

**UNIVERSIDAD NACIONAL DE SAN CRISTÓBAL  
DE HUAMANGA**

**FACULTAD DE CIENCIAS AGRARIAS**

**ESCUELA PROFESIONAL DE AGRONOMÍA**



**Compostaje de proporciones de residuos de cosecha de  
maíz y estiércol de vacuno, con y sin microorganismos  
eficientes. Ayacucho 2017**

**TESIS PARA OBTENER EL TÍTULO PROFESIONAL DE:  
INGENIERO AGRÓNOMO**

**PRESENTADO POR:  
Kenyo Yanasupo García**

**Ayacucho - Perú  
2018**

*A mis padres*  
*Héctor y Lucía...*

*A mis hermanas*  
*Melissa, Mayte y Nicol...*

*A mi novia Marisol...*

## **AGRADECIMIENTO**

A la Facultad de Ciencias Agrarias de la Universidad Nacional de San Cristóbal de Huamanga por albergarme en sus aulas durante mi permanencia.

A la Escuela Profesional de Agronomía y a sus docentes por su contribución en mi formación profesional.

Al Programa de Investigación en Pastos y Ganadería de la Universidad Nacional de San Cristóbal de Huamanga. Lugar donde se ejecutó el presente trabajo de investigación.

A la Blga. PhD. Nery Luz Santillana Villanueva, quien me guió con esmero y constancia en la planificación y ejecución del presente trabajo de investigación.

Al Ing. Mg. Alex Lázaro Tineo Bermúdez, quien me guió en el presente trabajo de investigación.

## ÍNDICE GENERAL

Dedicatoria .....	i
Agradecimiento .....	ii
Índice general .....	iii
Índice de tablas.....	v
Índice de figuras.....	vi
Índice de anexos.....	vii
Resumen.....	1
Introducción .....	3

### CAPÍTULO I REVISIÓN BIBLIOGRÁFICA

1.1 El compostaje .....	5
1.1.1 El proceso de compostaje .....	5
1.1.2 Fases del compostaje .....	6
1.1.3 Factores que afectan el proceso de compostaje.....	8
1.1.4 Ventajas y desventajas del compostaje .....	11
1.1.5 Organismos asociados al compostaje .....	12
1.1.6 Química y biología del proceso de compostaje.....	13
1.1.7 Calidad y madurez del compost .....	14
1.2 Los microorganismos eficientes.....	14
1.2.1 Modo de acción de los microorganismos .....	15
1.2.2 Bacterias fototróficas.....	15
1.2.3 Bacterias ácido lácticas .....	16
1.2.4 Levaduras .....	16
1.2.5 Recuento de microorganismos .....	16
1.3 Antecedentes de la investigación .....	17

### CAPÍTULO II METODOLOGÍA

2.1 Ubicación .....	19
2.2 Clima .....	19
2.3 Tratamientos y diseño experimental .....	21

2.4	Metodología .....	22
2.4.1	Obtención de solución madre de EM .....	22
2.4.2	Instalación de las unidades experimentales.....	23
2.4.3	Preparación del compost .....	23
2.4.4	Manejo de los compost.....	24
2.4.5	Análisis biológico de los compost.....	25
2.4.6	Análisis físico - químico de los compost .....	27
2.4.7	Efecto de los compost obtenidos en el crecimiento de plantas de tomate.....	28

### **CAPÍTULO III RESULTADOS Y DISCUSIÓN**

3.1	Variación de temperatura .....	29
3.2	Calidad del compost .....	31
3.2.1	Análisis físico - químico .....	31
3.2.2	Análisis biológico.....	43
3.2.3	Peso de compost obtenido .....	46
3.2.4	Altura final de la unidad experimental.....	47
3.3	Efecto de los compost obtenidos en el crecimiento de plantas de tomate.....	48
	Conclusiones .....	52
	Recomendaciones.....	53
	Referencia bibliográfica .....	54
	Anexo .....	61

## ÍNDICE DE TABLAS

		<b>Pág.</b>
Tabla 1.1	Comparación entre los procesos de compostaje aerobio y anaerobio	15
Tabla 1.2	Microbiota durante las diferentes etapas del compostaje UFC/g	17
Tabla 2.1	Descripción de los tratamientos.....	21
Tabla 2.2	Representación del diseño experimental.....	21
Tabla 3.1	Análisis físico – químico.....	31
Tabla 3.2	Comparación del análisis físico- químico con la norma chilena 2280.....	42
Tabla 3.3	ANVA de UFC de bacterias.....	43
Tabla 3.4	Prueba de Duncan de las UFC x 10 <sup>6</sup> de bacterias.....	44
Tabla 3.5	ANVA de UFC de hongos.....	45
Tabla 3.6	Prueba de Duncan de las UFC de hongos x 10 <sup>4</sup> /g de compost.....	45
Tabla 3.7	ANVA del peso del compost.....	46
Tabla 3.8	Prueba de Duncan del peso del compost a base de proporción.....	47
Tabla 3.9	Peso final del compost obtenido y el porcentaje reducido.....	47
Tabla 3.10	ANVA de la altura final del compost.....	48
Tabla 3.11	Prueba de Duncan de la altura final considerando la proporción.....	48
Tabla 3.12	ANVA de la altura de la parte aérea de las plantas de tomates.....	49
Tabla 3.13	Prueba de Duncan del uso de EM en la altura de la parte aérea de las plantas de tomate.....	49
Tabla 3.14	Prueba de Duncan de las proporciones de la altura de la parte aérea de las plantas de tomate.....	49
Tabla 3.15	ANVA de la Materia seca de la parte aérea de las plantas de tomate	50
Tabla 3.16	Prueba de Duncan de las proporciones en la materia seca de la parte aérea de las planta de tomate.....	50
Tabla 3.17	ANVA de la materia seca de la raíz de planta de tomate.....	50
Tabla 3.18	ANVA de la longitud de raíz de planta de tomate.....	51

## ÍNDICE DE FIGURAS

	<b>Pág.</b>
Figura 1.1 Evolución de la temperatura durante el proceso de maduración del compost.....	8
Figura 2.1 Climatograma realizado con los datos meteorológicos del año 2017- OPEMAN -INIA – Canaan.....	20
Figura 2.2 Representación de las unidades experimentales.....	23
Figura 3.1 Curva de temperatura por tratamientos registrado durante todo el proceso de compostaje.....	30
Figura 3.2 Contenido de humedad (%H) en los compost.....	32
Figura 3.3 Contenido de pH en los compost.....	33
Figura 3.4 Contenido de conductividad eléctrica en los compost.....	34
Figura 3.5 Contenido de MO (%) en los compost.....	35
Figura 3.6 Contenido de Nitrógeno total (%) en los compost.....	36
Figura 3.7 Contenido de P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> (%) en los compost.....	37
Figura 3.8 Contenido de K <sub>2</sub> O (%) en los compost.....	38
Figura 3.9 Contenido de CaO (%) en los compost.....	39
Figura 3.10 Contenido de MgO (%) en los compost.....	40
Figura 3.11 Contenido de SO <sub>4</sub> (%) en los compost.....	41

## ÍNDICE DE ANEXOS

		<b>Pág.</b>
Anexo 1	Rendimiento de los compost (kg).....	62
Anexo 2	Porcentaje de humedad de los compost.....	62
Anexo 3	Porcentaje de peso reducido de los compost.....	63
Anexo 4	Número de colonias y UFC de bacterias de los compost.....	63
Anexo 5	Número de colonias y UFC de hongos de los compost.....	64
Anexo 6	Altura disminuida y volumen de los compost.....	64
Anexo 7	Porcentaje de materia seca de los restos de cosecha de maíz morada y peso del estiércol y restos de maíz.....	65
Anexo 8	Norma chilena 2280 con referencia a la calidad del compost.....	65
Anexo 9	Efecto de los compost en plantas de tomate.....	66
Anexo 10	Análisis físico - químico de los compost evaluados.....	67
Anexo 11	Datos meteorológicos INIA – 2017.....	68
Anexo 12	Panel fotográfico.....	68



## RESUMEN

La presente investigación se realizó con los objetivos de determinar la calidad del compost de proporciones de residuos de cosecha de maíz morado (RM) y estiércol de vacuno (EV), con y sin microorganismos eficientes (EM) y determinar la variación de temperatura en el proceso del compostaje así como el efecto de los compost obtenidos en el crecimiento de plantas de tomate. Se diseñó 18 pozas de 0.4m x 1.0m x 0.5m como unidad experimental, en los que se probaron los siguientes tratamientos: T1 (30%RM + 70%EV + EM), T2 (50%RM + 50%EV + EM), T3 (70%RM + 30%EV + EM), T4 (30%RM + 70%EV), T5 (50%RM + 50%EV) y T6 (70%RM + 30%EV). El diseño experimental fue DCR con arreglo factorial 2A (con y sin EM) x 3B (proporción de RM y EV) y cada tratamiento con 3 repeticiones. Los resultados fueron sometidos a un análisis de variancia y a la prueba de significación de Duncan. Se ha determinado que la temperatura (°C) en el proceso de compostaje de los tratamientos empezó en un rango de 21°C – 23°C y la máxima temperatura alcanzada fue de 36 y 37°C por los tratamientos T3 (70%RM+30%EV+EM) y T6 (70%RM+30%EV) respectivamente, al finalizar el proceso de compostaje (83 días) se observaron temperaturas de 18°C – 20 °C similares a la temperatura ambiente; el uso de microorganismos eficientes influye en las características físico-químicas y biológicas del compost principalmente en los tratamientos T1 (30%RM+70%EV+EM) y T2 (50%RM+50%EV+EM), mientras que las proporciones utilizadas influyen en la descomposición de los residuos de cosecha de maíz como en los tratamientos T3 (70%RM+30%EV+EM) y T6 (70%RM+30%EV); Con respecto a efecto del compost en plantas de tomate en invernadero, el uso de microorganismo eficientes ha influido significativamente en la altura de la parte aérea de la planta de tomate, principalmente en los tratamiento T1 (30%RM+70%EV+EM) y T2 (50%RM+50%EV+EM).

## INTRODUCCIÓN

El compostaje es una tecnología de bajo costo que permite transformar residuos y subproductos orgánicos en materiales biológicamente estables que pueden utilizarse como enmienda y/o abonos del suelo y como sustratos para cultivo sin suelo, disminuyendo el impacto ambiental de los mismos y posibilitando el aprovechamiento de recursos como restos de cosecha. Se define como un proceso biooxidativo controlado, que se desarrolla sobre sustratos orgánicos heterogéneos en estado sólido, debido a la actividad secuencial de una gran diversidad de microorganismos. (Zucconi y de Bertoldi, 1987, citado por Baquero y Uni 2017).

En la preparación del compost se utilizan diferentes residuos como los restos de cosecha que muchas veces terminan enterrados o incinerados en vertederos. En la localidad, los restos de cosecha de maíz morado son generalmente enterrados por lo que se pretende evaluarlos como sustrato juntamente con estiércol de vacuno y microorganismos eficientes como mejoradores del proceso del compostaje.

Los microorganismos eficientes o EM son cultivos mixtos de microorganismos benéficos (fundamentalmente bacterias fotosintéticas, productoras de ácido láctico, levaduras, actinomicetes y hongos fermentadores) que pueden aplicarse al compostaje para incrementar la diversidad microbiana que participará en el compostaje (Arias, 2010).

Por las consideraciones expuestas el trabajo de investigación se realizó con los siguientes objetivos:

**Objetivo principal**

Evaluar la variación de la calidad del compost con proporciones de residuos de cosecha de maíz y estiércol de vacuno, con y sin microorganismos eficientes.

**Objetivos específicos**

1. Determinar la variación de temperatura en el proceso de compost de proporciones de residuos de cosecha de maíz y estiércol de vacuno, con y sin microorganismos eficientes.
2. Determinar la calidad del compost de proporciones de residuos de cosecha de maíz y estiércol de vacuno, con y sin microorganismos eficientes.
3. Determinar el efecto de los compost obtenidos en el crecimiento de plantas de tomate en condiciones de invernadero.

# **CAPÍTULO I**

## **REVISIÓN BIBLIOGRÁFICA**

### **1.1 El compostaje**

El compostaje es la descomposición biológica y la estabilización de los sustratos orgánicos, en condiciones que permiten el desarrollo de temperaturas termofílicas como resultado de la producción biológica de calor, para producir un producto final estable, libre de patógenos y semillas de plantas, por lo tanto, el compostaje es una forma de estabilización de residuos, pero que requiere condiciones especiales de humedad y aireación para producir temperaturas termofílicas. Generalmente se considera que la parte superior está por encima de 45°C. El mantenimiento de las temperaturas termofílicas es el principal mecanismo para la inactivación de los patógenos y la destrucción de las semillas (Haug, 1993).

#### **1.1.1 El proceso de compostaje**

El primer paso del proceso de compostaje, es disponer de una cantidad adecuada de residuos orgánicos. Estos materiales aportarán la materia orgánica, minerales, y microorganismos para que, en las condiciones de aireación y humedad apropiadas, se produzcan las reacciones de descomposición. A partir de los residuos, empezarán a trabajar los diferentes grupos de microorganismos, rompiendo las moléculas de las más simples a las más complejas, transformándolas en compost. Se trata de un proceso natural, como cuando en un bosque caen las hojas de los árboles y se transforman en humus (Alcolea y González, 2000).

Al utilizar 100 kg de residuos orgánicos se obtendrá entre 30-40 kg de compost, al final del compostaje la mitad del material inicial; el resto, se evapora en forma de vapor de agua y CO<sub>2</sub> (Alcolea y González, 2000).

Durante el proceso, como consecuencia de la oxidación del carbono a CO<sub>2</sub>, se produce energía en forma de calor. Esta, queda retenida en la masa de residuos que se está transformando, de forma que el material se va calentando, llegando a alcanzar los 75°C en las zonas interiores de la pila (Alcolea y González, 2000).

Cuanto mayor es la cantidad de residuos que se composta, mayor es la energía liberada, favoreciendo la subida de temperaturas. Este punto del proceso es muy importante porque las altas temperaturas alcanzadas higienizan el material, es decir, se destruyen los patógenos, protozoos, y semillas, que resultan perjudiciales para la salud o los cultivos. Si el proceso se desarrolla correctamente, cuando las moléculas se han descompuesto, la actividad microbiana disminuye y vuelven a bajar las temperaturas del material hasta equilibrarse con el ambiente (Alcolea y González, 2000).

### **1.1.2 Fases del compostaje**

Román et al., (2013), indican que al descomponer el C, el N y toda la materia orgánica inicial, los microorganismos desprenden calor medible a través de las variaciones de temperatura a lo largo del tiempo. Según la temperatura generada durante el proceso, se reconocen tres etapas principales en un compostaje, además de una etapa de maduración de duración variable, Las que se indican a continuación:

- **Fase Mesófila**

El material de partida comienza el proceso de compostaje a temperatura ambiente y en pocos días (e incluso en horas), la temperatura aumenta hasta los 45°C (figura 1.1). Este aumento de temperatura es debido a actividad microbiana, ya que en esta fase los microorganismos utilizan las fuentes sencillas de C y N generando calor. La descomposición de compuestos solubles, como azúcares, produce ácidos orgánicos y, por tanto, el pH puede bajar (hasta cerca de 4.0 o 4.5). Esta fase dura pocos días entre dos y ocho días (Román et al., 2013).

- **Fase Termófila o de Higienización**

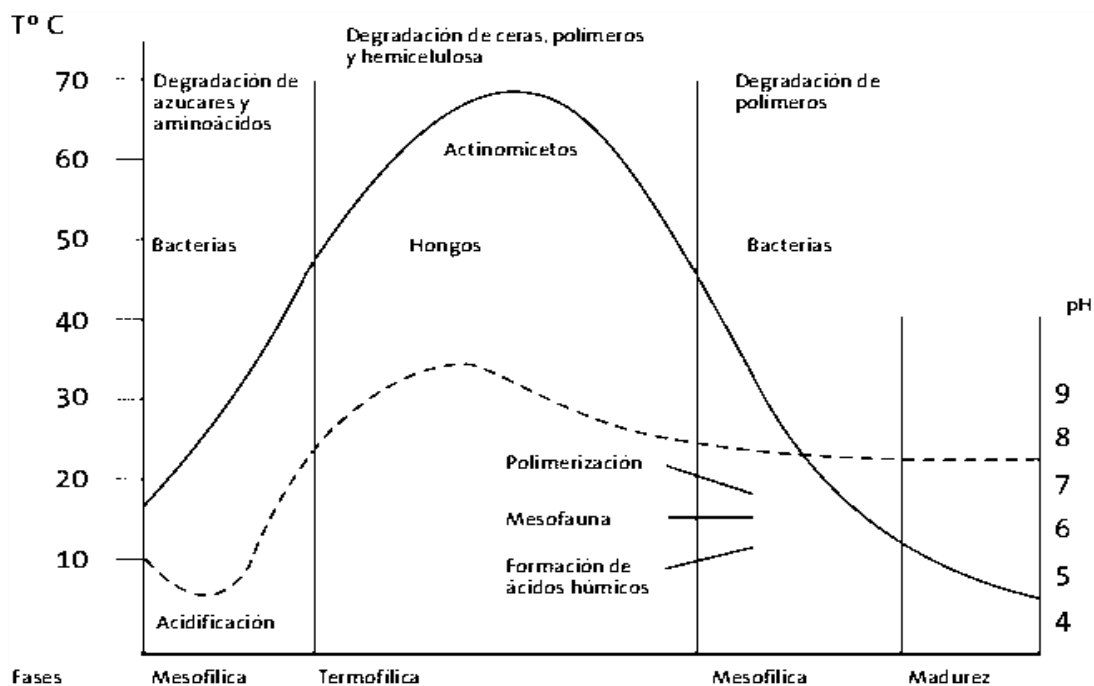
Cuando el material alcanza temperaturas mayores que los 45°C, los microorganismos que se desarrollan a temperaturas medias (microorganismos mesófilos) son reemplazados por aquellos que crecen a mayores temperaturas, en su mayoría bacterias (bacterias termófilas), que actúan facilitando la degradación de fuentes más complejas de C, como la celulosa y la lignina. Estos microorganismos actúan transformando el nitrógeno en amoníaco por lo que el pH del medio sube. En especial, a partir de los 60 °C aparecen las bacterias que producen esporas y actinobacterias, que son las encargadas de descomponer las ceras, hemicelulosas y otros compuestos de C complejos. Esta fase puede durar desde unos días hasta meses, según el material de partida, las condiciones climáticas y del lugar, y otros factores. Esta fase también recibe el nombre de fase de higienización ya que el calor generado destruye bacterias y contaminantes de origen fecal como *Escherichia coli* y *Salmonella spp.* Esta fase es importante pues las temperaturas por encima de los 55°C eliminan los quistes y huevos de helmintos, esporas de hongos fitopatógenos y semillas de malezas que pueden encontrarse en el material de partida, dando lugar a un producto higienizado (Román, et al., 2013).

- **Fase de Enfriamiento o Mesófila II**

Agotadas las fuentes de carbono y, en especial el nitrógeno en el material en compostaje, la temperatura desciende nuevamente hasta los 40-45°C. Durante esta fase, continúa la degradación de polímeros como la celulosa, y aparecen algunos hongos visibles a simple vista. Al bajar la temperatura a 40 °C, los organismos mesófilos reinician su actividad y el pH del medio desciende levemente, aunque en general el pH se mantiene ligeramente alcalino. Esta fase de enfriamiento requiere de varias semanas y puede confundirse con la fase de maduración (Román et al., 2013).

- **Fase de Maduración**

Es un período que demora meses a temperatura ambiente, durante los cuales se producen reacciones secundarias de condensación y polimerización de compuestos carbonados para la formación de ácidos húmicos y fúlvicos (Román et al., 2013).



Fuente: Álvarez José. (2003) Manual de Compostaje para Agricultura Ecológica – consejería de agricultura y pesca

**Figura 1.1** Evolución de la temperatura durante el proceso de maduración del compost

### 1.1.3 Factores que afectan el proceso de compostaje

Román et al., (2013), indica que el compostaje es un proceso biológico llevado a cabo por microorganismos (tabla 1.2), por lo que se deben tener en cuenta los factores que afectan su crecimiento y reproducción. Estos factores incluyen el oxígeno o aireación, la humedad de substrato, temperatura, pH y la relación C/N. Externamente, el proceso de compostaje dependerá en gran medida de las condiciones ambientales, el método utilizado, las materias primas empleadas, y otros elementos, por lo que algunos parámetros pueden variar. No obstante, éstos deben estar bajo vigilancia constante para que siempre estén siempre dentro de un rango óptimo. A continuación se señalan los parámetros y sus rangos óptimos:

- **El oxígeno**

El compostaje es un proceso aerobio y se debe mantener una aireación adecuada para permitir la respiración de los microorganismos, liberando a su vez, dióxido de carbono (CO<sub>2</sub>) a la atmosfera. Así mismo, la aireación evita que el material se compacte o se encharque. Las necesidades de oxígeno varían durante el proceso,

alcanzando la mayor tasa de consumo durante la fase termofílica (Román et al., 2013).

La saturación de oxígeno en el medio no debe bajar del 5%, siendo el nivel óptimo el 10%. Un exceso de aireación provocaría el descenso de temperatura y una mayor pérdida de la humedad por evaporación, haciendo que el proceso de descomposición se detenga por falta de agua. Las células de los microorganismos se deshidratan, algunos producen esporas y se detiene la actividad enzimática encargada de la degradación de los diferentes compuestos. Por el contrario, una baja aireación, impide la suficiente evaporación de agua, generando exceso de humedad y un ambiente de anaerobiosis. Se producen entonces malos olores y acidez por la presencia de compuestos como el ácido acético, ácido sulfhídrico ( $H_2S$ ) o metano ( $CH_4$ ) en exceso (Román et al., 2013).

- **El dióxido de carbono**

Como en todo proceso aerobio o aeróbico, ya sea en el compostaje o aun en la respiración humana, el oxígeno sirve para transformar (oxidar) el C presente en las materias primas (substrato o alimentos) en combustible. A través del proceso de oxidación, el C se transforma en biomasa (más microorganismos) y dióxido de carbono ( $CO_2$ ), o gas producido por la respiración, que es fuente de carbono para las plantas y otros organismos que hacen fotosíntesis. Sin embargo, el  $CO_2$  también es un gas de efecto invernadero, es decir, contribuye al cambio climático.

Durante el compostaje, el  $CO_2$  se libera por acción de la respiración de los microorganismos y, por tanto, la concentración varía con la actividad microbiana y con la materia prima utilizada como sustrato. En general, pueden generarse 2 a 3 kilos de  $CO_2$  por cada tonelada, diariamente. El  $CO_2$  producido durante el proceso de compostaje, en general es considerado de bajo impacto ambiental, por cuanto es capturado por las plantas para realizar fotosíntesis (Román et al., 2013).

- **La humedad**

La humedad es un parámetro estrechamente vinculado a los microorganismos, ya que, como todos los seres vivos, usan el agua como medio de transporte de los



nutrientes y elementos energéticos a través de la membrana celular (Román et al., 2013).

El contenido en humedad de los desechos orgánicos crudos es muy variable, tal es el caso de la excretas y estiércoles, donde el contenido en humedad está íntimamente relacionado con la dieta. Si la humedad inicial de los residuos crudos es superior a un 50 %, necesariamente debemos buscar la forma de que el material pierda humedad, antes de conformar las pilas o camellones (OPS 1999).

La humedad óptima para el compost se sitúa alrededor del 55%, aunque varía dependiendo del estado físico y tamaño de las partículas, así como del sistema empleado para realizar el compostaje (ver sección sobre Tamaño de Partícula). Si la humedad baja por debajo de 45%, disminuye la actividad microbiana, sin dar tiempo a que se completen todas las fases de degradación, causando que el producto obtenido sea biológicamente inestable. Si la humedad es demasiado alta (>60%) el agua saturará los poros e interferirá la oxigenación del material (Román et al., 2013).

En procesos en que los principales componentes sean substratos tales como aserrín, astillas de madera, paja y hojas secas, la necesidad de riego durante el compostaje es mayor que en los materiales más húmedos, como residuos de cocina, hortalizas, frutas y cortes de césped. El rango óptimo de humedad para compostaje es del 45% al 60% de agua en peso de material base (Román et al., 2013).

Si se da una falta de agua, el proceso se ralentiza y la materia orgánica no se puede descomponer totalmente. Si, por el contrario, hay un exceso de agua, esta impide que el oxígeno entre en los poros y limita el crecimiento de los microorganismos. Se considera un intervalo óptimo para iniciar el proceso entre el 30% y el 65% o, en todo caso, siempre por debajo de 80% (Campos et al., 2004).

- **La temperatura**

La temperatura tiene un amplio rango de variación en función de la fase del proceso del compostaje. El compostaje inicia a temperatura ambiente y puede subir hasta los 65°C sin necesidad de ninguna actividad antrópica (calentamiento externo), para

llegar nuevamente durante la fase de maduración a una temperatura ambiente. Es deseable que la temperatura no decaiga demasiado rápido, ya que a mayor temperatura y tiempo, mayor es la velocidad de descomposición y mayor higienización (Román et al., 2013).

- **El pH**

El pH del compostaje depende de los materiales de origen y varía en cada fase del proceso (desde 4.5 a 8.5). En los primeros estadios del proceso, el pH se acidifica por la formación de ácidos orgánicos. En la fase termófila, debido a la conversión del amonio en amoniaco, el pH sube y se alcaliniza el medio, para finalmente estabilizarse en valores cercanos al neutro. El pH define la supervivencia de los microorganismos y cada grupo tiene pH óptimos de crecimiento y multiplicación. La mayor actividad bacteriana se produce a pH 6,0 - 7,5, mientras que la mayor actividad fúngica se produce a pH 5,5 - 8,0. El rango ideal es de 5,8 a 7,2 (Román et al., 2013).

- **La relación Carbono - Nitrógeno (C/N)**

La relación C/N varía en función del material de partida y se obtiene la relación numérica al dividir el contenido de C (%C total) sobre el contenido de N total (%N total) de los materiales a compostar. Esta relación también varía a lo largo del proceso, siendo una reducción continua, desde 35/1 a 15/1 (Román et al., 2013).

- **La conductividad eléctrica**

La conductividad eléctrica de un compost está determinada por la naturaleza y composición del material de partida, fundamentalmente por su concentración de sales y en menor grado por la presencia de iones amonio o nitrato formados durante el proceso (Sanchez et al., 2001).

#### **1.1.4 Ventajas y desventajas del compostaje**

- **Ventajas**

Según Avendaño (2003), indica que las ventajas son las siguientes:

- Es un sistema de reciclaje, con una útil revalorización del residuo.

- Optimiza los recursos existentes en cada zona al aprovechar los residuos que se producen en ella.
- Reducción de volumen de residuos.
- Ahorro económico en abonos químicos.
- Producto comercializable.
- Disminuye las necesidades de materia orgánica de los suelos y contribuye a su recuperación.
- Disminuye la contaminación por metales pesados presentes en los residuos, ya que el compostaje reduce la disponibilidad de éstos, posiblemente debido a la formación de complejos o a la adsorción por sustancias húmicas.

- **Desventajas**

Según Avendaño (2003), indica que las desventajas son las siguientes:

- Alta inversión inicial
- Disponibilidad de terreno
- Contaminación del medio ambiente (metales pesados, olores, entre otros), según material de origen compostado.

### **1.1.5 Organismos asociados al compostaje**

Durante las etapas del compostaje diferentes tipos de organismos actúan según las condiciones que se presentan (tabla 1.3). Una diversa población se desarrolla en respuesta a diferentes niveles de temperatura, humedad, oxígeno y pH dentro de la pila de compostaje (Avendaño, 2003).

- **Macroorganismos**

Los macroorganismos participan en la degradación de los distintos residuos, los cuales cumplen la función de fragmentar los materiales. Logran que las partículas tengan una mayor superficie de contacto, facilitando la acción de los microorganismos (hongos, bacterias, y los actinomicetes). Algunos de estos son gusanos, ácaros depredadores, escarabajos, ciempiés, entre otros (Avendaño 2003).

- **Microorganismos**

Los microorganismos responsables del compostaje degradan un amplio rango de compuestos desde complejas proteínas y carbohidratos a aminoácidos y azúcares simples. Las condiciones químicas y físicas del medio afectan marcadamente las actividades de éstos. La temperatura es uno de los factores más importantes que influyen en su proliferación y sobrevivencia. Durante el proceso existe una continuidad de microorganismos, desde los que tienen una temperatura óptima muy baja hasta los que tienen una temperatura óptima muy alta, es posible distinguir los mesófilos, con una temperatura óptima dentro de los límites regulares (15 - 45°C) y termófilos, con una temperatura óptima alta (45 – 70°C) (Avendaño, 2003).

La descomposición inicial es llevada a cabo por microorganismos mesófilos, los cuales rápidamente actúan sobre los compuestos solubles y de fácil degradación. El calor que producen causa que la temperatura del compost comience a aumentar rápidamente, llegando a los 40°C, lo que provoca que los microorganismos mesófilos se conviertan en menos competitivos y comiencen a actuar los termófilos, los cuales descomponen los compuestos más resistentes que poseen un mayor contenido de celulosas y hemicelulosas (Avendaño, 2003).

#### **1.1.6 Química y biología del proceso de compostaje**

Una serie de reacciones se llevan a cabo durante el compostaje, las cuales además de liberar energía, forman una serie de intermediarios orgánicos que sirven como punto de partida de otras reacciones. Los microorganismos presentes, producen enzimas extracelulares (proteasas, amilasas, lipasas, etc.) que digieren los materiales insolubles, de manera de ser transformados a solubles, para finalmente ser utilizados al interior de la célula como nutrientes para su crecimiento (Avendaño, 2003).

Según Alexander (1977), citado por Avendaño (2003), menciona que la actividad de los microorganismos comprometida en el compostaje está dirigida a la síntesis de protoplasma el cual contiene 50%C, 5%N y 0.25-1%P en base a materia seca.

### **1.1.7 Calidad y madurez del compost**

La duración del proceso es variable, dependerá de diversos factores como por ejemplo metodología utilizada, materiales iniciales, tiempo de duración del proceso, condiciones climáticas, entre otros. El grado de finalización del proceso de compostaje puede ser evaluado a través de la medición de varios cambios en las propiedades, químicas, físicas y biológicas de los sustratos. Se determina en base a sus características físicas (tamaño de las partículas, textura y color) y químicas como contenido de materia orgánica, humedad, pH, relación carbono/nitrógeno, contenido de sales, presencia de metales, entre otros (Avendaño, 2003).

Según INTEC (1997), citado por Avendaño (2003), menciona que si estos parámetros son bien manejados se tendrá un compost de buena calidad, con las siguientes características: Libre de contaminación, higienizado, alto potencial fitosanitario, potencial de fertilización, potencial de capacidad de retención de agua, potencial de protección de erosión, libre de malos olores y estabilidad microbiológica. El interés en los efectos ecológicos del compostaje está creciendo en la actualidad. En nuestro país aún no existen normas de calidad ni métodos disponibles para medir la toxicidad de los materiales compostados. A pesar de esto, existen requisitos internacionales de calidad que definen que el compost debe cumplir con ciertos criterios en cuanto a higiene (patógenos), grado de madurez, contenido de humedad, materia orgánica presencia de sustancias extrañas y piedras, fitoaceptabilidad, contenido de metales pesados, entre otros.

Según Butler et al., (2001), citados por Avendaño, (2003) indican que la estabilidad / madurez es un tema crítico con respecto a la aplicación del compost debido a que un compost inmaduro puede ser perjudicial para el ambiente del suelo y para la planta, ya que continua en proceso de descomposición, lo cual puede inducir a condiciones de anaerobiosis a medida que los microorganismos utilicen el oxígeno para descomponer el material del suelo.

## **1.2 Los microorganismos eficientes**

En la agricultura moderna se utilizan tradicionalmente, grandes cantidades de químicos y fertilizantes, que aunque permiten el desarrollo y la producción de las

plantaciones, son elementos perjudiciales a la salud del hombre y al medio ambiente. A partir de esta problemática, comienzan las investigaciones de alternativas sostenibles para incrementar la producción vegetal y animal en armonía con el ambiente; de esta manera llegan los microorganismos (Contino y Ojeda, 2006).

**Tabla 1.1** Comparación entre los procesos de compostaje aerobio y anaerobio

<b>Característica</b>	<b>Procesos aerobios</b>	<b>Procesos anaerobios</b>
Uso energético	Consumidor neto de energía	Productor neto de energía
Productos finales	Humus, CO <sub>2</sub> , H <sub>2</sub> O	Lodos, CO <sub>2</sub> , CH <sub>4</sub>
Reducción de Volumen	Hasta el 50%	50%
Tiempo de Proceso	20-30 días	20-40 días
Objeto primario	Reducción de volumen	Producción Energía
Objeto secundario	Producción Compost	Estabilización residuos

Fuente: Silva, et al. (2012). Recuperación de nutrientes en fase sólida a través del compostaje

### 1.2.1 Modo de Acción de los Microorganismos

Los diferentes tipos de microorganismos en el EM, toman sustancias generadas por otros organismos basando en ello su funcionamiento y desarrollo. Las raíces de las plantas secretan sustancias que son utilizadas por los Microorganismos Eficaces para crecer, sintetizando aminoácidos, ácidos nucleicos, vitaminas, hormonas y otras sustancias bioactivas. Cuando los Microorganismos Eficaces incrementan su población, como una comunidad en el medio en que se encuentran, se incrementa la actividad de los microorganismos naturales, enriqueciendo la microflora, balanceando los ecosistemas microbiales, suprimiendo microorganismos patógenos (Arias, 2010).

### 1.2.2 Bacterias Fototróficas

Son bacterias autótrofas (*Rhodospseudomonas spp*) que sintetizan sustancias útiles a partir de secreciones de raíces, materia orgánica y gases dañinos, usando la luz solar y el calor del suelo como fuentes de energía. Las sustancias sintetizadas comprenden aminoácidos, ácidos nucleicos, sustancias bioactivas y azúcares, promoviendo el crecimiento y desarrollo de las plantas. Los metabolitos son absorbidos directamente

por ellas, y actúan como sustrato para incrementar la población de otros Microorganismos Eficaces (Arias, 2010).

### **1.2.3 Bacterias Ácido Lácticas**

Estas bacterias (*Lactobacillus spp*) producen ácido láctico a partir de azúcares y otros carbohidratos sintetizados por bacterias fototróficas y levaduras. El ácido láctico es un fuerte esterilizador, suprime microorganismos patógenos e incrementa la rápida descomposición de materia orgánica. Las bacterias ácido lácticas aumentan la fragmentación de los componentes de la materia orgánica, como la lignina y la celulosa, transformando esos materiales sin causar influencias negativas en el proceso (Arias, 2010).

### **1.2.4 Levaduras**

Estos microorganismos (*Saccharomyces spp*) sintetizan sustancias antimicrobiales y útiles para el crecimiento de las plantas a partir de aminoácidos y azúcares secretados por bacterias fototróficas, materia orgánica y raíces de las plantas. Las sustancias bioactivas, como hormonas y enzimas, producidas por las levaduras, promueven la división celular activa. Sus secreciones son sustratos útiles para Microorganismos Eficaces como bacterias ácido lácticas y actinomicetos (Arias, 2010).

### **1.2.5 Recuento de microorganismos**

La técnica se basa en contar las “unidades formadoras de colonias” o UFC presentes en un gramo o mililitro de muestra. Se considera que cada colonia que desarrolla en el medio de cultivo de elección después de un cierto tiempo de incubación a la temperatura adecuada, proviene de un microorganismo o de un agregado de ellos, de la muestra bajo estudio; ese microorganismo o microorganismos son capaces de formar la colonia, es decir una UFC. Para que las colonias puedan contarse de manera confiable, se hacen las diluciones decimales necesarias de la muestra, antes de ponerla en el medio de cultivo; la técnica para realizar este procedimiento se describe en “Preparación y dilución de muestras de alimentos para su análisis microbiológico” (Camacho et al., 2009).

**Tabla 1.2** Microbiota durante las diferentes etapas del compostaje UFC/g

Microorganismos	Etapas de compostaje			N° especies
	Mesofílica	Termofílica	Mesofílica	
	20°C – 40°C	40°C-70°C	70°C-20°C	
<b>Bacterias</b>				
• Mesófilas	10 <sup>8</sup>	10 <sup>6</sup>	10 <sup>11</sup>	6
• termófilas	10 <sup>4</sup>	10 <sup>9</sup>	10 <sup>7</sup>	1
<i>Actinomycetes</i>				
• Mesófilas	10 <sup>4</sup>	10 <sup>8</sup>	10 <sup>5</sup>	14
<b>Hongos</b>				
• Mesófilas	10 <sup>6</sup>	10 <sup>3</sup>	10 <sup>5</sup>	18
• Termófilas	10 <sup>3</sup>	10 <sup>7</sup>	10 <sup>6</sup>	16

Fuente: Sucesión bacteriana del género *Bacillus* en el proceso de compostaje y lombricompostaje con diferentes fuentes de estiércol de la Mora, et al. 2016

### 1.3 Antecedentes de la investigación

Bejarano y Delgadillo (2007), evaluaron los compost con diferentes residuos orgánicos con y sin microorganismos eficientes. Indicando que la máxima temperatura alcanzada fue de 40°C a causa de la pequeña compostera, terminando el proceso de compostaje a los 43 días, obteniéndose un compost de mejor calidad (%H, C/N, Materia Orgánica y CIC) el que emplea EM.

Camacho y Rojas (2016), investigaron compostajes con diferentes restos vegetales y orgánicos con microorganismos eficientes. Indican que el uso de microorganismos eficientes en el compost aceleró la degradación de la materia orgánica en comparación a los tratamientos que no los contenían y las muestras llevadas al laboratorio y sembradas en medios de papa dextrosa agar (PDA) y agar nutritivo (AN) mostraron la formación de un hongo en todos los tratamientos, confirmando que los microorganismos descomponedores de la materia orgánica están latentes en el agua, en el aire y la materia orgánica a descomponer.

Navia et al. (2013), evaluaron diferentes formulaciones de compostaje a partir de residuos de cosecha, y microorganismos eficientes. Indican que el análisis de



varianza mostró la ausencia de diferencias significativas entre tratamientos; sin embargo, observaron variaciones en los valores del tratamiento con microorganismo eficientes en variables como: pH, %M.O, CICE, % de N, P, K, Ca y Mg.

Shah, et al. (2017), investigaron la degradación anaeróbica de los desechos orgánicos entre otras técnicas de compostaje que mejoren la disponibilidad de N a través del proceso de residuos – suelo – planta. Los tratamientos evaluados fueron compostaje aeróbico (AC), compostaje anaeróbico (ANC), co-compostaje (CC) y descarga abierta (OD). Determinaron que el rendimiento de materia seca (MS) y la absorción de N vegetal del compost resultante estaban en el orden  $ANC > OD > CC > AC$ . Concluyeron que ANC resulta en pérdidas mínimas de C y N durante la fase de compostaje y la mayor mineralización de N en el suelo, lo que mejora el rendimiento vegetal, la recuperación de N y, por lo tanto, el ciclo del N a través del continuo de residuos, suelo y planta.

## **CAPÍTULO II**

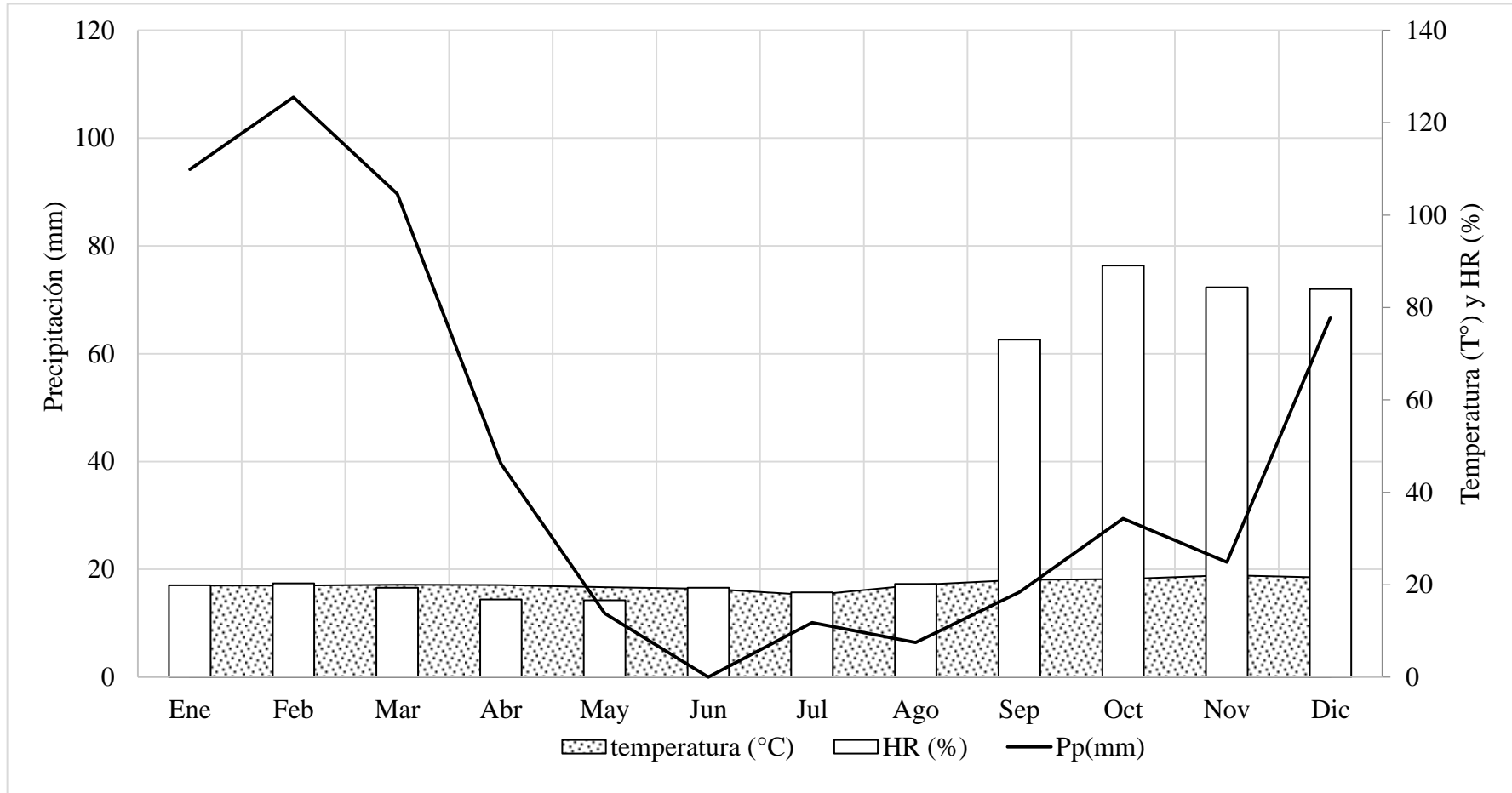
### **METODOLOGÍA**

#### **2.1 Ubicación**

El presente trabajo de investigación fue instalado y conducido en el Programa de Investigación en Pastos y Ganadería de la Universidad Nacional de San Cristóbal de Huamanga durante 09 meses (08 de marzo del 2017 al 09 de noviembre del 2017). La ubicación política del área experimental pertenece al departamento de Ayacucho, provincia de Huamanga y Distrito de Ayacucho, asentada a una altitud de 2750 m.s.n.m. cuyas coordenadas UTM son 391553.7 (este) y 1437348.6 (norte) perteneciente a la zona 18S.

#### **2.2 Clima**

Ayacucho cuenta con una precipitación aproximada de 550 mm anual; de acuerdo a los datos registrados desde el 01 de enero del 2017 hasta el 31 de diciembre del 2017, se registró una temperatura máxima de 26 °C y una temperatura mínima de 08 °C, con una humedad relativa máxima de 76% y una humedad relativa mínima de 14% y una precipitación de 574 mm tal como se muestra en la figura 2.1.



**Figura 2.1** Climatograma realizado con los datos meteorológicos del año 2017- OPEMAN -INIA - Canaan

### 2.3 Tratamientos y diseño experimental

Los tratamientos fueron preparados considerando la mezcla de diferentes porcentajes de restos de cosecha de maíz morado (RM), estiércol de vacuno (EV) y microorganismos eficientes (EM).

Los tratamientos resultan de un arreglo factorial de 2A x 3B donde A se refiere a la aplicación de microorganismos eficientes (a1 = con EM y a2= sin EM); B se refiere a la proporción de resto de cosecha de maíz morado y estiércol de vacuno (b1=70%EV+30%RM; b2=50%EV+50%RM y b3=30%EV+70%RM) y con 3 repeticiones por tratamiento ver tabla 2.1.

**Tabla 2.1** Descripción de los tratamientos

Tratamiento	Descripción	C/N
T1	30% de RM + 70% de EV + 200 ml de EM	27.6
T2	50% de RM + 50% de EV + 200 ml de EM	34.0
T3	70% de RM + 30% de EV + 200 ml de EM	40.4
T4	30% de RM + 70% de EV	27.6
T5	50% de RM + 50% de EV	34.0
T6	70% de RM + 30% de EV	40.4

- ❖ Tomando en cuenta que la relación C/N de maíz es 50 (base seca) y la relación C/N estiércol de vaca = 18 (base seca).

El experimento fue conducido utilizando el Diseño Completo Randomizado (DCR) con 6 tratamientos y 3 repeticiones (tabla 2.2).

**Tabla 2.2** Representación del diseño experimental

Repetición	a1			a2		
	b1	b2	b3	b1	b2	b3
I						
II						
III						

El modelo estadístico empleado es:

$$\gamma_{ij} = \mu + \tau_i + \varepsilon_{ij}$$

Donde:

$\gamma_{ij}$  = respuesta de la variable o medida.

$\mu$  = media general del experimento.

$\tau_i$  = efecto del tratamiento.

$\varepsilon_{ij}$  = error aleatorio asociado a  $\gamma_{ij}$

## **2.4 Metodología**

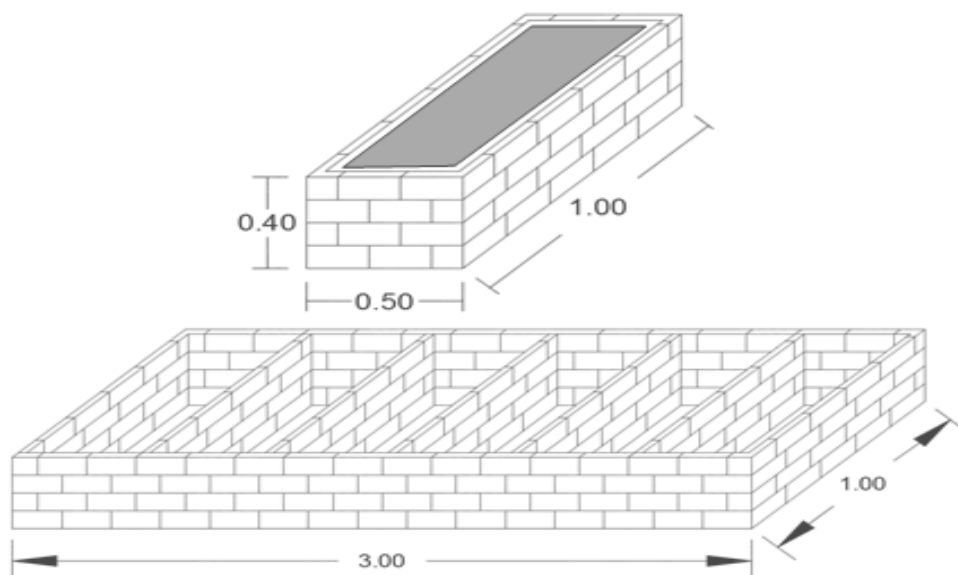
### **2.4.1 Obtención de solución madre de EM**

La captura de los Microorganismos Eficientes se realizó el 08 de marzo del 2017, en el área de crianza de lombrices del Programa de Investigación en Pastos y Ganadería de la Universidad Nacional de San Cristóbal de Huamanga, utilizando trampas preparadas con envases descartables conteniendo arroz graneado sin sal, cubiertos con tela licra sujeta con una liga. Las trampas preparadas fueron colocadas en las pozas de crianza de lombrices y cubiertas con pencas de tuna con la finalidad de evitar que la lluvia dañe las trampas. El proceso de captura tuvo una duración de nueve días (17 de marzo del 2017).

Al término de este tiempo se prosiguió con el preparado de la solución madre de los microorganismos eficientes. Se recogieron los envases de captura (un indicador de que está listo para la preparación de la solución madre es que se observe una variabilidad de colores en las trampas), se procedió a cortar la masa de arroz para luego ser licuada con 1 litro de melaza y 3 litros de agua hervida tibia, hasta que tenga una consistencia espesa. La solución final se colocó en dos botellas descartables de 3 litros, cubiertas con papel periódico tanto la base como el contorno de la botella. Las botellas fueron colocadas en un ambiente oscuro, luego se procedió a eliminar el gas producido por los microorganismos durante los días siguiente. Al cabo de tres días se obtuvo la solución madre EM con un pH = 4.4.

### 2.4.2 Instalación de las unidades experimentales

Las unidades experimentales consisten en pozas de ladrillo y cemento de 0.5m x 1.0m x 0.4m (figura 2.4). El conjunto de unidades experimentales fueron cubiertas con un tinglado de malla Raschel.



**Figura 2.2** Representación de las unidades experimentales

### 2.4.3 Preparación del compost

Se utilizaron 2 insumos básicos: estiércol de vacuno y chala de maíz morado.

**El estiércol.-** Se trajo del Centro Experimental de Allpachaka de la Universidad Nacional San Cristóbal de Huamanga, se adquirió un estiércol maduro, que estuvo en el corral aproximadamente 4 meses, proveniente de vacunos alimentados con ensilado y pastos cultivados (40% de gramíneas y 60% de leguminosas). El traslado del estiércol se realizó el 26 de mayo del 2017.

Según PASOLAC (2000), la composición del estiércol de vacuno es la siguiente: 0.5% N, 0.15%  $P_2O_5$  y 0.5%  $K_2O$  con una relación C/ N de 19.

**Los restos de cosecha de maíz morado (*Zea mays L.*) variedad PMV- 581.-** Se obtuvieron del Centro Experimental de Canaán de la Universidad Nacional San Cristóbal de Huamanga. El picado de los restos se realizó el 03 de junio del 2017.

Según Morón (2001), la composición de los restos de cosecha de maíz (caña) es la siguiente: 0.68 N, 0.25 P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> con una relación C/N de 59.6.

La preparación del compost se realizó el 14 de junio del 2017; previa a la instalación (un día antes) se realizó el remojo de los restos de cosecha de maíz para facilitar la mezcla con el estiércol de vacuno.

En la preparación de cada tratamiento por cada unidad experimental se utilizaron baldes de 20 litros, el peso del estiércol por balde fue de 15.23 kg y el peso de rastrojos de maíz por balde fue de 9.73 kg, la proporción utilizada en cada tratamiento se indica a continuación:

T1: 32 baldes en total de las cuales 9.5 baldes son de rastrojo de maíz (30%) y 22.5 baldes de estiércol de vacuno (70%), más 200 ml de EM.

T2: 32 baldes en total de las cuales 16 baldes son de rastrojo de maíz (50%) y 16 baldes de estiércol de vacuno (50%), más 200 ml de EM.

T3: 32 baldes en total de las cuales 22.5 baldes de rastrojo de maíz (70%) y 9.5 baldes de estiércol de vacuno (30%), más 200 ml de EM.

T4: 32 baldes en total de las cuales 9.5 baldes son de rastrojo de maíz (30%) y 22.5 baldes de estiércol de vacuno (70%).

T5: 32 baldes en total de las cuales 16 baldes son de rastrojo de maíz (50%) y 16 baldes de estiércol de vacuno (50%).

T6: 32 baldes en total de las cuales 22.5 baldes de rastrojo de maíz (70%) y 9.5 baldes de estiércol de vacuno (30%).

#### **2.4.4 Manejo de los compost**

Durante el proceso de compostaje se realizó 09 volteos con el trinche, las fechas fueron 25/06/2017, 30/06/2017, 07/07/2017, 16/07/2017, 23/07/2017, 02/08/2017, 15/08/2017, 20/08/2017 y 25/08/2017; todo el proceso de compostaje duró 3 meses (83 días) aproximadamente.

- **Aplicación de EM en los compost**

La primera aplicación fue al momento de la instalación el 14/06/2017 y la segunda aplicación fue el 16/07/2017, aplicándose en cada fecha 100 ml de EM en 4 litros de agua para los tratamientos T1, T2 y T3; realizando el volteo del compost y usando una regadera para la inoculación.

- **Medición de la temperatura de los compost**

El registro de temperatura se realizó en todo el proceso de compostaje con un termómetro digital de 20 cm de largo con punta galvanizada, la medición se realizó desde el momento de la instalación hasta la obtención del compost, las lecturas se hicieron tres veces al día (6:00 horas - 12:00 horas – 18:00 horas), las dos primeras semanas se realizó la lectura diaria y después cada tres días.

- **Medición de la altura reducida de los compost**

Culminando el proceso de compostaje (15 de septiembre del 2017) se midió las unidades experimentales, desde la parte superior de la unidad experimental hasta la superficie del compost obtenido.

- **Pesado de los compost**

Al finalizar el proceso de compostaje el día 15 de septiembre del 2017 se procedió al ensacado del compost de cada unidad experimental para el pesado usando una balanza con báscula de hierro.

#### **2.4.5 Análisis Biológico de los compost**

Finalizando el proceso de compostaje se realizó el análisis biológico el 19 de septiembre del 2017, que consiste en determinar las unidades formadoras de colonias (UFC) de bacterias y hongos por gramo de muestra. Se realizó el muestreo de cada unidad experimental por tratamiento, realizando primero el volteado del compost para luego obtener la muestra, secarla al aire, tamizarla y obtener aproximadamente 200 g por unidad experimental.



- **Preparación de medio de cultivo**

Se realizó la preparación de dos tipos de medio de cultivo, uno para hongos (Medio Agar papa dextrosa) y el otro para bacterias (Agar nutritivo); luego someter al autoclave y posterior distribución en placas petri.

- **Recuento de bacterias y hongos**

Se utilizó la técnica de dilución y siembra en medios de cultivo que consiste en lo siguiente:

- Pesar 10 g de compost y agregar a un matraz con 90 ml de solución salina al 0,85% (diluyente). Agitar vigorosamente por dos minutos (dilución  $10^{-1}$ ).
- Con una pipeta estéril, tomar 1 ml de la suspensión y transferir a un tubo con 9 ml de solución salina al 0,85% (dilución  $10^{-2}$ ) y así sucesivamente hasta llegar a la dilución  $10^{-6}$ .
- Transferir alícuotas de 0.2 ml de las diluciones  $10^{-6}$  y  $10^{-5}$  a placas con medio Agar nutritivo y 0.2 ml de las diluciones  $10^{-4}$  y  $10^{-5}$  a placas con medio Agar papa dextrosa. Utilizar dos placas por dilución y homogeneizar.
- Incubar a 28°C por 48 h.
- Hacer el recuento de colonias en placas que contengan entre 30 - 300 colonias.
- Expresar los resultados en UFC (unidades formadoras de colonia) por g de compost.

El número total de UFC  $g^{-1}$  de compost fue calculado de acuerdo a la siguiente fórmula:

$$\text{Total de UFC } g^{-1} = N^{\circ} \text{ colonias} \times C / VI$$

Donde:

$N^{\circ}$  UFC = Número de UFC observado en las placas.

C = concentración de la dilución.

VI = Volumen inoculado (0.2).

#### 2.4.6 Análisis físico – químico de los compost

Para el muestreo del compost se volteó cada unidad experimental y se sacó aproximadamente 1 kg de cada tratamiento con sus repeticiones para luego hacer una mezcla homogénea, obteniéndose al final 6 muestras (T1, T2, T3, T4, T5 y T6) las que fueron llevadas al laboratorio de análisis de suelos del Programa de Investigación en Pastos y Ganadería de la Universidad Nacional de San Cristóbal de Huamanga para su análisis químico.

Las metodologías empleadas en el análisis químico fueron:

- El porcentaje de humedad (%H) se determinó por el método gravimétrico el mismo que consiste en obtener un peso inicial de la muestra en estado húmedo, luego se somete a estufa a 105°C por 48 horas para finalmente realizar el pesado de muestra en seco.
- El pH se determinó con el potenciómetro con una suspensión suelo: agua en relación 1 : 2.5
- La metodología para hallar la conductividad eléctrica (mS/cm) se determinó con un conductímetro, con una suspensión suelo: agua en relación 1:1
- La metodología para hallar el porcentaje de Materia orgánica (%MO) fue a través del método Walkley y Black, oxidación del carbono orgánico con dicromato de potasio,  $\%M.O = \%C \times 1.724$ .
- La determinación del porcentaje de Nitrógeno total (%N-total) fue por el método del semi micro – Kjeldahl. Determinación de minerales: acenización por vía húmeda, ataque con HNO<sub>3</sub> y HClO<sub>4</sub> concentrado y HCl 6N.
- El contenido de óxido de fósforo (ppm P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>) se determinó por el método colorimétrico, Bray Kurtz I modificado.
- El contenido de óxido de potasio (ppm K<sub>2</sub>O) se determinó mediante el método turbimétrico, Morgan Peech, Cobalto nitrito de sodio.
- El contenido de óxido de calcio (ppm CaO) y óxido de magnesio (ppm MgO) se determinó por el método de complexometría, EDTA.
- La metodología para hallar el contenido de sulfato (ppm SO<sub>4</sub>) fue el de turbidimetría, Massoumi, BaCl<sub>2</sub>.

#### **2.4.7 Efecto de los compost obtenidos en el crecimiento de plantas de tomate**

Se realizó el almácigo de semillas de tomate variedad Río Grande (rastrero) el 22 de agosto del 2017, en un recipiente de madera de 0.4m x 0.4m x 0.1m. El sustrato empleado fue arena fina y carbón (15% del volumen), se lavó la arena 3 veces y se puso a secar, luego se mezcló con el carbón para plantar las semillas de tomate, se dejó crecer durante 01 mes para su trasplante.

El experimento se instaló el 22 de setiembre del 2017, en envases descartables de 1lt de capacidad, a los que se agregó los compost obtenidos y suelo agrícola en la proporción 1:1. Se evaluaron los seis tipos de compost obtenidos, con tres repeticiones por tratamiento. Las macetas fueron regadas con 200 ml de agua destilada al momento de la instalación luego con 100ml de agua cada dos días, manteniendo la humedad a capacidad de campo.

Al finalizar el experimento se evaluaron las siguientes variables:

- Altura de la parte aérea de la planta de tomate.
- Peso de la parte aérea de la planta de tomate.
- Longitud de la raíz de la planta de tomate.
- Peso de la raíz de la planta de tomate.

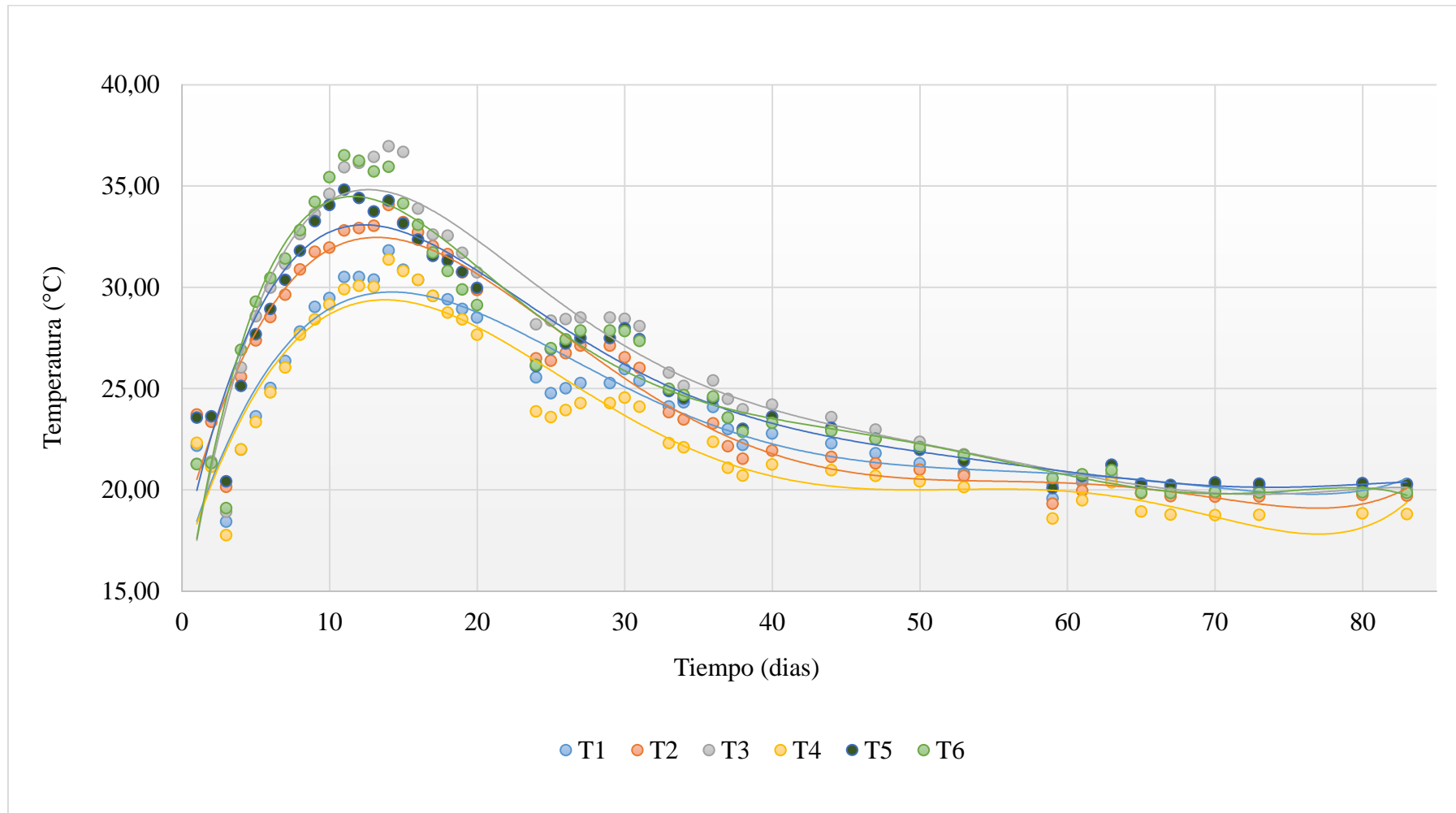
Los resultados fueron analizados mediante el análisis de variancia y la prueba de significación de Duncan.

## **CAPÍTULO III**

### **RESULTADOS Y DISCUSIÓN**

#### **3.1 Variación de temperatura**

En la figura 3.1 se presenta la variación de la temperatura durante el proceso del compostaje de todos los tratamientos. Se observa que todos los tratamientos presentaron la fase mesófila y la fase de enfriamiento. El primer día de la instalación se observó temperaturas entre 21.18°C y 23.71°C., a los 10 - 12 días se observó la máxima temperatura alcanzada por todos los tratamientos, la que varió entre 31.37°C (T4) y 37°C (T3) y al finalizar el proceso de compostaje se observó temperaturas entre 18.80°C (T4) y 20.29°C (T5), al respecto Storino, (2016), indica que la evolución de la temperatura durante el compostaje depende de las características iniciales del residuo y de las condiciones en las que se desarrolle la actividad microbiana en la degradación de la materia orgánica, asimismo, la temperatura dependerá de la disponibilidad de oxígeno para la respiración de los microorganismos, las propiedades físicas del residuo inicial su proporción en la mezcla inicial con residuos, la realización de volteos periódicos y el grado de humedad del material; Escobar, *et al.*, (2012), manifiesta que el compost con estiércol y restos de maíz en una pila de volumen de 12m<sup>3</sup> alcanzó los 40°C al quinto día (fase mesófila), luego llegó a alcanzar la temperatura más alta 67°C (fase termófila) y luego en la etapa de enfriamiento llegó a 35°C. La baja temperatura obtenida en la presente investigación posiblemente es por el volumen de la unidad experimental, en cuanto al uso del EM contribuye a elevar la temperatura en el tratamiento T3 con mayor contenido de restos vegetales (70%RM+30%EV).



**Figura 3.1** Curva de temperatura por tratamientos registrado durante todo el proceso de compostaje

### 3.2 Calidad del compost

#### 3.2.1 Análisis físico - químico

De acuerdo al análisis físico-químico (tabla 3.1) podemos indicar:

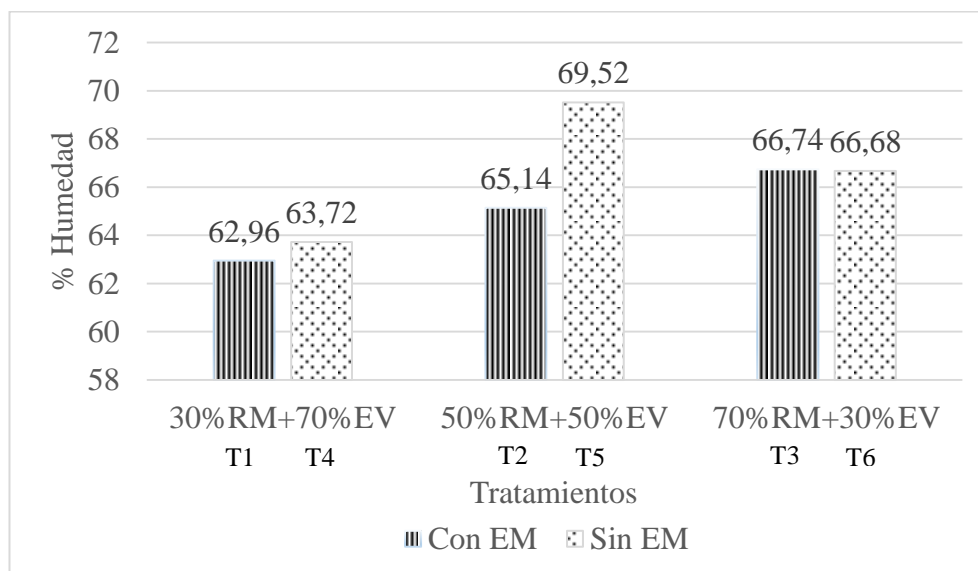
**Tabla 3.1** Análisis físico - químico

Tratamientos	pH	C.E. mS/cm	%							
			H°	M.O.	N- total	P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	K <sub>2</sub> O	CaO	MgO	SO <sub>4</sub>
T1 (30%RM + 70%EV + EM)	8.99	14.90	62.96	43.15	1.86	2.05	0.48	2.35	1.52	0.396
T2 (50%RM + 50%EV + EM)	9.06	14.75	65.14	44.14	2.05	2.45	0.51	2.46	2.16	0.683
T3 (70%RM + 30%EV + EM)	9.12	14.18	66.74	45.31	2.14	2.27	0.47	2.58	1.84	0.575
T4 (30%RM + 70%EV)	9.06	14.65	63.72	43.54	2.03	2.30	0.47	2.69	2.16	0.514
T5 (50%RM + 50%EV)	9.16	14.68	69.52	43.57	1.72	1.97	0.46	2.57	2.32	0.826
T6 (70%RM + 30%EV)	9.14	13.60	66.68	47.67	1.89	1.79	0.41	3.02	2.08	0.628

- **Humedad (%H)**

Al final del proceso de compostaje la mayor humedad obtenida (figura 3.2) correspondió al T5 con 69.52% y la menor fue el T1 con 62.96%; al respecto Gomero y Velásquez, (1999) indican que para lograr que los microorganismos trabajen eficientemente en el proceso de descomposición se requiere suministrar aire, para lo cual se debe remover la pila del compost semanalmente y regar para mantener una humedad optima de 60% - 70%; asimismo Arango, *et al.* (2016) encontró en su investigación un contenido de humedad, por encima del 80% en todos los tratamientos evaluados, debido a la hidratación semanal suministrada y a la producción de moléculas de H<sub>2</sub>O en la reacción bioquímica de digestión aerobia. Se puede afirmar que el uso de EM reduce ligeramente el contenido de humedad en el

compostaje por causa de la presencia de los microorganismos benéficos como actinomicetos, bacterias acidolácticas y fotosintéticas.

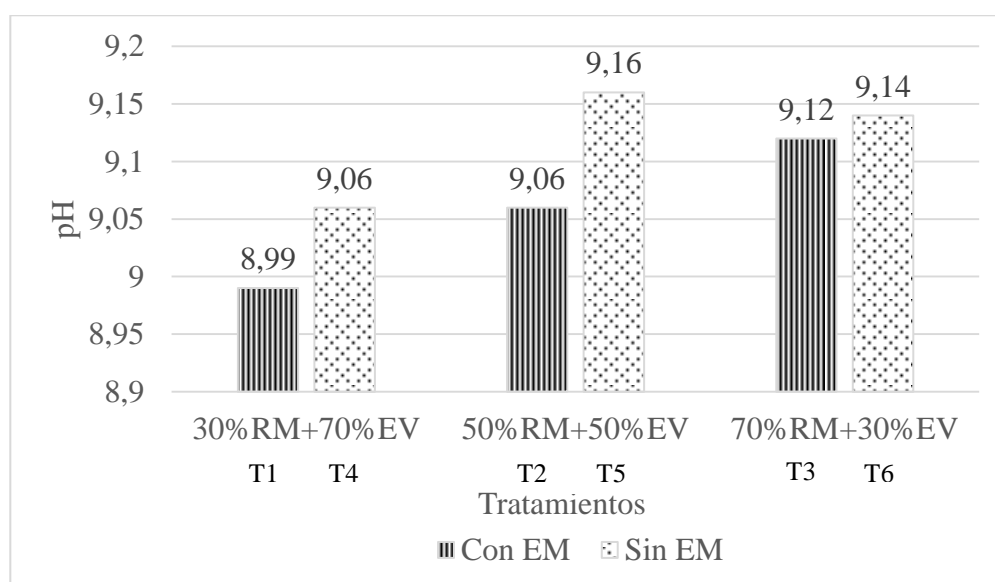


**Figura 3.2** Contenido de humedad (%H) en los compost

#### • pH

El mayor pH (figura 3.3) corresponde al tratamiento T5 (50% RM + 50% EV) con 9.16 y el menor corresponde al tratamiento T1 (30% RM + 70% EV+ME) con 8.99. Silva, *et al.*, (2012) indica en cuanto al pH, el intervalo recomendado es entre 6.5 y 8 unidades, lo que es compatible con el crecimiento de la mayoría de cultivos, en algunos casos el compost tiene la capacidad de actuar como tampón estabilizando el pH del suelo; Tchobanoglous, *et al.*, (1994) da a conocer que el valor del pH óptimo para el compostaje esta entre 6.5 y 8.0. Si el grado de descomposición no es adecuado, el pH puede caer a valores entre 4 a 5 retrasándose el proceso; Moretti, (1986) menciona que el pH del material fermentado varia en el desarrollo del proceso así: durante los primeros días del compostaje el pH cae a 5 o menos, durante esta etapa el material orgánico se encuentra a temperatura ambiente, comienza la reproducción de microorganismos mesófilicos y sube rápidamente la temperatura. Entre los productos de esta etapa inicial están los ácidos orgánicos simples que causan la caída del pH. Después de aproximadamente tres días, la etapa llega a la temperatura termofílica y el pH debe subir de 8 a 8.5 unidades, el pH cae ligeramente durante la etapa de enfriamiento y llega a un valor entre 7 a 8 en el compost maduro;

Rubio, (1985) citado por Vicencio, *et al.* (2011) aprueba que el compost final tenga un pH de 6.5 a 9; el pH alto encontrado posiblemente fue a causa del estiércol maduro de vacuno, por la liberación de CO<sub>2</sub>, la aireación y por los gases presentes ; Ruiz (2017), menciona que generalmente el estiércol maduro tiende a cambiar su pH, de 6.5 hasta 9.5 o 10.0 según el contenido de sales de Na ,Ca y K, en consecuencia el estiércol maduro si tiene de 30 - 90 días de haber sido producido por el animal su pH se encuentra estabilizado entre 7 a 8. En la presente investigación el uso de EM disminuye el pH en el compost posiblemente por la producción de ácidos orgánicos de los microorganismos, sin embargo, no fue suficiente para obtener un pH adecuado.



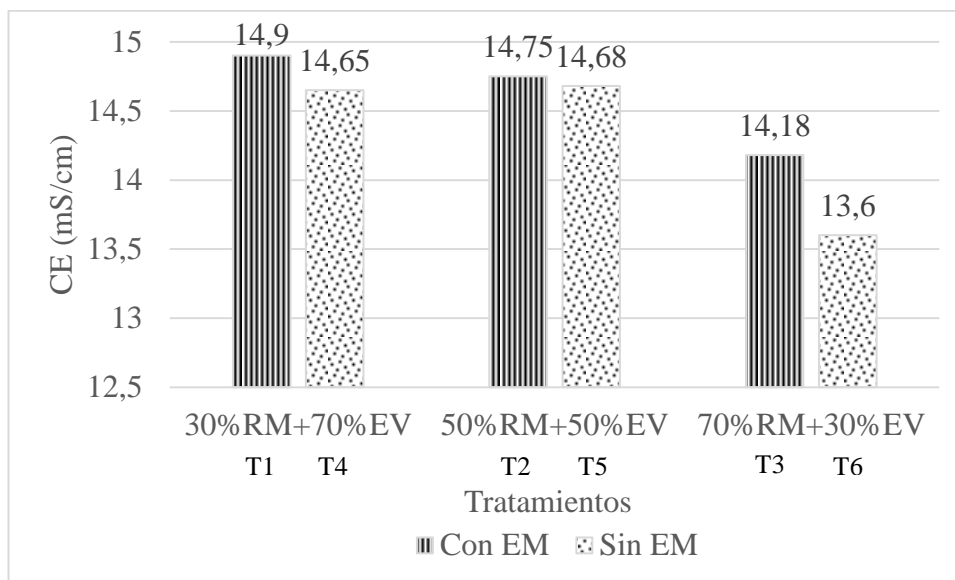
**Figura 3.3** Contenido de pH en los compost

- **Conductividad eléctrica**

La mayor cantidad de Conductividad Eléctrica (mS/cm = dS/m) corresponde al T1 con 14.90 mS/cm y la menor corresponde al T6 con 13.60 mS/cm (figura 3.4); Irshad, *et al.*, (2017) indica que la CE va aumentando después del compostaje de 9.6 dS/m a 10.7 dS/m en estiércol de vaca y que la CE es más alta en los abonos compostados y podrían ser atribuidos a la liberación de sales del estiércol con el paso del tiempo; Brinton, (2000) manifiesta que la salinidad mayormente se debe al sodio, potasio, cloruro, nitrato, sulfato, amonio y ácidos orgánicos volátiles presente en el compost; la alta CE encontrada en el tratamiento posiblemente sea por la proporción



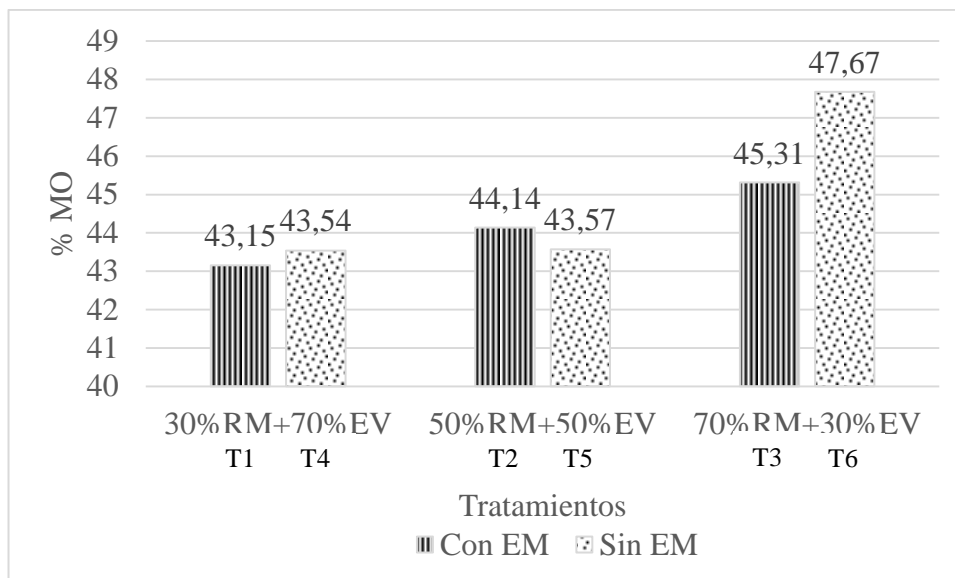
del tratamiento T1, 70% de estiércol lo cual aumenta su CE. La menor CE se puede deber al uso de 30% estiércol en el tratamiento T6, se puede indicar también que el uso de EM (microorganismos eficientes) aumentan la CE en el compost.



**Figura 3.4** Contenido de conductividad eléctrica en los compost

- **Materia orgánica (%)**

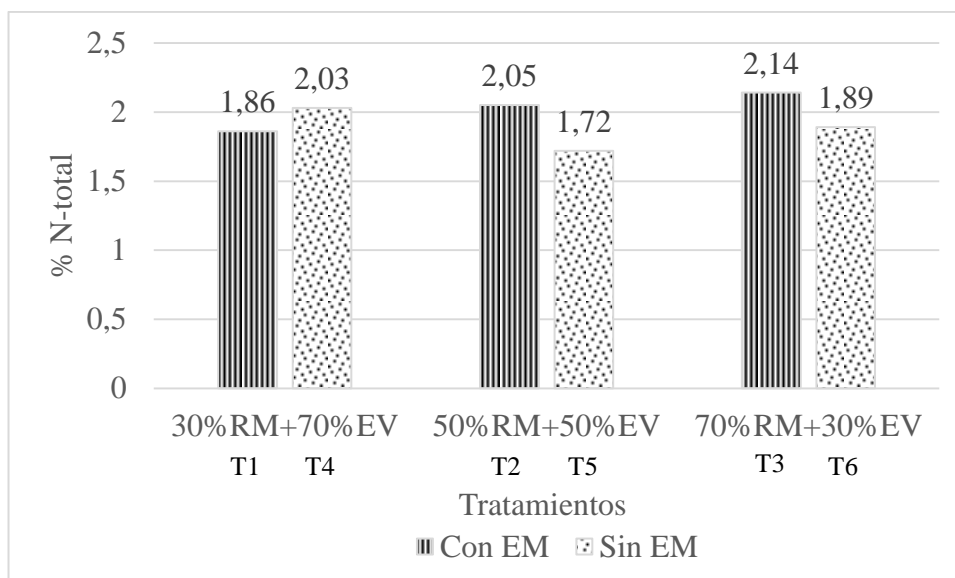
El porcentaje de materia orgánica en los diferentes tratamientos varió entre 43.15% (T6) y 47.67% (T1) (figura 3.5); valores similares a los indicados por diferentes autores. Miyashiro, (2014) señala que los valores de la materia orgánica del compost al inicio de la etapa de maduración se encuentran comprendidos en un rango de 46.9 - 49.9%, mientras que la materia orgánica presente en el compost evaluado al final de la etapa de maduración se ubica en un rango de 44 - 48.7%, en base a ello, se observa una tendencia a la disminución en el contenido de materia orgánica conforme transcurre la etapa de maduración hasta el momento de la cosecha; Iribarren, *et al.*, (2004) da a conocer que el proceso de compostaje tiene por objeto estabilizar y reducir la materia orgánica del material o materiales de partida y que es importante que el compost contenga un 40 - 60% en materia orgánica. Se puede afirmar que el contenido de la materia orgánica es mayor en la proporción 70%RM+30%EV.



**Figura 3.5** Contenido de MO (%) en los compost

- **Nitrógeno total (%)**

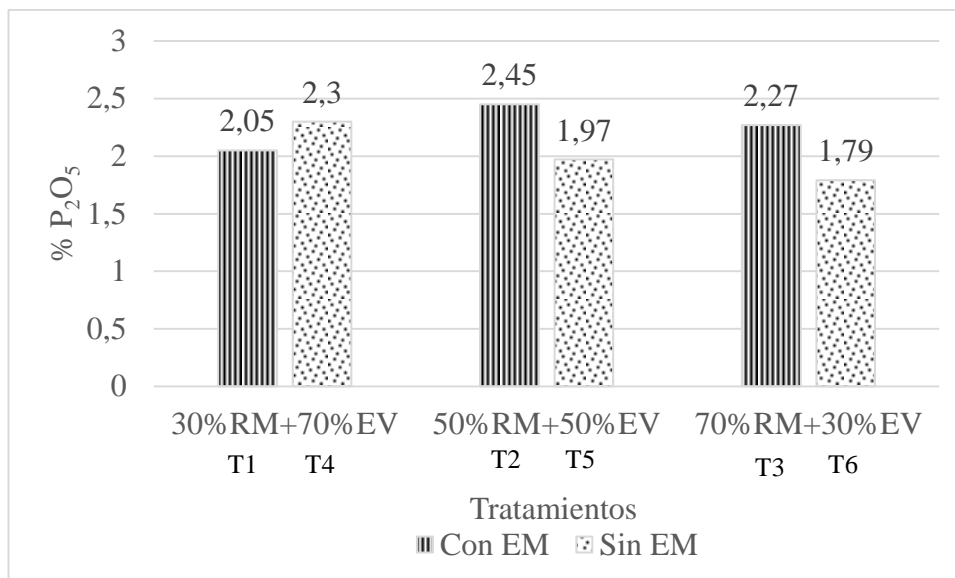
El mayor porcentaje de nitrógeno total se observó en el tratamiento T3 (70%RM + 30%EV + ME) con 2.14% y el menor porcentaje se observó en el tratamiento T5 (50%RM + 50%EV) con 1.72% (figura 3.6) los resultados obtenidos muestran valores similares a los mencionados por otros autores, así por ejemplo, Silva, *et al.*, (2012) indica que el nitrógeno puede oscilar alrededor del 3% y es importante que no sea inferior a 0.6. ADAN, (1999) manifiesta que los valores de nitrógeno total mínimo establecidos como parámetros de control para compost orgánico es de 1.0%; Román *et al.* (2013) indica con respecto al contenido de nitrógeno total (base seca), el rango ideal al comienzo (2-3 días) de 2.5% a 3 %, el rango ideal para compost en fase termofílica II (2-5 semanas) de 1% a 2% y el rango ideal de compost maduro (3-6 meses) de aproximadamente 1%; Rivero, (1999) menciona que la composición de compost de residuos sólidos urbanos, presenta contenidos de nitrógeno total de 0.4% a 1.8%. El uso de EM en el proceso de compostaje de la presente investigación, dio como resultado un ligero incremento del nitrógeno en los tratamientos con proporción 50 a 70% de RM, posiblemente a causa de la relación C/N.



**Figura 3.6** Contenido de Nitrógeno total (%) en los compost

- **Fósforo total (%P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>)**

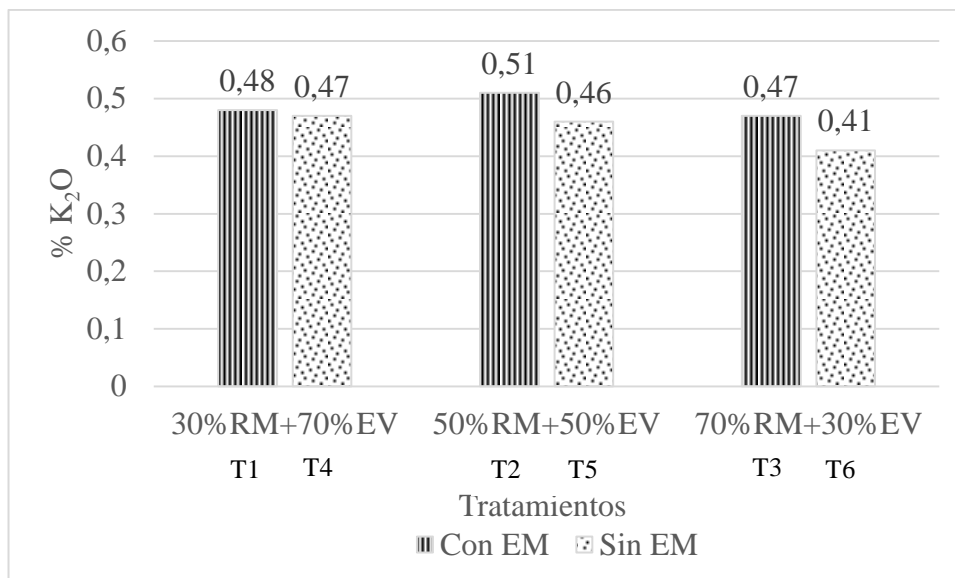
Se determinó porcentajes de fósforo total (%P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>) entre 1.79 a 2.45% correspondiente a los tratamientos T6 (70%RM + 30%EV) y T2 (50%RM + 50%EV + EM) respectivamente (figura 3.7), valores superiores a lo encontrado por Paredes, (2012) quien indica 1,37% de fósforo total en compost elaborado con estiércol de ovino y rastrojo de maíz y similar a lo indicado por Bohórquez, *et al.* (2014) quienes determinaron 2.5% de fósforo disponible; Bobadilla y Rincón (2008) manifiestan que por la concentración de Ca y Al se puede precipitar el fosfato disponible liberado por las fosfatasas, los ácidos orgánicos producto de la degradación de la sacarosa se encargarían de la solubilización de este fósforo no disponible, y por lo tanto aunque no existe crecimiento microbiano, el fósforo disponible no disminuye en relación directa con la carga microbiana. Como en los resultados anteriores el empleo de EM aumentó el contenido de fósforo en los tratamientos con proporción 50%RM + 50%EV y 70%RM + 30%EV.



**Figura 3.7** Contenido de  $P_2O_5$  (%) en los compost

- **Potasio total (% $K_2O$ )**

El mayor porcentaje de potasio (% $K_2O$ ) se observó en el tratamiento T2 (0.51%) y el menor porcentaje fue el tratamiento T6 (0.41%) que corresponde a las proporciones 50%RM+50%EV+ME y 70%RM+30%EV (figura 3.8); Paredes (2012), menciona en cuanto al contenido de potasio ( $K_2O$ ), expresado en porcentaje, 4.85% en compost preparado con estiércol de ovino + rastrojo de maíz; Vázquez (2008), da a conocer que el porcentaje de potasio presente en los bioabonos como el Biol y el compost es de 1.61% y 1.47% respectivamente; French y Serrato (2007), indican 0.4% de  $K_2O$  en compost de residuos sólidos urbanos, 0.3% en compost de residuos de jardinería y 1% - 4% en compost de estiércol de aves de corral; Navia, *et al.*, (2013), sugiere que el incremento en el nivel de pH ayuda a mejorar el ambiente propicio para la acción de los microorganismos encargados de la mineralización del Potasio contenido en la materia orgánica. Los resultados obtenidos fueron inferiores a los mencionados por otros autores, posiblemente debido a la calidad de los substratos utilizados que presentan un bajo contenido de potasio orgánico. El empleo de EM mejoró ligeramente el contenido de potasio en los tratamientos con proporción 50%RM + 50%EV y 70%RM + 30%EV.

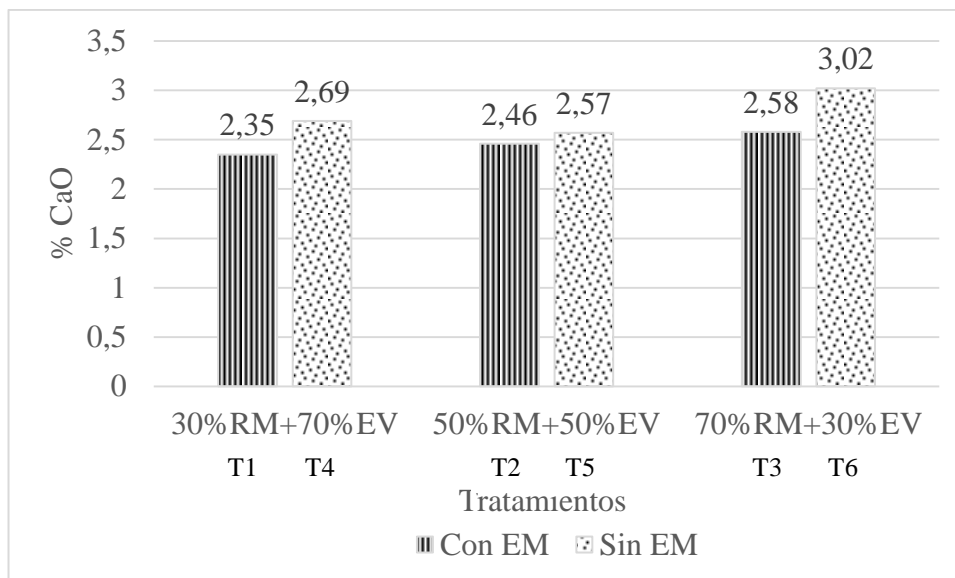


**Figura 3.8** Contenido de  $K_2O$  (%) en los compost

- **Óxido de calcio (%CaO)**

El mayor porcentaje óxido de calcio (%CaO) correspondió al tratamiento T6 con 3.02% y el menor porcentaje, al tratamiento T1 con 2.35% (figura 3.9). valores similares a los indicados por Bohórquez, *et al.*, (2014) quienes indican contenidos de óxido de calcio entre 1.9 - 3.7% en compost obtenidos con subproductos de la industria azucarera; Navia, *et al.*, (2013) mencionan 0.31% de calcio en compost obtenido a partir de restos de cosecha en tomate clasificando su contenido como bajo, quien establece que los niveles de Calcio para abonos compostados debe encontrarse en un rango de 6,0 a 11%; Alca y Mendoza ,(2017) indica que el %CaO disponible disminuye cuando la variación de temperatura también disminuye, esto es debido a que el paso de óxido de calcio a hidróxido de calcio es una reacción exotérmica y ello con lleva a elevar la temperatura de la solución, Al tener mayor %CaO disponible habrá más moléculas de óxido de calcio que pasaran a hidróxido de calcio por lo tanto mayor calor liberara y esto reflejara en un cambio mayor en la temperatura.

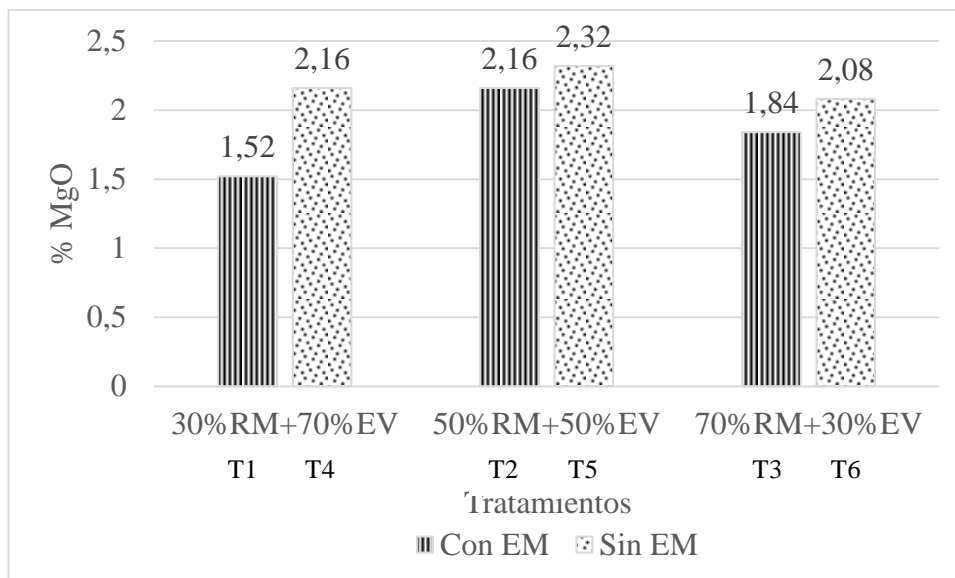
En este caso, no se observó el efecto del uso de EM en las diferentes proporciones utilizadas, sino en el tipo de proporciones, siendo los tratamientos con 70%RM+30%EV los que presentaron mayor porcentaje de CaO posiblemente a causa de la mayor temperatura que presentaron estos tratamientos.



**Figura 3.9** Contenido de CaO (%) en los compost

- **Óxido de magnesio (%MgO)**

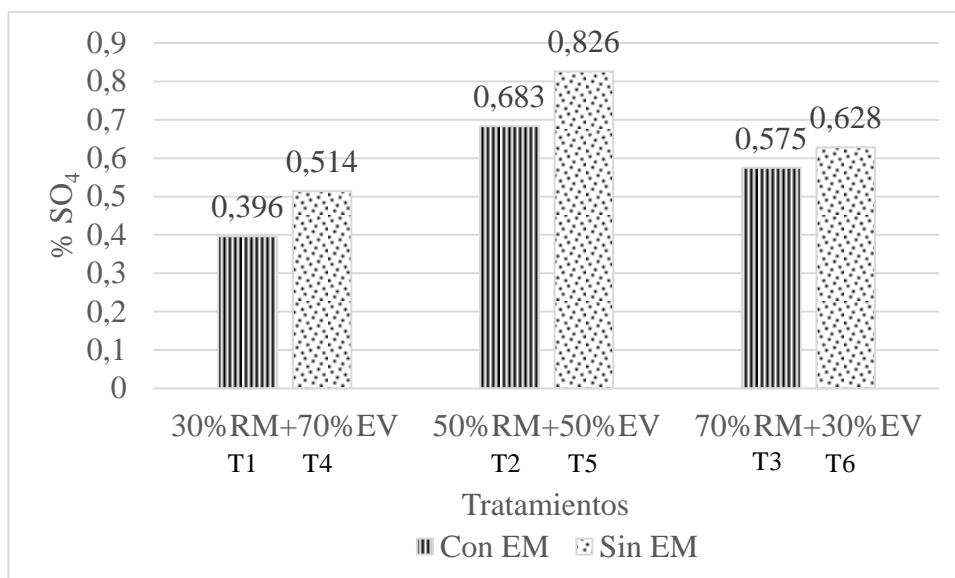
Los porcentajes de óxido de magnesio (%MgO) observados variaron entre 2.32 y 1.52% correspondiente a los tratamientos T5 y T1 respectivamente (figura 3.10); según Rivero, (1999) citado por Villalba, (2005) indican que los parámetros establecidos de %MgO en el compost es de 0,5% - 2,5%; Barbaro, *et al.*, (2010) manifiestan que el contenido de calcio y magnesio soluble se incrementa con el aumento de la dosis de azufre, la conductividad eléctrica; según Peterson (1982) citado por Barbaro, *et al.*, (2013) mencionan que el calcio y el magnesio aumentan su disponibilidad con el incremento del pH. Podemos afirmar que el uso de EM disminuye el %MgO en el compost, asimismo que los tratamientos con proporción 50%RM+50%EV tuvieron mayores contenidos de MgO.



**Figura 3.10** Contenido de MgO (%) en los compost

- **Sulfato (%SO<sub>4</sub>)**

El mayor porcentaje de sulfato (%SO<sub>4</sub>) se observó en el tratamiento T5 (0.826%) y el menor porcentaje en el tratamiento T1 (0.396%) ver figura 3.11; Zárraga (2007), indica que en el proceso de compostaje a los 45 días la concentración de %SO<sub>4</sub> comienza a aumentar con un % de concentración de 0,2397 manteniéndose hasta los 75 días con un valor de 0,2475, para luego disminuir las concentraciones y mantenerse casi sin variaciones en los días restantes hasta los 120 días compostaje obteniendo un valor de 0,196; valores inferiores a los encontrados en el presente experimento, posiblemente fue a causa del uso del estiércol y material vegetal empleado; Asimismo se observa que la adición de EM disminuye el porcentaje de SO<sub>4</sub>, al respecto Fernández (1968), manifiesta que las transformaciones que sufre este elemento obedecen fundamentalmente a la acción de microorganismos, así como existen bacterias que logran la transformación del azufre elemental a formas oxidadas, principalmente sulfatos, igualmente existen bacterias que son capaces de transformar los sulfatos a formas no utilizables por las plantas, tales como los sulfuros, entre las bacterias capaces de realizar este proceso de reducción se encuentran las de los géneros *Desulfovibrio* y *Desulfotomaculum*.



**Figura 3.11** Contenido de  $SO_4$  (%) en los compost

Comparando los resultados del análisis físico-químico de los compost obtenidos con la Norma Chilena 2880 (2003), porque no existe legislación ni normas técnicas peruanas para la evaluación de la calidad del compostaje, se puede indicar que los tratamientos T1 y T2 son considerados de clase A y los compost T3, T4, T5 y T6, de clase B (tabla 3.2).



**Tabla 3.2** Comparación del análisis físico- químico con la norma chilena 2280

Muestra	T1	T2	T3	T4	T5	T6	Compost (norma chilena 2280)		
	(30%RM + 70%EV + EM)	(50%RM + 50%EV + EM)	(70%RM + 30%EV + EM)	(30%RM + 70%EV)	(50%RM + 50%EV)	(70%RM + 30%EV)	Clase A	Clase B	Inmaduro
%H	62.96 (A)	65.14 (A)	66.74 (A)	63.72 (A)	69.52 (A)	66.68 (A)	≥45	≥25	No especifica
pH	8.99 (I)	9.06 (I)	9.12 (I)	9.06 (I)	9.16 (I)	9.14 (I)	7.0 – 8.0	6.5-8.5	<6.5- >8.5
C.E. mS/cm	14.90 (I)	14.75 (I)	14.18 (I)	14.65 (I)	14.68 (I)	13.60 (I)	≤ 5.0	>5 - 12	No se aplica
C/N	13.45 (A)	12.49 (B)	12.28 (B)	12.44 (B)	14.68 (B)	14.63 (B)	10-25	25-40	>40
% M.O.	43.15 (I)	44.14 (I)	45.31 (I)	43.54 (I)	43.57 (I)	47.67 (I)	>80	60 - 80	<60
%N - Total	1.86 (A)	2.05 (A)	2.14 (A)	2.03 (A)	1.72 (A)	1.89 (A)	1.0 – 3.0	0.5 – 1.0	>0.5
%P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	2.05 (A)	2.45 (A)	2.27 (A)	2.30 (A)	1.97 (A)	1.79 (B)	0.8 –2.5	0.6 - 0.8	<0.6
%K <sub>2</sub> O	0.48 (B)	0.51 (B)	0.47 (B)	0.47 (B)	0.46 (B)	0.41 (B)	0.5 – 2.0	0.35 – 0.5	<0.35
%CaO	2.35 (A)	2.46 (A)	2.58 (B)	2.69 (B)	2.57 (B)	3.02 (B)	1.0 – 2.5	2.5 – 6.0	>6.0
%MgO	1.52 (B)	2.16 (B)	1.84 (B)	2.16 (B)	2.32 (B)	2.08 (B)	0.5 – 1.0	1.0 – 3.0	>3.0
%SO <sub>4</sub>	0.396	0.683	0.575	0.514	0.826	0.628	No esp.	No esp.	No esp.
Clase de compost	Clase A	Clase A	Clase B	Clase B	Clase B	Clase B	----	----	----

### 3.2.2 Análisis biológico

#### • Bacterias y Hongos

El ANVA (análisis de varianza) del análisis biológico de bacterias (tabla 3.3) determinó diferencias significativas en todas las fuentes de variación (tratamientos, aplicación de EM, proporciones e interacción EM x proporciones) con un coeficiente de variación de 7.72 %, por lo que se realizó la prueba de Duncan (tabla 3.4) con  $\alpha = 0.05$ . Se observó que el tratamiento T2 (50%RM+50%EV+EM) presentó  $61.83 \times 10^6$  UFC por gramo de compost y superó con diferencias significativas al resto de tratamientos que presentaron valores entre 11 a 32.17 UFC/ g de compost. Los valores observados son menores a los reportados por Bello (2008) citado por De La Mora, *et al.* (2016) quien indica bacterias mesófilas entre  $1 \times 10^8$  a  $1 \times 10^{11}$  UFC/g y bacterias termófilas entre  $1 \times 10^4$  a  $1 \times 10^7$  UFC/g como los principales microorganismos encontrados en la materia orgánica. Indica también que estas bacterias son fundamentalmente organismos mineralizadores, tienen funciones específicas en los ciclos de los elementos como degradación de celulosa, almidón, lignina, fijación de nitrógeno atmosférico, proteólisis, amonificación y nitrificación. La población bacteriana encontrada en la presente investigación posiblemente se debe al alto contenido de humedad (61% - 72%) de los tratamientos que afectó el desarrollo de las bacterias.

**Tabla 3.3** ANVA de UFC de bacterias

F.V.	SC	GL	CM	F	p-valor
Modelo	5602.61	5	1120.52	290.21	<0.0001
EM	2450.00	1	2450.00	634.53	<0.0001
Proporción	2046.03	2	1023.01	264.95	<0.0001
EM*Proporción	1106.58	2	553.29	143.30	<0.0001
Error	46.33	12	3.86		
Total	5648.94	17			

CV= 7.72 %

**Tabla 3.4** Prueba de Duncan de las UFC x 10<sup>6</sup> de bacterias

EM	Proporción	Medias	
Con EM	50RM+50EV	61.83	a
Con EM	70RM+30EV	32.17	b
Sin EM	50RM+50EV	17.67	c
Con EM	30RM+70EV	17.33	c
Sin EM	70RM+30EV	12.67	d
Sin EM	30RM+70EV	11.00	d

*Medias con una letra común no son significativamente diferentes ( $p > 0.05$ )*

Según Laich (2011), las bacterias son las más numerosas en el proceso de compostaje, y constituyen entre el 80% y el 90% de los microorganismos existente en el compost, se trata de un grupo de gran diversidad metabólica, que utilizan un amplio rango de enzimas que degradan químicamente una gran variedad de compuestos orgánicos; Acuña *et al.*, (2006) citado por Escobar, *et al.*, (2012), indican que los valores de colonias de bacterias y actinomicetos, al final del compost, resultaron ser mayores que los hongos, posiblemente, porque son microorganismos participantes de la nitrificación y amonificación, necesaria para la biota del suelo; por lo tanto podemos afirmar que el uso de EM aumenta las UFC de bacterias (T2 =  $61.83 \times 10^6$ ) participantes en el proceso de compostaje y que la proporción de sustrato 50%RM+50%EV contribuye al aumento de la población bacteriana.

El ANVA (análisis de varianza) del análisis biológico de Hongos (tabla 3.5), se observó diferencias estadísticas en el uso de EM, la proporción y la interacción de EM con la proporción, con un coeficiente de variación de 9.05%, al realizar la prueba de Duncan (tabla 3.6) con  $\alpha = 0.05$ , se determinó que el mejor tratamiento y con la media más alta fue T5 (50%RM+50%EV) con  $24 \times 10^4$  por gramos de compost, que superó con diferencias significativas al resto de tratamientos que están en un rango de  $5 \times 10^4$  a  $16 \times 10^4$ . Según Bello (2008) citado por De La Mora *et al.* (2016) los hongos se encuentran en la materia orgánica entre  $1 \times 10^6$  a  $1 \times 10^5$  UFC, valores superiores a los encontrados en la presente investigación, posiblemente debido al alto porcentaje de humedad de los compost. Según Coyne (2000) citado por Araya, *et al.* (2014), en lo que respecta al aprovechamiento de la materia orgánica del suelo como

fuentes de energía, los hongos son entre 30 a 40% más eficientes que las bacterias en términos de relación CO<sub>2</sub> respirado y carbono asimilado. Miller (1996) citado por Pérez et al. (2010), indica que los hongos juegan un papel fundamental a lo largo del proceso de compostaje, son capaces de utilizar varias fuentes de carbono, pueden sobrevivir en condiciones extremas y participan activamente en la fase de maduración.

**Tabla 3.5** ANVA de UFC de hongos

<b>F.V.</b>	<b>SC</b>	<b>GL</b>	<b>CM</b>	<b>F</b>	<b>p-valor</b>
Modelo	805.83	5	161.17	93.58	<0.0001
EM	53.39	1	53.39	31.00	0.0001
Proporción	496.00	2	248.00	144.00	<0.0001
EM*Proporción	256.44	2	128.22	74.45	<0.0001
Error	20.67	12	1.72		
Total	826.50	17			

CV=9.05

**Tabla 3.6** Prueba de Duncan de las UFC de hongos x 10<sup>4</sup> /g de compost

<b>EM</b>	<b>Proporción</b>	<b>Medias</b>	
Sin EM	50RM+50EV	24.00	a
Con EM	50RM+50EV	19.67	b
Con EM	30RM+70EV	18.67	b
Con EM	70RM+30EV	10.33	c
Sin EM	70RM+30EV	9.33	c
Sin EM	30RM+70EV	5.00	d

*Medias con una letra común no son significativamente diferentes ( $p > 0.05$ )*

### 3.2.3 Peso de compost obtenido

El ANVA (análisis de varianza) del peso del compost obtenido (tabla 3.7), muestra diferencias altamente significativas en las proporciones de RM + EV no así en la aplicación de EM, tampoco en la interacción proporción por EM, indicando que la aplicación de los microorganismos eficientes no ha afectado en el peso de compost obtenido. Se obtuvo un coeficiente de variación de 4.55.

La prueba de Duncan (tabla 3.8) de las proporciones con  $\alpha = 0.05$ , muestra que la proporción 30%RM+70%EV independientemente del uso de EM, superó con diferencias significativas al resto de proporciones, lo que significa que la descomposición ha sido menor (69.28%) ver tabla 3.9. Por lo tanto el mejor tratamiento tendría como proporción 70%RM+30%EV por presentar alto o mayor grado de descomposición (76%). Según INTEC (1999) citado por Córdova (2006), durante el proceso de fermentación del compost se reduce un 60% del material inicial con el que se construyó la pila; Storino (2016), indica al cabo del proceso de compostaje en composteras domésticas, el peso de los residuos iniciales se reduce un 57%; Silva, *et al.*, (2012) indica que el volumen de cada pila disminuye entre 29 y 74%, dependiendo del tipo de sustrato; Huet, *et al.*, (2012) citado por Storino, (2016), menciona que parece ser probable que la menor madurez del compost y las menores reducciones en peso y volumen obtenidas pueden ser debidas a procesos de compactación de las capas más profunda de las pilas de compostaje que generaron una ralentización del proceso. En la presente investigación el mayor porcentaje de reducción presentó los tratamientos con la proporción 70%RM+30%EV.

**Tabla 3.7** ANVA del peso del compost

F.V.	SC	GL	CM	F	p-valor
Modelo	7358.458	5	1471.692	59.809	<0.0001
EM	12.500	1	12.500	0.508	0.4896
Proporción	7326.054	2	3663.027	148.863	<0.0001
EM*Proporción	19.903	2	9.952	0.404	0.6761
Error	295.280	12	24.607		
Total	7653.738	17			

CV=4.551

**Tabla 3.8** Prueba de Duncan del peso del compost a base de proporción

PROPORCIÓN	Medias		
30RM+70EV	133.67	a	
50RM+50EV	109.05		b
70RM+30EV	84.25		c

*Medias con una letra común no son significativamente diferentes ( $p > 0.05$ )*

**Tabla 3.9** Peso final del compost obtenido y el porcentaje reducido

Tratamiento	Peso Total	Peso Final	% Reducido
T1	435.11	133.67	69.28
T2	399.36	106.73	73.27
T3	363.61	84.07	76.88
T4	435.11	133.67	69.28
T5	399.36	111.37	72.12
T6	363.61	84.43	76.78

### 3.2.4 Altura final de la unidad experimental

El ANVA (análisis de varianza) de la altura final de la unidad experimental (tabla 3.10), la proporción es altamente significativo. Al realizar la prueba de Duncan de las proporciones (tabla 3.11) con  $\alpha = 0.05$ , se determinó diferencias significativas entre proporciones. La media más alta presentó la proporción 30%RM+70%EV con un 28.58 cm de altura final, indicándonos que se obtuvo un mayor peso mas no una buen compost por el alto contenido de estiércol, al contrario de la proporción 70%RM+30%EV con una altura final de 17.25cm por el alto contenido de restos de cosecha de maíz hubo mayor descomposición por lo tanto un mejor compost. La altura está relacionada con el peso obtenido.

**Tabla 3.10** ANVA de la altura final del compost

<b>F.V.</b>	<b>SC</b>	<b>GL</b>	<b>CM</b>	<b>F</b>	<b>p-valor</b>
Modelo	387.79	5	77.56	26.14	<0.0001
EM	0.50	1	0.50	0.17	0.6886
Proporción	385.47	2	192.73	64.97	<0.0001
EM*Proporción	1.82	2	64.97	0.31	0.7410
Error	35.60	12	2.97		
Total	423.39	17			

CV=7.50

**Tabla 3.11** Prueba de Duncan de la altura final considerando la proporción

<b>PROPORCIÓN</b>	<b>Medias</b>	
30RM+70EV	28.58	a
50RM+50EV	23.10	b
70RM+30EV	17.25	c

*Medias con una letra común no son significativamente diferentes ( $p > 0.05$ )*

### 3.3 Efecto de los compost obtenidos en el crecimiento de plantas de tomate

En el ANVA (análisis de varianza) de la altura de plantas de tomate (tabla 3.12), indica que hay diferencia significativa en el uso de EM y en las proporciones, no así en la interacción de EM por proporciones. La prueba de Duncan ( $\alpha = 0.05$ ) del uso o no de EM indica que los tratamientos con EM superaron con diferencias significativas a los tratamientos sin EM (tabla 3.13). La prueba de Duncan de las proporciones indica que la proporción 30%RM+70%EV alcanzó una media de 18.54cm (tabla 3.14) y superó con diferencias significativas a la proporción 70%RM+30%EV y sin diferencias significativas a la proporción 50%RM+50%EV.

**Tabla 3.12** ANVA de la altura de la parte aérea de las plantas de tomates

F.V.	SC	GL	CM	F	p-valor
Modelo	80.72	5	16.14	5.40	0.0079
EM	34.09	1	34.09	11.40	0.0055
Proporción	27.76	2	13.88	4.64	0.0322
EM*Proporción	18.87	2	9.44	3.15	0.0793
Error	35.89	12	2.99		
Total	116.61	17			

CV= 10.15

**Tabla 3.13** Prueba de Duncan del uso de EM en la altura de la parte aérea de las plantas de tomate

EM	Medias	
Con EM	18.41	a
Sin EM	15.66	b

*Medias con una letra común no son significativamente diferentes ( $p > 0.05$ )***Tabla 3.14** Prueba de Duncan de las proporciones de la altura de la parte aérea de las plantas de tomate

PROPORCIÓN	Medias		
30RM+70EV	18.54	a	
50RM+50EV	17.05	a	b
70RM+30EV	15.50		b

*Medias con una letra común no son significativamente diferentes ( $p > 0.05$ )*

El ANVA de la materia seca de la parte aérea de plantas de tomate (tabla 3.15) muestra diferencia significativa entre las proporciones evaluadas, Al realizar la prueba de Duncan  $\alpha = 0.05$  (tabla 3.16), se determinó que las proporciones 50%RM+50%EV y 30%RM+70%EV superaron con diferencias significativas a la proporción 70RM+30EV.



**Tabla 3.15** ANVA de la Materia seca de la parte aérea de las plantas de tomate

F.V.	SC	GL	CM	F	p-valor
Modelo	0.084	5	0.017	1.833	0.1808
EM	0.005	1	0.005	0.545	0.4744
Proporción	0.074	2	0.037	4.042	0.0455
EM*Proporción	0.005	2	0.002	0.267	0.7699
Error	0.110	12	0.009		
Total	0.194	17			

CV= 13.298

**Tabla 3.16** Prueba de Duncan de las proporciones en la materia seca de la parte aérea de las planta de tomate

PROPORCIÓN	Medias	
50RM+50EV	0.775	a
30RM+70EV	0.755	a
70RM+30EV	0.630	b

*Medias con una letra común no son significativamente diferentes ( $p > 0.05$ )*

El ANVA de la materia seca y de la longitud de la raíz no detectó diferencias significativas en ninguno de los factores en estudio (tablas 3.17 y 3.18)

**Tabla 3.17** ANVA de la Materia seca de la raíz de planta de tomate

F.V.	SC	GL	CM	F	p-valor
Modelo	0.0036	5	0.0007	1.2037	0.3645
EM	0.0008	1	0.0008	1.3458	0.2686
Proporción	0.0019	2	0.0009	1.5794	0.2461
EM*Proporción	0.0009	2	0.0005	0.7570	0.4902
Error	0.0071	12	0.0006		
Total	0.0107	17			

CV= 18.439

**Tabla 3.18** ANVA de la longitud de raíz de planta de tomate

<b>F.V.</b>	<b>SC</b>	<b>GL</b>	<b>CM</b>	<b>F</b>	<b>p-valor</b>
Modelo	118.76	5	23.75	1.84	0.1798
EM	24.64	1	24.64	1.91	0.1926
Proporción	52.05	2	26.02	2.01	0.1762
EM*Proporción	42.07	2	21.04	1.63	0.2369
Error	155.11	12	12.93		
Total	273.87	17			

---

CV= 17.75

Referente a los resultados obtenidos se puede indicar que el uso de EM y las proporciones utilizadas en la preparación de los compost influyen en la altura de las plantas de tomate, y en el peso de la materia seca de la parte aérea y no así en el peso y longitud de la raíz.

De igual manera, Herrera *et al.*, (2008) encontraron mayor contenido de materia seca total en plántulas crecidas en sustrato de la mezcla de turba más compost, la excepción fue la materia seca de la raíz que no difirió significativamente entre las mezclas de sustratos estudiados.

## CONCLUSIONES

1. La temperatura ( $^{\circ}\text{C}$ ) de los tratamientos empezó en un rango de  $21^{\circ}\text{C} - 23^{\circ}\text{C}$  y por consiguiente la mayor temperatura alcanzada fue de  $37^{\circ}\text{C}$  del tratamiento T3 (70%RM+30%EV+EM) y  $36^{\circ}\text{C}$  del T6 (70%RM+30%EV) , en los primeros 10 – 12 días, al finalizar el proceso de compostaje (83 días) alcanzaron temperaturas de  $18^{\circ}\text{C} - 20^{\circ}\text{C}$  similares a la temperatura ambiente.
2. Se ha determinado que el uso de microorganismos eficientes influye en las características físico-químicas y biológicas del compost principalmente en los tratamientos T1 (30%RM+70%EV+EM) y T2 (50%RM+50%EV+EM), y las proporciones utilizadas influyen en la descomposición del residuo de cosecha de maíz en los tratamientos T3 (70%RM+30%EV+EM) y T6 (70%RM+30%EV).
3. Con respecto a efecto del compost en plantas de tomate en invernadero, el uso de microorganismos eficientes y la proporción han influido significativamente en la altura de la parte aérea de la planta de tomate de los tratamientos T1 (30%RM+70%EV+EM) y T2 (50%RM+50%EV+EM).

## RECOMENDACIONES

- Realizar investigaciones similares utilizando mayor volumen de las unidades experimentales.
- Utilizar estiércol fresco y mayor cantidad de EM para obtener mejores resultados.
- Estudiar el efecto de los compost obtenidos en la germinación de semillas con la finalidad de detectar elementos tóxicos.
- Determinar los microorganismos en cada una de las fases del proceso de compostaje.

## REFERENCIA BIBLIOGRÁFICA

- Asociación para la defensa del ambiente y de la naturaleza - ADAN (1999).** Basura Municipal - Manual de Gestión Integrada. Caracas - Venezuela (p. 245).
- Alca, D. y Mendoza, R. (2017).** Influencia de la sílice en el proceso de calcinación para reducir el contenido de quemado en el óxido de calcio - Universidad Nacional de San Agustín de Arequipa - Facultad de Ingeniería de Procesos - Escuela Profesional de Ingeniería Química . Arequipa - Perú (p. 51).
- Alcolea, M. y González, C. (2000).** Manual de compostaje doméstico. España, Barcelona. (p. 13 – 15).
- Álvarez, J. (2003).** Manual de compostaje para agricultura ecológica - Editora: Junta de Andalucía (p.03).
- Arango, S.; Montoya, J.; Vásquez, Y. y Flor, D. (2016).** Análisis fisicoquímico y microbiológico del proceso de co-compostaje a partir de biomasa de leguminosa y ruminaza. (p. 348).
- Araya, M.; Tapia, A.; Mata, R.; Serrano, E. y Acuña, O. (2014).** Efecto de la aplicación de compost y nematicida sobre la dinámica de las poblaciones de microorganismos, nematodos fitoparásitos del suelo y la salud del sistema radical en el cultivo del banano (*Musa AAA*) sembrado en domos. Agronomía – costarricense. Vol. 38, No. 2: 95-101 (p. 99).
- Arias, A. (2010).** Microorganismos eficientes y su beneficio para la agricultura y el medio ambiente. Grupo de investigación en energía alternativas y microorganismos eficientes. Corporación Universitaria Autónoma del Cauca. Popayán, Colombia. Jornada de ciencia e ingeniería, Vol. 02, No. 2: 42–45 (p.42, 43).
- Avendaño, D. (2003).** El proceso de compostaje. Pontificia Universidad Católica de Chile. Facultad de Agronomía e Ingeniería Forestal. Departamento de Fruticultura y Enología. Chile. (p. 03).
- Barbaro, L.; Karlanian, M. y Morisigue, D. (2010).** Utilización de azufre micronizado en la corrección del pH de compost de residuos de poda. AGRISCIENTIA , Vol. 27, No.2 : 125-130. (p.128).

- Barbaro, L., Karlanian, M., Rizzo, P., Riera, N., Dellatorre, V., Beltrán, M. y Crespo D. (2013).** Compost de guano de gallina en la composición de sustratos para la producción de plantines florales. *Agriscientia* vol.30 no.1 Córdoba (p. 06).
- Baquero, I. y Uni, R. (2017).** Análisis del costo de la implementación del compostaje frente a abonos químicos en una plantación de palma africana de once años de edad, ubicada en San Carlos de Guaroa Meta, finca la Aurora. Bogotá – Colombia. (p. 35).
- Bejarano, E. y Delgadillo, S. (2007).** Evaluación de un tratamiento para la producción de compost a partir de residuos orgánicos provenientes del rancho de comidas del establecimiento carcelario de Bogotá “la modelo” por medio de la utilización de microorganismos eficientes (EM). Proyecto de grado para ostentar el título de ingenieras ambientales y sanitarias. Universidad de la Salle - Facultad de Ingeniería Ambiental y Sanitaria. (p. 05).
- Bobadilla, C. y Rincón, S. (2008).** Aislamiento y producción de bacterias fosfato solubilizadoras a partir de compost obtenidos de residuos de plaza. Pontificia Universidad Javeriana – Facultad de Ciencias – Carrera de Microbiología Industrial. Bogotá – Colombia. (p.55).
- Bohórquez, A., Puentes, Y. y Menjivar, J. (2014).** Evaluación de la calidad del compost producido a partir de subproductos agroindustriales de caña de azúcar. Manejo y conservación de suelos y aguas. *Corpoica - Ciencia y Tecnología Agropecuaria*. ISSN: 0122-8706 - 15(1) 73-81. (p.78).
- Brinton, W. (2000).** Calidad del compost en América - calidad compost estándares y directrices. Reporte final – Woods end research laboratory. (p. 62).
- Camacho, A.; Giles, M.; Ortigón, A.; Palao, M., Serrano, B. y Velázquez O. (2009).** Técnicas para el análisis microbiológico de alimentos. Segunda edición. Universidad Nacional Autónoma de México. Facultad de Química. México. (p. 02).
- Camacho, J. y Rojas Z. (2016).** Alternativas de producción de abono orgánico a partir de residuos sólidos (provenientes de restaurantes, cartón, pasto y aserrín) mezclados con microorganismos eficientes (M.E) . Universidad

de los Llanos Facultad de Ciencias Agropecuarias y Recursos Naturales Ingeniería Agronómica. Villavicencio – Meta. (p. 15).

- Campos, E.; Illa, J., Palatsi, J.; Solé, F.; Magrí, A. y Flotas X. (2004).** Guía de los tratamientos de las deyecciones ganaderas. Generalitat de Catalunya – Departamento de medio ambiente – Agencia de residuos de Catalunya. España - Lleida. (p. 31).
- Contino, Y. y Ojeda, F. (2006).** Microorganismos eficientes - impacto en la agricultura y la ganadería. Reflexiones. Asociación cubana de producción animal (ACPA). OB Revista - ACPA EEPF “Indio Hatuey”. Cuba. (p. 23).
- Cooperband, L. (2002).** The art and science of composting : A resource for farmers and compost producers. University of Wisconsin Madison - Center For Integrated Agricultural Systems. (p.01).
- Córdova, C. (2006).** Estudio de factibilidad técnico-económica para instalar una planta de compostaje, utilizando desechos vegetales urbanos. Santiago - Chile (p.48).
- De la Mora, A.; Vázquez, F. y Valero, J. (2016).** Sucesión bacteriana del género Bacillus en el proceso de compostaje y lombricompostaje con diferentes fuentes de estiércol. Medio ambiente y desarrollo sustentable (p. 24).
- Escobar, N.; Mora, J. y Romero, N. (2012).** Identificación de poblaciones microbianas en compost de residuos orgánicos de fincas cafeteras de Cundinamarca. Boletín científico centro de museo de historia natural. (p.87).
- Escobar, F.; Sánchez, J. y Azero, M. (2012).** Evaluación del proceso de compostaje con diferentes tipos de mezclas basadas en la relación C/N y la adición de preparados biodinámicos en la granja modelo pairumani. RevActaNova - ISSN 1683-0789, v.5 n.3 Cochabamba – Bolivia (p. 07).
- Fernández, J.; González, P.; González, M. y Berti, J. (1968).** Las bacterias reductoras de sulfato en algunos suelos inundados del distrito Mara del estado Zulia – Maracaibo - Venezuela. Revista de la Facultad de Agronomía (LUZ) 1(2):107-117. (p. 109).

- French, R. y Serrato, L. (2007).** Sanidad vegetal y del suelo a través de la composta. Department of plant pathology and microbiology. Texas agrilife extension. In partial fulfillment of TDA Specialty crop block grant program. Amarillo, Texas. (p. 14).
- Gomero, L. y Velásquez, H. (1999).** Manejo ecológico de suelos – conceptos, experiencias y técnicas. Red de acción en alternativas al uso de agroquímicos - RAAA. Editorial gráfica Sttefany S.R.L tda. Lima – Perú. (p.171).
- Haug, R. (1993).** The practical handbook of compost engineering - Lewis Publisher. Estados Unidos. (p.09).
- Herrera, F., Castillo, J.; Chica, A. y López, L. (2008).** Uso de Compost RSU como sustrato en semilleros de tomate. Departamento de ciencias y recursos agrícolas y forestales, University of Córdoba, Campus de Rabanales. (p.158).
- Huerta O. y López M. (2010).** El compostaje casero. Área de medio ambiente de la diputación de Barcelona. Primera edición en castellano. España, Barcelona (p. 09).
- Iribarren, I.; Canteli, P.; Callaba, A; Huerta, O.; López, M. y Soliva, M. (2004).** Proyecto de caracterización y tipificación del compost producido en España - Soilace i international conference on soil and compost eco - biology. Madrid. España. (p.03).
- Irshad, M.; Eneji, A.; Hussain, Z. y Ashraf, M. (2017).** Caracterización química del ganado fresco y compostado abonos. Journal of soil science and plant nutrition. ISSN 0718-9516. 13(1), 115-121 (p. 120).
- Laich F. (2011).** El papel de los microorganismos en el proceso de compostaje Unidad de Microbiología Aplicada. Instituto Canario de Investigaciones Agrarias. Ctra. El Boquerón, S/N - Valle Guerra. 38270. Santa Cruz de Tenerife. (p. 02).
- Moretti, C. (1986).** La biotecnología en el tratamiento ecológico de los residuos urbanos. Ministerio de economía y obras públicas. Subsecretaría de estado de obras y servicios públicos. Neuquén -Argentina. (p. 08).



- Moron A. (2001).** El rol de los rastrojos en la fertilidad del suelo. Sección suelos INIA la Estanzuela, Colonia, Uruguay (p. 03).
- Miyashiro I. (2014).** Calidad de seis formulaciones de compost enriquecido con guano de islas - Universidad Nacional Agraria la Molina - Facultad de Ciencias. Lima – Perú (P.46).
- Navia C., Zemanate Y., Morales S., Prado F. y Albán N. (2013).** Evaluación de diferentes formulaciones de compostaje a partir de residuos de cosecha de tomate (*Solanum Lycopersicum*) - Biotecnología en el Sector Agropecuario y Agroindustrial Edición Especial No. 2. Cauca-Colombia. (p. 165, 170,171).
- Norma Chilena- 2880. (2003).** Compost – Clasificación y requisitos. Proyecto de norma en consulta pública - vencimiento consulta pública. (p. 13).
- Organización panamericana de la salud - OPS. (1999).** Organización mundial de la salud. Manual para la elaboración de compost bases conceptuales y procedimientos. OPS/HEP/HES/URU/02.99. (p. 14 y 23).
- Programa para la agricultura sostenible en laderas de américa central - PASOLAC (2000).** Guía técnica de conservación de suelos y agua. (p. 136).
- Paredes D. (2012).** Elaboración de compost a partir de estiércol de ovino con cuatro (04) tipos de rastrojos de cosecha agrícola en el fundo Miraflores de la UNSM- distrito banda de Shilcayo - Universidad Nacional de San Martín –Tarapoto - Facultad de Ciencias Agrarias - Departamento Académico Agrosilvo Pastoril - Escuela Académica Profesional de Agronomía. Tarapoto - Perú (p. 50).
- Pérez Y., Rebolledo R. y Martínez J. (2010).** Aislamiento e identificación de hongos en compost elaborado a partir de residuos sólidos urbanos. AGROSUR, 38(1) 1-7. Instituto Superior de Tecnologías y Ciencias Aplicadas. La Habana - Cuba. (p.02).
- Román P., Martínez M. y Pantoja A. (2013).** Manual de compostaje del agricultor-experiencias en américa latina. Organización de las naciones unidas para la alimentación y la agricultura oficina regional para América Latina y el Caribe. Santiago de Chile. (p. 24-25).

- Rivero, C. (1999).** Materia orgánica del suelo. Rev. Facultad de Agronomía. Universidad Central de Venezuela, Facultad de Agronomía. SBN9800016449, 9789800016442 .Aragua – Venezuela. (p. 57).
- Ruiz J. (2017).** Compendio de lombricultura una alternativa para el Ecodesarrollo. Recuperado por <https://es.scribd.com/doc/86489234/Caracterizacion-de-Los-Estiercoles-en-La-Lombricultura> fecha consultada : 25 junio 2017. (p. 02).
- Tchobanoglous, G., Theisen H. y Vigil S. (1993).** Gestión Integral de los residuos Sólidos, Vol. 2 McGraw Hill. Madrid (p. 49).
- Sánchez, M.; Roig, A.; Paredes, C. y Bernal, M. (2001).** Nitrogen transformation during organic waste composting by the rutgers system and its effects on pH, EC and maturity of the composting mixtures. Biores. Technol. Departamento de conservación de suelos y aguas y gestión de residuos orgánicos, Centro de Edafología y Biología Aplicada de Segura, CSIC, Murcia, España. (p.78).
- Shah, G.; Tufail, N.; Bakhat, H.; Imran, M.; Murtaza, B.; Farooq, A.; Saeed, F.; Waqar, A. y Rashid, M. (2017).** Degradación anaeróbica de los desechos orgánicos municipales entre otras técnicas de compostaje mejoran la disponibilidad de n a través del proceso de residuos – suelo - planta. Journal of Soil Science and Plant Nutrition, ISSN 0718-9516. vol.17 no.2 (p. 529).
- Sepúlveda, L. y Alvarado, J. (2013).** Manual de compostaje - Manual de aprovechamiento de residuos orgánicos a través de sistemas de compostaje y lombricultura en el Valle de Aburrá. ACODAL Noroccidente. (p. 49).
- Silva, J.; López, P. y Valencia, P. (2012).** Recuperación de nutrientes en fase sólida a través del compostaje - Escuela de ingeniería de los recursos naturales y del ambiente (EIDENAR), Universidad del Valle-Facultad de Ingeniería. A.A. 25360 Cali-Colombia. (p.18).
- Storino, F. (2016).** Compostaje descentralizado de residuos orgánicos domiciliarios a pequeña escala - Estudio del proceso y del producto obtenido. Memoria de Tesis Doctoral. Madrid - España(p. 238).

- Vázquez, D. (2008).** Producción y evaluación de cuatro tipos de bioabonos como alternativa biotecnológica de uso de residuos orgánicos para la fertilización de pastos. Escuela Superior Politécnica de Chimborazo – Facultad de Ciencias Pecuarias- Escuela de Ingeniería Zootécnica. Riobamba – Ecuador. (p.57).
- Vicencio, G.; Pérez, E.; Medina, E. y Martínez, A. (2011).** Producción de composta y vermicomposta a partir de los lodos de la planta de tratamiento de aguas residuales de un rastro. Revista Internacional de Contaminación Ambiental ISSN: 0188-4999. 27(3) 263-270 (p.267).
- Villalba, L. (2005).** Caracterización físico-química y biológica de un compost elaborado con desechos generados en la Universidad Simón Bolívar. Decanato de Estudios de Postgrado. Maestría en Ciencias Biológicas. Miranda – Venezuela. (p. 13).
- Zárraga, A. (2007).** Evaluación química y bioquímica durante un proceso de compostaje de lodos residuales provenientes de aguas servidas. Universidad del Zulia. Facultad de Ingeniería. Programa de Post-grado de Ingeniería Química. Zulia –Venezuela. (P. 66).

# ANEXOS

**Anexo 1 Rendimiento de los compost (kg).**

Trat.	Rep.	Rend.
T1	1	132.00
	2	134.90
	3	134.10
T2	1	102.50
	2	107.80
	3	109.90
T3	1	83.00
	2	82.60
	3	86.60
T4	1	127.60
	2	128.40
	3	145.00
T5	1	114.10
	2	110.80
	3	109.20
T6	1	88.70
	2	79.20
	3	85.40

**Anexo 2 Porcentaje de humedad de los compost**

Trat.	Rep.	Peso (g)		% MS	% Humedad
		inicial	final		
T1	1	50.00	17.38	34.76	65.24
	2	50.00	19.14	38.28	61.72
	3	50.00	18.77	37.54	62.46
T2	1	50.00	17.91	35.82	64.18
	2	50.00	17.65	35.30	64.70
	3	50.00	17.33	34.66	65.34
T3	1	50.00	15.27	30.54	69.46
	2	50.00	16.37	32.74	67.26
	3	50.00	16.70	33.40	66.60
T4	1	50.00	18.24	36.48	63.52
	2	50.00	18.63	37.26	62.74
	3	50.00	17.02	34.04	65.96
T5	1	50.00	16.55	33.10	66.90
	2	50.00	18.09	36.18	63.82
	3	50.00	15.53	31.06	68.94
T6	1	50.00	17.38	34.76	65.24
	2	50.00	13.82	27.64	72.36
	3	50.00	16.97	33.94	66.06

### Anexo 3 Porcentaje de peso reducido de los compost

Trat.	Rep.	Balde		Peso		Peso inicial	peso final	Peso reducido (%)
		N° baldes RM	N° baldes EV	kg RM	kg EV			
T1	1	9.50	22.50	92.44	342.68	435.11	132.00	69.66
	2	9.50	22.50	92.44	342.68	435.11	134.90	69.00
	3	9.50	22.50	92.44	342.68	435.11	134.10	69.18
T2	1	16.00	16.00	155.68	243.68	399.36	102.50	74.33
	2	16.00	16.00	155.68	243.68	399.36	107.80	73.01
	3	16.00	16.00	155.68	243.68	399.36	109.90	72.48
T3	1	22.50	9.50	218.93	144.69	363.61	83.00	77.17
	2	22.50	9.50	218.93	144.69	363.61	82.60	77.28
	3	22.50	9.50	218.93	144.69	363.61	86.60	76.18
T4	1	9.50	22.50	92.44	342.68	435.11	127.60	70.67
	2	9.50	22.50	92.44	342.68	435.11	128.40	70.49
	3	9.50	22.50	92.44	342.68	435.11	145.00	66.68
T5	1	16.00	16.00	155.68	243.68	399.36	114.10	71.43
	2	16.00	16.00	155.68	243.68	399.36	110.80	72.26
	3	16.00	16.00	155.68	243.68	399.36	109.20	72.66
T6	1	22.50	9.50	218.93	144.69	363.61	88.70	75.61
	2	22.50	9.50	218.93	144.69	363.61	79.20	78.22
	3	22.50	9.50	218.93	144.69	363.61	85.40	76.51

### Anexo 4 Número de colonias y UFC de bacterias de los compost

Trat.	Rep.	N° Colonias	UFC x 10 <sup>6</sup> /g de compost
T1	1	38	19.0
	2	32	16.0
	3	34	17.0
T2	1	120	60.0
	2	124	62.0
	3	127	63.5
T3	1	60	30.0
	2	69	34.5
	3	64	32.0
T4	1	23	11.5
	2	24	12.0
	3	19	9.50
T5	1	37	18.5
	2	39	19.5
	3	30	15.0
T6	1	20	10.0
	2	28	14.0
	3	28	14.0

**Anexo 5 Número de colonias y UFC de hongos de los compost.**

Trat.	Rep.	Nº Colonias	UFC x 10 <sup>4</sup> /g de compost
T1	1	32	16
	2	40	20
	3	40	20
T2	1	38	19
	2	40	20
	3	40	20
T3	1	20	10
	2	22	11
	3	20	10
T4	1	10	5
	2	10	5
	3	10	5
T5	1	44	22
	2	50	25
	3	50	25
T6	1	20	10
	2	20	10
	3	16	8

**Anexo 6 Altura disminuida y volumen de los compost**

Trat.	Rep.	Altura inicial (cm)	Altura disminuida (cm)	Altura final (cm)	Volumen (m <sup>3</sup> )
T1	1	40	13.4	26.6	0.1064
	2	40	9.8	30.2	0.1208
	3	40	10.2	29.8	0.1192
T2	1	40	19.6	20.4	0.0816
	2	40	16.1	23.9	0.0956
	3	40	16.2	23.8	0.0952
T3	1	40	25.2	14.8	0.0592
	2	40	21.8	18.2	0.0728
	3	40	22.4	17.6	0.0704
T4	1	40	12.6	27.4	0.1096
	2	40	12.3	27.7	0.1108
	3	40	10.2	29.8	0.1192
T5	1	40	16.2	23.8	0.0952
	2	40	16.8	23.2	0.0928
	3	40	16.5	23.5	0.0940
T6	1	40	22.3	17.7	0.0708
	2	40	24.6	15.4	0.0616
	3	40	20.2	19.8	0.0792

### Anexo 7 Porcentaje de materia seca de los restos de cosecha de maíz morada y peso del estiércol y restos de maíz

Restos de cosecha de maíz			
Peso inicial (g)	Peso final (g)	% MS	% Humedad
50	11.83	23.66	76.34



Peso de RM en el balde es 9.73 kg



Peso de EV en el balde es 15.23 kg

### Anexo 8 Norma chilena 2280 con referencia a la calidad del compost

	COMPOST		
	Clase A	Clase B	Inmaduro
CE (dS/m)	$\geq 05$	5 - 12	5 - 12
C/N	10-25	10-40	50
pH	7.0 – 8.0	6.5 – 8.5	<6.5 – >8.5
%MO	>80	60 - 80	<60
%H	$\geq 45$	$\geq 25$	No especifica
N	1.0 – 3.0	0.5 – 1.0	>0.5
P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	0.8 – 2.5	0.6 – 0.8	<0.6
K <sub>2</sub> O	0.5 – 2.0	0.35 – 0.5	<0.35
CaO	1.0 – 2.5	2.5 – 6.0	>6.0
MgO	0.5 – 1.0	1.0 – 3.0	>3.0



**Anexo 9 Efecto de los compost en plantas de tomate**

Trat.	Rep.	Altura de tallo (cm)	Longitud de Raíz (cm)	Peso materia húmeda (g)		Peso materia seca (g)		%MS		% Humedad	
				Tallo	Raíz	Tallo	Raíz	Tallo	Raíz	Tallo	Raíz
T1	I	19.37	14.00	9.15	0.34	0.83	0.13	9.09	49.85	90.91	50.15
	II	19.13	17.58	8.61	0.41	0.70	0.10	7.97	28.60	92.03	71.40
	III	17.85	14.02	8.21	0.38	0.72	0.11	8.74	29.02	91.26	70.98
T2	I	17.33	17.00	9.18	0.53	0.80	0.14	8.70	27.59	91.30	72.41
	II	19.50	22.17	10.13	1.16	0.83	0.15	8.17	13.29	91.83	86.71
	III	17.83	17.83	9.48	1.20	0.80	0.16	8.38	13.72	91.62	86.28
T3	I	16.50	24.67	8.98	0.90	0.77	0.14	8.58	15.39	91.42	84.61
	II	18.00	26.33	7.11	0.63	0.54	0.10	7.64	15.23	92.36	84.77
	III	20.17	18.17	8.41	0.64	0.64	0.10	7.60	16.26	92.40	83.74
T4	I	20.83	25.17	10.37	0.85	0.85	0.16	8.16	25.10	91.84	74.90
	II	17.75	22.67	9.03	0.64	0.74	0.15	8.09	27.72	91.91	72.28
	III	16.33	15.00	8.27	0.53	0.69	0.10	8.22	39.51	91.78	60.49
T5	I	18.83	22.50	10.42	0.74	0.88	0.15	8.46	20.56	91.54	79.44
	II	15.00	19.00	7.38	0.81	0.67	0.12	9.04	15.71	90.96	84.29
	III	13.83	24.33	6.78	0.78	0.67	0.16	9.94	20.27	90.06	79.73
T6	I	13.50	22.83	4.84	0.52	0.47	0.10	9.77	20.03	90.23	79.97
	II	12.67	17.50	6.53	0.95	0.66	0.14	9.55	14.83	90.45	85.17
	III	12.17	23.83	6.53	1.30	0.70	0.17	10.65	13.42	89.35	86.58

## Anexo 10 Análisis físico - químico de los compost evaluados



UNIVERSIDAD NACIONAL DE SAN CRISTOBAL DE HUAMANGA  
 FACULTAD DE CIENCIAS AGRARIAS  
 PROGRAMA DE INVESTIGACION EN PASTOS Y GANADERIA  
**LABORATORIO DE SUELOS Y ANALISIS FOLIAR**  
 Jr. Abraham Valdelomar N° 249 – Telf. 315936 RPM # 966942996  
 Ayacucho – Perú  
 "Año del Buen Servicio al Ciudadano"

Región : Ayacucho  
 Provincia : Huamanga  
 Distrito : Ayacucho  
 Localidad : Pampa del Arco  
 Proyecto : "TESIS"  
 Solicitante : Sr. Kenyo Yanasupo García  
 Muestra : Compost

### ANALISIS FISICO - QUIMICO

Muestra Clave	Descripción	Humedad (%)	pH (1:2.5)	C.E. (1:1) mS/cm	%M.O.	%N-Total	% P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	%K <sub>2</sub> O	%CaO	%MgO	%SO <sub>4</sub>
T1	30%RM+70%EV + EM	62.96	8.99	14.90	43.15	1.86	2.05	0.48	2.35	1.52	0.396
T2	50%RM+50%EV + EM	65.14	9.06	14.75	44.14	2.05	2.45	0.51	2.46	2.16	0.683
T3	70%RM+30%EV + EM	66.74	9.12	14.18	45.31	2.14	2.27	0.47	2.58	1.84	0.575
T4	30%RM+70%EV	63.72	9.06	14.65	43.54	2.03	2.30	0.47	2.69	2.16	0.514
T5	50%RM+50%EV	69.52	9.16	14.68	43.57	1.72	1.97	0.46	2.57	2.32	0.826
T6	70%RM+30%EV	66.68	9.14	13.60	47.67	1.89	1.79	0.41	3.02	2.08	0.628

Ayacucho, 05 de Octubre del 2017.

LABORATORIO DE ANALISIS DE SUELOS  
 PLANTA, AGUAS Y FERTILIZANTES  
 RESPONSABLE  
  
 Juan B. Girón Molina  
 C.I.P. 77120

### Anexo 11 Datos meteorológicos INIA - 2017

Mes	Temperatura (°C)			Humedad relativa (%)	Precipitación (mm)
	Max.	Min.	Med.		
Enero	23.26	10.75	17.00	17.03	109.90
Febrero	23.46	10.47	16.96	17.38	125.50
Marzo	22.76	11.53	17.15	16.59	104.60
Abril	24.09	10.11	17.10	14.43	46.20
Mayo	23.88	9.47	16.68	14.27	13.80
Junio	24.49	8.29	16.39	16.61	0.00
Julio	23.90	6.52	15.21	15.75	11.80
Agosto	25.87	8.34	17.10	17.28	7.50
Septiembre	25.35	10.75	18.05	62.59	18.40
Octubre	26.42	9.98	18.20	76.33	34.30
Noviembre	26.53	11.26	18.89	72.32	24.90
Diciembre	25.75	11.17	18.46	72.01	77.90

### Anexo 12 Panel fotográfico



Pozas para la elaboración de compost



Instalación de trampas y preparación de solución madre de EM



Ensamado de estiércol de vacuno



Sesgado y picado de restos de cosecha de maíz morada



Instalación del experimento



Aplicación de EM a los compost



Protección e identificación de los compost



Medición de la temperatura de los compost



Crecimiento de hongos en la superficie de los compost



Muestreo de los compost para el análisis químico



Muestreo de los compost para el análisis biológico.





Obtención de los compost



Pesado de los compost



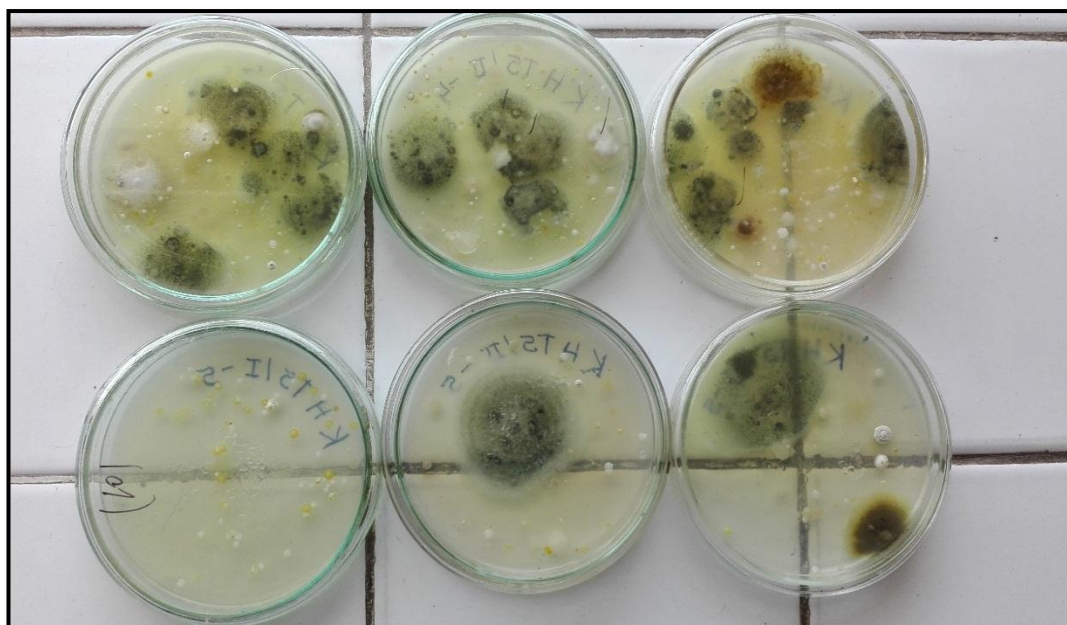
Medición de altura reducida de los compost



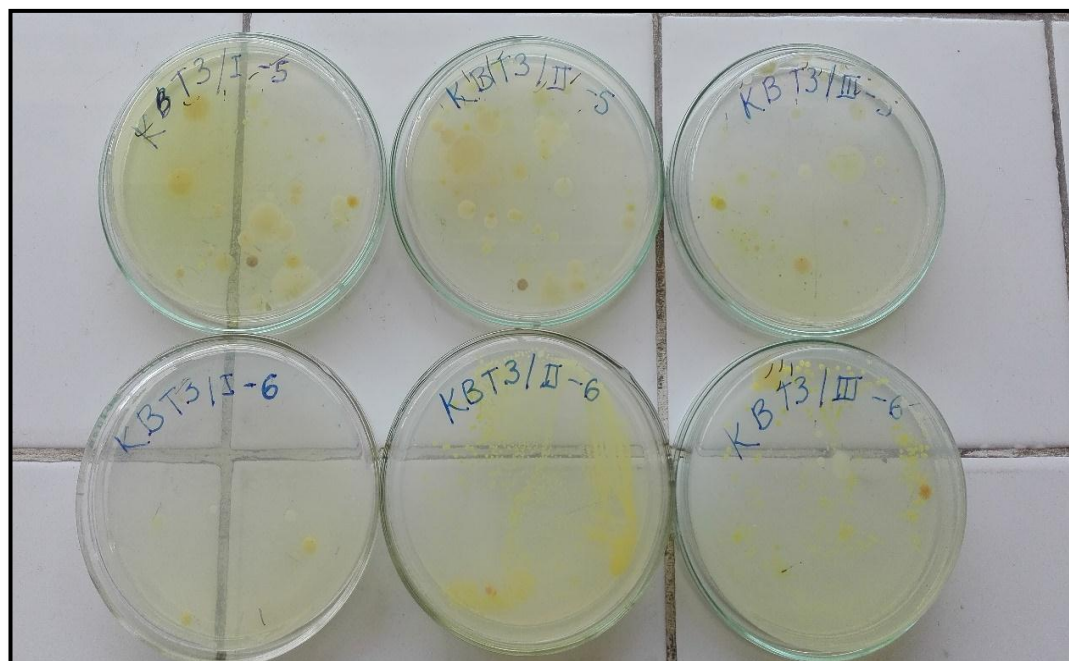
Esterilización de placas Petri para el análisis biológico



Preparación de PDA para hongos y AN para bacterias



Placas Petri con colonias de hongos



Placas Petri con colonias de bacterias



Almácigo de tomate



Instalación de plantas de tomate en envases de plástico



Plantas de tomate con EM (T1) y sin EM (T4)



Plantas de tomate con EM (T2) y sin EM (T5)



Plantas de tomate con EM (T3) y sin EM (T6)



Medición de la altura de la parte aérea y longitud de la raíz de las plantas de tomate



Medición de pH de la solución madre de EM