

**UNIVERSIDAD NACIONAL DE SAN CRISTÓBAL
DE HUAMANGA**

FACULTAD DE CIENCIAS AGRARIAS

ESCUELA PROFESIONAL DE AGRONOMÍA



**Fuentes de microorganismos en el compostaje de residuos
de cosecha de maíz con estiércol de vacuno,
Canaán 2735 msnm - Ayacucho**

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

**PRESENTADO POR:
Manuel Felipe De La Cruz Lizarbe**

Ayacucho - Perú

2018

A mis padres y hermanos

AGRADECIMIENTO

A la Universidad Nacional de San Cristóbal de Huamanga, por darme la oportunidad de formarme, para ser una persona al servicio de la sociedad.

A la Facultad de Ciencias Agrarias, en especial a la Escuela Profesional de Agronomía, a los docentes por sus enseñanzas y orientaciones.

A la Blga. PhD. Nery Santillana Villanueva y al Ing. M. Sc. Alex Lázaro Tineo Bermúdez; por su constante voluntad y el esfuerzo desinteresado cuando se requiere de su apoyo y sugerencias; y en especial durante el desarrollo de la presente investigación.

ÍNDICE GENERAL

	Pág.
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 MARCO TEÓRICO.....	5
1.1. El compost	5
1.2. El compostaje.....	5
1.3. Fuentes de microorganismos	12
CAPÍTULO II METODOLOGÍA.....	15
2.1. Ubicación y duración.....	15
2.2. Tratamientos	15
2.3. Características de los materiales a compostar	16
2.4. Diseño experimental	17
2.5. Instalación y conducción del experimento	18
2.6. Variables evaluadas	23
CAPÍTULO III RESULTADOS Y DISCUSIÓN.....	27
3.1. Variación temporal de la temperatura en el compostaje.....	27
3.2. Tiempo de obtención del compost.....	30
3.3. Composición química del compost.....	32
3.4. Análisis microbiológico.....	36
3.5. Porcentaje de conversión en compost.....	40
3.6. Prueba biológica del compost obtenido en plantas de tomate	41

Conclusiones	44
Recomendaciones.....	46
Referencia bibliográfica	47
Anexos	50

ÍNDICE DE TABLAS

	Pág.
Tabla 1.1. Distribución de la microbiota en diferentes fases del compostaje..	11
Tabla 2.1. Composición química del estiércol de vacuno.....	16
Tabla 2.2. Insumos por cada 100 kg de material a compostar.....	20
Tabla 2.3. Características del análisis químico de materia orgánica.....	24
Tabla 3.1. Análisis de variancia de días de obtención del compost.....	31
Tabla 3.2. Composición química del compost.....	33
Tabla 3.3. Análisis de variancia para el pH del compost.....	35
Tabla 3.4. Análisis de variancia de las UFC de bacterias/g de compost.....	36
Tabla 3.5. Análisis de variancia de las UFC de hongos/g de compost.....	38
Tabla 3.6. Análisis de variancia para el porcentaje de conversión en compost.....	40
Tabla 3.7. Análisis de variancia para el rendimiento de materia seca.....	42

ÍNDICE DE FIGURAS

	Pág.
Figura 2.1. Distribución de las unidades experimentales.....	18
Figura 3.1. Variación de la temperatura desde el inicio hasta 508 horas.....	28
Figura 3.2. Variación de la temperatura desde el inicio hasta los 91 días.....	30
Figura 3.3. Prueba de Tukey ($p = 0.05$) de días de obtención del compost...	31
Figura 3.4. Prueba de Tukey ($p = 0.05$) para el pH del compost.....	35
Figura 3.5. Prueba de Tukey ($p=0.05$) de las UFC de bacterias/g de compost.....	37
Figura 3.6. Prueba de Tukey ($p=0.05$) de las UFC de hongos/g de compost.	39
Figura 3.7. Prueba de Tukey ($p = 0.05$) para % de conversión en compost...	41
Figura 3.8. Prueba de Tukey ($p = 0.05$) para el rendimiento de materia seca	43

ÍNDICE DE ANEXOS

	Pág.
Anexo 01. Registro de la temperatura, antes del primer volteo.....	51
Anexo 02. Registro diario de la temperatura.....	55
Anexo 03. Temperatura ambiental (°C).....	57
Anexo 04. Días de obtención del compost.....	58
Anexo 05. Reporte de laboratorio, del análisis químico del compost.....	59
Anexo 06. pH del compost de cada unidad experimental.....	60
Anexo 07. UFC en el compost por 0.2mL de dilución.....	61
Anexo 08. Características del material a compostar y compost.....	62
Anexo 09. Rendimiento de materia seca por maceta.....	63
Anexo 10. Panel fotográfico.....	64

RESUMEN

Con el objetivo de evaluar el efecto de diferentes fuentes de microorganismos en el compostaje de residuos de cosecha de maíz con estiércol de vacuno; se realizó el presente trabajo en el Centro Experimental Canaán de la Universidad Nacional de San Cristóbal de Huamanga, a 2735 msnm. Los tratamientos a evaluar fueron: T₀ (testigo), T₁ (Microorganismos eficientes comerciales), T₂ (Microorganismos eficientes locales), T₃ (Levadura de pan) y T₄ (Suero lácteo fermentado); en una relación de 3L/m³, al inicio y al primer volteo. Se utilizó el Diseño en Bloques Completos Randomizados (DBCR), que evalúa las diferentes fuentes de microorganismos y el testigo, con un total de 5 tratamientos por 3 repeticiones. Las conclusiones más importantes del presente trabajo son: 1.- Al primer volteo no se muestra diferencia aparente en la máxima temperatura alcanzada por efecto de los tratamientos, pero los tratamientos T₂ y T₄ mostraron un aumento acelerado de la temperatura. 2.- Los días de obtención del compost a inicio de la fase de maduración, reportaron el menor promedio para el compost del tratamiento T₄ con 54 días; seguido de los tratamientos T₂, T₁ y T₃ con un promedio de 58, 59 y 60 días respectivamente; el compost del tratamiento T₀ muestra el mayor promedio con 64 días. 3.- De acuerdo a las características químicas, el compost bajo efecto de las diferentes fuentes de microorganismos, presentan mayores valores de MO(%), N(%) y P₂O₅(%); respecto al T₀ y menores en caso de K₂O(%), CaO(%) y Na(%). 4.- Se determinó una menor población de bacterias en el tratamiento T₂, siendo un indicador de un mayor grado de madurez; la población de hongos fue dependiente de una relación inversa al pH, donde el tratamiento T₄ muestra el menor pH y la mayor cantidad de UFC de hongos/g.

INTRODUCCIÓN

Los residuos orgánicos de la actividad agrícola y ganadera normalmente se reciclan incorporándolos directamente al suelo, donde la materia orgánica es descompuesta y transformada por los microorganismos. Gran parte de la materia orgánica es transformada en CO₂ y otra fracción se convierte en humus (materia orgánica muy compleja) que aumenta la capacidad de retención de agua y la capacidad de intercambio catiónico, evitando el lavado de nutrientes (Simpson, 1986). La formación de sustancias húmicas durante el compostaje, proporciona por lo general una forma más estable de materia orgánica que los residuos frescos incorporados directamente al suelo; manteniéndose a largo plazo, como lo es también el suministro de nutrientes para la planta (Lampkin, 2001).

El compostaje genera un doble efecto sobre el manejo de los residuos orgánicos; por un lado, se logra disminuir la presencia de éstos en el ambiente y por otro, la aplicación de materiales al suelo previamente tratados permite mejorar las condiciones físicas, químicas y biológicas del mismo. La aplicación de los residuos como enmiendas al suelo sin haber sido tratados previamente, provocan efectos no deseados como la liberación de CO₂, con la consecuente disminución del O₂ en la zona radicular, la inmovilización del nitrógeno del suelo, quedando no disponible para las plantas, además de generar productos tóxicos para las plantas (Campitelli, Ceppi, Velasco y Rubenacker, 2014).

El compostaje también tiene importancia social y ambiental, por contribuir al mantenimiento de un suelo fértil y saludable, que es la base de todo sistema agrícola sostenible, asimismo, influye directamente en el almacenamiento de carbono por el suelo, generando efectos como la disminución de la erosión e incremento del secuestro de carbono para mitigar el cambio climático (FAO, 2013).

Por lo descrito y la importancia de generar información acerca del compostaje, se planteó el presente trabajo de investigación con los siguientes objetivos:

General

Determinar el efecto del uso de fuentes de microorganismos (M.E. comerciales, M.E. locales, levaduras de pan y suero lácteo fermentado) en el compostaje de residuos de cosecha de maíz con estiércol de vacuno.

Específicos

1. Evaluar los cambios de temperatura en el proceso de formación del compost con diferentes fuentes de microorganismos.
2. Determinar el tiempo requerido para la obtención de compost de residuos de cosecha de maíz con estiércol de vacuno, con diferentes fuentes de microorganismos.
3. Evaluar las características químicas del compost obtenido con diferentes fuentes de microorganismos.
4. Determinar la población microbiana en el compost obtenido con diferentes fuentes de microorganismos.

CAPÍTULO I

MARCO TEÓRICO

1.1. EL COMPOST

Moreno y Moral (2008) citados por Miyashiro (2014) definen al compost como el resultado de la mezcla y descomposición de residuos orgánicos de origen animal y/o vegetal, bajo condiciones controladas de aireación y humedad, que a su vez sea indispensable pasar por una fase de calor.

La Norma Chilena Oficial NCh2880.Of (2004) precisa al compost como un producto inocuo y libre de efectos fitotóxicos que resulta del proceso de compostaje constituido por una materia orgánica estabilizada donde no se reconoce origen, puesto que se habrá degradado generando partículas más finas y oscuras. Su aplicación al suelo, no debe provocar daños a las plantas y podrá ser almacenado sin posteriores tratamientos ni alteraciones siempre y cuando se den condiciones ambientales adecuadas. Sinónimo de composta, composto, mantillo.

1.2. EL COMPOSTAJE

Es un proceso de descomposición aerobia el cual trata de asemejar las condiciones que se reproducen en un ecosistema sin perturbar, donde la materia orgánica se acumula en la superficie del suelo a comparación de un sistema agrícola, donde la materia orgánica se incorpora constantemente al suelo; al tener el control sobre la degradación de la materia orgánica se acelera también dicho proceso; cada material que constituye la materia prima del compost normalmente contiene los microorganismos idóneos que activan el proceso con una disponibilidad adecuada de oxígeno, humedad y contenido alimenticio adecuado; transformado la materia orgánica en compuestos como: CO_2 , NH_3 , NO_2^- , PO_4^{-3} , SO_4^{-2} y compuestos húmicos (Lampkin, 2001).

FAO (2013) define el compostaje como la mezcla de materia orgánica en descomposición en condiciones aeróbicas que se emplea para mejorar la estructura del suelo y proporcionar nutrientes, además menciona que es una forma segura de transformar los residuos orgánicos en insumos para la producción agrícola y señala a su vez que no todos los materiales transformados aeróbicamente son considerados compost, para ello debe cumplirse con diferentes etapas, para evitar un material que pueda acarrear riesgos como fitotoxicidad, bloqueo del nitrógeno, exceso de amonio y nitratos en plantas, reducción del oxígeno radicular y contaminación de las fuentes de agua.

El compostaje favorece la formación de un material prehumificado libre de patógenos y semillas adventicias, a su vez rica en poblaciones microbianas útiles y bioactivadores de la fisiología vegetal; a partir de sustratos orgánicos heterogéneos en su composición y homogéneos en su tamaño, básicamente en estado sólido (Labrador, 1996).

Jacob (1961) y Martínez (2013) citados por FAO (2013) sostienen que el compost contiene una gran variabilidad en su contenido nutricional lo que depende de los materiales de origen, en caso de macroelementos su composición puede variar en los siguientes rangos: nitrógeno de 0.3 - 1.5%, fósforo de 0.1 - 1% y potasio de 0.3 - 1%.

1.2.1. Fases del compostaje

Sobre el proceso del compostaje diversas fuentes de información coinciden en cuatro etapas o fases, las cuales se precisan a continuación

1.2.1.1. Fase mesófila

FAO (2013) y Lampkim (2001) coinciden en que es un proceso donde la temperatura aumenta progresivamente por encima de 40 °C, por la descomposición de compuestos solubles como azúcares produciendo ácidos orgánicos, por lo que el pH desciende hasta por debajo de 4, esta fase puede durar de 2 a 8 días.

Alvares (s.f.) menciona que en esta etapa la degradación de azúcares y aminoácidos se produce a una temperatura inferior a 40 °C debido a la predominancia de bacterias de los grupos *Bacillus* y *Thermus*.

1.2.1.2. Fase termófila

Alvares (s.f.) afirma que las temperaturas en este proceso oscilan entre los 40 - 60 °C, donde se da la degradación de ceras, polímeros y hemicelulosa por hongos del grupo Actiniomicetos (Micromonospora, Streptomyces y Actinomyces).

FAO (2013) nombra a esta fase como Fase de Higienización donde la temperatura pasa los 45 °C y los microorganismos mesófilos son remplazados por bacterias termófilas, donde el pH sube por la transformación del nitrógeno en amonio, menciona también que esta fase es de gran importancia por lo siguiente:

- Regula la humedad, un compostaje en exceso de agua genera lixiviados que favorecen la producción de ácido sulfhídrico y dióxido de nitrógeno (H₂S y NO₂), que junto al metano CH₄ son considerados gases del efecto invernadero GIE, además un compost no debe contener compuestos tóxicos para las plantas como los ya mencionados.
- Por las elevadas temperaturas se destruyen parásitos y bacterias patógenas, uno de los problemas del uso del estiércol está relacionado con la posibilidad de contener bacterias patógenas como: *Salmonella spp* y *Escherichia coli* y huevos de parásitos que pueden llegar a los consumidores a través de frutas y verduras.

1.2.1.3. Fase de enfriamiento

A medida que desciende la temperatura vuelven a invadir las variedades mesófilas de microorganismos, este proceso se realiza de manera rápida durante pocas semanas (Lampkin, 2001). Al agotarse las fuentes de carbono y nitrógeno la temperatura desciende hasta los 40 - 45 °C, aún continua la degradación de polímeros como la celulosa, el pH desciende levemente pero se mantiene alcalino (FAO, 2013). Según Alvares (s.f.) la temperatura es inferior a los 40 °C donde predominan bacterias y hongos (*Aspergillus* y *Mucor*).

1.2.1.4. Fase de maduración

FAO (2013) y Alvares (s.f.) coinciden indicar que esta fase se realiza a temperatura de ambiente, donde se producen reacciones de condensación y polimerización de

compuestos carbonatados para la formación de ácidos húmicos y fúlvicos, descende el consumo de oxígeno y la fitotoxicidad.

Durante esta etapa se produce la competencia por alimentos por los microorganismos, se forman antibióticos y el compost es invadido por macrofauna (ácaros, hormigas, lombrices, etc.), lo cual necesita varios meses (Lampkim, 2001).

1.2.2. Factores que influyen en el compostaje

El compostaje es un proceso controlado por lo que requiere el monitoreo de parámetros durante el desarrollo del mismo, estos parámetros inciden enormemente en el desarrollo del proceso (Cervates, 2014). Se debe tener en cuenta que es un proceso llevado por microorganismos para lo cual hay que tener en cuenta factores que afectan su crecimiento y reproducción (humedad, temperatura, pH y C/N (FAO, 2013). Dichos parámetros se detallan a continuación:

1.2.2.1. Tipo y composición de materiales compostables

Dependiendo de sus características físicas y químicas los materiales compostables varían considerablemente, en caso de las características químicas la hidrofobicidad y el tipo de complejidad de enlaces químicos son elementos claves para clasificarlos, con respecto a las características físicas en el nivel de descomposición es proporcional a la superficie e inversamente proporcional al tamaño, cuando el tamaño de las partículas disminuye, la superficie y el nivel de descomposición aumenta (Coyne, 1999).

La superficie expuesta a los microorganismos debe ser lo mayor posible, para ello hay que manejar mediante la trituración un diámetro aproximado de 20 mm, menor de 3mm no es aceptable porque causa compactación y una consecuente deficiencia de oxígeno (Sztern y Pravia, 1999).

1.2.2.2. Relación carbono nitrógeno (C/N)

Lampink (2001) y FAO (2013) coinciden en señalar que una relación de C/N de 15 - 35 es recomendable para garantizar un proceso adecuado de compostaje, el cual disminuye durante el proceso; mencionan además que si la relación C/N es inferior

entonces no habrá suficiente carbono para que los microorganismos utilicen todo el nitrógeno presente, con lo que se aumentan las pérdidas por volatilización; por el contrario si la relación C/N es demasiado alta, no habrán suficientes nutrientes, en especial el nitrógeno para el desarrollo de microorganismos.

1.2.2.3. Humedad

Una humedad adecuada está entre un 15 -35%, pero si este rango se extiende de 40 - 60%, también se garantiza un adecuado compostaje, si es mayor al 50% hace que pierda humedad antes de instalar la compostera, lo cual se puede lograr exponiendo al calor o agregando materiales secos (Sztern y Pravia, 1999). Por otra parte FAO (2013) sostiene que una humedad óptima es de 45 -55%, fuera de ese rango interfiere en una oxigenación adecuada.

1.2.2.4. Temperatura

La temperatura puede subir hasta los 65 °C sin influencia antrópica, para luego descender a temperatura de ambiente, a mayor temperatura y tiempo es mayor la descomposición. Las variaciones de temperatura tienen causas asociadas, las bajas temperaturas pueden estar asociadas a una humedad insuficiente que interfiere en la actividad metabólica de los microorganismos, material insuficiente y forma inadecuada de la pila y una C/N que limita el nitrógeno a la actividad microbiana para generar enzimas y proteínas; las altas temperaturas pueden estar asociadas a una excesiva ventilación y humedad insuficiente, inhibiéndose la actividad de los microorganismos mesófilos y consecuentemente el proceso (FAO, 2013).

1.2.2.5. Aireación

Por ser un proceso aerobio es de importancia el intercambio de CO₂, O₂ y vapor a través de todo el volumen de la compostera, más aun en la fase termófila en donde hay mayor consumo de oxígeno, un exceso de aireación en esta fase causaría el descenso de temperatura y pérdida de excesiva humedad; en un ambiente con deficiente oxígeno se produce malos olores y acidez en exceso (ácido cítrico, ácido sulfhídrico y metano (FAO, 2013). Sztern y Pravia (1999) coinciden en lo descrito y mencionan que tomar en cuenta una adecuada aireación en el proceso de compostaje es tan importante como tomar en cuenta la relación C/N.

1.2.2.6. pH

Moretti (1986) citado por Miyashiro (2014) menciona que durante el compostaje se reportan variaciones en el pH. En la fase mesófila el pH desciende por la producción de ácidos orgánicos, el cual puede caer a 5 o menos, etapa en la cual predominan microorganismos mesófilos y hay un ascenso en la temperatura; durante la fase termófila el pH se hace alcalino subiendo a valores de 8 a 8.5; el pH puede caer ligeramente durante la etapa de enfriamiento a valores entre 7 a 8, valores que pueden permanecer hasta obtener un compost maduro.

El pH depende de los materiales de origen, sufriendo una variación durante el proceso desde 4.5 a 8.5, el cual a su vez define la supervivencia de microorganismos, cada grupo tiene pH óptimos de crecimiento y multiplicación; la mayor actividad bacteriana se produce a un rango de pH de 6.0 a 7.5, mientras que la mayor actividad fúngica se produce a pH 5.5 a 8.0. El rango ideal es de 5.8 a 7.2 (FAO, 2013).

1.2.3. Microbiología del compost

El proceso de compostaje es iniciado por quimioheterótrofos mesófilos, a medida que estos respiran la temperatura aumenta para luego ser sustituidos por microorganismos termófilos, cuando la temperatura vuelve a descender los mesófilos se reestablecen. Durante el proceso van apareciendo formas resistentes de microorganismos, cuando la temperatura hace imposible su actividad; la procedencia de microorganismos puede ser a través de la atmosfera, del agua, del suelo o de los mismos residuos; durante el compostaje una población comienza a aparecer, mientras otras están en su máximo o ya están desapareciendo, completándose las actividades de diferentes grupos (Coyne, 1999).

Laich (2011) menciona que aparte del aporte de nutrientes para las plantas, el compost aporta microorganismos benéficos al suelo, microorganismos implicados en el ciclo de diferentes nutrientes y procesos de biocontrol de patógenos. En suelos de constante uso agrícola, la incorporación de microorganismos es de suma importancia, pues la población microbiana ha sido afectada por la aplicación repetitiva de determinados compuestos fitosanitarios. La descripción de microorganismos en el proceso de compostaje es complicada, debido a que las poblaciones y comunidades

varían continuamente en función de la temperatura, oxígeno, concentración de nutrientes, pH, acumulación de compuestos antibióticos, etc.

Una amplia diversidad de microorganismos se encuentra en el compost los más importantes son:

- Bacterias: son un promedio de 80 a 90 % de la población de microorganismos, son de importancia por tener un amplio rango de enzimas que degradan una gran variedad de compuestos.
- Actinomycetes: de importancia por su capacidad de enzimática de degradar compuestos orgánicos complejos (celulosa, lignina, etc.), con algunas especies capaces de tolerar temperaturas que alcanza el compostaje. Poseen la capacidad de regular la microbiota rizosferica a través de la producción de antibióticos y otros compuestos.
- Hongos filamentosos: de alta capacidad lignocelulolítica, muchas de estas también son especies patógenas para las plantas.

Haug (1993) citado por Laich (2011) propone la distribución de la microbiota durante las diferentes etapas del compostaje, expresado en unidades formadoras de colonias por gramo (Ver Tabla 1.1).

Tabla 1.1. Distribución de microorganismos durante las diferentes etapas del compostaje

Microorganismos	Etapas de compostaje			N° especies
	Mesofílica 20°C-40°C	Termofílica 40°C-70°C	Mesofílica 70°C-20°C	
Bacterias				
mesófilas	10 ⁸	10 ⁶	10 ¹¹	6
termófilas	10 ⁴	10 ⁹	10 ⁷	1
Actinomycetes				
Termófilos	10 ⁴	10 ⁹	10 ⁵	14
Hongos				
mesófilos	10 ⁶	10 ³	10 ⁵	18
termófilos	10 ³	10 ⁷	10 ⁶	16

1.3. FUENTES DE MICROORGANISMOS

1.3.1. Microorganismos eficientes

Es una comunidad simbiótica de microorganismos que no tiene un efecto aislado, ya que cuando se desarrollan colectivamente, los microorganismos nativos del medio empiezan a trabajar de la misma manera que los Microorganismos Eficientes. Al entrar en contacto con la materia orgánica, los Microorganismos Eficientes secretan sustancias benéficas como: enzimas, ácidos orgánicos, y antioxidantes. Una solución de estos microorganismos es un producto biológico en el que coexisten varios tipos de microorganismos benéficos que no han sido modificados genéticamente, ni sintetizados químicamente. Los microorganismos benéficos de origen natural presentes pertenecen a 3 grupos principales: bacterias ácido-lácticas (usadas comúnmente en la elaboración de yogurt, quesos, etc.), levaduras (usadas en la industria de panes, cervezas, vinos, etc.) y bacterias fototróficas ó fotosintéticas presentes comúnmente en diversos ecosistemas (<https://www.bioem.com.pe>).

La importancia de este grupo de microorganismos se describe a continuación:

- Bacterias fototróficas (*Rhodopseudomonas spp*): Sintetizan aminoácidos, azúcares y sustancias bioactivas a partir de secreciones radiculares y materia orgánica utilizando la luz solar como fuente de energía.
- Bacterias ácido lácticas: Producen ácido láctico a partir de azúcares y otros carbohidratos sintetizados por bacterias fototróficas y levaduras, el ácido láctico es un esterilizador que suprime microorganismos patógenos e incrementa la rápida degradación de la materia orgánica, también aumenta la fermentación de la celulosa y lignina.
- Levaduras (*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.

Higa y Parr (1991) citado por Ancco (2012) mencionan que los diferentes tipos de microorganismos en el EM, toman sustancias generadas por otros organismos basando en ello su funcionamiento y desarrollo; las plantas secretan sustancias que son utilizadas por los microorganismos eficientes para crecer, sintetizando

aminoácidos, ácidos nucleicos, vitaminas, hormonas y otras sustancias bioactivas; cuando los Microorganismos Eficientes incrementan su población, como una comunidad en el medio que se encuentran, se incrementa la actividad natural, enriqueciendo la microflora, balanceando los ecosistemas microbiales, suprimiendo microorganismos patógenos.

1.3.2. Levaduras de pan

Las levaduras son hongos unicelulares que principalmente se encargan de la fermentación de carbohidratos, sobreviven en medios aerobios como en anaerobios, pero normalmente se desarrollan sin presencia de oxígeno (Infante, 2011).

Querol (2003) citado por Suarez, Garrido y Guevara (2016) menciona que la levadura de pan o panificación se prepara industrialmente a partir de cultivos puros, generalmente de *Saccharomyces cerevisiae*, que es una levadura heterótrofa, la cual obtiene energía a partir de la glucosa mostrando una elevada capacidad fermentativa, puede aislarse a partir de las plantas y del suelo, así como del tracto gastrointestinal y genital humano. Leimer y Finguerut (2005) y Belcher (2005) citados por los mismos mencionan que el uso más extendido está enmarcado en la panificación y en las industrias de fabricación de cerveza, vinos y alcohol; la levadura inactiva por temperatura se usa como fuente de nutrimentos en la alimentación animal y humana.

1.3.3. Suero lácteo fermentado

Gonzales (1996) y Uribe (2001) mencionados por León et al. (2009) definen el suero de leche como uno de los residuos más representativos de la actividad ganadera y un contaminante severo que existe a nivel ambiental. El suero es el líquido remanente tras la precipitación y separación de la caseína durante la elaboración del queso, que puede estar constituido por 85 - 95% del volumen de la leche. Los principales compuestos del suero lácteo tales como: la lactosa, calcio, sales minerales y proteínas lacto-séricas de bajo peso molecular, son retenidas en un 55% al no reaccionar con el cuajo.

Gilles (1974) citado por Prado y Blásquez (2013) menciona que el suero lácteo se utiliza como medio de cultivo para el desarrollo de algunos microorganismos. Marth

(1973) citado por Prado y Blásquez (2013) menciona que muchos microorganismos pueden fermentar el suero lácteo, obteniéndose múltiples productos metabólicos de estos procesos; además menciona que el suero es deficiente en compuestos nitrogenados inorgánicos y debe suplementarse si se desea cierto tipo de fermentación; también menciona sobre estudios que reportan la presencia de sustancias estimulantes e inhibidoras en el suero lácteo y sobre algunos investigadores que señalan que el suero lácteo favorece el desarrollo de *Streptococcus faecalis*, *Lactobacillus bulgaricus*, *Lactobacillus leichmanis*, *Lactobacillus casei* y *Streptococcus lácticos* heterofermentativos; algunas veces se inhibe el desarrollo de *Lactobacillus casei*, *Staphylococcus aureus*, *Aerobacter aerogenes*, *Alcaligenes viscolactis*, *Escherichia coli*, *Pseudomonas fragi*, *Pseudomonas fluorescens*, *Bacillus cereus*, *Streptococcus cremoris*, *Lactobacillus lactis* y *Streptococcus thermophilus*.

CAPÍTULO II METODOLOGÍA

2.1. UBICACIÓN Y DURACIÓN

El presente trabajo de investigación se realizó en los ambientes del Programa de Investigación en Pastos y Ganadería ubicado en el distrito de Ayacucho, provincia de Huamanga, departamento de Ayacucho, en el que se realizó la captura de los Microorganismos Eficientes, durante el mes de abril de 2017 y la evaluación de los compost al finalizar el experimento (mes de diciembre de 2017). El proceso del compostaje se realizó en el Centro Experimental de Canaán ubicado en el distrito de Mariscal Andrés Abelino Cáceres, provincia de Huamanga, departamento de Ayacucho, a una altitud de 2735 msnm, con coordenadas UTM de 586270E 8544183S. Según la clasificación de Holdridge (1979), pertenece al ‘‘Bosque Seco Montano Bajo’’.

2.2. TRATAMIENTOS

Los tratamientos consistieron en la preparación de compost utilizando restos de cosecha de maíz morado, estiércol seco de vacuno más la aspersion de una solución de diferentes fuentes de microorganismos, a una relación aproximada de 3L/m³ de material a compostar. Los tratamientos constaron de las siguientes fuentes de microorganismos:

Tratamiento 1 (T₁) : Aspersion con solución activa de M.E. comercial (EM-1)

Tratamiento 2 (T₂) : Aspersion con solución activa de M.E. locales

Tratamiento 3 (T₃) : Aspersion con solución activada de levaduras de pan en melaza de caña

Tratamiento 4 (T₄) : Aspersion con solución de suero lácteo fermentado y melaza de caña

Testigo (T₀) : Aspersion con agua

2.3. CARACTERÍSTICAS DE LOS MATERIALES A COMPOSTAR

Para realizar el compostaje se dispuso de restos de cosecha de maíz morado y estiércol de vacuno, de los cuales se puede mencionar lo siguiente:

2.3.1. Residuos de cosecha de maíz morado

Los residuos de cosecha de maíz morado corresponden a la parte aérea de la planta, luego de realizada la cosecha en la campaña agrícola 2016-2017; al momento de preparar el material a compostar se tomó una muestra para determinar el porcentaje de materia seca mediante el método de la estufa a 70 °C por 48 horas, teniendo como resultado 90.78% de materia seca. Es preciso mencionar que la chala de maíz morado por ser muy fibrosa representa un residuo a comparación de la chala de otras variedades de maíz, que son utilizados para complementar la alimentación del ganado.

2.3.2. Estiércol de vacuno

El estiércol de vacuno procedió del Centro Experimental Wayllapampa, del cual se disponía previamente en el Centro Experimental de Canaán, previo a la preparación del material a compostar se realizó un muestreo para determinar el porcentaje de materia seca mediante el método de la estufa a 70 °C por 48 horas, teniendo como resultado 95.27 % de materia seca.

En la Tabla 2.1 se muestra la composición química del estiércol de vacuno.

Tabla 2.1. Composición química del estiércol de vacuno del C.E. Wayllapampa.

Abono Orgánico	pH	N (%)	P ₂ O ₅ (%)	K ₂ O (%)	Ca (%)	Mg (%)
Estiércol de Vacuno	9.67	1.44	0.59	0.27	1.98	0.58

Fuente: Elaborado a partir del archivo del laboratorio de suelos y análisis foliar Nicolás Roulet, del Programa de Investigación en Pastos y Ganadería, de la Universidad Nacional de San Cristóbal de Huamanga.

La alimentación de los vacunos en el centro experimental de wayllapampa está compuesta de alfalfa y ensilado de maíz chalero, suplementado con alimento concentrado, el cual no ha variado considerablemente hace varios años, por ello se tomó como válido el análisis químico mostrado.

2.4. DISEÑO EXPERIMENTAL

Para el presente trabajo de investigación se utilizó el Diseño en Bloques Completos Randomizados, con cuatro tratamientos y un testigo, con tres repeticiones por tratamiento y un total de quince unidades experimentales.

El Modelo Aditivo Lineal utilizado en el presente experimento es el siguiente:

$$Y_{ijk} = \mu + \tau_i + \beta_j + \varepsilon_{ijk}$$

Donde:

- Y_{ijk} = Variable a evaluar
- μ = Promedio de las unidades experimentales.
- τ_i = Efecto del i ésimo tratamiento.
- β_j = Efecto del j ésimo bloque.
- ε_{ijk} = Error de la observación.

La distribución del campo experimental estuvo de acuerdo al diseño estadístico, donde las unidades experimentales estuvieron compuestas por composteras de ladrillo, con dimensiones de 1.0 m x 1.0 m x 0.4 m, haciendo una capacidad de 0.4 m³; los bloques a su vez estuvieron compuestos por filas de composteras en una orientación de este a oeste. Luego de realizada la randomización en los bloques se tuvo el siguiente orden:

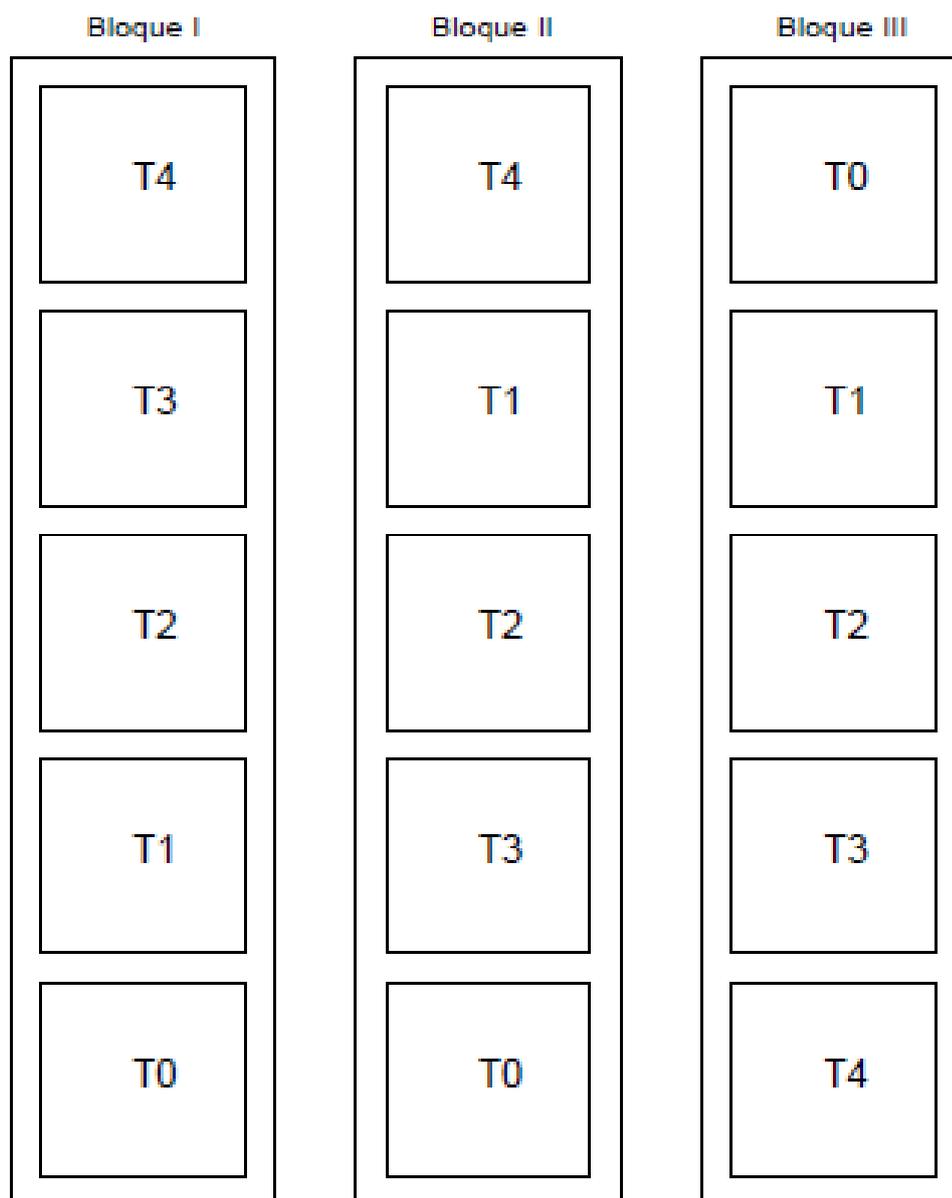


Figura 2.1. Distribución de las unidades experimentales.

2.5. INSTALACIÓN Y CONDUCCIÓN DEL EXPERIMENTO

2.5.1. Construcción de las composteras

La construcción de las composteras se realizó del 03 al 05 de junio con el siguiente detalle: el 03 de junio se realizó la limpieza del terreno y el replanteo con cordel y wincha; el 04 de junio se construyeron las composteras con muro de ladrillo de tipo soga de dimensiones 1.0 m x 1.0 m x 0.4 m en filas de 5; el 05 de junio se realizó el vaciado de la loza de concreto de 5 cm de espesor, previo una nivelación y posterior compactación dentro de las composteras.

2.5.2. Construcción del tinglado

Luego de construidas las composteras, el 07 de junio se construyó el armazón del tinglado, empleando rollizos de eucalipto, alambre de amarre y clavos; luego el día 08 de junio se instaló la cobertura de arpillera relativamente impermeable, para proteger de la insolación y precipitaciones que se presentaron durante el tiempo de compostaje.

2.5.3. Picado de restos de cosecha de maíz

El picado de restos de cosecha de maíz morado se realizó 2 días antes de instalado el experimento con ayuda de un molino de martillos, obteniéndose partículas de formas irregulares con tamaños entre 1 hasta 5 cm.

2.5.4 Preparación del material a compostar

La instalación de las composteras se realizó el 15 de junio de 2017, una vez listo los restos de cosecha de maíz morado y el estiércol de vacuno, se procedió a realizar la mezcla y humedecerla teniendo en consideración la prueba del puño. Lampkin (2001) menciona que la prueba del puño consiste en estrujar un manojito de materiales con la mayor fuerza posible, si luego se logra sacar solo una gota de agua el contenido de humedad es el adecuado. Para realizar la mezcla de estiércol de vacuno y paja de maíz morado se consideró la relación 1:3 respectivamente en volumen.

En la Tabla 2.2 se muestra la relación en peso de una muestra del material a compostar. Campitilli, Ceppi, Velasco y Rubenacker (2014) reportan que el estiércol de vacuno puede tener entre 1.5 - 4.2% de nitrógeno, variando en función a ello la C/N de 10 - 30; por su parte Labrador (1996) reporta para el estiércol de vacuno 1.84% de nitrógeno, una relación C/N de 13.9 para un contenido variable de materia orgánica de 28 a 66%. Los datos de la Tabla 2.1 reportan 1.44% de nitrógeno para el estiércol de Wayllapampa, en vista de que no se reporta datos sobre la materia orgánica, se consideró el cálculo directo de la C/N. Teniendo en cuenta la información descrita, se sugiere una relación C/N de 10 para el estiércol de Wayllapampa. Con respecto a la relación C/N del rastrojo de maíz, Simpson (1986) considera que la C/N en general para la paja de cereales puede variar entre 40 - 80, con una escasa cantidad de nutrientes: 0.4 - 0.5% de N, 0.25 - 0.4% de P₂O₅ y 0.35 -

0.45% de K₂O. Barreto (1989), citado por Zea, Ozorio y Bolaños (1997) mencionan por su parte que la relación C/N de residuos de cosecha de maíz puede variar entre 60 – 80. Con la información referida y considerando que la chala de maíz morado es aparentemente más fibrosa que otras variedades locales, se sugiere una C/N de 80. Con respecto a la C/N final del material a compostar FAO (2013) recomienda manejar un rango de la relación C/N entre 15 - 35, la relación C/N de 34 para el presente trabajo está en un rango aceptable.

Tabla 2.2. Insumos por cada 100 kg de material a compostar.

Insumo	Fracción (kg)	MS (%)	MS (kg)	C/N
Agua	59.1			
Rastrojo de maíz	14.5	90.78	13.16	80
Estiércol de vacuno	26.4	95.27	25.15	10
TOTAL	100		38.31	34

Fuente: elaboración propia.

2.5.5 Preparación y aplicación de los tratamientos

La aplicación de la solución de microorganismos se realizó el 15 de junio con la ayuda de una bomba manual al momento de instalada las composteras y al primer volteo el 06 de julio, a una relación aproximada de 3L/m³ de material a compostar, tratando de hacer una aspersión lo más uniforme posible a través del volumen del material. En caso del testigo se realizó una aspersión con agua en la misma relación y en ambos momentos.

La preparación de la solución de microorganismos para cada tratamiento se realizó de la siguiente manera:

2.5.5.1 Microorganismos eficientes comerciales (EM.1)

Según la recomendación de la ficha técnica del producto, se realizó una previa activación con 1 L de EM.1, 1 kg de melaza y 18 L de agua; en este caso teniendo en cuenta el tamaño del experimento los volúmenes mencionados se redujeron en cada caso a la cuarta parte, para no desperdiciar el material activado; la activación se realizó el 7 y el 28 de junio una semana antes de las respectivas aplicaciones. Con el

material activado se preparó una dilución, a partir de la recomendación de la ficha técnica del producto, a una relación de 1 L de EM.1 activado por cada 19 L de agua, al momento de la aplicación.

2.5.5.2 Microorganismos eficientes locales

La preparación de Microorganismos Eficaces Locales se realizó a partir del 5 de abril, para ello se dispuso de arroz sancochado, el cual se colocó en recipientes de plástico transparente, en una cantidad aproximada de 0.5 kg, cerradas con malla de nylon fina. Se procedió a colocar los envases con arroz sancochado en las composteras permanentes del Programa de Investigación de Pastos y Ganadería de la Universidad Nacional de san Cristóbal de Huamanga, por debajo de la superficie (aproximadamente de 1 a 2 cm). La evaluación de las colonias de microorganismos se realizó cada 2 días. El 12 de abril, a los 7 días de instalado los envases, se observó que las colonias de microorganismos habían invadido todo el arroz sancochado, por lo que se procedió a preparar la solución madre de la siguiente manera: el contenido de cada envase recolectado se licuo con agua hervida fría hasta tener una pasta uniforme, luego se enrazó el material obtenido a 2 litros con 0.5 kg de melaza y la cantidad de agua hervida fría requerida, la mezcla obtenida se colocó en un envase de 3 litros herméticamente cerrado para dejar escapar los gases cada 12 horas hasta que este se estabilice, lo que sucedió el 26 de abril a los 14 días.

El producto obtenido, se activó y preparó, previamente para cada aplicación, de la misma manera y al mismo momento que el producto comercial.

2.5.5.3 Levaduras de pan

El 15 de junio y el 06 de julio, 2 horas antes de la aplicación, se realizó la activación de las Levaduras de pan, en un volumen total de 10 litros, con 0.5 kg de melaza de caña, 0.1 kg de levadura de pan y la cantidad de agua necesaria a 40 °C hasta llegar al volumen mencionado, aproximadamente media hora después se notó efervescencia en la preparación, lo cual evidenciaba la activación de las levaduras.

Para realizar la aspersión se diluyó el material obtenido con agua, a una relación de 1:1 en volumen.

2.5.5.4 Suero lácteo fermentado

Para la obtención del Suero Lácteo Fermentado, se dispuso previamente del suero lácteo, recién obtenido en una granja de la localidad, el cual se activó el 13 de junio y 4 de julio, 2 días antes de cada aplicación, a una relación de 0.1 L de yogurt natural (como fuente de Bacterias Ácido Lácticas) por cada 10 L de suero lácteo. Durante la primera activación se procedió a tomar el pH de suero recién obtenido, mostrando un valor de 5.77, luego de los 2 días de haber sido inoculado con el yogurt presentaba un pH de 3.9; el descenso del pH en el suero lácteo, evidenciaría la colonización por bacterias ácido lácticas.

Para realizar la aspersión se diluyó previamente 0.5 kg de melaza de caña en un volumen total de 10 L con el suero lácteo fermentado, luego para la aplicación se diluyó el material obtenido con agua, a una relación 1:1 en volumen.

2.5.6 Volteos y humedecimiento

El primer volteo se realizó el 06 de julio, cuando en la mayoría de unidades experimentales la temperatura descendió por debajo de los 40 °C, a su vez se realizó la segunda aplicación de las soluciones de microorganismos y en caso del tratamiento testigo, una aplicación igual de agua, a una relación aproximada de 3L/m³, la cantidad de agua aplicada como parte de los tratamientos fue suficiente para mantener la humedad requerida. Se realizó un segundo volteo el 28 de julio donde se observó que no había la necesidad de humedecer el compost.

2.5.7 Recolección del abono obtenido

El día 13 de setiembre, a los 91 días después de instalado el experimento, se procedió a la recolección del abono obtenido, pesando y realizando el muestreo respectivo en cada tratamiento, para los análisis establecidos en el presente trabajo.

2.5.8 Prueba biológica en macetas

La prueba biológica en macetas se realizó con la finalidad de evaluar la respuesta de la planta indicadora de tomate variedad Rio Grande (*Lycopersicum esculentum*), a la calidad de los compost obtenidos, por considerar su capacidad de crecimiento en condiciones restringidas de sustrato, en este caso de macetas.

Se efectuó en el invernadero del Área de Suelos del Programa de Investigación en Pastos y Ganadería de la Facultad de Ciencias Agrarias de la Universidad Nacional de San Cristóbal de Huamanga. Previamente se preparó el almacigo en un sustrato de arena de río lavada y carbón molido en una relación 4:1 en volumen respectivamente, a partir del cual se realizó el trasplante a raíz desnuda luego de un mes de la siembra. Para la prueba biológica se utilizaron macetas de 1 kg de capacidad, con un sustrato consistente en una mezcla de compost de cada tratamiento (de cada unidad experimental), arena de río lavada y suelo, en una relación de 1:1:4 en peso respectivamente, considerando en base seca. El ensayo se condujo en el diseño Bloques Completos Randomizados considerando tres repeticiones por tratamiento y dos plantas indicadoras por maceta.

2.6 VARIABLES EVALUADAS

2.6.1 Variación temporal de la temperatura en el compostaje

La medición de la temperatura se realizó con un termómetro digital, introduciendo el sensor al medio de la compostera. Los primeros 04 días se realizaron mediciones cada 02 horas durante el día, luego de no mostrarse variación considerable se ampliaron los intervalos a las 6 am, 12 am y 6pm, hasta el primer volteo, a partir del 09 de julio las mediciones se realizaron con un intervalo de 02 días, hasta el día de recolección del abono.

2.6.2 Tiempo de obtención del compost

Para determinar el tiempo de obtención del compost, se tomó como indicador el número de días al inicio de la fase de maduración; con respecto al inicio de la fase de maduración, Labrador (1996) coincide con Gray y Biddlestone (1981) citado por Lampkin (2001) e indican que inicia cuando la temperatura en la masa de compostaje es similar al del medio ambiente, sin presentar variación alguna; además afirman que la fase de maduración puede durar un número muy variable de meses.

Para determinar los días de inicio de la etapa de maduración se tomó en cuenta el descenso de la temperatura por debajo de 23 °C, condición que fue similar a la temperatura ambiental y partir del cual no se pudo percibir variación alguna por encima de este valor.

2.6.3 Composición química del compost

Para determinar la composición química del compost, se realizó la toma de muestras por el método del cuarteo, el 13 de setiembre a los 91 días del compostaje. Se obtuvieron muestras de 0.5 kg por tratamiento, para luego remitirla a un laboratorio de la localidad (Multiservicios Agrolab). El análisis químico realizado comprendió los siguientes parámetros:

Tabla 2.3. Características de análisis químico de materia orgánica

Parámetros	Metodología
Conductividad Eléctrica (CE)	Conductimetría
Materia Orgánica (%MO)	Walkley Black
Nitrógeno Total (%N)	Kjeldahl
Fosforo (% P ₂ O ₅)	Olsem
Potasio (%K ₂ O)	Absorción atómica
Calcio (%CaO)	Absorción atómica
Magnesio (%MgO)	Absorción atómica

Fuente: Proporcionado por Multiservicios Agrolab.

Las muestras analizadas en el laboratorio corresponden a una media de las repeticiones de los tratamientos. La medición del pH de las muestras de cada unidad experimental, se realizó empleando un potenciómetro portátil en un extracto acuoso de 1:2.5 en (p/v).

2.6.4 Análisis microbiológico

El análisis microbiológico se realizó en el laboratorio de Rhizobiología del Programa de Investigación en Pastos y Ganadería de la Facultad de Ciencias Agrarias, de la Universidad Nacional de San Cristóbal de Huamanga, el día 11 de setiembre a los 89 días del compostaje. El muestreo se realizó al igual que para el análisis químico, obteniendo al final una media de las repeticiones de los tratamientos. La determinación de bacterias y hongos se realizó por el método de Dilución en Placa, expresando el resultado en UFC/g, para lo cual se tuvo las siguientes consideraciones:

Para el caso de las diluciones, al principio se preparó una dilución de 1/10 consistente en 10 gramos de muestra (Compost de cada tratamiento) y 90 mL de agua destilada, para luego obtener a partir de esta, diluciones sucesivas de $1/10^4$, $1/10^5$ y $1/10^6$.

La siembra o inoculación se realizaron en placas Petri, donde previamente se preparó el medio de cultivo para bacterias (Agar Nutritivo) y hongos (Agar Papa Dextrosa). Para la siembra en el medio de cultivo, en caso de determinar las UFC de bacterias se tomaron las diluciones de $1/10^5$ y $1/10^6$, para determinar las UFC de hongos las diluciones de $1/10^4$ y $1/10^5$; en una relación de 0.2 ml por placa, considerando tres repeticiones por cada dilución. Al día siguiente de la siembra se procedió a envolver las placas en papel y ponerlas a condiciones de ambiente, en posición invertida hasta el día de conteo de las colonias.

El conteo de colonias se realizó el 25 de setiembre, 14 días después de la siembra, se realizó de manera directa con la ayuda de un marcador indeleble, donde se pudo observar mejor la formación de colonias en siembras a partir de diluciones $1/10^5$ y $1/10^4$ en caso de bacterias y hongos respectivamente.

Para el análisis estadístico se tomó en cuenta el Diseño en Bloques Completos Randomizados, considerando en el factor bloque, las repeticiones diferenciadas por el orden en la siembra.

2.6.5 Porcentaje de conversión en compost

La relación de porcentaje, se obtuvo de la comparación del total de materia seca del compost por cada unidad experimental, respecto a la cantidad de materia seca de material a compostar ingresada por los mismos. El contenido de materia seca se determinó a partir de una muestra de todo el material a compostar y de una muestra de cada unidad experimental en caso del compost a los 91 días. El porcentaje de materia seca en general se determinó mediante el método de la estufa a 70 °C por 48 horas.

2.6.6 Prueba biológica del compost obtenido en plantas de tomate

El corte de la parte aérea de la planta indicadora (tomate) en la prueba biológica de macetas, se realizó a los 60 días después del trasplante. El día 02 de diciembre se procedió a cortar desde la base del cuello de la planta, para luego depositarlas en sobres de papel. El contenido de materia seca se determinó mediante el método de la estufa a 70 °C por 48 horas, para luego determinar el peso, utilizando una balanza analítica.

CAPÍTULO III

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

3.1. Variación temporal de la temperatura en el compostaje

La Figura 3.1 muestra la variación de la temperatura que se presentó durante el compostaje antes del primer volteo, donde la temperatura máxima alcanzada fue de 50.1 °C para los tratamientos T₁, T₂ y T₃; 49.4 °C para el tratamiento T₀ (testigo) y 49 °C para el tratamiento T₄. No hubo diferencia aparente en las temperaturas máximas alcanzadas, pero tomando en cuenta el tiempo en reportarse la máxima temperatura, ocurrieron a las 268 horas para los tratamientos T₂ y T₄, a las 316 horas para los tratamientos T₀ y T₁ y a las 334 horas para el tratamiento T₃.

De acuerdo a la Figura 3.1, la temperatura máxima alcanzada antes del primer volteo para los tratamientos T₁, T₂ y T₃ se encuentran dentro del rango máximo, mientras que en los tratamientos testigo T₀ y T₄ se aproximan a ese rango con un promedio de 49.4 y 49 °C; reportando temperaturas máximas adecuadas para el compostaje.

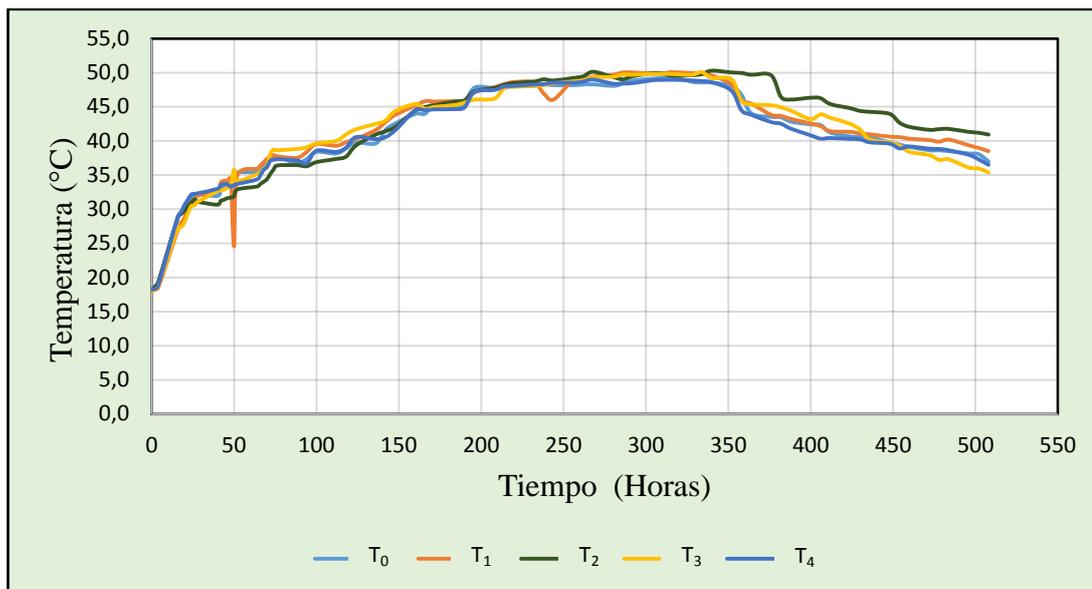


Figura 3.1. Variación de la temperatura desde el inicio hasta 508 horas (tercera semana), en el compostaje de residuos de cosecha de maíz con estiércol de vacuno, bajo la influencia de diferentes fuentes de microorganismos. Canaán 2735 msnm – Ayacucho.

Los resultados obtenidos evidencian un probable efecto de los tratamientos con microorganismos eficientes locales y suero lácteo fermentado sobre el aumento progresivo de la temperatura, reportándose la máxima temperatura para estos tratamientos 48 horas antes que el tratamiento testigo. El tratamiento con microorganismos eficientes comerciales no muestra diferencia relevante respecto al aumento progresivo de la temperatura con relación al tratamiento testigo. En el caso del tratamiento con levaduras de pan, reporta su máxima temperatura 18 horas después del tratamiento testigo.

Gray y Briddlestone (1981) citados por Lampkin (2001) mencionan que inicialmente los microorganismos presentes en el medio ambiente y los materiales a compostar, son los que empiezan la descomposición. Leal (1981) citado por Miyashiro (2014) afirma que a los 15 días de haberse instalado una pila de compostaje, éste se encuentra en la fase termófila, habiendo superado previamente los 40 °C, donde los microorganismos termófilos descomponen a mayor velocidad los materiales orgánicos. Gray y Briddlestone (1981) citados por Lampkin (2001) también mencionan que por encima de los 40 °C se suprime la actividad de los hongos

predominando actinomicetos y bacterias formadoras de esporas, consumiéndose sustancias fácilmente degradables como azúcares, almidones, grasa y proteínas; al agotarse estas sustancias hay un descenso en la temperatura, continuando la degradación de materiales más resistentes y volviendo a proliferar las variedades de microorganismos mesófilos. Labrador (1996) sugiere que la temperatura no debe ser superior a un rango de 60-70°C, si la temperatura supera un rango de 65-70°C se reduce la actividad de microorganismos benéficos, recomienda de preferencia mantener la temperatura máxima en un rango de 50-55°C.

Cajahuanca (2016) reporta para el compostaje de residuos domésticos con tratamientos de diferentes dosis de microorganismos eficientes, una relación directamente proporcional a la temperatura máxima e inversamente proporcional al tiempo de ocurrencia de la máxima temperatura, con respecto a las dosis de microorganismos eficientes; con diferencia significativa respecto a un testigo y entre tratamientos. Suaña (2013) menciona en los resultados obtenidos del compostaje de lenteja de agua y residuos orgánicos con tratamientos de microorganismos eficientes; respecto a la temperatura, los tratamientos con microorganismos eficientes no mostraron diferencia significativa, pero fueron estadísticamente superiores al promedio de un tratamiento testigo. Dolores et al. (s.f.) en un experimento donde se evaluó diferentes niveles de un acelerador a base de levaduras de pan y melaza de caña en el compostaje de residuos vegetales con gallinaza, obtuvieron temperaturas máximas de hasta 75 °C a comparación de tratamientos sin acelerador que oscilaron entre 18°C a 30°C.

En la Figura 3.2 se muestra un segundo calentamiento después del primer voleo y segunda aplicación de los tratamientos, en el que se reporta temperaturas máximas de 45.9, 40.6, 44.5, 46.6 y 48.1 °C para los tratamientos T₀, T₁, T₂, T₃ y T₄ respectivamente, los cuales a su vez se reportan a los 31 días para el T₀, 37 días para el T₁ y 33 días para el T₂, T₃ y T₄. Lampkin (2001) menciona que luego de unas semanas al realizar el volteo normalmente se presenta un segundo calentamiento, producto de incorporar al centro del montón el material de los extremos.

Asimismo se observa que el compost en todos los tratamientos ha pasado por las fases mesófila, termófila, de enfriamiento y de maduración; el inicio de la fase de maduración muestra datos más diferenciados entre tratamientos, considerándose el inicio de esta fase cuando la temperatura en el compost es similar a la temperatura ambiental.

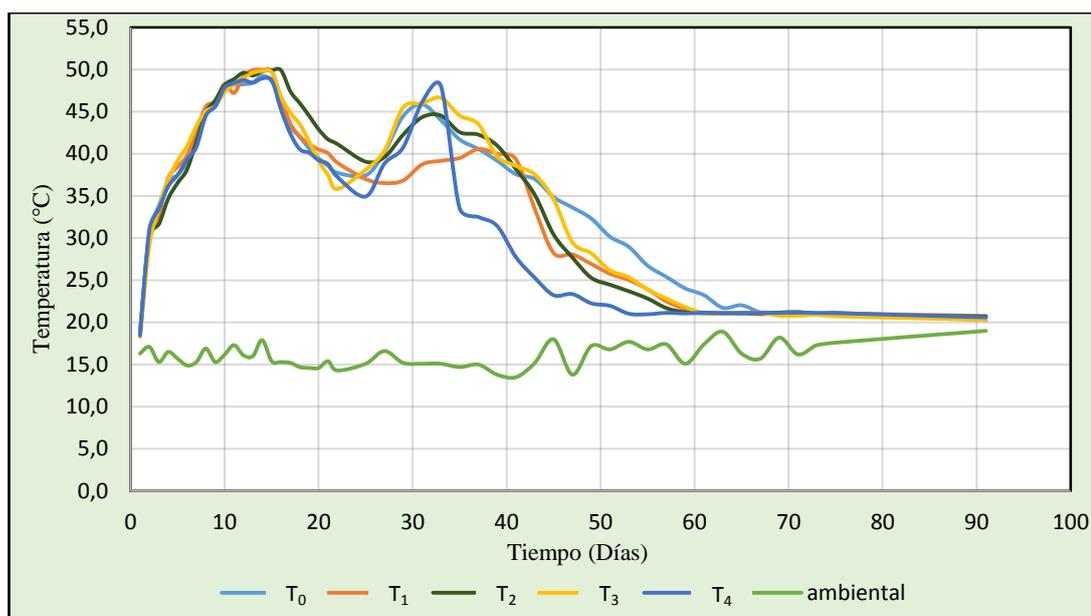


Figura 3.2. Variación de la temperatura desde el inicio hasta los 91 días, en el compostaje de residuos de cosecha de maíz con estiércol de vacuno, bajo la influencia de diferentes fuentes de microorganismos. Canaán 2735 msnm – Ayacucho.

3.2. Tiempo de obtención del compost

La Tabla 3.1 muestra el análisis de variancia para días de obtención del compost, el cual muestra diferencia altamente significativa entre bloques y tratamientos para la variable mencionada. La diferencia entre bloques respalda el empleo del diseño experimental para el presente caso. Para diferenciar el efecto de los tratamientos se realizó la Prueba de Tukey (figura 3.3).

Con respecto a los días de obtención del compost a inicio de la Fase de maduración la Figura 3.3 muestra diferencia significativa producto de los tratamientos, donde el tratamiento T₄ muestra el mejor resultado con un promedio de 53.67 días seguido de

los tratamientos T_2 , T_1 y T_3 con un promedio de 57.67, 59.00 y 60.33 días respectivamente y sin mostrar diferencia significativa; a su vez todos los tratamientos muestran diferencia significativa respecto al tratamiento T_0 , que muestra el mayor promedio con 64.33 días

Tabla 3.1. Análisis de Variancia de días de obtención del compost de residuos de cosecha de maíz con estiércol de vacuno, bajo la influencia de diferentes fuentes de microorganismos. Canaán 2735 msnm – Ayacucho.

F.V.	G.L.	S.C.	C.M.	Fc	Ft	
					0.05	0.01
Bloque	2	25.6	12.8	11.29	4.46 *	8.65 *
Tratamiento	4	181.33	45.3333	40	3.84 *	7.01 *
Error	8	9.07	1.1333			
Total	14	216				
C.V.		1.80%				

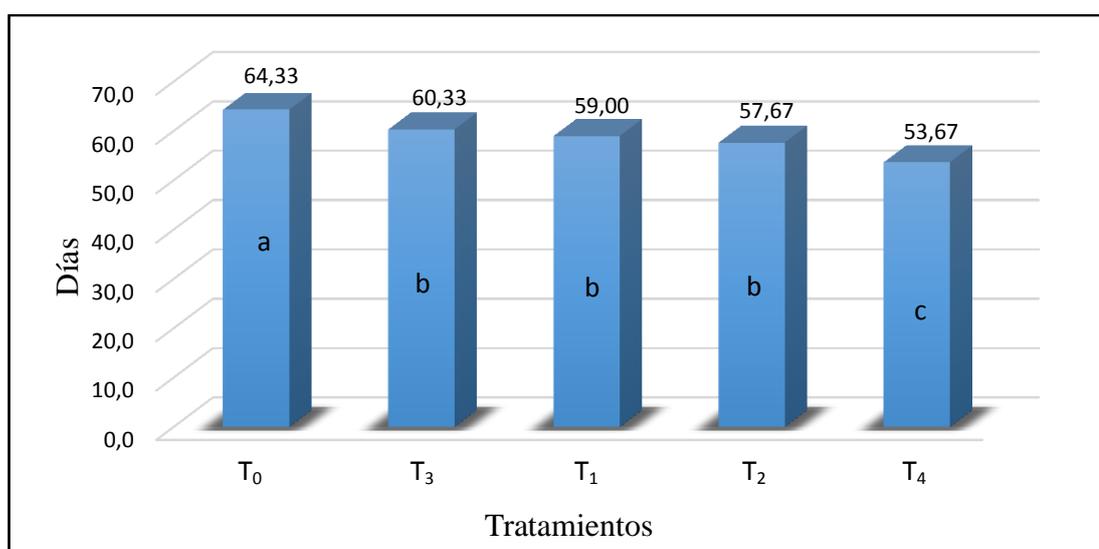


Figura 3.3. Prueba de Tukey ($p = 0.05$) de días de obtención del compost de residuos de cosecha de maíz con estiércol de vacuno, bajo la influencia de diferentes fuentes de microorganismos. Canaán 2735 msnm – Ayacucho.

Chilón (2010) citado por Apaza, Mamani y Sainz (2015) sostiene que el uso de yogurt, suero de leche y levaduras de pan; presentan un excelente efecto sobre la activación biológica en el compostaje, disminuyendo el tiempo de obtención del abono de un promedio de 7 meses hasta 3.5 meses. Prado y Blásquez (2013) reportan

que el tratamiento del estiércol fresco de ovino con suero lácteo fermentado como fuente de bacterias ácido lácticas y melaza de caña, tuvo como resultado la estabilización y obtención de biól en un tiempo muy reducido, frente a otros tratamientos. Dolores et al. (s.f.) mencionan que el yogurt como fuente de bacterias ácido lácticas podría ser un acelerador eficaz en el compostaje, a su vez realizaron un experimento en el compostaje de residuos orgánicos con gallinaza bajo tratamientos de diferentes niveles de un acelerador a base de levaduras de pan y melaza de caña como fuente de energía para la reproducción de microorganismos, obteniendo la reducción en el tiempo de compostaje en un 35% para la dosis óptima. Suaña (2013) al realizar un comparativo del compostaje de residuos orgánicos domésticos y lenteja de agua del lago Titicaca en el departamento de Puno con microorganismos eficientes, reporta diferencia significativa en los días de obtención con un promedio de 55, 50 y 60 días para una dosis respectiva de 100, 200 y 0 ml de ME activo/7500 cm³ de residuos orgánicos domésticos, en caso de lenteja de agua reporto promedios de 82, 75 y 90 días para las respectivas dosis mencionadas; Cajahuanca (2016) menciona que a mayor dosis de microorganismos eficientes en la aplicación para el compostaje de residuos orgánicos domésticos se reduce el tiempo de compostaje hasta en 32 días. Demostrándose que el suero lácteo fermentado como fuente de bacterias ácido lácticas, seguido de los microorganismos eficientes y las levaduras de pan, son aceleradores eficaces del compostaje.

3.3. Composición química del compost

La Tabla 3.2 muestra los diferentes parámetros evaluados en el análisis químico del compost bajo influencia de los diferentes tratamientos, los datos corresponden al análisis realizado de una media de las repeticiones de los tratamientos. Producto de los parámetros %MO y %N se puede mencionar una C/N de 14.00, 13.58, 13.85, 14.18 y 14.35 para el compost bajo la influencia de los tratamientos T₀, T₁, T₂, T₃ y T₄ respectivamente. Bourignon (1989) citado por Labrador (1996), menciona que el compost al final del proceso de elaboración puede presentar una C/N en un rango de 10 - 20; por su parte FAO (2013) sostiene que la final del compostaje la C/N llega a descender hasta un valor de 10 - 15; por lo cual tomando en cuenta la C/N, se puede mencionar que el compostaje en todos los tratamientos se ha realizado adecuadamente.

Referente a los parámetros, MO (%), N(%) y P₂O₅(%), los tratamientos bajo la influencia de los diferentes fuentes de microorganismos (T₁, T₂, T₃ y T₄) presentan valores en un rango de 37.92 - 40.8, 1.57 - 1.65 y 0.24 - 0.28 respectivamente, superiores en comparación al compost del tratamiento testigo T₀ que muestra valores relativamente inferiores de 33.51, 1.40 y 0.22 respectivamente a los parámetros mencionados; en el caso de los parámetros K₂O(%), CaO(%) y Na(%) los tratamientos con las diferentes fuentes de microorganismos presentan valores en un rango de 2.63 - 2.78, 2.39 - 2.49 y 0.16 - 0.18 respectivamente, relativamente inferiores al compost del tratamiento testigo T₀ que presenta valores de 2.91, 2.73 y 0.20 respectivamente a dichos parámetros. Con respecto al contenido de materia orgánica, FAO (2013) recomienda que al final del proceso debe ser superior al 20%; con respecto al contenido de Nitrógeno, Díaz y Roque (1997) citado por Suaña (2013) mencionan que es liberado de la materia orgánica por acción de los microorganismos en forma de amoníaco, para luego formar parte de la biomasa de los mismos, y cuando estos mueren se libera nuevamente como amoníaco; cita también a Meléndez (2004) quien con respecto al fósforo menciona que este es liberado de la materia orgánica como consecuencia, también de procesos biológicos; en caso del potasio menciona a Sanclemente y García (2011) quienes sostienen que el potasio es secuestrado y liberado de la materia orgánica por procesos químicos y no biológicos. Los resultados relativamente diferenciados podrían demostrar una probable influencia de los tratamientos sobre la composición química del compost.

Tabla 3.2. Composición química del compost de residuos de cosecha de maíz con estiércol de vacuno, bajo la influencia de diferentes fuentes de microorganismos. Canaán 2735 msnm – Ayacucho.

Trat.	C.E. (dS/m)	MO (%)	N (%)	P ₂ O ₅ (%)	K ₂ O (%)	Hd (%)	CaO (%)	MgO (%)	Na (%)
T ₀	5.64	33.51	1.40	0.22	2.91	3.51	2.73	1.08	0.20
T ₁	5.27	37.92	1.62	0.26	2.70	3.48	2.39	0.97	0.18
T ₂	6.49	38.20	1.60	0.25	2.77	4.21	2.43	0.93	0.17
T ₃	6.80	38.37	1.57	0.24	2.63	3.75	2.40	1.00	0.16
T ₄	5.10	40.81	1.65	0.28	2.78	4.32	2.49	1.04	0.18

En la Tabla 3.3 se muestra el Análisis de variancia de los valores de pH, observados en los tratamientos evaluados. Se encontró diferencias significativas entre tratamientos, no así entre bloques. Se determinó 0.51% de Coeficiente de Variabilidad. Los resultados de la prueba de Tukey de la medición del pH se indican en la Figura 3.4, se observa que el pH más bajo corresponde al compost con el tratamiento T₄ con un promedio de 8.87, mostrando diferencia significativa respecto al testigo T₀ y al Tratamiento T₁ con promedios de 9.03 y 9.02 respectivamente, los cuales a su vez son estadísticamente semejantes y presentan un promedio de pH más alto; evidenciando la influencia del tratamiento con Suero Lácteo Fermentado sobre la obtención de un pH más bajo en el compost.

De acuerdo a la Norma Chilena Oficial NCh2880.Of 2004, el compost debe presentar un contenido de fósforo total menor o igual a 0.1% (equivalente a 0.23% de P₂O₅), nitrógeno total mayor o igual a 0.8%, sodio menor a 1%, porcentaje de humedad mayor o igual al 25%, conductividad eléctrica menor a 5 dS/m para el compost de Clase A y para la clase B de 5 - 12 dS/m, una C/N de 10 - 25 para un compost de clase A y 10 - 40 para un compost de clase B, un pH de 5.0 - 7.5, si el pH es mayor a 7.5 es pertinente verificar e informar sobre el contenido de carbonatos, un contenido de Materia orgánica mayor a 45% corresponde a un compost de clase A y mayor a 25% corresponde a un de clase B, partículas menor a 15mm y un olor a bosque. De acuerdo a lo descrito y tomando en consideración los datos de la Tabla 3.2, de la composición química del compost obtenido, se observa que el compost producto de todos los tratamientos corresponden a la Clase B sin restricciones para uso agrícola, limitados a una Clase A por los niveles en la conductividad eléctrica, porcentaje de materia orgánica y fósforo total; respecto al pH en todos los casos escapa a los criterios de la norma. FAO (2013) menciona que el pH en el compost depende de los materiales de origen, en lo cual coinciden Campitilli, Ceppi, Velasco y Rubenacker (2014) y además recomiendan el uso de azufre elemental para la corrección del pH en estos casos. En la Tabla 2.1 de la composición química del estiércol de Wayllapampa se reporta un pH de 9.67 superior a los valores de pH en el compost de todos los tratamientos, lo cual justifica los valores elevados de pH obtenidos en el compost bajo la influencia de todos los

tratamientos. Referente al efecto del estiércol fresco en el pH del compost, Prado y Blásques (2013) en la obtención de biol a partir de estiércol fresco de ovino con el tratamiento con suero lácteo fermentado y melaza de caña, reportan la obtención de un pH de hasta 3.81, la relación de pH era además inversamente proporcional a las dosis de suero lácteo fermentado, diferenciándose de un tratamiento testigo que mostraba un pH superior a 8.

Tabla 3.3. Análisis de Variancia para el pH del compost de residuos de cosecha de maíz con estiércol de vacuno, bajo la influencia de diferentes fuentes de microorganismos. Canaán 2735 msnm – Ayacucho.

F.V.	G.L.	S.C.	C.M.	Fc	Ft	
					0.05	0.01
Bloque	2	0	0.0023	1.14	4.46 ns	8.65 ns
Tratamiento	4	0.05	0.0131	6.41	3.84 *	7.01 ns
Error	8	0.02	0.002			
Total	14	0.07				
C.V.	0.51%					

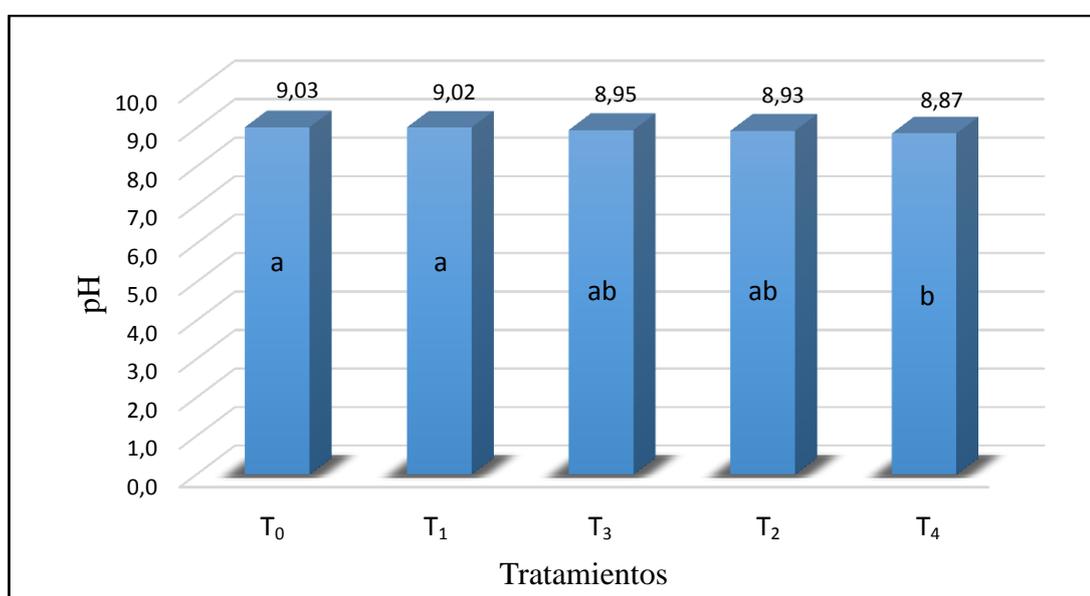


Figura 3.4. Prueba de Tukey ($p = 0.05$) para el pH del compost de residuos de cosecha de maíz con estiércol de vacuno, bajo la influencia de diferentes fuentes de microorganismos. Canaán 2735 msnm – Ayacucho.

3.4. Análisis microbiológico

En la Tabla 3.4 se muestra el Análisis de Variancia para las Unidades Formadoras de Colonias de bacterias por gramo de compost, observándose diferencia altamente significativa entre bloques correspondientes al orden de siembra en el medio de cultivo, evidenciándose la influencia de este factor sobre la variable y justificándose el empleo del Diseño en Bloques Completos Randomizados para el presente análisis; se observa también diferencia significativa a nivel del efecto de los tratamientos, por lo que se realizó la prueba de Tukey.

Tabla 3.4. Análisis de Variancia de las UFC de bacterias/g, del compost de residuos de cosecha de maíz con estiércol de vacuno, bajo la influencia de diferentes fuentes de microorganismos. Canaán 2735 msnm – Ayacucho.

F.V.	G.L.	S.C.	C.M.	Fc	Ft	
					0.05	0.01
Bloque	2	3.21	1.6072	48.4	4.46 *	8.65 *
Tratamiento	4	0.8	0.2011	6.06	3.84 *	7.01 ns
Error	8	0.27	0.0332			
Total	14	4.28				
C.V.	10.89%					

En la Figura 3.5 de la prueba de Tukey para las Unidades Formadoras de Colonias de bacterias, se observa que el compost con el tratamiento T_2 presenta el menor promedio con 1.23×10^7 UFC/g presentando diferencia significativa respecto al compost bajo el efecto de los tratamientos T_3 , T_4 , T_1 y T_0 estadísticamente semejantes y con promedios de 1.92×10^7 , 1.77×10^7 , 1.75×10^7 y 1.70×10^7 UFC/g respectivamente, por lo cual el tratamiento T_2 con microorganismos eficientes locales tendría el mejor efecto sobre la descomposición de la materia orgánica en el compostaje, tomando como indicador la población de bacterias evaluadas en medio de cultivo. Labrador (1996) menciona que las poblaciones de bacterias se condicionan en su desarrollo por la presencia de una fuente energética apropiada y disponible. Coyne (1999) con respecto al metabolismo de las bacterias menciona que son distintas, pudiendo descomponer materia orgánica e inorgánica (natural y sintética), permitiéndoles esta diversidad metabólica vivir donde otros organismos se

ven limitados. En caso de la población bacteriana en un sistema como el suelo donde se genera la descomposición de la materia orgánica, se ve limitada por la escasez de alimento o una fuente energética apropiada y disponible, por consiguiente cualquier adición de material fresco provocará, casi invariablemente un incremento en la actividad bacteriana, por el aporte con este de materiales solubles y con energía fácilmente disponible; nutricionalmente la mayoría de las bacterias involucradas en la transformación de la materia orgánica son heterótrofas que emplean compuestos orgánicos sintetizados por microorganismos autótrofos y las plantas superiores, tanto para sus necesidades energéticas y como fuente principal de carbono para sus células; pero la cantidad de materia orgánica producida por las bacterias autótrofas es depreciable en comparación con la procedente de la actividad fotosintética de las plantas (Burges y Raw, 1971).

Tomando en cuenta la información descrita, la población de bacterias en la materia orgánica, está condicionada por la disponibilidad de fuentes energéticas fácilmente disponibles, determinadas a su vez por el grado de descomposición de la misma, por tanto el compost del tratamiento T_2 presenta un mayor grado de descomposición.

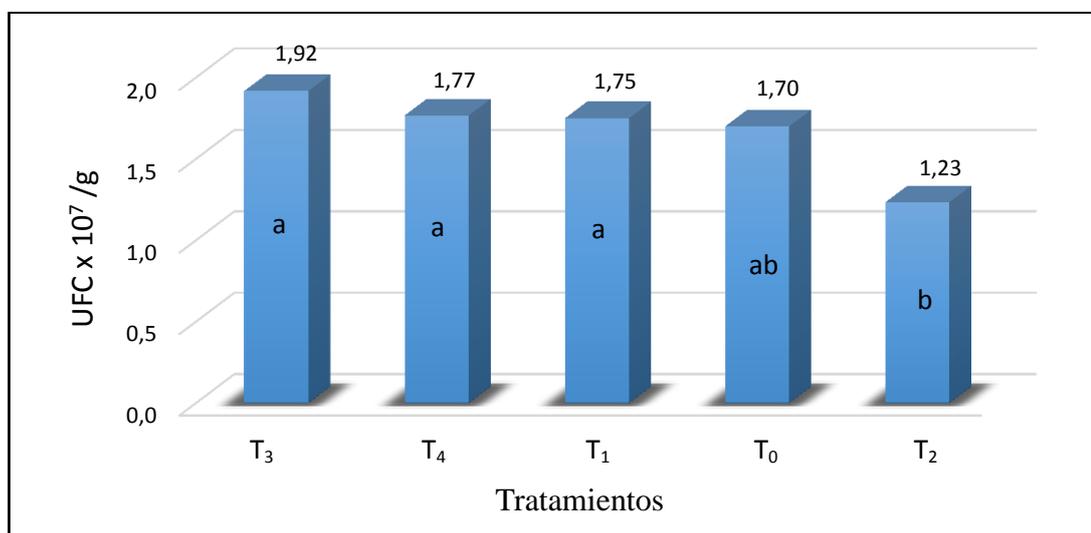


Figura 3.5. Prueba de Tukey ($p = 0.05$) de las UFC de bacterias/g, del compost de residuos de cosecha de maíz con estiércol de vacuno, bajo la influencia de diferentes fuentes de microorganismos. Canaán 2735 msnm – Ayacucho.

La Tabla 3.5 muestra el Análisis de Variancia para las Unidades Formadoras de Colonias de hongos por gramo de compost, observándose diferencia altamente significativa entre bloques, correspondientes al orden de siembra en el medio de cultivo, evidenciándose la influencia de este factor sobre la variable y justificándose nuevamente el empleo del Diseño en Bloques Completos Randomizados para el presente análisis; se muestra diferencia altamente significativa para el efecto de los tratamientos sobre la población de hongos en el compost, por tal se realizó la prueba de Tukey.

Tabla 3.5. Análisis de Variancia de las UFC de hongos/g, del compost de residuos de cosecha de maíz con estiércol de vacuno, bajo la influencia de diferentes fuentes de microorganismos. Canaán 2735 msnm – Ayacucho.

F.V.	G.L.	S.C.	C.M.	Fc	Ft	
					0.05	0.01
Bloque	2	0.93	0.4667	16	4.46 *	8.65 *
Tratamiento	4	3.07	0.7667	26.29	3.84 *	7.01 *
Error	8	0.23	0.0292			
Total	14	4.23				
C.V.	11.14%					

En la Figura 3.6 de la prueba de Tukey para las UFC de hongos/g de compost, muestra relación con la Figura 3.4 de la prueba de Tukey para el pH, los valores de pH en el compost bajo el efecto de los diferentes tratamientos y el testigo muestran valores alcalinos por encima de 8.87; la relación entre ambas variables muestra que a menor pH hay mayor número de UFC de hongos/g de compost, por tanto: el tratamiento T₄ que muestra el menor valor de pH con un promedio de 8.87, mostrando el mayor número de UFC con un promedio de 2.17×10^5 UFC de hongos/g; los tratamientos T₀ y T₁ estadísticamente semejantes para los mayores valores de pH con promedios de 9.03 y 9.02 respectivamente, muestran los menores promedios de UFC de hongos con promedios de 1.33×10^5 y 0.83×10^5 UFC de hongos/g de compost respectivamente, pero con diferencia significativa para la variable UFC de hongos/g; en caso de los valores intermedios de pH que

corresponden a los tratamientos T_3 y T_2 con promedios de 8.95 y 8.93 respectivamente, también muestran valores intermedios de UFC de hongos con promedios de 1.83×10^5 y 1.50×10^5 UFC de hongos/g de compost, además de no mostrar diferencia significativa entre tratamientos para ambas variables. Los datos descritos evidencian que la población de hongos en el compost sería mayor a medida que desciende el pH.

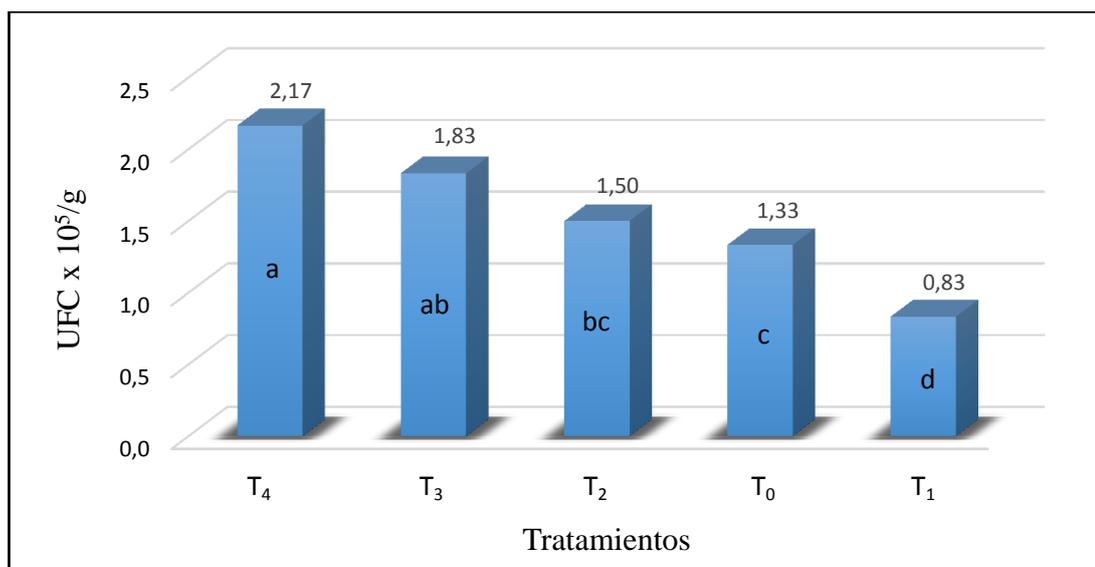


Figura 3.6. Prueba de Tukey ($p = 0.05$) de las UFC de hongos/g, del compost de residuos de cosecha de maíz con estiércol de vacuno, bajo la influencia de diferentes fuentes de microorganismos. Canaán 2735 msnm – Ayacucho.

A diferencia de las poblaciones de bacterias, las poblaciones de hongos en general no podrían ser un indicador del grado de descomposición de la materia orgánica, por la secuencia de poblaciones capaces de colonizar la materia orgánica en sus diferentes estados de descomposición; lo cual se evidencia al comparar la Figura 3.5 de la prueba de Tukey para las UFC de bacterias/g de compost con la Figura 3.6 de la prueba de Tukey para las UFC de hongos/g de compost, que muestran tendencias muy diferentes.

Con respecto al pH adecuado para el desarrollo de las poblaciones de bacterias Labrador (1996) y Breed et al (1957) citado por Burgues y Raw (1971) coinciden

que se desarrollan en un rango de 4 - 10 con un óptimo cercano a la neutralidad. En lo referente las poblaciones de hongos y el pH, Labrador (1996) menciona que toleran un rango de pH amplio, prosperando mejor en medios ácidos, no tanto por el pH en sí, sino por la reducida competencia con bacterias y actinomicetos. Coyne (1999) afirma que los hongos son más tolerantes a ambientes ácidos que otros organismos, en consecuencia sugiere utilizar un medio con pH ácido para elegir hongos.

3.5. Porcentaje de conversión en compost

La Tabla 3.6 muestra el Análisis de Variancia para el rendimiento de compost, calculado en función de la cantidad en materia seca de compost obtenido respecto a la cantidad de materia seca de material a compostar, se observa que no hay diferencia significativa a nivel de bloques, pero si una diferencia altamente significativa a nivel de tratamientos. El coeficiente de variabilidad fue de 6.51%

Tabla 3.6. Análisis de Variancia para el porcentaje de conversión, del compost de residuos de cosecha de maíz con estiércol de vacuno, bajo la influencia de diferentes fuentes de microorganismos. Canaán 2735 msnm - Ayacucho.

F.V.	G.L.	S.C.	C.M.	Fc	Ft	
					0.05	0.01
Bloque	2	13.84	6.922	0.44	4.46 ns	8.65 ns
Tratamiento	4	528.83	132.2074	8.31	3.84 *	7.01 *
Error	8	127.26	15.9072			
Total	14	669.93				
C.V.		6.51%				

En la Figura 3.6 de la prueba de Tukey para el porcentaje de conversión en compost, muestra que el compost bajo influencia de los tratamientos T₁, T₂, T₃ y T₄ y con promedios de 58.07, 57.40, 60.50 y 57.38% respectivamente se diferencian significativamente del testigo T₀ con un promedio de 72.90%, los cuales son a su vez estadísticamente semejantes para la variable porcentaje de conversión en compost.

Los resultados obtenidos indican que la inoculación del material a compostar con microorganismos eficientes, levaduras de pan y suero lácteo fermentado; mostraron un efecto positivo similar, en el aumento de la intensidad de la actividad microbiana, expresado en una pérdida de materia seca en el mismo periodo de tiempo, evidenciándose que las diferentes fuentes de microorganismos empleadas en los tratamientos si tienen un efecto sobre el aumento de una población extra de microorganismos activos durante el compostaje.

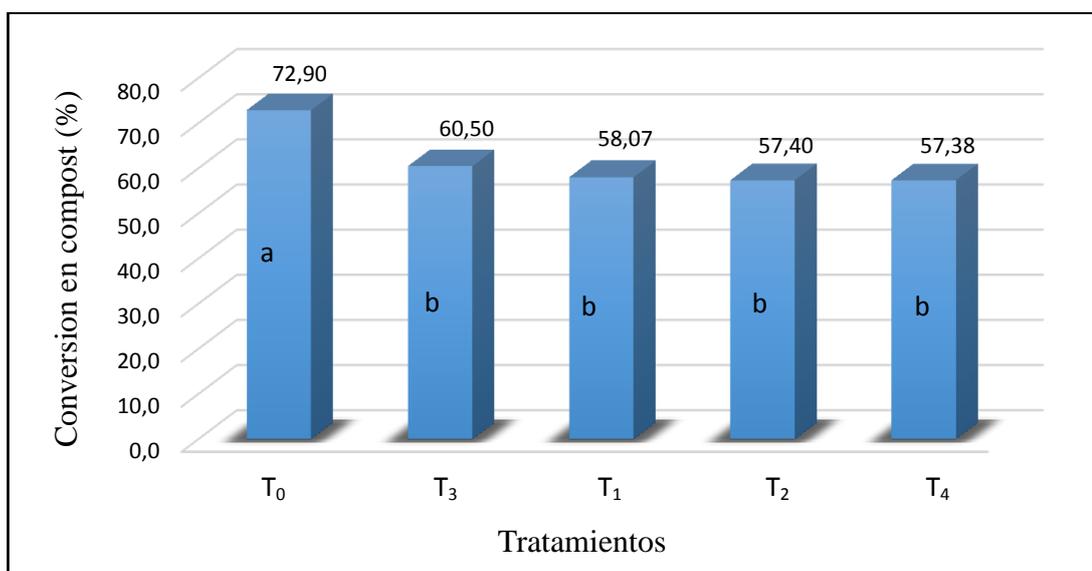


Figura 3.7. Prueba de Tukey ($p = 0.05$) para el porcentaje de conversión, del compost de residuos de cosecha de maíz con estiércol de vacuno, bajo la influencia de diferentes fuentes de microorganismos. Canaán 2735 msnm - Ayacucho.

3.6. Prueba biológica del compost obtenido en plantas de tomate

La Tabla 3.7 muestra el análisis de variancia para el rendimiento de materia seca de la planta indicadora de tomate (*Lycopersicum esculentum*), en la prueba biológica, expresado en gramos de MS/maceta, del compost bajo la influencia de cada tratamiento; observándose que no hay diferencia significativa entre bloques pero se muestra diferencia altamente significativa a nivel del efecto de los tratamientos, por lo cual se realizó la prueba de Tukey para diferenciar el efecto de los tratamientos.

Tabla 3.7. Análisis de Variación del rendimiento de Materia Seca (g/maceta), de la planta indicadora de tomate (*Lycopersicon esculentum*), con compost de residuos de cosecha de maíz con estiércol de vacuno, bajo la influencia de diferentes fuentes de microorganismos. Canaán 2735 msnm - Ayacucho.

F.V.	G.L.	S.C.	C.M.	Fc	Ft	
					0.05	0.01
Bloque	2	0.02	0.0108	0.35	4.46 ns	8.65 ns
Tratamiento	4	0.92	0.2308	7.55	3.84 *	7.01 *
Error	8	0.24	0.0306			
Total	14	1.19				
C.V.	7.67%					

En la Figura 3.8 de la prueba de Tukey para el rendimiento de MS (g)/maceta en la prueba biológica a partir del compost bajo influencia de los diferentes tratamientos indica que los tratamientos T₀, T₄ y T₃ con rendimientos promedio de 2.471, 2.440 y 2.437g/maceta no muestran diferencia significativa entre ellos; pero se diferencian significativamente del tratamiento T₂, el cual presenta el menor promedio en rendimiento de materia seca con 1.811 g/maceta. En el caso del rendimiento de materia seca con el compost bajo influencia del tratamiento T₁, no muestra diferencia significativa respecto a los demás resultados, mostrando un promedio de 2.242 g/maceta.

Tomando en cuenta los resultados del análisis microbiológico mostrados en la Figura 3.5 para el caso de UFC de bacterias/g de compost y en la Figura 3.6 para el caso de UFC de hongos/g de compost; el compost bajo efecto del tratamiento T₂, muestra la menor población total de bacterias, una población media de hongos y el menor promedio de población total de hongos y bacterias, respecto al compost bajo influencia de los demás tratamientos, evaluados en medio de cultivo. Con respecto a los datos de la Tabla 3.2, de la composición química del compost bajo la influencia de todos los tratamientos y tomando en consideración los parámetros: N, P₂O₅, K₂O, CaO y MgO; el compost bajo el efecto del tratamiento T₂ muestra un nivel nutricional medio respecto al compost bajo el efecto de los demás tratamientos;

evidenciándose que el menor rendimiento de materia seca en la prueba biológica para el compost bajo el tratamiento T₂ no está determinado directamente por su nivel nutricional, sino por la influencia de la actividad microbiana sobre la disponibilidad de nutrientes; lo cual nos da una idea del grado de madurez alcanzado por el compost bajo la influencia de los tratamientos, donde el tratamiento T₂ con microorganismos eficientes locales, tendría el mejor efecto sobre la obtención de un compost maduro, por lo tanto la actividad microbiana en el compost sería un indicador del grado de madurez del mismo, donde una mayor actividad microbiana tendría un efecto directo sobre el suministro de nutrientes.

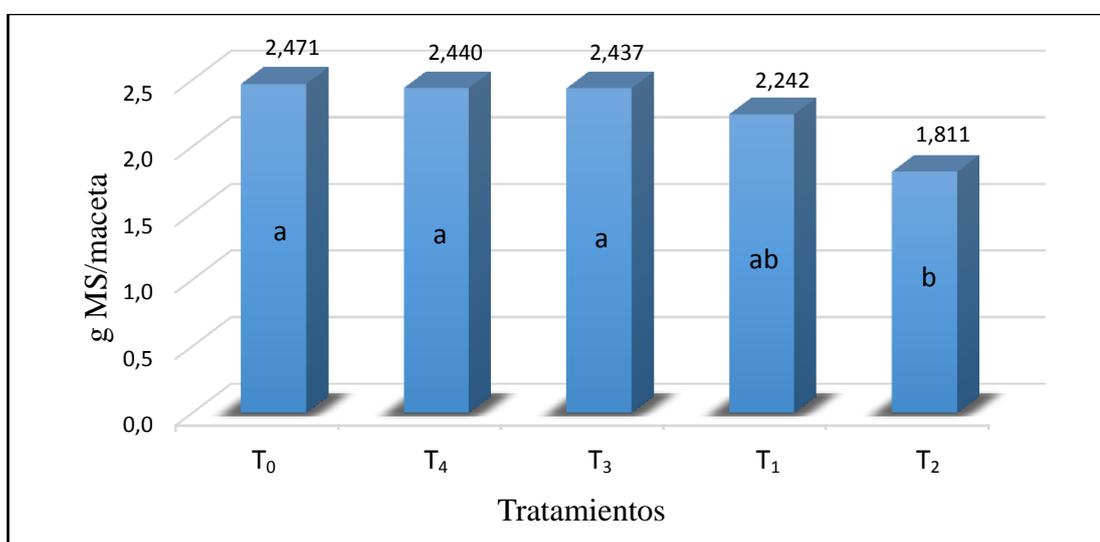


Figura 3.8. Prueba de Tukey ($p = 0.05$) para el rendimiento de Materia Seca (g/maceta), de la planta indicadora de tomate (*Lycopersicon esculentum*), con compost de residuos de cosecha de maíz con estiércol de vacuno, bajo la influencia de diferentes fuentes de microorganismos. Canaán 2735 msnm – Ayacucho.

CONCLUSIONES

Tomando en cuenta las condiciones en las cuales se desarrolló la investigación y de acuerdo a los resultados encontrados, se concluye lo siguiente:

1. Las variaciones de temperatura más representativas se dieron durante las primeras 508 horas (03 semanas), las temperaturas máximas registradas estuvieron en un rango de 49 - 50.1 °C. Tomando en cuenta el menor tiempo en reportarse la máxima temperatura, éstas ocurrieron a los 11 días en los tratamientos T₂ (Microorganismos eficientes locales) y T₄ (Suero lácteo fermentado).
2. El tratamiento T₄ (Suero lácteo fermentado) presenta el menor tiempo de obtención con un promedio de 54 días; seguidos de los tratamientos T₂ (Microorganismos eficientes locales), T₁ (Microorganismos eficientes comerciales) y T₃ (Levaduras de pan), con promedios de 58, 59 y 60 días respectivamente; diferenciándose del tratamiento testigo T₀ que presenta el mayor promedio con 64 días.
3. Los parámetros MO (%), N(%) y P₂O₅(%) de los compost bajo influencia de las diferentes fuentes de microorganismos (T₁, T₂, T₃ y T₄), presentan valores en un rango de 37.92 - 40.8, 1.57 - 1.65 y 0.24 - 0.28 respectivamente, superiores al compost del tratamiento testigo T₀, e inferiores en caso de los parámetros K₂O(%), CaO(%) y Na(%) que presentan valores en un rango de 2.63 - 2.78, 2.39 - 2.49 y 0.16 - 0.18 respectivamente; en caso del pH el tratamiento T₄ (Suero Lácteo Fermentado) muestra el menor valor con un promedio de 8.87.

4. El compost bajo influencia del tratamiento T₂ (Microorganismos eficientes locales) tendría el mejor efecto al mostrar el menor promedio de población de bacterias con 1.23×10^7 UFC/g; mientras que la población de hongos estaría condicionada por el pH del compost, en una relación inversamente proporcional con relativa correspondencia, donde el tratamiento T₄ (Suero lácteo fermentado) muestra la mayor población de hongos con 2.17×10^5 UFC/g y un pH de 8.87.

RECOMENDACIONES

De acuerdo a los resultados y las conclusiones del presente trabajo, se sugiere las siguientes recomendaciones:

1. Para los microorganismos eficientes, existe información sobre las dosis óptimas a emplear en determinadas aplicaciones; en caso de las Levaduras de Pan y el Suero Lácteo Fermentado como activadores del compostaje, es necesario plantear investigaciones a determinar dosis óptimas y formulaciones adecuadas con melaza de caña como fuente de energía para los microorganismos.
2. Se recomienda el uso de Microorganismos eficientes, aplicados al compostaje al inicio y al primer volteo, en aspersión a una relación de 3L/m³.
3. En trabajos similares se recomienda realizar el análisis químico, de cada unidad experimental, con la finalidad de realizar un análisis estadístico.
4. En investigaciones similares considerar como variable a evaluar la presencia de patógenos.
5. En la presente investigación se realizó una prueba de macetas en invernadero, como una cuestión complementaria a los objetivos planteados, obteniéndose resultados relevantes; por lo que se recomienda hacer investigaciones a nivel de campo.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Alvares D. J. (S.F.).** Manual de compostaje para la agricultura ecológica. Junta de Andalucía. Disponible en http://www.cienciasmarinas.uvigo.es/bibliografia_ambiental/agricultura_ecologica/Manual%20compostaxe.pdf. Consultado el 21 de marzo de 2018.
- Ancco P.P. (2012).** Niveles de Microorganismos Eficientes y gallinaza en el rendimiento de achita (*Amaranthus caudatus*). Tesis de Ingeniero Agrónomo. Ayacucho-Perú.
- Apaza E., Mamani F. Y Sainz H. (2015).** Sistema de compostaje para el tratamiento de hoja de coca con la incorporación de tres activadores biológicos, en el Centro Experimental de Kallutaca. La Paz-Bolivia. Disponible en http://www.scielo.org.bo/pdf/jsab/v3n2/v3n2_a03.pdf. Consultado el 29 de abril de 2018.
- Burges A. Y Raw F. (1971).** Biología del Suelo. Ediciones Omega S.A. Barcelona-España.
- Cajahuanca F. S. (2016).** Optimización del manejo de residuos orgánicos por medio de la utilización de Microorganismos Eficientes (*Saccharomyces cerevisiae*, *Aspergillus sp.*, *Lactobacillus sp.*), en el proceso de compostaje en la central Hidroeléctrica Chaglla. Tesis de Ingeniero Ambiental. Huánuco-Perú. Disponible en http://repositorio.udh.edu.pe/bitstream/handle/12345678958/TESES_SARA_CAJAHUANCA_FIGUEROA.pdf?sequence=1&isAllowed=y. Consultado el 04 de abril de 2018.
- Campitelli P., Ceppi S., Velasco M. Y Ribenacker A. (2014).** Compostaje; Obtención de Abonos de Calidad para las Plantas. Editorial Brujas. Argentina.
- Cervantes I. J. (2014).** Estudio comparativo entre vermicompostaje e inóculo de microorganismos autóctonos. Tesis de Ingeniero Técnico Agrícola. Disponible en <http://www.bvsde.paho.org/bvsars/fulltext/compost.pdf>. Consultado el 29 de marzo de 2018.
- Coyne M. (1999).** Microbiología del Suelo: Un Enfoque Exploratorio. Editorial Paraninfo. Madrid-España.

- Dolores G., Rivera M., Gonzáles G. C., Zamora L., Saldaña B., Gonzáles G. J. Salazar M. (s.f.).** Propuesta de un acelerador del proceso de compostaje para aplicación en agricultura familiar. Participación de la mujer en la ciencia XII Encuentro. Disponible en http://congresos.cio.mx/memorias_congreso_mujer/archivos/extensos/sesion5/S5-DIV05.pdf. Consultado el 18 de mayo de 2018.
- FAO (2013).** Manual de Compostaje, 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 2013. Disponible en <http://www.fao.org/3/a-i3388s.pdf>. Consultado el 30 de marzo de 2018.
- Holdridge L. R. (1979).** Ecología. Editorial Instituto Interamericano de Ciencias Agrícolas IICA. San José – Costa Rica.
- Infante L. A. (2011).** Manual de Biopreparados para la Agricultura Ecológica. Santiago de Chile. Disponible en <https://www.socla.co/wp-content/uploads/2014/manual-biopreparadosAgustinInfante.pdf>. Consultado el 29 de mayo de 2018.
- Labrador M. J. (1996).** La materia orgánica en los agrosistemas. Segunda edición corregida y ampliada. Ediciones Mundi-Prensa. Madrid-España.
- Laich F. (2011).** El papel de microorganismos en el proceso de compostaje. Unidad de Microbiología Aplicada, Instituto Canario de Investigación Agraria-Santa Cruz de Tenerife. Disponible en <http://biomusa.net/es/jornadas-y-actividades/jornada-tecnica-sobre-calidad-y-fertilidad-del-suelo/65-el-papel-de-los-microorganismos-en-el-proceso-de-compostaje/file>. Consultado el 10 de marzo de 2018.
- Lampkin N. (2001).** Agricultura Ecológica. Ediciones Mundi-Prensa. Madrid-España.
- León S., Gil G. J., Gil G. M., Giraldo R., Millán C. y Villada R. (2009).** Aprovechamiento del suero lácteo de una empresa del norte antioqueño mediante Microorganismos Eficientes. Disponible en <http://conectarural.org/sitio/sites/default/files/documentos/aprovechamiento%20del%20suero%20lacteo.pdf>. Consultado el 01 de junio de 2018.

- Miyashiro N. I. (2014).** Calidad de seis formulaciones de compost enriquecido con guano de islas. Tesis de Ingeniero Ambiental. Lima-Perú.
- Prado G. y Blásquez X. (2013).** Obtención de un biofertilizante a partir de excreta de ovino, melaza y suero lácteo fermentado del establo de la Universidad Nacional Agraria la Molina para el mejoramiento en la actividad agrícola. Tesis de Biólogo. Ayacucho-Perú.
- Simpson K. (1986).** Abonos y Estiércoles. Editorial Acribia, S.A. Zaragoza-España.
- Suaña Q. M. (2013).** Compostaje de residuos orgánicos y de lenteja de agua (*Lemna* sp.) con aplicación de Microorganismos Eficaces. Tesis de Magister Scientiae en Agroecología. Puno-Perú. Disponible en <http://tesis.unap.edu.pe/bitstream/handle/UNAP446EPG429-00429-01.pdf?sequence=1>
Consultado el 04 de abril de 2018.
- Suarez M., Garrido C. Y Guevara R. (2016).** Levadura *Saccharomyces cerevisiae* y la producción de alcohol. Disponible en <http://www.redalyc.org/pdf/2231/223148420004.pdf>. Consultado el 15 de mayo de 2018.
- Zea J., Osorio M. Y Bolaños J. (1997).** Uso de rastrojo de maíz como cobertura superficial y sus implicaciones en la economía del Nitrógeno en el cultivo de maíz. Disponible en http://www.mag.go.cr/rev_meso/v08n02_085.pdf 10/04/2017. Consultado el 15 de abril de 2018.

ANEXOS

Anexo 01. Registro de la temperatura en las composteras, antes del primer volteo

Día	Hora de lectura	Horas acumu.	T ₀			T ₁			T ₂			T ₃			T ₄		
			B-I	B-II	B-III												
15-Jun	2pm	0	18.0	18.4	18.6	18.2	18.5	17.9	18.3	17.8	17.9	18.1	17.9	17.8	18.0	18.5	18.2
	4pm	2	18.5	18.7	18.8	18.1	18.5	18.0	19.0	18.4	18.6	18.5	18.2	18.0	18.0	18.9	18.1
	6pm	4	19.8	19.1	19.1	18.5	18.8	18.2	19.5	19.0	19.2	19.0	18.8	18.6	18.8	19.2	18.6
16-Jun	6am	16	28.7	29.1	28.6	26.5	27.5	27.1	29.0	28.2	29.5	27.9	27.2	26.8	28.7	29.0	29.1
	8am	18	29.1	29.8	29.1	28.0	27.8	28.4	29.5	28.6	30.0	28.5	27.2	26.5	29.2	29.8	30.0
	10am	20	29.9	30.1	29.4	29.0	28.5	28.8	29.8	29.3	30.2	28.8	28.4	27.1	29.9	30.9	31.1
	12am	22	30.5	31.1	29.5	30.1	30.9	29.9	30.9	30.1	30.5	29.8	29.9	28.5	30.9	31.8	31.5
	2pm	24	33.4	32.8	29.8	31.0	31.3	30.9	31.6	30.4	30.8	30.1	31.2	30.1	32.7	31.7	32.0
	4pm	26	31.6	33.0	30.9	31.0	31.3	30.8	31.6	31.0	31.8	30.5	31.0	30.2	32.8	31.7	32.3
	6pm	28	32.1	33.1	31.3	32.5	31.5	31.9	31.7	31.1	30.5	31.1	31.4	30.8	32.7	31.9	32.4
	6am	40	31.4	33.0	31.5	33.2	32.0	33.0	31.0	30.6	30.4	32.3	33.7	31.9	32.9	32.9	33.2
17-Jun	8am	42	32.1	34.2	32.5	34.1	33.9	33.8	31.1	30.9	31.7	32.7	33.6	32.1	33.6	33.5	33.4
	10am	44	33.0	34.2	32.9	34.1	34.5	33.9	31.3	31.0	31.9	32.9	33.3	32.4	33.8	33.7	33.6
	12am	46	33.8	34.3	33.2	34.3	34.3	34.0	31.9	31.2	31.8	33.0	34.0	32.6	33.2	33.9	33.8
	2pm	48	34.6	35.1	33.3	34.5	34.9	34.2	31.8	31.3	32.0	33.1	34.5	32.7	33.2	33.3	33.4
	4pm	50	34.6	36.0	34.5	35.0	35.1	3.6	32.1	32.0	31.6	39.5	35.0	33.0	33.0	33.8	33.8
	6pm	52	35.0	36.1	35.1	34.8	35.0	35.0	33.7	32.9	32.1	33.7	35.0	33.8	33.3	33.9	33.9

	6am	64	34.9	36.8	34.7	36.4	36.1	35.3	33.5	33.5	33.0	35.0	35.3	35.1	34.1	34.9	34.1
	8am	66	35.2	36.8	35.0	36.8	36.4	36.1	33.9	33.9	33.3	35.1	36.0	35.1	34.3	35.6	35.0
	10am	68	35.6	37.2	35.8	36.8	37.5	36.3	34.0	34.3	33.8	35.6	37.0	35.2	34.8	36.2	36.3
18-Jun	12am	70	36.7	37.8	36.2	37.3	38.1	36.8	34.6	34.8	33.8	36.1	37.2	35.9	35.1	36.9	36.5
	2pm	72	37.4	38.3	36.4	37.8	38.3	36.9	35.9	35.7	33.9	37.7	39.2	37.5	36.8	37.5	37.0
	4pm	74	37.9	38.5	36.9	38.0	38.8	37.0	36.0	36.1	35.3	37.5	39.8	38.9	37.3	37.3	37.1
	6pm	76	37.8	38.5	36.9	37.8	38.1	37.4	36.3	37.2	35.7	37.6	39.8	38.5	37.1	37.5	37.4
	6am	88	37.0	37.0	36.4	37.6	38.1	36.9	37.3	36.9	35.2	37.8	39.9	38.8	37.5	37.8	36.2
19-Jun	12am	94	37.2	37.9	36.9	38.5	39.8	36.8	36.2	37.2	35.5	38.2	40.2	38.8	36.0	37.9	36.2
	6pm	100	37.8	39.9	37.5	39.9	40.0	38.7	37.3	37.3	36.1	38.9	41.0	39.0	38.3	39.5	37.9
	6am	112	37.6	39.9	37.0	39.5	39.7	38.7	38.5	37.2	36.4	39.3	41.5	39.2	38.0	39.2	38.0
20-Jun	12am	118	38.9	39.7	38.1	40.6	40.0	38.9	38.2	38.1	36.8	39.9	42.7	40.3	38.9	39.9	38.3
	6pm	124	40.4	40.2	38.8	40.9	40.3	39.7	39.7	39.7	38.6	40.5	42.8	41.8	40.7	41.1	39.9
	6am	136	38.9	40.6	39.4	43.0	40.9	40.9	41.8	40.8	40.2	41.9	43.8	41.8	40.0	41.0	39.8
21-Jun	12am	142	40.9	42.0	42.0	44.1	42.1	42.1	41.9	41.5	40.9	42.1	44.3	42.6	40.5	41.4	39.8
	6pm	148	41.4	43.5	42.8	45.3	43.1	43.1	42.5	42.5	41.2	43.9	45.6	43.7	41.5	42.3	41.0
	6am	160	42.9	44.7	44.3	46.6	44.2	44.7	45.1	43.5	44.8	44.7	46.8	44.7	44.5	45.2	43.8
22-Jun	12am	166	43.3	44.8	43.9	46.9	46.0	44.6	45.8	44.9	44.2	44.1	46.8	43.2	44.8	45.3	43.4
	6pm	172	44.9	46.5	45.1	46.6	46.1	44.6	46.3	45.3	44.2	44.3	46.8	43.9	44.6	45.3	44.0
	6am	184	44.6	45.9	44.6	46.6	46.1	44.8	46.8	45.7	44.8	44.8	46.9	44.1	44.8	45.2	44.0
23-Jun	12am	190	44.8	46.8	45.1	46.8	46.1	44.3	47.0	46.0	44.9	44.9	46.8	45.2	45.3	45.5	44.0

	6pm	196	46.8	48.8	47.8	48.1	46.8	46.4	47.9	47.8	46.1	45.7	46.5	46.0	47.7	47.7	46.2
	6am	208	46.8	48.7	47.8	48.9	48.2	46.5	48.0	47.7	47.6	45.9	46.9	45.8	47.6	48.5	46.3
24-Jun	12am	214	46.9	48.6	47.8	49.1	48.9	47.0	48.4	48.6	47.7	47.9	47.6	47.8	47.8	48.6	47.6
	6pm	220	47.6	48.8	47.8	49.3	49.4	47.2	48.8	49.0	47.7	47.9	48.0	47.9	47.8	48.6	47.8
	6am	232	47.5	48.9	47.8	48.9	49.3	47.6	48.9	49.3	47.9	47.8	48.5	47.9	48.2	48.8	47.8
25-Jun	12am	238	47.6	49.2	48.0	43.3	49.6	48.0	49.3	49.9	47.9	48.0	48.7	47.9	48.3	48.8	47.9
	6pm	244	47.7	49.1	47.7	49.8	40.1	48.3	49.5	49.3	47.8	48.5	48.9	47.9	48.6	48.8	48.2
	6am	256	47.6	49.2	47.7	49.7	49.9	47.3	49.6	50.0	48.1	48.9	49.1	48.2	48.8	48.7	48.1
26-Jun	12am	262	47.7	49.3	47.8	49.7	49.9	47.6	49.6	50.6	48.2	49.1	49.1	48.5	49.0	48.6	48.5
	6pm	268	47.8	49.3	47.8	50.1	50.3	47.9	49.8	51.1	49.5	50.0	49.2	48.8	49.1	48.9	49.0
	6am	280	47.5	49.1	47.6	50.1	50.7	48.3	48.6	50.5	49.0	49.2	50.0	49.0	48.4	48.8	48.0
27-Jun	12am	286	47.8	49.2	48.2	50.6	50.8	48.7	48.7	49.6	48.8	49.3	50.8	49.1	48.7	48.8	47.8
	6pm	292	48.8	49.4	48.3	50.7	50.7	48.7	49.0	49.9	49.5	49.4	50.7	49.0	48.5	49.0	47.9
	6am	304	48.8	50.1	48.5	50.5	50.8	48.3	49.3	50.0	50.5	49.8	50.2	49.5	49.0	48.9	48.8
28-Jun	12am	310	48.8	50.1	48.8	50.5	50.8	48.4	49.1	50.2	50.3	49.8	50.2	49.5	49.1	48.9	48.8
	6pm	316	48.9	50.5	48.8	50.7	50.9	48.6	48.7	50.2	49.8	49.8	50.1	49.5	49.3	48.9	48.7
	6am	328	47.9	49.8	48.3	50.5	50.5	48.8	48.7	50.2	50.0	49.8	50.3	49.0	49.4	48.9	48.3
29-Jun	12am	334	47.7	49.6	48.4	50.6	50.1	48.8	48.9	50.3	50.2	50.1	50.5	49.7	49.4	48.9	48.0
	6pm	340	47.9	49.3	48.5	50.3	50.0	48.5	49.0	50.9	51.0	48.1	50.1	49.5	49.1	48.7	48.0
	6am	352	47.5	48.7	48.0	47.8	49.1	48.0	49.2	49.9	51.0	48.3	49.7	49.1	47.0	47.6	47.5
30-Jun	12am	358	46.0	47.3	47.0	46.3	46.6	44.8	49.1	49.8	51.0	44.9	46.8	46.0	43.2	45.0	45.3

	6pm	364	43.3	45.0	43.8	46.0	45.9	44.5	48.6	49.6	50.9	44.1	46.1	45.9	43.1	44.1	44.3
	6am	376	42.8	44.2	43.6	44.0	44.5	43.0	48.5	49.6	50.8	43.8	46.1	45.8	42.0	43.2	43.1
01-Jul	12am	382	42.8	44.0	43.6	43.8	44.4	42.8	45.3	46.9	47.2	43.7	45.9	45.2	41.8	42.9	42.9
	6pm	388	42.1	43.4	43.0	43.6	44.0	42.1	44.5	46.7	47.0	43.7	45.1	44.5	41.1	42.3	42.0
	6am	400	41.3	43.0	43.0	42.5	43.8	41.4	44.8	46.5	47.7	42.3	44.8	42.5	39.1	41.5	41.9
02-Jul	12am	406	41.6	42.8	42.6	41.5	43.6	41.4	44.8	46.3	47.7	43.5	45.3	42.9	39.1	41.1	40.8
	6pm	412	41.0	41.5	41.2	40.9	42.5	40.9	44.5	45.4	46.3	43.0	44.6	42.6	39.2	41.5	40.6
	6am	424	39.9	41.2	40.9	40.8	42.7	40.5	43.9	45.8	44.7	41.9	43.5	42.1	39.0	41.3	40.6
03-Jul	12am	430	39.8	41.9	40.2	40.3	42.5	40.5	43.5	45.4	44.3	40.3	42.8	41.9	39.7	41.2	39.8
	6pm	436	39.7	41.9	40.0	40.0	42.6	40.3	43.5	45.2	44.1	39.2	41.4	40.0	39.0	41.0	39.4
	6am	448	38.9	40.6	39.9	39.9	42.0	40.0	43.2	45.0	43.7	38.9	41.3	39.1	38.8	40.5	39.5
04-Jun	12am	454	38.7	40.2	39.5	39.8	42.1	39.8	42.5	43.7	41.8	38.8	40.3	38.8	38.3	39.2	39.2
	6pm	460	38.7	39.9	38.8	39.7	41.8	39.5	41.1	42.8	42.3	37.5	39.5	38.2	38.3	40.0	39.3
	6am	472	38.1	39.2	38.6	39.5	41.5	39.4	41.1	42.6	41.2	36.9	38.7	38.2	38.2	40.3	38.1
05-Jul	12am	478	38.1	39.2	38.6	39.5	40.9	39.3	41.1	43.6	40.5	36.3	38.1	37.3	38.1	40.2	38.2
	6pm	484	37.9	39.1	38.5	39.9	41.3	39.4	41.3	43.6	40.4	37.3	37.7	36.9	37.9	39.5	38.5
	6am	496	37.6	39.0	37.9	39.1	40.2	38.8	41.2	43.1	39.7	36.0	37.1	35.2	37.7	38.3	37.9
06-Jul	12am	502	38.8	38.2	37.2	38.9	39.8	38.2	41.1	42.8	39.7	36.1	36.8	35.0	37.1	38.7	36.1
	6pm	508	36.1	38.0	36.9	38.5	39.1	37.9	40.8	42.6	39.4	35.5	36.5	34.2	36.5	37.1	35.9

Anexo 02. Registro diario de la temperatura en las composteras

Día	T ₀			T ₁			T ₂			T ₃			T ₄		
	B-I	B-II	B-III												
1	18.8	18.7	18.8	18.3	18.6	18.0	18.9	18.4	18.6	18.5	18.3	18.1	18.3	18.9	18.3
2	30.8	31.3	29.8	29.7	29.8	29.7	30.6	29.8	30.5	29.5	29.5	28.6	31.0	31.0	31.2
3	33.5	34.7	33.3	34.3	34.2	29.6	31.8	31.4	31.6	33.9	34.2	32.6	33.3	33.6	33.6
4	36.5	37.7	36.0	37.3	37.6	36.5	34.9	35.1	34.1	36.4	37.8	36.6	35.6	36.6	36.2
5	37.3	38.3	36.9	38.7	39.3	37.5	36.9	37.1	35.6	38.3	40.4	38.9	37.3	38.4	36.8
6	39.0	39.9	38.0	40.3	40.0	39.1	38.8	38.3	37.3	39.9	42.3	40.4	39.2	40.1	38.7
7	40.4	42.0	41.4	44.1	42.0	42.0	42.1	41.6	40.8	42.6	44.6	42.7	40.7	41.6	40.2
8	43.7	45.3	44.4	46.7	45.4	44.6	45.7	44.6	44.4	44.4	46.8	43.9	44.6	45.3	43.7
9	45.4	47.2	45.8	47.2	46.3	45.2	47.2	46.5	45.3	45.1	46.7	45.1	45.9	46.1	44.7
10	47.1	48.7	47.8	49.1	48.8	46.9	48.4	48.4	47.7	47.2	47.5	47.2	47.7	48.6	47.2
11	47.6	49.1	47.8	47.3	46.3	48.0	49.2	49.5	47.9	48.1	48.7	47.9	48.4	48.8	48.0
12	47.7	49.3	47.8	49.8	50.0	47.6	49.7	50.6	48.6	49.3	49.1	48.5	49.0	48.7	48.5
13	48.0	49.2	48.0	50.5	50.7	48.6	48.8	50.0	49.1	49.3	50.5	49.0	48.5	48.9	47.9
14	48.8	50.2	48.7	50.6	50.8	48.4	49.0	50.1	50.2	49.8	50.2	49.5	49.1	48.9	48.8
15	47.8	49.6	48.4	50.5	50.2	48.7	48.9	50.5	50.4	49.3	50.3	49.4	49.3	48.8	48.1
16	45.6	47.0	46.3	46.7	47.2	45.8	49.0	49.8	51.0	45.8	47.5	47.0	44.4	45.6	45.7
17	42.6	43.9	43.4	43.8	44.3	42.6	46.1	47.7	48.3	43.7	45.7	45.2	41.6	42.8	42.7
18	41.3	42.4	42.3	41.6	43.3	41.2	44.7	46.1	47.2	42.9	44.9	42.7	39.1	41.4	41.1
19	39.8	41.7	40.4	40.4	42.6	40.4	43.6	45.5	44.4	40.5	42.6	41.3	39.2	41.2	39.9
20	38.8	40.2	39.4	39.8	42.0	39.8	42.3	43.8	42.6	38.4	40.4	38.7	38.5	39.9	39.3
21	38.0	39.2	38.6	39.6	41.2	39.4	41.2	43.3	40.7	36.8	38.2	37.5	38.1	40.0	38.3
22	37.5	38.4	37.3	38.8	39.7	38.3	41.0	42.8	39.6	35.9	36.8	34.8	37.1	38.0	36.6

25	37.2	38.7	36.4	37.2	38.0	35.8	39.8	39.8	37.6	38.5	39.9	35.9	35.6	35.7	33.5
27	40.2	41.5	38.9	36.5	37.8	35.3	39.8	40.1	38.9	40.0	41.3	39.8	40.0	39.9	36.6
29	44.5	45.8	43.1	36.9	37.1	36.5	42.9	42.9	41.0	43.8	47.6	45.1	42.3	42.0	38.0
31	45.6	47.1	44.9	38.7	39.8	37.7	43.9	46.1	43.0	45.1	47.2	45.6	47.1	46.8	44.4
33	42.5	45.8	43.7	39.0	39.8	38.7	44.7	45.1	43.8	46.4	48.2	45.3	47.9	49.1	47.2
35	39.8	43.5	41.8	38.9	40.1	39.5	43.0	43.2	41.5	45.0	45.0	43.6	33.8	34.5	32.3
37	39.2	42.2	40.3	40.8	41.1	39.8	42.7	43.0	41.1	43.5	44.2	42.8	32.5	33.5	31.5
39	39.2	40.0	38.3	39.8	41.2	39.0	41.6	41.8	39.5	39.5	40.7	38.9	31.5	32.4	30.4
41	37.3	38.3	37.1	39.9	40.1	38.0	39.5	38.5	36.5	38.3	39.6	37.8	27.5	28.9	26.8
43	36.9	37.2	36.9	33.5	34.6	32.3	36.1	35.5	33.8	37.2	38.7	36.7	25.3	26.3	24.3
45	35.2	35.1	34.3	28.8	29.2	26.7	30.5	31.8	29.0	34.5	35.5	33.8	23.5	23.9	22.3
47	33.7	34.5	32.7	28.3	29.0	26.9	28.2	28.0	26.9	29.0	30.6	28.9	23.8	23.8	22.5
49	33.8	32.7	30.5	27.5	27.3	26.0	26.8	24.8	24.3	28.3	29.3	27.0	22.2	23.2	21.4
51	31.9	30.1	28.5	25.7	26.5	25.1	25.8	23.5	24.1	26.3	27.1	25.1	22.1	22.8	21.0
53	30.2	29.4	27.3	25.4	25.0	24.7	24.7	22.9	23.5	25.1	26.1	24.9	21.3	21.5	20.3
55	28.4	26.2	25.6	25.1	23.5	23.2	23.7	22.4	22.4	23.9	24.3	23.5	21.2	21.6	20.1
57	26.8	25.3	24.1	23.8	22.5	21.2	22.1	21.9	21.1	23.1	23.4	22.0	21.4	21.5	20.5
59	24.8	24.8	22.5	22.3	21.3	21.2	20.8	21.5	21.3	22.1	22.2	21.2	21.3	21.7	20.2
61	24.3	22.8	22.6	21.1	21.1	21.1	21.2	21.3	20.8	21.3	21.2	20.9	21.2	21.8	20.5
63	23.1	21.0	21.1	21.0	21.1	21.2	21.1	21.2	21.0	21.3	21.1	21.0	21.4	21.6	20.3
65	23.9	21.2	21.0	21.2	21.2	21.1	21.0	21.4	20.8	21.4	21.2	20.8	21.2	21.7	20.5
67	21.2	21.3	21.1	20.9	21.2	20.8	21.3	21.2	20.8	21.5	21.0	21.0	21.4	21.6	20.4
69	20.9	21.1	21.2	21.1	21.3	20.9	21.3	21.4	20.8	20.8	21.0	20.6	21.5	21.7	20.2
71	21.3	20.9	21.2	21.3	21.1	21.0	21.4	21.3	21.0	21.1	20.9	20.4	21.4	21.8	20.3
73	20.8	21.0	21.1	20.3	21.2	21.3	21.3	21.1	20.6	21.0	20.9	20.8	21.3	21.7	20.4
93	20.0	20.5	20.3	21.0	20.5	20.8	20.8	21.1	20.2	19.9	20.0	21.0	21.0	19.8	21.0

Anexo 03. Temperatura ambiental (°C) de los meses junio, julio, agosto y setiembre del 2017. Estación meteorológica INIA Canaán 2735 msnm.

Día	Junio		Julio		Agosto		Setiembre	
	°T max.	°T min.	°T max.	°T min.	°T max.	°T min.	°T max.	°T min.
1	21.2	11.4	25.8	4.6	26.6	7.2	25.8	10.0
2	25.4	10.8	25.5	3.8	27.2	7.2	25.4	11.2
3	25.0	10.4	25.8	3.4	25.2	7.4	24.8	9.0
4	23.6	8.2	25.3	3.8	26.6	7.0	26.8	8.6
5	23.0	7.2	26.7	4.0	26.8	8.2	25.2	10.2
6	24.0	7.8	25.8	2.8	27.6	7.8	26.4	10.0
7	25.0	9.8	24.2	2.8	27.0	6.4	25.4	12.2
8	22.8	8.8	23.8	4.0	26.4	7.2	23.6	10.6
9	25.6	8.0	24.2	6.0	27.0	6.4	25.2	9.6
10	24.8	9.4	24.8	7.2	27.2	7.6	27.0	9.0
11	26.0	10.2	24.8	8.4	26.0	7.4	21.8	11.4
12	25.2	6.0	27.2	4.8	25.0	5.2	22.2	10.2
13	25.8	8.2	25.6	4.8	25.2	7.2	25.6	12.4
14	25.0	7.8	24.1	4.2	25.2	9.6	25.4	11.6
15	25.4	7.2	25.3	4.8	26.0	9.2	21.6	11.2
16	26.0	8.2	25.8	5.6	26.8	11.0	22.4	12.6
17	25.0	5.6	25.5	4.6	25.4	11.8	23.0	11.4
18	26.2	6.8	26.5	3.0	22.6	10.0	23.6	11.8
19	25.0	6.4	25.0	4.4	25.2	5.2	26.8	11.2
20	22.4	7.4	25.5	3.6	25.6	5.8	27.8	8.8
21	23.8	6.8	26.3	3.6	25.0	7.4	28.2	9.2
22	24.6	9.2	24.2	2.2	26.4	10.0	28.4	11.4
23	23.0	7.6	25.0	2.6	26.8	7.8	25.0	12.8
24	25.6	6.8	24.8	4.4	24.8	7.6	25.4	12.4
25	25.2	9.4	24.0	3.0	25.2	6.8	25.2	10.0
26	25.2	7.0	25.6	4.4	24.8	9.8	25.4	13.2
27	24.8	7.2	26.0	4.4	26.4	8.8	24.8	11.4
28	26.0	9.8	25.2	8.0	25.2	10.0	26.8	10.0
29	21.8	9.0	25.5	10.4	26.6	11.8	27.8	9.2
30	22.2	8.4	23.6	4.6	25.6	10.8	27.8	10.0
31			24.5	3.0	24.6	12.8		

Anexo 04. Días de obtención del compost a inicio de la Fase de Maduración.

Bloque	Tratamientos				
	T₀	T₁	T₂	T₃	T₄
I	67	61	59	61	55
II	63	59	57	61	55
III	63	57	57	59	51

Anexo 05. Reporte de laboratorio, del análisis químico del compost.



MULTISERVICIOS AGROLAB

INGENIEROS TRABAJANDO POR UN AGRO SOSTENIBLE

LABORATORIO DE ANÁLISIS DE SUELOS, PLANTAS, AGUAS Y FERTILIZANTES

ASESORÍA Y CAPACITACIÓN EN:

- EVALUACIÓN Y MUESTREO DE SUELOS. - INTERPRETACIÓN DE RESULTADOS DEL ANÁLISIS AGRÍCOLA.
- USO, MANEJO Y CONSERVACIÓN DE SUELOS. - ESTUDIOS DE IMPACTO AMBIENTAL.
- AGRICULTURA SUSTENTABLE.

RESULTADOS DE ANÁLISIS DE ABONO

N° 1250011

Solicitante: Sr. Manuel De la Cruz Lizarbe

Muestra: Abono orgánico "Compost"

Departamento: Ayacucho

Provincia: Huamanga

Distrito: Ayacucho

Fecha: 13-10 -17

Nº Lab	Muestra	pH	C.E. dS/m	MO %	N (%)	P ₂ O ₅ (%)	K ₂ O (%)	Hd (%)
AAF 472	T0	9.23	5.64	33.51	1.40	0.22	2.91	3.51
AAF 473	T1	9.21	5.27	37.92	1.62	0.26	2.70	3.48
AAF 474	T2	9.18	6.49	38.20	1.60	0.25	2.77	4.21
AAF 475	T3	9.11	6.80	38.37	1.57	0.24	2.63	3.75
AAF 476	T4	9.09	5.10	40.81	1.65	0.28	2.78	4.32

Nº Lab	Muestra	CaO (%)	MgO (%)	Na (%)
AAF 472	T0	2.73	1.08	0.20
AAF 473	T1	2.39	0.97	0.18
AAF 474	T2	2.43	0.93	0.17
AAF 475	T3	2.40	1.00	0.16
AAF 476	T4	2.49	1.04	0.18



 Ph.D. MARHLENI CERDA GÓMEZ
 Responsable de Laboratorio

Anexo 06. pH del compost de cada unidad experimental.

Bloque	Tratamientos				
	T₀	T₁	T₂	T₃	T₄
I	9.00	9.05	8.94	8.83	8.86
II	9.02	9.01	8.97	8.96	8.87
III	9.06	9.00	8.95	9.01	8.87

Anexo 07. UFC por 0.2 mL de solución de compost a diferentes diluciones

Repet.	T ₀				T ₁				T ₂				T ₃				T ₄			
	Bacterias		Hongos		Bacterias		Hongos		Bacterias		Hongos		Bacterias		Hongos		Bacterias		Hongos	
	10 ⁻⁵	10 ⁻⁶	10 ⁻⁵	10 ⁻⁴	10 ⁻⁵	10 ⁻⁶	10 ⁻⁵	10 ⁻⁴	10 ⁻⁵	10 ⁻⁶	10 ⁻⁵	10 ⁻⁴	10 ⁻⁵	10 ⁻⁶	10 ⁻⁵	10 ⁻⁴	10 ⁻⁵	10 ⁻⁶	10 ⁻⁵	10 ⁻⁴
I	22	4	1	3	25	8	2	2	15	6	1	4	27	41	2	4	18	9	2	5
II	40	1	1	3	36	9	1	2	26	5	2	3	44	19	4	1	43	18	2	3
III	40	6		2	48	24	1	1	33	6		2	44	14	3	3	45	5	3	4

Anexo 08. Características del material a compostar y compost

Descripción por unidad experimental	Bloque I					Bloque II					Bloque III				
	T ₀	T ₁	T ₂	T ₃	T ₄	T ₀	T ₁	T ₂	T ₃	T ₄	T ₀	T ₁	T ₂	T ₃	T ₄
Insumos (kg)	210.30	209.70	212.60	210.20	199.00	223.70	219.00	209.70	212.00	197.00	216.70	228.30	207.30	219.00	208.00
MS Insumos (kg)	80.58	80.35	81.46	80.54	76.25	85.71	83.91	80.35	81.23	75.48	83.03	87.47	79.43	83.91	79.69
Compost obtenido (kg)	135.05	141.95	123.60	127.60	106.20	130.68	134.70	123.75	125.30	108.80	128.15	139.50	127.20	137.65	110.80
MS compost obtenido (%)	47.82	34.76	35.24	38.48	40.81	45.93	35.11	37.43	38.89	41.87	44.40	35.39	38.13	36.91	39.52
MS compost obtenido (kg)	64.58	49.34	43.56	49.10	43.34	60.02	47.29	46.32	48.73	45.55	56.90	49.37	48.50	50.81	43.79
Conversión de MS (%)	80.15	61.41	53.47	60.97	56.84	70.03	56.36	57.65	59.99	60.35	68.53	56.44	61.07	60.55	54.95

Anexo 09. Rendimiento de materia seca (g/maceta), de la planta indicadora tomate (*Lycopersicum esculentum*)

bloque	T ₀			T ₁			T ₂			T ₃			T ₄		
	I	II	III												
I	2.5109	2.5165	2.4027	2.0067	2.4115	2.0138	1.7203	1.8241	1.9025	2.1535	2.2825	2.4566	2.9085	2.4684	2.4048
II	2.3402	2.3787	2.3333	2.3394	2.0166	1.9458	1.4901	1.9656	1.9594	2.6395	2.7286	2.7071	2.3136	2.2864	2.2002
III	2.9135	2.6339	2.2056	2.3222	2.7223	2.4035	1.6901	1.8272	1.9225	2.2067	2.3078	2.4548	2.5548	2.5013	2.3208

Anexo 10. Panel fotográfico.**Foto 01.** Preparación de microorganismos eficientes locales 17/03/2017**Foto 02.** Preparación de materiales a compostar 14/06/2017



Foto 03. Instalación de las composteras 15/06/2017



Foto 04. Evaluación visual 28/07/2017



Foto 05. Recolección del compost 13/09/2017



Foto 06. Preparación de diluciones para siembra en placa 11/09/2017