



UNIVERSIDAD DE CIENFUEGOS
CIENCIAS AGRARIAS

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 producción de compost en la finca El Porvenir, municipio Cumanayagua, Cienfuegos.

Autor: Julio Cesar Marrero Moya

Tutor: Ing. Sandalio García Velázquez

Consultante: MSc. José Ramón Mesa Reinaldo

Curso 2022

Cumanayagua, Cienfuegos, 7 de Noviembre de 2022.
"Año del 64 de la Revolución"

Delegación municipal de la Agricultura

Aval.

La Delegación municipal de la Agricultura en Cumanayagua reconoce el trabajo realizado por el estudiante de 6 años de la carrera de Agronomía Julio César Marrero Moya que en coordinación con la Universidad Carlos Rafael Rodríguez ha desarrollado un experimento al estudiar el efecto de los microorganismos eficientes en la producción de compost en la finca El Porvenir de nuestro territorio. Este experimento permitirá obtener resultados que contribuirán a fortalecer la obtención de un compost de mejor calidad que tiene como resultado mejores cosechas y mejora en el suelo, elevando además el nivel científico técnico.

Y para que así conste se firma la presente,


McS. Ivisley Díaz Águila
Delegada Municipal de la Agricultura Cumanayagua

MINISTERIO DE LA AGRICULTURA
DELEGACIÓN MUNICIPAL
CUMANAYAGUA
DELEGADO

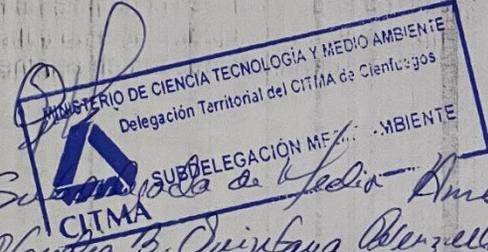
Cumanayagua, Cienfuegos, 7 de Octubre de 2022.
"Año del 64 de la Revolución"

AVAL.

El representante del CITMA en nuestro municipio reconoce la importancia del trabajo realizado por la diplomante Julio César Marrero Moya en opción del título Ingeniería Agrónomo al estudiar el efecto de los microorganismos eficientes en la producción de compost. Este trabajo contribuye a la mejora de los suelos, obtención de materia orgánica, reduce la erosión de los suelos y otros beneficios para la agricultura sostenible. Los resultados de este trabajo serán tenidos en cuenta en las proyecciones medioambientales de nuestro municipio.

Y para que así conste se firma la presente,

Representante CITMA Provincial:



Dra. Claudia B. Quintana Benzella

Agradecimientos

Quisiera agradecer a mi esposa Arianna, mi madre Damaris y a mi padre Miguel Ángel, sin su apoyo esta investigación no hubiese sido posible.

A mi tutor Ing. Sandalio García Velázquez quien fue muy importante en la investigación, por su esfuerzo e inteligencia y también al consultante de la investigación, el MSc. José Ramón Mesa Reinaldo

Al productor Alcides quien permitió la realización del experimento en su finca.

A mis compañeros de aula y profesores que de una forma u otra colaboraron en la investigación.

Muchas Gracias

Dedicatoria

Dedico este trabajo experimental a mis padres Damaris Lidia y Miguel Ángel, también a mi esposa Arianna y mi hija Sofia de la Caridad, ellos me animaron a continuar mis estudios y lograr ser Ingeniero Agrónomo.

Resumen

El estudio se desarrolló en la finca “El Porvenir”, municipio Cumanayagua provincia Cienfuegos, en el periodo comprendido de abril a noviembre de 2021, con el objetivo de evaluar el efecto de ME-50, biopreparado a base de microorganismos eficiente, sobre la producción de compost. Se utilizó un diseño experimental de bloque al azar con tres tratamientos y cuatro replicas cada uno, donde se evaluó un Testigo sin aplicación y ME-50 en dosis de 250mL.L (tratamiento 2) y 350mL.L (tratamiento 3), asperjándose el sustrato con 4 L de la solución correspondiente, con un intervalo de aplicación de 7 días. Se evaluaron los indicadores que miden la duración del proceso, calidad del producto y la factibilidad económica. Al concluir el experimento, se determinó que el tratamiento 2, en dosis de 250mL.L redujo en 3 semanas el tiempo de producción del compost respecto al testigo. Al evaluar los indicadores utilizados para determinar la calidad del compost (% de humedad, relación C/N, pH, % de materia orgánica, % de NPK y tamaño de las partículas del compost), se determinó que el tratamiento 2 cumple los requisitos establecidos según la metodología empleada y resulta el mejor. Al determinar la viabilidad económica, todos los tratamientos evaluados superaron el testigo, lo que demuestra la factibilidad del empleo de ME-50 en la producción de compost, resultando ser mejor el tratamiento 2.

Palabras claves: tiempo, calidad, dosis, factibilidad.

Abstract

The study was carried out at the "El Porvenir" farm at Cumanayagua municipality of Cienfuegos province, in the period from April 2021 to November 2021, with the objective of evaluating the effect of ME-50, a biopreparation based on efficient microorganisms, on compost production. A randomized block experimental design with three treatments and four replicates each was used, where a Control was evaluated without application and ME-50 in doses of 250mL.L (treatment 2) and 350mL.L (treatment 3), spraying the substrate with 4 L of corresponding solution, with an application interval of 7 days. The indicators that measure the duration of the process, product quality and economic feasibility were evaluated. At the end of the experiment, it was determined that treatment 2, at a dose of 250mL.L, reduced the production time by 3 weeks compared to the control. When evaluating the indicators used to determine the quality of the compost (% of moisture, C/N ratio, pH, % of organic matter, % of NPK and size of the compost particles), it was determined that treatment 2 meets the established requirements. according to the methodology used and it is the best. When determining the economic viability, all the evaluated treatments exceeded the control, which demonstrates the feasibility of using ME-50 in compost production, turning out to be better treatment 2.

Keywords: time, quality, dose, feasibility.

Índice	
Resumen	
Abstract	
Introducción.....	4
Capítulo I Revisión Bibliográfica.	7
I.1 Los Microorganismos Eficientes. Generalidades.	7
I.1.2 Surgimiento de los Microorganismos Eficientes.....	7
I.1.3 Principales microorganismos componentes de los Microorganismos Eficientes.	7
I.1.4 Coexistencia de los Microorganismos Eficientes.	9
I.1.5 Mecanismo de acción.....	10
I.1.6 Implementación internacional de Microorganismos Eficientes (ME).....	10
I.1.7 Implementación de Microorganismos Eficientes (ME) en Cuba.....	11
I.1.8 Utilización de Microorganismos Eficientes en la agricultura.....	11
I.1.9 Ventajas del uso de los Microorganismos Eficientes.	13
I.2. Compostaje. Generalidades.....	13
I.2.1 Materiales de partida para el proceso de compostaje.....	13
I.2.2 Principales parámetros de control en el proceso de compostaje.	14
I.2.3 Etapas del proceso del compostaje.	16
I.2.4 Aspectos microbiológicos del compostaje.....	17
I.2.5 Sistemas de compostaje.	17
I.2.6 Evaluación de la madurez de un compost.....	18
I.2.7 Características que ha de cumplir un compost para su aplicación en agricultura.	20
Capítulo II Materiales y Métodos.....	18
Test de tipo físico.	19
Test de tipo químico.....	20
Test de tipo biológico.....	21
II.2 Evaluación del efecto del biopreparado ME-50, como acelerador de la descomposición en el proceso de elaboración del compost.....	21
II.3 Evaluación del efecto del biopreparado ME-50 en la calidad del compost. ...	22
Fuente:Elaboración del autor a partir de FAO (2013).....	22
II.4 Calculo de la factibilidad económica de las alternativas en estudio.....	22
Capítulo III. Resultados y Discusión.....	24

III.1 Evaluar el efecto de ME-50 sobre los parámetros físico-químicos del compost.....	24
Test de tipo físico.	24
a. Olor.....	24
b. Color.....	24
e. Humedad del compost.	25
f. Tamaño de partículas.....	26
Test de tipo químico.	27
b. pH.....	28
d. % Materia Orgánica.....	30
e. Nitrógeno total.....	31
g. Potasio total.....	33
Test de tipo biológico.....	34
Prueba de Germinación.....	34
III.2 Evaluación del efecto del biopreparado ME-50, como acelerador de la descomposición en el proceso de elaboración del compost.....	35
Dinámica de la temperatura en el proceso de compostaje.	36
III.3 Evaluación del efecto del biopreparado ME-50 en la calidad del compost. ...	37
.....	39
III.4 Factibilidad económica de las alternativas en estudio.	40
Conclusiones.....	43
Recomendaciones.....	45
Bibliografía.....	46

Introducción.

El uso de fertilizantes químicos mejora considerablemente el rendimiento de la producción en cultivos sin embargo el exceso de estos puede ocasionar contaminación y perjuicio al suelo y por consiguiente a las siembras Bravo, Y. (2017).

De acuerdo con estudios del Instituto de Suelos. (2016), el 76,89% de la superficie agraria de Cuba está afectada por algún tipo de factor que limita su productividad y están considerados como suelos poco productivos. El 70% sufre falta de materia orgánica, el 43% presentan una erosión de fuerte a mediana, el 14% compactibilidad, el 14% salinidad, baja retención de humedad el 37%, baja fertilidad el 45%, pedregosidad el 12% y el 40% tiene drenaje deficiente, por lo que resulta importante adoptar alternativas para acometer de forma gradual acciones que minimicen y brinden soluciones a corto, mediano y largo plazo a estos procesos degradativos.

Entre estas medidas se encuentran el aporte de fuentes de abonos orgánicos, la adopción de prácticas agroecológicas como las rotaciones de cultivo y la implementación de diferentes tipos de biofertilizantes Mesa, J.R.; Carvajal, R. y Almogueva, M. (2015). Otra de las tecnologías utilizadas en el manejo y conservación de los suelos en el mundo es la de los microorganismos eficientes, benéficos o efectivos.

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, M. F. (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 es una combinación de microorganismos beneficiosos que según Morocho & Leyva (2019), se componen de cinco grupos microbianos generales: bacterias fotosintéticas, bacterias ácido lácticas, levaduras, actinomicetos y hongos filamentosos con capacidad fermentativa, cuya combinación desarrolla una sinergia metabólica que permite su aplicación en diferentes campos.

Van Bruchen et al., (1999), citados por Sauri (2008) exponen que “El primer uso de ME en el manejo medio ambiental, fue en el proceso de hacer compost”. 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.

Los ME pueden utilizarse como inoculantes del suelo para reconstruir su equilibrio biológico, mejorar la asimilación de nutrientes para que estén de esta manera disponibles, suprimir microorganismos patógenos indeseables por “exclusión competitiva o dominación absoluta” y de esta manera favorecer el crecimiento, rendimiento y protección de las plantas de cultivo (Fernández-Larrea, 2013).

Sánchez et al. (2011), citan trabajos de APROLAB (2007) donde se muestran los beneficios que se reportan con la utilización de los ME en la elaboración del compost, en cuanto a la reducción del tiempo de producción, la calidad del producto y la mejora de la actividad biológica, al disponer de un producto con mayor contenido de ME. 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 y Medina (2011) y Navia et al. (2013).

Estudios realizados en Cienfuegos por Yera (2014), Carvajal (2015), Milian (2015) y García (2016), abordan la utilización de ME sobre el desarrollo morfológico del arroz y otros cultivos. En la Facultad de Ciencias Agrarias de la Universidad de Cienfuegos, se ha trabajado en la producción y validación mediante experimentos de campo de un biopreparado a base de microorganismos eficientes (ME-UCf) a partir de su extracción de bosques primarios de la provincia, pero no se obtuvieron referencias del empleo del biopreparado ME-50, en el procesamiento de materia orgánica en fincas del territorio.

Esta investigación ofrece una nueva alternativa para acelerar el procesamiento de la materia orgánica, lo que permitirá potenciar su uso en la agricultura. La situación problemática antes descrita permite plantear el siguiente:

Problema científico.

¿Cuál será el efecto de ME-50, biopreparado a base de microorganismos eficientes sobre la producción de compost en la finca “El Porvenir”?

Hipótesis.

Si se aplica ME-50 en la producción de compost en la finca “El Porvenir”, se obtendrá 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 ME-50, sobre la producción de compost en la finca “El Porvenir”.

Objetivos específicos.

1. Evaluar el efecto de ME-50 sobre los parámetros físico-químicos y biológicos del compost.
2. Comprobar el efecto del biopreparado ME-50, como acelerador de la descomposición en el proceso de elaboración del compost.
3. Determinar la factibilidad económica de la alternativa en estudio.

Capítulo I Revisión Bibliográfica.

I.1 Los Microorganismos Eficientes. Generalidades.

Los Effective Microorganisms (ME) conocidos como Microorganismos Eficientes son una combinación de microorganismos beneficiosos de origen natural en un cultivo mixto, sin manipulación genética, presentes en ecosistemas naturales y fisiológicamente compatibles unos con otros (Ecologic Maintenances, 2012; Fernández-Larrea, 2013).

Estos microorganismos se encuentran en los ecosistemas naturales, donde mantienen y elevan la productividad y se pueden aislar de sus respectivos ambientes. Usan las sustancias causantes de la putrefacción por lo que evitan los malos olores y las enfermedades al eliminar muchos de los patógenos a través de la exclusión competitiva. En los pastos y en los vegetales su utilización se incrementa debido al mayor aporte de nutrientes que hacen. Mejoran la fotosíntesis, la síntesis proteica y las propiedades de la tierra, al permitir una mejor penetración de las raíces, un mayor crecimiento de las plantas y una menor incidencia de enfermedades (Salgado, 2009), citado por García (2016).

I.1.2 Surgimiento de los Microorganismos Eficientes.

La tecnología 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).

I.1.3 Principales microorganismos componentes de los Microorganismos Eficientes.

Según Fundases (2014), las especies principales de microorganismos incluyen:

Bacterias del ácido láctico: *Lactobacillus plantarum*, *Lactobacillus casei*, *Streptococcus lactics*.

Bacterias fotosintéticas: *Rhodopseudomonas plastrus*, *Rhodobacterspaeroides*.

Levaduras: *Saccharomyces cerevisiae*, *Candida utilis*.

Actinomicetes: *Streptomyces albus*, *Streptomyces griseus*.

Hongos de fermentación: *Aspergillus oryzae*, *Mucorhiemalis*.

Bacterias Ácido Lácticas.

Estas bacterias producen ácido láctico a partir de azúcares y otros carbohidratos sintetizados por bacterias fototróficas y levaduras (Ecologic Maintenances, 2012). De acuerdo con esta fuente, el ácido láctico es un compuesto esterilizante fuerte, que suprime microorganismos dañinos y ayuda a la descomposición de materiales como la lignina y la celulosa, fermentándolos, removiendo efectos no deseables de la materia orgánica no descompuesta. El uso de bacterias ácido lácticas reduce las poblaciones de nematodos, controla la propagación, dispersión de *Fusarium*; gracias a ello, induce un mejor ambiente para el crecimiento de los cultivos.

Bacterias Fototróficas.

Son bacterias autótrofas que sintetizan sustancias útiles a partir de secreciones de raíces, materia orgánica y gases dañinos, usando la luz solar y el calor del suelo como fuentes de energía. Las sustancias sintetizadas comprenden aminoácidos, ácidos nucleicos, sustancias bioactivas y azúcares, que promueven el crecimiento y desarrollo de las plantas (Ecologic Maintenances, 2012).

Levaduras.

Plantea Valdivieso (2013), que las levaduras son hongos unicelulares que representan un puente biológico entre las bacterias y los organismos superiores, manteniendo las ventajas de los microorganismos en cuanto a su fácil manipulación y crecimiento rápido. Toc (2012) y Valdivieso (2013) exponen que las levaduras sintetizan sustancias antimicrobiales y otras útiles, requeridas por las plantas para su crecimiento a partir de

aminoácidos y azúcares secretados por las bacterias fototrópicas, materia orgánica y raíces de plantas.

Actinomicetos.

Los actinomicetos producen sustancias antimicrobianas a partir de los aminoácidos y la materia orgánica secretados por éstas. Los actinomicetos controlan hongos y bacterias patogénicas y también aumentan la resistencia de las plantas, mediante un mecanismo de producción de antibióticos que provocan inhibición de patógenos del suelo y benefician el crecimiento y la actividad de *Azotobacter* y de las micorrizas (Coutinho, 2011).

Hongos de Fermentación.

Los hongos de fermentación como *Aspergillus* y *Penicillium*, actúan descomponiendo rápidamente la materia orgánica para producir alcohol, ésteres y sustancias antimicrobianas, lo que produce la desodorización y previene la aparición de insectos perjudiciales y larvas de moscas (Luna y Mesa, 2016).

I.1.4 Coexistencia de los Microorganismos Eficientes.

Moya (2012) plantea que el aumento de poblaciones de ME en los suelos promueve el desarrollo de microorganismos benéficos existentes en el suelo, ya que la microflora del suelo se torna abundante, y por ello desarrolla un sistema microbial bien balanceado. En este proceso microbios específicos (especialmente los dañinos) son suprimidos, a su vez reduciendo especies microbiales del suelo que causan enfermedades. En contraste, en estos suelos desarrollados, el ME mantiene un proceso simbiótico con las raíces de las plantas junto a la rizosfera (Ladino et al., 2009).

Fundases (2014) refiere que las raíces de las plantas también secretan sustancias como carbohidratos, aminoácidos, ácidos orgánicos y enzimas activas. El ME utiliza estas secreciones para su crecimiento. En el transcurso de este proceso el ME también secreta y provee aminoácidos, ácidos nucleicos, una gran variedad de vitaminas y hormonas a las plantas. Según este autor los ME en la rizosfera coexiste con las plantas y por lo que en suelos dominados por el ME las plantas crecen excepcionalmente bien.

I.1.5 Mecanismo de acción.

Hurtado (2001), manifiesta que los microorganismos eficientes actúan de manera que toman sustancias generadas por otros organismos basando en ello su funcionamiento y desarrollo. Las raíces de las plantas secretan sustancias que son utilizadas por los microorganismos eficientes para crecer, sintetizando aminoácidos, ácidos nucleicos, vitaminas, hormonas y otras sustancias bioactivas. IDIAF (2009), expresa que a través de los efectos antioxidantes promueven la descomposición de la materia orgánica y aumentan el contenido de humus. Los efectos antioxidantes de estos microorganismos pasan directamente al suelo e indirectamente a las plantas, al mantener así la proporción de NPK y C/N. Este proceso aumenta el humus contenido en el suelo, siendo capaz de mantener una elevada calidad de la producción.

I.1.6 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).

I.1.7 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).

Hace unos años, 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/INIFAT, 2013). El biopreparado ha sido evaluado sobre el desarrollo morfológico del arroz y otros cultivos.

I.1.8 Utilización de Microorganismos Eficientes en la agricultura.

Los ME han sido ampliamente utilizados en el sector agropecuario tanto en suelos como en cultivos, tratamiento de residuos orgánicos, aguas servidas, reducción drástica de plagas (moscas), eliminación de olores molestos producidos por la descomposición de excretas y orina. La tecnología ha sido aprobada en varios e importantes países, entre ellos los Estados Unidos, cuyo departamento de agricultura incluyó a todos los microorganismos presentes en los ME, dentro de la categoría de G.R.A.S. (Generally Recognized as Safe, Seguros para el medio ambiente) (Salgado, 2009).

El objetivo fundamental de una agricultura sostenible es desarrollar sistemas agrícolas que sean productivos, confiables, que conserven la energía, la calidad del medio ambiente, los recursos naturales, y que aseguren la producción de alimentos seguros y de calidad. La tecnología del ME se convierte en una valiosa herramienta potencial que puede ayudar al desarrollo de sistemas que sean sustentables en los aspectos económico, ambiental y social (Toalombo, 2012; Yera, 2014).

Según Fernández-Larrea (2013) los ME tienen varias aplicaciones en las que se incluyen:

- Reducción de la acción de microorganismos perjudiciales que causan putrefacción.

- Reducción de malos olores (amoníaco) y poblaciones de insectos (plagas), como consecuencia del proceso de fermentación de las excretas “in situ”.

- Mejoramiento de las características físicas, químicas y biológicas en los suelos.

- Restablecen el equilibrio microbiológico del suelo, mejorando sus condiciones físico-químicas.

- Incrementa la producción de los cultivos y su protección, además conserva los recursos naturales, generando una agricultura y medio ambiente más sostenible.

- Conserva los recursos naturales, generando una agricultura y medio ambiente más sostenible.

Los ME pueden utilizarse como inoculantes del suelo para reconstruir su equilibrio biológico, mejorar la asimilación de nutrientes para que estén de esta manera disponibles, suprimir microorganismos patógenos indeseables por “exclusión competitiva o dominación absoluta” y de esta manera favorecer el crecimiento, rendimiento y protección de las plantas de cultivo (Fernández-Larrea, 2013).

Silva (2014), manifiesta que los ME generan un mecanismo de supresión de insectos y enfermedades en las plantas, ya que pueden inducir la resistencia sistémica de los cultivos a enfermedades. Los ME consumen los exudados de raíces, hojas, flores y frutos, evitando la propagación de organismos patógenos y desarrollo de enfermedades. Incrementan el crecimiento, calidad y productividad de los cultivos y promueven la floración, fructificación y maduración por sus efectos hormonales en zonas.

I.1.9 Ventajas del uso de los Microorganismos Eficientes.

Plantea Fernández-Larrea (2013), como ventajas de la utilización de estos microorganismos el uso seguro, su bajo costo, fácil manejo, amigable para el medio ambiente y el uso del 100% de materia orgánica, al ser un producto orgánico sin manipulación genética son bien aceptados en toda clase de unidades productivas, ya sean agrícolas, pecuarias o ambientales. El uso de microorganismos eficientes contribuye a un desarrollo agrícola ecológicamente sostenible, permite una producción a bajo costo, no contamina el medio ambiente y mantiene la conservación del suelo desde el punto de vista de fertilidad y biodiversidad.

I.2. Compostaje. Generalidades.

La elaboración de compost que también se conoce como biotierra no es una práctica nueva pues se elabora desde hace siglos en el Asia. Es una técnica relativamente simple que puede ser aplicada en cualquier lugar en que se originen desechos orgánicos, ya que no es más que la elaboración de humus fuera del suelo. De esa manera los desechos orgánicos se transforman en un biofertilizante de alta calidad nutritiva y mejorador de las condiciones físicas, químicas y biológicas del suelo (INIFAT, 2002).

I.2.1 Materiales de partida para el proceso de compostaje.

La obtención de un buen compost depende fundamentalmente de la composición y preparación de la materia orgánica de partida. Esta puede experimentar variaciones en función de diversos factores del proceso de compostaje, maduración, y del proceso final (refinado y depuración) (INIFAT, 2002).

MAGAP (2014), refiere a la gran mayoría de los materiales orgánicos son compostables. En la siguiente lista se hace una extensa relación de materiales que se pueden compostar:

Restos de cosecha, plantas del huerto o jardín. Ramas trituradas o troceadas procedentes de podas, hojas caídas de árboles y arbustos. Heno y hierba segada. Césped o pasto.

Estiércol de porcino, vacuno, caprino y ovino, y sus camas de corral.

Restos orgánicos de cocina en general. Alimentos estropeados o caducados. Cáscaras de huevo. Restos de café, té e infusiones. Cáscaras de naranja, cítricos o piña.

Aceites y grasas comestibles (muy esparcidas y en pequeña cantidad).

Virutas de serrín (en capas finas).

Servilletas, pañuelos de papel, papel y cartón (no impresos, ni coloreados, ni mezclados con plástico).

I.2.2 Principales parámetros de control en el proceso de compostaje.

El compostaje es un proceso biológico llevado a cabo por microorganismos, por lo que se deben tener en cuenta los parámetros que afectan su crecimiento y reproducción. Estos factores incluyen la aireación, humedad, temperatura, pH y la relación C/N (FAO, 2013).

Temperatura:

Durante el proceso de compostaje la temperatura varía dependiendo de la actividad metabólica de los microorganismos. De acuerdo a este parámetro, el proceso de compostaje se puede dividir en cuatro etapas: mesófila, termófila, enfriamiento y maduración (APROLAB, 2007).

La FAO (2013), plantea que el compostaje inicia a temperatura ambiente y puede subir hasta los 65°C sin necesidad de ninguna actividad antrópica (calentamiento externo), para llegar nuevamente durante la fase de maduración a una temperatura ambiente. Es deseable que la temperatura no decaiga demasiado rápido, ya que, a mayor temperatura y tiempo, mayor es la velocidad de descomposición y mayor higienización.

Aireación:

El proceso de compostaje es un proceso aerobio, por lo que se necesita la presencia de oxígeno para el desarrollo adecuado de los microorganismos. La aireación tiene un doble objetivo, aportar por una parte el oxígeno suficiente a los microorganismos y permitir al máximo la evacuación del dióxido de carbono producido. La aireación debe mantenerse en unos niveles adecuados teniendo en cuenta además que las necesidades de oxígeno varían a lo largo del proceso, siendo bajas en la fase mesófila,

alcanzando el máximo en la fase termófila y disminuyendo de nuevo al final del proceso (INIFAT, 2002).

La aireación no debe ser excesiva, puesto que pueden producir variaciones en la temperatura y en el contenido en humedad. Un exceso de ventilación podría provocar evaporación que inhibiría la actividad microbiológica hasta parar el proceso de compostaje. Esto podría dar la impresión de que el proceso ha concluido (MAGAP, 2014). Por el contrario, una baja aireación, impide la suficiente evaporación de agua, generando exceso de humedad y un ambiente de anaerobiosis. Se producen entonces malos olores y acidez por la presencia de compuestos como el ácido acético, ácido sulfhídrico (H_2S) o metano (CH_4) en exceso (FAO, 2013).

Humedad:

Según el INIFAT (2002), los microorganismos necesitan agua como vehículo para transportar los nutrientes y elementos energéticos a través de la membrana celular. La humedad óptima se puede situar alrededor del 55% aunque varía dependiendo del estado físico y tamaño de las partículas, así como del sistema empleado para realizar el compostaje. Si la humedad disminuye demasiado, disminuye la actividad microbiana con lo cual el producto obtenido será biológicamente inestable. Si la humedad es demasiado alta, el agua saturará los poros e interferirá la distribución del aire a través del compost.

pH:

El pH del compostaje depende de los materiales de origen y varía en cada fase del proceso (desde 4,5 a 8,5). En los primeros estadios del proceso, el pH se acidifica por la formación de ácidos orgánicos. En la fase termófila, debido a la conversión del amonio en amoníaco, el pH sube y se alcaliniza el medio, para finalmente estabilizarse en valores cercanos al neutro (FAO, 2013).

Relación C/N:

INIFAT (2002), plantea que la relación C/N de la masa a compostar es un factor importante a controlar para obtener una fermentación correcta con un producto final de

características adecuadas. A medida que transcurre el compostaje, esta relación se hace cada vez menor.

La relación óptima C/N inicial está comprendida entre 15 a 35 (FAO, 2013). Si es superior a 35, el proceso de fermentación se alarga considerablemente hasta que el exceso de carbono es oxidado. Si es inferior a 15 se producen pérdidas considerables de nitrógeno en forma de amoníaco.

Cuando la relación C/N es elevada se podrá hacer descender artificialmente, ya sea quitando celulosa, es decir reduciendo el carbono o aumentando el contenido de nitrógeno, por ejemplo, con adición de alguna fuente nitrogenada como estiércoles de pollo o productos o subproductos de origen animal, si el compost es para agricultura ecológica (MAGAP, 2007).

I.2.3 Etapas del proceso del compostaje.

Etapa mesófila:

Según la APROLAB (2007), el proceso de compostaje a temperatura ambiente y en pocos días (e incluso en horas), la temperatura aumenta hasta los 45°C. Este aumento de temperatura es debido a actividad microbiana, ya que en esta fase los microorganismos utilizan las fuentes sencillas de C y N generando calor.

Etapa termofílica:

Hay un incremento constante de la temperatura como resultado de la actividad biológica, puede llegar hasta un máximo aproximado de 70 u 80 °C. En esta etapa la mayor parte de la celulosa es degradada, los microorganismos iniciales mueren y son reemplazados por otros resistentes a esa temperatura. En esta fase la generación de calor se iguala a la velocidad de pérdida de calor en la superficie de las pilas, esto marca el final de la fase termofílica (FAO, 2013).

Etapa de enfriamiento:

Período en el cual la tasa de descomposición decrece y disminuye la temperatura, estabilizándose en valores próximos a la del medio ambiente; luego se produce la recolonización del compost por los organismos que no soportan el calor (hormigas, lombrices, insectos, etc.) (APROLAB, 2007).

Etapa de maduración:

La temperatura se iguala a la del medio ambiente (INIFAT, 2002).

I.2.4 Aspectos microbiológicos del compostaje.

El INIFAT (2002), plantea que al comienzo del compostaje el material se encuentra a temperatura ambiente y la flora mesófila presente en los materiales orgánicos empieza a desarrollarse utilizando los hidratos de carbono y proteínas más fácilmente asimilables. La hidrólisis y asimilación de polímeros por los microorganismos es un proceso relativamente lento, por tanto, la generación de calor disminuye hasta alcanzarla temperatura ambiente, alrededor de los 40° C, y los organismos mesófilos (actinomicetos, hongos y bacterias mesófilas) reemprenden su actividad.

La intensa actividad metabólica de estos organismos, fundamentalmente hongos y bacterias, provocan la elevación de la temperatura en el interior de la masa en compostaje. Al aumentar la temperatura empiezan a proliferar bacterias y sobre todo hongos termófilos que se desarrollan desde los 40° C hasta los 60°C. Estas especies empiezan a degradar la celulosa y la lignina, con lo cual la temperatura sube hasta los 70 °C, como consecuencia de las elevadas temperaturas alcanzadas durante el compostaje se destruyen las bacterias patógenas y parásitos presentes en los residuos de partida y comienzan a aparecer poblaciones de actinomicetos y bacterias formadoras de esporas. (APROLAB,2007).

Durante varios días se mantiene a esta temperatura, en una fase de actividad biológica lenta, en la que se produce la pasteurización del medio. Aunque la celulosa y la lignina a estas temperaturas es poco atacada por los microorganismos, las ceras, proteínas y hemicelulosas se degradan rápidamente. Cuando la materia orgánica se ha consumido, la temperatura empieza a disminuir y las bacterias, fundamentalmente los hongos mesófilos, reinvasen el interior del compost utilizando como fuente de energía la celulosa y la lignina residuales (MAGAP, 2014).

1.2.5 Sistemas de compostaje.

Los sistemas de compostaje tienen como finalidad facilitar el control y la optimización de parámetros operacionales, para obtener un producto final con la suficiente calidad tanto desde el punto de vista sanitario como de su valor fertilizante. El acortamiento del

tiempo del proceso, la disminución de los requisitos de espacio y energía y de la seguridad higiénica de la planta de tratamiento son también factores decisivos para el diseño de estos sistemas de compostaje. Los sistemas utilizados se pueden clasificar en dos grupos aquellos que son abiertos y los cerrados. En los primeros, el compostaje se realiza al aire libre, en pilas o montones, mientras que, en los segundos, la fase de fermentación se realiza en reactores (APROLAB, 2007).

Sistemas abiertos.

Los sistemas abiertos constituyen la forma tradicional de compostaje. Los substratos a compostar se disponen en montones o pilas que pueden estar al aire libre o en naves. La aireación de la masa fermentable puede hacerse por volteo mecánico de la pila o mediante ventilación forzada. Esta última tiene la ventaja de permitir el control del nivel de oxígeno, así como de la humedad y de la temperatura. Además, supone menores costos y necesidad de menos espacio evitándose los inconvenientes del volteo de las pilas (INIFAT, 2002).

Sistemas cerrados.

Estos son los sistemas que se pueden llamar industrializados, puestos en marcha por entidades públicas o privadas y que generalmente se utilizan para compostar residuos en las proximidades de ciudades de tamaño medio o grande. En estos sistemas, como ya se ha mencionado anteriormente, la fase inicial de fermentación se realiza en reactores que pueden ser horizontales o verticales, mientras que la fase final de maduración se hace al aire libre o en naves abiertas. Son sistemas desarrollados para reducir considerablemente las superficies de compostaje, y lograr un mejor control de los parámetros de fermentación y controlar los olores de forma más adecuada. Aunque estos sistemas requieren costos de instalación superiores a los anteriores, presentan la ventaja de ser más rápidos y por tanto requerir menos espacio (FAO, 2013).

1.2.6 Evaluación de la madurez de un compost.

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 por no 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 químicos,

test biológicos o test de fitotoxicidad.

1.2.7 Características que ha de cumplir un compost para su aplicación en 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).

Capítulo II Materiales y Métodos.

El estudio se desarrolló en la finca “El Porvenir”, perteneciente a UBPC Tabloncito, municipio Cumanayagua, Cienfuegos, durante el periodo comprendido de abril a noviembre de 2021.

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

Para ello se utilizaron por independientes restos de cosechas de frijol, paja de caña de azúcar y estiércol vacuno:

- 50 % de Paja de caña (*Saccharum officinarum* L.)
- 50% de Restos de cosechas (*Phaseolus vulgaris* L.)

Estos materiales se alternaron con capas de 10 cm de estiércol vacuno, hasta llegar a alcanzar una altura de 80 cm en la pila de compost.

El volteo de las pilas se realizó en las semanas tres y seis, tomando como referencia para ello el comportamiento de la temperatura y la altura (FAO, 2013), extendiéndola sobre una superficie abierta (con el objetivo de facilitar su aireación y humedecimiento uniformes), para su posterior conformación.

Se emplearon las herramientas e instrumentos siguientes para la investigación: pico, pala, guataca, carretilla, termómetro y mochila de fumigación, tamiz.

En el montaje del experimento se utilizó un diseño experimental de bloque al azar con tres tratamientos y cuatro replicas.

Esquema:

1	2	3	4
---	---	---	---

Tratamiento 2 ME-50
250 ml/l

2	4	1	3
---	---	---	---

Tratamiento 1 Testigo

4	3	2	1
---	---	---	---

Tratamiento 3 ME-50
350 ml/l

Se evaluaron los siguientes tratamientos:

Tratamiento 1: Testigo

Tratamiento 2 ME-50 en dosis de 250 mL.L

Tratamiento 3 ME-50 en dosis de 350 mL.L

Se realizaron 3 aplicaciones del producto 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 5:00 y 7:00 pm, asperjándose el sustrato con 4 L de la solución correspondiente. En el humedecimiento, se utilizó una dilución de ME-50 y agua en el caso del testigo

La aplicación del producto se realizó mediante asperjación uniforme con mochila a lo largo de la pila. En el caso del testigo, esta se realizó con agua.

Se le realizaron al compost, las actividades propias del mismo previstas en el Manual del compostaje del agricultor (FAO, 2013).

II.1 Evaluar el efecto de ME-50 sobre los parámetros físico-químicos del compost

Con el fin de efectuar las evaluaciones físico-químicas se tomó 1,0 kg aproximadamente de cada pila de compost, se retiró la capa superficial de la pila (5 cm) y se emplearon 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 llevaron a cabo en el Laboratorio de suelos de la Unidad de Ciencia y Técnica de Base (UCTB) de Suelos Cienfuegos, ubicado en la carretera a Manicaragua, km 13, Barajagua, Cumanayagua, Cienfuegos.

A lo largo de la investigación se efectuaron análisis de tipo físico, químico y biológico, con los cuales se evaluó el efecto de los ME sobre la producción del compost.

Test de tipo físico.

- a. Olor: Fue realizado 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 FAO (2013).

- b. Color: Se comprobó 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 realizó según FAO (2013).
- c. Temperatura: Las evaluaciones de la temperatura ($^{\circ}\text{C}$) se realizaron en las semanas dos, tres, seis, diez y doce, en el centro de cada réplica (cuatro puntos), en el horario comprendido entre 7 y 8 am, así se determinó el momento en que se produce 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.
- d. Altura de la pila: Se evaluó la altura (cm) de las pilas al momento del montaje y a las tres, seis y decima 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.
- e. 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).
- f. 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 25, 15, 2,5 mm respectivamente, los resultados se compararon con los valores propuestos por FAO (2013).

Test de tipo químico.

- a. Relación C/N (en fase sólida): Fue efectuado 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 expresa cómo % 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: Al concluir el proceso se determina el pH final del material. Para ello el laboratorio utilizó el método potenciómetro, mediante la NC 1019: 2014.

- c. Conductividad eléctrica: La evaluación fue hecha al concluir el proceso, 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: Fue determinada 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 consiste fundamentalmente en la obtención de un extracto acuoso del material producido que es introducido en una placa Petri de incubación donde se determina el grado de germinación de determinadas semillas.

Se colocaron 100 semillas de Frijol (*Phaseolus vulgaris* L.) en placa Petri, humedecidas con 5 ml de extracto acuoso de compost diariamente, y se evaluó a los 7 días.

II.1 Evaluación del efecto del biopreparado ME-50, como acelerador de la descomposición en el proceso de elaboración del compost.

Al evaluar el tiempo de elaboración del compost se tomó como guía lo que plantea el Manual del compostaje del agricultor (FAO, 2013), 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 y la altura de la pila.

II.2 Evaluación del efecto del biopreparado ME-50 en la calidad del compost.

Para la evaluación de la calidad del compost, se tomaron como referencia los parámetros propuestos por FAO (2013), los cuales realizan la correlación entre los valores de un grupo de parámetros obtenidos en los test de tipo físicos, químicos y biológico (Tabla 1). Luego se procedió a comparar los resultados obtenidos en el análisis de las muestras, con los expuestos a continuación.

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 (μS/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)

II.3 Calculo de la factibilidad económica de las alternativas en estudio.

Se calculó la diferencia en base a 1 tonelada entre el costo del tratamiento testigo y de la variante inoculada con microorganismos eficientes, teniendo en cuenta el tiempo de producción de cada compost, mediante la fórmula:

$$Gr = (Vn - Cvn) - (Vb - Cvb)$$

Vn= Variante nueva (ME)

Vb (Testigo)

Cvn= Costos de la variante nueva

Cvb= costo de la variante base

Otro aspecto evaluado fue el costo de producción para cubrir las necesidades de la finca, en la cual se tuvo en cuenta las 8 ha de cultivos y la cantidad de compost a aplicar, la cual es de 15 ton/ha/año, resultando en 120 t de compost para suplir la fertilidad del suelo.

Procesamiento Estadístico.

A los resultados obtenidos en las evaluaciones se le aplicaron los análisis estadísticos de varianza simple, empleando el paquete estadístico STATGRAPHICS® Plus Versión 5,1 para Windows. Las medias fueron comparadas por el test de rangos múltiples de Duncan con una probabilidad de error del 5%, de $p \leq 0,05$.

Capítulo III. Resultados y Discusión

III.1 Evaluar el efecto de ME-50 sobre los parámetros físico-químicos del compost

Test de tipo físico.

a. Olor.

Al concluir el proceso de producción del compost y realizar la evaluación periódica del mismo, todos los tratamientos presentaban el olor característico del compost, lo que coincide con lo establecido por FAO (2013) en el Manual del compostaje del agricultor, ya que un compost maduro, con independencia del residuo del que proceda, suele oler a tierra húmeda o “suelo de bosque”. Este olor es un reflejo indirecto de que el compostaje se ha realizado correctamente, ya que, si todavía huele al residuo del que procede, el compost no está del todo descompuesto o maduro.

Similares resultados fueron obtenidos por Bravo (2017), al evaluar el aprovechamiento de los residuos orgánicos domiciliarios para la obtención de compost utilizando microorganismos eficientes en Ecuador, el cual tuvo olor y características a tierra húmeda.

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 pudo apreciar 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 FAO (2013).

Rivera (2014) al evaluar el empleo de microorganismos eficaces en procesos de compostaje de residuos de maleza, obtuvo similares resultados.

c. Altura de las pilas.

Al evaluar el comportamiento de la altura de las pilas (cm). en el proceso del compostaje (tabla 3), se obtuvo que a partir de la semana 3, todos los tratamientos con ME-50 evaluados, mostraron diferencias estadísticas significativas con el testigo, para un nivel de confianza de 95,0%, sin diferencias estadísticas entre ellos, lo que demuestra la eficacia del empleo del producto.

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.

De la Peña (2019), al evaluar el empleo de microorganismos eficientes en la producción de compost con pollinaza en Río Negro, Perú, determinó que el volumen de la pila se redujo hasta un 50 % de su volumen inicial, y con ello, la altura de la pila, indicando que el proceso ha culminado, resultado que coincide con los de esta investigación.

Tabla 3. Altura de las pilas(cm).

Tratamiento	Inicial	Semana 3	Semana 6	Semana 10
1	80,0	76,0c	68,0c	58,0c
2	80,0	71,0b	62,0a	55,0b
3	80,0	72,0a	63,0b	54,0a
Est	--	0,1581	0,1915	0,1225
CV (%)	--	0,22	0,30	0,22

Letras desiguales en las columnas presentan diferencias significativas ($P \leq 0,05$)

d. Humedad del compost.

Al evaluar el comportamiento de la humedad (%) en las pilas del compost (Figura 1), se obtuvo que todos los tratamientos evaluados se encuentran dentro de los rangos de calidad propuestos por FAO (2013) como óptimos para el compost. Los tratamientos

inoculados con microorganismos eficientes presentan valores inferiores al testigo, resultado que coincide con los de Huayllani (2017), el cual lo atribuye al grado de madurez, donde plantea que el % de humedad va disminuyendo conforme se alcanza la madurez del compost.

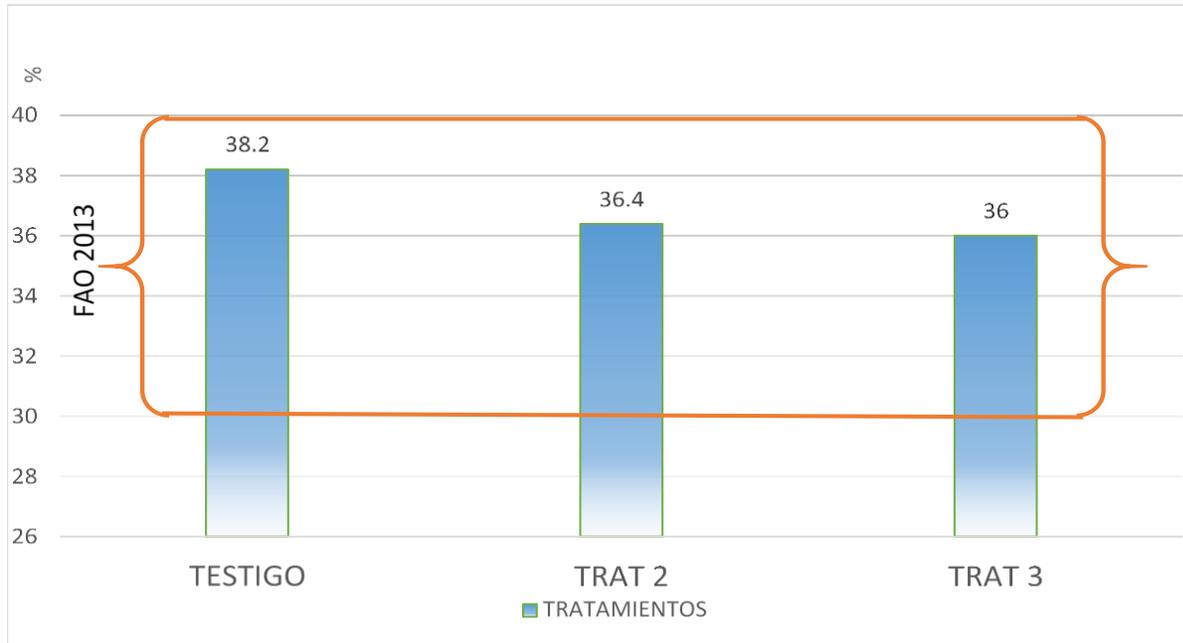


Figura 1. Humedad del Compost

e. Tamaño de partículas.

Al analizar los valores del tamaño de las partículas del compost (tabla 4), se pudo apreciar que todos los tratamientos se encuentran dentro del rango de calidad propuesto por 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 2,5 mm para observar el posible grado de descomposición final que presenta el material, en el que se obtuvo que el tratamiento 2 (ME-50: 250 mL/L) obtiene el 94 % del volumen tamizado compuesto por partículas menores que 2,5 mm, siendo el tratamiento con mejor granulometría. Esto se puede atribuir al buen grado de descomposición que provoca la acción de los ME, lo que asegura un efecto benéfico y mejor incorporación del compost obtenido si es agregado al suelo.

Al respecto, Villegas y Laines (2017), exponen que el proceso de compostaje se basa en la actividad de los microorganismos que habitan en el entorno natural. Ellos son quienes descomponen la materia orgánica y en esta descomposición la reducen, disminuyendo el tamaño de las partículas y mejorando sus propiedades, resultado que coincide con los de esta investigación. Morocho y Leyva (2019) atribuyen este resultado a la acción de los actinomicetos, bacterias filamentosas con cierta similitud con los hongos, presentes en los biopreparados a base de ME, que se destacan por su papel principal en la solubilización de la pared celular o componentes de las plantas, hongos e insectos, por lo que tienen gran importancia en el compostaje y en la formación de los suelos.

Tabla. 4. Tamaño de partículas.

Tratamientos	Tamiz (25 mm)	Tamiz (15 mm)	Tamiz (2,5 mm)
Trat. 1 (testigo)	100	100	87
Trat. 2 (ME-50: 250 mL/L)	100	100	94
Trat. 3 ME-50 350 mL/L)	100	100	90

Fuente: el autor a partir de sus resultados de investigación

Test de tipo químico.

a. Relación 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 valores superiores al testigo en este indicador y teniendo mejores resultados, el tratamiento 2 ME-50: 250 mL.L que se encuentra en el rango de valores de calidad de propuestos por FAO (2013), en el Manual de compostaje para el agricultor.

Resultados similares fueron alcanzados por Huayllani (2017) en el estudio de la influencia de microorganismos eficaces 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.

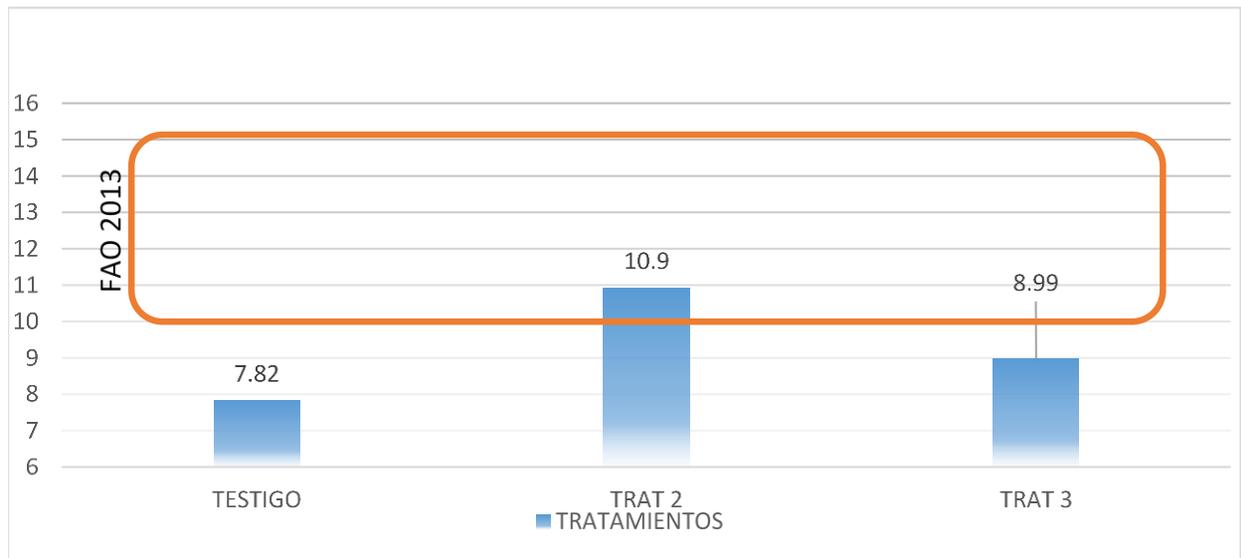


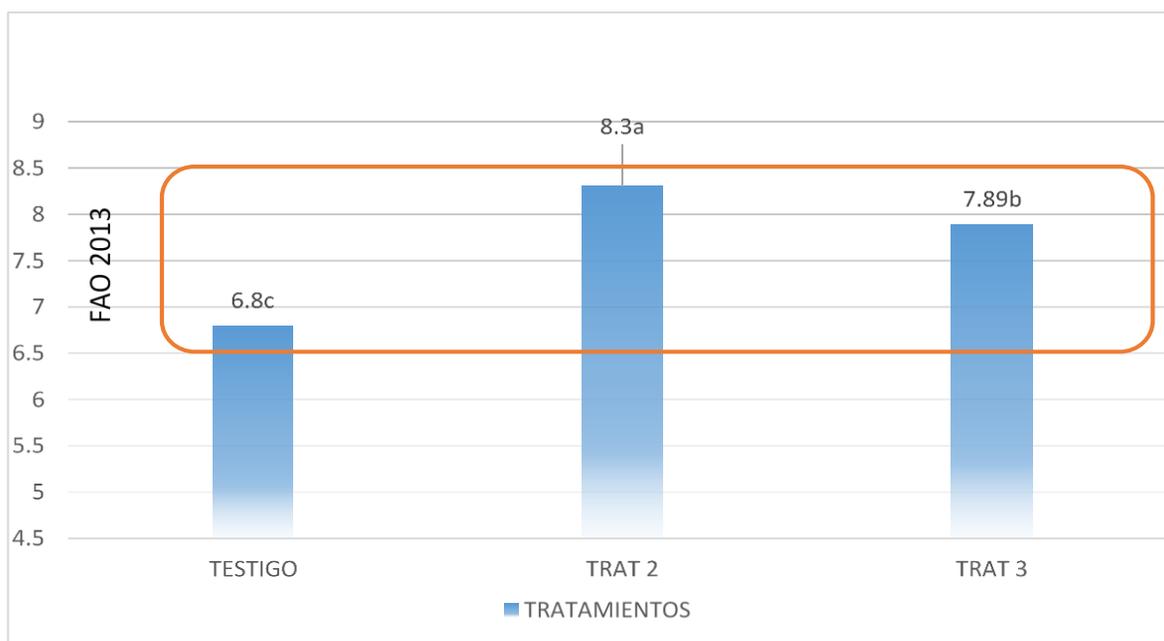
Figura 2. Valores de la relacion C/N del compost.

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 el testigo, para un nivel de confianza de 95,0% y resulta el mejor, el tratamiento 2 (ME-50 250 mL/L), que supera estadísticamente a los demás.

El valor del pH todos los tratamientos, se encuentra dentro del rango de calidad propuesto por FAO (2013). 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 al ser tratado con microorganismos eficientes.

Estos resultados coinciden con lo obtenido por Navia-Cuetia et al. (2013) al evaluar diferentes formulaciones de compostaje a partir de residuos de cosecha de tomate, que obtuvo para los tratamientos en los cuales se utilizaron los ME, valores superiores al testigo.



Letras desiguales presentan diferencias significativas ($P \leq 0,05$)

Figura 3. Valoración del pH.

c. Conductividad eléctrica.

Al estudiar los valores de la conductividad eléctrica del compost (figura 4), se obtuvo que todos los tratamientos, alcanzaron valores superiores a lo propuesto por FAO (2013) y que el tratamiento 2 (ME-50: 250 mL/L), alcanzó los valores más bajos.

Huayllani (2017), al estudiar la influencia de microorganismos eficaces en la producción de compost a partir de lodos de una planta de tratamiento de aguas residuales, obtuvo resultados similares y los atribuye 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.

Cardenas (2018) en la evaluación del efecto del biopreparado a base de microorganismos eficientes (ME-UCf) sobre la producción de compost en la finca Punta La Cueva, municipio Cienfuegos y García Pérez (2018) en el estudio de calidad y tiempo de obtención del compost aplicando microorganismos eficientes, en la Universidad Cesar Vallejo en Perú obtuvo una alta conductividad con valores por encima de 5000 $\mu\text{S}/\text{cm}$, resultados que coinciden con los de esta investigación.

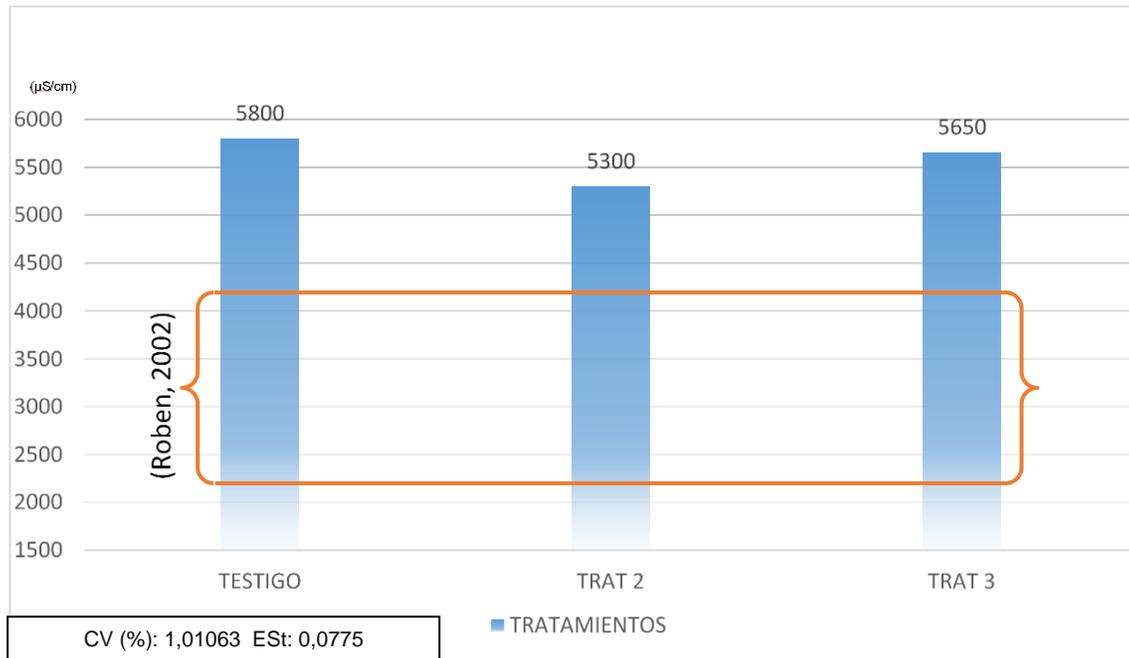


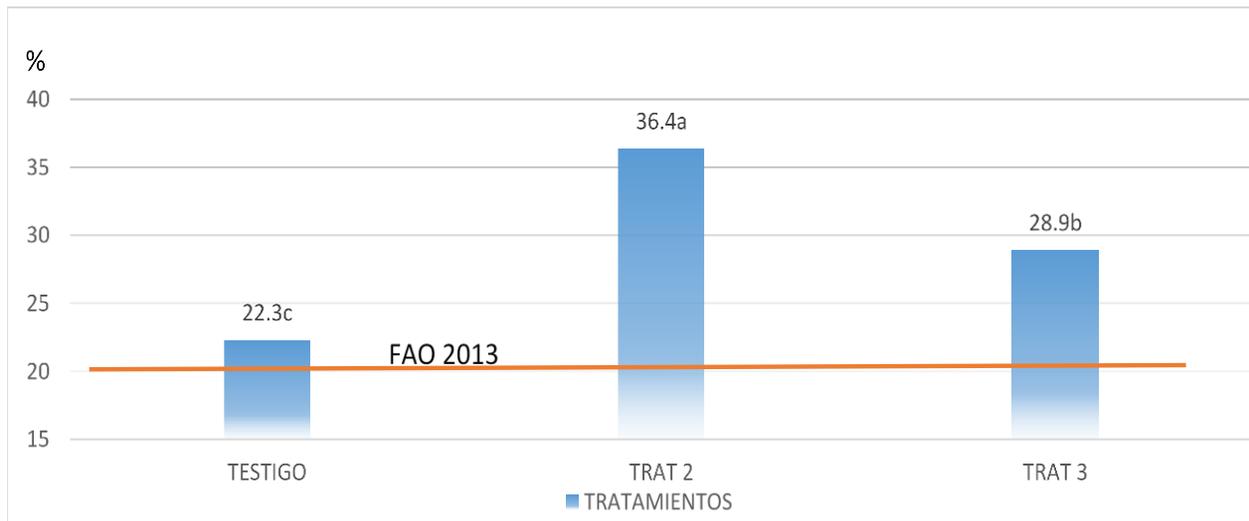
Figura 4. Valores de conductividad eléctrica.

d. % Materia Orgánica.

El contenido de materia orgánica del compost obtenido, presentó valores entre 22 y 36 % (Figura.5), con valores superiores para todos los tratamientos al 20% de materia orgánica establecido como rango mínimo para un compost maduro, propuesto por FAO (2013). Todos los tratamientos con ME-50 evaluados, superan al testigo, con diferencias estadísticamente significativas sobre él, para un nivel de confianza de 95,0%, y resulta el mejor, el Tratamiento 2 ME-50 en dosis de 250 ml/l, que supera estadísticamente a los demás. Este resultado, coincide con lo obtenido por Huayllani (2017), quien lo atribuye a que se logra una mayor descomposición de los residuos y consecuentemente mayor contenido de materia orgánica.

Por su parte, Navia-Cuetia et al. (2013) al realizar la evaluación de diferentes formulaciones de compostaje a partir de residuos de cosecha de tomate, obtuvieron para la materia orgánica, que los tratamientos en los cuales se utilizaron los ME, presentaron valores superiores a las otras formulaciones evaluadas, resultado que coincide con este trabajo, y lo atribuyen a la actividad de los lactobacilos, que al tener

un metabolismo fermentativo, oxidan compuestos orgánicos (azúcares, glucosa) aumentan la fragmentación de los componentes de la materia orgánica, como la lignina y la celulosa transformando esos materiales e incrementando los porcentajes de materia orgánica, con lo que mejoran la fertilidad del suelo.



CV (%) 0,3954 Est 0,11547

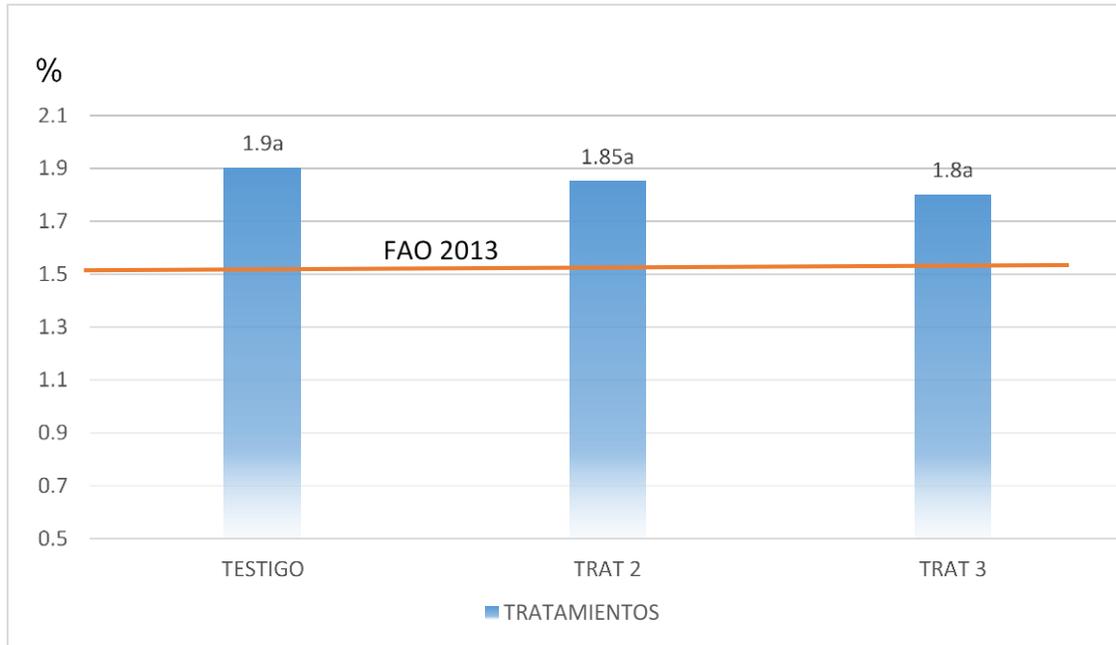
Letras desiguales en las columnas presentan diferencias significativas ($P \leq 0,05$)

Figura 5. Materia orgánica.

e. Nitrógeno total.

Al analizar el contenido de nitrógeno total en el compost (Figura.6), se obtuvo que no se presentaron diferencias estadísticas significativas, entre tratamientos para este indicador y que alcanzaron valores superiores al rango propuesto por 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

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 Huayllani (2017) en el estudio de los EM en la producción de compost. García Pérez (2018) también obtuvo resultados similares al estudiar la calidad y tiempo de obtención del compost aplicando ME en la universidad Cesar Vallejo, Chilcayo, Perú.



CV (%) 2,4672 ESt 0,0456

Letras desiguales en las columnas presentan diferencias significativas ($P \leq 0,05$)

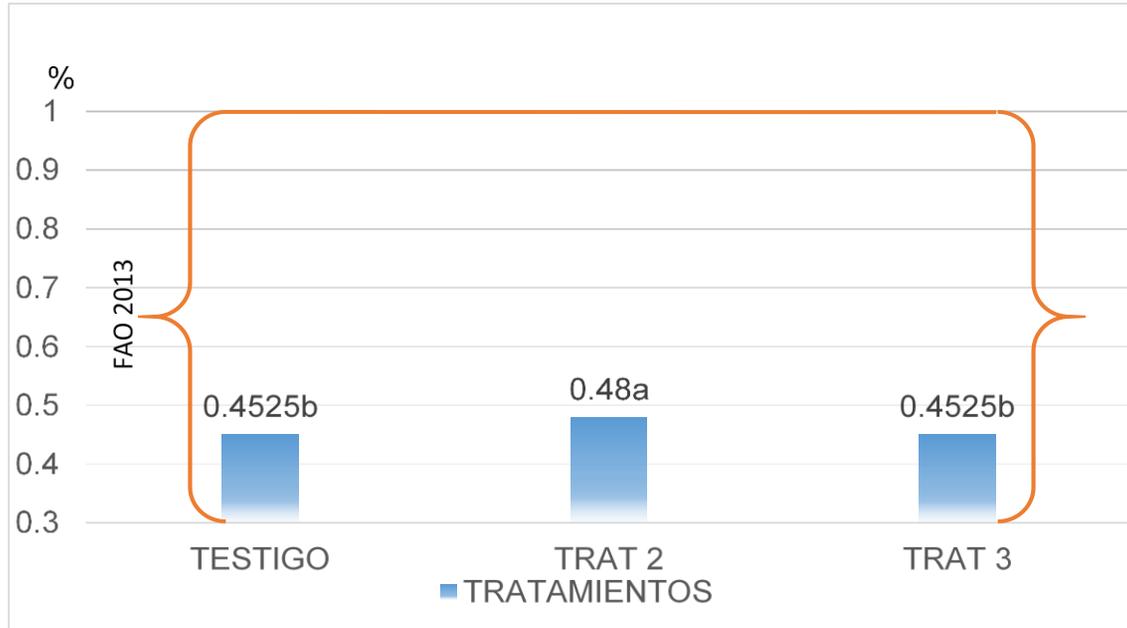
Figura 6. Nitrógeno total

f. Fósforo total.

Al analizar el resultado del contenido de fósforo, se obtuvo que el tratamiento 2 ME-50 en dosis de 250 mL.L, supera a los restantes tratamientos, con diferencias estadísticamente significativas sobre ellos, para un nivel de confianza de 95,0%, por lo que resulta el mejor. Independiente de lo anterior, el contenido de fósforo total en el compost obtenido en la finca “El Porvenir” (Figura.7), presenta valores entre 0,45% a 0,48%, ubicados dentro del rango de calidad propuesto por FAO (2013), lo que indica que el compost obtenido, es de buena calidad y que, si es aplicado al suelo como abono orgánico, incrementará fósforo y mejorará las propiedades físico-químicas y biológicas del suelo.

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 obtuvo resultados similares, así como 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.



CV (%) 1,59 Est 0,0074

Letras desiguales en las columnas presentan diferencias significativas ($P \leq 0,05$)

Figura 7. Fosforo total.

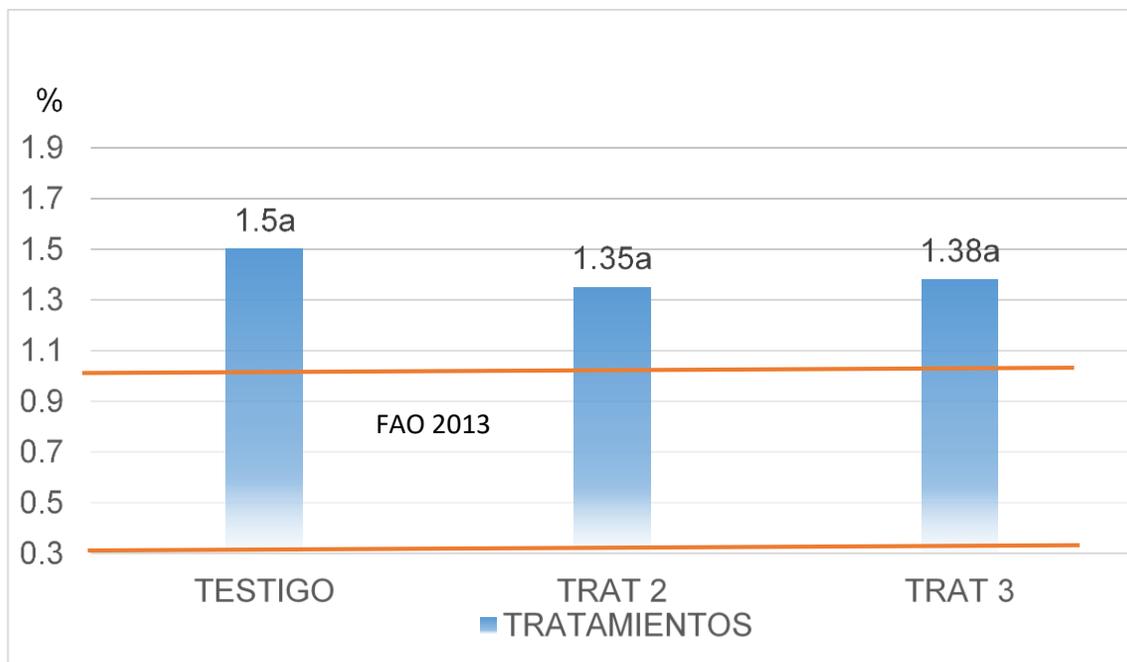
g. Potasio total.

Al analizar el contenido de potasio total en el compost (Figura.8) no se presentan diferencias estadísticas significativas entre tratamientos para un nivel de confianza de 95,0%, en este indicador, con valores dentro del rango de calidad propuesto por la FAO (2013), lo que indica que el compost obtenido es rico en este nutriente y al ser incorporado al suelo, suministrará una cantidad de este elemento a considerar en el balance de nutrientes para el normal crecimiento de las plantas.

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.

Resultados similares fueron obtenidos 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 Azurduy et al., (2016) 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.



CV (%) 3,77 Est 0,0531

Letras desiguales en las columnas presentan diferencias significativas ($P \leq 0,05$)

Figura 8. % de Potasio total.

Test de tipo biológico.

Prueba de Germinación

Al realizar la evaluación del comportamiento de la germinación de las semillas de Frijol de testa Negra (figura 9), se pudo apreciar que todos los tratamientos evaluados, alcanzaron valores superiores a lo planteado por FAO (2013), 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.

Resultados similares 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.

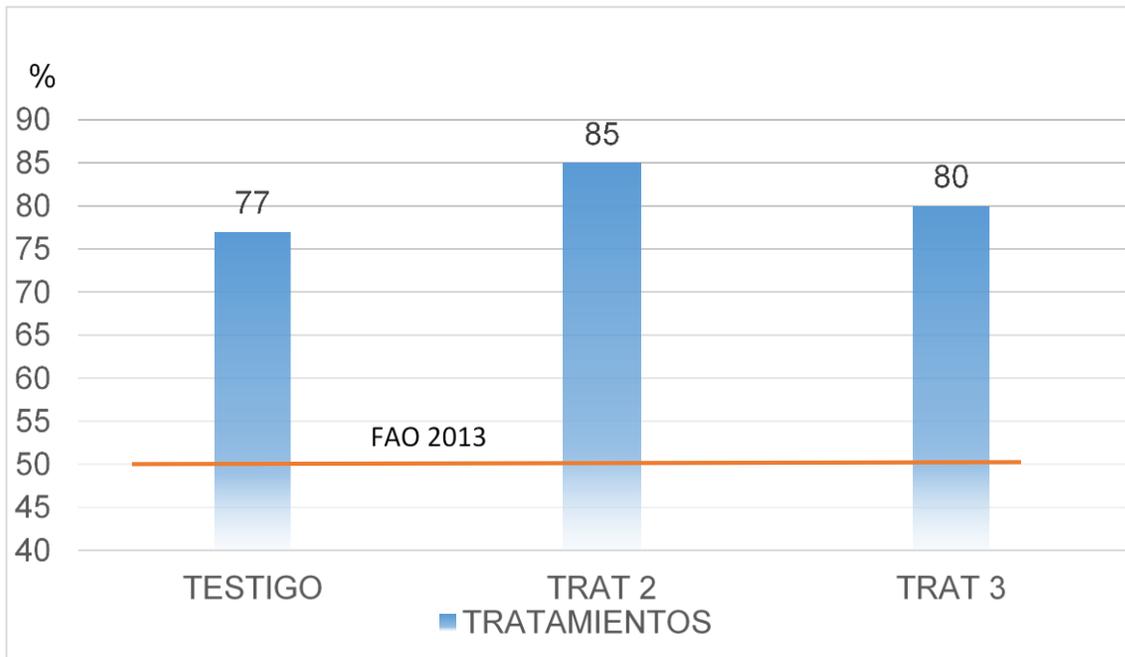


Figura 9. % de Germinación.

III.2 Evaluación del efecto del biopreparado ME-50, como acelerador de la descomposición en el proceso de 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.

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 produce una elevación brusca de la temperatura (fase mesófila), hasta alcanzar valores por encima de 40 °C a partir de la semana 1, resultado que coincide con lo planteado para esta fase, en el Manual del compostaje del agricultor (FAO, 2013).

En este período, se puede apreciar cómo se eleva rápidamente la temperatura, hasta valores entre 65 a 66 °C (fase termófila) en todos los tratamientos, sin diferencias estadísticamente significativas entre ellos y se inicia un descenso de la temperatura, la cual se eleva nuevamente (semana 3), 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 coincide con lo planteado por INIFAT (2002).

A partir de esta etapa, el tratamiento 2 (ME-50 250mL/L) presenta diferencias significativas con los demás, por lo que resulta el mejor. La pila se mantiene en la fase termófila.

A partir de la semana 4, se inicia un proceso de enfriamiento paulatino, el cual se revierte, al realizarse el 2º viraje en la semana 6, manteniendo la pila en la fase termófila, aunque el tratamiento 2 alcanza los valores más bajos, con diferencias significativas con los restantes, lo que indica que el material está siendo degradado más rápidamente y muy próximo al inicio de la fase mesófila II o de enfriamiento.

Esta fase comienza para este tratamiento entre las semanas 6 y 7, y concluye en la semana 8, en que se inicia en él, la fase de maduración, proceso que se alarga de 5 a 6 semanas más en relación al testigo.

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.

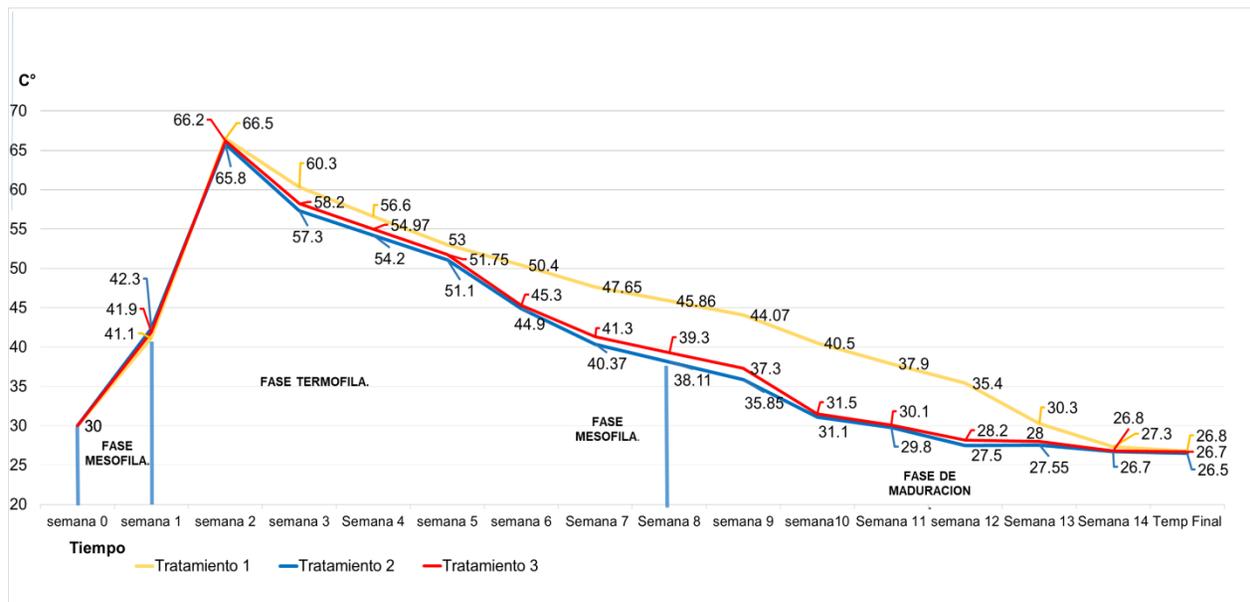


Figura 10. Dinámica de la temperatura en el proceso del compostaje.

III.3 Evaluación del efecto del biopreparado ME-50 en la calidad del compost.

Para la evaluación de la calidad del compost, se realizó el cotejamiento entre los valores obtenidos en los test de tipos físicos, químicos y biológicos realizados, y los parámetros propuestos por FAO (2013) lo que se resume en la tabla 5.

El comportamiento de los parámetros % de humedad, relación C/N y tamaño de partículas del compost, reportó en todos los casos los mejores resultados con el tratamiento 2 ME-50-250 ml/l. Al determinar el % de partículas menores que 2,5 mm, el tratamiento 2 ME-50 250 ml/l, alcanza el 94 % del total tamizado y resulta el tratamiento con mejor granulometría.

En el caso del pH y el contenido de materia orgánica, todos los tratamientos a base de ME superaron al testigo, con diferencias estadísticamente significativas sobre él, para un nivel de confianza de 95,0% y resultó el mejor, el tratamiento 2 ME-50-250 ml/l con diferencias significativas con el resto, lo que indica que ME-50 mejora la calidad del compost.

El análisis de contenido de nitrógeno, determinó que se alcanzan valores entre 1,8 y 1,9%, sin diferencias estadísticas entre tratamientos y superiores al rango de calidad propuesto por 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.

Los valores de fósforo total tienen ligera variación entre los tratamientos inoculados con ME-50, y el testigo, resultó ser el mejor, el tratamiento 2 ME-50-250 ml/l con diferencias significativas con los demás.

El contenido de potasio total en el compost producido, presenta valores entre 1,15 y 1,4%, superiores a los propuestos por FAO (2013), sin diferencias estadísticas entre los tratamientos inoculados con ME-50 y el testigo.

De la Peña (2019) plantea que para ser comercializado el compost debe contener como rango óptimo, mayor de 2% de N, C/N menor de 20, humedad menor de 40 %, fósforo de 0,15 a 1,5 % y color y olor a tierra, resultados que coinciden con los de esta investigación y permiten afirmar que estamos en presencia de un compost de calidad.

El test de tipo biológico indicó que todos los tratamientos evaluados, alcanzan valores superiores a lo planteado por FAO (2013) para el test biológico, lo que indica la calidad del material producido y permite afirmar que estamos en presencia de un compost sin la presencia de compuestos fitotóxicos para la germinación de las semillas.

De manera general, podemos afirmar que, en todos los tratamientos, se obtuvo un compost de calidad, pero con el tratamiento 2 ME-50 250 ml/l, se alcanzaron los mejores resultados, 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. Al concluir el proceso de producción del compost y realizar la evaluación periódica del mismo, todos los tratamientos presentaban el olor característico del compost, lo que coincide con lo establecido por FAO (2013) en el Manual del compostaje del agricultor, ya que un compost maduro, con independencia del residuo del que proceda, suele oler a tierra húmeda o “suelo de bosque”. Este olor es un reflejo indirecto de que el compostaje se ha realizado correctamente, ya que, si todavía huele al residuo del que procede, el compost no está del todo descompuesto o maduro.

Similares resultados fueron obtenidos por Bravo (2017), al evaluar el aprovechamiento de los residuos orgánicos domiciliarios para la obtención de compost utilizando microorganismos eficientes en Ecuador, el cual tuvo olor y características a tierra húmeda.

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

Parametros	Manual FAO (2013)	Trat 1 Testigo	Trat 2 (250ml)	Trat 3 (350ml)
% humedad	30 - 40	38,2	36,4	36
Tamaño de partículas (%)	<2.5 mm	87	94	90
Relación C/N	10:1 – 15:1	7,82	10,9	8,99
pH	6.5 - 8.5	6,8c	8,3a	7,89b
Conductividad (us/cm)	1500 - 2000	5800	5300	5650
% Materia organica	>20	22,3c	36,4a	28,9b
% Nitrógeno	0.3-1.5	1,9a	1,85a	1,8a
% Fosforo	0.1-1.0	0,45b	0,48a	0,45b
% Potasio	0.3-1.0	1,15a	1,35a	1,38a
Germinación	>50	77	85	80

Fuente: el autor a partir de FAO (2013) y resultados de investigación.

III.4 Factibilidad económica de las alternativas en estudio.

En la tabla 6 se muestran los resultados de los costos de producción, donde se puede observar que el tratamiento 2 ME-50 250 ml/les el de menor costo, lo cual se le atribuye a la disminución del tiempo de producción y a menor cantidad de producto utilizada, además de obtenerse un compost de mayor calidad, como quedó demostrado en los análisis realizados en epígrafes anteriores.

Tabla 6. Costos de Producción de 1 Tonelada de Compost

	Tratamiento 1 (Testigo)	Tratamiento 2 (250 ml)	Tratamiento 3 (350 ml)
Mano de obra	150	150	150
Costo de ME x Dosis a Utilizar	-	12	17.28
Total	750	612	617.28
Diferencia con el Testigo	-	138	132.72

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 120 ton, en la que se puede apreciar que el tratamiento 2 ME-50 250 ml/l reduce los costos en 16560 CUP. Este resultado se le atribuye a la disminución del tiempo de producción y a menor cantidad de producto utilizada, 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 (250 ml)	Tratamiento 3 (350 ml)
Costo Total	90000	73440	74040
Diferencia con el Testigo	-	16560	15960

Conclusiones

El Biopreparado ME-50 aceleró el compostaje y obtuvo la mejor respuesta con la dosis de 250 mL.L que redujo el tiempo en siete días respecto al tratamiento ME-50 350 mL.L y a veintiocho días con relación al Testigo.

Los parámetros de calidad del compost obtenido (humedad, relación C/N, pH, materia orgánica, NPK y tamaño de las partículas) del tratamiento ME-50 250 mL.L estuvieron en el rango establecido según la metodología usada.

El tratamiento ME-50 250 mL.L disminuyó los costos de producción en 8 % con respecto al testigo.

Recomendaciones

Incorporar la aplicación del Biopreparado ME-50 a razón de 250mL.L en procesos de compostaje bajo condiciones de producción.

Realizar evaluaciones durante el período de formación del compost y al producto final, con la incorporación de nuevos indicadores de calidad.

Divulgar los resultados alcanzados en diferentes espacios de intercambio y elaborar un artículo de publicación para una revista especializada.

Bibliografía

- 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. 22 p.
- Azurduy, S., Azero, M., & 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), 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 Sallé. Colombia.
- Bravo, Y. (2017). *Aprovechamiento de los residuos orgánicos domiciliarios para la obtención de compost utilizando microorganismos eficientes*. Trabajo de titulación, modalidad proyecto de investigación para la obtención del título de Ingeniera Química. Universidad Central del Ecuador. Facultad de Ingeniería Química. Quito.
- 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)*. Trabajo de grado presentado como requisito para optar al título de Ingeniero Agrónomo. Universidad de los Llanos, Facultad de Ciencias Agropecuarias y Recursos Naturales, Ingeniería agronómica. Colombia.
- Cárdenas, C., Y. *Evaluación del efecto del biopreparado a base de microorganismos eficientes (ME-UCf) sobre la producción de compost en la finca Punta La Cueva, municipio Cienfuegos*. (Trabajo de Diploma en opción al título de Ingeniero Agrónomo) Universidad de Cienfuegos Carlos Rafael Rodríguez.
- 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 en opción al título de Ingeniero Agrónomo). Universidad de Cienfuegos. Facultad de Ciencias Agrarias.

- Coutinho, M. F. (2011). *Caderno dos Microrganismos Eficientes (EM). Instruções práticas sobre uso ecológico e social do EM*. <http://www.sunnet.com.br/biblioteca/livros-e-textos/cadernodosmcrorganismos-eficientes.pdf>.
- De La Peña, N. (2019) *Microorganismos eficientes en la producción de compost con pollinaza en Río Negro* (Tesis para optar el Título Ingeniera en Ciencias Agrarias - Especialidad: Agronomía). Universidad Nacional del Centro del Perú – Unidad de Posgrado de la Facultad de Ciencias Agrarias– Satipo – Perú.
- Ecologic Maintenances. (2012). *Microorganismos efectivos EM en la Agricultura*. UweRolli. Yucatán. México. <http://www.emmexico.com>.
- Fernández-Larrea, O. (2013). *Microorganismos eficientes, usos y posibilidades de producción*. I Taller Nacional sobre "Resultados del Empleo de los Microorganismos Eficientes en Cuba". Sancti Spíritus.
- Food and Agriculture Organisation 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.
- Fundación de Asesorías para el Sector Rural (Fundases). (2014). *Microorganismos Eficaces*. Agrophos. <http://fundases.com/p/solbac.html>.
- García, P., F.J. (2018) *Calidad y tiempo de obtención del compost aplicando Microorganismos Eficientes*. (Tesis para obtener el título profesional de ingeniero ambiental) Universidad Cesar Vallejo, Filial-Chiclayo.
- García, C. (2016). *Efecto de dos biopreparados a base de EM sobre el cultivo del frijol común (Phaseolus vulgaris L.) en Aguada de Pasajeros*. Trabajo de diploma en opción al título de Ingeniero Agrónomo. 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*. (Trabajo de investigación presentado como requisito para optar al título de Zootecnista). Universidad Nacional Abierta y a Distancia CEAD Tunja. Colombia.
- Huayllani, K. (2017). *Influencia de microorganismos eficaces (EM-compost) en la producción de compost de lodo de la planta de tratamiento de aguas residuales*.

- Tesis para optar el Título Profesional de Ingeniero Ambiental. Facultad de Ingeniería, Escuela Académico Profesional de Ingeniería Ambiental. Perú.
- Hurtado, J. (2001). ¿Qué son microorganismos eficientes? <http://es.answers.yahoo.com/question/index?qid=20080731132826aa6mubr>.
- 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. PNUD. Ciudad de La Habana.
- Instituto de Suelos. (2016). Degradación de los suelos. Foresight Cuba . <http://foresightcuba.com/degradacion-de-los-suelos/>
- Instituto Dominicano de Investigaciones Agropecuarias y Forestales (IDIAF). 2009. Beneficios de los microorganismos eficientes en la agricultura. (en línea). <http://www.idiaf.org.do/noticias/detallemain.php?recordID=971>
- LABIOFAM/INIFAT. (2013). Catálogo: Bioproductos para uso agrícola.
- Ladino, G.; & Rodríguez, J.A. (2009). *Efecto de Lactobacillus casei, Saccharomyces cerevisiae, Rhodopseudomonas palustris (microorganismos eficientes EM) y melaza en la ganancia de peso de tilapias (Oreochromis sp) en condiciones de laboratorio*. Orinoquia. 13(1), p. 31-36. <http://www.redalyc.org/articulo.oa?id=89612776006>.
- López, B.A., & Medina, I.E. (2011). *Efecto de la aplicación de Microorganismos Eficientes (EM) sobre la calidad de efluentes en Porcicultura*. (Tesis para optar el título de Ingeniero Agropecuario). Universidad del Cauca, Facultad de Ciencias Agropecuarias, Colombia.
- Luna, M. A., & 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.
- Mesa, J.R.; Carvajal, R., & Almogosa, M. (2015). *Efecto de los Microorganismos Eficientes (ME) en la producción de posturas de fruta bomba (Carica papaya L.)*". *Agroecosistemas*. 3 (1): 372 - 378.

- 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 Carlos Rafael Rodríguez, Cienfuegos.
- Morocho, M. T., & Leiva, M. (2019). *Microorganismos eficientes, propiedades funcionales y aplicaciones agrícolas*. Centro Agrícola, 46(2).
- 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*. Trabajo de investigación estructurado de manera independiente como requisito para optar el título de ingeniero agrónomo. Universidad Técnica de Ambato, Facultad de Ingeniería Agronómica. Ecuador.
- Navia, C.A.; Zemanate, Y; Morales, S; Prado, F.A., & 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. (2), 165 - 173.
- NC 1019: 2014. Humus de lombriz. Determinación de pH, Conductividad eléctrica, cloruro y sodio solubles. Oficina Nacional de Normalización (NC).
- NC 110: 2010. Determinación de humedad por gravimetría. Oficina Nacional de Normalización (NC).
- NC 11261: 2009. CALIDAD DEL SUELO. Determinación de Nitrógeno total. Método Kjeldahl. Oficina Nacional de Normalización (NC).
- NC 36: 2009. CALIDAD DEL SUELO. MUESTREO. NORMA CUBANA Oficina Nacional de Normalización (NC).
- NC 52:1999. CALIDAD DEL SUELO. DETERMINACIÓN DE LAS FORMAS MÓVILES DE FÓSFORO Y POTASIO. Oficina Nacional de Normalización (NC).
- NC 51: 1999. Calidad del suelo – Análisis químico – Determinación del por ciento de materia orgánica. Oficina Nacional de Normalización (NC).
- Rivera, J. (2014). *Evaluación de microorganismos eficaces en procesos de compostaje de residuos de maleza*. Facultad de Ingeniería, Escuela Académica de Ingeniería Ambiental. Perú.

- Salgado, L. (2009). *Tecnología EM® - Microorganismos Eficaces*.
<http://www.ecotecnologias.com.ve>.
- Sánchez, S; Hernández, M., & Ruz, F. (2011). *Alternativas de manejo de la fertilidad del suelo en ecosistemas agropecuarios*. *Revistas Pastos y Forrajes*, 34(4), 375-392.
- Sauri, J. (2008). *Microorganismos efectivos en la naturaleza del campo*.
<https://www.agrotierra.com>
- Sierra, M.V. (2010). *Evaluación de los parámetros zootécnicos obtenidos en conejos de raza Nueva Zelanda y California suplementados con Microorganismos Eficaces*. (Tesis de grado) Universidad Nacional Abierta y a Distancia (UNAD). Tunja. Colombia.
- Silva, M. (2014). *Microbiología General*.
<http://microbiologiageneral.blogspot.com/2009/05/microorganismosficientes.html>.
- Suaña, M. (2013). *Compostaje de residuos orgánicos y de lenteja de agua (lemnasp.) con aplicación microorganismos eficaces*. Tesis para optar por el Grado Académico de Magister Scientiae en Agroecología. Universidad Nacional del Altiplano. Perú.
- Toalombo, R.M. (2012). *Evaluación de microorganismos eficientes autóctonos aplicados en el cultivo de cebolla blanca (Allium fistulosum)*. (Trabajo de investigación estructurado de manera independiente presentado como requisito para optar el título de Ingeniera Agrónoma). Universidad Técnica de Ambato. Cevallos – Ecuador.
<http://repo.uta.edu.ec/bitstream/handle/123456789/2217/Tesis-2agr.pdf?sequence=1>
- Toc Aguiar, R.M. (2012). *Efecto de los Microorganismos Eficaces (ME) en las Aguas Residuales de la Granja Porcina de Zamorano, Honduras*. Trabajo de Diploma. Zamorano: Escuela Agrícola Panamericana. <https://bdigital.zamorano.edu/bitstream/11036/1039/1/T3265.pdf>
- Valdivieso, M. (2013). *Obtención y caracterización de cepas de Saccharomyces cerevisiae superproductoras de glutación*. Granada: Universidad de Granada.
- Villegas-Cornelio, V. M., & Laines, J.R. (2017). Vermicompostaje: avances y estrategias en el tratamiento de residuos sólidos orgánicos. *Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas*, 8 (2): 393-406.
- 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*. (Trabajo de Diploma para optar

por el título de Ingeniero Agrónomo). Universidad de Cienfuegos “Carlos Rafael Rodríguez”.