



**UNIVERSIDAD
DE CIENFUEGOS**
CARLOS RAFAEL RODRÍGUEZ

**Trabajo de Diploma en opción al título de
Ingeniero Agrónomo.**

Título: Evaluación del efecto del biopreparado a base de microorganismos eficientes (ME-50) sobre la calidad del compost en la finca Punta La Cueva, municipio Cienfuegos.

Autor: Ivany Lopez Díaz

Tutor: MSc. Maikel Abreu Jimenez

Concultante: MSc. José Ramón Mesa Reinaldo

Cienfuegos, 2021

“Año 63 de la Revolución”

Resumen

El estudio se desarrolló en la finca "Punta La Cueva", municipio Cienfuegos, provincia Cienfuegos, sobre un suelo Pardo con Carbonato, en el período comprendido de junio a septiembre del 2021, con el objetivo de evaluar el efecto del biopreparado a base de microorganismos eficientes (ME-50), sobre la producción de compost. Se utilizó un diseño experimental de bloque al azar con tres tratamientos y cuatro réplicas, donde se aplicó el biopreparado en dosis de 60 (tratamiento 2) y 100 (tratamiento 3) mL/L, asperjándose el sustrato con 4 L de solución correspondiente, con un intervalo de aplicación de 7 días. Se evaluaron los indicadores de tiempo del proceso, la calidad del producto y la factibilidad económica. Según los indicadores físicos, químicos y biológicos usados para conocer el grado de madurez del compost, se determinó que el tratamiento 3 redujo en 3 semanas el tiempo de producción respecto al testigo. La medida de los indicadores usados para determinar la calidad del compost (% de humedad, relación C/N (carbono-nitrógeno), pH, % de materia orgánica, % de NPK(nitrógeno-fósforo-potasio) y tamaño de las partículas del compost) revelaron que el tratamiento 3 cumple los requisitos establecidos según la metodología usada.

Palabras clave: tiempo, calidad, dosis, factibilidad.

Abstract

The study was developed at the “Punta La Cueva” farm, Cienfuegos municipality, Cienfuegos province, on a Brown soil with Carbonate, in the period from June to September 2021, with the aim of evaluating the effect of the biopreparation based on microorganisms efficient (ME-50), on the production of compost. A randomized block experimental design with three treatments and four replications was used, where the biopreparation was applied in doses of 60 (treatment 2) and 100 (treatment 3) mL / L, spraying the substrate with 4 L of corresponding solution, with an application interval of 7 days. Process time indicators, product quality and economic feasibility were evaluated. According to the physical, chemical and biological indicators used to know the degree of maturation of the compost, it was determined that treatment 3 reduced the production time by 3 weeks compared to the control. The measurement of the indicators used to determine the quality of the compost (% humidity, C / N ratio, pH, % organic matter, % NPK and size of the compost particles) revealed that treatment 3 meets the requirements established according to the methodology used.

Keywords: time, quality, dose, feasibility.

Indice

Resumen

Abstract

Introducción	1
1. Capítulo I Revisión Bibliográfica	4
1.1.1. Los microorganismos eficientes. Generalidades.....	4
1.1.2. Surgimiento de los Microorganismos Eficientes.....	4
1.1.3. Principales microorganismos componentes de Microorganismos Eficientes ..	5
1.1.4. Mecanismo de acción de los microorganismos eficientes.....	6
1.1.5. Implementación internacional de Microorganismos Eficientes (ME)	7
1.1.6. Implementación de Microorganismos Eficientes (ME) en Cuba.	8
1.1.7. Ventajas de los Microorganismos Eficientes	8
1.2.1. Compostaje. Generalidades.....	10
1.2.2. Fases del proceso de compostaje.....	10
1.2.3. Técnicas de compostaje.....	11
1.2.4. Sistemas de compostaje	12
1.2.5. Factores que influyen en el proceso de compostaje	13
1.2.6. Calidad del compost.....	15
1.2.7. Evaluación de la madurez de un compost.....	16
1.2.8. Características que ha de cumplir un compost para su aplicación en la agricultura	17
2. Capitulo II Materiales y Métodos	18
Test de tipo físico	20
Test de tipo químico	20
Test de tipo biológico	21
2.1. Evaluación del efecto del biopreparado a base de ME-50, como acelerador de la descomposición en el proceso de elaboración del compost.....	22
2.2. Evaluación del efecto del biopreparado a base de ME-50 en la calidad del compost.....	22
2.3. Determinar la factibilidad económica de las alternativas en estudio.	23

3. Capítulo III Resultados y discusión.....	24
Test tipo físico	24
a. Olor	24
b. Color	24
c. Tamaño de partículas.....	25
d. Temperatura estable	25
e. % de humedad del compost.....	26
f. Altura de las pilas.....	27
Test tipo Químico	28
a. Relación Carbono Nitrógeno C/N.....	28
b. pH	29
c. Conductividad eléctrica	30
d.% Materia Orgánica	31
e. Nitrógeno total.....	32
f. Fósforo total	33
g. Potasio total	34
Test tipo Biológico	35
Prueba de Germinación	35
3.1. Evaluación del efecto del biopreparado ME-50, como acelerador de la descomposición en el proceso de la elaboración del compost.....	36
Olor y color.....	36
Dinámica de la temperatura en el proceso de compostaje	37
3.2. Evaluación del efecto del biopreparado ME-50 en la calidad del compost.....	39
Conclusiones	44
Recomendaciones.....	45
Bibliografía.....	46

Introducción

En las zonas tropicales del mundo se buscan alternativas para conservar los suelos, pues se ha confirmado que no es solo el clima cálido lo que impide una producción adecuada de la tierra, sino, el manejo inadecuado de esta. Una de las tecnologías utilizadas en el manejo y conservación de los suelos en el mundo, es la de los microorganismos eficientes, benéficos o efectivos (Sánchez et al., 2011).

El concepto y la tecnología de los microorganismos eficientes (ME), fueron desarrollados por el Profesor Dr. Teruo Higa, en la Universidad de Ryukyus, Okinawa, Japón (Coutinho, 2011). Según este autor, el principio fundamental de la tecnología consiste en introducir en el suelo, un grupo de microorganismos benéficos para mejorar la condición de los suelos, logrando, a través de ellos, mejorar la eficacia en la utilización de la materia orgánica. Este biopreparado asocia cuatro grupos principales de microorganismos: bacterias fototróficas, bacterias productoras de ácido láctico, levaduras y hongos de fermentación (Higa, 2013), cuya combinación desarrolla una sinergia metabólica que permite su aplicación en diferentes campos (Melgar; Barba; Álvarez; Tovilla; y Sánchez, 2013)

El uso de los Microorganismos Eficientes, como inoculante microbiano, restablece el equilibrio microbiológico del suelo, mejora sus condiciones físico-químicas, incrementa la producción de los cultivos y su protección, además conserva los recursos naturales, genera una agricultura y un medio ambiente más sostenible. Pueden ser utilizados en la rama pecuaria (porcicultura, ganadería y avicultura) para la cría de animales, el incremento de las variables productivas. Todo ello maximiza la eficiencia de los sistemas y el manejo de excretas e instalaciones (Feijoo y Mesa, 2016).

Esta tecnología ha sido ampliamente estudiada en numerosos países, entre ellos Cuba, donde se han realizado trabajos para su aplicación y generalización en diversos cultivos, así como también en el tratamiento de residuos orgánicos y aguas residuales, según refieren Ballesteros (2008); Sierra, (2010); López & Medina, (2011) y Navia Zemanate et al., 2013).

Según (Van Bruchen et al., 1999, citados por Sauri, 2008): “El primer uso de ME en el manejo medio ambiental, fue en el proceso de hacer compost”. Seguidamente, investigaciones en Holanda y en Costa Rica, destacan el potencial de hacer compost con desechos vegetales aplicando ME, lo que no solo acelera el proceso de humificación y mineralización de la materia orgánica, sino que además aumenta la carga nutricional y microbiana del producto final, resultando superior al compost tradicional. La inoculación de la pila de compostaje con ME, tiene el objetivo de disminuir el tiempo de elaboración del abono orgánico y obtener un material microbiológico y nutricionalmente mejorado.

El compost, es una palabra que viene del latín y significa componer (juntar). Una definición aceptada de compostaje es: “la descomposición biológica aeróbica, de residuos orgánicos, en condiciones controladas”. El proceso de compostaje depende de la descomposición microbiana de compuestos orgánicos, bajo condiciones en las cuales se permite el aumento de la temperatura, como producto de la oxidación aeróbica de los desechos (Ramos P, 2015).

La función del compostaje es lograr un balance entre los materiales orgánicos de fácil y difícil descomposición. Este proceso da lugar a una transformación de la materia orgánica, tanto química como mecánica. Se requiere la utilización de materia prima adecuada para poder tener un producto final con buenas características para incorporar al suelo (Soriano,2016).

Con el compost se logra dar al cultivo la nutrición adecuada, así como brindar al suelo, humus estable, como aporte a la estructura. El compostaje tiene las ventajas de reducir el volumen de las materias primas (concentrar los nutrientes), disminuir la emisión de malos olores, matar gérmenes de enfermedades y destruir semillas de malezas (Torres C,2017).

Estudios realizados en Cienfuegos (Yera, 2014; Carvajal, 2015, Milian, 2015 y García, 2016), abordan la utilización de ME-50 sobre el desarrollo morfológico del arroz y otros cultivos. En el presente trabajo se utiliza un biopreparado a base de microorganismo ME-50 para evaluar su efecto sobre la producción de compost. Esta investigación ofrece una nueva alternativa económicamente viable y ambientalmente sostenible,

para acelerar el procesamiento de la materia orgánica, lo que permitirá potenciar su uso en la agricultura. La situación problemática antes descrita nos permitió plantear el siguiente:

Problema científico.

¿Cuál será el efecto del biopreparado a base de microorganismos eficientes (ME-50) sobre la calidad del compost?

Hipótesis.

Si se aplica ME-50 en la calidad del compost, se podrá obtener la madurez del compost en menor tiempo, con características físicas, químicas y biológicas que permitan su uso como fertilizante orgánico.

Objetivo general.

Evaluar el efecto del biopreparado a base de microorganismos eficientes (ME-50) sobre la calidad del compost.

Objetivos específicos.

1. Evaluar el efecto del biopreparado ME-50, como acelerador de la descomposición en el proceso de elaboración del compost.
2. Analizar la influencia del uso de ME-50 en la calidad del compost producido.
3. Probar la factibilidad económica de la alternativa en estudio.

1. Capítulo I Revisión Bibliográfica

1.1.1. Los microorganismos eficientes. Generalidades.

Los microorganismos eficientes (ME) son un grupo muy grande de organismos, que cumplen multitud de funciones en el suelo y mantienen en orden los ciclos normales de múltiples sustancias. Esta labor es permanente y gracias a ella la vida en el suelo se mantiene. Estos organismos (bacterias, hongos, actinomicetos) viven naturalmente en el suelo, especialmente, degradando y/o transformando diversos materiales que luego pueden ser aprovechados por las plantas. Intervienen además en los ciclos biogeoquímicos en la naturaleza (Fundases, 2014).

Mesa et al. (2016), refieren que los microorganismos eficientes son un cultivo mixto de microorganismos benéficos (fundamentalmente bacterias fotosintéticas, productoras de ácido láctico, levaduras, actinomicetos y hongos fermentadores) que pueden aplicarse como inoculante para incrementar la diversidad microbiana de los suelos. Esto a su vez aumenta la calidad y la salud de los suelos, lo que incrementa el crecimiento, la calidad y el rendimiento de los cultivos (Moya, 2012).

1.1.2. Surgimiento de los Microorganismos Eficientes

La tecnología de ME fue desarrollada en la década de los ochenta por el Doctor Teruo Higa, profesor de Horticultura de la Universidad de Ryukyus en Okinawa, Japón. En los inicios de los años sesenta, el profesor Higa, comienza la búsqueda de una alternativa que reemplazara los fertilizantes y pesticidas sintéticos, popularizados después de la Segunda Guerra Mundial para la producción de alimentos en el mundo entero. El profesor, al estudiar las funciones individuales de diferentes microorganismos, encuentra que el éxito de su efecto potencializado estaba en su mezcla. Desde entonces, esta tecnología ha sido investigada, desarrollada y aplicada en una multitud de usos agropecuarios y ambientales, y es utilizada en más de 80 países del mundo (Arias, 2010, citado por Luna y Mesa, 2016).

1.1.3. Principales microorganismos componentes de Microorganismos Eficientes

Los microorganismos eficientes, son un cultivo microbiano mixto de especies seleccionadas de microorganismos. Este contiene un alto número de: levaduras, bacterias ácido-lácticas, bacterias fotosintéticas y cantidades menores de otros tipos de organismos. Se incluyen también los actinomicetos, que son mutuamente compatibles entre sí y coexisten en un cultivo líquido. Debido a la amplia variedad de microorganismos presentes en los ME es posible que se lleven a cabo procesos de fermentación anaeróbica y degradación anaeróbica, así como, la sana descomposición. (Naranjo, E 2013).

Los microorganismos eficientes, está conformado por cinco familias, diez géneros y más de 70 a 80 tipos de especies de microbios aeróbicos y anaeróbicos incluidas bacterias fototróficas, bacterias ácido-lácticas, levaduras, actinomicetos y hongos filamentosos con capacidad fermentativa (García, 2017, p.22)

A-Bacterias fotosintéticas

Son bacterias autótrofas (*Rhodospseudomonas spp*), que sintetizan sustancias útiles a partir de secreciones de raíces, materia orgánica y gases dañinos, usando a luz solar y el calor del suelo como fuentes de energía (Arias, 2010).

Su función es la de ayudar a sintetizar sustancias útiles para las raíces, materia orgánica o gases nocivos (sulfuro de hidrógeno). Algunas de las sustancias sintetizadas por las bacterias fotosintéticas son: aminoácidos, ácidos nucleicos, sustancias bioactivas y azúcares, las cuales promueven el crecimiento y el desarrollo celular en las plantas. (Arias,2010).

B-Bacterias ácido lácticas

Dentro de las funciones primordiales de estas bacterias está el producir ácido láctico, logrando así suprimir microorganismos dañinos (*Fusarium* nematodos, etc.). De igual forma ayudan a promover la descomposición de la materia orgánica. Estas bacterias son sumamente importantes en los procesos de fermentación y descomposición de material como la lignina y la celulosa. Así mismo, juegan un papel importante, ya que pueden ser las causantes del proceso de fermentación en mayor o menor grado. (Arias,2010)

C-Levaduras

El rol de las levaduras en el ME, es el de sintetizar sustancias antimicrobiales, aminoácidos y azúcares, secretados por bacterias fotosintéticas. Estas son benéficas para el crecimiento de las plantas y sus raíces. Las sustancias bioactivas, como las hormonas y las enzimas, producidas por las levaduras, promueven la división activa de células y raíces; estas secreciones también son sustrato útil para microorganismos eficaces como las bacterias lácticas y actinomicetos. (Arias,2010)

D-Actinomicetos

Los actinomicetos son bacterias filamentosas con cierto parecido con los hongos, forman filamentos ramificados en alguna etapa de su desarrollo, que, mediante la degradación de polímeros complejos como la quitina, la lignina y la celulosa, ayudan en el control biológico de otras bacterias y hongos, y causan el deterioro de los productos alimenticios almacenados, siendo importante en actividades como el compostaje y en la formación de suelos. Algunas especies de los actinomicetos pueden ser endófitos en tejidos vegetales, como el *Streptomyces albus* y *Streptomyces griseus* pertenecientes al género *Streptomyces*, con amplio repertorio para procrear compuestos antifúngicos que reprimen el crecimiento de varios hongos patógenos. (Villegas Cornelio, 2017)

E-Hongos filamentosos con capacidad fermentativa

Los hongos fermentativos tienen la capacidad de reproducirse sexual y asexualmente, siendo la asexual la que tiende a reproducirse más rápido, poseen intimación relativamente bajos de nitrógeno, brindando así superioridad y facultad en la descomposición de componentes como la paja y la madera (Yang et al., 2017, p. 125).

Los hongos en fermentación descomponen el material orgánico rápidamente para producir alcohol, ésteres y sustancias antimicrobianas, que suprimen los olores y evitan la infestación de insectos dañinos y gusanos, entre los cuales se encuentran especies como el *Aspergillus* y *Penicillium* (Torres, A, et al, 2015).

1.1.4. Mecanismo de acción de los microorganismos eficientes

Damián (2018) plantea que los diferentes tipos de microorganismos en el EM toman sustancias generadas por otros organismos, se basa en ello su funcionamiento y

desarrollo. Las raíces de las plantas secretan sustancias que son utilizadas por estos microorganismos para crecer, sintetizando aminoácidos, ácidos nucleicos, vitaminas, hormonas y otras sustancias bioactivas (Moya, 2012).

Cuando los Microorganismos Eficientes incrementan su población, como una comunidad en el medio en que se encuentran, se incrementa la actividad de los microorganismos naturales, enriquecen la microflora, balancean los ecosistemas microbiales y suprimen microorganismos patógenos (Feijoo, M.A.L, 2016).

1.1.5. Implementación internacional de Microorganismos Eficientes (ME)

La tecnología de microorganismos eficientes se ha experimentado en más de 110 países. Proyectos exitosos se implementan en varios países como DPR Corea, Vietnam, Tailandia, Laos, Myanmar, Bután, Maldivas, Pakistán y Egipto y por organizaciones no gubernamentales como en Sri Lanka, India e Indonesia, así como a una escala más local en organizaciones privadas en Sociedad de Agricultura Natural de Nueva Zelanda, Holanda, EMROSA de África. (Ecologic Maintenances, 2012).

De igual forma Japón ha implementado este método en sus cultivos, hasta tal punto que hoy en día existen nueve centros de extensionismo agropecuario, contando con el apoyo de 700 agricultores capacitados para dar asistencia en el uso de la tecnología ME. Más de 2 millones de hogares reciclan hoy sus desechos de cocina, usando la tecnología ME, los cuales son utilizados como abonos orgánicos en dichos cultivos (Guio, 2010).

Los microorganismos eficientes también se han difundido en el continente americano. En América Central, la Universidad Agrícola de Costa Rica de la región tropical húmeda (EARTH) se estudió la tecnología de microorganismos eficientes en el cultivo orgánico del banano. Además, se investigó el efecto de los ME para reducir la emisión de gases de efecto invernadero producidos en la agricultura, utilizando métodos biológicos y el uso de microorganismos eficientes en la alimentación de la tilapia. Otros reportes sobre el estudio del efecto de la adición de ME en la dieta de cerdos fueron emitidos desde Honduras y Venezuela, así como desde Colombia se consignó la utilidad de los microorganismos eficientes, en los parámetros productivos, económicos y manejo ambiental de los pollos de engorde (Guio, 2010).

1.1.6. Implementación de Microorganismos Eficientes (ME) en Cuba.

En la actualidad el colectivo de investigadores de la Estación Experimental de Pastos y Forraje de Indio Hatuey (EPPF-IH) trabaja de manera creciente en conjunto con otras instituciones cubanas, en nuevas alternativas para lograr la utilización de tecnologías como los microorganismos benéficos. Las investigaciones pretenden suplir la creciente necesidad de insumos (pesticidas, antibióticos, abonos químicos, etc.) de los sistemas productivos y buscar la sostenibilidad de los sistemas de producción basados en fuentes locales, así como y proporcionar tecnologías factibles para reducir la dependencia externa en los sistemas agropecuarios (Fernández-Larrea, 2013).

Recientemente, LABIOFAM, en colaboración con el Instituto cubano de investigaciones en derivados de la caña de azúcar (ICIDCA), ha desarrollado y comercializado el producto ME-50. El biopreparado a base de microorganismos eficientes, obtenido a partir de un inóculo compuesto por *Bacillus subtilis* B/23-45-10 Nato, *Lactobacillus bulgaricum* B/103-4-1 y *Saccharomyces cerevisiae* L-25-7-12 con certificado de calidad emitido por ICIDCA, código R-ID-B-Prot-01-01, con fecha 18/6/2015, producido mediante un proceso de fermentación forzada en planta (LABIOFAM, 2013). El biopreparado ha sido evaluado sobre el desarrollo morfológico del arroz y otros cultivos.

En la Facultad de Ciencias Agrarias de la Universidad de Cienfuegos se ha trabajado a partir del año 2014, en la obtención y validación mediante experimentos de campo, biopreparado a base de microorganismos eficientes (ME-UCf). Producido con la cooperación del Jardín botánico de Cienfuegos, el Programa de Innovación Agrícola Local(PIAL) y productores pertenecientes al movimiento agroecológico de la Asociación Nacional de Agricultores Pequeños(ANAP) del territorio, a partir de su extracción en bosques primarios de Cienfuegos, adecuando a las condiciones de Cuba, la metodología propuesta por (Álvarez et al., 2012).

Este producto ha sido evaluado, en dosis 28 a 40 L/ha, en el cultivo de fruta bomba (*Carica papaya* L.) y hortalizas (Mesa et al, 2015), por lo que la tecnología de los microorganismos benéficos ME que se proponen ha sido evaluada en compost.

1.1.7. Ventajas de los Microorganismos Eficientes

Los microorganismos eficientes, al ser un producto orgánico sin manipulación genética, son bien aceptados en toda clase de unidades productivas, ya sean agrícolas, pecuarias o ambientales. Su uso requiere de menores cantidades de materia orgánica, con el ahorro de costos de aplicación de esta al suelo. Con la aplicación de la tecnología ME se hace posible la transformación de los residuos orgánicos en abonos de excelente calidad, utilizados en programas de producción limpia (Cajauanca, S, 2016).

La aspersión de microorganismos eficientes en las instalaciones donde se encuentran las excretas de los cerdos y el ganado, según (Huayllani Hilario K.O, 2017), reduce drásticamente los malos olores de los gases emitidos y la presencia de vectores. Además, la tecnología ME, aplicada en el tratamiento de aguas residuales, permite recuperar este tipo de aguas, lo que minimiza diferentes impactos generados al medio ambiente.

Moya (2012), plantea que el uso de agroquímicos además de ser de alto costo en la mayoría de los países, hace que el suelo pierda diversidad de flora y fauna y que se destruya su materia orgánica, mientras que los EM mejoran la biota del suelo, las propiedades físicas de este, disminuyen los costos de la producción, aumenta la cantidad de cosechas y, por lo tanto, aumentan los ingresos del agricultor.

Según Huayllani Hilario K.O (2017), el uso de los EM puede tener las siguientes funciones:

En el agua potable: Remueve la materia orgánica; optimiza procesos unitarios en las plantas de tratamiento; reduce la producción de compuestos organoclorados en sistemas convencionales y racionaliza el uso de agentes químicos.

En el agua residual: Transforma la materia orgánica disminuyendo la producción de lodos; mejora la calidad física, química y microbiológica del efluente de una planta de tratamiento de aguas residuales e inhibe la producción de olores ofensivos.

En residuos sólidos: En procesos de compostaje acelera la transformación de la materia orgánica y elimina olores molestos en botaderos, rellenos sanitarios, estaciones de manejo de residuos y en carros recolectores. Los desechos agrícolas, la descarga de aguas contaminadas y la emisión de dioxina que se desarrolla por la incineración y la desintegración de materia orgánica son algunos de los problemas que se pueden enfrentar de manera exitosa con la aplicación de la tecnología de los EM.

1.2.1. Compostaje. Generalidades.

El compost es un compuesto que resulta de la transformación biológica de las bacterias, hongos y gusanos sobre los residuos orgánicos de origen animal, vegetal o residuos del hogar, ya que han sido descompuestos bajo condiciones controladas, el compost desempeña un papel importante en la conservación del suelo, mejorando su contenido nutricional y proporciona nutrientes a las plantas y ayuda a reciclar los residuos orgánicos provenientes de las actividades diarias del hombre. (Soriano,2016)

Según Soliva, M (2011), se dice que el compostaje es una técnica de observación ya que evalúa la naturaleza en el proceso de descomposición, que se produce cuando el material biológico se transforma en nutrientes por la presencia de microorganismos eficientes, para producir un sustrato biológico libre de microorganismos patógenos y semillas maliciosas.

1.2.2. Fases del proceso de compostaje

Majumder (2017), plantea que la fase de descomposición, también llamada fase activa, es un proceso donde las moléculas complejas se degradan a moléculas orgánicas e inorgánicas más sencillas. En un proceso exotérmico debido principalmente a la actividad biológica donde los microorganismos consumen oxígeno y se alimentan de los ingredientes de las pilas de compostaje, emitiendo a la atmósfera: calor, bióxido de carbono (CO₂), vapor de agua, metano (CH₄) y óxido nitroso (NO₂), entre otros compuestos.

En el proceso de compostaje hay diferentes tipos de fases como son:

A. Etapa mesofílica:

Según Campos Rodríguez., Brenes Peralta, L., y Jiménez Morales, M., (2016), nos comentan que al principio del proceso del compostaje la temperatura ambiente se mantiene lo que facilita al desarrollo bacterias mesofílicas, que descomponen los compuestos orgánicos fácilmente biodegradables (azúcares sencillos, aminoácidos, proteínas). Como resultado de la degradación microbiológica el pH se acidifique debido a la producción de aminoácidos procedentes de las proteínas, lo que favorece la aparición de hongos mesofílicos más tolerantes a estas condiciones; debido a la actividad

microbiológica la temperatura aumenta hasta los 40 °C aproximadamente entrando en la etapa termófila.

B. Etapa termófila:

En esta etapa el pH alcanza la neutralidad y la temperatura continúa ascendiendo hasta llegar a 75°C, causado por la máxima actividad metabólica lo que genera el incremento de la temperatura; matando a las poblaciones de bacterias y hongos mesofílicos; además de producirse la higienización del material orgánicos en descomposición eliminando agentes patógenos y semillas de malas hierbas; apareciendo bacterias, actinomicetos y hongos termófilos iniciándose la degradación de compuestos más complejos. Al escasear la materia orgánica las bacterias comienzan a morir sobreviviendo solo algunos microorganismos lo que provoca la disminución de la temperatura entrando a una nueva fase de enfriamiento o fase mesófila. (Campos Rodríguez, R., Brenes Peralta, L., y Jiménez Morales, M.2016).

C. Etapa de enfriamiento:

En esta fase el pH y la temperatura se estabiliza, favoreciendo a la aparición de actinomicetos, hongos, nematodos o lombrices, los que favorecen a la producción de antibióticos que eliminan a los patógenos y ayudan a la formación de ácidos húmicos, este proceso seguirá hasta que toda la energía sea utilizada. (Campos Rodríguez, R., Brenes Peralta, L., y Jiménez Morales, M.2016)

D. Etapa de maduración

En este periodo se producen reacciones secundarias de condensación y polimerización del humus. Esta etapa se desarrolla a temperatura ambiente dura varios meses (Damián, 2018)

1.2.3. Técnicas de compostaje

Según Prado (2017), existen diferentes técnicas de transformación biológica de los residuos orgánicos, los cuales tienen que obtener una buena aireación y una temperatura óptima, para lograr eliminar microorganismos patógenos durante el proceso de compostaje.

Las técnicas de compostaje corresponden a procesos de producción de gran envergadura y de tratamientos sofisticados, dado que el volumen de materia prima y el producto resultante son mayores. Las diferentes técnicas de compostaje se dividen en dos tipos de sistemas: sistemas cerrados (recipientes o bajo techo), y sistemas abiertos (aire libre). (Bárbaro Karlanian et al., 2019)

Los autores Pantoja Román et al. (2013) dividen en tres grupos principales las técnicas de compostaje: compostaje en superficie, en montón y en silos compostadores.

□ Compostaje en superficie. Es una técnica que reside en esparcir sobre un terreno una pequeña capa de material orgánico menor de 10 cm. En este tipo de compostaje nunca se debe envolver ni enterrar el material orgánico, ya que es un proceso natural de incorporación al suelo al aire libre dejando descomponer y penetrar poco a poco al suelo. (Pantoja et al 2013)

□ Compostaje en montón. Es un método común en el que se utiliza mayor cantidad y una abundante variedad de residuos orgánicos biológicos a descomponerse juntos. Es una técnica cómoda porque permite controlar el proceso de compostaje. Este método necesita un volumen de 1 m³ o más para que tenga una buena fermentación. (Pantoja et al 2013)

□ Compostaje en cajoneras o silos: Es un método que emplea compostadores comercializados de todos los tamaños y materiales o construirlos respetando unas sencillas indicaciones. Este método requiere poco espacio y es sencillo de realizar, utilizado para compostar pequeñas cantidades de residuos biológicos de huertos, jardines y residuos domésticos. (Pantoja et al 2013)

1.2.4. Sistemas de compostaje

Según FAO (2013), nos dice que hay diferentes técnicas de compostaje lo que dependerá de diversos factores como la cantidad de materia orgánica, el espacio, el tiempo y la condición económica.

□ Sistemas abiertos: Es un sistema que agrupa diversos tipos de residuos en montones que tienen interacciones biológicas que se pueden transferir hacia el interior y exterior del material orgánico, este sistema no tiene limitación en cuando a su longitud con una altura

menor a los 2,7 m. Las pilas tienen que tener un buen control de los parámetros fisicoquímicos como la aireación, humedad y temperatura, para que se desarrolle la microbiota en el proceso de compostaje. (FAO, 2013).

□ **Sistemas cerrados:** Es un sistema que intercambia energía, pero no materia con los alrededores. Este sistema nos permite tener un mejor control de las condiciones del proceso, su tiempo de descomposición y solo requieren menos espacios a comparación de las pilas. Los principales sistemas cerrados de compostaje son: en tambor, en túnel, en contenedor y en nave. Son sistemas que tienen unos costos de instalación más altos al de las pilas. (FAO, 2013)

1.2.5. Factores que influyen en el proceso de compostaje

En este proceso los microorganismos degradan los residuos orgánicos transformándolos en sustancias nutritivas. Para que ocurra una adecuada transformación tenemos que tomar en cuenta los siguientes parámetros:

A. Temperatura:

Según Soriano, (2016), nos dice que el aumento de temperatura tiene gran relación con la actividad microbiana, ya que las bacterias al reproducirse generan calor aumentando la temperatura del sustrato. Este parámetro es de suma importancia porque la pequeña variación en la temperatura tiene un mayor efecto microbiano que los pequeños cambios en la humedad, pH, C/N y el grado eficiencia de descomposición orgánica.

En el proceso de compostaje existen tres fases de descomposición aeróbica como la fase inicial mesófila entre 15 -40°C; termófila entre 40-70°C y fase final de enfriamiento donde la temperatura desciende a la temperatura inicial.

B. Humedad:

Según Soriano(2016) nos comenta que la humedad es una variable indispensable para las necesidades fisiológicas de los microorganismos, ya que el agua cumple la función de transporte de alimento que son aprovechadas por las células, además el crecimiento microbiano depende de esta variable, que debe estar entre el 50-70% de humedad que es óptimo para la reproducción de los microorganismos; si la humedad está por debajo del 30 % la actividad microbiana decrece y si está por encima del 70 % se

produce una anaerobiosis, condición anaeróbica, provocando malos olores y la lenta degradación de los residuos. Con un buen control de la humedad y la aeración se pueden llevar un mejor control de la temperatura ya que estas variables deben estar en equilibrio para el buen funcionamiento de cada una de ellas.

C. Conductividad:

La conductividad eléctrica (C.E.) puede variar ampliamente según los materiales que se está compostando ya que es un indicador de sales presentes en el sustrato. La conductividad eléctrica tiene que alcanzar valores de $10 \text{ mS}\cdot\text{cm}^{-1}$, en todo el proceso de compostaje, mientras que en el producto final lo deseable es que se encuentre en un intervalo comprendido entre $1.500 - 2.000 \text{ mS/cm}$. (Soriano, 2016).

D. pH:

Según Soriano, (2016), nos dice que el pH es un parámetro importante que influye directamente a la actividad microbiana durante todo el proceso de compostaje; En la fase mesófila el pH disminuye por la acción metabólica de los microorganismos sobre la materia orgánica, debido a la producción de aminoácidos. En la fase termófila el pH se vuelve alcalino, esto es causado por la degradación de las proteínas, en la fase siguiente el pH comienza a subir hasta alcanzar valores neutros donde se forman los compuestos húmicos.

E. Aireación:

La aireación es una variable de gran importancia en este proceso, ya que los microorganismos necesitan de esta variable para poderse desarrollar en un medio adecuado; la concentración de oxígeno dependerá del tipo de material que vallamos a compostar textura, humedad y la frecuencia del volteo de las pilas composteras. Una buena aireación presenta valores entre 18-20%, produciéndose condiciones favorables para el desarrollo metabólico de los microorganismos; una aireación insuficiente genera una descomposición lenta, la aparición de sulfuro de hidrogeno, la generación de malos olores y la sustitución de microorganismos aerobios por anaerobios. El exceso de ventilación genera el enfriamiento de las pilas, reducción de la actividad microbiana. (Soriano, 2016).

F. Materia orgánica:

El contenido de materia orgánica a lo largo del proceso de compostaje debe ir disminuyendo en menor proporción, en función al desarrollo del proceso, la materia orgánica de un compost es importante porque influye y favorece en las propiedades físicas, químicas y biológicas del suelo. (Soriano, 2016).

1.2.6. Calidad del compost

Según Soriano, (2016), nos dice que la calidad de compost viene determinada por las características físicas, químicas y biológicas del sustrato. Determinados por criterios de evaluación de la calidad como la procedencia del producto, requerimientos del mercado y el cumplimiento de los parámetros establecidos por el mercado a ser utilizado.

Para definir la calidad de un producto se deben tener en cuenta muchos aspectos subjetivos como el olor, color, higienización, macronutrientes, micronutrientes y una cierta constancia de características.

Según el autor argumenta, que la valoración de las propiedades medidas en el compost puede llevarse a cabo atendiendo a criterios de calidad de dos tipos: agronómicos y legales. Cumpliendo unos requisitos mínimos establecidos para determinados parámetros del compost: porcentajes de impurezas, humedad, materia orgánica, metales pesados, carga bacteriológica, etc.

Nos dice que la calidad del compost no es un concepto absoluto, sino que depende de los usos a los que se le destine. Podríamos definirla como “la capacidad o aptitud del compost para satisfacer las necesidades de las plantas, con un mínimo impacto ambiental y sin riesgo para la salud pública”.

También se podría decir que la calidad del compost depende de su grado de madurez, sus características físicas, químicas y biológicas en función a sus posibles usos, la calidad del sustrato suele determinarse por dos vías diferentes, el primero por los experimentos en campo con diferentes dosificaciones de compost para poder evaluar la producción, crecimiento radicular, número de hojas entre otras características. Y el segundo procedimiento es de evaluar las propiedades físicas, químicas y biológicas del compost maduro.

1.2.7. Evaluación de la madurez de un compost

Según el Instituto de Investigaciones Fundamentales en Agricultura Tropical (INIFAT), la evaluación de la madurez de un compost es uno de los problemas más importantes que se plantea en relación al proceso de compostaje y aplicación del producto obtenido al suelo. La aplicación de un compost insuficientemente maduro o "inmaduro" puede provocar como efecto más destacado un bloqueo biológico del nitrógeno asimilable, lo que podría ocasionar posteriormente un descenso del contenido de este nutriente en la planta y, en definitiva, un menor rendimiento de la cosecha (INIFAT, 2002)

La inmovilización del nitrógeno mineral en el suelo, se debe a que el compost "inmaduro" posee una relación C/N elevada, debido principalmente a que va a tener alto contenido en sustancias hidrocarbonadas, con lo cual, la aplicación al suelo en estas condiciones da lugar a un aumento de la microflora que utiliza parte del nitrógeno presente en el suelo para la formación de distintas estructuras intracelulares, como proteínas y ácidos nucleicos (INIFAT, 2002).

Por otra parte, la incorporación de estos productos insuficientemente maduros al suelo origina la descomposición posterior de estas sustancias que pueden producir serios daños tanto en el suelo como en la planta. Así, se ha descrito que se produce un descenso del contenido de oxígeno y del potencial de óxido-reducción del suelo, favoreciéndose la creación de zonas de anaerobiosis y fuertemente reductoras. Esto, unido a un aumento de la temperatura, puede llegar a inhibir la germinación o en ocasiones se produce una disminución en el desarrollo de las plantas, especialmente cuando se encuentran en estadios más jóvenes (APROLAB, 2007).

Métodos para determinar el grado de madurez de un compost:

El (INIFAT, 2002) propone que un solo parámetro podría ser un buen indicador del grado de madurez desde un punto de vista teórico, pero inaplicable por su pérdida de significación al ignorar la historia de la muestra, o porno ser aplicable a los análisis de rutina. Aunque no se dispone de un método simple y reproducible, son muchos y diferentes los criterios propuestos. Estos se pueden agrupar en 5 tipos:

- test de tipo físico
- test de la actividad microbiana

- test de la fracción húmica del compost
- test de tipo químico
- test biológico o test de fitotoxicidad.

1.2.8. Características que ha de cumplir un compost para su aplicación en la agricultura

Según el MAGAP (2002), plantea que para aplicar un compost en la agricultura debe reunir las siguientes características: materia orgánica total: 25% sobre materia seca, la humedad máxima: 40%, el 90% de las partículas pasarán por la malla de 25 mm.

Los límites máximos admitidos en relación con los elementos pesados expresados en mg/kg son Cadmio 10; Cobre 450; Níquel 120; Plomo 300; Cinc 1100; Mercurio 7; Cromo 400 (INIFAT, 2002).

2. Capítulo II Materiales y Métodos

El estudio se desarrolló en la finca “Punta La Cueva”, perteneciente a la CCS Dionisio San Román, municipio Cienfuegos, durante el periodo comprendido de junio a septiembre del 2021.

La misma se encuentra localizada en el asentamiento poblacional “Punta La Cueva”, en el kilómetro 3 de la carretera, con los siguientes límites geográficos: por el norte y oeste con la Bahía de Cienfuegos, al sur y este con la carretera al Hotel “Punta La Cueva”, está ubicada sobre un suelo pardo con carbonato y cuenta con un área total de 10,75 ha.

Para el montaje de las pilas de compost, se utilizó el método de Sistemas abiertos, en pilas con volteo manual (FAO, 2013), con alternancia de capas de distinto material con el fin de conseguir una adecuada relación C/N (30:1) y el control de temperaturas y humedad al realizar la formación y manejo de la pila.

Para ello se trituraron todos los restos vegetales (producidos en la finca), con una máquina forrajera y se conformaron capas de 10 cm, con la siguiente composición:

- 50 % de restos de tomate (*Solanum lycopersicum*)
- 25% de King Grass (*Pennisetum purpureum*)
- 25% corteza de Mango (*Mangifera indica*).

Estos materiales se alternaron con capas de 5 cm de estiércoles de ovino-caprino; hasta llegar a alcanzar una altura de 60 cm en la pila de compost.

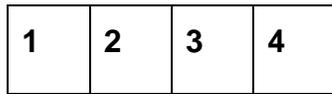
El volteo de la pila se realizó en las semanas 3 y 6, tomando como referencia para ello el comportamiento de la temperatura y la altura de la pila (FAO, 2013), extendiéndola sobre una superficie abierta (con el objetivo de facilitar su aireación y humedecimiento uniformes), y después se volvió a conformar.

Para el humedecimiento, se utilizó ME-50, biopreparado a base de microorganismos eficientes, producido por Labiofam.

Se utilizaron las herramientas e instrumentos siguientes para la investigación: máquina forrajera, pala, guataca, carretilla, termómetro y mochila de fumigación.

Para el montaje del experimento se utilizó un diseño experimental de bloque al azar, con tres tratamientos y cuatro réplicas.

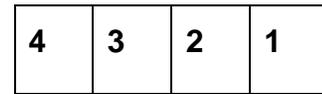
Esquema:



Tratamiento 1



Tratamiento 2



Tratamiento 3

Se evaluaron los siguientes tratamientos:

Tratamiento 1 (Testigo)

Tratamiento 2 (ME-50 en dosis de 60 mL/L)

Tratamiento 3 (ME-50 en dosis de 100 mL/L)

Se realizaron aplicaciones de los productos con un intervalo de 7 días, utilizando una mochila de dieciséis litros de capacidad, con boquilla de cono hueco a presión constante en el horario comprendido entre las 7:00 y 9:00 am, asperjándose el sustrato con 4L de la solución correspondiente.

La aspersión del producto se realizó mediante pases uniformes con la mochila a lo largo de la pila, hasta agotar la solución. En el caso del testigo, este se ejecutó con agua limpia.

Se le realizaron al compost, las actividades propias del mismo previstas en el Manual para la producción de abonos orgánicos en la agricultura urbana (INIFAT, 2002).

Para las evaluaciones físico-químicas se tomaron muestras para el laboratorio de 1,0 kg aproximadamente de cada pila de compost. Para la recogida de las muestras se retiró la capa superficial de la pila (5 cm) y se tomó 4 muestras en distintos puntos de las pilas, las cuales se unieron para formar una muestra única de 1,0 kg, siguiendo la metodología propuesta por la NC 36: 2009, la cual se utilizó en todas las determinaciones realizadas.

Los análisis se realizaron en el Laboratorio de suelos de la Unidad de Ciencia y Técnica Básica (UCTB) de Suelos Cienfuegos, ubicado en la carretera a Manicaragua, km 13, Barajagua, Cumanayagua, Cienfuegos.

A lo largo de la investigación se realizaron análisis de tipo físico, químico y biológico, con los cuales se evaluó el efecto de los ME sobre la producción del compost. Para lo cual se utilizaron los siguientes tipos de test:

Test de tipo físico

- a. Olor: se realizó en el campo, al concluir el proceso, tomando en consideración que el compost maduro debe tener ausencia de olor desagradable y tener un olor similar a la tierra húmeda. Esta determinación se realizó a criterio de expertos (INIFAT, 2002).
- b. Color: se realizó en el campo, al concluir el proceso, tomando en consideración que, durante el compostaje, el material sufre un proceso de oscurecimiento o melanización hasta transformarse en un producto oscuro (uniformidad del color). Esta determinación se efectuó según criterio de expertos (INIFAT, 2002).
- c. Tamaño de las partículas: para su determinación, se tomó una muestra de 1,5 kg la cual se pasó por un juego de tamices de 16, 10, 6, 3 mm respectivamente, los resultados se compararon con los valores propuestos por FAO (2013).
- d. Temperatura estable: Se realizaron evaluaciones tres veces a la semana de la temperatura ($^{\circ}\text{C}$), en el centro de cada réplica (cuatro puntos), en el horario comprendido entre 7 y 8 am, determinando el momento en que se producía la disminución de la temperatura del material compostado de valores entre 60 a 70 $^{\circ}\text{C}$ hasta temperatura ambiente. Las mediciones se realizaron a una profundidad equivalente a la mitad de la altura de la pila en el momento de la medición.
- e. Altura de la pila: Se evaluó la altura (cm) de las pilas al momento del montaje y a las cuatro, ocho y duodécimas semanas del proceso del compostaje. Para la determinación de la altura, se midió con una cinta métrica, desde la base de la pila hasta la parte superior.
- f. Porcentaje de humedad del compost: Se determinó al concluir el proceso, por determinación del peso constante en estufa a 65 $^{\circ}\text{C}$, utilizando el método de Determinación de humedad por gravimetría (NC 110: 2010).

Test de tipo químico

- a. Relación C/N (en fase sólida): Se realizaron al concluir el proceso, con el objetivo de determinar los valores de la relación C/N en ese momento. La determinación

de la relación C/N se expresó como % de la materia orgánica (por la vía de la ceniza) por 0,58 entre el % de Nitrógeno sin corregir en base a seco.

- b. pH: Se realizó la evaluación al concluir el proceso, para determinar el pH final del material, el cual se debía encontrar entre 7,5 y 8,5. Para la determinación del pH en el laboratorio se utilizó el método potenciómetro, mediante la NC 1019: 2014.
- c. Conductividad eléctrica: Se realizó la evaluación al concluir el proceso, para determinar la conductividad eléctrica final del material. Para efectuar esta determinación, se utilizó la metodología establecida en la NC 1019: 2014, comparando los resultados con los valores propuestos en el Manual del compostaje del agricultor (FAO, 2013).
- d. Materia orgánica: Se realizó al concluir el proceso, con el fin de compararlo para determinar la calidad del compost. Para la determinación de la materia orgánica en el laboratorio se utilizó el Método colorimétrico (NC 51: 1999).
- e. Nitrógeno total: Se realizó al finalizar el proceso y se comparó con el rango de calidad establecido. Para la determinación del nitrógeno total en el laboratorio se utilizó el Método Kjeldahl (NC 11261: 2009).
- f. Fósforo total: Se realizó al concluir el proceso, con el fin de compararlo para determinar la calidad del compost. Para la determinación del fósforo total en el laboratorio se utilizó el Método de Oniani (NC 52:1999).
- g. Potasio total: Se realizó al finalizar el proceso y se comparó con el rango de calidad establecido. Para la determinación del potasio total se utilizó el Método de Oniani (NC 52:1999).

Test de tipo biológico

Se realizó al final del proceso, y consistió fundamentalmente en la obtención de un extracto acuoso del material producido, que se introdujo en una placa Petri de incubación, donde se determinó el grado de germinación de determinadas semillas.

Se colocaron 100 semillas de pepino (*Cucumis Sativus*) en placa Petri, humedecidas con 5 ml de extracto acuoso de compost diariamente, y se evaluó los 7 días.

2.1. Evaluación del efecto del biopreparado a base de ME-50, como acelerador de la descomposición en el proceso de elaboración del compost.

Para evaluar el tiempo de elaboración del compost nos auxiliamos en el criterio para un compost maduro, que plantea el Manual para la producción de abonos orgánicos en la agricultura urbana (INIFAT, 2002), que está dado por el momento en el cual, la tasa de descomposición decrece y disminuye la temperatura, estabilizándose en valores próximos, a la del medio ambiente (inicio de la fase de maduración).

Se tomaron como indicadores, la valoración periódica del olor y color, así como del comportamiento de las temperaturas.

2.2. Evaluación del efecto del biopreparado a base de ME-50 en la calidad del compost.

Para la evaluación de la calidad del compost, se tomó como referencia los parámetros propuestos por FAO (2013) e INIFAT (2002), los cuales realizan la correlación entre los valores de un grupo de parámetros obtenidos en los test de tipo físico, químico y biológico. Luego se procedió a comparar los resultados obtenidos en el análisis de las muestras, con los expuestos en la tabla 1.

Tabla 1. Parámetros de calidad para el compost.

Parámetro	Rango de calidad del compost
Humedad (%)	30 - 40
Tamaño de partículas (cm)	< 1,6
Relación C/N	10:1 - 15:1
pH	6,5 - 8,5
Conductividad eléctrica ($\mu\text{S}/\text{cm}$)	1500 - 2000

Materia orgánica (%)	≥ 20
Nitrógeno (%)	0,3 - 1,5
Fósforo (%)	0,1 - 1,0
Potasio (%)	0,3 - 1,0
Germinación (%)	> 50

Fuente: elaboración del autor a partir de FAO (2013) e INIFAT (2002).

2.3. Determinar la factibilidad económica de las alternativas en estudio.

Se calculó la diferencia entre costo del tratamiento testigo y los costos del tratamiento inoculados con microorganismos eficientes (para una tonelada), durante el proceso de producción del compost, mediante la fórmula:

Ganancia = Costos del testigo – Costos del tratamiento

Donde:

Costos del testigo = Mano de obra empleada en la producción del compost.

Costos de los tratamientos = Costo de obtención del ME-50 x Dosis a utilizar + Mano de obra empleada en la producción del compost.

Otro aspecto que fue evaluado fueron los costos de la producción para cubrir las necesidades de la finca, en la cual se tuvo en cuenta las 5 ha de cultivos de la finca y la dosis de compost a aplicar la cual es de 10 ton/ha/año, el cual resulta que la dosis es de 50 ton de compost para suplir la fertilidad del suelo.

Procesamiento Estadístico.

Para el procesamiento estadístico, a los resultados obtenidos en las evaluaciones se le aplicaron los análisis estadísticos de varianza simple, empleando el paquete estadístico Statgraphics 18 - X64 bits para Windows. Las medias fueron comparadas por el test de rangos múltiples de Duncan con una probabilidad de error del 5%, de $p \leq 0,05$.

3. Capítulo III Resultados y discusión

Test tipo físico

a. Olor

Al concluir el proceso de producción del compost, se pudo comprobar que no se obtuvieron diferencias en el olor, entre los tratamientos con ME evaluados y el testigo. Los mismos presentaron un olor similar a la tierra húmeda, sin presencia de olores desagradables, característico del compost maduro, lo que coincide con lo planteado en el Manual de producción de abonos orgánicos (INIFAT, 2002) y el Manual del compostaje del agricultor (FAO, 2013).

Similares resultados fueron obtenidos por (Meléndrez y Sánchez, 2019), al evaluar el empleo de microorganismos eficaces en procesos de compostaje de residuos de maleza.

Este autor plantea que “el olor agradable que se daba, es por la inoculación de los microorganismos eficaces (ME) que conforman un grupo de microorganismos seleccionados (bacterias ácido lácticas, fotosintéticas, hongos, actinomicetos) para el proceso del compostaje, que se encargan de amortiguar estos olores que se emanan cuando se degrada el material durante el proceso”.

b. Color

Durante el proceso de compostaje, el material sufrió un proceso de oscurecimiento o melanización hasta alcanzar su totalidad y con esta la homogeneidad.

En las pilas del compostaje se vio el cambio paulatino en el color durante el proceso, hasta su conclusión, en que se transformó en un producto oscuro, sin la presencia de zonas más claras en el interior del montón, resultando el material más homogenizado en los tratamientos con presencia de ME con relación al testigo, resultado que coincide con lo planteado por INIFAT (2002).

Meléndrez y Sánchez (2019) al evaluar el empleo de microorganismos eficaces en procesos de compostaje obtuvo similares resultados.

c. Tamaño de partículas

Al analizar los valores del tamaño de las partículas del compost (tabla 2), se pudo apreciar que todos los tratamientos se encuentran dentro del rango de calidad propuesto por la FAO (2013), al pasar por un tamiz de 1,6 cm el 100 % de las muestras. Adicionalmente se realizó otra evaluación utilizando un tamiz de 3,00 mm para observar el posible grado de descomposición final que presenta el material, en el que se obtuvo que el tratamiento 3 (ME-50 100 mL/L) tiene el 71,6 % del volumen tamizado compuesto por partículas menores que 3,00 mm, resultando el tratamiento con mejor granulometría. Este resultado se puede atribuir al buen grado de descomposición que presenta este compost por la acción de los ME, lo que asegura un efecto benéfico del compost obtenido si es agregado al suelo.

Tabla 2. Porcentaje de partículas obtenido al tamizar el compost.

Tratamientos	Tamiz de 16 mm	Tamiz de 10 mm	Tamiz de 6 mm	Tamiz de 3 mm
Tratamiento #1 (testigo)	100	80,06	75,06	64,00
Tratamiento #2 ME-50 (60 mL/L)	100	82,33	79,80	69,20
Tratamiento #3 ME-50(100 mL/L)	100	83,06	80,06	71,66

d. Temperatura estable

Al realizar la evaluación del comportamiento de la temperatura en el proceso del compostaje (tabla 3), se obtuvo que a partir de la semana 6, todos los tratamientos con ME-50 evaluados, mostraron diferencias estadísticamente significativas con respecto al

testigo, para un nivel de confianza de 95,0%, resultando el mejor, el tratamiento 3 (ME-50 100mL/L) que supera estadísticamente a los demás.

Similares resultados fueron alcanzados por Rivera (2014), al evaluar el comportamiento de la temperatura en procesos de compostaje de residuos de maleza con el empleo de microorganismos eficaces, lo que coincide con lo planteado por Azurduy et al. (2016), al realizar la evaluación de activadores naturales para acelerar el proceso de compostaje de residuos orgánicos

Bravo (2017), al estudiar el aprovechamiento de los residuos orgánicos domiciliarios para la obtención de compost utilizando microorganismos eficientes, declaró para la temperatura, resultados similares a los obtenidos en esta investigación.

Tabla 3. Evaluación de la temperatura (°C) en el proceso del compost.

Tratamiento	Temp. semana 2	Temp. semana 3	Temp. semana 6	Temp. semana 10
1 (testigo)	65,67 ns	59,00 b	47,67 c	39,00 c
2 (ME-50 60 mL/L)	66,44 ns	57,89 b	45,22 b	29,78 b
3(ME-50 100 mL/L)	65,67 ns	56,44 a	43,56 a	26,44 a
Error Standar	0,462592	0,362887	0,286888	0,307653
Coef. Variación	1,2066	2,139	4,0494	17,8049

*Letras desiguales en la misma columna, difieren estadísticamente para <0,05.

e. % de humedad del compost

Al evaluar el comportamiento del % de humedad de las pilas del compost (figura 1), se obtuvo que todos los tratamientos evaluados se encuentran dentro de los rangos de calidad propuestos por la FAO (2013). Los tratamientos inoculados con microorganismos

eficientes presentan valores menores al testigo, resultando el mejor el tratamiento 3 (ME-50 100 mL/L).

Según estudios realizados por Huayllani (2017), esto se atribuye al grado de madurez, donde el % de humedad va disminuyendo conforme se alcanza la madurez del compost.

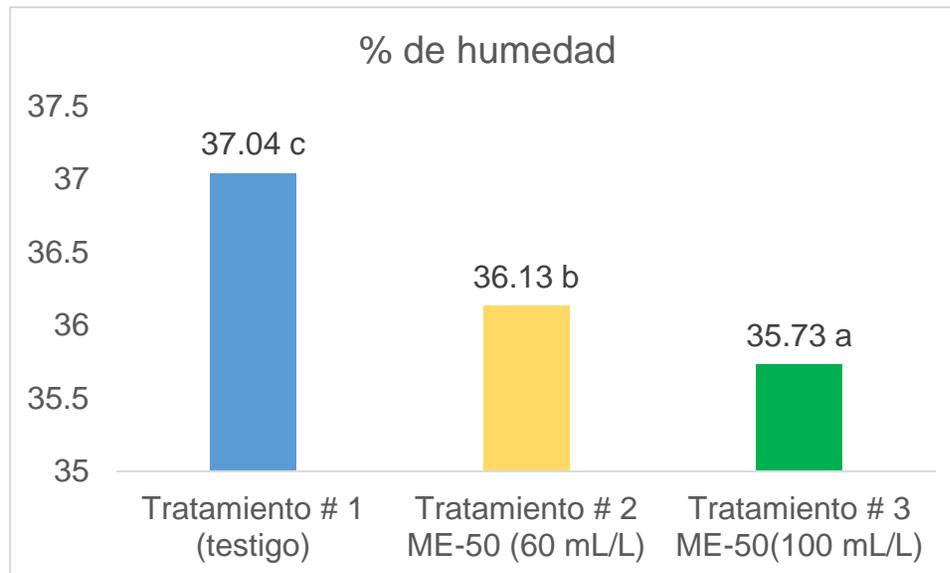


Figura1. % de humedad en las pilas de compost.

f. Altura de las pilas

Al evaluar el comportamiento de la altura de las pilas en el proceso del compostaje (tabla 4), se obtuvo que a partir de la semana 3, todos los tratamientos con ME-50 evaluados, muestran diferencias estadísticas significativas con el testigo, para un nivel de confianza de 95,0%, y que de la semana 6 en adelante, el tratamiento 3 (ME-50 100 mL/L) resulta el mejor, al presentar diferencias estadísticas significativas con los demás.

Estos resultados coinciden con lo planteado por FAO (2013), al exponer que la altura de las pilas es un aspecto que está muy relacionado con la maduración del compost, lo que se puede evidenciar en la reducción del tamaño de las partículas, que provocan un decrecimiento en la altura.

Resultados similares obtuvieron Camacho et al., (2016) al estudiar las alternativas de producción de abono orgánico a partir de residuos sólidos (provenientes de restaurantes, cartón, pasto y aserrín) mezclados con microorganismos eficientes.

Tabla 4. Comportamiento de la altura en las pilas (cm) del compost.

Tratamiento	Inicial	Altura semana 3	Altura semana 6	Altura semana 10 (final)
1 (testigo)	60 ns	54 b	46 c	43 c
2 (ME-50 60 mL/L)	60 ns	52 a	44 b	41 b
3 (ME-50 100 mL/L)	60 ns	52 a	43 a	39 a
Error Standar	0,216025	0,216025	0,216025	0,216025
Coef. variación	0,360042	0,410174	0,487275	0,526890

*Letras desiguales en la misma columna, difieren estadísticamente para <0,05.

Test tipo Químico

a. Relación Carbono Nitrógeno C/N

Al estudiar los valores de la relación C/N en el proceso del compost (figura 2), se obtuvo que los tratamientos inoculados con ME-50 presentaron diferencias significativas con respecto al testigo, para un nivel de confianza de 95,0%.

El tratamiento 3 (ME-50 100 mL/L) muestra diferencias significativas con el resto de los tratamientos, resultando el mejor, y se encuentra en el rango de valores de calidad de FAO (2013), propuesto en el Manual de compostaje para el agricultor. El tratamiento 2 (ME-50 60 mL/L) presenta valores próximos a los establecidos en este manual, con diferencias significativas con el testigo que presenta valores muy por debajo de este rango, lo que se puede atribuir a su alto contenido de nitrógeno, y a su vez, a que presenta los valores más bajos de materia orgánica, de acuerdo al análisis realizado en el laboratorio, lo que determinó una menor relación C/N a partir de los cálculos de la NC: 51: 1999.

Similares resultados fueron alcanzados por Huayllani (2017) en el estudio de la influencia de microorganismos eficaces (EM-compost) al compostar lodos de una planta de

tratamiento de aguas residuales y por Bravo (2017) al estudiar el aprovechamiento de los residuos orgánicos domiciliarios para la obtención de compost utilizando microorganismos eficientes.

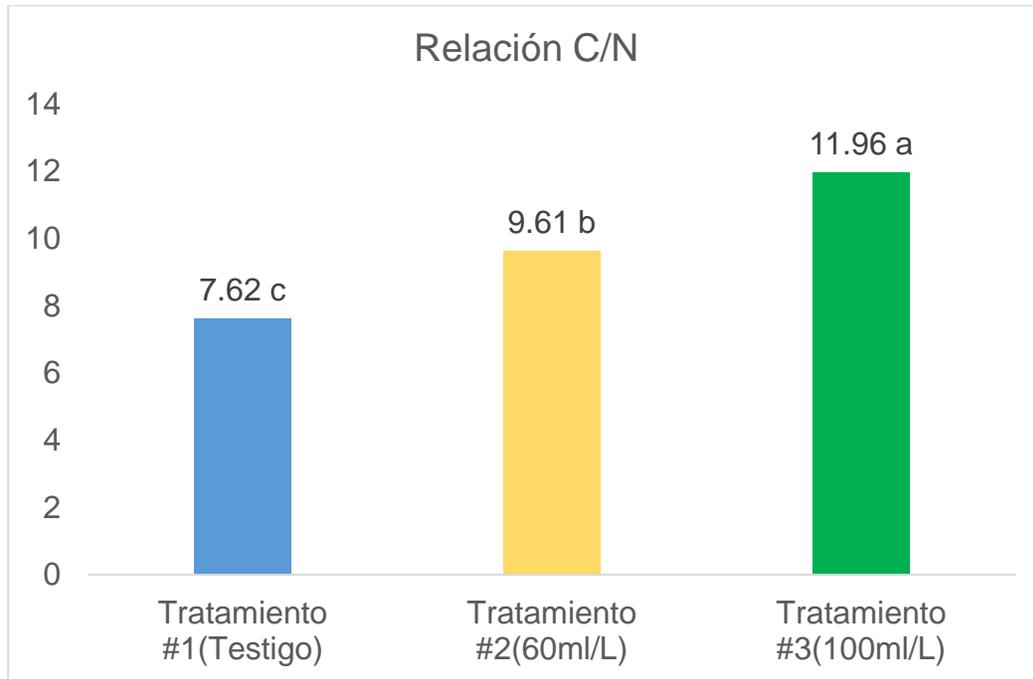


Figura2. Valores de la relación C/N del compost.

b. pH

Al analizar los datos del pH de las pilas de compost (figura 3), se obtuvo que los tratamientos inoculados con ME-50, presentaron diferencias significativas con respecto al testigo, para un nivel de confianza de 95,0%.

A pesar de lo anterior, el valor del pH de los diferentes tratamientos, se encontró dentro del rango de calidad propuesto por la FAO (2013), lo que asegura un efecto benéfico del compost obtenido si es agregado al suelo. Los tratamientos con ME-50 presentan valores ligeramente superiores al testigo, lo cual es atribuido por Huayllani (2017), a la liberación de calcio, magnesio, sodio y potasio, que unidos a los aniones carbonatos y bicarbonatos elevan el pH del compost.

Resultados similares obtuvo Rivera (2014), al evaluar el comportamiento del pH en proceso de compostaje de residuos de maleza con el empleo de microorganismos eficaces, y Maldonado (2020) en el estudio de la calidad del compost resultante del proceso realizado por microorganismos eficientes comerciales y naturales.

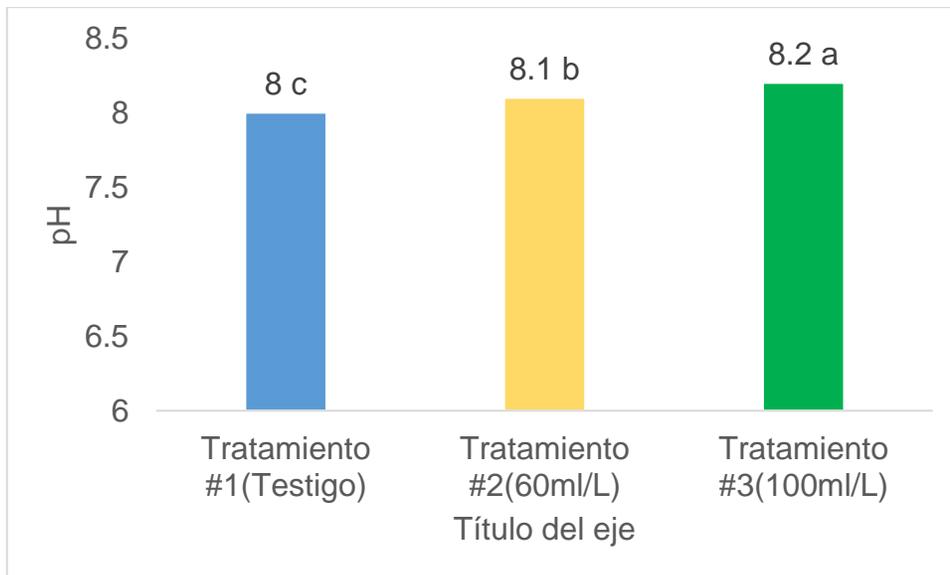


Figura3. Valores de pH del compost.

c. Conductividad eléctrica

Al estudiar los valores de la conductividad eléctrica del compost (figura 4), se obtuvo que el tratamiento 3 (ME-50 100 mL/L), presentó diferencias significativas con el testigo y el tratamiento 2 (ME-50 60 mL/L), que a su vez no difieren entre sí, para un nivel de confianza de 95,0%. El tratamiento 3 (ME-50 100 mL/L) resultó el que más se acercó al rango de calidad propuesto por INIFAT (2002) como deseable en el caso de compost (1500 a 2000 $\mu\text{S}/\text{cm}$).

Huayllani (2017), al estudiar la influencia de microorganismos eficaces (EM-compost) en la producción de compost de lodos de la planta de tratamiento de aguas residuales, atribuye este resultado a la descomposición de los materiales orgánicos, que generan iones, como el sodio, cloruro, magnesio, bicarbonatos, que al formar sales incrementan la conductividad eléctrica del compost.

Una posible causa que los valores de conductividad eléctrica son altos es la colindancia de la finca con la bahía de Cienfuegos, lo cual pudo influir directa o indirectamente.

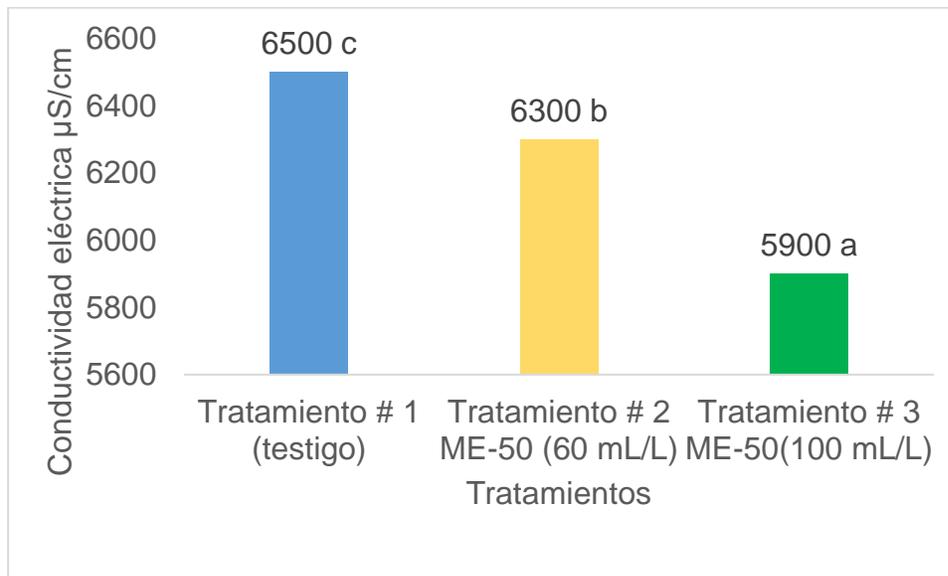


Figura 4. Valores de conductividad eléctrica del compost.

d.% Materia Orgánica

El contenido de materia orgánica del compost obtenido, presentó valores entre 24,91 y 38,08% (figura 5), con valores para todos los tratamientos, superiores al 20% de materia orgánica establecido como rango mínimo para un compost, propuesto por FAO (2013). Los tratamientos con ME-50 inoculado, presentaron los mejores resultados en este indicador de calidad del compost, con diferencias estadísticas significativas, con relación al testigo, alcanzando el mejor valor el tratamiento 3 (ME-50 100 mL/L) que superó a los restantes.

Este resultado, coincide con lo obtenido por Huayllani (2017), el que lo atribuye a que se logra una mayor descomposición de los residuos y consecuentemente mayor contenido de materia orgánica.

Similares resultados fueron obtenidos por Naranjo (2013) en el estudio de la aplicación de microorganismos para acelerar la transformación de desechos orgánicos en compost.

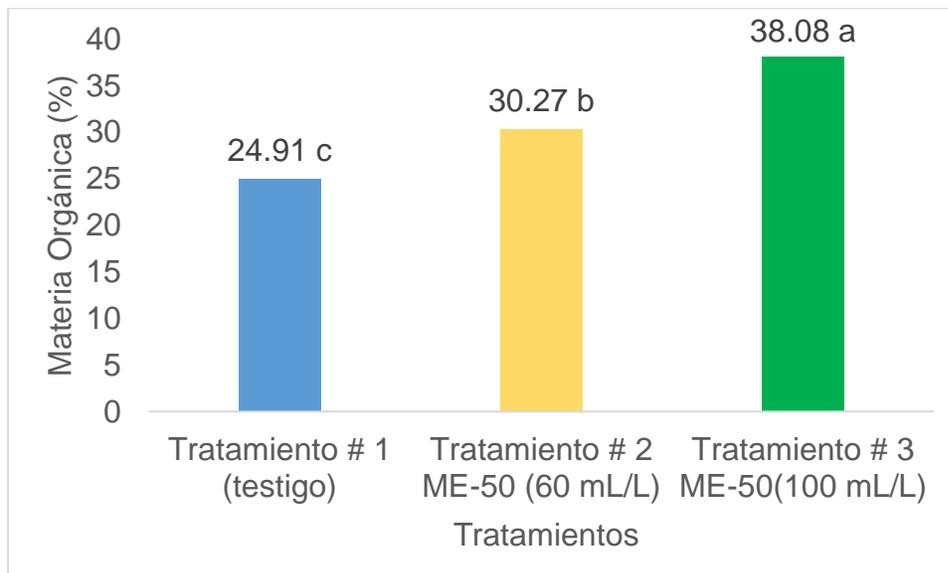


Figura5. Contenido de materia orgánica en el compost.

e. Nitrógeno total

Al analizar el contenido de nitrógeno total en el compost (figura 6), se obtuvo que presentan diferencias estadísticas significativas, para el testigo con relación a los tratamientos 2 y 3, que a su vez difieren entre sí en ese orden.

Se alcanzaron valores entre 1,88% y 1,81%, superiores al rango de calidad propuesto por la FAO (2013), lo que indica que el compost obtenido es rico en nitrógeno y si es incorporado al suelo, suministrará una cantidad de este elemento a considerar en el balance de nutrientes para el normal crecimiento de las plantas.

Este comportamiento puede explicarse debido a una posible inmovilización del nitrógeno, al ser asimilado por los microorganismos, así como a la volatilización de compuestos nitrogenados durante la fase termófila, como lo refiere (Acosta et al., 2012) en el estudio de los cambios de las propiedades fisicoquímicas en el proceso de compostaje de lodos residuales.

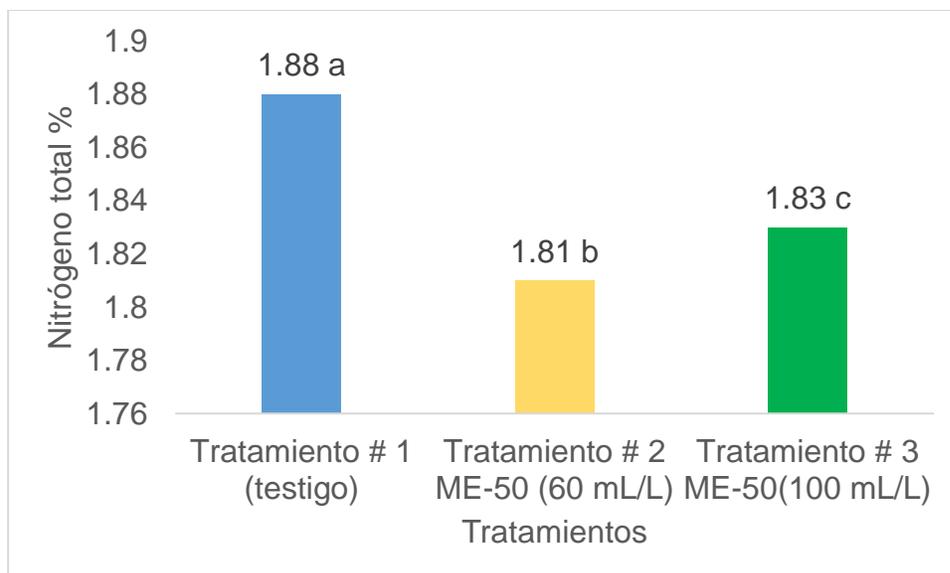


Figura6. Contenido de nitrógeno total en el compost.

f. Fósforo total

El contenido de fósforo total en el compost obtenido en la finca “Punta La Cueva” (Figura7), presentó valores entre 0,45% a 0,47%, ubicados dentro del rango de calidad propuesto por FAO (2013), que plantea valores entre 0,1-1,0%, lo que indica que el compost obtenido, es de buena calidad. Si es aplicado al suelo como abono orgánico, incrementará fósforo al suelo y mejorará las propiedades físico-químicas y biológicas del suelo.

Los valores de fósforo total tienen ligera variación entre los tratamientos inoculados con ME-50, y el testigo, resultando los mejores el testigo y el tratamiento 3, sin diferencias estadísticas entre ellos.

Resultados similares se obtuvieron en la investigación de Azurduy et al., (2014) al realizar la evaluación de activadores naturales para acelerar el proceso de compostaje de residuos orgánicos en el municipio de Quillacollo, así como por Bravo (2017), al estudiar el aprovechamiento de los residuos orgánicos domiciliarios para la obtención de compost utilizando microorganismos eficientes.

Huayllani (2017), en el estudio de la influencia de microorganismos eficaces (EM-compost) en la producción de compost de lodos de la planta de tratamiento de aguas residuales, obtuvo resultados similares y los atribuye a que los tratamientos con mayor

dosis de microorganismos eficientes, tienen menor contenido de fósforo total, respecto al testigo, debido a la lixiviación y consecuente pérdida de fósforo, una vez que es transformado por acción de los microorganismos aplicados al compost.

Por su parte, Naranjo (2013), al realizar el aporte de microorganismos benéficos, para acelerar la transformación de desechos orgánicos en compost, reporta contenidos de fósforo, por encima de los parámetros de FAO (2013), resultado que coincide con este experimento.

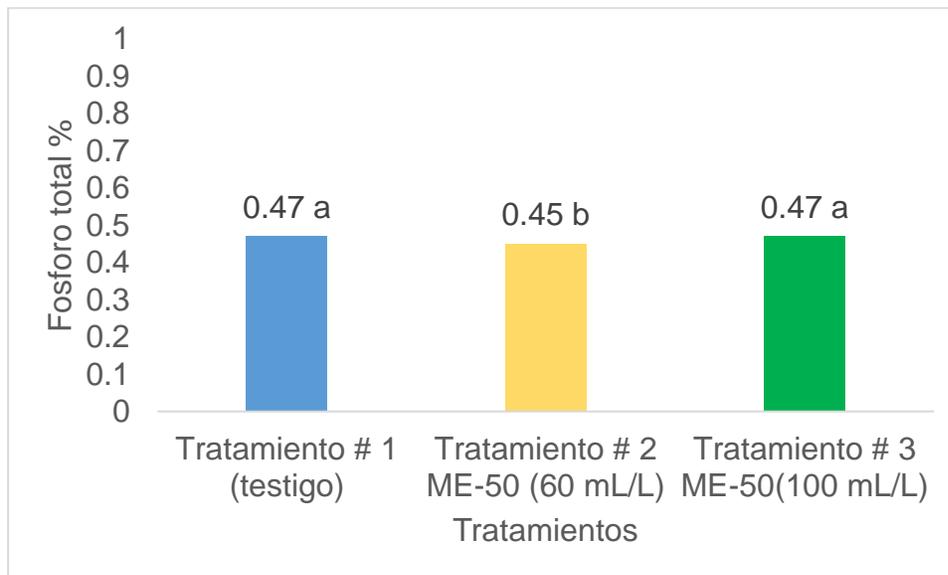


Figura7. Contenido de fósforo total en el compost.

g. Potasio total

El contenido de potasio total en el compost producido (figura 8), presentó valores entre 1,2 y 1,4%, superiores a los propuestos por FAO (2013), sin diferencias estadísticas entre los tratamientos inoculados con ME-50 y el testigo.

Los resultados obtenidos, son atribuibles a la liberación de iones de potasio de los compuestos orgánicos que se van transformando en el proceso de compostaje, debido a la actividad microbiana.

Estudios anteriores revelaron resultados similares por Huayllani (2017) en el estudio de la influencia de microorganismos eficaces (EM-compost) en la producción de compost de lodos de la planta de tratamiento de aguas residuales, y por (Norberto y Percidas, 2019)

al realizar la evaluación de activadores naturales para acelerar el proceso de compostaje de residuos orgánicos.

Esto garantiza la calidad del compost obtenido y puede ser utilizado como abono orgánico, para incrementar el contenido orgánico, y mejorar las propiedades físicas, químicas y biológicas del suelo.

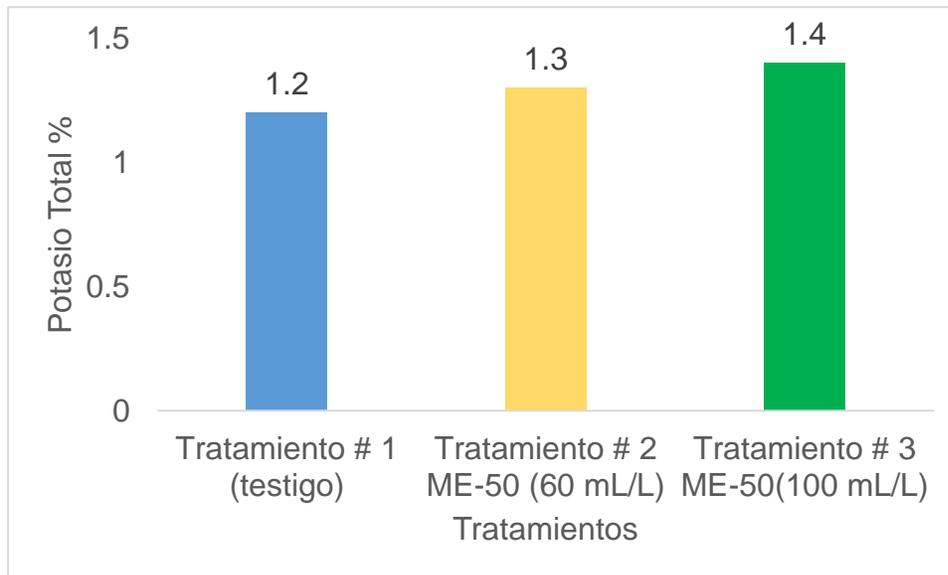


Figura8. Contenido de potasio total en el compost.

Test tipo Biológico

Prueba de Germinación

Al realizar la evaluación del comportamiento de la germinación de las semillas de pepino (*Cucumis Sativus*) con humedecimiento de extracto acuoso de compost (figura 9), se pudo apreciar que todos los tratamientos evaluados, alcanzan valores superiores a lo planteado por INIFAT (2002) para el test biológico, lo que indica la calidad del material producido y permite afirmar que estamos en presencia de un compost con un adecuado grado de madurez, sin la presencia de compuestos fitotóxicos para la germinación de las semillas.

A su vez, los tratamientos con ME-50 evaluados, mostraron diferencias estadísticas significativas con el testigo, para un nivel de confianza de 95,0%, resultando el mejor el tratamiento 3 (ME-50 100 mL/L) que superó estadísticamente a los demás.

Similares resultados fueron alcanzados por Azurduy et al., (2016) al realizar la evaluación de activadores naturales para acelerar el proceso de compostaje de residuos orgánicos en el municipio de Quillacollo.

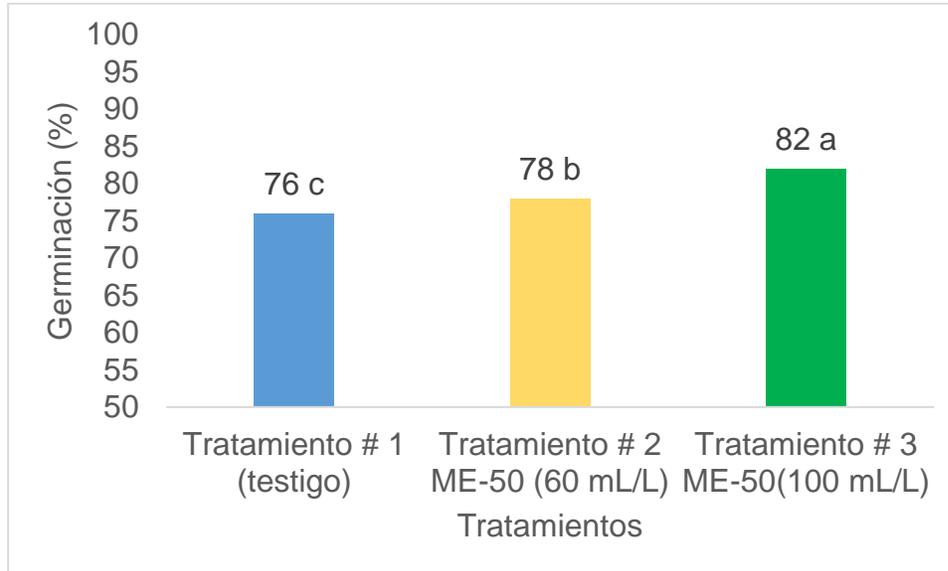


Figura9. Germinación de semillas de pepino (*Cucumis Sativus*) en extracto acuoso de compost.

3.1.Evaluación del efecto del biopreparado ME-50, como acelerador de la descomposición en el proceso de la elaboración del compost.

Para evaluar el tiempo de elaboración del compost nos auxiliamos del criterio para un compost maduro que plantea el Manual para la producción de abonos orgánicos en la agricultura urbana (INIFAT, 2002), que está dado por el momento en el cual la tasa de descomposición decrece y disminuye la temperatura, estabilizándose en valores próximos a la del medio ambiente (inicio de la fase de maduración).

Se tomaron como indicadores la valoración periódica del olor y color, así como la dinámica del comportamiento de las temperaturas.

Olor y color.

Al realizar la evaluación periódica del comportamiento de olor, se pudo comprobar que no se obtuvieron diferencias para el olor, entre los tratamientos con ME evaluados y el testigo. Los mismos presentaron el olor característico del compost, lo que coincide con lo establecido por INIFAT (2002) y FAO (2013).

Con relación al color se obtuvo que el material sufrió un proceso paulatino de oscurecimiento y con esta la homogeneidad, sin la presencia de zonas más claras en el interior de las pilas, resultado que coincide con lo expuesto por INIFAT (2002) y FAO (2013).

Dinámica de la temperatura en el proceso de compostaje

En la figura 10 se puede observar la dinámica del comportamiento de la temperatura en el proceso de compostaje, además de poder apreciar las fases mesófila, termófila, enfriamiento y maduración para cada tratamiento.

A los dos a tres días del montaje de la pila, se produjo una elevación brusca de la temperatura (fase mesófila), hasta alcanzar valores por encima de 45 °C a partir de la semana 1, resultado que coincidió con lo planteado para esta fase, en el Manual del compostaje del agricultor (FAO, 2013).

En este período, se pudo apreciar cómo se elevó rápidamente la temperatura, hasta valores entre 65 a 66 °C (fase termófila) en todos los tratamientos, sin diferencias estadísticamente significativas entre ellos y se inició un descenso de la temperatura, la cual se elevó nuevamente (semana 4), al producirse el primer volteo de la pila, producto del incremento de la actividad microbiana, por el efecto de la aireación y humedecimiento de la pila, resultado que coincidió con lo planteado por INIFAT (2002).

A partir de esta etapa, el tratamiento 3 (ME-50 100mL/L) presentó diferencias significativas con los demás, por lo que resultó el mejor. La pila se mantuvo en la fase termófila.

A partir de la semana 5, se inició un proceso de enfriamiento paulatino, el cual se revirtió, al realizarse el 2º viraje en la semana 6, manteniendo la pila en la fase termófila, aunque el tratamiento 3 alcanza los valores más bajos, con diferencias significativas con los restantes, lo que indica que el material se degradó más rápidamente y muy próximo al inicio de la fase mesófila o de enfriamiento.

Esta fase comienza para este tratamiento entre las semanas 8 y 9, y concluye en la semana 10, en que se inicia en él, la fase de maduración, proceso que se alarga de una a tres semanas más en los tratamientos 2 y el testigo respectivamente.

INIFAT (2002), considera un compost maduro, cuando la curva de temperatura del mismo se ha estabilizado y no varía con el volteo del material.

Similares resultados fueron obtenidos por Bravo (2017) al estudiar el tiempo de elaboración del compost aprovechando los residuos orgánicos domiciliarios utilizando microorganismos eficientes.

Huayllani (2017), logró reducir el tiempo con respecto al tratamiento con mayor dosis de ME y con el testigo respectivamente, en el estudio de la influencia de microorganismos eficaces (EM-compost) en la producción de compost de lodos de la planta de tratamiento de aguas residuales.

Por su parte (Suaña, 2013), obtuvo mejores resultados en el tiempo de producción de compost con tratamientos con ME y Naranjo (2013), al realizar el aporte de microorganismos benéficos, para acelerar la transformación de desechos orgánicos en compost, obtuvo menor tiempo a la obtención del compost, resultados que coinciden con los de esta investigación.

Moya, (2012) plantea entre algunos de los efectos benéficos de los microorganismos eficientes en la producción de compost que mejoran su calidad y aumentan su rapidez de elaboración.

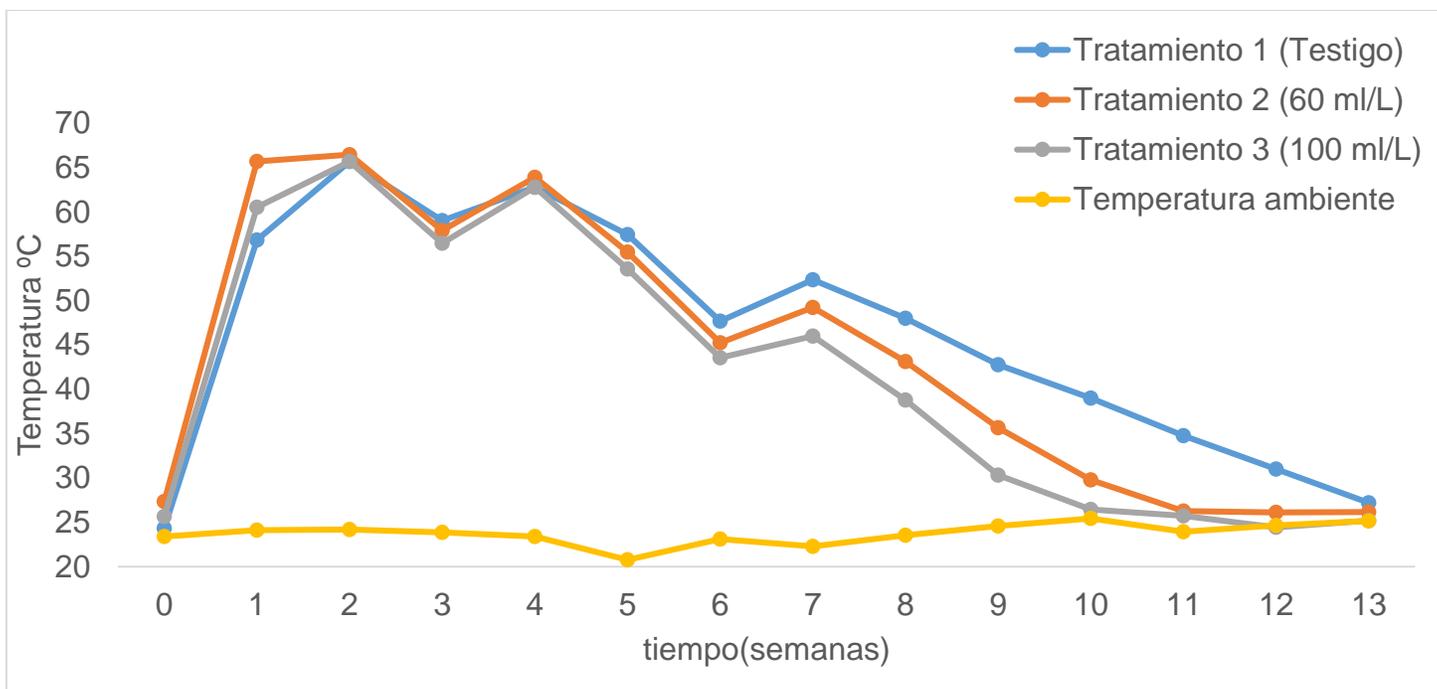


Figura 10. Dinámica de la temperatura en el proceso del compostaje.

3.2. Evaluación del efecto del biopreparado ME-50 en la calidad del compost

Para la evaluación de la calidad del compost, se realizó la correlación entre los valores obtenidos en los test de tipos físicos, químicos y biológicos realizados, y los parámetros propuestos por FAO (2013) e INIFAT (2002) para determinar el Rango ideal de un compost maduro, lo que se resume en la tabla 5.

El comportamiento de los parámetros % de humedad, relación C/N y pH del compost, reportó en todos los casos los mejores resultados con el tratamiento 3 (ME-50 100 mL/L), con diferencias significativas con el resto.

Este resultado nos permite afirmar que estamos en presencia de un compost de mayor calidad, por lo que se analizaron los restantes parámetros que definen la calidad del compost según el Manual de compostaje del agricultor (FAO, 2013) y el Manual de abonos orgánicos de INIFAT (2002).

Con relación al contenido de materia orgánica, alcanza el mejor resultado el tratamiento 3 (ME-50 100 mL/L) que supera a los restantes, lo que indica que los tratamientos con ME-50 inoculado mejoran la calidad del compost.

El análisis de contenido de nitrógeno, determinó que se alcanzan valores entre 1,88 y 1,81%, superiores al rango de calidad propuesto por la FAO (2013), lo que indica que el compost obtenido es rico en nitrógeno y si es incorporado al suelo, suministrará una cantidad importante de este elemento. El testigo obtiene los mejores resultados.

Los valores de fósforo total tienen ligera variación entre los tratamientos inoculados con ME-50, y el testigo, resultando los mejores el testigo y el tratamiento 3, sin diferencias estadísticas entre ellos.

El contenido de potasio total en el compost producido, presentó valores entre 1,2 y 1,4%, superiores a los propuestos por FAO (2013), sin diferencias estadísticas entre los tratamientos inoculados con ME-50 y el testigo.

El test de tipo biológico indicó que todos los tratamientos evaluados, alcanzaron valores superiores a lo planteado por INIFAT (2002) para el test biológico, lo que indica la calidad del material producido y permite afirmar que estamos en presencia de un compost con un adecuado grado de madurez, sin la presencia de compuestos fitotóxicos para la germinación de las semillas.

Al determinar el % de partículas menores que 3,00 mm, el tratamiento 3 (ME-50 100 mL/L), alcanza el 71,66 % del total tamizado y resulta el tratamiento con mejor granulometría, lo que asegura un efecto benéfico del compost obtenido si es agregado al suelo.

De manera general, podemos afirmar que en todos los tratamientos, se obtuvo un compost de calidad, pero con el tratamiento 3 (ME-50 100 mL/L), se alcanzaron los mejores resultados, al reducirse el tiempo a la cosecha (90 días para producirlo), y obtener compost de mejor calidad, con un buen contenido nutricional, al reportar mayor contenido de materia orgánica, buen contenido de nitrógeno, fósforo y potasio, sin la presencia de compuestos fitotóxicos para la germinación de las semillas y con mejor granulometría.

Tabla 5. Resultados de la evaluación de la calidad del compost.

Parámetros	Manual FAO (2013)	Trat. 1 (testigo)	Trat. 2 (ME-50 60 ml/L)	Trat. 3 (ME-50 100 ml/L)
Humedad (%)	30 a 40	37,04	36,13	35,73
Tamaño de partículas (%)	< 1,6 cm	100	100	100
	< 1,00 cm	80,06	82,33	83,06
	< 0,60 cm	75,06	79,80	80,06
	< 0,30 cm	64	69,20	71,66
Relación C/N	10 a 15	7,62	9,61	11,96
pH	6,5 a 8,5	8,0	8,1	8,2
Conductividad eléctrica (μS/cm)	1500 - 2000	6500	6300	5900
Materia orgánica (%)	≥ 20	24,91	30,27	38,08
Nitrógeno (%)	0,3 - 1,5	1,88	1,81	1,83
Fósforo (%)	0,1 - 1,0	0,47	0,45	0,47
Potasio (%)	0,3 - 1,0	1,2	1,3	1,4
Germinación (%)	> 50	76	78	82

Fuente: elaboración del autor a partir de FAO (2013), INIFAT (2002) y los resultados de la investigación.

3.3. Determinar la factibilidad económica de la alternativa en estudio.

En la tabla 6 se evidencian los resultados de los costos de producción, donde se puede observar que el tratamiento 3 (ME-50 100 mL/L), es el de menor costo con respecto al testigo, lo cual se le atribuye a la disminución del tiempo de producción, además de obtenerse un compost de mayor calidad, como quedó demostrado en los análisis realizados en epígrafes anteriores.

Tabla 6. Costos de producción una tonelada de compost (CUP).

	Tratamiento 1 (Testigo)	Tratamiento 2 (60ml/L)	Tratamiento 3 (100ml/L)
Costo de ME-50 x dosis a utilizar	--	23,76	36
Costo de Mano de obra	1294,80	1095,60	996
Total	1294,80	1119,36	1032
Diferencia con el testigo	--	175,44	262,8

En la tabla 7 se muestran los costos de la producción de compost para abastecer las necesidades de fertilidad de la finca, la cual es de 60 ton por año, en la que se puede apreciar que el Tratamiento 3 (ME-50 100 mL/L) reduce una cifra importante con respecto al testigo. Este resultado se debe a la disminución del tiempo de producción, además de obtenerse un compost de mayor calidad, como quedó demostrado en los análisis realizados en epígrafes anteriores.

Tabla 7. Costos de la producción de compost (CUP) para cubrir las necesidades de fertilidad de la finca.

	Tratamiento 1 (testigo)	Tratamiento 2 (60ml/L)	Tratamiento 3 (100ml/L)
Costo total	77688	67161,60	61920
Diferencia con el testigo	--	10526,40	15768

Conclusiones

- De acuerdo a los análisis realizados, se obtuvo que el tratamiento 3 (ME-50 100 mL/L), resultó el mejor, al reducir el tiempo de producción del compost y mejorar la calidad del mismo.
- Según los indicadores físicos, químicos y biológicos usados para conocer el grado de madurez del compost, el biopreparado ME-50 incrementó la velocidad del proceso y los mejores resultados se alcanzaron con el tratamiento 3 (ME-50 100 mL/L). Este tratamiento redujo el tiempo de producción en 1 semana respecto al tratamiento 2 (ME-50 60 mL/L) y 3 semanas respecto al tratamiento 1 (testigo).
- La medida de los indicadores usados para determinar la calidad del compost (% de humedad, relación C/N, pH, % de materia orgánica, % de NPK y tamaño de las partículas del compost) revelaron que el tratamiento 3 (ME-50 100 mL/L) cumple los requisitos establecidos según la metodología usada.

Recomendaciones

- Publicar los resultados obtenidos en la Revista Agroecosistemas de la Facultad de Ciencias Agrarias.
- Socializar los resultados obtenidos para futuras investigaciones.

Bibliografía

- Acosta, Y; Zárraga, A; Rodríguez, L. y El Zauahre, M. (2012). Cambios en las propiedades fisicoquímicas en el proceso de compostaje de lodos residuales. *Revista Multiciencias*. Vol. 12. p. 18.
- Álvarez, J.L.; Mesa, J. R. y Jiménez, M. (2012). Desenvolvimento de um projecto inquiridor sobre a produção e introdução de um biopreparado biofertilizante de produção local na agricultura angolana. *Metodologia da produção*. En: *Memórias do 1º Workshop*. ISCED de Sumbe. (2012) Instituto Superior de Ciências da Educação de Sumbe. Universida de Katyavala Bwila. Benguela. República de Angola.
- APROLAB. (2007). Manual para la producción de compost con microorganismos eficaces. Programa de Apoyo a la Formación Profesional para la Inserción Laboral en el Perú. p.22.
- Arias, A. (2010). Microorganismos eficientes y su beneficio para la agricultura y el medio ambiente. *Journal de Ciencia e Ingeniería*, 2(02), 42–45.
<http://jci.uniautonoma.edu.co/2010/2010-7.pdf>
- Azurduy, S; Azero, M; y Ortuño, N. (2016). Evaluación de activadores naturales para acelerar el proceso de compostaje de residuos orgánicos en el municipio de Quillacollo. Bolivia. *ACTA NOVA*; 7(4), p. 369-388.
- Ballesteros, D. A. (2008). Efecto de la suplementación de EM. (Microorganismos Eficientes) en la alimentación de conejos Nueva Zelanda en la fase de ceba en la finca El Pedregal del municipio de Simijaca. (Tesis de grado) Universidad de la Salle.
<http://www.terra.lasalle.edu.co>.
- Bárbaro, L., Karlanian, M., Rizzo, P., & Riera, N. (2019). Caracterización de diferentes compost para su uso como componente de sustratos. *Chilean Journal of Agricultural & Animal Sciences*, 35(2), 126-136.
<https://dx.doi.org/10.4067/S0719-38902019005000309>

Bravo, Y. (2017). Aprovechamiento de los residuos orgánicos domiciliarios para la obtención de compost utilizando microorganismos eficientes. (Tesis de Grado) Universidad Central del Ecuador.

Cajahuanca, 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 Grado) Universidad de Huánuco.

Camacho, J; Rojas, Z. (2016). Alternativas de producción de abono orgánico a partir de residuos sólidos (provenientes de restaurantes, cartón, pasto y aserrín) mezclados con microorganismos eficientes (M.E). (Tesis de Grado) Universidad de los Llanos.

Campos Rodríguez, R., Brenes Peralta, L., y Jiménez Morales, M.2016. Evaluación técnica de dos métodos de compostaje para el tratamiento de residuos sólidos biodegradables domiciliarios y su uso en huertas caseras. *Tecnología en Marcha*. Encuentro de Investigación y Extensión 2016. p. 25-32.

DOI: 10.18845/tm.v29i8.2982

Carvajal, R. (2015). Evaluación del efecto de los Microorganismos eficientes (EM) en la producción de posturas de Fruta Bomba (*Carica papaya* L.) en Cienfuegos. (Trabajo de Diploma). Universidad de Cienfuegos. Facultad de Ciencias Agrarias. Cienfuegos.

Coutinho, M. F. (2011). Caderno dos Microrganismos Eficientes (EM). Instruçõespráticas sobre uso ecológico e social do EM. 2a Edição. Recuperado de:

<http://www.sunnet.com.br/biblioteca/livros-e-textos/cadernodosmcrorganismos-eficientes.pdf>.

Damián Acuña, L., 2018. Aplicación de tres tratamientos aceleradores para la elaboración de compost de residuos del Mercado Los Cedros, Distrito de Chorrillos. Universidad César Vallejo.
http://repositorio.ucv.edu.pe/bitstream/handle/UCV/20516/DAMIAN_ALN.pdf?sequence=1&isAllowed=y

Ecologic Maintenances. (2012). Microorganismos efectivos EM en la Agricultura. UweRolli. Yucatán. México.

<http://www.emmexico.com>.

FAO. (2013). Manual del 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.

Feijoo, M. A. L. 2016. Microorganismos eficientes y sus beneficios para los agricultores. Científica Agroecosistemas, 4 (2) p.31-40.

Fernández-Larrea, O. (2013). Microorganismos eficientes, usos y posibilidades de producción. I Taller Nacional sobre "Resultados del Empleo de los Microorganismos Eficientes en Cuba".

Fundación de Asesorías para el Sector Rural (Fundases). (2014). Microorganismos Eficaces. Agrophos.

<http://fundases.com/p/solbac.html>

García, C. (2016). Efecto de dos biopreparados a base de EM sobre el cultivo del frijol común (*Phaseolus vulgaris* L.) en Aguada de Pasajeros. (Tesis de Grado). Universidad de Cienfuegos.

Guio, E.T. (2010). Evaluación del efecto de la utilización de microorganismos eficientes en el agua de bebida sobre los parámetros productivos de cerdos en etapa de levante en el municipio de Sotaquirá. (Tesis de Grado). Universidad Nacional Abierta y a Distancia CEAD Tunja.

Higa, T. (2013). Microorganismos Benéficos y efectivos para una agricultura y medio ambiente sostenibles. Maryland (USA): Centro internacional de Investigación de Agricultura Natural.

Huayllani Hilario K.O. Influencia de Microorganismos Eficaces (EM-Compost) en la producción de compost de lodos de la planta de tratamiento de aguas residuales, Concepción, 2016. (Tesis de Grado). Universidad Continental.

- INIFAT. (2002). Manual para la producción de abonos orgánicos en la agricultura urbana. Instituto de Investigaciones Fundamentales en Agricultura Tropical (INIFAT). Grupo Nacional de Agricultura Urbana. Programa de las Naciones Unidas para el Desarrollo. Santiago de las Vegas, Ciudad de La Habana, Cuba.
- LABIOFAM/INIFAT. (2013). Catálogo: Bioproductos para uso agrícola.
- López, B.A. y Medina, I.E. (2011). Efecto de la aplicación de Microorganismos Eficientes (EM) sobre la calidad de efluentes en Porcicultura. (Tesis de Grado). Universidad del Cauca.
- Luna, M. A., y Mesa, J. R. (2016). Microorganismos eficientes y sus beneficios para los agricultores. Revista científica Agroecosistemas [seriada en línea], 4 (2), 31-40. <http://aes.ucf.edu.cu/index.php/aes/index>
- MAGAP. (2014). Elaboración, uso y manejo de abonos orgánicos. Colección: Hombro a Hombro. Ministerio de Agricultura, Ganadería, Acuacultura y Pesca de Ecuador. 20 p.
- Majumder, N. (2017). Compostaje de residuos orgánicos y de lenteja de agua (*Lemma* sp.) con aplicación microorganismos eficaces. Universidad Nacional del Antiplano. <http://tesis.unap.edu.pe/bitstream/handle/UNAP/446/EPG429-00429-01.pdf?sequence=1>
- Melendrez Moreto, N.A. y Sánchez Delgado, J., (2019) Compostaje de residuos sólidos orgánicos utilizando microorganismos eficientes en el distrito de Cacatachi. https://repositorio.upeu.edu.pe/bitstream/handle/UPEU/1777/Areli_Tesis_Licenciatura_2019.pdf?sequence=1&isAllowed=y.
- Melgar, C.; Barba, E.; Álvarez, C.; Tovilla, C. y Sánchez, A. (2013). Efecto de microorganismos con potencial probiótico en la calidad del agua y el crecimiento de camarón *Litopenaeus setiferus* (Decapoda: Penaeidae) en cultivo intensivo. *Revista Biología Tropical*, 1(3), p. 1215-1228.
- Mesa, J.R.; Carvajal, R. y Almogoea, M. (2015). Efecto de los Microorganismos Eficientes (ME) en la producción de posturas de fruta bomba (*Carica papaya* L.). *Agroecosistemas*. 3 (1): 372 - 378.

- Mesa, J. R., Garcias, C., Gonzalez, J., Carvajal, R., Almogoea, M., Cárdenas, Y., Cueto, L. M., Sotolongo, J. (2016). Efecto de un biopreparado de producción local a base de microorganismos eficientes sobre diferentes cultivos en la provincia de Cienfuegos. Memorias IV Convención Internacional de Agrodesarrollo 2016.
- Milian, P.R. (2015). Evaluación del efecto de ME-50 en la variedad de arroz Prosequisa 4 en el municipio Aguada de Pasajeros. (Trabajo de Diploma) Universidad de Cienfuegos "Carlos Rafael Rodríguez".
- Moya, J.C. (2012). Cómo hacer microorganismos eficientes. Ministerio de agricultura y ganadería. Dirección regional Central Occidental. <http://fundases.com/p/solbac.html>
- Naranjo, E. (2013). Aplicación de microorganismos para acelerar la transformación de desechos orgánicos en compost. (Tesis de Grado) Universidad Técnica de Ambato.
- Navia, C.A.; Zemanate, Y; Morales, S; Prado, F.A. y Albán López, N. (2013). Evaluación de diferentes formulaciones de compostaje a partir de residuos de cosecha de tomate. Revista Biotecnología en el Sector Agropecuario y Agroindustrial, Edición Especial (2), p. 165 - 173.
- NC 1019: 2014. Humus de lombriz. Determinación de pH, Conductividad eléctrica, cloruro y sodio solubles. Oficina Nacional de Normalización (NC). ICS: 65.080
- NC 110: 2010. Determinación de humedad por gravimetría.
- NC 11261: 2009. CALIDAD DEL SUELO. Determinación de Nitrógeno total. Método Kjeldahl.
- NC 36: 2009 CALIDAD DEL SUELO. MUESTREO. NORMA CUBANA Oficina Nacional de Normalización (NC). ICS: 13.080.01
- NC51: 1999. Calidad del suelo – Análisis químico – Determinación del por ciento de materia orgánica.
- NC 52:1999. CALIDAD DEL SUELO. DETERMINACIÓN DE LAS FORMAS MÓVILES DE FÓSFORO Y POTASIO

Nolverto, D.L.P. y Percida, C., 2019. Microorganismos eficientes en la producción de compost con pollinaza en Río Negro [en línea]. S.I.: Universidad Nacional del Centro del Perú.

<http://repositorio.uncp.edu.pe/bitstream/handle/UNCP/5298/DePeña.pdf?sequence=1&isAllowed=y> la

Maldonado Rojas J.P. (2020) Comparación de la calidad del compost resultante del proceso realizado por microorganismos eficientes comerciales y naturales en el distrito de Jepelacio, región San Martín (Tesis de Grado) Universidad Católica Sedes Sapientiae.

Prado García Blásquez, X. (2017) Tratamiento de los residuos sólidos generados en sanitarios ecológicos mediante el uso de microorganismos eficientes en un proceso de compostaje. (Tesis de Grado) Universidad Nacional Agraria La Molina Escuela De Posgrado.

Ramos, P. (2015). Evaluación de diferentes sustratos de materias orgánicas y con microorganismos eficientes en la preparación de compost, en la zona de Pangoa -Perú, (Tesis de pre grado) Universidad Nacional del Centro del Perú.

Rivera, J. (2014). Evaluación de microorganismos eficaces en procesos de compostaje de residuos de maleza. Facultad de Ingeniería. Escuela Académica de Ingeniería Ambiental. Perú.

Román, Pilar. Martínez, María. Pantoja, Alberto. 2013. Manual de compostaje del agricultor. Santiago de Chile (Chile).

<http://www.fao.org/docrep/019/i3388s/i3388s.pdf>

Sánchez, S; Hernández, M. y Ruz, F. (2011). Alternativas de manejo de la fertilidad del suelo en ecosistemas agropecuarios. *Revistas Pastos y Forrajes*, 34(4), p. 375-392.

Sauri.(2008). Microorganismos efectivos en la naturaleza del campo. <https://www.agroterra.com>

Sierra, M.V. (2010). Evaluación de los parámetros zootécnicos obtenidos en conejos de raza Nueva Zelanda y California suplementados con Microorganismos Eficientes. Universidad Nacional Abierta y a Distancia (UNAD). Tunja. Colombia.

Soliva, M. (2011). Materia orgánica y compostaje: control de la calidad y del proceso. Escuela Superior de Agricultura de Barcelona.

<http://biomusa.net/es/jornadas-y-actividades/jornada-tecnica-sobre-calidad-y-fertilidad-del-suelo/70-materia-organica-y-compostaje-control-de-lacalidad-y-del-proceso/file>

Soriano J, (2016). Tiempo y calidad del compost con aplicación de tres dosis de microorganismos eficaces. Concepción (Tesis de grado) Universidad Nacional del Centro del Perú.

Soriano Vilcahuaman, J.A., 2016. Tiempo y calidad del compost con aplicación de tres dosis de microorganismos eficaces - Concepción [en línea]. S.l.: Universidad Nacional del Centro del Perú. <http://repositorio.uncp.edu.pe/handle/UNCP/3487%0Ahttp://repositorio.uncp.edu.pe/bitstream/handle/UNCP/3487/SorianoVilcahuman.pdf?sequence=1&isAllowed=y>.

Suaña, M. (2013). Compostaje de residuos orgánicos y de lenteja de agua (*Iemna* sp.) con aplicación microorganismos eficaces. (Tesis de Grado) Universidad Nacional del Altiplano.

Torres, A, Quipuzco L, Meza, V. 2015. Influencia de la fermentación láctica (abono bokashi) en el pre-compost para la producción de biogás en biodigestores tipo Batch. In: Anales Científicos, 76 (2): 269-274.

Torres, C (2017). Microorganismos eficientes y frecuencia de volteos en la descomposición y calidad de compost de pulpa de café en la comunidad nativa Villa San Martín –Pichanaki-Perú. (Tesis de pregrado) Universidad Nacional Del Centro Del Perú.

- Villegas Cornelio, V. M. y Laines, J.R.2017. Vermicompostaje: I Avances y estrategias en el tratamiento de residuos sólidos orgánicos. Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas, 8 (2) p. 393-406.
- Yang, et al 2017.Assessing the impact of wood decay fungi on the modulus of elasticity of slash pine (*Pinuselliottii*) by stress wave non-destructive testing. International Biodeterioration &Biodegradation, 117 p. 123-127.
- Yera, J. (2014). Evaluación del efecto de los bioestimulantes Biobras-16 y EM-50 en la fase morfológica en la variedad de arroz IA-Cuba-31. (Tesis de Grado). Universidad de Cienfuegos “Carlos Rafael Rodríguez”.