

**UNIVERSIDAD NACIONAL DE SAN CRISTÓBAL
DE HUAMANGA**

FACULTAD DE CIENCIAS AGRARIAS

ESCUELA PROFESIONAL DE AGRONOMÍA



**Aditivos minerales silícicos con y sin microorganismos
eficientes, en la calidad del compost en Pampa del Arco,
Ayacucho – 2750 msnm**

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

**PRESENTADO POR:
Breiner Wilder Vargas Cortez**

Ayacucho – Perú

2019

A dios por darme la vida

*Con mucho cariño y amor, a mi madre;
Jacqueline Lindaura, Cortez Polanco.*

A mis tíos, primo y hermano

AGRADECIMIENTO

A la Universidad Nacional de San Cristóbal de Huamanga, por darme el conocimiento para mi vida profesional.

A mi asesor el Ingeniero M.Sc. Álex Lázaro Tineo Bermúdez por su apoyo y paciencia durante todo el proceso.

Al Programa de Investigación en Pastos y Ganadería, de la Universidad Nacional de San Cristóbal de Huamanga, por cederme el espacio necesario para realizar esta investigación.

ÍNDICE GENERAL

	Pág.
Dedicatoria.....	ii
Agradecimiento.....	iii
Índice general.....	iv
Índice de tablas	vi
Índice de figuras.....	vii
Índice de anexos.....	viii
Resumen.....	9
INTRODUCCIÓN	11
CAPÍTULO I:	
MARCO TEÓRICO	13
1.1. El compost.....	13
1.1.1. El compostaje.....	13
1.1.2. Fases del compostaje.....	14
1.1.3. Factores que influyen en el compostaje	16
1.1.4. Factores que influyen en la calidad del compost	21
1.1.5. Organismos asociados al compostaje.....	23
1.1.6. Química y biología del proceso de compostaje	24
1.1.7. Calidad y madurez del compost.....	25
1.2. Microorganismos eficientes	25
1.2.1. Grupo de microorganismos eficientes.....	26
1.2.2. Modo de acción de los microorganismos.....	27
1.2.3. Recuento de microorganismos	28
1.3. Zeolita	28
1.3.1. Estructura de la zeolita.....	29
1.3.2. Propiedades	30
1.3.3. Usos.....	31
1.3.4. Método de aplicación	32
1.4. Diatomita.....	32
1.4.1. Propiedades físicas y químicas de la diatomita.....	33

CAPÍTULO II:

METODOLOGÍA	35
2.1. Ubicación	35
2.2. Clima.....	35
2.3. Tratamientos y diseño experimental	36
2.4. Instalación y conducción del experimento.....	37
2.4.1. Construcción de las composteras	37
2.4.2. Obtención de EM	38
2.4.3. Características de los materiales a compostar.....	39
2.4.4. Picado de restos de cosecha de maíz.....	39
2.4.5. Preparación del compost	39
2.5. Manejo del compost.....	40
2.5.1. Volteos	40
2.5.2. Aplicación de EM en el compost	40
2.5.3. Medición de temperatura en el compost	40
2.5.4. Pesado de compost.....	40
2.5.5. Porcentaje de conversión del Compost.....	41
2.6. Análisis biológico del compost.....	41
2.7. Análisis químico del compost.....	42
2.8. Indicadores evaluados para la calidad del compost	43

CAPÍTULO III:

RESULTADOS Y DISCUSIÓN	44
3.1. Variación de la temperatura	44
3.2. Indicadores de la calidad del compost	46
3.2.1. Indicadores químicos	46
3.2.2. Indicadores biológicos	68
3.3. Conversión de compost.....	75
CONCLUSIONES	79
RECOMENDACIONES	80
REFERENCIA BIBLIOGRÁFICA	81
ANEXO	88

ÍNDICE DE TABLAS

	Pág.
Tabla 1.1. Microbiota durante las diferentes etapas del compostaje UFC/g.....	28
Tabla 1.2. Granulometría recomendados para zeolitas de acuerdo a su uso.....	32
Tabla 1.3. Propiedades físicas (% , g/cm ³ , g/100ml).....	33
Tabla 1.4. Propiedades químicas (%)......	34
Tabla 2.1. Descripción de los tratamientos.....	36
Tabla 3.1. ANAFUNVA del pH en los compost.....	46
Tabla 3.2. ANAFUNVA de la CE (dS/m) en los compost.....	50
Tabla 3.3. ANAFUNVA de la MO (%) en los compost.....	52
Tabla 3.4. ANAFUNVA del Nt (%) en los compost.....	56
Tabla 3.5. ANAFUNVA del P ₂ O ₅ (%) en los compost.....	59
Tabla 3.6. ANAFUNVA del K ₂ O (%) en los compost.....	62
Tabla 3.7. ANAFUNVA de la CIC (Cmol.kg-1) en los compost.....	65
Tabla 3.8. ANAFUNVA de la UFC de Hongos en los compost.....	68
Tabla 3.9. ANAFUNVA de la UFC de Bacterias en el compost.....	71
Tabla 3.10. ANAFUNVA del Rendimiento de MS (kg) de los compost.....	75

ÍNDICE DE FIGURAS

	Pág.
Figura 1.1. Evolución de la temperatura durante el proceso de maduración.....	16
Figura 2.1. Diagrama ombrotérmico realizado con datos meteorológicos del año 2018-SENAMHI.....	35
Figura 2.2. Asignación de las unidades experimentales.....	37
Figura 2.3. Representación de las unidades experimentales.....	38
Figura 3.1. Variación de la temperatura en los montículos con y sin EM.....	44
Figura 3.2. Curva de temperatura por tratamiento registrado en el periodo de compostaje.....	45
Figura 3.3. Prueba de Duncan del pH en los tratamientos.....	48
Figura 3.4. pH del compost según tratamientos.....	49
Figura 3.5. Prueba de Duncan de la CE (dS/m) en los tratamientos.....	51
Figura 3.6. CE del compost según tratamientos.....	52
Figura 3.7. Prueba de Duncan de la MO (%) en los tratamientos.....	54
Figura 3.8. MO del compost según tratamientos.....	55
Figura 3.9. Prueba de Duncan del N-Total (%) en los tratamientos.....	57
Figura 3.10. Nitrógeno total del compost según tratamientos.....	58
Figura 3.11. Prueba de Duncan del P ₂ O ₅ (%) en los tratamientos.....	60
Figura 3.12. Fósforo total del compost según tratamientos.....	61
Figura 3.13. Prueba de Duncan del K ₂ O (%) en los tratamientos.....	63
Figura 3.14. Potasio total del compost según tratamientos.....	64
Figura 3.15. Prueba de Duncan de la CIC (Cmol.Kg-1) en los tratamientos.....	66
Figura 3.16. CIC del compost según tratamientos.....	67
Figura 3.17. Prueba de Duncan de las UFC de Hongos en los tratamientos.....	69
Figura 3.18. UFC Hongos del compost según tratamientos.....	70
Figura 3.19. Prueba de Duncan de las UFC de Bacterias en los tratamientos.....	73
Figura 3.20. UFC Bacterias del compost según tratamientos.....	74
Figura 3.21. Prueba de Duncan del Rendimiento de MS (kg) de los tratamientos	76
Figura 3.22. Rendimiento de MS del compost según tratamientos.....	77

ÍNDICE DE ANEXO

	Pág.
Anexo 1. Datos obtenidos.....	89
Anexo 2. Panel Fotográfico.....	93

RESUMEN

La investigación se realizó con el objetivo de determinar la calidad del compost, elaborado a partir de residuos de cosecha de maíz morado (RM), estiércol de vacuno (EV), con y sin microorganismos eficientes (EM) y aditivos minerales: zeolita (Zc) y diatomita (Di). Se diseñó 24 pozas de 0.4m x 1.0m x 0.5m como unidad experimental, en los que se probaron los siguientes tratamientos: T1 (RM + EV), T2 (RM + EV + 25%Zc), T3 (RM + EV + 25%Di), T4 (RM + EV + EM), T5 (RM + EV + 25%Zc + EM) y T6 (RM + EV + 25%Di + EM). El diseño experimental fue DBCA con arreglo factorial 3A (a1: sin aditivos, a2: Zeolita (Zc), a3: Diatomita (Di)) x 2B (b1: sin EM, b2: con EM (7.5Lt/m³)) y cada tratamiento con 4 repeticiones. Una muestra del compost obtenido en cada tratamiento, se llevó al laboratorio para su respectivo análisis químico (pH, CE (dS/m), MO%, Nt%, P%, K% y CIC (Cmol.kg⁻¹)) y biológico (Bacterias (UFC) y Hongos (UFC)), sus resultados fueron sometidos a un análisis de variancia y a la prueba de significación de Duncan; para precisar la calidad del compost obtenido. Considerando sólo algunos parámetros, de los indicadores químicos; los tratamientos T2 (RM + EV + 25%Zc) y T5 (RM + EV + 25%Zc + EM) que contienen el mineral silícico zeolita; adquirieron las mejores propiedades, redujeron el pH y CE, incrementaron CIC y Nt; en los indicadores biológicos los tratamientos T1 (RM + EV) y T4 (RM + EV + EM) que no contenían ningún mineral silícico, alcanzaron la mayor población de unidades formadoras de colonias (UFC). El uso de microorganismos eficientes (EM) influyó en la descomposición de los materiales orgánicos.

Palabras clave: Aditivos minerales, microorganismos eficientes y compost.

INTRODUCCIÓN

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

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).

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).

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

El uso de minerales con alta superficie específica ha sido ensayado para reducir las pérdidas de amonio. Las zeolitas tienen una capacidad de adsorción de amonio que varía entre 6.25 a 14.15 mg de N por g (Bernal, 1993)

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

Objetivo general

Evaluar la influencia de los aditivos minerales silíceos con y sin microorganismos eficientes, en la calidad del compost en Pampa del Arco, Ayacucho - 2750 msnm.

Objetivos específicos

1. Determinar la influencia de los minerales silíceos (zeolita y diatomita), en la calidad del compost en Pampa del Arco, Ayacucho - 2750 msnm.
2. Determinar la influencia de la aplicación de microorganismos eficientes, en la calidad del compost en Pampa del Arco, Ayacucho - 2750 msnm.

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 (2003) 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. 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%.

1.1.1. 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).

1.1.2. Fases del compostaje

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

- **Fase mesófila**

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

- **Fase termófila o de higienización**

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

- **Fase de enfriamiento o mesófila II**

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

- **Fase de maduración**

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

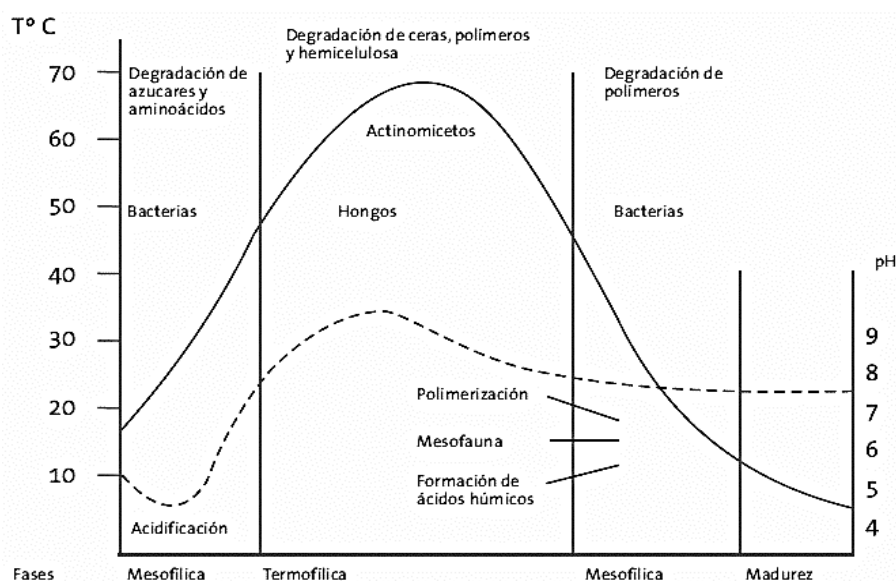


Figura 1.1. Evolución de la temperatura durante el proceso de maduración.

Fuente: Álvarez.

1.1.3. 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 (Cervantes, 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:

- **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).

- **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.

- **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 optima es de 45-55%, fuera de ese rango interfiere en una oxigenación adecuada.

- **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).

Gray y Bridgestone (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. Storino, (2016) indica que la evolución de la temperatura durante el compostaje depende de las características iniciales del residuo y de las condiciones en las que se desarrolle la actividad microbiana en la degradación de la materia orgánica, asimismo, la temperatura dependerá de la disponibilidad de oxígeno

para la respiración de los microorganismos, las propiedades físicas del residuo inicial su proporción en la mezcla inicial con residuos, la realización de volteos periódicos y el grado de humedad del material. 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 Bridgestone (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. Moreno y Moral (2008) indican que las temperaturas óptimas del proceso de compostaje se encuentran entre 45 y 59 °C y que los microorganismos tienden a degradar la materia orgánica de forma más eficiente cuando se encuentran en el límite superior de su rango de temperatura de crecimiento, siendo suficiente un límite de 60 °C para asegurar la muerte de patógenos tanto humanos como vegetales. 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. 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.

Escobar, *et al.* (2012), manifiesta que el compost con estiércol y restos de maíz en una pila de volumen de 12m³ alcanzó los 40°C al quinto día (fase mesófila), luego llegó a alcanzar la temperatura más alta 67°C (fase termófila) y luego en la etapa de enfriamiento llegó a 35°C. Cahahuanca (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.

- **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.

- **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). Tchobanoglous, *et al.* (1993), da a conocer que el valor del pH óptimo para el compostaje esta entre 6.5 y 8.0. Si el grado de descomposición no es adecuado, el pH puede caer a valores entre 4 a 5 retrasándose el proceso. Se sabe que valores de pH menores a seis retardan inicialmente la actividad del compostaje, sin embargo esto no inhibe la actividad microbiana una vez iniciado el proceso (Mirabelli, 2008). Moretti, (1986) menciona que el pH del material fermentado varia en el desarrollo del proceso así: durante los primeros días del compostaje el pH cae a 5 o menos, durante esta etapa el material orgánico se encuentra a temperatura ambiente, comienza la reproducción de microorganismos mesófilos y sube rápidamente la temperatura. Entre los productos de esta etapa inicial están los ácidos orgánicos simples que causan la caída del pH.

Después de aproximadamente tres días, la etapa llega a la temperatura termofílica y el pH debe subir de 8 a 8.5 unidades, el pH cae ligeramente durante la etapa de enfriamiento y llega a un valor entre 7 a 8 en el compost maduro; El pH final en cada uno de los tratamientos del compost estuvo en valores entre 8.45 – 9.25, más elevados del rango recomendado (6.5-8.5 según Moreno y Moral, 2008), sin embargo no existen problemas en el compostaje por pH altos (Mirabelli, 2008).

- **Oxígeno**

El compostaje es un proceso aerobio y se debe mantener una aireación adecuada para permitir la respiración de los microorganismos, liberando a su vez, dióxido de carbono (CO₂) a la atmosfera. Así mismo, la aireación evita que el material se compacte o se encharque. Las necesidades de oxígeno varían durante el proceso, alcanzando la mayor tasa de consumo durante la fase termofílica (Román *et al.*, 2013).

La saturación de oxígeno en el medio no debe bajar del 5%, siendo el nivel óptimo el 10%. Un exceso de aireación provocaría el descenso de temperatura y una mayor pérdida de la humedad por evaporación, haciendo que el proceso de descomposición se detenga por falta de agua. Las células de los microorganismos se deshidratan, algunos producen esporas y se detiene la actividad enzimática encargada de la degradación de los diferentes compuestos. Por el contrario, una baja aireación, impide la suficiente evaporación de agua, generando exceso de humedad y un ambiente de anaerobiosis. Se producen entonces malos olores y acidez por la presencia de compuestos como el ácido acético, ácido sulfhídrico (H₂S) o metano (CH₄) en exceso (Román *et al.*, 2013).

- **Dióxido de carbono**

Como en todo proceso aerobio o aeróbico, ya sea en el compostaje o aun en la respiración humana, el oxígeno sirve para transformar (oxidar) el C presente en las materias primas (substrato o alimentos) en combustible. A través del proceso de oxidación, el C se transforma en biomasa (más microorganismos) y dióxido de carbono (CO₂), o gas producido por la respiración, que es fuente de carbono para las plantas y otros organismos que hacen fotosíntesis. Sin embargo, el CO₂ también es un gas de efecto invernadero, es decir, contribuye al cambio climático (Román *et al.*, 2013).

Durante el compostaje, el CO₂ se libera por acción de la respiración de los microorganismos y, por tanto, la concentración varía con la actividad microbiana y con la materia prima utilizada como sustrato. En general, pueden generarse 2 a 3 kilos de CO₂ por cada tonelada, diariamente. El CO₂ producido durante el proceso de compostaje, en general es considerado de bajo impacto ambiental, por cuanto es capturado por las plantas para realizar fotosíntesis (Román *et al.*, 2013).

- **Conductividad eléctrica**

La conductividad eléctrica de un compost está determinada por la naturaleza y composición del material de partida, fundamentalmente por su concentración de sales y en menor grado por la presencia de iones amonio o nitrato formados durante el proceso (Sanchez *et al.* 2001). Irshad, *et al.* (2017) indica que la CE va aumentando después del compostaje de 9.6 dS/m a 10.7 dS/m en estiércol de vaca y que la CE es más alta en los abonos compostados y podrían ser atribuidos a la liberación de sales del estiércol con el paso del tiempo; Brinton, (2000) manifiesta que la salinidad mayormente se debe al sodio, potasio, cloruro, nitrato, sulfato, amonio y ácidos orgánicos volátiles presente en el compost.

1.1.4. Factores que influyen en la calidad del compost

- **Materia orgánica**

Miyashiro, (2014) señala que los valores de la materia orgánica del compost al inicio de la etapa de maduración se encuentran comprendidos en un rango de 46.9 - 49.9%, mientras que la materia orgánica presente en el compost evaluado al final de la etapa de maduración se ubica en un rango de 44 - 48.7%, en base a ello, se observa una tendencia a la disminución en el contenido de materia orgánica conforme transcurre la etapa de maduración hasta el momento de la cosecha.

Miyashiro, (2014); Lopez, (2010) y Moreno y Moral, (2008) mencionan que las dos terceras partes del carbono inicial es perdido como dióxido de carbono, mientras que una tercera parte se queda como material estructural siempre y cuando el material inicial tenga suficiente nitrógeno para el metabolismo de los microorganismos, es decir una adecuada relación C/N; La relación C/N siempre tiende a reducirse durante el compostaje debido a una mayor reducción del carbono total que del nitrógeno de la materia orgánica. La relación C/N como indicador de madurez es relativa, ya que para

materiales con carbono en formas resistentes como la lignina, la relación C/N puede llegar a valores superiores a 20, sin embargo a modo general una relación C/N de un compost maduro de buena calidad debe reducirse hasta valores menores a 20 y preferiblemente menores a 15 (Moreno y Moral, 2008). Iribarren, *et al.*, (2004) da a conocer que el proceso de compostaje tiene por objeto estabilizar y reducir la materia orgánica del material o materiales de partida y que es importante que el compost contenga un 40 - 60% en materia orgánica.

- **Nitrógeno**

Román *et al.* (2013) indica con respecto al contenido de nitrógeno total (base seca), el rango ideal al comienzo (2-3 días) de 2.5% a 3%, el rango ideal para compost en fase termofílica II (2-5 semanas) de 1% a 2% y el rango ideal de compost maduro (3-6 meses) de aproximadamente 1%; ADAN, (1999) manifiesta que los valores de nitrógeno total mínimo establecidos como parámetros de control para compost orgánico es de 1.0%; Silva, *et al.*, (2012) indica que el nitrógeno puede oscilar alrededor del 3% y es importante que no sea inferior a 0.6.

Moreno y Moral (2008) durante la amonificación, el amoníaco formado puede perderse de forma gaseosa si las temperaturas son elevadas. 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. Moreno y Moral (2008), indican que durante el compostaje es normal que aumente la concentración de nutrientes debido a la disminución de la masa total, sin embargo con el nitrógeno ocurren leves oscilaciones, dándose pérdidas de nitrógeno durante el proceso, pudiendo obtenerse en los compost finales valores similares a los de las mezclas iniciales.

- **Fósforo**

Paredes, (2012) indica 1,37% de fósforo total en compost elaborado con estiércol de ovino y rastrojo de maíz; Bohórquez, *et al.* (2014) Determinaron 2.5% de fósforo disponible; Bobadilla y Rincón (2008) manifiestan que por la concentración de Ca y Al se puede precipitar el fosfato disponible liberado por las fosfatasa, los ácidos orgánicos

producto de la degradación de la sacarosa se encargarían de la solubilización de este fósforo no disponible, y por lo tanto aunque no existe crecimiento microbiano, el fósforo disponible no disminuye en relación directa con la carga microbiana. Meléndez (2004) citado por Suaña (2013) menciona que el fósforo es liberado de la materia orgánica como consecuencia de procesos biológicos.

- **Potasio**

Paredes (2012) menciona en cuanto al contenido de potasio (K_2O), expresado en porcentaje, 4.85% en compost preparado con estiércol de ovino más rastrojo de maíz; Vázquez (2008), da a conocer que el porcentaje de potasio presente en los bioabonos como el Biol y el compost es de 1.61% y 1.47% respectivamente; French y Serrato (2007), indican 0.4% de K_2O en compost de residuos sólidos urbanos, 0.3% en compost de residuos de jardinería y 1% - 4% en compost de estiércol de aves de corral; Navia, *et al.* (2013), sugiere que el incremento en el nivel de pH ayuda a mejorar el ambiente propicio para la acción de los microorganismos encargados de la mineralización del Potasio contenido en la materia orgánica.

- **Rendimiento de materia seca**

Según INTEC (1999) citado por Córdova (2006) durante el proceso de fermentación del compost se reduce un 60% del material inicial con el que se construyó la pila; Storino (2016), indica al cabo del proceso de compostaje en composteras domésticas, el peso de los residuos iniciales se reduce un 57%; Silva, *et al.* (2012) Indica que el volumen de cada pila disminuye entre 29 y 74%, dependiendo del tipo de sustrato; Huet, *et al.* (2012) citado por Storino, (2016), menciona que parece ser probable que la menor madurez del compost y las menores reducciones en peso y volumen obtenidas pueden ser debidas a procesos de compactación de las capas más profunda de las pilas de compostaje que generaron una ralentización del proceso.

1.1.5. Organismos asociados al compostaje

Durante las etapas del compostaje diferentes tipos de organismos actúan según las condiciones. Una diversa población se desarrolla en respuesta a diferentes niveles de temperatura, humedad, oxígeno y pH dentro de la pila de compostaje (Avendaño, 2003). La descomposición inicial es llevada a cabo por microorganismos mesófilos, los cuales rápidamente actúan sobre los compuestos solubles y de fácil degradación. El calor que

producen causa que la temperatura del compost comience a aumentar rápidamente, llegando a los 40°C, lo que provoca que los microorganismos mesófilos se conviertan en menos competitivos y comiencen a actuar los termófilos, los cuales descomponen los compuestos más resistentes que poseen un mayor contenido de celulosas y hemicelulosas (Avendaño, 2003).

- **Macroorganismos**

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

- **Microorganismos**

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

1.1.6. Química y biología del proceso de compostaje

Una serie de reacciones se llevan a cabo durante el compostaje, las cuales además de liberar energía, forman una serie de intermediarios orgánicos que sirven como punto de partida de otras reacciones. Los microorganismos presentes, producen enzimas extracelulares (proteasas, amilasas, lipasas, etc.) que digieren los materiales insolubles, de manera de ser transformados a solubles, para finalmente ser utilizados al interior de la célula como nutrientes para su crecimiento (Avendaño, 2003). Según Alexander (1977), citado por Avendaño (2003), la actividad de los microorganismos comprometida en el compostaje está dirigida a la síntesis de protoplasma el cual contiene 50%C, 5%N y 0.25-1%P en base a materia seca.

1.1.7. Calidad y madurez del compost

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

INTEC (1997) citado por Avendaño (2003) menciona que si estos parámetros son bien manejados se tendrá un compost de buena calidad, con las siguientes características: Libre de contaminación, higienizado, alto potencial fitosanitario, potencial de fertilización, potencial de capacidad de retención de agua, potencial de protección de erosión, libre de malos olores y estabilidad microbiológica. El interés en los efectos ecológicos del compostaje está creciendo en la actualidad. En nuestro país aún no existen normas de calidad ni métodos disponibles para medir la toxicidad de los materiales compostados. A pesar de esto, existen requisitos internacionales de calidad que definen que el compost debe cumplir con ciertos criterios en cuanto a higiene (patógenos), grado de madurez, contenido de humedad, materia orgánica presencia de sustancias extrañas y piedras, fitoaceptabilidad, contenido de metales pesados, entre otros. Butler, *et al.*, (2001) citados por Avendaño (2003) indican que la estabilidad / madurez es un tema crítico con respecto a la aplicación del compost debido a que un compost inmaduro puede ser perjudicial para el ambiente del suelo y para la planta, ya que continua en proceso de descomposición, lo cual puede inducir a condiciones de anaerobiosis a medida que los microorganismos utilicen el oxígeno para descomponer el material del suelo.

1.2. MICROORGANISMOS EFICIENTES

En la agricultura moderna se utilizan tradicionalmente, grandes cantidades de químicos y fertilizantes, que aunque permiten el desarrollo y la producción de las plantaciones, son elementos perjudiciales a la salud del hombre y al medio ambiente. A partir de esta problemática, comienzan las investigaciones de alternativas sostenibles para incrementar la producción vegetal y animal en armonía con el ambiente; de esta manera llegan los microorganismos (Contino y Ojeda, 2006).

1.2.1. Grupo de microorganismos eficientes

- **Bacterias fototróficas**

Son bacterias autótrofas (*Rhodospseudomonas* spp) que sintetizan sustancias útiles a partir de secreciones de raíces, materia orgánica y gases dañinos, usando la luz solar y el calor del suelo como fuentes de energía. Las sustancias sintetizadas comprenden aminoácidos, ácidos nucleicos, sustancias bioactivas y azúcares, promoviendo el crecimiento y desarrollo de las plantas. Los metabolitos son absorbidos directamente por ellas, y actúan como sustrato para incrementar la población de otros Microorganismos Eficaces (Arias, 2010).

Bello (2008) citado por De La Mora, *et al.* (2016) indica bacterias mesófilas entre 1×10^8 a 1×10^{11} UFC/g y bacterias termófilas entre 1×10^4 a 1×10^7 UFC/g como los principales microorganismos encontrados en la materia orgánica. Indica también que estas bacterias son fundamentalmente organismos mineralizadores, tienen funciones específicas en los ciclos de los elementos como degradación de celulosa, almidón, lignina, fijación de nitrógeno atmosférico, proteólisis, amonificación y nitrificación. 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. Labrador (1996) menciona que las poblaciones de bacterias se condicionan en su desarrollo por la presencia de una fuente energética apropiada y disponible. 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. Según Laich (2011) las bacterias son las más numerosas en el proceso de compostaje, y constituyen entre el 80% y el 90% de los microorganismos existente en el compost, se trata de un grupo de gran diversidad metabólica, que utilizan un amplio rango de enzimas que degradan químicamente una gran variedad de compuestos orgánicos; Acuña, *et al.*, (2006) citado por Escobar (2012) indican que los valores de colonias de bacterias y actinomicetos, al final del compost, resultaron ser mayores que los hongos, posiblemente, porque son microorganismos participantes de la nitrificación y amonificación, necesaria para la biota del suelo.

- **Bacterias ácido lácticas**

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

- **Levaduras**

Estos microorganismos (*Saccharomyces* spp) sintetizan sustancias antimicrobiales y útiles para el crecimiento de las plantas a partir de aminoácidos y azúcares secretados por bacterias fototróficas, materia orgánica y raíces de las plantas. Las sustancias bioactivas, como hormonas y enzimas, producidas por las levaduras, promueven la división celular activa. Sus secreciones son sustratos útiles para Microorganismos Eficaces como bacterias ácido lácticas y actinomicetos (Arias, 2010). Según Bello (2008) citado por De La Mora, *et al.*, (2016) los hongos se encuentran en la materia orgánica entre 1×10^6 a 1×10^5 UFC; Coyne (2000) citado por Araya, *et al.*, (2014) Indica que el aprovechamiento de la materia orgánica del suelo como fuente de energía, los hongos son entre 30 a 40% más eficientes que las bacterias en términos de relación CO₂ respirado y carbono asimilado; 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. Miller (1996) citado por Pérez, *et al.*, (2010) indica que los hongos juegan un papel fundamental a lo largo del proceso de compostaje, son capaces de utilizar varias fuentes de carbono, pueden sobrevivir en condiciones extremas y participan activamente en la fase de maduración.

1.2.2. Modo de acción de los microorganismos

Los diferentes tipos de microorganismos en el EM, toman sustancias generadas por otros organismos basando en ello su funcionamiento y desarrollo. Las raíces de las plantas secretan sustancias que son utilizadas por los Microorganismos Eficaces para crecer, sintetizando aminoácidos, ácidos nucleicos, vitaminas, hormonas y otras

sustancias bioactivas. Cuando los Microorganismos Eficaces incrementan su población, como una comunidad en el medio en que se encuentran, se incrementa la actividad de los microorganismos naturales, enriqueciendo la microflora, balanceando los ecosistemas microbiales, suprimiendo microorganismos patógenos (Arias, 2010).

1.2.3. Recuento de microorganismos

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

Tabla 1.1. Microbiota durante las diferentes etapas del compostaje UFC/g.

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
<i>Actinomycetes</i>				
• Mesófilas	10 ⁴	10 ⁸	10 ⁵	14
Hongos				
• Mesófilas	10 ⁶	10 ³	10 ⁵	18
• Termófilas	10 ³	10 ⁷	10 ⁶	16

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

1.3. ZEOLITA

Las zeolitas son aluminosilicatos cristalinos hidratados, que pueden ser de origen natural o sintético. Las zeolitas naturales se formaron como resultado de las erupciones volcánicas mediante reacciones hidrotérmicas de rocas volcánicas de silicio y ricas en

álcalis. Los antecedentes geológicos sugieren que las zeolitas se generan a partir de un magma basáltico rico en SiO₂, cuando sufre una violenta caída de temperatura (Smart, 1995).

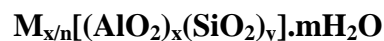
El término "zeolita" fue utilizado inicialmente para designar a una familia de minerales naturales que presentaban, como propiedades particulares, el intercambio de iones y la deshidratación reversible de agua. Esta última propiedad dio origen al nombre genérico de zeolita, el cual deriva de dos palabras griegas, zeo: que ebulle, y lithos: piedra (Giannetto, 1990).

En general, las zeolitas son aluminosilicatos cristalinos cuya estructura permite la formación de cavidades con dimensiones de 6 a 12 Å. Dentro de éstas existen posiciones que pueden ser ocupadas por iones y moléculas de agua, compensando de esta manera el exceso de carga negativa. Por otra parte, esta estructura microporosa o de cavidades, permite la transferencia de materia entre el espacio intracristalino y el medio que lo rodea. Esta transferencia está limitada por el diámetro de los poros o cavidades de la zeolita, ya que sólo podrán ingresar o salir del espacio intracristalino, aquéllas moléculas cuyas dimensiones sean inferiores a un cierto valor crítico, el cual varía de una zeolita a otra y está dado por el tamaño de poro (Arellano, 1994).

1.3.1. Estructura de la zeolita

En las zeolitas la unidad estructural básica o "unidad primaria de construcción" es la configuración tetraédrica de cuatro átomos de oxígeno alrededor de un átomo central, generalmente de Si o Al (Giannetto, 1990).

La fórmula general para la composición de la zeolita es:



Los tetraedros de SiO₂ son eléctricamente neutros, la situación de Si por Al crea un desbalance de carga y la neutralidad se consigue con iones intercambiables con H⁺, Na⁺, K⁺, NH⁺, etc.

La clasificación consiste de siete grupos; en cada grupo, las zeolitas tienen en común subunidades estructurales que cuentan con un orden específico de tetraedros. Estas

subunidades son llamadas unidades secundarias de construcción (SBU), las unidades primarias son por supuesto los tetraedros de $(\text{SiO}_4)^{4-}$ y $(\text{AlO}_4)^{5-}$ (Breck, 1974).

1.3.2. Propiedades

Las aplicaciones de las zeolitas naturales se basan en una, o más de sus propiedades químicas, que generalmente incluye el intercambio iónico, adsorción o deshidratación y rehidratación. Estas propiedades están en función de la estructura cristalina de cada especie y de su composición catiónica (Giannetto, 1990).

- **Capacidad de intercambio catiónico**

Es una de sus notables propiedades que han coadyuvado a la difusión de su empleo, oscila entre 0,55 y 3,10 meq/gr. El intercambio iónico está dado por poseer una geometría molecular bien definida, con poros generalmente llenos de agua y cuyos enlaces forman canales y cavidades que les permiten ganar y perder agua reversiblemente e intercambiar los cationes de su estructura sin que esta se altere (GM terra-Ecoterra-2001).

La zeolita en contacto con una solución residual amoniacal de la fábrica de fertilizantes nitrogenados de Cienfuegos, que se vertía y contaminaba la bahía de esta ciudad, tomo parte de ese nitrógeno, lo que disminuye el poder contaminante de ese residuo, mientras que a su vez, una vez cargada con nitrógeno, aplicada en un suelo Ferralítico Cuarácico, tanto en condiciones de maceta, como en campo, mostró ser una efectiva fuente de dicho nutriente. De esta forma, se obtienen ventajas ecológicas y económicas (Arzola, 1991; Sobrepera *et al.*, 1991, Arzola, 2000) citado por Pérez, *et al.* (2016).

La zeolita puede mezclarse con los fertilizantes minerales (como los nitrogenados y potásicos) con el propósito de mejorar sus propiedades físicas, disminuir las pérdidas de los nutrientes en el suelo, lograr un mejor aprovechamiento de los mismos por el cultivo y alcanzar gracias a ello un mayor rendimiento o menor necesidad de fertilizantes minerales, aspectos estos de importancia no solo económica, sino también ecológica. (Pérez, Rodríguez, Arzola, 2015).

La aplicación de zeolita benefició la acumulación de amonio en el suelo, como era de esperar por ser este un compuesto con carga positiva. Sorprende que se favoreciera más

la acumulación de nitrato que la de amonio, probablemente por encontrarse este anión en los canales de su estructura y limitarse por ello las pérdidas tanto por lavado, como en forma gaseosa al ser estos espacios inaccesibles para las bacterias que originan la desnitrificación. (Pérez, Rodríguez, Arzola, 2015).

- **Propiedad absorbente**

Le permite un sin número de posibilidades de uso, principalmente en la agricultura ya que al deshidratarse su volumen está constituido por un 50% de espacio poroso, lo cual le confiere una alta capacidad de absorción a baja presión. La hidratación también es una de las propiedades de gran importancia, ya que al deshidratarse estos minerales no cambian su estructura, pudiendo llenarse con líquidos o gases (GM terra-Ecoterra-2001).

1.3.3. Usos

- **Liberación lenta de fertilizantes**

La lenta liberación de fertilizantes se logra con las zeolitas como resultado de reacciones del intercambio de iones, además debido a su estructura cristalina y molecular las zeolitas son ideales para absorber nitrógeno en forma de amonio (NH_4^+) y potasio (K^+) importantes nutrientes en la planta (GM terra-Ecoterra-2001).

Durante la fertilización, la zeolita de tipo clinoptilolita absorbe el exceso de N y K liberando Ca y Mg. Cuando el N y K se agotan en la solución del suelo circundante el equilibrio se invierte y los nutrientes son liberados gradualmente, regulando así la disponibilidad de nutrientes. Las zeolitas al ser aplicadas en el suelo resisten el efecto lixiviador, durante el riego, los nutrientes son retenidos y van siendo gradualmente devueltos a la zona radicular de la planta.

Combinada con fertilizantes nitrogenados mejora la utilización del nitrógeno impide su pérdida por volatilización y lo libera según la requiera la planta. Al ser agregada con estiércol de bovinos, la zeolita enriquece este valioso abono orgánico. Sirve como vehículo de transporte y almacenamiento de herbicidas, fungicidas e insecticidas y prolonga la presencia de sus principales activos (GM terra-Ecoterra-2001).

- **Mejoramiento de los suelos**

Actúa como acondicionador de suelos erosionados, salinizados y ácidos, mejorando el pH, la avidez de la zeolita por el sodio (Na) propicia el mejoramiento de los suelos con alto contenido de sales mediante el intercambio iónico con calcio (Ca) (GM terra-Ecoterra-2001).

1.3.4. Método de aplicación

La zeolita se emplea para acondicionar y mejorar suelos áridos, su aplicación a los suelos constituye al acondicionamiento de estos y aumenta el rendimiento de las cosechas con un ahorro simultáneo en el uso de fertilizantes minerales. La aplicación de $0,5 - 2 \text{ t.ha}^{-1}$ de clinoptilotitas unido al cumplimiento de reglas agro técnicas correctas, permite obtener incrementos en la cosecha en caso del tomate hasta el 20% (GM terra-Ecoterra-2001).

Tabla 1.2. Granulometría recomendados para zeolitas de acuerdo a su uso.

Usos	Granulometría (mm)
Mejoramiento y desalinización de los suelos	0.08
Fertilizantes	0.04-0.08
Agricultura (manejo post cosecha- portador de pesticidas)	0.08-1

Fuente: (GM terra- Ecoterra.2001)

1.4. DIATOMITA

La diatomita, roca sedimentaria de origen orgánico, es una acumulación de millones de conchas microscópicas silíceas de las diatomeas, los cuales son orgánicos vegetales inferiores que pueden vivir en aguas dulces y poco profundas. La diatomita, se encuentra en capas sedimentarias de aguas dulces que están asociadas a la arcilla roja. En los periodos de formación geológica estas diatomeas, extrajeron el silicio de los de los silicatos conformantes de materiales arcillosos y de cenizas volcánicas, formando extensas capas sedimentarias (Jara 1972).

Otras propiedades de la diatomita, señalan que es friable, porosa y ligera de una densidad de 1.9 g/cm^3 , absorbe hasta 25-45% de agua, es insoluble en los ácidos inorgánicos, de plasticidad reducida, estructura microscópica, textura muy fina y de color blanco (Jara 1972).

Hall y Morrison, citados por Russell (1968) llegaron a la conclusión de que los silicatos actúan ocasionando un aumento de la asimilación del ácido fosfórico por la planta, acentuándose la acción en la planta y no en el suelo. Sin embargo, Lemmermann y Fisher, también citados por Russell (1968) demostraron que el efecto principal del silicato consistía en aumentar la cantidad de fosfatos utilizables en el suelo, siendo cualquier otro de mucha menor importancia. Algunos silicatos disminuyen la fijación, compitiendo con el fósforo por los sitios de fijación y reduciendo la actividad del Al. Esto es quizás más efectivo que la aplicación de cal, ya que es difícil reducir su pH tan fuertemente estabilizado (Martini, 1969). La aplicación de silicatos cálcicos, producen un aumento de pH en el suelo, una disminución en el Al cambiante y un aumento en el P disponible, resultado de ello, un aumento de la producción vegetal (Fassbender y Muller, 1969). En un ensayo de macetas, evaluando cinco niveles de hiperfosfatos y un tratamiento con diatomita (SiO_2), en maíz y en 2 suelos de Ayacucho; encontró un incremento en el rendimiento de materia seca de 33 y 59%, respectivamente, comparados frente al tratamiento testigo. Asimismo, se incrementó el contenido de P en la planta (Paredes, 1970). Se realiza un experimento sobre enmiendas calcáreas y silicatadas, en las que prueban la eficiencia de cinco fertilizantes en dosis crecientes, dentro de ellos, escorias de Thomas (16.1% P_2O_5 , 48.6% CaO y 6.5% SiO_2), fosfato térmico Renaria (28.8% P_2O_5 , 39.8% CaO , 9.3% SiO_2), logrando cosechas superiores al tratamiento testigo, incluso superiores al perfosfato triple de calcio (Fassbender y Molina, 1969).

1.4.1. Propiedades físicas y químicas de la diatomita

Sobre la naturaleza y propiedades de la diatomita de Ayacucho, que se va utilizar como enmienda silícica en el presente trabajo, Jara (1972) ha realizado interesantes determinaciones que se muestra:

Tabla 1.3. Propiedades físicas (% , g/cm^3 , g/100ml)

Procedencia	Granulometría (%)		Peso específico (g/cm^3)	Solubilidad (g/100ml)
	0.20 mm	0.074 mm		
Kikapata	-	100	1.95	0.022
Cañón del arco	-	100	1.88	0.020
Tambillo	-	100	1.90	0.030

Fuente: Jara (1972)

Tabla 1.4. Propiedades químicas (%)

Procedencia	SiO₂	Al₂O₃	CaO	MgO	Fe₂O₃	K₂O	Na₂O	otros
Kikapata	80	9	0.6	0.4	3.8	3.1	0.8	2.3
Cañón del arco	81	9	0.7	0.2	3.0	2.0	0.5	3.6
Tambillo	83	8	0.4	0.2	3.5	3.0	0.2	1.7

Fuente: Jara (1972)

CAPÍTULO II METODOLOGÍA

2.1. UBICACIÓN

El presente trabajo de investigación fue instalado y conducido en el Programa de Investigación en Pastos y Ganadería de la Universidad Nacional de San Cristóbal de Huamanga, La ubicación política del área experimental pertenece al departamento de Ayacucho, provincia de Huamanga y distrito de Ayacucho, asentada a una altitud de 2750 m.s.n.m. cuyas coordenadas UTM son 391553.7 (este) y 1437348.6 (norte) perteneciente a la zona 18S. Según la clasificación de Holdridge (1979), pertenece a la zona de vida estepa espinosa Montano Bajo Subtropical (ee-MBS). La investigación se realizó entre el 15 de marzo del 2018 al 15 de noviembre del 2018.

2.2. CLIMA

La ciudad de Huamanga registró según el diagrama meteorológico, una precipitación de 560.6 mm anual y una máxima mensual de 155.2 en el mes de marzo. De acuerdo a los datos correspondientes al año 2018, registró una temperatura 18.3 °C y 15.9 °C entre máxima y mínima respectivamente, tal como se muestra en la figura 2.1.

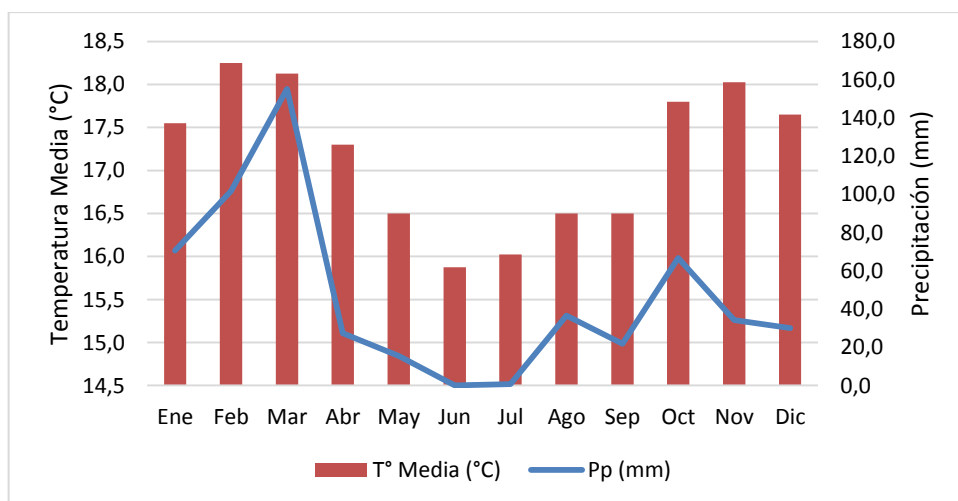


Figura 2.1. Diagrama ombrotérmico realizado con datos meteorológicos del año 2018-SENAMHI.

Fuente: Elaboración Propia.

2.3. TRATAMIENTOS Y DISEÑO EXPERIMENTAL

Los tratamientos consisten en la mezcla de restos de cosecha de maíz morado (RM), estiércol de vacuno (EV), aditivos fuentes de sílice: Zeolita (Zc) y Diatomita (Di), con y sin microorganismos eficientes (EM).

De esta forma los tratamientos (tabla 2.1) resultan de un arreglo factorial de 3A x 2B donde A se refiere a la aplicación de aditivos (a1: sin aditivo, a2: Zeolita y a3: Diatomita), y B a la aplicación de microorganismos eficientes (b1: sin EM y b2: con EM).

Tabla 2.1. Descripción de los tratamientos.

Tratamiento	Descripción
T1	RM+ EV
T2	RM+ EV+ 25% (4.5 kg) Zc
T3	RM+ EV+ 25% (4.5 kg) Di
T4	RM+ EV+ (1.5 l) EM
T5	RM+ EV+ 25% (4.5 kg) Zc + (1.5 l) EM
T6	RM+ EV+ 25% (4.5 kg) Di + (1.5 l) EM

Fuente: Elaboración propia.

Los tratamientos así establecidos se asignaron en el área experimental, de acuerdo al Diseño de Bloques Completos al Azar (DBCA), distribuidos en cuatro bloques y haciendo un total de 24 unidades experimentales.

El modelo aditivo lineal es:

$$\gamma_{ijk} = \mu + \alpha_i + \beta_j + \alpha\beta_{ij} + u_{ijk}$$

Dónde:

γ_{ij} = Respuesta de la variable o medida.

μ = Media global.

α_i = Efecto del factor 1i.

β_j = Efecto del factor 2 j.

$\alpha\beta_{ij}$ = Interacción de niveles ij

u_{ijk} = Componente aleatorio k=1

Las unidades experimentales consistieron en composteras de ladrillo, con dimensiones de 0.5 m x 1.0 m x 0.4 m; los bloques a su vez estuvieron compuestos por filas de

composteras en una orientación de norte a sur. Luego de realizada la randomización en los bloques se tuvo el siguiente orden:

Bloque - IV			Bloque - III			Bloque - II			Bloque - I		
	T5			T6			T2			T3	
	T4			T1			T4			T6	
	T1			T4			T6			T2	
	T2			T3			T5			T4	
	T3			T2			T3			T5	
	T6			T5			T1			T1	

Figura 2.2. Asignación de las unidades experimentales.

Fuente: Elaboración propia.

2.4. INSTALACIÓN Y CONDUCCIÓN DEL EXPERIMENTO

2.4.1. Construcción de las composteras

La construcción de las composteras o unidades experimentales se realizó el 20/05/18, primero se hizo la limpieza del terreno, el replanteo con cordel y wincha, con muro de ladrillo tipo sogá, con dimensiones de 0.5 m x 1.0 m x 0.4 m.

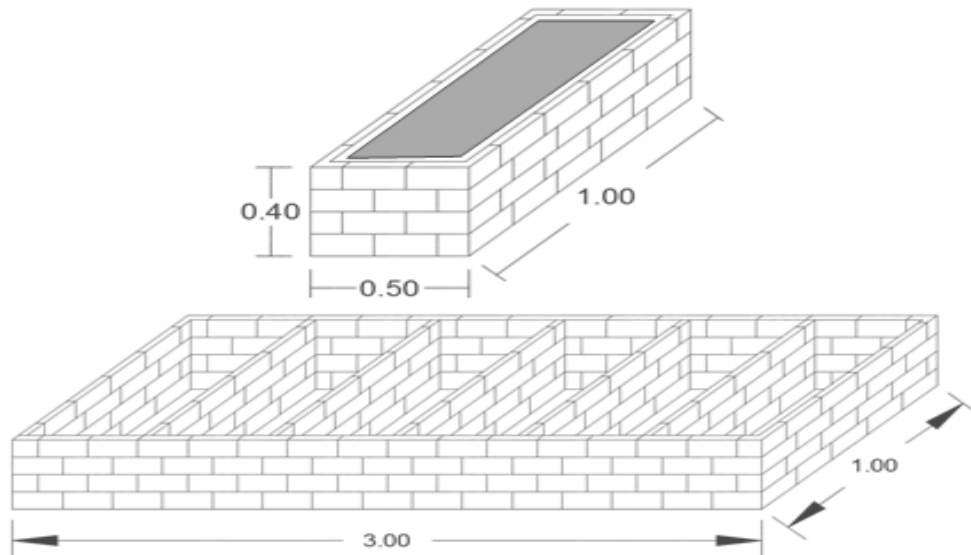


Figura 2.3. Representación de las unidades experimentales.

Fuente: Yanasupo (2018).

2.4.2. Obtención de EM

La captura de los microorganismos eficientes se realizó el 23/08/18, en el área de crianza de lombrices del Programa de Investigación en Pastos y Ganadería de la Universidad Nacional de San Cristóbal de Huamanga, utilizando trampas preparadas con envases descartables conteniendo arroz graneado sin sal, cubiertos con tela licra sujeta con una liga.

Las trampas preparadas fueron colocadas en las pozas de crianzas de lombrices y cubiertas con pencas de tuna para evitar el ingreso del agua de lluvia a las trampas. El proceso de captura tuvo una duración de cinco días, luego del cual se prosiguió con el preparado de la solución madre de los microorganismos eficientes, que consistió en recoger los envases de captura (un indicador de que está listo para la preparación de la solución madre es que se observe una variabilidad de colores en el arroz en cada trampa), se procedió a cortar la masa de arroz para luego ser licuada con 1 litro de melaza y 3 litros de agua hervida tibia, hasta que tenga una consistencia espesa.

La solución final se colocó en botellas descartables de 3 litros, cubiertas con papel periódico tanto la base como el contorno de la botella. Las botellas fueron colocadas en un ambiente oscuro, luego se procedió a eliminar el gas producido por los microorganismos durante los días siguientes. Al cabo de 8 días se obtuvo la solución madre EM.

2.4.3. Características de los materiales a compostar

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

El estiércol.- procede del Camal de Quicapata del distrito de Carmen alto, provincia de Huamanga, se adquirió un estiércol fresco directamente del rumen, proveniente de vacunos con diferente alimentación. El traslado del estiércol se realizó el 31/05/18.

Según PASOLAC (2000), la composición del estiércol de vacuno es la siguiente: 0.5% N, 0.15% P₂O₅ y 0.5% K₂O con una relación C/ N de 19.

Los rastrojos de cosecha de maíz morado (*Zea mays L.*)- Se obtuvieron del Centro Experimental de Canaán de la Universidad Nacional San Cristóbal de Huamanga. El traslado del rastrojo de maíz morado se realizó el 21/05/18.

Según Morón (2001), la composición de los restos de cosecha de maíz (caña) es la siguiente: 0.68 N, 0.25 P₂O₅ con una relación C/N de 59.6.

2.4.4. Picado de restos de cosecha de maíz

El picado de restos de cosecha de maíz morado se realizó con machete, del 23 de mayo al 5 de Junio, días antes de instalado el experimento; obteniéndose trozos de formas irregulares con tamaños entre 8 hasta 10 cm.

2.4.5. Preparación del compost

La preparación del compost se realizó el 08/06/18; previa a la instalación (un día antes) se realizó el remojo de los restos de cosecha de maíz para facilitar la mezcla con el estiércol de vacuno. Previa a la aplicación de los tratamientos, se prepararon dos pilas de compost, con capas de estiércol y rastrojos de maíz; utilizando baldes de 20 litros, el peso del estiércol fue de 15kg/balde y el rastrojos de maíz 9kg/ balde.

El 12/06/18 se mezclaron homogéneamente ambos grupos y se procedió a separar cuidadosamente en dos montículos; en uno se agregó 18l de una solución de EM, mientras que al otro montículo se agregó 18l de agua, los que se dejaron en reposo por 4 días durante los cuales se registraron las temperatura diarias.

El 15/06/18 se llevó a la estufa pesar una muestra de 100g del compost, para determinar su materia seca obteniéndose 39.91g MS. Realizando los cálculos, corresponde agregar 4.5kg de los aditivos a los tratamientos correspondientes.

Día 17/06/18, Luego del volteo correspondiente de cada uno de los grupos se procedió a cargar este material 45kg en las pozas (unidad experimental) de acuerdo a los tratamientos establecidos. A partir de este momento y cada día se midió la temperatura hasta el final del proceso de compostaje.

2.5. MANEJO DEL COMPOST

2.5.1. Volteos

Durante el proceso de compostaje, en las fechas 12/06/2018, 17/06/2018, 07/07/2018, 16/07/2018, se realizó el volteo del material a compostar. Para realizar esta actividad se utilizó el bioldo (trinche).

2.5.2. Aplicación de EM en el compost

La inoculación de EM coincidió con el primer volteo que se realizó 12/06/18; en el cual se procedió a separar en dos pilas A y B el material a compostar; donde en la pila “B” se añadió 18l de EM, este material sirvió para los tratamientos (T4, T5 y T6), y en “A” se adiciono 18l de agua y el material fue para los tratamientos (T1, T2, y T3), este proceso se realizó para homogenizar la humedad. Se empleó una regadera para esta actividad.

2.5.3. Medición de temperatura en el compost

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

2.5.4. Pesado de compost

Al finalizar el proceso de compostaje el 28/10/18, se procedió a extraer el compost de cada unidad experimental y al pesado, usando una balanza con báscula de hierro.

2.5.5. Porcentaje de conversión del Compost

La materia seca se determinó a partir de una muestra de cada unidad experimental, al final del compostaje (128 días), se obtuvo sometiendo la muestra de compost a estufa a 70°C por 48 horas, se obtuvo la materia seca luego de determinar el peso. Para hallar la conversión se tuvo que comparar el peso inicial del material a compostar, frente al peso final obtenido del producto (compost).

2.6. ANÁLISIS BIOLÓGICO DEL COMPOST

Finalizado el proceso de compostaje se realizó el análisis biológico 25 de octubre del 2018, que consiste en determinar las Unidades Formadoras de Colonias (UFC) de bacterias y hongos por gramo de muestra. Se realizó el muestreo de cada unidad experimental por tratamiento, realizando primero el volteado del compost para luego obtener la muestra, secada a estufa, tamizado y obtener 200 g por unidad experimental.

• Preparación de medio de cultivo

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

• Recuento de bacterias y hongos

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

- Se Pesó 10 g de compost y se trasvaso a un matraz con 90 ml de solución salina al 0,85% (diluyente) para luego agitar vigorosamente por dos minutos (dilución 10^{-1}).
- Con una pipeta estéril, se tomó 1 ml de la suspensión y transfirió a un tubo con 9 ml de solución salina al 0,85% (dilución 10^{-2}) y así sucesivamente hasta llegar a la dilución 10^{-6} .
- Se Transfirió alícuotas de 0.2 ml de las diluciones 10^{-6} y 10^{-5} a placas con medio Agar nutritivo y 0.2 ml de las diluciones 10^{-4} y 10^{-5} a placas con medio Agar papa dextrosa. Se utilizó dos placas para su dilución y homogeneizar.
- Se Incubo a 28°C por 48 h.
- Se Hizo el recuento de colonias en placas que contengan entre 30 - 300 colonias.
- Se expreso los resultados en UFC (unidades formadoras de colonia) por g de compost.

El número total de UFC g⁻¹ de compost se calculó de acuerdo a la siguiente fórmula:

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

Dónde:

N° UFC = Número de Unidades Formadoras de Colonias (UFC) observado en las placas.

C = Concentración de la dilución.

VI = Volumen inoculado (0.2).

2.7. ANÁLISIS QUÍMICO DEL COMPOST

Para el muestreo del compost se volteó cada unidad experimental y se sacó aproximadamente 1 kg de cada tratamiento con tres repeticiones, obteniéndose al final 18 muestras (T1, T2, T3, T4, T5 y T6) las que fueron mezcladas para obtener una muestra final de cada tratamiento, luego fueron enviadas al laboratorio de análisis de suelos y plantas para su análisis químico.

Las metodologías empleadas en el análisis químico fueron:

- El porcentaje de humedad (%H) se determinó por el método gravimétrico el mismo que consiste en obtener un peso inicial de la muestra en estado húmedo, luego se somete a estufa a 105°C por 48 horas para finalmente realizar el pesado de muestra en seco.
- El pH se determinó con el potenciómetro con una suspensión suelo: agua en relación 1 : 2.5
- La metodología para hallar la conductividad eléctrica (mS/cm) se determinó con un conductímetro, con una suspensión suelo: agua en relación 1:1
- La metodología para hallar el porcentaje de Materia orgánica (%MO) fue a través del método Walkley y Black, oxidación del carbono orgánico con dicromato de potasio, %M.O = %C x 1.724.
- La determinación del porcentaje de Nitrógeno total (%N-total) fue por el método del semi micro – Kjeldahl. Determinación de minerales: acenización por vía húmeda, ataque con HNO₃ y HClO₄ concentrado y HCl 6N.
- El contenido de fósforo (ppm P₂O₅) se determinó por el método colorimétrico, Bray Kurtz I modificado.

- El contenido de potasio (ppm K_2O) se determinó mediante el método turbimétrico, Morgan Peech, Cobalto nitrito de sodio.

2.8. INDICADORES EVALUADOS PARA LA CALIDAD DEL COMPOST

Indicadores químicos

Potencial de hidrogeno (pH)

Conductividad eléctrica (CE)

Materia orgánica (MO)

Nitrógeno total (Nt)

Fósforo (P)

Potasio (K)

Capacidad de intercambio catiónico (CIC)

Indicadores biológicos

Hongos (UFC)

Bacterias (UFC)

CAPÍTULO III

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

3.1. VARIACIÓN DE LA TEMPERATURA

Previo a la aplicación de los tratamientos, se han preparado dos pilas de compost, que a los tres días alcanzaron temperaturas de hasta 58.9°C. Luego de mezclar homogéneamente ambos montículos se procedió a separar cuidadosamente en dos grupos; a un grupo se agregó 18Lt de una solución de EM, mientras que al otro grupo se agregó 18Lt de agua, los que se dejaron en reposo por 4 días durante los cuales se representa la variación de temperatura diaria figura 3.1. Escobar, *et al.* (2012), manifiesta que el compost con estiércol y restos de maíz en una pila de volumen de 12m³ alcanzó los 40°C al quinto día (fase mesófila), luego llegó a alcanzar la temperatura más alta 67°C (fase termófila) y luego en la etapa de enfriamiento llegó a 35°C. Se determinó que la temperatura más alta es de 65.8°C se obtuvo en el grupo al cual se le inoculo EM, mientras quien obtuvo la temperatura baja 33.0°C fue el grupo al cual solo se le agrego agua.

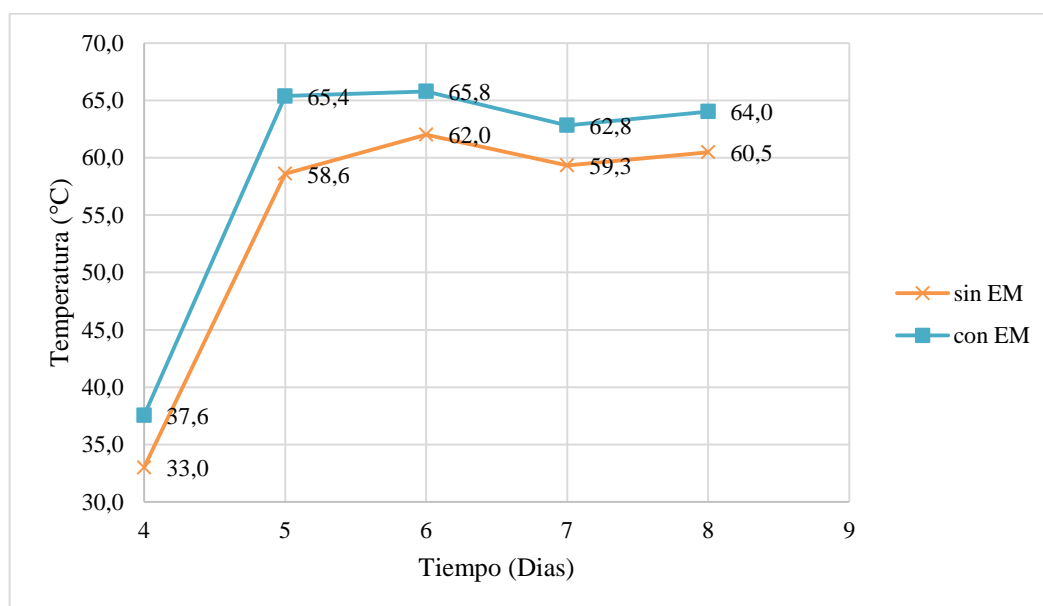


Figura 3.1. Variación de la temperatura en los montículos con y sin EM

Fuente: Elaboración propia.

Luego del volteo correspondiente de cada uno de los montículos se procedió a cargar este material en las pozas (unidad experimental) de acuerdo a los tratamientos establecidos. A partir de este momento y cada día se midió la temperatura cuyo registro se muestra en la figura 3.2.

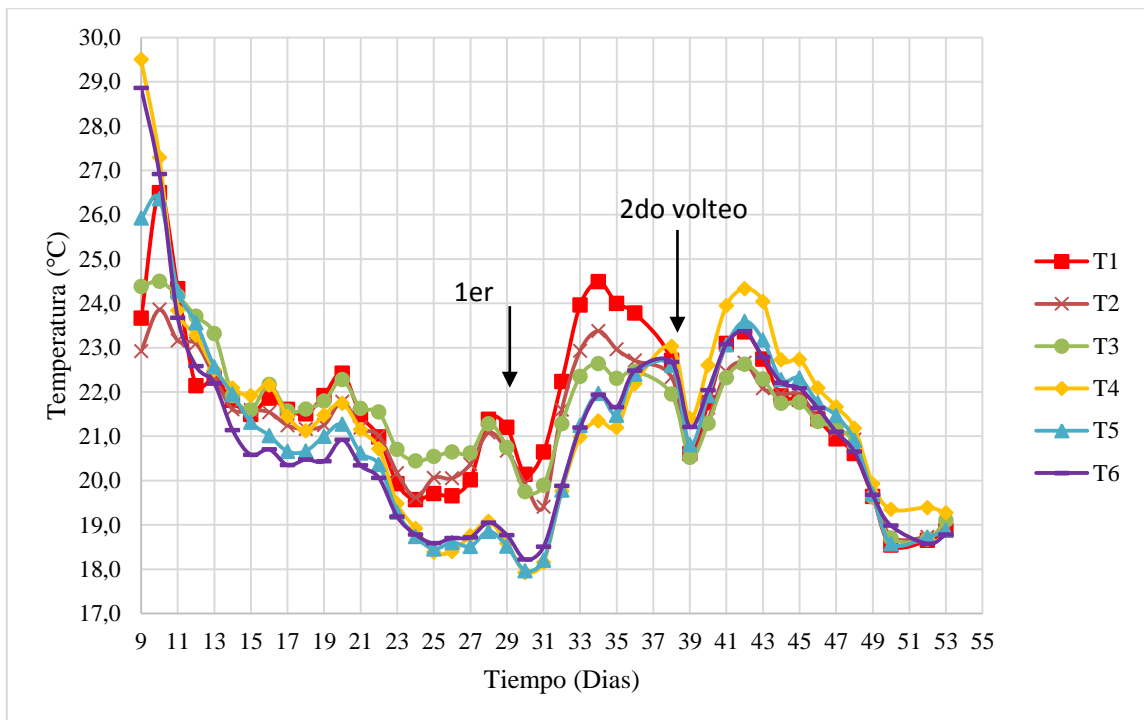


Figura 3.2. Curva de temperatura por tratamiento registrado en el periodo de compostaje.

Fuente: Elaboración propia.

Visualizando la figura 3.2, todos los tratamientos empiezan el proceso de compostaje (9 días); se visualiza que los tratamientos que contienen EM inician con las máximas temperaturas. Se distingue también una disminución de la temperatura tras cada volteo que se realiza (debido a la liberación del calor retenido), y al cabo de 1 o 2 días, nuevamente un incremento de temperaturas, (debido probablemente a que se genera un ambiente adecuado para la actividad microbiana). Al final del proceso de compostaje se registraron una menor variación de temperaturas entre 21.3°C (T1) y 20.4°C (T4).

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. Storino, (2016) indica que la evolución de la temperatura durante el compostaje depende de las características iniciales del residuo y de las condiciones en las que se desarrolle la actividad microbiana en la degradación de

la materia orgánica, asimismo, la temperatura dependerá de la disponibilidad de oxígeno para la respiración de los microorganismos, las propiedades físicas del residuo inicial su proporción en la mezcla inicial con residuos, la realización de volteos periódicos y el grado de humedad del material. Moreno y Moral (2008) indican que las temperaturas óptimas del proceso de compostaje se encuentran entre 45 y 59 °C y que los microorganismos tienden a degradar la materia orgánica de forma más eficiente cuando se encuentran en el límite superior de su rango de temperatura de crecimiento, siendo suficiente un límite de 60 °C para asegurar la muerte de patógenos tanto humanos como vegetales. 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. 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; Como se puede observar en la gráfica efectivamente, la temperatura asciende después de realizado el volteo.

3.2. INDICADORES DE LA CALIDAD DEL COMPOST

3.2.1. Indicadores químicos

- **Potencial de hidrogeno (pH)**

El ANAFUNVA del pH de los compost (tabla 3.1), muestra diferencia altamente significativa entre los tratamientos, lo que indica que la composición de los insumos (aditivos silícicos minerales y el EM) para el compost, influyen en el valor del pH. El coeficiente de variación (0.96%) indica un buen nivel de precisión en esta variable.

Tabla 3.1. ANAFUNVA del pH en los compost.

Contraste	F. Variación	GL	SC	CM	FC	Pr>F
	Bloque	2	0.09604444	0.04802222	6.54	0.0153*
	Tratamiento	5	1.27349444	0.25469889	34.69	<.0001**
C1	Entre EM	1	0.25205	0.25205	34.33	0.0002**
C2	Trat 1 VS Adit - EM	1	0.27875556	0.27875556	37.97	0.0001**
C3	Zeol VS Dit - EM	1	0.2904	0.2904	39.55	<.0001**
C4	Trat 4 VS Adit + EM	1	0.06722222	0.06722222	9.16	0.0128*
C5	Zeol VS Dit + EM	1	0.38506667	0.38506667	52.45	<.0001**
	Error	10	0.07342222	0.00734222		
	Total	17	1.44296111			

CV=0.96%

La tabla, del anexo 1.1, muestra los valores de pH de los compost, los que tienen una variación de 8.45 (con Zc, con EM) a 9.25 (sin EM, sin Aditivos) con un promedio de 8.88.

Al comparar el efecto del EM en el compost (C1), se muestra diferencia altamente significativa, indicando que el aporte de EM contribuyó reduciendo el pH del compost (8.76), puesto que la no aplicación del EM en el compost se tradujo en un pH de 9.00.

El contraste C2 consistió en comparar el tratamiento T1 (sin EM, sin Aditivos) con el promedio de los tratamientos T2 y T3 (compost sin EM con aditivos minerales silícicos: Zc y Di). Se encontró diferencia altamente significativa, correspondiendo el pH más bajo (8.88) al promedio de los tratamientos sin EM, con aditivos minerales silícicos, respecto al testigo (9.25).

La comparación entre los compost con aditivos minerales silícicos, sin EM (C3) indica diferencia altamente significativa, correspondiendo el pH más bajo al compost con zeolita (8.66) y el valor más alto al compost con diatomita (9.10).

El contraste C4, se refiere a la comparación del tratamiento T4 (con EM, sin Aditivos) con el promedio de los tratamientos T5 y T6 (compost con EM con aditivos minerales silícicos: Zc y Di). Se encontró diferencia significativa, correspondiendo el pH más bajo (8.70) al promedio de los tratamientos con EM, con aditivos minerales silícicos, respecto al testigo (8.89).

La comparación entre los compost con aditivos minerales silícicos, con EM (C5) indica diferencia altamente significativa, correspondiendo el pH más bajo (8.45) al compost con zeolita y el valor más alto (8.96) al compost con diatomita.

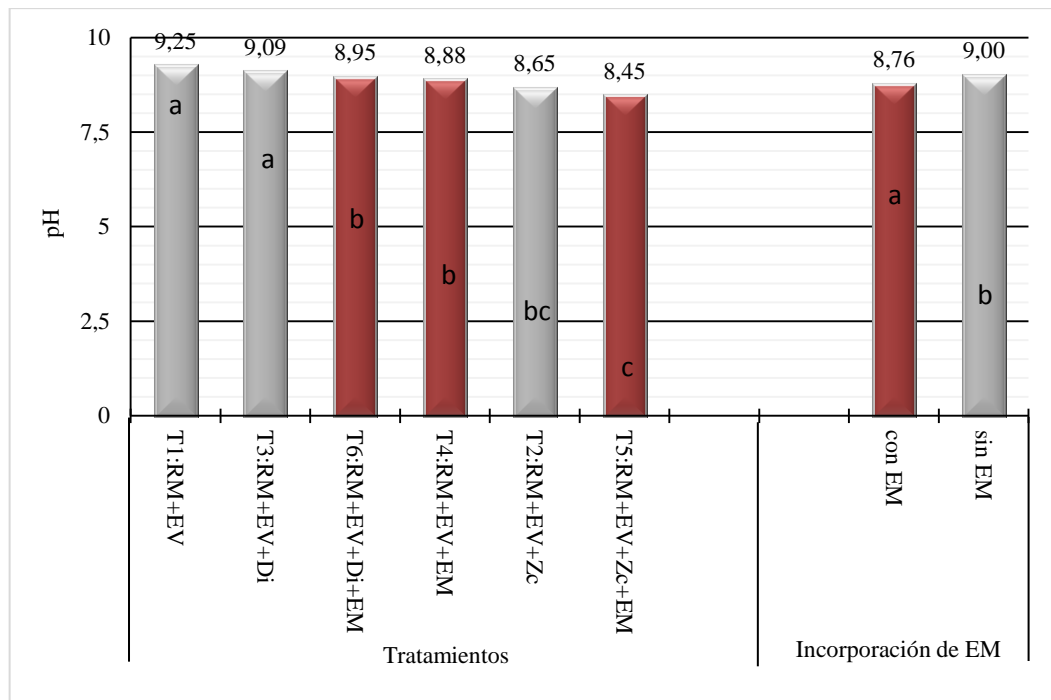


Figura 3.3. Prueba de Duncan del pH en los tratamientos

Fuente: Elaboración propia.

Al haberse encontrado diferencia altamente significativa entre los tratamientos en estudio, se realizó la prueba de Duncan (figura 3.3), donde se determinó que el pH más bajo (8.45) correspondió al tratamiento T5 (con EM, con Zc), estadísticamente inferior al resto de los tratamientos, mientras que el pH más alto (9.25) corresponde al T1 (sin EM, sin Aditivos). Por otro lado los tratamientos inoculados con EM, tuvieron mayor respuesta en la reducción del pH (8.76) en comparación a los tratamientos sin EM, cuyo pH 9.00; este resultado se interpreta de esta manera, gracias a que se considera mejor pH, el que se aproxime a la neutralidad.

Una mejor ilustración de la interpretación de los tratamientos en el pH se observa en la figura 3.4.

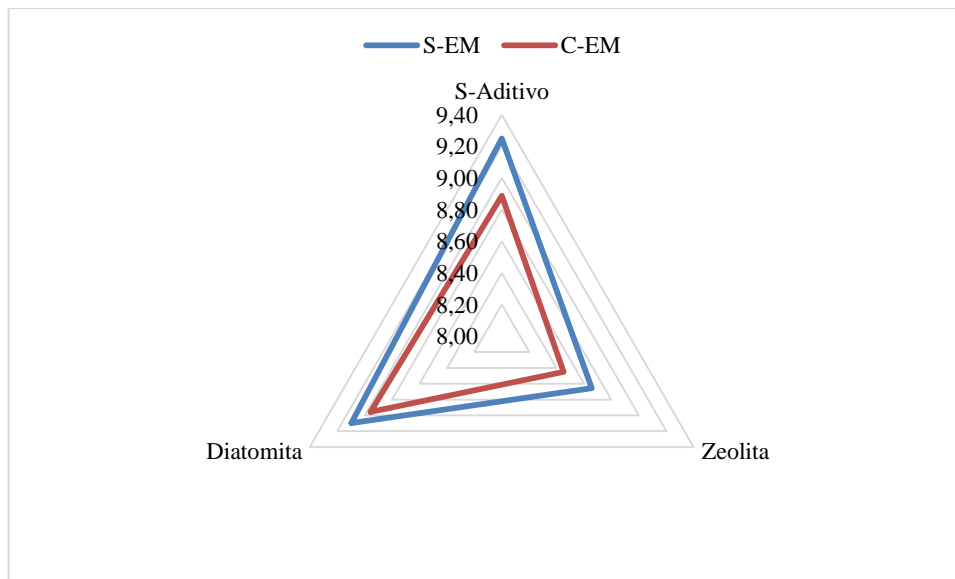


Figura 3.4. pH del compost según tratamientos.

Fuente: Elaboración propia.

El pH final en cada uno de los tratamientos del compost varió entre 8.45 y 9.25, más elevados del rango recomendado (6.5 – 8.5) según Moreno y Moral (2008); sin embargo no existen problemas en el compostaje con pH altos (Mirabelli, 2008). El pH es relativamente alto en todos los casos, correspondiendo los más bajos a los tratamientos T2 (8.66) y T5 (8.45) que contienen zeolita como aditivo mineral tanto con y sin EM. En el presente trabajo la disminución del pH del compost probablemente se debe a la acción de la zeolita como enmienda, más el uso de EM. El tratamiento con pH más bajo (8.45), cercano a la neutralidad fue T5 (con EM, con Zc). El EM reduce el pH del compost probablemente por la producción de ácidos orgánicos de los microorganismos. Y así también la zeolita por la propiedad de la capacidad de intercambio catiónico.

- **Conductividad eléctrica (CE)**

El ANAFUNVA de la CE de los compost (tabla 3.2) muestra diferencia altamente significativa entre los tratamientos lo que indica que la composición de los insumos (aditivos silícicos minerales y el EM) para el compost, influyen en el valor del CE. El coeficiente de variación (4.94%) indica un buen nivel de precisión en esta variable.

Tabla 3.2. ANAFUNVA de la CE (dS/m) en los compost.

Contraste	F. Variación	GL	SC	CM	FC	Pr>F
	Bloque	2	0.03697778	0.01848889	0.48	0.6326 ns
	Tratamiento	5	12.3490278	2.46980556	64.07	<.0001**
C1	Entre EM	1	1.32845	1.32845	34.46	0.0002**
C2	Trat 1 VS Adit - EM	1	0.01742222	0.01742222	0.45	0.5166 ns
C3	Zeol VS Dit - EM	1	0.28166667	0.28166667	7.31	0.0222*
C4	Trat 4 VS Adit + EM	1	7.93347222	7.93347222	205.8	<.0001**
C5	Zeol VS Dit + EM	1	2.78801667	2.78801667	72.32	<.0001**
	Error	10	0.38548889	0.03854889		
	Total	17	12.7714944			

CV=4.94%

La tabla, del anexo 1.2, muestra los valores de CE de los compost, los que tienen una variación de 2.9 (con EM, con Zc) a 5.57 (con EM, sin Aditivos) con una promedio de 3.97.

Al comparar el efecto del EM en el compost (C1), se muestra diferencia altamente significativa, indicando que el aporte de EM participó aumentando la CE del compost (4.24 dS/m), puesto que la no aplicación del EM en el compost se tradujo en un CE de 3.70 dS/m.

El Contraste C2 consistió en comparar el tratamiento T1 (sin EM, sin Aditivos) con el promedio de los tratamientos T2 y T3 (compost sin EM con aditivos minerales silícicos: Zc y Di). Se encontró que no presenta diferencia significativa, correspondiendo la CE más alta (3.73 dS/m) al promedio de los tratamientos sin EM, con aditivos minerales silícicos, respecto al testigo (3.64 dS/m).

La comparación entre los compost con aditivos minerales silícicos, sin EM (C3) indica diferencia significativa, correspondiendo la CE más baja al compost con zeolita (3.51 dS/m) y el valor más alto al compost con diatomita (3.95 dS/m).

El contraste C4, se refiere a la comparación del tratamiento T4 (con EM, sin Aditivos) con el promedio de los tratamientos T5 y T6 (compost con EM con aditivos minerales silícicos: Zc y Di). Se encontró diferencia altamente significativa, correspondiendo la

CE más baja (3.58 dS/m), al promedio de los tratamientos con EM, con aditivos minerales silícicos, respecto al testigo (5.57 dS/m).

La comparación entre los compost con aditivos minerales silícicos, con EM (C5) indica diferencia altamente significativa, correspondiendo la CE más baja (2.90 dS/m) al compost con zeolita y el valor más alto (4.26 dS/m) al compost con diatomita.

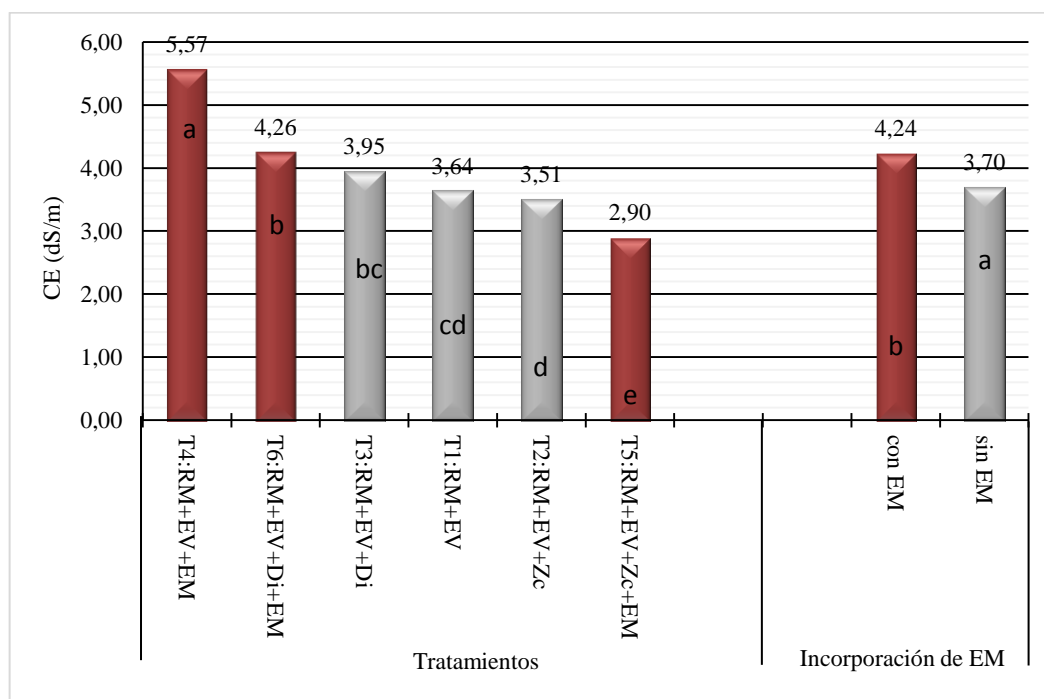


Figura 3.5. Prueba de Duncan de la CE (dS/m) en los tratamientos.

Fuente: Elaboración propia.

Al haberse encontrado diferencia altamente significativa entre los tratamientos en estudio, se realizó la prueba de Duncan (figura 3.5), donde se determinó que la CE más baja (2.90 dS/m) correspondió al tratamiento T5 (con EM, con Zc), estadísticamente inferior al resto de los tratamientos, mientras que la CE más alta (5.57 dS/m) corresponde al T4 (con EM, sin Aditivos). Por otro lado los tratamientos sin EM, tuvieron menor CE (3.70 dS/m), en comparación a los tratamientos con EM, que alcanzaron una CE de 4.24 dS/m.

Una mejor ilustración de la interpretación de los tratamientos en la CE se observa en la figura 3.6.

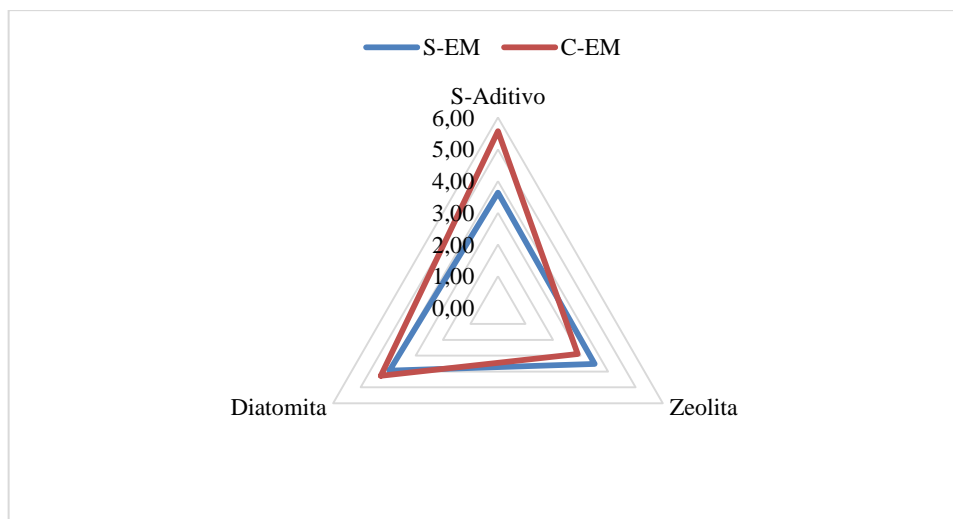


Figura 3.6. CE del compost según tratamientos.

Fuente: Elaboración propia

Se determinó el efecto del aditivo mineral silíceo, zeolita en la CE en los tratamientos T5 (con EM, con Zc) y T2 (sin EM, con Zc), reduciendo la salinidad, indicando la influencia de la zeolita probablemente debido a su alta capacidad de intercambio catiónico, su alta superficie específica para capturar iones y la absorción de agua que tiene este mineral silíceo.

- **Materia orgánica (MO)**

El ANAFUNVA de la MO de los compost (tabla 3.3) muestra diferencia altamente significativa entre los tratamientos lo que indica que la composición de los insumos (el EM y los aditivos silíceos minerales) para el compost, influyen en el valor de la MO. El coeficiente de variación (2.57%) indica un buen nivel de precisión en esta variable.

Tabla 3.3. ANAFUNVA de la MO (%) en los compost.

Contraste	F. Variación	GL	SC	CM	FC	Pr>F
Bloque		2	5.8953	2.94765	1.86	0.2057 ns
Tratamiento		5	1053.6266	210.72532	132.95	<.0001**
C1	Entre EM	1	31.0997556	31.0997556	19.62	0.0013**
C2	Trat 1 VS Adit - EM	1	148.321606	148.321606	93.58	<.0001**
C3	Zeol VS Dit - EM	1	281.94615	281.94615	177.88	<.0001**
C4	Trat 4 VS Adit + EM	1	316.177422	316.177422	199.48	<.0001**
C5	Zeol VS Dit + EM	1	276.081667	276.081667	174.18	<.0001**
Error		10	15.8501	1.58501		
Total		17	1075.372			

CV=2.57%

La tabla, del anexo 1.3, muestra los valores de la MO de los compost, los que tienen una variación de 37.91 (sin EM, con Di) a 58.65 (con EM, sin Aditivos) con un promedio de 48.95.

Al comparar el efecto del EM en el compost (C1), se muestra diferencia altamente significativa, indicando que el aporte de EM participó aumentando la MO del compost (50.27%), puesto que la no aplicación del EM en el compost se tradujo en una MO de 47.64%.

El contraste C2 consistió en comparar el tratamiento T1 (sin EM, sin Aditivos) con el promedio de los tratamientos T2 y T3 (compost sin EM con aditivos minerales silíceos: Zc y Di). Se encontró diferencia altamente significativa, correspondiendo la MO más baja (44.77%) al promedio de los tratamientos sin EM, con aditivos minerales silíceos, respecto al testigo (53.38%).

La comparación entre los compost con aditivos minerales silíceos, sin EM (C3) indica diferencia altamente significativa, correspondiendo la MO más baja al compost con diatomita (37.91%) y el valor más alto al compost con zeolita (51.62%).

El contraste C4, se refiere a la comparación del tratamiento T4 (con EM, sin Aditivos) con el promedio de los tratamientos T5 y T6 (compost con EM con aditivos minerales silíceos: Zc y Di). Se encontró diferencia altamente significativa, correspondiendo la MO más baja (46.08%) al promedio de los tratamientos con EM, con aditivos minerales silíceos, respecto al testigo (58.65%).

La comparación entre los compost con aditivos minerales silíceos, con EM (C5) indica diferencia altamente significativa, correspondiendo la MO más baja (39.29%) al compost con diatomita y el valor más alto (52.86%) al compost con zeolita.

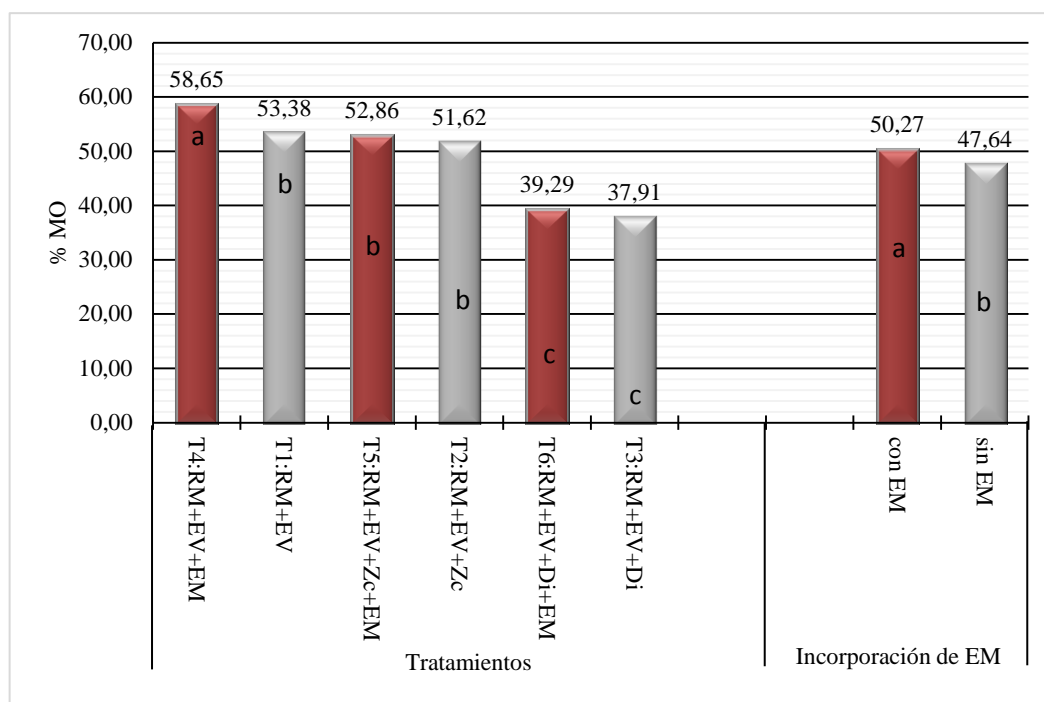


Figura 3.7. Prueba de Duncan de la MO (%) en los tratamientos.

Fuente: Elaboración propia.

Al haberse encontrado diferencia altamente significativa entre los tratamiento en estudio, se realizó la prueba de Duncan (figura 3.7), donde se determinó que la MO con el valor más alto (58.65%) correspondió al tratamiento T4 (con EM, sin Aditivos), estadísticamente superior al resto de los tratamientos, mientras que la MO más baja (37.91%) corresponde al T3 (sin EM, con Di). Por otro lado los tratamientos inoculados con EM, resultaron con un mayor contenido de MO (50.27%); en comparación a los tratamientos sin EM, que alcanzaron una MO de 47.64%.

Una mejor ilustración de la interpretación de los tratamientos de la MO se observa en la figura 3.8.

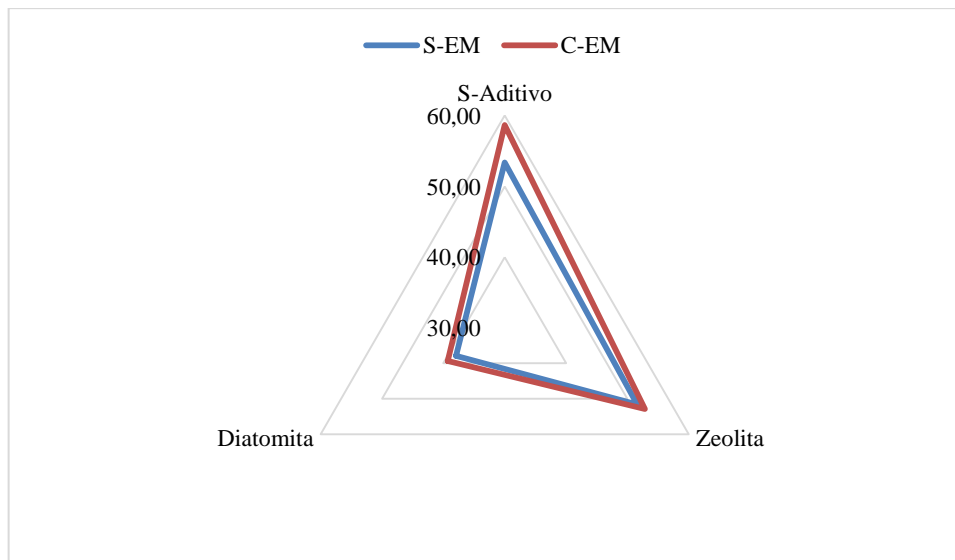


Figura 3.8. MO del compost según tratamientos.

Fuente: Elaboración propia

Miyashiro, (2014) señala que los valores de la materia orgánica del compost al inicio de la etapa de maduración se encuentran comprendidos en un rango de 46.9 - 49.9%, mientras que la materia orgánica presente en el compost evaluado al final de la etapa de maduración se ubica en un rango de 44 - 48.7%, en base a ello, se observa una tendencia a la disminución en el contenido de materia orgánica conforme transcurre la etapa de maduración hasta el momento de la cosecha; Los valores obtenidos en el análisis químico del compost maduro, obtuvimos valores más altos (58.65%) y bajos (37.91%) al promedio referido por Miyashiro, (2014).

Iribarren, *et al.*, (2004) da a conocer que el proceso de compostaje tiene por objeto estabilizar y reducir la materia orgánica del material o materiales de partida y que es importante que el compost contenga un 40 - 60% en materia orgánica. El carbono orgánico se redujo hasta el final del proceso debido a la reducción de la biomasa por descomposición microbiana liberándose el dióxido de carbono, se observa una tendencia a la disminución en el contenido de materia orgánica conforme transcurre la etapa de maduración hasta el momento de la cosecha. La relación C/N siempre tiende a reducirse durante el compostaje debido a una mayor reducción del carbono total que el nitrógeno de la MO. Los tratamientos con enmiendas minerales no aportan carbono, dando como resultado MO en menor porcentaje. Por lo contrario en los tratamientos T4 y T1 aumentaron los valores de la MO del compost probablemente se deben a la mayor cantidad de materia orgánica humificada. Se puede afirmar que el contenido de materia

orgánica es mayor en los compost sin aditivos: T4 (con EM, sin Aditivos) y T1 (sin EM, sin Aditivos).

- **Nitrógeno total (Nt)**

El ANAFUNVA del Nt de los compost (tabla 3.4) muestra diferencia altamente significativa entre los tratamientos lo que indica que la composición de los insumos (el EM y los aditivos silícicos minerales) para el compost, influyen en el valor del Nt. El coeficiente de variación (2.81%) indica un buen nivel de precisión en esta variable.

Tabla 3.4. ANAFUNVA del Nt (%) en los compost.

Contraste	F. Variación	GL	SC	CM	FC	Pr>F
	Bloque	2	0.01204444	0.00602222	1.67	0.2364 ns
	Tratamiento	5	0.25382778	0.05076556	14.09	0.0003**
C1	Entre EM	1	0.00680556	0.00680556	1.89	0.1993 ns
C2	Trat 1 VS Adit - EM	1	0.18	0.18	49.97	<.0001**
C3	Zeol VS Dit - EM	1	0.0216	0.0216	6	0.0343*
C4	Trat 4 VS Adit + EM	1	0.02135556	0.02135556	5.93	0.0352*
C5	Zeol VS Dit + EM	1	0.02406667	0.02406667	6.68	0.0272*
	Error	10	0.03602222	0.00360222		
	Total	17	0.30189444			

CV=2.81%

La tabla, del anexo 1.4, muestra los valores de la Nt de los compost, los que tienen una variación de 1.92 (sin EM, sin Aditivos) a 2.28 (sin EM, con ZC) con una promedio de 2.14.

Al comparar el efecto del EM en el compost (C1), no se muestra diferencia significativa, indicando que el aporte de EM participó aumentando el Nt del compost (2.16%), puesto que la no aplicación del EM en el compost se tradujo en un Nt de 2.12%.

El contraste C2 consistió en comparar el tratamiento T1 (sin EM, sin Aditivos) con el promedio de los tratamientos T2 y T3 (compost sin EM con aditivos minerales silícicos: Zc y Di). Se encontró diferencia altamente significativa, correspondiendo el Nt más alto (2.22%) al promedio de los tratamientos sin EM, con aditivos minerales silícicos, respecto al testigo (1.92%).

La comparación entre los compost con aditivos minerales silícicos, sin EM (C3) indica diferencia significativa, correspondiendo al Nt más bajo al compost con diatomita (2.16%) y el valor más alto al compost con zeolita (2.28%).

El contraste C4, se refiere a la comparación del tratamiento (con EM, sin Aditivos) con el promedio de los tratamientos T5 y T6 (compost con EM con aditivos minerales silícicos: Zc y Di). Se encontró diferencia significativa, correspondiendo al Nt más alto (2.19%) al promedio de los tratamientos con EM, con aditivos minerales silícicos, respecto al testigo (2.09%).

La comparación entre los compost con aditivos minerales silícicos, con EM (C5) indica diferencia significativa, correspondiendo al Nt más bajo (2.13%) al compost con diatomita y el valor más alto (2.26%) al compost con zeolita.

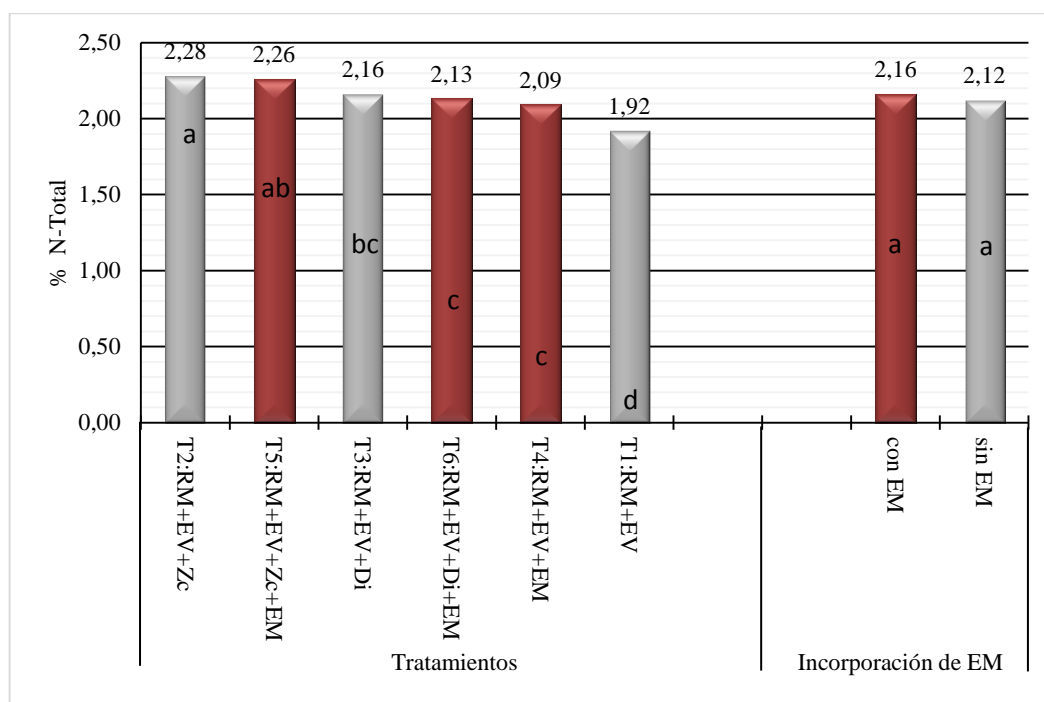


Figura 3.9. Prueba de Duncan del N-Total (%) en los tratamientos.

Fuente: Elaboración propia.

Al haberse encontrado diferencia altamente significativa entre los tratamiento en estudio, se realizó la prueba de Duncan (figura 3.9), donde se determinó que el Nt más alto (2.28%) correspondió al tratamiento T2 (sin EM, con Zc), estadísticamente superior al resto de los tratamientos, mientras que el Nt más bajo (1.92%) corresponde al T1 (sin

EM, sin Aditivos). Por otro lado los tratamientos inoculados con EM, tuvieron mayor Nt (2.16%); en comparación a los tratamientos sin EM, que alcanzaron un Nt de 2.12%.

Una mejor ilustración de la interpretación de los tratamientos del Nt se observa en la figura 3.10.

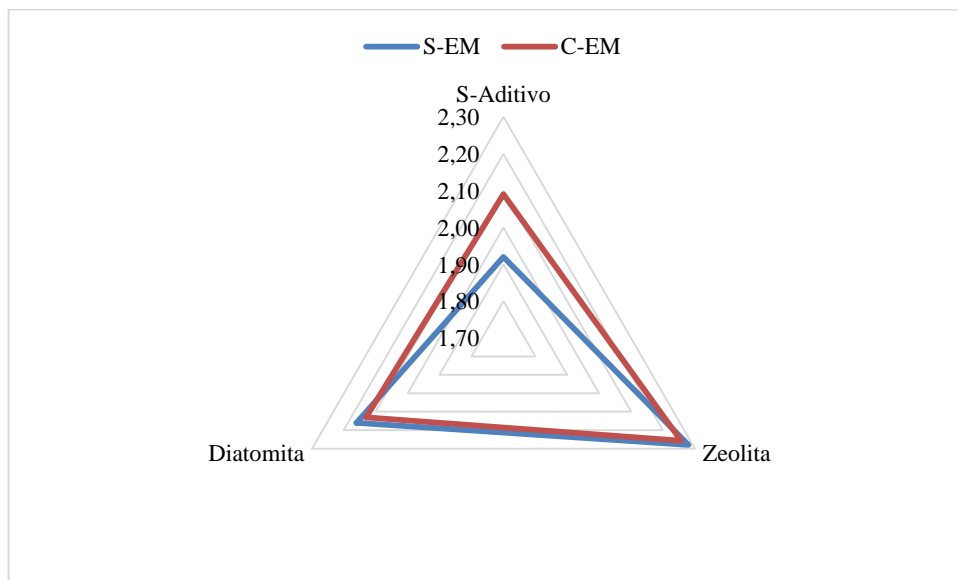


Figura 3.10. Nitrógeno total del compost según tratamientos.

Fuente: Elaboración propia.

ADAN, (1999) manifiesta que los valores de nitrógeno total mínimo establecidos como parámetros de control para compost orgánico es de 1.0%; Silva, *et al.*, (2012) indica que el nitrógeno puede oscilar alrededor del 3% y es importante que no sea inferior a 0.6; en todos los tratamientos de la investigación ningún valor de nitrógeno está por debajo de 0.6% ni sobrepasan el 3%. Moreno y Moral (2008) durante la amonificación, el amoniaco formado puede perderse de forma gaseosa si las temperaturas son elevadas. Moreno y Moral (2008) indican que durante el compostaje es normal que aumente la concentración de nutrientes debido a la disminución de la masa total, sin embargo con el nitrógeno ocurren leves oscilaciones, dándose pérdidas de nitrógeno durante el proceso, pudiendo obtenerse en los compost finales valores similares a los de las mezclas iniciales. El uso de EM en el proceso de compostaje el presente trabajo, dio como resultado un incremento del nitrógeno, puede deberse a la gran pérdida de biomasa inicial debido a la descomposición, lo cual condujo a un rápido aumento de la concentración del nitrógeno del compost. Esto revela que la pérdida de biomasa sucede

mucho más rápido que la pérdida de nitrógeno, lo cual explica el aumento en la concentración de nitrógeno durante el proceso. El tratamiento T2 (sin EM, con Zc) muestra la mayor concentración de nitrógeno en el compostaje, como se esperaba la zeolita permitió conservar más nitrógeno.

- **Fósforo (P)**

El ANAFUNVA del P total de los compost (tabla 3.5) muestra diferencia altamente significativa entre los tratamientos lo que indica que la composición de los insumos (el EM y los aditivos silícicos minerales) para el compost, influyen en el valor del P total. El coeficiente de variación (2.36%) indica un buen nivel de precisión en esta variable.

Tabla 3.5. ANAFUNVA del P₂O₅ (%) en los compost.

Contraste	F. Variación	GL	SC	CM	FC	Pr>F
	Bloque	2	0.09551111	0.04775556	7.56	0.01*
	Tratamiento	5	5.87756111	1.17551222	186.13	<.0001**
C1	Entre EM	1	0.00200556	0.00200556	0.32	0.5855 ns
C2	Trat 1 VS Adit - EM	1	2.92013889	2.92013889	462.37	<.0001**
C3	Zeol VS Dit - EM	1	0.07935	0.07935	12.56	0.0053**
C4	Trat 4 VS Adit + EM	1	2.7848	2.7848	440.94	<.0001**
C5	Zeol VS Dit + EM	1	0.09126667	0.09126667	14.45	0.0035**
	Error	10	0.06315556	0.00631556		
	Total	17	6.03622778			

CV=2.36%

La tabla, del anexo 1.5, muestra los valores del P total de los compost, los que tienen una variación de 2.85 (con EM, con Di) a 4.19 (sin EM, sin Aditivos) con un promedio de 3.37.

Al comparar el efecto del EM en el compost (C1), no se muestra diferencia significativa, indicando que el aporte de EM no participó aumentando el P total del compost (3.36%), puesto que la no aplicación del EM en el compost se tradujo en un P total de 3.38%.

El contraste C2 consistió en comparar el tratamiento T1 (sin EM, sin Aditivos) con el promedio de los tratamientos T2 y T3 (compost sin EM con aditivos minerales silícicos: Zc y Di). Se encontró diferencia altamente significativa, correspondiendo el P total más

bajo (2.98%) al promedio de los tratamientos sin EM, con aditivos minerales silícicos, respecto al testigo (4.19%).

La comparación entre los compost con aditivos minerales silícicos, sin EM (C3) indica diferencia altamente significativa, correspondiendo al P total más bajo al compost con diatomita (2.87%) y el valor más alto al compost con zeolita (3.10%).

El contraste C4, se refiere a la comparación del tratamiento T4 (con EM, sin Aditivos) con el promedio de los tratamientos T5 y T6 (compost con EM con aditivos minerales silícicos: Zc y Di). Se encontró diferencia altamente significativa, correspondiendo el P total más bajo (2.97%) al promedio de los tratamientos con EM, con aditivos minerales silícicos, respecto al testigo (4.15%).

La comparación entre los compost con aditivos minerales silícicos, con EM (C5) indica diferencia altamente significativa, correspondiendo al P total más bajo (2.85%) al compost con diatomita y el valor más alto (3.09%) al compost con zeolita.

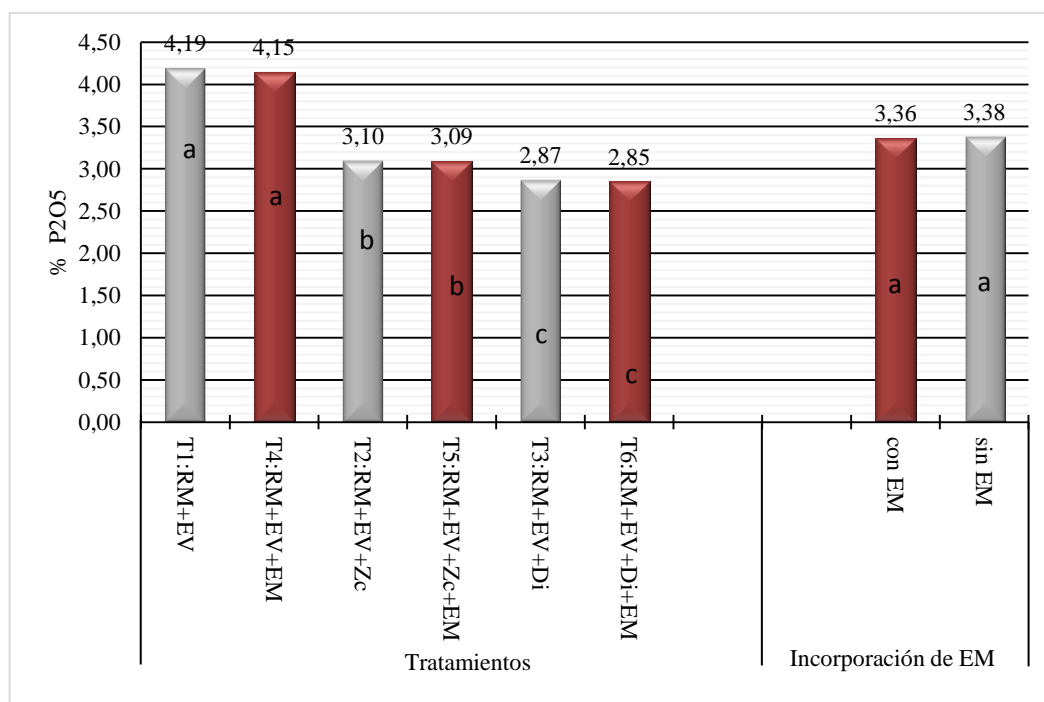


Figura 3.11. Prueba de Duncan del P₂O₅ (%) en los tratamientos.

Fuente: Elaboración propia.

Al haberse encontrado diferencia altamente significativa entre los tratamientos en estudio, se realizó la prueba de Duncan (figura 3.11), donde se determinó que el P total más alto (4.19%) correspondió al tratamiento T1 (sin EM, sin Aditivos), estadísticamente superior al resto de los tratamientos, mientras que el P total más bajo (2.85%) corresponde al T6 (con EM, con Di). Por otro lado tratamientos inoculados con EM, tuvieron menor P total (3.36%); en comparación a los tratamientos sin EM, que alcanzaron un P total de 3.38%.

Una mejor ilustración de la interpretación de los tratamientos del P total se observa en la figura 3.12.

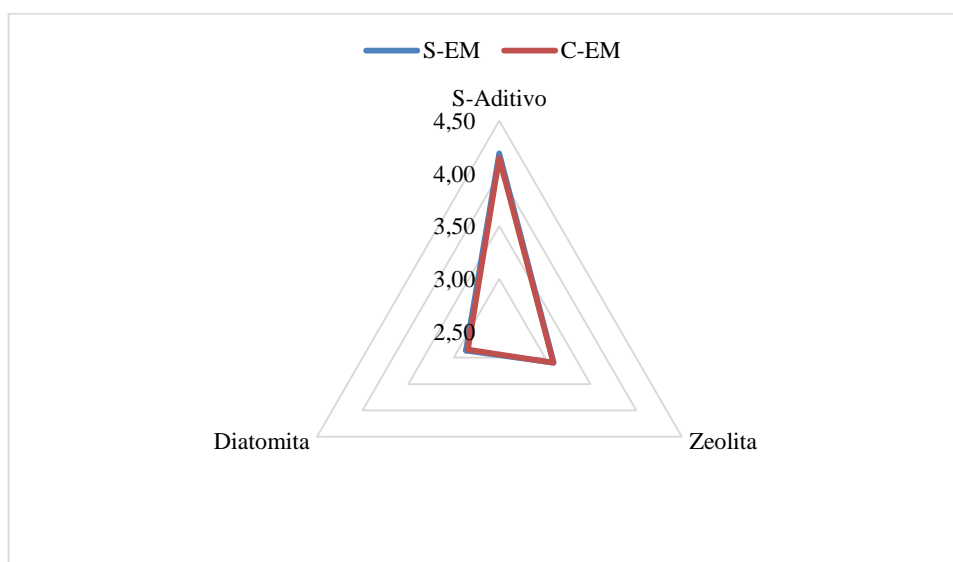


Figura 3.12. Fósforo total del compost según tratamientos.

Fuente: Elaboración propia.

Bohórquez, *et al.* (2014) determinaron 2.5% de fósforo disponible; Bobadilla y Rincón (2008) manifiestan que por la concentración de Ca y Al se puede precipitar el fosfato disponible liberado por las fosfatasas, los ácidos orgánicos producto de la degradación de la sacarosa se encargarían de la solubilización de este fósforo no disponible, y por lo tanto aunque no existe crecimiento microbiano, el fósforo disponible no disminuye en relación directa con la carga microbiana. Meléndez (2004) citado por Suaña (2013) menciona que el fosforo es liberado de la materia orgánica como consecuencia de procesos biológicos. Con los resultados obtenidos el empleo de los aditivos minerales silícicos tanto la zeolita como la diatomita no influenció en el contenido de fosforo, por lo contrario quienes presentan la mayor cantidad de fosforo son los tratamientos T1 y

T4 quienes (sin EM, sin Aditivos), (con EM, sin Aditivos) respectivamente. Esto se da probablemente a que actuaron eficientemente los EM, en la descomposición y mineralización de los materiales a compostar, así liberar nutrientes.

- **Potasio (K)**

El ANAFUNVA del K total de los compost (tabla 3.6) muestra diferencia altamente significativa entre los tratamientos lo que indica que la composición de los insumos (el EM y los aditivos silícicos minerales) para el compost, influyen en el valor del K total. El coeficiente de variación (4.93%) indica un buen nivel de precisión en esta variable.

Tabla 3.6. ANAFUNVA del K₂O (%) en los compost.

Contraste	F. Variación	GL	SC	CM	FC	Pr>F
	Bloque	2	0.03854444	0.01927222	3.88	0.0566 ns
	Tratamiento	5	1.79849444	0.35969889	72.44	<.0001**
C1	Entre EM	1	0.41405	0.41405	83.38	<.0001**
C2	Trat 1 VS Adit - EM	1	0.10888889	0.10888889	21.93	0.0009**
C3	Zeol VS Dit - EM	1	0.03526667	0.03526667	7.1	0.0237*
C4	Trat 4 VS Adit + EM	1	1.22722222	1.22722222	247.15	<.0001**
C5	Zeol VS Dit + EM	1	0.01306667	0.01306667	2.63	0.1358 ns
	Error	10	0.04965556	0.00496556		
	Total	17	1.88669444			

CV=4.93%

La tabla, del anexo 1.6, muestra los valores de la K total de los compost, los que tienen una variación de 1.12 (sin EM, con Di) a 2.10 (con EM, sin Aditivos) con una promedio de 1.43.

Al comparar el efecto del EM en el compost (C1), se muestra diferencia altamente significativa, indicando que el aporte de EM participó aumentando el K total del compost (1.58%), puesto que la no aplicación del EM en el compost se tradujo en un K total de 1.28%.

El contraste C2 consistió en comparar el tratamiento T1 (sin EM, sin Aditivos) con el promedio de los tratamientos T2 y T3 (compost sin EM con aditivos minerales silícicos: Zc y Di). Se encontró diferencia altamente significativa, correspondiendo el K total más

bajo (1.20%) al promedio de los tratamientos sin EM, con aditivos minerales silícicos, respecto al testigo (1.43%).

La comparación entre los compost con aditivos minerales silícicos, sin EM (C3) indica diferencia significativa, correspondiendo al K total más bajo al compost con diatomita (1.12%) y el valor más alto al compost con zeolita (1.28%).

El contraste C4, se refiere a la comparación del tratamiento T4 (con EM, sin Aditivos) con el promedio de los tratamientos T5 y T6 (compost con EM con aditivos minerales silícicos: Zc y Di). Se encontró diferencia altamente significativa, correspondiendo el K total más bajo (1.32%) al promedio de los tratamientos con EM, con aditivos minerales silícicos, respecto al testigo (2.10%).

La comparación entre los compost con aditivos minerales silícicos, con EM (C5) indica que no hay diferencia significativa, correspondiendo al K total más bajo (1.27%) al compost con diatomita y el valor más alto (1.37%) al compost con zeolita.

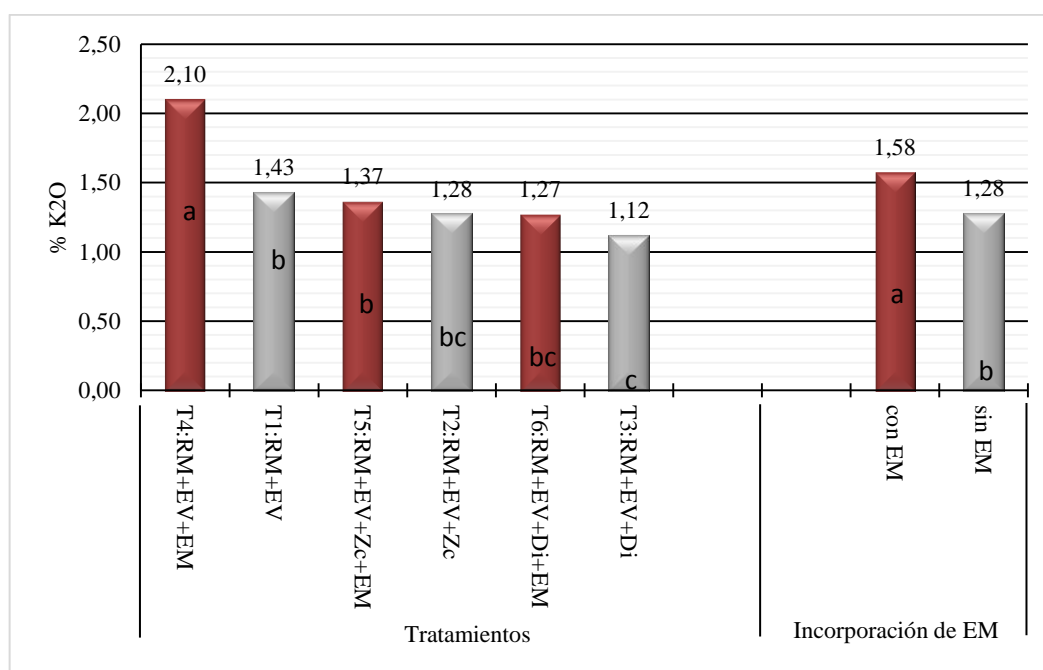


Figura 3.13. Prueba de Duncan del K₂O (%) en los tratamientos.

Fuente: Elaboración propia.

Al haberse encontrado diferencia altamente significativa entre los tratamiento en estudio, se realizó la prueba Duncan (figura 3.13), donde se determinó que el K total

más alto (2.10%) correspondió al tratamiento T4 (con EM, sin Aditivos), estadísticamente superior al resto de los tratamientos, mientras que el K total más bajo (1.12%) corresponde al T3 (sin EM, con Di). Por otro lado los tratamientos inoculados con EM, tuvieron mayor K total (1.58%); en comparación a los tratamientos sin EM, que alcanzaron K total de 1.28%.

Una mejor ilustración de la interpretación de los tratamientos del K total se observa en la figura 3.14.

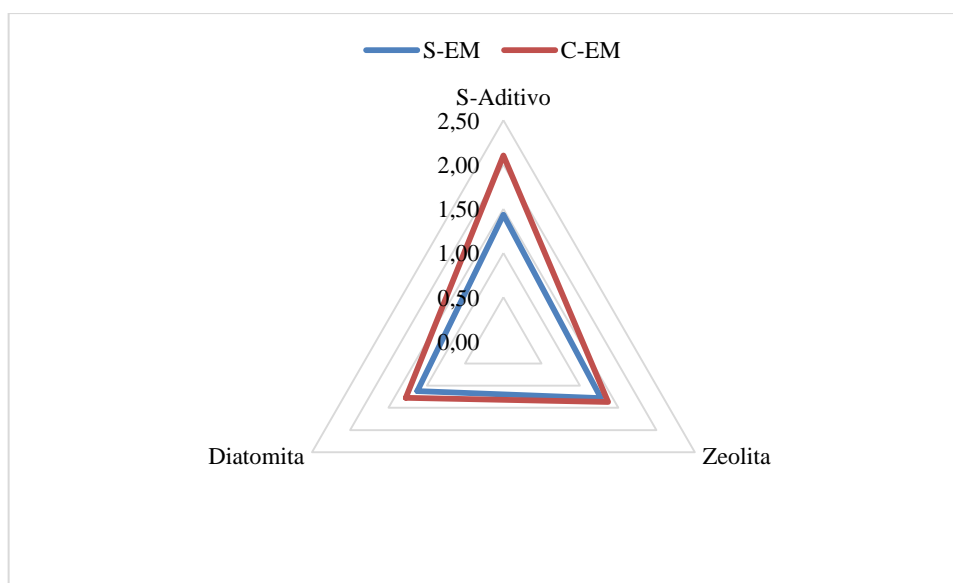


Figura 3.14. Potasio total del compost según tratamientos.

Fuente: Elaboración propia.

Vázquez (2008) da a conocer que el porcentaje de potasio presente en los bioabonos como el Biol y el compost es de 1.61% y 1.47% respectivamente; solo el tratamiento T4 (con EM, sin Aditivos) obtuvo un promedio superior (2.10% K_2O) a lo mencionado por, Vásques. Navia, *et al.* (2013) sugiere que el incremento en el nivel de pH ayuda a mejorar el ambiente propicio para la acción de los microorganismos encargados de la mineralización del Potasio contenido en la materia orgánica. La aplicación de EM mejoró levemente el contenido de potasio en los tratamientos inoculados, en comparación a los tratamientos no inoculados con EM, se obtuvo valores por encima del promedio casi en todos los tratamientos; probablemente se puede dar al pH alcalino que presentaron todos los tratamientos esto ayudo al desarrollo de microorganismo como las bacterias que son agentes mineralizadores que prosperan en rangos de pH

altos y otros factores como puede ser los materiales minerales silícicos utilizados en esta investigación.

- **Capacidad de intercambio catiónico (CIC)**

El ANAFUNVA de la CIC de los compost (tabla 3.7) muestra diferencia altamente significativa entre los tratamientos lo que indica que la composición de los insumos (el EM y los aditivos silícicos minerales) para el compost, influyen en el valor de la CIC. El coeficiente de variación (4.23%) indica un buen nivel de precisión en esta variable.

Tabla 3.7. ANAFUNVA de la CIC (Cmol.kg^{-1}) en los compost.

Contraste	F. Variación	GL	SC	CM	FC	Pr>F
	Bloque	2	12.688344	6.344172	0.81	0.4705 ns
	Tratamiento	5	1122.95556	224.591112	28.81	<.0001**
C1	Entre EM	1	569.081339	569.081339	73.01	<.0001**
C2	Trat 1 VS Adit - EM	1	87.2960889	87.2960889	11.2	0.0074**
C3	Zeol VS Dit - EM	1	20.4610667	20.4610667	2.62	0.1363 ns
C4	Trat 4 VS Adit + EM	1	316.0098	316.0098	40.54	<.0001**
C5	Zeol VS Dit + EM	1	130.107267	130.107267	16.69	0.0022**
	Error	10	77.948722	7.794872		
	Total	17	1213.59263			

CV=4.23%

La tabla, del anexo 1.7, muestra los valores de la CIC de los compost, los que tienen una variación de 56.01 (sin EM, sin Aditivos) a 80.50 (con EM, con Zc) con una promedio de 66.03.

Al comparar el efecto del EM en el compost (C1), se muestra diferencia altamente significativa, indicando que el aporte de EM participó aumentando la CIC del compost ($71.66 \text{ Cmol.kg}^{-1}$), puesto que la no aplicación del EM en el compost se tradujo en una CIC de $60.41 \text{ Cmol.kg}^{-1}$.

El contraste C2 consistió en comparar el tratamiento T1 (sin EM, sin Aditivos) con el promedio de los tratamientos T2 y T3 (compost sin EM con aditivos minerales silícicos: Zc y Di). Se encontró diferencia altamente significativa, correspondiendo la CIC más alta ($62.61 \text{ Cmol.kg}^{-1}$) al promedio de los tratamientos sin EM, con aditivos minerales silícicos, respecto al testigo ($56.01 \text{ Cmol.kg}^{-1}$).

La comparación entre los compost con aditivos minerales silíceos, sin EM (C3) indica que no hay diferencia significativa, correspondiendo la CIC más baja al compost con diatomita ($60.77 \text{ Cmol.kg}^{-1}$) y el valor más alto al compost con zeolita ($64.46 \text{ Cmol.kg}^{-1}$).

El contraste C4, se refiere a la comparación del tratamiento T4 (con EM, sin Aditivos) con el promedio de los tratamientos T5 y T6 (compost con EM con aditivos minerales silíceos: Zc y Di). Se encontró diferencia altamente significativa, correspondiendo la CIC más alta ($75.85 \text{ Cmol.kg}^{-1}$), al promedio de los tratamientos con EM, con aditivos minerales silíceos, respecto al testigo ($63.28 \text{ Cmol.kg}^{-1}$).

La comparación entre los compost con aditivos minerales silíceos, con EM (C5) indica diferencia altamente significativa, correspondiendo la CIC más baja ($71.19 \text{ Cmol.kg}^{-1}$) al compost con diatomita y el valor más alto ($80.50 \text{ Cmol.kg}^{-1}$) al compost con zeolita.

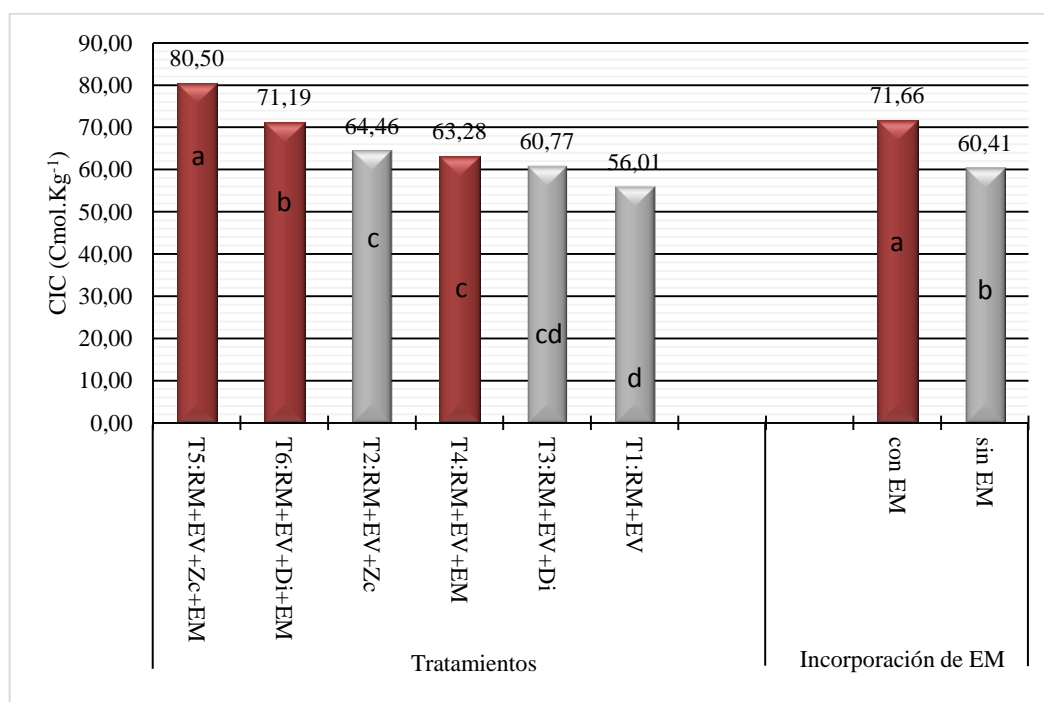


Figura 3.15. Prueba de Duncan de la CIC (Cmol.Kg⁻¹) en los tratamientos.

Fuente: Elaboración propia.

Al haberse encontrado diferencia altamente significativa entre los tratamiento en estudio, se realizó la prueba de Duncan (figura 3.15), donde se determinó que la CIC más alto ($80.50 \text{ Cmol.kg}^{-1}$) correspondiente al tratamiento T5 (con EM, con Zc), estadísticamente superior al resto de los tratamientos, mientras que la CIC más bajo

(56.01 Cmol.kg^{-1}) corresponde al T1 (sin EM, sin Aditivos). Por otro lado los tratamientos inoculados con EM, tuvieron mayor CIC (71.66 Cmol.kg^{-1}); en comparación a los tratamientos sin EM, que alcanzaron una CIC de 60.41 Cmol.kg^{-1} .

Una mejor ilustración de la interpretación de los tratamientos de la CIC se observa en la figura 3.16.

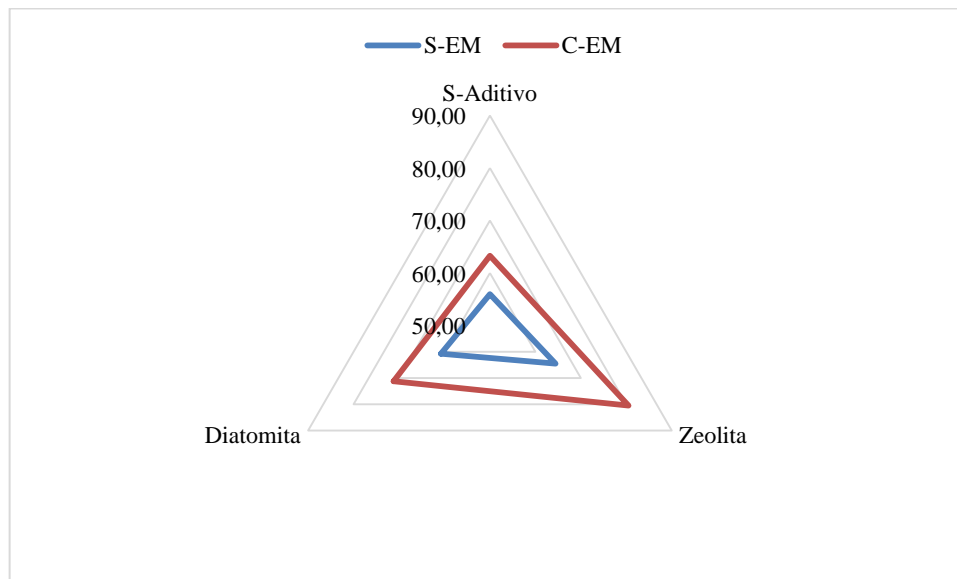


Figura 3.16. CIC del compost según tratamientos.

Fuente: Elaboración propia.

La zeolita puede mezclarse con los fertilizantes minerales (como los nitrogenados y potásicos) con el propósito de mejorar sus propiedades físicas, disminuir las pérdidas de los nutrientes en el suelo, lograr un mejor aprovechamiento de los mismos por el cultivo y alcanzar gracias a ello un mayor rendimiento o menor necesidad de fertilizantes minerales, aspectos estos de importancia no solo económica, sino también ecológica. (Pérez, Rodríguez y Arzola, 2015).

La aplicación de zeolita benefició la acumulación de amonio en el suelo, como era de esperar por ser este un compuesto con carga positiva. Sorprende que se favoreciera más la acumulación de nitrato que la de amonio, probablemente por encontrarse este anión en los canales de su estructura y limitarse por ello las pérdidas tanto por lavado, como en forma gaseosa al ser estos espacios inaccesibles para las bacterias que originan la desnitrificación. (Pérez, Rodríguez y Arzola, 2015). Se comprobó que la aplicación de zeolita, mejoro la capacidad de intercambio catiónico esto se muestra en el T5 (con EM,

con ZC), probablemente esto ocurre gracias a las características propias de la zeolita como, la alta capacidad de intercambio catiónico, su alta superficie específica y su capacidad de retener agua. Estas características se dan gracias a su estructura abierta alcanzando el volumen de vacío en algunas hasta 50%, consiste en anchas cavidades abiertas y rellenas por agua que pueden ser posteriormente ocupados por otras sustancias o intercambiados por otros cationes.

3.2.2. Indicadores biológicos

- **Hongos (UFC)**

El ANAFUNVA de los Hongos en los compost (tabla 3.8), muestra diferencia altamente significativa entre los tratamientos, lo que indica que la composición de los insumos (aditivos silícicos minerales y el EM), influyen en la población de los hongos. El coeficiente de variación (14.83%) indica un buen nivel de precisión en esta variable.

Tabla 3.8. ANAFUNVA de la UFC de Hongos en los compost.

Contraste	F. Variación	GL	SC	CM	FC	Pr>F
	Bloque	3	5.75	1.91666667	8.68	0.0014**
	Tratamiento	5	92.0208333	18.4041667	83.34	<.0001**
C1	Entre EM	1	22.0416667	22.0416667	99.81	<.0001**
C2	Trat 1 VS Adit - EM	1	0.12760417	0.12760417	0.58	0.4589 ns
C3	Zeol VS Dit - EM	1	0.3828125	0.3828125	1.73	0.2077 ns
C4	Trat 4 VS Adit + EM	1	68.34375	68.34375	309.48	<.0001**
C5	Zeol VS Dit + EM	1	1.125	1.125	5.09	0.0394*
	Error	15	3.3125	0.2208333		
	Total	23	101.083333			

CV=14.83%

La tabla, del anexo 1.8, muestra los valores de las UFC de Hongos en los compost, los que tienen una variación de 2.06 ((sin EM, sin Aditivos), (sin EM, con Di), (con EM, con Zc)) a 2.81 (con EM, con Di) con un promedio de 3,17.

Al comparar el efecto del EM en el compost (C1), se muestra diferencia altamente significativa, indicando que el aporte de EM contribuyó al aumento de las UFC hongos en el compost (4.13 UFC), puesto que la no aplicación del EM en el compost permitió 2.21 UFC de hongos.

El contraste C2 consistió en comparar el tratamiento T1 (sin EM, sin Aditivos) con el promedio de los tratamientos T2 y T3 (compost sin EM con aditivos minerales silícicos: Zc y Di). No se encontró diferencia significativa, correspondiendo la UFC hongos más alta (2.28 UFC) al promedio de los tratamientos sin EM, con aditivos minerales silícicos, respecto al testigo (2.06 UFC). La comparación entre los compost con aditivos minerales silícicos, sin EM (C3) indica que no hay diferencia significativa, correspondiendo la UFC hongos más alta al compost con zeolita (2.50 UFC) y el valor más bajo al compost con diatomita (2.06 UFC).

El contraste C4 se refiere a la comparación del tratamiento T4 (con EM, sin Aditivos) con el promedio de los tratamientos T5 y T6 (compost con EM con aditivos minerales silícicos: Zc y Di). Se encontró diferencia altamente significativa, correspondiendo la UFC hongos más baja (2.44 UFC) al promedio de los tratamientos con EM, con aditivo mineral silícicos, respecto al testigo (7.50 UFC).

La comparación entre los compost con aditivos minerales silícicos, con EM (C5) indica que presenta diferencia significativa, correspondiendo la UFC hongos más baja (2.06 UFC) al compost con zeolita, mientras que el valor más alto (2.81 UFC) al compost con diatomita.

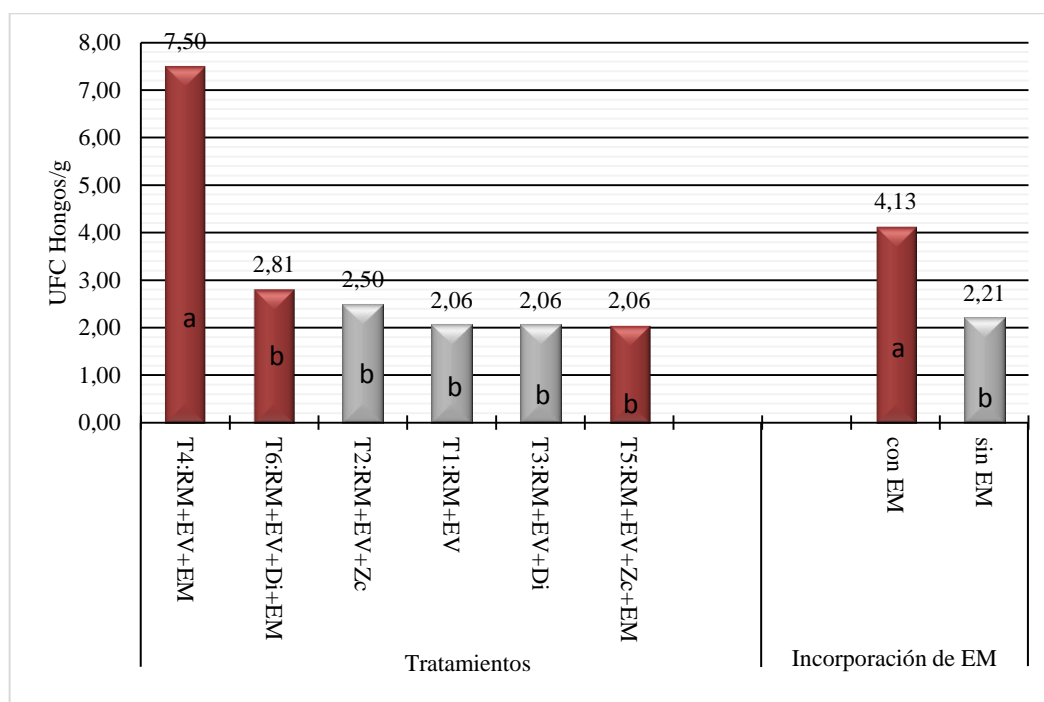


Figura 3.17. Prueba de Duncan de las UFC de Hongos en los tratamientos

Fuente: Elaboración propia.

Al haberse encontrado diferencia altamente significativa entre los tratamiento en estudio, se realizó la prueba de Duncan (figura 3.17), donde se determinó que la UFC de los Hongos más alto (7.50 UFC) correspondió al tratamiento T4 (con EM, sin Aditivos), estadísticamente superior al resto de los tratamientos, mientras que la UFC de los hongos más bajo (2.06 UFC) corresponde al T5 (con EM, con Zc). Por otro lado los tratamientos inoculados con EM, tuvieron mayor UFC hongos (4.13 UFC); en comparación a los tratamientos sin EM, que alcanzaron UFC hongos de 2.21 UFC.

Una mejor ilustración de la interpretación de los tratamientos de las UFC hongos se observa en la figura 3.18.

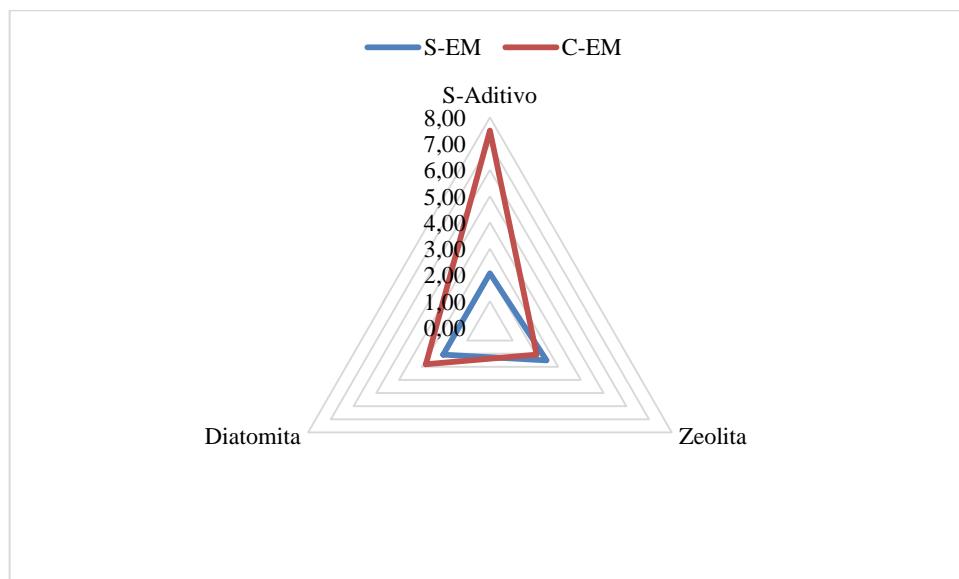


Figura 3.18. UFC Hongos del compost según tratamientos.

Fuente: Elaboración propia.

Según Bello (2008) citado por De La Mora *et al.* (2016) los hongos se encuentran en la materia orgánica entre 1×10^6 a 1×10^5 UFC; En la presente investigación los valores no llegaron al promedio propuesto. Coyne (2000) citado por Araya, *et al.* (2014) en lo que respecta al aprovechamiento de la materia orgánica del suelo como fuente de energía, los hongos son entre 30 a 40% más eficientes que las bacterias en términos de relación CO_2 respirado y carbono asimilado; 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. En esta investigación por lo

contrario, se presentó pH alcalinos (figura 3.2); en el cual se obtuvo la mayor población 7.5×10^4 UFC de hongos en el tratamiento T4 (con EM, sin Aditivos). Miller (1996) citado por Pérez *et al.* (2010), indica que los hongos juegan un papel fundamental a lo largo del proceso de compostaje, son capaces de utilizar varias fuentes de carbono, pueden sobrevivir en condiciones extremas y participan activamente en la fase de maduración. El tratamiento T4 (con EM, sin Aditivos) obtuvo el más alto promedio 7.5×10^4 UFC/g compost, en población de hongos, superando con gran diferencia estadística al resto de tratamientos. Los hongos presentes en el compost que alcanzaron una gran colonización, probablemente se dio por la disponibilidad de fuentes carbono, el material empleado en el compostaje y la humedad del compost, así también se puede dar por la poca población de bacterias como se puede ver en la figura (3.17).

- **Bacterias (UFC)**

El ANAFUNVA de las Bacterias de los compost (tabla 3.9), muestra diferencia altamente significativa entre los tratamientos, lo que indica que la composición de los insumos (aditivos silícicos minerales y el EM), influyen en la población de Bacterias (UFC). El coeficiente de variación (12.26%) indica un buen nivel de precisión en esta variable.

Tabla 3.9. ANAFUNVA de la UFC de Bacterias en el compost.

Contraste	F. Variación	GL	SC	CM	FC	Pr>F
	Bloque	3	1.1846125	0.39487083	2.18	0.1329 ns
	Tratamiento	5	17.2394375	3.4478875	19.03	<.0001**
C1	Entre EM	1	5.59700417	5.59700417	30.89	<.0001**
C2	Trat 1 VS Adit - EM	1	8.94260417	8.94260417	49.36	<.0001**
C3	Zeol VS Dit - EM	1	1.5051125	1.5051125	8.31	0.0114*
C4	Trat 4 VS Adit + EM	1	0.25626667	0.25626667	1.41	0.2528 ns
C5	Zeol VS Dit + EM	1	0.93845	0.93845	5.18	0.0379*
	Error	15	2.7176125	0.18117417		
	Total	23	21.1416625			

CV=12.26%

La tabla, del anexo 1.9, muestra los valores de las UFC de Bacterias en los compost, los que tienen una variación de 2.91 (sin EM, con Di) a 5.18 (sin EM, sin Aditivos) con un promedio de 3,47.

Al comparar el efecto del EM en el compost (C1), se muestra diferencia altamente significativa, indicando que el aporte de EM no contribuyó al aumento de las UFC bacterias en el compost (2.99 UFC), puesto que la no aplicación del EM en el compost permitió 3.95 UFC de bacterias.

El contraste C2 consistió en comparar el tratamiento T1 (sin EM, sin Aditivos) con el promedio de los tratamientos T2 y T3 (compost sin EM con aditivos minerales silícicos: Zc y Di). Se encontró diferencia altamente significativa, correspondiendo la UFC bacterias más baja (3.34 UFC) al promedio de los tratamientos sin EM con aditivo mineral silícico, respecto al testigo (5.18 UFC).

La comparación entre los compost con aditivos minerales silícicos, sin EM (C3) indica diferencia significativa, correspondiendo la UFC bacteria más alta al compost con zeolita (3.78 UFC) y el valor más bajo al compost con diatomita (2.91 UFC).

El contraste C4 se refiere a la comparación del tratamiento T4 (con EM, sin Aditivos) con el promedio de los tratamientos T5 y T6 (compost con EM con aditivos minerales silícicos: Zc y Di). No se encontró diferencia significativa, correspondiendo la UFC bacterias más baja (2.89 UFC) al promedio de los tratamientos con EM, con aditivos minerales silícicos, respecto al testigo (3.20 UFC).

La comparación entre los compost con aditivos minerales silícicos, con EM (C5) indica diferencia significativa, correspondiendo la UFC bacterias más alta (3.23 UFC) al compost con zeolita, mientras que el valor más bajo (2.54 UFC) al compost con diatomita.

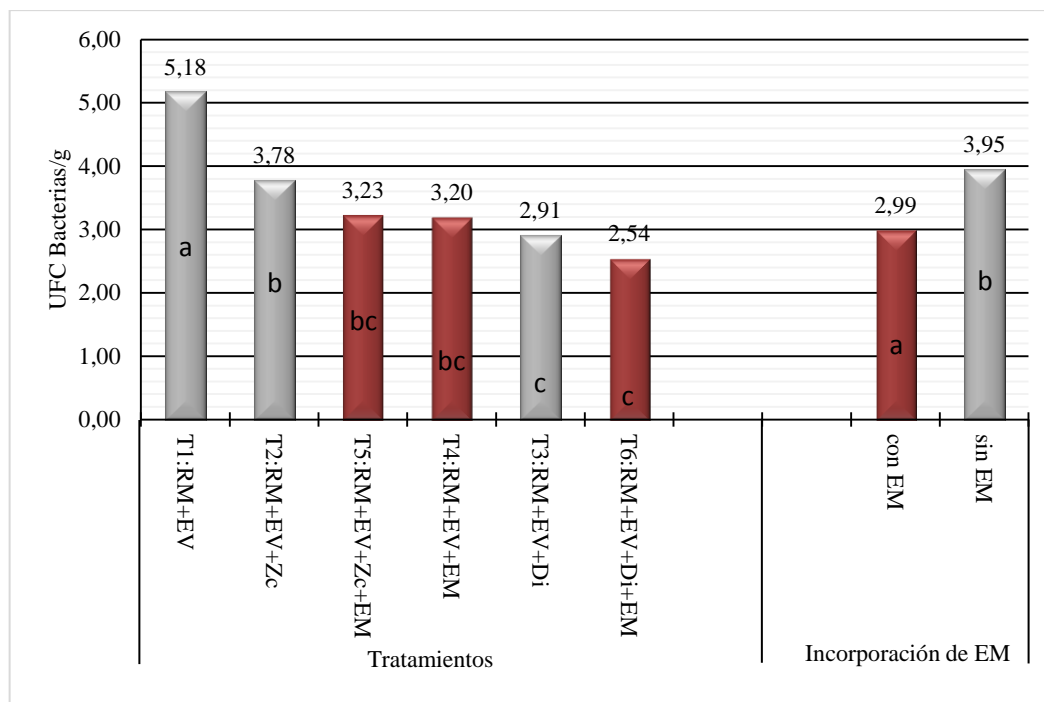


Figura 3.19. Prueba de Duncan de las UFC de Bacterias en los tratamientos.

Fuente: Elaboración propia.

Al haberse encontrado diferencia altamente significativa entre los tratamiento en estudio, se realizó la prueba de Duncan (figura 3.19), donde se determinó que la UFC de las Bacterias más alta (5.18 UFC) correspondió al tratamiento T1 (sin EM, sin Aditivos), estadísticamente superior al resto de los tratamientos, mientras que la UFC de las bacterias más baja (2.54 UFC) corresponde al T6 (con EM, con Di). Por otro lado los tratamientos inoculados con EM, tuvieron menor UFC de bacterias (2.99 UFC); en comparación a los tratamientos sin EM, que alcanzaron una UFC bacterias de 3.95 UFC.

Una mejor ilustración de la interpretación de los tratamientos de las UFC bacterias se observa en la figura 3.20.

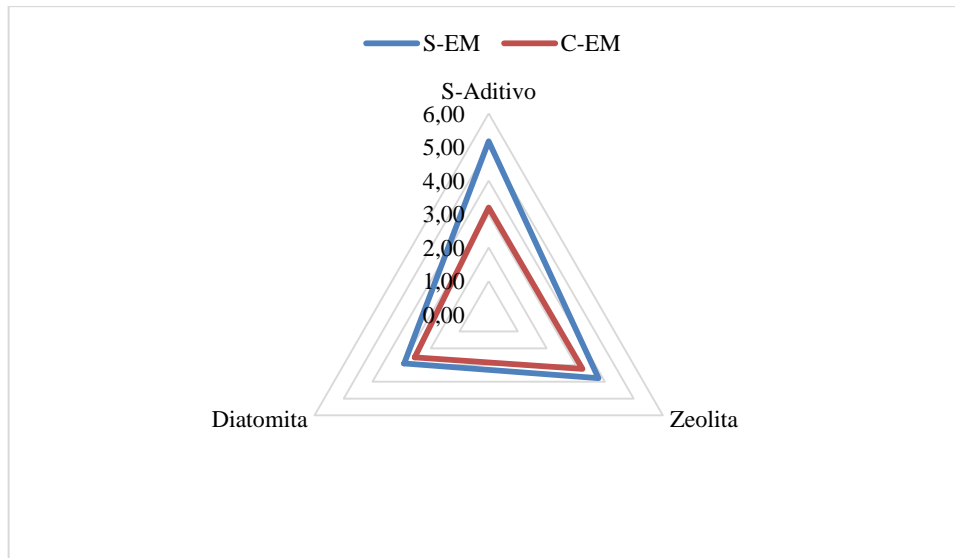


Figura 3.20. UFC Bacterias del compost según tratamientos.

Fuente: Elaboración propia.

Bello (2008) citado por De La Mora, *et al.* (2016) indica que las bacterias son fundamentalmente organismos mineralizadores, tienen funciones específicas en los ciclos de los elementos como degradación de celulosa, almidón, lignina, fijación de nitrógeno atmosférico, proteólisis, amonificación y nitrificación. 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. Labrador (1996) menciona que las poblaciones de bacterias se condicionan en su desarrollo por la presencia de una fuente energética apropiada y disponible. 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; respecto a las poblaciones de bacterias de los tratamientos, se desarrollaron en un valor superior de pH 8, Según Laich (2011) las bacterias son las más numerosas en el proceso de compostaje, y constituyen entre el 80% y el 90% de los microorganismos existente en el compost, se trata de un grupo de gran diversidad metabólica, que utilizan un amplio rango de enzimas que degradan químicamente una gran variedad de compuestos orgánicos; Acuña *et al.*, (2006) citado por Escobar, *et al.* (2012) indican que los valores de colonias de bacterias y actinomicetos, al final del compost, resultaron ser mayores que los hongos, posiblemente, porque son microorganismos participantes de la nitrificación y amonificación, necesaria para la biota del suelo. Se determinó que el tratamiento T6

(con EM, con Di) presenta el menor promedio 2.54×10^7 unidades formadoras de colonias por gramo de compost, por lo cual tendría el mejor efecto sobre la descomposición de la materia orgánica en el compostaje, es decir el tratamiento T6 presenta el mayor grado de descomposición de la materia orgánica por presentar menor población bacteriana, probablemente este caso está condicionada a la humedad del compost, también a la disponibilidad fuentes energéticas y su rápida descomposición.

3.3. CONVERSIÓN DE COMPOST

- **Rendimiento de materia seca (RMS)**

El ANAFUNVA del Rendimiento de la MS de los compost (tabla 3.10), muestra diferencia altamente significativa entre los tratamientos, lo que indica que la composición de los insumos (aditivos silícicos minerales y el EM) para el compost, influyen en el rendimiento de la MS. El coeficiente de variación (5.32%) indica un buen nivel de precisión en esta variable.

Tabla 3.10. ANAFUNVA del Rendimiento de MS (kg) de los compost.

Contraste	F. Variación	GL	SC	CM	FC	Pr>F
	Bloque	3	6.82295	2.2743167	4.79	0.0156*
	Tratamiento	5	159.342833	31.8685667	67.11	<.0001**
C1	Entre EM	1	4.87801667	4.87801667	10.27	0.0059**
C2	Trat 1 VS Adit - EM	1	69.5301042	69.5301042	146.42	<.0001**
C3	Zeol VS Dit - EM	1	3.3153125	3.3153125	6.98	0.0185*
C4	Trat 4 VS Adit + EM	1	79.4976	79.4976	167.41	<.0001**
C5	Zeol VS Dit + EM	1	2.1218	2.1218	4.47	0.0517 ns
	Error	15	7.123	0.4748667		
	Total	23	173.288783			

CV=5.32%

La tabla, del anexo 1.10, muestra los valores del rendimiento de la MS de los compost, los que tienen una variación de 8.86 (con EM, sin Aditivos) a 15.74 (sin EM, con Di) con un promedio de 8.88.

Al comparar el efecto del EM en el compost (C1), se muestra diferencia altamente significativa, indicando que el aporte de EM contribuyó reduciendo el rendimiento de la MS del compost (12.49 kg), puesto que la no aplicación del EM en el compost se tradujo en un rendimiento de 13.40 kg de MS.

El contraste C2 consistió en comparar el tratamiento T1 (sin EM, sin Aditivos) con el promedio de los tratamientos T2 y T3 (compost sin EM con aditivos minerales silícicos: Zc y Di). Se encontró diferencia altamente significativa, correspondiendo el rendimiento de MS más alto (15.10 kg) al promedio de los tratamientos sin EM, con aditivo mineral silícico, respecto al testigo (9.99 kg). La comparación entre los compost con aditivos minerales silícicos, sin EM (C3) indica diferencia significativa, correspondiendo el rendimiento de MS más bajo al compost con zeolita (14.46 kg) y el valor más alto al compost con diatomita (15.74 kg).

El contraste C4 se refiere a la comparación del tratamiento T4 (con EM, sin Aditivos) con el promedio de los tratamientos T5 y T6 (compost con EM con aditivos minerales silícicos: Zc y Di). Se encontró diferencia altamente significativa, correspondiendo el rendimiento de MS más alto (14.31 kg) al promedio de los tratamientos con EM, con aditivo mineral silícicos, respecto al testigo (8.86 kg). La comparación entre los compost con aditivos minerales silícicos, con EM (C5) indica que no hay diferencia significativa, correspondiendo el rendimiento de MS más bajo (13.80 kg) al compost con diatomita y el valor más alto (14.83 kg) al compost con Zeolita.

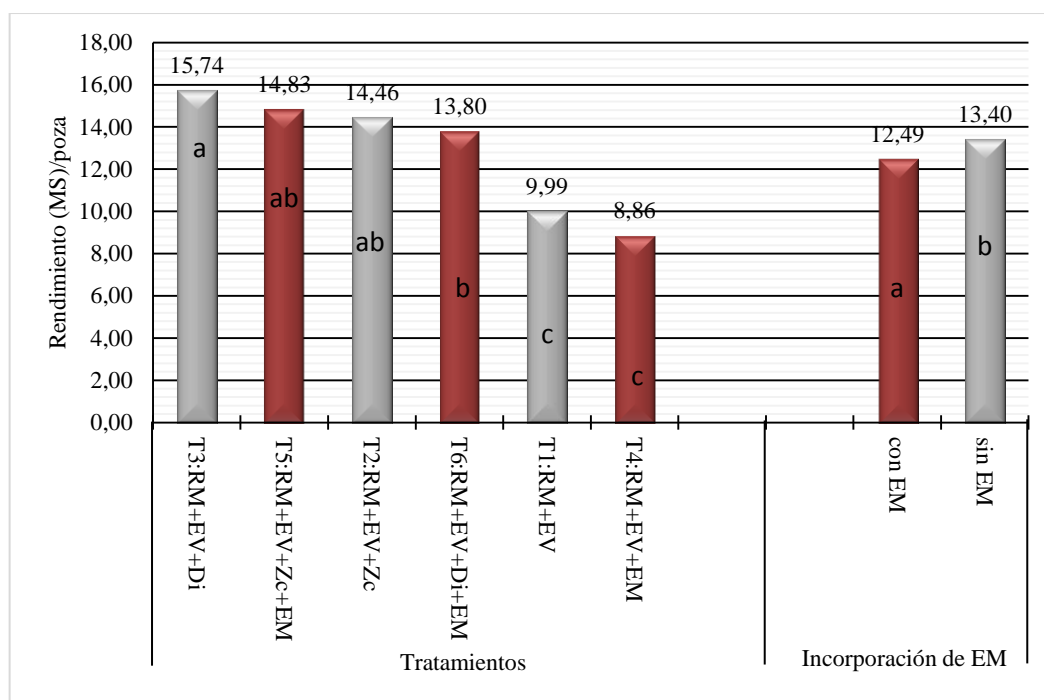


Figura 3.21. Prueba de Duncan del Rendimiento de MS (kg) de los tratamientos.

Fuente: Elaboración propia.

Al haberse encontrado diferencia altamente significativa entre los tratamientos en estudio, se realizó la prueba de Duncan (figura 3.21), donde se determinó que el rendimiento de MS más alto (15.74 kg) correspondió al tratamiento T3 (sin EM, con Di), estadísticamente superior al resto de los tratamientos, mientras que el rendimiento de MS más bajo (8.86 kg) corresponde al T4 (con EM, sin Aditivos). Por otro lado los tratamientos inoculados con EM, tuvieron menor MS (12.49 kg); en comparación a los tratamientos sin EM, que alcanzaron un rendimiento 13.40 kg de MS.

Una mejor ilustración de la interpretación de los tratamientos del rendimiento de la MS se observa en la figura 3.22.

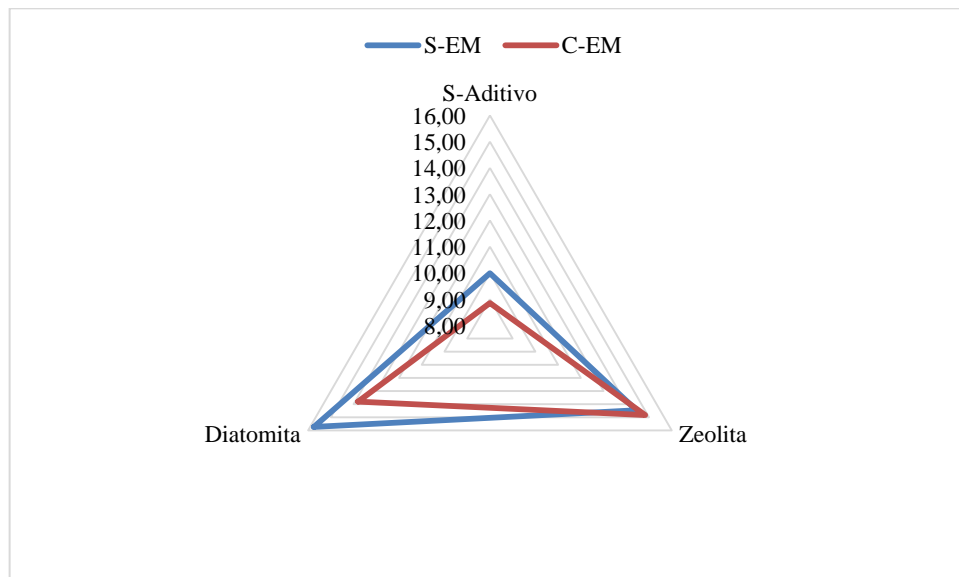


Figura 3.22. Rendimiento de MS del compost según tratamientos.

Fuente: Elaboración propia.

Según INTEC (1999) citado por Córdova (2006) durante el proceso de fermentación del compost se reduce un 60% del material inicial con el que se construyó la pila; Storino (2016) indica al cabo del proceso de compostaje en composteras domésticas, el peso de los residuos iniciales se reduce un 57%; Silva, *et al.* (2012) indica que el volumen de cada pila disminuye entre 29 y 74%, dependiendo del tipo de sustrato; en esta investigación se obtuvo que la máxima reducción de peso fue 80.4% al final del compostaje, esto se dio en el tratamiento T4 (con EM, sin Aditivos). Huet, *et al.* (2012) citado por Storino (2016) menciona que parece ser probable que la menor madurez del compost y las menores reducciones en peso y volumen obtenidas pueden ser debidas a procesos de compactación de las capas más profunda de las pilas de compostaje que

generaron una ralentización del proceso. Los resultados obtenidos indican que la aplicación de los EM influyó en el peso del compost obtenido, muestra que el tratamiento T4 (con EM, sin Aditivos) tiene el menor peso, superando con diferencia estadística a los demás tratamientos, por lo tanto el mejor tratamiento es el T4, por presentar alto o mayor grado de descomposición, probablemente se dé por la inoculación EM al material a compostar, mostrando un resultado efectivo, en el aumento de la actividad microbiana expresando una pérdida de peso en cada tratamiento.

CONCLUSIONES

Los resultados mostrados en el presente trabajo, permite arribar las conclusiones siguientes:

1. El uso de aditivos minerales silícicos con y sin EM, en el compost; influyen en las características químicas y biológicas del mismo, la adición de zeolita más EM confiere las mejores propiedades al compost, en los indicadores (pH, CIC y N).
2. La incorporación de zeolita en un 25% (4.5 kg) respecto al peso total de la mezcla (45 kg) de RM y EV, en base seca, resulto en un compost de mayor calidad en comparación al obtenido con incorporación de diatomita.
3. Se ha determinado que el uso de microorganismos eficientes en una dosis de 12.5 l/m³ de compost influye en las características químicas y sobre todo en las biológicas del compost, obteniendo un compost de calidad.

RECOMENDACIONES

1. Realizar investigaciones similares utilizando mayor volumen de materiales a compostar en las unidades experimentales.
2. Evaluar la zeolita a diferentes niveles, ya que resulta una opción rentable para la obtención de un compost de calidad.
3. Determinar las especies de los microorganismos en cada una de las fases del proceso de compostaje.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Araya, M.; Tapia, A.; Mata, R.; Serrano, E. y Acuña, O. (2014).** Efecto de la aplicación de compost y nematicida sobre la dinámica de las poblaciones de microorganismos, nematodos fitoparásitos del suelo y la salud del sistema radical en el cultivo del banano (*Musa AAA*) sembrado en domos. *Agronomía – costarricense*. Costa Rica. Vol. 38, No. 2: 95-101 (p. 99).
- Álvarez, J. (2003).** Manual de compostaje para agricultura ecológica - Consejería de Agricultura y Pesca Madrid: Editora Junta de Andalucía (p.03).
- Asociación para la defensa del ambiente y de la naturaleza - ADAN (1999).** Basura Municipal - Manual de Gestión Integrada. Caracas - Venezuela (p. 245).
- Arellano Valencia, Felipe. (1994).** “Estudio del Intercambio de cobalto y cadmio en Zeolita Faujasita Y”. Tesis de Licenciatura. Facultad de Ingeniería Química. UV. Veracruz, México.
- Arias, A. (2010).** Microorganismos eficientes y su beneficio para la agricultura y el medio ambiente. Grupo de investigación en energías alternativas y microorganismos eficientes. Corporación Universitaria Autónoma del Cauca. Popayán. Jornada de ciencia e ingeniería. Colombia. Vol. 02, No. 2: 42–45 (p.42, 43).
- Avendaño, D. (2003).** El proceso de compostaje. Pontificia Universidad Católica de Chile. Facultad de Agronomía e Ingeniería Forestal. Departamento de Fruticultura y Enología. Chile. (p. 03).
- Baquero, I. y Uni, R. (2017).** Análisis del costo de la implementación del compostaje frente a abonos químicos en una plantación de palma africana de once años de edad, ubicada en San Carlos de Guaroa Meta, finca la Aurora. Bogotá – Colombia. (p. 35).
- Bernal, M.P.; López-Real, J.M.; Scott, K.M. (1993).** Application of natural zeolites for the reduction of ammonia emissions during the composting of organic wastes in a laboratory composting simulator. *Bioresource Technology* 43: 35-39.
- Bobadilla, C. y Rincón, S. (2008).** Aislamiento y producción de bacterias fosfato solubilizadoras a partir de compost obtenidos de residuos de plaza. Pontificia Universidad Javeriana – Facultad de Ciencias – Carrera de Microbiología Industrial. Bogotá – Colombia. (p.55).

- Bohórquez, A., Puentes, Y. y Menjivar, J. (2014).** Evaluación de la calidad del compost producido a partir de subproductos agroindustriales de caña de azúcar. Manejo y conservación de suelos y aguas. Corpoica - Ciencia y Tecnología Agropecuaria. ISSN: 0122-8706 - 15(1) 73-81. (p.78).
- Breck, D.,W. (1974).** Zeolite Molecular Sieves. New York: John-Sons.
- Brinton, W. (2000).** Calidad del compost en América - calidad compost estándares y directrices. Reporte final – Woods end research laboratory. (p. 62).
- Burges A. Y Raw F. (1971).** Biología del Suelo. Ediciones Omega S.A. Barcelona-España.
- Camacho, A.; Giles, M.; Ortegón, A.; Palao, M., Serrano, B. y Velázquez O. (2009).** Técnicas para el análisis microbiológico de alimentos. Segunda edición. Universidad Nacional Autónoma de México. Facultad de Química. México. (p. 02).
- Campos, E.; Illa, J., Palatsi, J.; Solé, F.; Magrí, A. y Flotas X. (2004).** Guía de los tratamientos de las deyecciones ganaderas. Generalitat de Catalunya – Departamento de medio ambiente – Agencia de residuos de Catalunya. España - Lleida. (p. 31).
- 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/12345678958/1/TESIS_SARA_CAJAHUANCA_FIGUEROA.pdf?sequence=1&isAllowed=y. Consultado el 14 de abril de 2018.
- Cervantes I. J. (2014).** Estudio comparativo entre vermicompostaje e inóculo de microorganismos autóctonos. Tesis de Ingeniero Técnico Agrícola. Universidad Pública de Navarra. España. Disponible en: <http://www.bvsde.paho.org/bvsars/fulltext/compost.pdf>. Consultado el 29 de abril de 2018.
- Contino, Y. y Ojeda, F. (2006).** Microorganismos eficientes - impacto en la agricultura y la ganadería. Reflexiones. Asociación cubana de producción animal (ACPA). OB Revista - ACPA EEPF “Indio Hatuey”. Cuba. (p. 23).
- Córdova, C. (2006).** Estudio de factibilidad técnico-económica para instalar una planta de compostaje, utilizando desechos vegetales urbanos. Santiago – Chile.

- Coyne, M. (1999).** Microbiología del Suelo: Un Enfoque Exploratorio. Editorial Paraninfo. Madrid-España.
- De la Mora, A.; Vázquez, F. y Valero, J. (2016).** Sucesión bacteriana del género *Bacillus* en el proceso de compostaje y lombricompostaje con diferentes fuentes de estiércol. Medio ambiente y desarrollo sustentable (p. 24).
- Escobar, N.; Mora, J. y Romero, N. (2012).** Identificación de poblaciones microbianas en compost de residuos orgánicos de fincas cafeteras de Cundinamarca. Boletín científico centro de museo de historia natural. (p.87).
- Escobar, F.; Sánchez, J. y Azero, M. (2012).** Evaluación del proceso de compostaje con diferentes tipos de mezclas basadas en la relación C/N y la adición de preparados biodinámicos en la granja modelo pairumani. RevActaNova - ISSN 1683-0789, v.5 n.3 Cochabamba – Bolivia (p. 07).
- 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 03 de marzo de 2018.
- Fassbender y Molina, R. (1969).** “Influencia de enmiendas calcáreas y silicatadas sobre el efecto de fertilizantes fosfatados en suelos derivados de cenizas volcánicas de Costa Rica.” Panel sobre suelos derivados de cenizas volcánicas de América Latina. Turrialba C.2.1.-C.2.12.
- Fassbender y Muller, L. (1969).** “Uso de enmiendas silicatadas en suelos altamente fijadores de fosfatos. II. Efecto de fertilizantes silico-fosfatados”. Turrialba 19(3): 368-374 pp.
- French, R. y Serrato, L. (2007).** Sanidad vegetal y del suelo a través de la composta. Department of plant pathology and microbiology. Texas agrilife extension. In partial fulfillment of TDA Specialty crop block grant program. Amarillo. Texas, EE.UU. (p. 14).
- Giannetto P.G., Montes R.A., Rodríguez I.G. (1990).** Zeolitas: Características, Propiedades y Aplicaciones Industriales”. 2ª ed: Editorial Innovación Tecnológica. Caracas, Venezuela (p. 22-25).
- GM-terra-Ecoterra. (2001).** Zeolitas - alternativas de eficiencia y ecología disponible en:

http://www.unalmed.edu.com/rodriguez/geología/económica/ZEOLITA_GM TERRA.pdf.: consultado 15 de Abril 2018.

- Holdridge L., R. (1979).** Ecología. Editorial Instituto Interamericano de Ciencias Agrícolas IICA. San José – Costa Rica.
- Iribarren, I.; Canteli, P.; Callaba, A; Huerta, O.; López, M. y Soliva, M. (2004).** Proyecto de caracterización y tipificación del compost producido en España - Soilace i international conference on soil and compost eco - biology. Madrid. España. (p.03).
- Irshad, M.; Eneji, A.; Hussain, Z. y Ashraf, M. (2017).** Chemical characterization of fresh and composted livestock manures. Journal of soil science and plant nutrition. ISSN 0718-9516. 13(1), 115-121 (p. 120).
- Jara, H., M. (1972).** “Composición mineralógica de suelos y rocas de puna de Ayacucho y estudio físico- químico, de algunos recursos no metálicos de Huanta, Huamanga y Cangallo (Ayacucho).” Tesis Ing. Químico. UNSCH. Ayacucho.
- 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 los microorganismos en el proceso de compostaje Unidad de Microbiología Aplicada. Instituto Canario de Investigaciones Agrarias. Ctra. El Boquerón, S/N - Valle Guerra. 38270. Santa Cruz de Tenerife. (p. 02).
- Lampkin, N. (2001).** Agricultura Ecológica. Ediciones Mundi-Prensa. Madrid-España.
- Leal, L.H. (1981).** Principios de composteo. Fermentación al aire libre de materia orgánica. P. 95 – 99, en Monroz H., Oscar y Viniega G., Gustavo (eds.) Biotecnología para el aprovechamiento de los Desperdicios orgánicos. A.G.T. Editor. México.
- Lopez W., W. (2010).** Estudio del uso de residuos industriales no peligrosos a través del proceso de compostaje y su aplicación para el cultivo de maíz y frijol. Tesis Mg. Biotecnología aplicada. Tlaxcala, México. Instituto Politécnico Nacional (IPN). 146 p.
- Martini, J.A. (1969).** “Distribución geográfica y características de los suelos derivados de ceniza volcánicas en Centro América”. Panel sobre suelos derivados de cenizas volcánicas de América Latina. Turrialba. Costa Rica. IICA. A.5.1-A.5.19.

- Moretti, C. (1986).** La biotecnología en el tratamiento ecológico de los residuos urbanos. Ministerio de economía y obras públicas. Subsecretaría de estado de obras y servicios públicos. Neuquén -Argentina. (p. 08).
- Moreno C., J.; Moral H., R. (eds.), (2008).** Compostaje. Ed. Mundi-Prensa. Madrid, España. 570 p.
- Moron, A. (2001).** El rol de los rastrojos en la fertilidad del suelo. Sección suelos INIA la Estanzuela, Colonia, Uruguay (p. 03).
- Mirabelli, E. (2008).** El compostaje proyectado a la lombricultura. Hemisferio Sur S.A. Buenos Aires, Argentina. 330 p.
- Miyashiro N., I. (2014).** Calidad de seis formulaciones de compost enriquecidos con guano de islas. Tesis Ing. Ambiental. Lima, Perú. UNALM. 148 p.
- Navia C., Zemanate Y., Morales S., Prado F. y Albán N. (2013).** Evaluación de diferentes formulaciones de compostaje a partir de residuos de cosecha de tomate (*Solanum Lycopersicum*) - Biotecnología en el Sector Agropecuario y Agroindustrial Edición Especial No. 2. Cauca- Colombia. (p. 165, 170,171).
- Norma Chilena- 2880. (2003).** Compost – Clasificación y requisitos. Proyecto de norma en consulta pública - vencimiento consulta pública. (p. 13).
- Organización Panamericana de la Salud - OPS. (1999).** Organización mundial de la salud. Manual para la elaboración de compost bases conceptuales y procedimientos. OPS/HEP/HES/URU/02.99. (p. 14 y 23).
- Programa para la agricultura sostenible en laderas de américa central - PASOLAC (2000).** Guía técnica de conservación de suelos y agua. (p. 136).
- Paredes A., G. (1970).** “El fósforo en algunos suelos semiáridos de la provincia de Huamanga y Huanta” Tesis Ing. Agrónomo. UNSCH. Ayacucho.
- Paredes, D. (2012).** Elaboración de compost a partir de estiércol de ovino con cuatro (04) tipos de rastrojos de cosecha agrícola en el fundo Miraflores de la UNSM- distrito banda de Shilcayo - Universidad Nacional de San Martín – Tarapoto - Facultad de Ciencias Agrarias - Departamento Académico Agrosilvo Pastoril - Escuela Académica Profesional de Agronomía. Tarapoto - Perú (p. 50).
- Pérez, H.; Rodríguez, I. y Arzola, N. (2016).** Aprovechamiento sostenible de los residuos de origen orgánico y la zeolita en la agricultura. Editorial UTMACH- Ecuador. (p. 195-200).

- Pérez Y., Rebolledo R. y Martínez J. (2010).** Aislamiento e identificación de hongos en compost elaborado a partir de residuos sólidos urbanos. AGROSUR, 38(1) 1-7. Instituto Superior de Tecnologías y Ciencias Aplicadas. La Habana - Cuba. (p.02).
- Román P., Martínez M. y Pantoja A. (2013).** Manual de compostaje del agricultor-experiencias en américa latina. Organización de las naciones unidas para la alimentación y la agricultura oficina regional para América Latina y el Caribe. Santiago de Chile. (p. 24-25).
- Russell, E.J. y Russell, E. W. (1968).** “Condiciones del suelo y crecimiento de las plantas”. Edit. Aguilar. Madrid.
- Tchobanoglous, G., Theisen H. y Vigil S. (1993).** Gestión Integral de los residuos Sólidos, Vol. 2 McGraw Hill. Madrid (p. 49).
- Sánchez, M.; Roig, A.; Paredes, C. y Bernal, M. (2001).** Nitrogen transformation during organic waste composting by the rutgers system and its effects on pH, EC and maturity of the composting mixtures. *Bioresource Technology*. Departamento de conservación de suelos y aguas y gestión de residuos orgánicos, Centro de Edafología y Biología Aplicada de Segura, CSIC, Murcia, España. (p.78 (3): 301-308.).
- Silva, J.; López, P. y Valencia, P. (2012).** Recuperación de nutrientes en fase sólida a través del compostaje - Escuela de ingeniería de los recursos naturales y del ambiente (EIDENAR), Universidad del Valle-Facultad de Ingeniería. A.A. 25360 Cali-Colombia. (p.18).
- Simpson, K. (1986).** Abonos y Estiércoles. Editorial Acribia, S.A. Zaragoza-España.
- Smart L. y Moore E. (1995).** Química del estado sólido. México: Addison-Wesley Iberoamericana, S.A.
- Storino, F. (2016).** Compostaje descentralizado de residuos orgánicos domiciliarios a pequeña escala - Estudio del proceso y del producto obtenido. Memoria de Tesis Doctoral. Madrid – España (p. 238).
- 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.

- Sztern, D.; Pravia, M.A. (1999).** Manual para la elaboración de compost. Bases conceptuales y procedimientos. OPS/HEP/HES/URU/02.99.69p.
- Vázquez, D. (2008).** Producción y evaluación de cuatro tipos de bioabonos como alternativa biotecnológica de uso de residuos orgánicos para la fertilización de pastos. Escuela Superior Politécnica de Chimborazo – Facultad de Ciencias Pecuarias- Escuela de Ingeniería Zootécnica. Riobamba – Ecuador. (p.57).
- Yanasupo, K. (2018).** Compostaje de proporciones de residuos de cosecha de maíz y estiércol de vacuno, con y sin microorganismos eficientes. Tesis ing. Agrónomo. Ayacucho, Perú. Universidad Nacional de San Cristóbal de Huamanga.

ANEXOS

Anexo 1. Datos obtenidos

Anexo 1.1. Valores de pH del compost en cada unidad experimental.

pH

T1	T2	T3	T4	T5	T6
9.37	8.63	9.14	8.96	8.55	9.06
9.31	8.77	9.17	8.78	8.51	8.95
9.07	8.57	8.98	8.92	8.29	8.86
9.25	8.66	9.10	8.89	8.45	8.96
9.00			8.76		
9.25	8.88	8.89	8.70		

Anexo 1.2. Contenido de la CE (dS/m) del compost en cada unidad experimental.

CE

T1	T2	T3	T4	T5	T6
3.69	3.51	4.07	5.86	2.70	4.10
3.48	3.58	3.96	5.53	2.98	4.56
3.74	3.45	3.81	5.32	3.01	4.12
3.64	3.51	3.95	5.57	2.90	4.26
3.70			4.24		
3.64	3.73	5.57	3.58		

Anexo 1.3. Contenido de MO (%) del compost en cada unidad experimental.

MO

T1	T2	T3	T4	T5	T6
55.20	53.08	37.17	60.08	54.45	38.27
53.12	50.67	39.56	58.06	51.96	39.60
51.82	51.12	37.01	57.81	52.17	40.01
53.38	51.62	37.91	58.65	52.86	39.29
47.64			50.27		
53.38	44.77	58.65	46.08		

Anexo 1.4. Contenido de NT (%) del compost en cada unidad experimental.

N TOTAL

T1	T2	T3	T4	T5	T6
1.99	2.35	2.18	2.10	2.27	2.14
1.86	2.27	2.09	2.16	2.19	2.08
1.91	2.22	2.21	2.01	2.31	2.17
1.92	2.28	2.16	2.09	2.26	2.13
2.12			2.16		
1.92	2.22	2.09	2.19		

Anexo 1.5. Contenido de P₂O₅ (%) del compost en cada unidad experimental.

P

T1	T2	T3	T4	T5	T6
4.31	3.27	2.92	4.21	3.14	2.84
4.22	3.11	2.94	4.17	3.02	2.93
4.04	2.91	2.74	4.07	3.12	2.77
4.19	3.10	2.87	4.15	3.09	2.85
3.38			3.36		
4.19	2.98	4.15	2.97		

Anexo 1.6. Contenido de K₂O (%) del compost en cada unidad experimental.

K

T1	T2	T3	T4	T5	T6
1.43	1.30	1.11	2.15	1.27	1.31
1.49	1.28	1.19	2.06	1.54	1.36
1.38	1.25	1.07	2.10	1.29	1.15
1.43	1.28	1.12	2.10	1.37	1.27
1.28			1.58		
1.43	1.20	2.10	1.32		

Anexo 1.7. Contenido de la CIC (Cmol.Kg⁻¹) del compost en cada unidad experimental.

CIC

T1	T2	T3	T4	T5	T6
58.14	67.32	61.2	63.44	82.62	70.18
56.77	60.12	62.14	66.27	80.52	69.14
53.11	65.94	58.96	60.12	78.37	74.25
56.01	64.46	60.77	63.28	80.50	71.19
60.41			71.66		
56.01	62.61	63.28	75.85		

Anexo 1.8. Contenido de UFC de Hongos por gramo de compost en cada unidad experimental.

Hongos

TI	T2	T3	T4	T5	T6
1.75	2.5	2	6.75	1.75	2.75
2.75	3.5	2.75	9.25	2.75	3
2.25	1.75	2	6.5	1.5	2.5
1.5	2.25	1.5	7.5	2.25	3
2.06	2.50	2.06	7.50	2.06	2.81
2.21			4.13		
2.06	2.28	7.50	2.44		

Anexo 1.9. Contenido de UFC de Bacterias por gramo de compost en cada unidad experimental.

BACTERIAS

TI	T2	T3	T4	T5	T6
4.90	3.80	3.45	2.75	3.47	2.62
6.05	4.47	2.77	3.75	3.17	2.70
5.05	3.12	2.37	3.53	2.75	2.55
4.70	3.72	3.05	2.75	3.52	2.30
5.18	3.78	2.91	3.20	3.23	2.54
3.95			2.99		
5.18	3.34	3.20	2.89		

Anexo 1.10. Contenido del Rendimiento de MS (Kg) de los compost en cada unidad experimental.

RENDIMIENTO EN MS

T1	T2	T3	T4	T5	T6
8.76	14.53	15.23	8.86	13.71	13.45
11.47	14.51	15.77	8.71	16.82	14.26
10.46	14.96	16.94	9.02	14.43	14.32
9.28	13.82	15.03	8.83	14.36	13.17
9.99	14.46	15.74	8.86	14.83	13.80
13.40			12.49		
9.99	15.10	8.86	14.31		

Anexo 1.11. Rendimiento de compost (kg).

	Tratamiento	Rdto (kg)
I	T1	8.8
	T2	14.5
	T3	15.2
	T4	8.9
	T5	13.7
	T6	13.5
II	T1	11.5
	T2	14.5
	T3	15.8
	T4	8.7
	T5	16.8
	T6	14.3
III	T1	10.5
	T2	15.0
	T3	16.9
	T4	9.0
	T5	14.4
	T6	14.3
IV	T1	9.3
	T2	13.8
	T3	15.0
	T4	8.8
	T5	14.4
	T6	13.2

Anexo 2: Panel Fotográfico



Foto 2.1. Construcción de pozas.



Foto 2.2. Pozas construidas.



Foto 2.3. Rastrojo de maíz morado en Canaán



Foto 2.4. Corte de rastrojo de maíz.



Foto 2.5. Traslado de estiércol vacuno.



Foto 2.6. Molienda de diatomita.



Foto 2.7. Mezclado del material a compostar en camas de compostaje.



Foto 2.8. Finalización de la construcción cama de compostaje.



Foto 2.9. Volteo del compost.



Foto 2.10. Aplicación de los EM.



Foto 2.11. Pesado de compost, para trasladar a las unidades experimentales.



Foto 2.12. Distribución del compost, en cada unidad experimental.



Foto 2.13. Agregando la diatomita sobre el material a compostar.



Foto 2.14. Agregando la zeolita sobre el material a compostar.



Foto 2.15. Protección del compost, para evitar la evaporación excesiva del agua.



Foto 2.16. Volteo del compost, en cada unidad experimental.



Foto 2.17. Lectura de la temperatura del compost en cada unidad experimental