respecto, Avendaño (2003) menciona la tendencia del pH en algunos procesos es aumentar en las primeras semanas debido a la descomposición. Por su parte, Robles (2015) asegura que durante la fase termófila se incrementan los niveles de pH como consecuencia de la pérdida de ácidos orgánicos y la formación de amoníaco procedente de la descomposición de las proteínas y bases nitrogenadas.

A medida que avanza la descomposición los valores máximos se mantienen en el T3 que contiene 60% de gallinaza. Es un estudio realizado por Iparraguirre (2007) donde evaluó el compostaje de excretas de diferentes especies en distintos niveles, arrojó valores parecidos a los de este ensayo reportando niveles de pH a los 48 días en compost con 40 y 60% de excretas de gallinas era de 7,4 y 8,7 respectivamente.

En general todos los tratamientos tuvieron una tendencia a descender a lo largo del proceso y a los 56 días se registró valores para el T1= 7,47 T2=7,36 y T3 8,04 siendo el T2 quien logró los niveles de pH más cercanos a la neutralidad. Machuca y Muñoz (2018), indican que la disminución de los

valores de pH se ve influenciado por el metabolismo bacteriano, los compuestos carbonados se transforman en ácidos orgánicos.

Comportamiento distinto al encontrado en un estudio elaborado por Hernández *et al.* (2004), que evaluaron el pH en compost a base de diferentes estiércoles donde al final del proceso ocurrió un incremento en los valores de pH y el compost de estiércol de bovino terminó en un rango de pH entre 8,50 – 8,75, el compost de estiércol de ovino y caprino con pH entre 9– 9,50

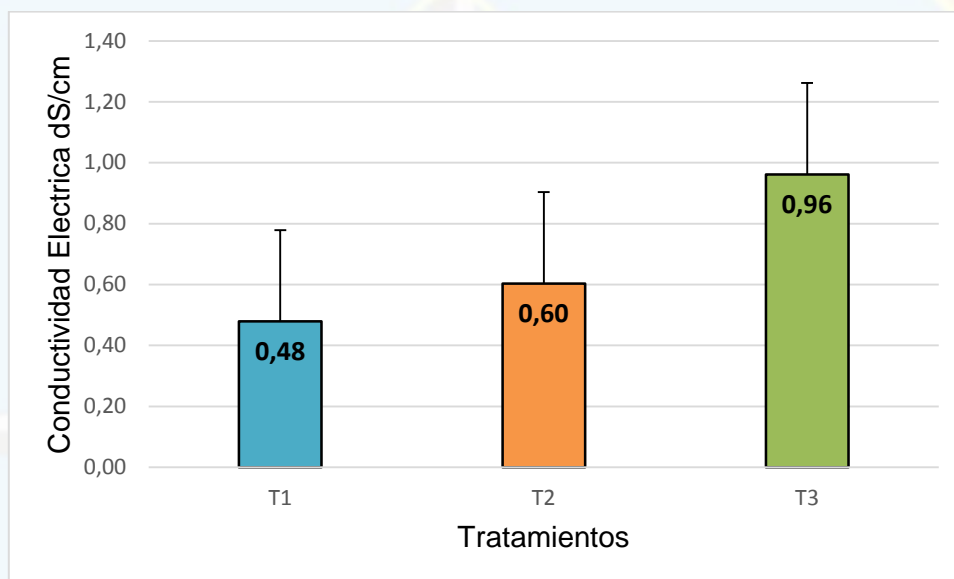
El pH del compostaje depende de los materiales de origen y varía en cada fase del proceso desde 4,5 a 8,5 (Pilar *et al.*, 2013). Todos los tratamientos en este ensayo estuvieron dentro de este rango.

### **Conductividad Eléctrica (CE)**

El análisis estadístico para CE por ajuste multivariado obtuvo diferencia significativa para el factor tratamiento de manera independiente y se rechaza esfericidad según el estadístico W de Mauchly (Cuadro 10 y 11 del Apéndice). En la Figura 5 se puede observar los promedios de CE encontrados en cada tratamiento, demostrando que mientras mayor sea el porcentaje de gallinaza incluida en el compost los promedios para la CE aumentaron, es decir el T3 es estadísticamente superior según Tukey al T1 (Cuadro 12 del Apéndice). Escobar *et al.* (2013), mencionan que la gallinaza por estar constituido básicamente por heces y orina contiene sales producto de los desechos metabólicos, lo que explica el comportamiento de T3. Por otro lado el T2 resulto estadísticamente similar al T1.



Parra (2008), señala que la conductividad eléctrica del proceso se encuentra influenciada por el origen de los materiales, relacionado a una elevada concentración de sales. De acuerdo con Iparraguirre (2007), la CE es una medida de la concentración de sales en la fase líquida del compost y es usado como criterio para determinar la calidad del mismo



**Figura 5. Conductividad eléctrica (CE) expresada en dS/cm, en los diferentes tratamientos con la inclusión de gallinaza y material vegetal.**

Los resultados de investigación son bajos dada la naturaleza de los materiales iniciales, sin embargo se mantienen dentro del valor indicado por Nch2880 (2005), donde se considera un producto de calidad aquel que contenga  $\leq 3\text{dS}\cdot\text{m}^{-1}$

En el compostaje de gallinaza realizado por Auquilla (2019), se pudo observar que para la CE no hubo amplias variaciones y al final del proceso obtuvo valores entre 3,14 y 3,65 dS/cm, menciona que la CE tiende a aumentar durante del proceso de compostaje debido a la mineralización de

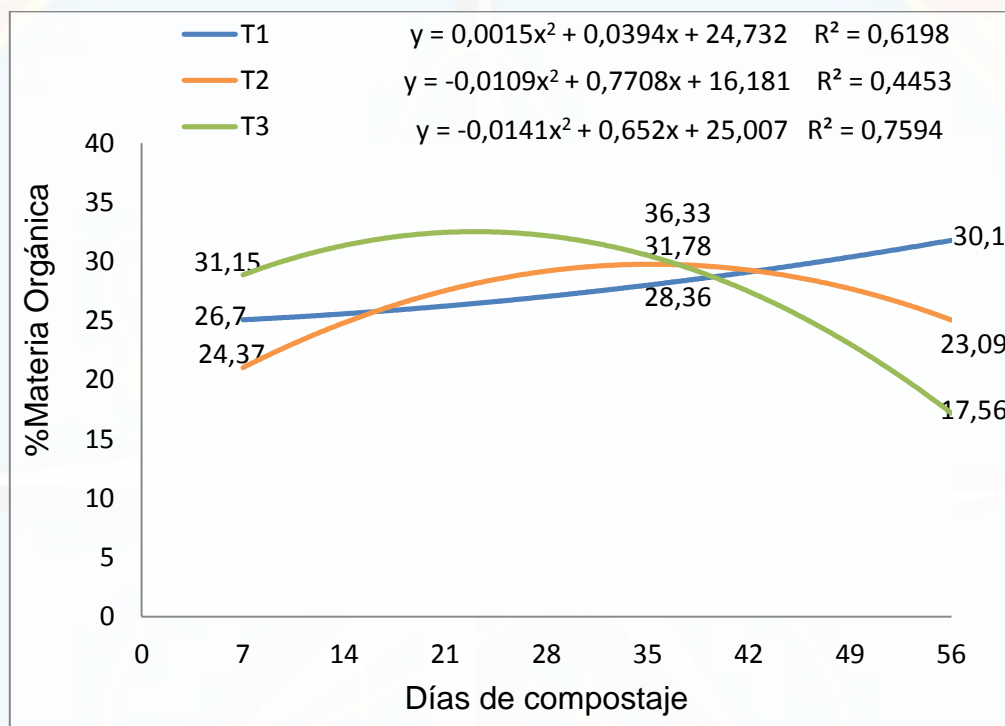
materia orgánica y disminuye debido a los riegos para la humectación de las pilas, mientras que De Luna *et al.*, (2009), registro una variación de 1,46 a 1,51 dS/cm al evaluar el compostaje con diferentes excretas y concluyó que dichos resultados no afectarían el transporte de nutrientes del suelo al cultivo. Los valores alcanzados en este ensayo para todos los tratamientos estuvieron por debajo a los resultados de CE registrados por los autores antes mencionados.

Hernández *et al.* (2010), analizando el compostaje con diferentes estiércoles registro valores para CE que variaron a través del tiempo, el estiércol de ovinos y caprinos inicio con una CE de 1,54 dS/m y el de bovino con 5,41 dS/m, mientras que los valores de CE finales fueron inferiores a los iniciales, lo que quiere decir que la CE disminuyó con el proceso de compostaje

### **Porcentaje de Materia Orgánica (%MO)**

El análisis estadístico para %MO con aproximación multivariada mostró efecto significativo para la interacción tiempo\*tratamiento y se rechaza esfericidad según el estadístico W del (Cuadro 13 y 14 del Apéndice). En la Figura 6 se observa que la curva tuvo una tendencia ajustada por regresión cúbica, donde la ecuación resultante explica la variabilidad de la materia orgánica en el proceso de compostaje. Al inicio los %MO se encuentran entre 31,15% y 24,37% (Cuadro 15 del Apéndice), T3 con el mayor porcentaje seguido por T1 y T2. A medida de que avanza el compostaje los %MO descienden hasta los 21 días alcanzando valores para T3= 28,5% T1= 23,75% y T2= 22,21%MO para ese momento.

Arias *et al.* (2009), indican que este proceso disminuye el contenido de materia orgánica debido a la acción de los microorganismos sobre esta, produciendo dióxido de carbono, agua, diversos compuestos y energía liberada en forma de calor.



**Figura 6. Variación del porcentaje de materia orgánica (%MO), en los diferentes tratamientos con la inclusión de gallinaza y material vegetal.**

A los 28 días, una vez que termina la fase termófila, hubo un incremento significativo en todos los tratamientos. Esta tendencia se mantuvo hasta alcanzar un 36,33 %MO por parte del T3 a los 35 días. Pilar *et al.* (2013), mencionan que este aumento se debe a los productos generados por microorganismos, como bacterias y hongos, además de sus propias células que al morir hacen parte de la MO, en esta fase del proceso también ocurre la descomposición de los compuestos más complejos como

los polímeros y hemicelulosa, formación de ácidos húmicos que dan paso a la fase final del proceso (Iparraguirre, 2007).

Velazco *et al.* (2004), evaluando poblaciones microbianas en compost de paja de avena y estiércoles de caprinos y bovinos, evidenciaron que la materia orgánica se degrada conforme transcurre el tiempo, dependiendo de la complejidad de su estructura, los materiales más simples se descomponen en primer lugar y sirven de sustrato para los microorganismos; esto incrementa la biomasa microbiana en las etapas tempranas, mientras que para las etapas posteriores, los materiales son más complejos y los microorganismos que los atacan son más específicos y menos abundantes

Sin embargo el T1 y T2 alcanzaron valores máximos de %MO a los 42 días de iniciado el proceso, tardando 7 días más al compararlo con el T3. Melgarejo *et al.* (1997), mencionan que la velocidad de descomposición y mineralización va en función a la calidad de los sustratos iniciales, los residuos de carácter lignocelulíticos probablemente requerirán mayor tiempo de compostaje y microorganismos especializados para la descomposición.

Una vez que la materia orgánica en todos los tratamientos nuevamente tomó una tendencia a descender, hasta finalizar el proceso, el día 56 contenían T1= 30,1% T2= 23,09% y T3= 17,56%. El T3 que hasta los 35 días tuvo los porcentajes más altos para esta variable, fue el tratamiento que logró la mayor disminución en el %MO. Este comportamiento se debe a que en su composición se encontraban sustratos de más fácil asimilación por parte de los microorganismos.

Robles (2015), asegura que el descenso en materia orgánica transcurre en dos etapas, en la primera se produce un rápido decrecimiento de los



carbohidratos, transformándose las cadenas carbonadas largas en otras más cortas con la producción de compuestos simples y en la segunda etapa, una vez consumidos los compuestos lábiles, otros materiales más resistentes como las ligninas se van degradando lentamente transformándose en compuestos húmicos.

En un estudio realizado por Auquilla (2019) al compostaje de gallinaza en 3 tratamientos, se registró un descenso significativo del porcentaje de materia orgánica, iniciando con valores entre 84 a 73% hasta valores finales de 38 a 35% atribuyendo la disminución de los valores debido a la mineralización de la MO y a la consiguiente pérdida de carbono en forma de anhídrido carbónico.

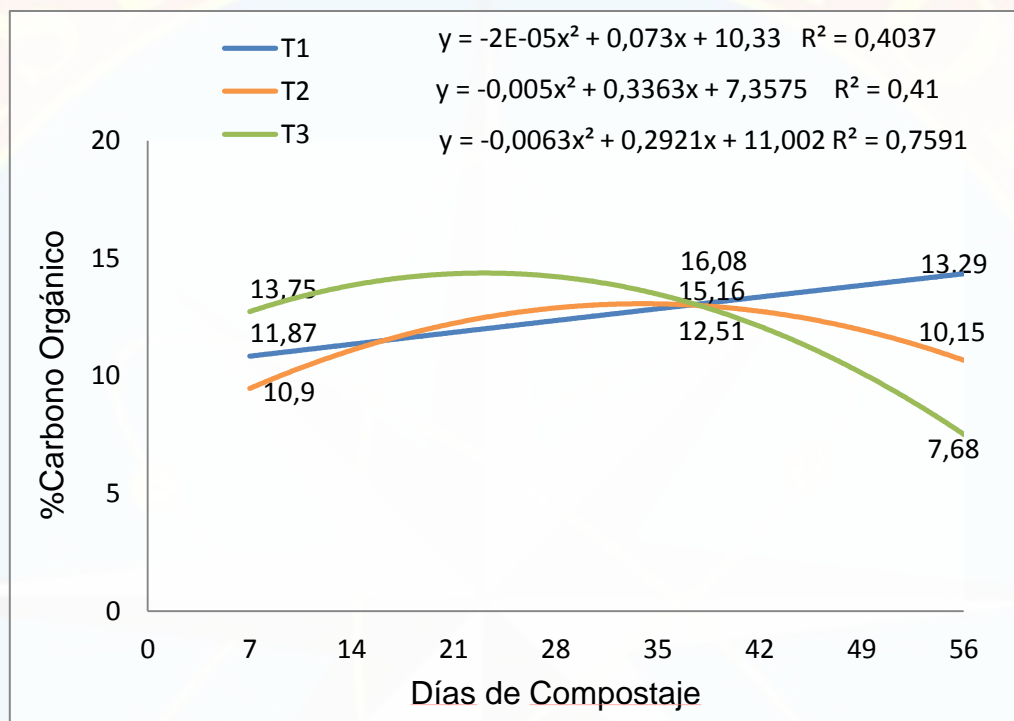
Por otro lado De Luna *et al.* (2009), al evaluar el compostaje con excretas de diferentes especies obtuvo variaciones de materia orgánica entre el 27,40 a 27,88%

### **Porcentaje de Carbono Orgánico (%CO)**

El análisis estadístico para %CO con aproximación multivariada mostró efecto significativo para la interacción tiempo\*tratamiento, rechazando la esfericidad según el estadístico W de Mauchly (Cuadro 16 y 17 del Apéndice). En la Figura 7 se observa que la curva tuvo una tendencia ajustada por regresión cúbica, donde la ecuación resultante explica la variabilidad del %CO en el proceso de compostaje.

Márquez *et al.* (2008), señalan que es el elemento que debe estar presente en mayor cantidad puesto que constituye el 50% de las células de

los microorganismos y el 25% del anhídrido carbónico que se desprende en la respiración.



**Figura 7. Variación del porcentaje de carbono orgánico (%CO), en los diferentes tratamientos con la inclusión de gallinaza y material vegetal.**

A los 7 días los %CO fueron 13,75%, 11,87% y 10,9% (Cuadro 18 del Apéndice), T3 con el mayor porcentaje seguido por T1 y T2. A medida de que avanza el tiempo los %CO descienden hasta los 21 días, esto se atribuye a que el carbono es utilizado por los microorganismos como fuente de energía, las dos terceras partes del carbono son quemadas y transformadas en CO<sub>2</sub> y el restante entra a formar parte del protoplasma celular de los nuevos microorganismos (Negro *et al.*, 2000).

Al transcurrir el tiempo de compostaje los %CO vuelven a incrementarse hasta llegar a un máximo el día 35 para T2 y T3 de 15,16% y

16,08% respectivamente, a diferencia del T1 que alcanzó el 16,57% siendo el porcentaje más alto a los 42 días. Hoyos *et al.* (2010), señalan que en valores altos de carbono orgánico puede atribuirse al material celulósico que pudiera estar presente en compost elaborados con aserrín o cascarilla de arroz que difícilmente es asimilado por los microorganismos.

Posteriormente ocurre un declive en los porcentajes hasta finalizar el proceso mostrando un comportamiento igual al de la materia orgánica (Figura 6) siendo el T1 superior al registrar 13,29 %CO. La cantidad de materia orgánica influye directamente en la cantidad de carbono orgánico, debido a que aproximadamente la mitad de la materia orgánica está representada por carbono orgánico (Palomo, 2015).

Guerrero y Monsalve (2007) en la evaluación del compostaje en dos pilas de subproductos derivados del sacrificio y faenado del ganado registraron valores de 14,5% y 14,25% CO, resultados cercanos a los de este ensayo utilizando otras materias primas.

#### **Porcentaje de Nitrógeno Total (%NT) y Relación Carbono Nitrógeno(C/N)**

El análisis estadístico para %NT y la Relación Carbono/Nitrógeno por ajuste multivariado no detectó efecto significativo del factor tiempo ni de la interacción tiempo\*tratamiento rechazando la esfericidad según el estadístico W de Mauchly (Cuadro 19, 20, 21 y 22 del Apéndice). Los promedios obtenidos por tratamiento se muestran en el Cuadro 3, con valores de 0,28% para T1 y T3 y 0,27%NT para T2, todos estadísticamente similares entre sí.

**Cuadro 3 Promedios % Nitrógeno Total (%NT) y Relación Carbono/Nitrógeno (C/N)**

Tratamientos	%NT	Relación C/N
<b>T1 (20% gallinaza)</b>	0,28	45,03
<b>T2 (40% gallinaza)</b>	0,27	44,07
<b>T3 (60% gallinaza)</b>	0,28	44,11

Avendaño (2003), indica que el %NT en estiércoles de distintas especies varia de 1,5 a 4,3% caso contrario a los materiales de origen vegetal como la cascarilla de arroz y el pasto, estos últimos presentan valores alrededor de 0,3 a 0,9%. Los valores de %NT obtenidos en el experimento se consideran bajos dado que se utilizó la gallinaza como una de las principales fuentes de N, este resultado puede asociarse a la metodología implementada para la determinación de esta variable, además, a la pérdida de nitrógeno por volatilización durante la etapa termófila cuando se combinan aumentos de temperatura y pH (Hang *et al.*, 2015).

La descomposición de la materia orgánica genera una elevada demanda de nitrógeno, la carencia de este elemento podría afectar el crecimiento y desarrollo de las poblaciones de hongos y bacterias que intervienen en su transformación, en cambio en cantidades adecuadas permite el crecimiento rápido y acelera la descomposición (Sepúlveda y Alvarado, 2013), Por lo tanto se recomienda que al inicio el %NT se encuentre entre 2,5 y 3%; y al final valores superiores al 0,50% (Pilar *et al.*, 2013).



En este sentido Porta *et al* (2003), indican que el nitrógeno presente en aquellas sustancias tales como glúcidos, proteínas, péptidos, aminoácidos, poliésteres y ácidos orgánicos de bajo peso molecular, son fácilmente biodegradables por enzimas específicas, por lo que persistirán poco tiempo durante el proceso de compostaje.

De acuerdo con esto Acosta *et al.* (2012), mencionan que el nitrógeno es el elemento más difícil de conservar, se pierde por lavado en forma de nitratos, desnitrificación como nitrógeno gaseoso y por volatilización en forma de amoníaco. Palomo (2015), obtuvo resultados en el %NT parecidos a los de esta investigación al evaluar el compostaje de oviscaprina y codornaza registrando 0,20% y 0,23%NT respectivamente.

Hoyos *et al.* (2010), utilizaron una mezcla de gallinaza en la elaboración de compost donde obtuvieron promedios entre 1,39 y 1,57% de nitrógeno total. Parra (2008), quien evaluó poblaciones microbianas en dos tipos de compost utilizando gallinaza y bovinaza durante el proceso de compostaje reportó también valores más elevados a lo de esta investigación con 3,32 y 2,13% NT, esto debido principalmente a los diferentes materiales utilizados en la elaboración del compost.

Por otro lado se aprecian que el mayor promedio de relación carbono/nitrógeno pertenece al T1 con 45,26; mientras el T2 y T3 fueron un poco más bajas con 44,07 y 44,11 respectivamente.

El rango ideal de comienzo es de 25-30:1 y debe finalizar en 10-15:1 (Agrowaste, 2013). Los resultados de la relación C/N obtenidos, fueron superiores a los referenciales para un compost estable lo que puede deberse al bajo porcentaje de nitrógeno total presente en los composteros, además

de la proporción de cascarilla de arroz y pasto en la composición de las mezclas, estos materiales de origen vegetal poseen una relación C/N de 120 y 96 respectivamente (Sepúlveda y Alvarado, 2013).

Sánchez (2008), señala que relaciones C/N altas significan que no hay suficiente nitrógeno para el crecimiento óptimo de las poblaciones microbianas, así que el compost es relativamente frío y la degradación procederá a una tasa lenta. En este sentido Yáñez *et al.* (2007), aseguran que en algunos materiales compostados gran parte del carbono orgánico está en forma de lignina y celulosa que no son disponibles inmediatamente para el uso microbiano. Cuando la relación presenta un valor superior a 35, el proceso de descomposición se alarga considerablemente y el exceso de carbono es oxidado a dióxido de carbono.

Lo que concuerda con los resultados obtenidos en este proceso, ya que para el día 56 aún se apreciaban las materias primas utilizadas inicialmente. A pesar de lo anterior, el valor de la relación C/N puede ser alta inicialmente, pero ira disminuyendo en el proceso de compostaje a medida que la materia orgánica se transforme en humus o elementos minerales ya sea el caso (Porta *et al.*, 2003).

Igualmente, Avendaño (2003), asegura que a medida que el compostaje avanza, la relación C/N disminuye gradualmente llegando a alcanzar valores entre 8 y 10 en el producto final "compost" ya que gran parte del carbono es continuamente liberado (CO<sub>2</sub>), mientras que la mayoría del nitrógeno es reciclado, lo que refleja la descomposición de la materia orgánica y su estabilización.

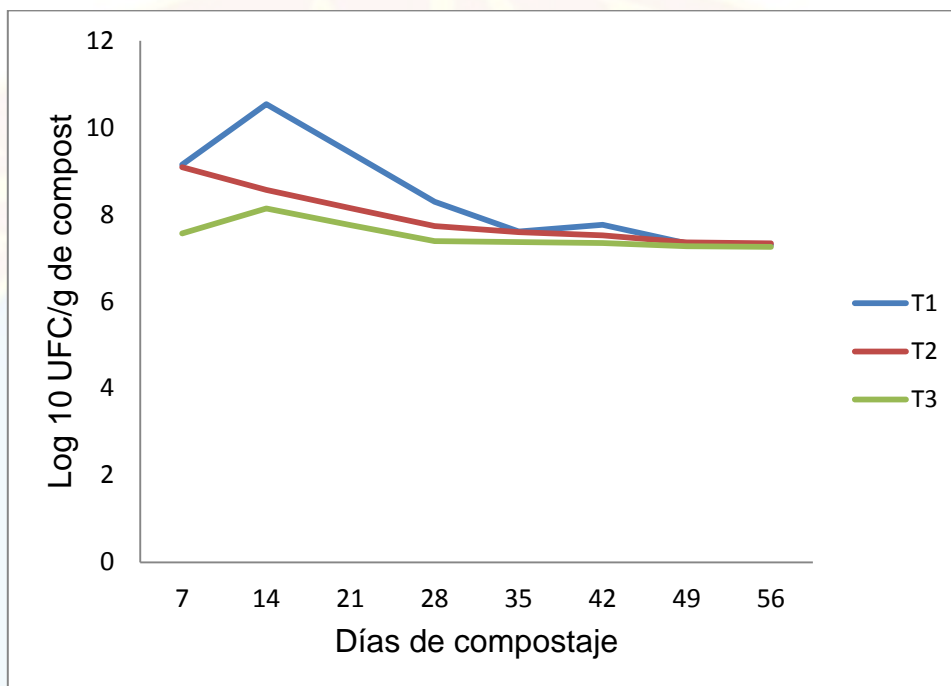
Salazar (2014), evaluando diferentes tipos de compost, durante el proceso de compostaje encontró relaciones de carbono/nitrógeno hasta de 38 concluyendo que el periodo de estudio no fue suficiente y que el material no estaba descompuesto totalmente.

## **CUANTIFICACIÓN DE BACTERIAS AEROBIAS MESÓFILAS Y MOHOS DURANTE EL PROCESO DE COMPOSTAJE**

El compostaje es un proceso donde actúan una amplia variedad de microorganismos capaces de degradar la materia orgánica para convertirla en un producto estable, siendo el recuento de bacterias aerobias de gran utilidad para evaluar la velocidad de la descomposición y a su vez un indicador de la calidad sanitaria del producto obtenido (Núñez *et al.*, 1987).

### **Bacterias Aerobias Mesófilas (BAM)**

En la Figura 8 se observan las variaciones en las poblaciones de bacterias aerobias mesófilas (BAM) a lo largo del proceso, el T1 y T2 registraron los mayores promedios, con un incremento los 14 días por parte del T1 y T3 que puede ser debido a la disponibilidad de nutrientes encontrados en las pilas de compost además de otros factores como la humedad y el pH. Mientras que el T2 los valores disminuyeron durante el compostaje, tal resultado podría estar asociado al tamaño de las partículas en este tratamiento. De acuerdo con esto, Hurtado (2014) asegura que el tamaño de las partículas influye en la velocidad con que ocurren las reacciones dentro del proceso de compostaje.



**Figura 8. Variación en la población de bacterias aerobias mesófilas en los diferentes tratamientos con la inclusión de gallinaza y material vegetal.**

En general, los recuentos de las BAM tuvieron la tendencia a disminuir desde los 21 días, esto pudo estar influenciado por el agotamiento de los nutrientes más fácilmente biodegradables, lo que coincide con una nueva fase mesófila, en esta etapa de enfriamiento vuelven a reaparecer microorganismos mesófilos y el pH desciende levemente debido a la producción de ácidos orgánicos (Sepúlveda y Alvarado, 2013). Además esta disminución en los recuentos de BAM pudo estar influenciada por la reducción en el contenido de humedad como se puede apreciar en la Figura 3 consecuencia de factores externos asociadas a la práctica de riego en el manejo de compost. Al respecto Palmero (2010), menciona que la humedad está estrictamente relacionada al crecimiento y desarrollo microbiano y considera adecuados niveles entre el 50-70% para una óptima actividad biológica.



Durante el compostaje el T1 que contenía mayor cantidad de material vegetal en su composición, las poblaciones de BAM fueron superiores y tuvo un ligero incremento a los 42 días pero aun así no superó a los valores iniciales. Agrowaste (2013), señala que cuando en las materias primas iniciales predominan los compuestos tales como la lignina, celulosa y grasas influye en los microorganismos que intervienen en ella y por lo tanto en la velocidad del proceso de degradación. Finalmente los promedios en las poblaciones de BAM se mantienen estables a partir del día 49 hasta finalizar el proceso para todos los tratamientos.

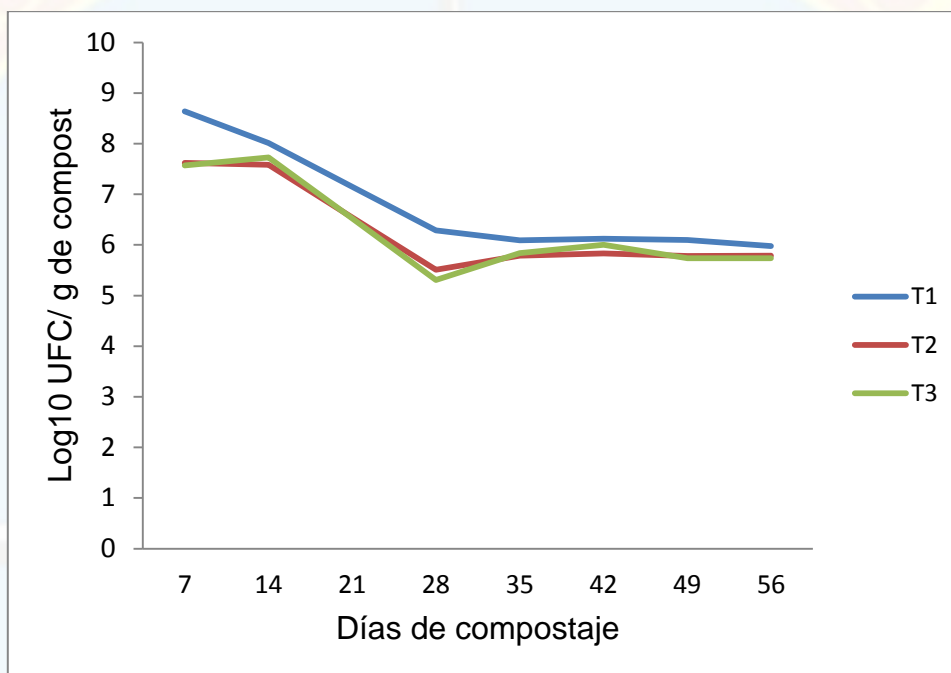
Este comportamiento de las BAM se muestra parecido a un estudio elaborado con dos niveles de incorporación de gallinaza y un tercero con estiércol de bovino realizado por Escobar *et al.*, (2013) donde se encontraron las mayores poblaciones bacterianas durante los primeros 15 días en las dos primeras muestras que contenían gallinaza, atribuyendo este resultado a la alta carga bacteriana procedente de las excretas que posteriormente fueron disminuyendo en todo el tiempo que duro el estudio.

La Norma Técnica Colombiana (2004), no estipula un resultado específico en cuanto a la carga microbiana, sin embargo menciona que si el producto presenta contenidos de microorganismos benéficos debe declararse el recuento de bacterias aerobias mesófilas, mohos y levaduras

### **Mohos**

En los recuentos de las poblaciones de mohos en el proceso de compostaje (Figura 9) se puede observar los promedios más altos en el T1; Silva *et al.* (1999) mencionan que los hongos son imprescindibles en la descomposición de materia orgánica compleja y de la celulosa que es la

parte más resistente de la materia orgánica. Esto explica el comportamiento del T1 quien contenía el menor porcentaje de gallinaza, a su vez la mayor cantidad de material vegetal y quien reporto los menores valores de pH.



**Figura 9. Variación en la población de mohos a lo largo del proceso en los diferentes tratamientos con la inclusión de gallinaza y material vegetal.**

Los promedios de las poblaciones de mohos en el T2 y T3 estuvieron por debajo del T1, esto puede estar influenciado por el pH, ya que se considera un factor limitante del crecimiento de estos microorganismos. De acuerdo con esto, Rivas *et al.* (2017) En un estudio de las poblaciones de hongos presentes durante el proceso de compostaje con base de bora, residuos de café y de jardinería registraron mayores promedios en el compost con base de residuos de jardinería y hace referencia a que el tipo de sustrato, la aireación, la humedad y el pH son determinantes para su desarrollo.

Agrowaste (2013), menciona que en general los hongos en comparación de las bacterias toleran un amplio rango de pH entre 5-8. No obstante Sepúlveda y Alvarado (2013), asegura que los hongos prefieren condiciones acidas, coincidiendo con Robles (2015), que indica medios ligeramente ácidos mejoran el desarrollo de hongos

Las poblaciones de mohos en todos los tratamientos disminuyeron durante el tiempo. Los T2 y T3 quienes alcanzaron los promedios más bajos hasta los 28 días posteriormente se estabilizaron luego del día 49 hasta finalizar el compostaje. De la misma manera Salazar (2014) y Palomo (2015), hacen referencia que los recuentos de mohos descendieron hacia el final del proceso de compostaje, esto pudo ser debido a que los nutrientes comenzaban a escasear.

#### **Determinación de *Salmonella* sp. en las pilas de compost al inicio y al final del proceso de compostaje**

La calidad del compost viene determinada por la suma de distintas propiedades y características. Los criterios relevantes en la evaluación de la calidad son: destino del producto, protección del entorno y requerimientos del mercado (Soliva y López, 2004).

Pilar *et al.* (2013), asegura que la inocuidad biológica del compost, depende de la temperatura que alcance el material compostado, por ejemplo para *Salmonella* sp. deberá tener un tiempo de exposición de 1 hora a 55°C o de 15 a 20 minutos a 65°C. Por otro lado, NCH2880 (2005), señala que en el método de compostaje de apilamiento con volteos, la temperatura del compost deberá mantenerse a 55°C o más, alrededor de 15 días. En este

tiempo, las pilas deberán ser volteadas un mínimo de 5 veces para asegurar la eliminación de bacterias patógenas.

En el Cuadro 3 se aprecia que la bacteria *Samonella* sp. estuvo presente en los tres tratamientos, al principio y al final del periodo de compostaje, registrándose presencia de *Salmonella* sp. en 25 gramos de compost, aunque se produjeron etapas termófilas durante el proceso la frecuencia de los volteos pudo causar una aireación excesiva que enfrió las pilas impidiendo que las temperaturas  $>55^{\circ}\text{C}$  se mantuvieran por el periodo requerido, por lo que la higienización del producto final no se pudo lograr.

**Cuadro 4 Presencia de *Salmonella* sp. en las pilas de compost.**

<b>Tratamientos</b>	<b>Al inicio</b>	<b>Al final</b>
<b>T1 (20% gallinaza)</b>	Positivo	Positivo
<b>T2 (40% gallinaza)</b>	Positivo	Positivo
<b>T3 (60% gallinaza)</b>	Positivo	Positivo

En un estudio realizado por Hang *et al.* (2015), la etapa termófila se prolongó por 70-100 días y el contenido de coliformes fecales, elementos potencialmente tóxicos y parámetros de estabilidad y madurez indicaron que a los 4-6 meses de iniciado el proceso el producto era inocuo, estable y maduro.

El resultado obtenido en este trabajo no cumple con lo que menciona las Normas Técnicas Colombianas NTC (2004) donde el compost final deberá demostrar que no supera los niveles máximos de microorganismos patógenos como la *Salmonella* sp ausente en 25 gramos de producto final.



## CONCLUSIONES

En cuanto a las variables fisicoquímicas y microbiológicas del proceso de compostaje se concluye que:

- Se apreció una fase termófila en el proceso, registrando temperaturas máximas a los 14 días en los todos tratamientos.
- El %Humedad y el pH disminuyeron durante el proceso de compostaje.
- Los promedios de conductividad eléctrica (CE) fueron bajos en todos los tratamientos, el máximo valor se obtuvo el T3 con 0,96dS/cm.
- En cuanto a los porcentajes de materia orgánica y carbono orgánico fluctuaron en el transcurso del compostaje, descendiendo a final del proceso el T2 y T3.
- Los valores porcentuales de Nitrógeno Total (%NT) fueron bajos en todos los tratamientos, con promedios menores a 0,28.
- Las relaciones carbono/nitrógeno (C/N) fueron elevadas al final del proceso.
- Los promedios de las poblaciones de bacterias aerobias mesófilas y mohos alcanzaron promedios máximos en la segunda semana y disminuyeron hasta estabilizarse durante el compostaje.
- En todos los tratamientos al inicio y al final del proceso de compostaje se evidenció la presencia de *Salmonella sp.*

Los resultados obtenidos en el compostaje con gallinaza demostraron que 56 días de descomposición no fueron suficientes para lograr un producto estable y maduro, además, las temperaturas termófilas que fueron alcanzadas no se mantuvieron el tiempo correspondiente para

la eliminación de *Salmonella sp* lo que impidió la higienización del material.



## RECOMENDACIONES

- Evaluar variables físicas y químicas a los materiales utilizados para compostar antes de iniciar el proceso.
- Someter la gallinaza a una higienización antes de ser utilizada como materia prima.
- De acuerdo a las temperaturas encontradas durante el experimento, establecer un tiempo oportuno entre cada volteo
- Para los muestreos tomar de 3 a 6 submuestras y mezclar para obtener una muestra final homogénea.
- Determinar el %Nitrógeno Total a través de la metodología descrita por Kjeldahl.
- Prolongar el tiempo de compostaje debido a que se observaban los materiales utilizados inicialmente.

## REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ACOSTA W, PERALTA M. 2015. Elaboración de abonos orgánicos a partir del compostaje con residuos agrícolas en el municipio de Fusagasugá. Colombia. Facultad de Ciencias Agropecuarias. [Disertación Grado Zootecnista]. 116p.
- ACOSTA Y, ZÁRRAGA A, RODRÍGUEZ L, EL ZUAHRE M. 2012. Cambios en las propiedades fisicoquímicas en el proceso de compostaje de lodos residuales. Punto Fijo, Venezuela. Universidad del Zulia. Multiciencias, 12: 18-24.
- AGROWASTE. 2013. Compostaje. Disponible en: <http://www.agrowaste.eu/wp-content/uploads/2013/02/COMPOSTAJE.pdf> (Acceso 05.10.2019)
- ARIAS G, PÉREZ M, LAÍNEZ J, CASTAÑÓN G. 2009. Comparación de dos técnicas de aireación en la degradación de la materia orgánica. Rev. Universidad y Ciencia 25(3):233-243.
- ARRIGONI J. 2011. Evaluación del desempeño de diferentes prototipos de compostadores en el tratamiento de residuos orgánicos. Comahue, Argentina. Universidad Nacional de Comahue, [Disertación Grado Licenciado en Saniamiento y Protección Ambiental]. 120p.
- AUQUILLA E. 2019. Co-compostaje de gallinaza proveniente de la granja avícola Fernandita de la ciudad de Riobamba. Ecuador, Riobamba. Escuela Superior Politécnica de Chimborazo. Facultad de Ciencias. [Disertación Grado Ingeniero en Biotecnología Ambiental]. 75p.
- AVENDAÑO D. 2003. El proceso de compostaje. Chile. Pontificia Universidad Católica de Chile, Facultad de Agronomía e Ingeniería Forestal [Disertación Grado Ingeniero Agrónomo]. 33p.
- BARBARO L, KARLANIAN M, MATA D. 2014. Importancia del pH y la conductividad eléctrica en los sustratos para plantas. Instituto Nacional de Tecnología Agropecuaria (INTA). Buenos Aires, Argentina. 11p.
- BARRENA R. 2006. Compostaje de residuos sólidos orgánicos. Aplicación de técnicas respirométricas en el seguimiento del proceso. Memoria de Tesis. Barcelona, España. Universidad Autónoma de Barcelona. [Disertación Grado Licenciado en Ciencias Ambientales]. 315p.



- BAUTISTA G. 2009. Evaluación en 3 microambientes diferentes de la termorresistencia de una cepa de *Salmonella* sp. aislada de compost. Bogotá, Colombia. Pontificia Universidad Javeriana, Facultad de Ciencias. [Disertación Grado Microbiólogo Industrial]. 81p
- CANTARERO R, MARTÍNEZ O. 2002. Evaluación de tres tipos de fertilizante (gallinaza, estiércol vacuno y un fertilizante mineral) en el cultivo de maíz (*Zea mays*). Variedad NB-6. Managua, Nicaragua. Universidad Nacional Agraria. Facultad de Agronomía. [Disertación Grado Ingeniero Agrónomo]. 80p.
- CASANOVA E. 2005. Introducción a la Ciencia del Suelo. 2<sup>da</sup> ed. Facultad de Agronomía. Universidad Central de Venezuela. Caracas, Venezuela. 393 p.
- CHANDLER C, FERRER J, MÁRMOL Z, PÁEZ G, RAMONES E, PEROZO R. 2008. Efecto de la aireación en el compostaje del bagacillo de la caña de azúcar. Rev. Multiciencias. Venezuela. 8 (1):19-27.
- COVENIN. COMISIÓN VENEZOLANA DE NORMAS INDUSTRIALES. 1987. Alimentos. Método para recuento de colonia de bacterias aerobias en placas de Petri. Segunda revisión. 902-87. Fondonorma. Caracas, Venezuela. 8p.
- COVENIN. COMISIÓN VENEZOLANA DE NORMAS INDUSTRIALES. 1988. Alimentos. Aislamiento e identificación de *Salmonella*. Primera revisión. 1291-88. Fondonorma. Caracas, Venezuela. 33 p.
- COVENIN. COMISIÓN VENEZOLANA DE NORMAS INDUSTRIALES. 1990. Alimentos. Método para recuento de mohos y levaduras. Primera revisión. 1337-90. Fondonorma. Caracas, Venezuela. 10 p.
- ESPINOZA Y, OBISPO N, GIL J, MALPICA J. 2017. Abonos orgánicos. Manual para la toma de muestras, procedimientos para el análisis químico y biológico y cálculos para la tasa agronómica de aplicación. Venezuela, Maracay. Instituto Nacional de Investigaciones Agrícolas (INIA). 62 p.
- ESTRADA E. 2010. Manual Elaboración de abonos orgánicos sólidos, tipo compost. Instituto de Ciencias y Tecnología Agrícola. Guatemala. 25p.
- ESTRADA M. 2005. Manejo y procesamiento de la gallinaza. Revista Lasallista de investigación. Colombia. 2(1):43-48.

- FERNÁNDEZ L, ROJAS N, ROLDÁN T, RAMÍREZ M, ZEGARRA H, HERNÁNDEZ R, REYES R, HERNÁNDEZ D, ARCE J. 2006. Manual de técnicas de análisis de suelos aplicadas a la remediación de sitios contaminados. Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales, Instituto Nacional de Ecología. México. 20 p
- GÓMEZ T, GONZÁLEZ M, CHIROLES S. 2004. Microorganismos presentes en el compost. Importancia de su control sanitario. Revista Agencia del Medio Ambiente. 7: 9p.
- GRAMA. GRUPO DE ACCIÓN PARA EL MEDIO AMBIENTE. 2005. Manual del buen compostador. Madrid, España. 18p.
- GUERRERO E, MONSALVE J. 2007. Evaluación del compostaje de subproductos derivados del sacrificio y faenado del ganado. Colombia. Universidad Tecnológica de Pereira. Scientia Et Technica, 13 (34): 595-600.
- HANG S, CASTÁN E, NEGRO G, DAGHERO A, BUFFA E, RINGUELET A, SATTI P, MAZZARINO M. 2015. Composting of feedlot manure with sawdust-woodshavings: process and quality of the final product. Agriscientia 32 (1): 55-65
- HERNÁNDEZ A, LÓPEZ R, RODRÍGUEZ A, BARRIOS J. 2010. Temperatura, pH y conductividad eléctrica en el compostaje de estiércoles. Departamento de Fitomejoramiento y suelo. Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro. Coahuila de Zaragoza, México. 6-10.
- HOYOS J, VARGAS C, VELASCO R. 2010. Evaluación de compost obtenido en pila móvil empleando mezclas de gallinaza de jaula con material celulósico. Universidad del Cauca. Facultad de Ciencias Agropecuarias. Colombia. 8(1):55-60
- HURTADO J. 2014. Evaluación del efecto acelerador de microorganismos transformadores de materia orgánica en el proceso de compostaje de las deyecciones de bovinos, porcinos y conejos. Colombia. Universidad de Manizales, Facultad de Ciencias Contables Económicas y Administrativas. [Disertación Grado Magister]. 104p.
- IGLESIAS E. 2008. Aspectos físicos, químicos, bioquímicos y microbiológicos del proceso de compostaje. Evaluación de la calidad. Salamanca, España. Universidad Miguel Hernández. Instituto de Recursos Naturales y Agrobiología de Salamanca. [Disertación Grado Magister en gestión, tratamiento y valorización de residuos orgánicos]. 30p.

- INAMEH. INSTITUTO NACIONAL DE METEOROLOGÍA E HIDROLOGÍA. 2009. Disponible en línea en:<http://www.inameh.gob.ve/>. (Acceso:04.02.2016).
- IPARRAGUIRRE R. 2007. Evaluación de la calidad de excretas y degradación aerobia de estiércol en el compostaje. Perú. Universidad Agraria La Molina. Facultad de Zootecnia. [Disertación Grado Ingeniero Zootecnista]. 96p.
- JARAMILLO G, ZAPATA L. 2008. Aprovechamiento de los residuos sólidos orgánicos en Colombia. Medellín, Colombia. Universidad de Antioquia, Facultad de Ciencias Agrarias. [Disertación Grado Especialista en Gestión Ambiental]. 115p.
- LAICH F. 2011. El papel de los microorganismos en el proceso de compostaje. Instituto Canario de Investigaciones Agrarias (ICIA). Tenerife, España pp 1-7.
- LAOS F. 2003. Compostaje de residuos orgánicos de actividades productivas y urbanas en la región Andino-patagónica: determinación de índices de madurez para su utilización agronómica. Argentina. Universidad Nacional del comahue. [Disertación Grado Magister]. 148p.
- MACHUCA L, MUÑOZ A. 2018. Evaluación de dos métodos de compostaje como alternativa de manejo de equinaza, sobre la producción de biomasa *Brachiariahumicola* en Campo Ecológico Gramalote. Colombia, Villavicencio. Universidad Santo Tomas. Facultad de Ingeniería Ambiental. [Disertación Grado Ingeniero Ambiental]. 90p.
- MÁRQUEZ P, DÍAZ M, CABRERA F. 2008. Factores que afectan al proceso de compostaje. Universidad de Huelva, Facultad de Ciencias Experimentales Sevilla, España. (4):93-107.
- MELGAREJO M, BALLESTEROS M, BENDECK M. 1997. Evaluación de algunos parámetros fisicoquímicos y nutricionales en humus de lombriz y compost de diferentes sustratos. Rev. Colombiana de Química. Colombia. 26 (2):11-19.
- Moreno J, Moral R .2008. Factores que afectan la calidad del compost. (eds). Compostaje. Mundi-Prensa. Madrid, España. pp 570.



- MULLO I. 2012. Manejo y procesamiento de la gallinaza. Ecuador. Escuela Superior Politécnica de Chimborazo, Facultad de Ciencias Pecuarias. [Disertación Grado Ingeniero Zootecnista]. 79p.
- NCH. NORMA CHILENA. 2004. Compost - clasificación y requisitos. División de Normas del Instituto Nacional de Normalización. INN. NCh2880. Santiago, Chile. 27 p.
- NEGRO M, VILLA F, AIBAR J, ALARCÓN R, CIRIA P, CRISTÓBAL M, BENITO A, GARCÍA A, GARCÍA G, LABRADOR C, LACASTA C, LEZAÚN J, MECO R, PARDO G, SOLANO M, TORNER C, ZARAGOZA, C. 2000. Producción y gestión del compost. Diputación General de Aragón. Departamento de Agricultura y Medio Ambiente. Centro de Tecnología Agraria. Aragón, España. 31p.
- NOM. NORMAS OFICIALES DE MÉXICO. 2000. Especificaciones de fertilidad, salinidad y clasificación de suelos. Estudios, muestreo y análisis. RECNAT 021. Yucatán, México. 57p.
- NTC. NORMA TÉCNICA COLOMBIANA. 2004. Productos para la industria agrícola. Productos orgánicos usados como abonos o fertilizantes y enmiendas del suelo. NDC 5167. Colombia. 32p.
- NUÑEZ F, URRUTIA F, URCELAY S, OVIEDO P. 1987. Estudio microbiológico y parasitológico de excretas de cerdos sometidas a biodigestión anaeróbica en laboratorio. Departamento de medicina preventiva animal. Facultad de ciencias veterinarias. Santiago, Chile. 2(1) 37-41.
- PALMERO R. 2010. Elaboración de compost con restos vegetales por el sistema tradicional en pilas o montones. Servicio Técnico de Agricultura y Desarrollo Rural. Área de Aguas y Agricultura. Tenerife, España. 20p.
- PALOMO S. 2015. Proceso de compostaje utilizando una mezcla de ovicaprinaza, codornaza y material celulolítico. Venezuela, Universidad de Oriente. Núcleo de Monagas. Escuela de Zootecnia. [Disertación Grado Ingeniero en Producción Animal] pp140.
- PARRA C. 2008. Caracterización de poblaciones microbianas en dos tipos de estiércol, durante el proceso de compostaje. Bogotá, Colombia. Pontificia Universidad Javeriana. Facultad de Ciencias. [Disertación Grado Microbióloga Agrícola y Veterinaria]. 124p.



- PÉREZ C. 2008. Evaluación de los efectos de la aireación en pilas de compostaje de biosólidos. Chile. Universidad del Bio-bio. Facultad de Ingeniería. [Disertación Grado Ingeniero Civil]. 95p
- PÉREZ M, VILLEGAS R. 2009. Procedimientos para el manejo de residuos orgánicos avícolas. Medellín, Colombia. Universidad de Antioquia, Facultad de Ciencias Agrarias. [Disertación grado Zootecnista]. 71p.
- PICADO J, AÑASCO A. 2005. Preparación y uso de abonos orgánicos sólidos y líquidos. Corporación Educativa para el Desarrollo Costarricense. San José, Costa Rica. 7: 66 p.
- PORTA LÓPEZ M, ROQUERO C. 2003. Edafología para la agricultura y el medio ambiente. Ediciones Mundi prensa. España, Barcelona. 929p.
- PRAVIA M. 1992. Principios básicos para elaborar compost. Organización panamericana de salud (OPS). Uruguay 27p
- RAMÍREZ J. 2014. Mejora de la Rentabilidad Avícola. Aprovechamiento Ambientalmente Limpio, Integral y Seguro de la Cama de las Aves. Avicultores y su Entorno. 98 (70): 70-75.
- RIVAS-NICHORZON M, GONZÁLEZ M, BELLOSO G, SILVA R. 2017. Poblaciones de Hongos y Actinomicetos presentes en el proceso de compostaje con base en bora (*Eichhornia crassipes*), Residuos de café y de jardinería. Rev Saber, Universidad de Oriente, Venezuela. 29: 358-366.
- ROBLES M. 2015. Evaluación de parámetros de temperatura, pH y humedad para el proceso de compostaje en una planta de tratamientos de residuos sólidos orgánicos de la municipalidad de provincia de Leoncio Prado. Perú. Universidad Agraria de la Selva. Facultad de recursos naturales renovables. 59p
- ROMÁN P, MARTÍNEZ M, PANTOJA A. 2013. Manual de compostaje del agricultor. Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura Oficina Regional para América Latina y el Caribe. Santiago de Chile, Chile. 151p.
- RUÍZ A, ARCE J, ARROYO A. 2011. Evaluación de los abonos orgánicos producidos en la Universidad Earth un sistema asociado maíz-soya. Universidad Earth. 7(2): 143-152p.

- SADZAWKA A, CARRASCO M, GREZ R, MORA M. 2005. Métodos de análisis de compost. Instituto de Investigaciones Agropecuarias. Serie INIA, N° 30. Santiago de Chile. 153p
- SAGARPA. SECRETARIA DE AGRICULTURA, GANADERÍA, DESARROLLO RURAL, PESCA Y ALIMENTACIÓN. 2000. Abonos Orgánicos. SAGARPA. México. 8p.
- SALAZAR M. 2014. Evaluación de parámetros físicos, químicos y microbiológicos en el proceso de compostaje y composts finales, elaborados con diferentes estiércoles. Venezuela, Universidad de Oriente. Núcleo Monagas. Escuela de Zootecnia [Disertación Grado Ingeniero en Producción Animal]. 169p
- SEPÚLVEDA L, ALVARADO J. 2013. Manual de Aprovechamiento de Residuos Orgánicos a través de Sistemas de Compostaje y Lombricultura en el Valle de Aburrá. Medellín, Colombia. 88p.
- SILVA J, LÓPEZ P, VALENCIA P. 1999. Recuperación de nutrientes en fase sólida a través del compostaje. Universidad del Valle, Escuela de Ingeniería de los Recursos Naturales y del Ambiente. Cali, Colombia. 25p.
- SOLIVA M, LÓPEZ M. 2004. Calidad del compost: Influencia del tipo de materiales tratados y de las condiciones del proceso. Escuela Superior de Agricultura. Barcelona, España. 20p.
- SOTO G, MUÑOZ C. 2002. Consideraciones teóricas y prácticas sobre el compost, y su empleo en la agricultura orgánica. Rev. Agricultura orgánica. 65:123-129.
- SZTERN L, PRAVIA M. 1999. Manual para la Elaboración de Compost. Bases Conceptuales y procedimientos. Organización Panamericana de Salud (OPS). Montevideo, Uruguay. 69p.
- TRILLAS I, AVILÉS M, SUAREZ F, MORENO J. 2008. De residuo a recurso el camino hacia la sostenibilidad. Mundi-Prensa. Madrid, España. 109p.
- VELASCO V, FIGUEROA J, FERRERA B, TRINIDAD A, GALLEGOS J. 2004. CO<sub>2</sub> y dinámica de poblaciones microbianas en composta de estiércol y paja con aireación. TERRA Latinoamericana. 22 (3): 307-316.

WALKLEY, A. 1947. A critical examination of a rapid method for determining organic carbon in soil. Effect of variations in digestion conditions and inorganic soil constituents. *Soil Sci.* 63:251-263.

YAÑEZ P, LEVY A, AZERO M. 2007. Evaluación del compostaje de residuos de dos agroindustrias palmeritas del trópico de Cochabamba en silos hiperventilados. Cochabamba, Bolivia. Universidad Católica Boliviana. Departamento de ciencias exactas e ingeniería. Vol 3 n° 4. 16

ZAPATA M, RIVERA J, VILLALOBOS H, AMAYA F. 2015. Evaluación de dos métodos de aireación para la biodegradación de residuos lignocelulósicos en los cultivos de uva y espárrago. Trujillo, Perú. Universidad Privada Antenor Orrego. Vol 26 (2):419-425.



**APÉNDICE**



**Cuadro 1. Prueba de Normalidad (Shapiro-Wilk) para las variables fisicoquímicas evaluadas durante el proceso de compostaje**

Sem	gl	Temp	%Hum	pH	CE	%MO	CO	NT	C/N
		P (W)	P (W)	P (W)	P (W)	P (W)	P (W)	P (W)	P (W)
1	12	0,676	0,073	0,499	0,052	0,061	0,066	0,063	0,360
2	12	0,517	0,205	0,330	0,051	0,449	0,451	0,383	0,845
3	12	0,889	0,789	0,796	0,063	0,532	0,528	0,660	0,909
4	12	0,777	0,577	0,232	0,122	0,514	0,237	0,482	0,059
5	12	0,118	0,678	0,527	0,797	0,654	0,586	0,614	0,058
6	12	0,081	0,053	0,084	0,093	0,868	0,869	0,907	0,143
7	12	----	0,217	0,451	0,649	0,847	0,848	0,408	0,135
8	12	----	0,812	0,059	0,053	0,677	0,675	0,862	0,062

Temp: Temperatura; Hum: Humedad; CE: Conductividad eléctrica; MO: Materia Orgánica; CO: Carbono Orgánico; NT: Nitrógeno Total; C/N: Relación Carbono/Nitrógeno; P: Probabilidad; (W): Estadístico Wilk-Shapiro; ---- : Valores constantes de la variable.

**Cuadro 2. Prueba de Homogeneidad (Levene) para las variables fisicoquímicas evaluadas durante el proceso de compostaje**

Sem	gl	Temp	%Hum	pH	CE	%MO	CO	NT	C/N
		P	P	P	P	P	P	P	P
1	12	0,316	0,266	0,477	0,056	0,244	0,241	0,990	0,579
2	12	0,148	0,140	0,507	0,000	0,006	0,007	0,811	0,183
3	12	0,543	0,244	0,231	0,000	0,282	0,283	0,919	0,422
4	12	0,533	0,017	0,295	0,156	0,015	0,008	0,225	0,683
5	12	0,556	0,499	0,659	0,148	0,900	0,244	0,994	0,901
6	12	0,405	0,766	0,098	0,087	0,414	0,249	0,905	0,937
7	12	----	0,610	0,337	0,494	0,760	0,761	0,765	0,982
8	12	----	,933	0,255	0,504	0,684	0,683	0,944	0,070

Temp: Temperatura; Hum: Humedad; CE: Conductividad eléctrica; MO: Materia Orgánica; CO: Carbono Orgánico; NT: Nitrógeno Total; C/N: Relación Carbono/Nitrógeno; P: Probabilidad; ----: Valores constantes de la variable.

**Cuadro 3. Promedios registrados de temperaturas (°C) y Desviación estándar (DE) del proceso de compostaje**

Días	T1		T2		T3	
	°C	DE	°C	DE	°C	DE
0	31,5	±0,58	30,75	±0,50	30,75	±0,50
7	36,75	±1,71	38,5	±1,29	39,75	±0,50
14	48,75	±6,75	52	±2,94	59,5	±6,14
21	47,5	±3,70	49,75	±2,99	51	±4,55
28	37,25	±2,50	35	±2,38	38,75	±3,50
35	31,25	±1,26	31	±0,82	32,5	±0,58
42	30,25	±0,50	30,5	±0,58	30,5	±0,58
49 y 56	30	±0,00	30	±0,00	30	±0,00

**Cuadro 4. Prueba de esfericidad de Mauchly para %Humedad evaluado durante el proceso de compostaje**

Variable	GI	W de Mauchly	Aprox. Chi cuadrado	P
%Humedad	27	0,002	41,232	0,069

**Cuadro 5. Análisis de Varianza (Univariado) para %Humedad durante el proceso de compostaje**

F.V.	gl	SC (Tipo III)	CM	F	P
Semana	7	2658,196	379,742	16,856	0,000
Semana*Trat	14	924,532	66,038	2,931	0,000
Error	63	1419,330	22,529		

**Cuadro 6. Promedios de % Humedad registrados en el proceso de compostaje**

Días	T1	T2	T3
7	55,35	57,9	42,02
14	44,3	50,6	34,7
21	38,2	25,55	31
28	43,85	41,95	41,1
35	41,85	40,7	36
42	42,25	37,45	38,25
49	44,02	40,25	36,52
56	43,1	38,67	34,62

**Cuadro 7. Prueba de esfericidad de Mauchly para pH evaluado durante el proceso de compostaje**

Variable	GI	W de Mauchly	Aprox. Chi cuadrado	P
pH	27	0,009	30,406	0,388

**Cuadro 8. Análisis de Varianza (Univariado) para pH durante el proceso de compostaje**

F.V.	gl	SC (Tipo III)	CM	F	P
Semana	7	12,233	1,748	73,386	0,000
Semana*Trat	14	1,647	0,118	4,942	0,000
Error	63	1,500	0,024		

**Cuadro 9. Promedios de pH registrados en el proceso de compostaje**

Días	T1	T2	T3
7	7,97	8,52	8,82
14	8,43	8,83	9,04
21	8,17	8,43	8,73
28	7,62	7,98	8,6
35	7,88	7,88	8,17
42	7,68	7,62	8,31
49	7,85	7,63	8,23
56	7,47	7,32	8,04

**Cuadro 10 Prueba de esfericidad de Mauchly para Conductividad eléctrica evaluada durante el proceso de compostaje**

Variable	GI	W de Mauchly	Aprox. Chi cuadrado	P
Conductividad eléctrica	27	0,000	51,774	0,007

**Cuadro 11 Análisis de Varianza (Multivariado) para Conductividad eléctrica durante el proceso de compostaje**

F.V.	GI hipótesis	GI error	Valor	F	P
Semana	7	3	0,945	7,300	0,065
Semana*Trat	14	8	1,407	1,355	0,341

**Cuadro 12 Prueba de tukey para conductividad eléctrica**

Tratamiento	n	Media	ámbito
3	4	0,10	a
2	4	0,06	b
1	4	0,04	b



**Cuadro 13 Prueba de esfericidad de Mauchly para %Materia Orgánica evaluado durante el proceso de compostaje**

Variable	GI	W de Mauchly	Aprox. Chi cuadrado	P
% Materia Orgánica	27	0,000	119,226	0,000

**Cuadro 14 Análisis de Varianza (Multivariado) para %Materia orgánica durante el proceso de compostaje**

F.V.	GI hipótesis	GI error	Valor	F	P
Semana	7	3	0,913	4,485	0,122
Semana*Trat	14	8	1,788	4,818	0,016

**Cuadro 15 Promedios de %Materia Orgánica registrados en el proceso de compostaje**

Días	T1	T2	T3
7	26,7	24,37	31,15
14	25,09	23,7	29,65
21	23,75	22,21	28,5
28	26,06	29,99	32,41
35	28,36	31,78	36,33
42	32,45	36,93	26,31
49	30,76	25,37	21,18
56	30,1	23,09	17,56

**Cuadro 16 Prueba de esfericidad de Mauchly para %Carbono Orgánico evaluado durante el proceso de compostaje**

Variable	GI	W de Mauchly	Aprox. Chi cuadrado	P
%Carbono Orgánico	27	0,000	124,662	0,000

**Cuadro 17 Análisis de Varianza (Multivariado) para %Carbono Orgánico durante el proceso de compostaje**

F.V.	GI hipótesis	GI error	Valor	F	P
Semana	7	3	,935	6,165	0,082
Semana*Trat	14	8	1,463	1,557	0,269

**Cuadro 18 Promedios de %Carbono Orgánico registrados en el proceso de compostaje**

Días	T1	T2	T3
7	11,87	10,9	13,75
14	11,05	10,41	13,09
21	10,45	9,76	12,57
28	11,47	12,45	14,32
35	12,51	15,16	16,08
42	16,57	14,12	11,59
49	13,59	11,17	9,3
56	13,29	10,15	7,68

**Cuadro 19 Prueba de esfericidad de Mauchly para %Nitrógeno Total evaluado durante el proceso de compostaje**

Variable	GI	W de Mauchly	Aprox. Chi cuadrado	P
% Nitrógeno total	27	0,000	66,242	0,000

**Cuadro 20 Análisis de Varianza (Multivariado) para %Nitrógeno total durante el proceso de compostaje**

F.V.	GI hipótesis	GI error	Valor	F	P
Semana	7	2	0,958	6,504	0,140
Semana*Trat	14	6	1,555	1,496	0,323

**Cuadro 21 Prueba de esfericidad de Mauchly para la Relación Carbono/Nitrógeno evaluada durante el proceso de compostaje**

Variable	GI	W de Mauchly	Aprox. Chi cuadrado	P
Relación C/N	27	0,000	224,261	0,000

**Cuadro 22 Análisis de Varianza (Multivariado) para la Relación Carbono/Nitrógeno durante el proceso de compostaje**

F.V.	GI hipótesis	GI error	Valor	F	P
Semana	7	3	0,137	2,710	0,222
Semana*Trat	14	4	0,17	2,908	0,098

## HOJAS METADATOS

### Hoja de Metadatos para Tesis y Trabajos de Ascenso - 1/6

<b>Título</b>	<b>EVALUACIÓN FÍSICOQUÍMICA Y MICROBIOLÓGICA DEL PROCESO DE COMPOSTAJE CON GALLINAZA Y MATERIAL VEGETAL</b>
---------------	---

El Título es requerido. El subtítulo o título alternativo es opcional.

### Autor(es)

<b>Apellidos y Nombres</b>	<b>Código CVLAC / e-mail</b>	
<b>Fabiola Del Carmen Zamora Suárez</b>	<b>CVLAC</b>	<b>C.I:</b> 23.900.447
	<b>e-mail</b>	fasuarez58@gmail.com
	<b>CVLAC</b>	<b>C.I:</b>
	<b>e-mail</b>	

Se requiere por lo menos los apellidos y nombres de un autor. El formato para escribir los apellidos y nombres es: "Apellido1 InicialApellido2., Nombre1 InicialNombre2". Si el autor esta registrado en el sistema CVLAC, se anota el código respectivo (para ciudadanos venezolanos dicho código coincide con el numero de la Cedula de Identidad). El campo e-mail es completamente opcional y depende de la voluntad de los autores.

### Palabras o frases claves:

Compost, materia orgánica, microorganismos.

El representante de la subcomisión de tesis solicitará a los miembros del jurado la lista de las palabras claves. Deben indicarse por lo menos cuatro (4) palabras clave.



## Hoja de Metadatos para Tesis y Trabajos de Ascenso - 2/6

### Líneas y sublíneas de investigación:

Área	Sub-área
Tecnología y Ciencias Aplicadas	Ingeniería de Producción Animal

Debe indicarse por lo menos una línea o área de investigación y por cada área por lo menos un subárea. El representante de la subcomisión solicitará esta información a los miembros del jurado.

### Resumen (Abstract):

La presente investigación tuvo como objetivo evaluar las variables fisicoquímicas y microbiológicas durante el proceso de compostaje con gallinaza y material vegetal. Los materiales empleados para la realización de los composteros fueron *Pennisetum purpureum*, cascarilla de arroz, compost maduro y gallinaza con diferentes proporciones de inclusión T1 (20%), T2 (40%) y T3 (60%). Se realizó un diseño aleatorizado con medidas repetidas en el tiempo, con 3 tratamientos y 4 repeticiones. Se tomaron muestras semanalmente por un lapso de 2 meses. Los datos se analizaron a través de un ANAVA, ajuste de regresión simple y prueba de Tukey al 5% de probabilidad a los efectos significativos del factor tratamiento. En cada tratamiento se determinaron las variables fisicoquímicas: temperatura (T), humedad (%H), pH, conductividad eléctrica (CE), materia orgánica (%MO), carbono orgánico (%CO), nitrógeno total (%NT), la relación carbono: nitrógeno (C/N); y las microbiológicas bacterias aerobias mesófilas, mohos y presencia de *Salmonella* sp. Los promedios obtenidos para temperatura evidenciaron dos fases mesófilas y dos termófilas con máximas de 59°C para el T3. El %H, pH, %MO y %CO disminuyeron al finalizar el compostaje, para la CE se detectó diferencia significativa solo para el factor tratamiento, siendo superior T3 consecuencia del mayor contenido de gallinaza. Las variables %NT y la relación C/N no mostraron diferencias significativas para la interacción tiempo\*tratamiento ni para el factor tratamiento, esta última se encontró entre 44-45, valores indicativos de que el tiempo de compostaje no había finalizado. La población de mesófilos y hongos decrecieron en el compostaje y al evaluar la presencia *Salmonella* sp las pruebas resultaron positivas al inicio y al final de proceso lo que demuestra que las etapas termófilas que se presentaron no se prolongaron el tiempo requerido para la adecuada higienización del material.

## Hoja de Metadatos para Tesis y Trabajos de Ascenso - 3/6

### Contribuidores:

Apellidos y Nombres	Código CVLAC / e-mail	
Ing. Magalys Rivas	ROL	CA <input type="checkbox"/> AS <input checked="" type="checkbox"/> TU <input type="checkbox"/> JU <input type="checkbox"/>
	CVLAC	C.I. 10.831.480
	e-mail	mritas@udo.edu.ve
Dra. Ana Ramos	ROL	CA <input type="checkbox"/> AS <input type="checkbox"/> TU <input type="checkbox"/> JU <input checked="" type="checkbox"/>
	CVLAC	C.I. 10.308.657
	e-mail	Ay2170@gmail.com
MSc. Marcial Gonzalez	ROL	CA <input type="checkbox"/> AS <input type="checkbox"/> TU <input type="checkbox"/> JU <input checked="" type="checkbox"/>
	CVLAC	C.I 3.420.308
	e-mail	macigoro@gmail.com

Se requiere por lo menos los apellidos y nombres del tutor y los otros dos (2) jurados. El formato para escribir los apellidos y nombres es: "Apellido1 InicialApellido2., Nombre1 InicialNombre2". Si el autor esta registrado en el sistema CVLAC, se anota el código respectivo (para ciudadanos venezolanos dicho código coincide con el numero de la Cedula de Identidad).. La codificación del Rol es: CA = Coautor, AS = Asesor, TU = Tutor, JU = Jurado.

### Fecha de discusión y aprobación:

Año	Mes	Día
2020	03	06

Fecha en formato ISO (AAAA-MM-DD). Ej: 2005-03-18. El dato fecha es requerido.

**Lenguaje:** spa      Requerido. Lenguaje del texto discutido y aprobado, codificado usando ISO 639-2. El código para español o castellano es spa. El código para ingles en. Si el lenguaje se especifica, se asume que es el inglés (en).

## Hoja de Metadatos para Tesis y Trabajos de Ascenso - 4/6

### Archivo(s):

<b>Nombre de archivo</b>
<b>Fabiola.Zamora.docx</b>

Caracteres permitidos en los nombres de los archivos: **A B C D E F G H I J K L M N O P Q R S T U V W X Y Z a b c d e f g h i j k l m n o p q r s t u v w x y z 0 1 2 3 4 5 6 7 8 9 \_ - .**

### Alcance:

Espacial: \_\_\_\_\_ (opcional)

Temporal: \_\_\_\_\_ (opcional)

### Título o Grado asociado con el trabajo:

Ingeniero de Producción Animal

Dato requerido. Ejemplo: Licenciado en Matemáticas, Magister Scientiarum en Biología Pesquera, Profesor Asociado, Administrativo III, etc

### Nivel Asociado con el trabajo: Ingeniería

Dato requerido. Ejs: Licenciatura, Magister, Doctorado, Post-doctorado, etc.

### Área de Estudio:

Tecnología y Ciencias Aplicadas

Usualmente es el nombre del programa o departamento.

### Institución(es) que garantiza(n) el Título o grado:

Universidad de Oriente Núcleo Monagas

Si como producto de convenciones, otras instituciones además de la Universidad de Oriente, avalan el título o grado obtenido, el nombre de estas instituciones debe incluirse aquí.

Hoja de metadatos para tesis y trabajos de Ascenso- 5/6



UNIVERSIDAD DE ORIENTE  
CONSEJO UNIVERSITARIO  
RECTORADO

CUN°0975

Cumaná, 04 AGO 2009

Ciudadano  
**Prof. JESÚS MARTÍNEZ YÉPEZ**  
Vicerrector Académico  
Universidad de Oriente  
Su Despacho

Estimado Profesor Martínez:

Cumplo en notificarle que el Consejo Universitario, en Reunión Ordinaria celebrada en Centro de Convenciones de Cantaura, los días 28 y 29 de julio de 2009, conoció el punto de agenda **"SOLICITUD DE AUTORIZACIÓN PARA PUBLICAR TODA LA PRODUCCIÓN INTELECTUAL DE LA UNIVERSIDAD DE ORIENTE EN EL REPOSITORIO INSTITUCIONAL DE LA UDO, SEGÚN VRAC N° 696/2009"**.

Leído el oficio SIBI-139/2009 de fecha 09-07-2009, suscrita por el Dr. Abul K. Bashirullah, Director de Bibliotecas, este Cuerpo Colegiado decidió, por unanimidad, autorizar la publicación de toda la producción intelectual de la Universidad de Oriente en el Repositorio en cuestión.

UNIVERSIDAD DE ORIENTE  
SISTEMA DE BIBLIOTECA  
RECIBIDO POR *Martínez*  
FECHA 5/8/09 HORA 5:30 PM  
Comunicación que hago a usted a los fines consiguientes.

Cordialmente,  
*Juan A. Bolaños Currello*  
JUAN A. BOLAÑOS CURRELLO  
Secretario

C.C: Rectora, Vicerrectora Administrativa, Decanos de los Núcleos, Coordinador General de Administración, Director de Personal, Dirección de Finanzas, Dirección de Presupuesto, Contraloría Interna, Consultoría Jurídica, Director de Bibliotecas, Dirección de Publicaciones, Dirección de Computación, Coordinación de Teleinformática, Coordinación General de Postgrado.

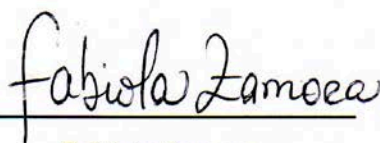
JABC/YGC/marija



**Hoja de metadatos para tesis y trabajos de Ascenso- 6/6**


**De acuerdo al Artículo 41 del reglamento de Trabajos de Grado:**

**Los Trabajos de Grado son de la exclusiva propiedad de la Universidad de Oriente, y sólo podrán ser utilizados a otros fines con el consentimiento del Consejo de Núcleo respectivo, quién deberá participarlo previamente al Consejo Universitario, para su autorización.**



**Fabiola Zamora**

**Autora**



**Ing. Magalys Rivas**

**Asesora**