

Universidad de San Carlos de Guatemala
Centro Universitario de Suroccidente
Ingeniería en Gestión Ambiental Local



TRABAJO DE GRADUACIÓN

Evaluación de estimulantes biológicos y químicos para acelerar el proceso de descomposición de residuos orgánicos

Por:

Ruth López García
Carné: 201044529

Mazatenango, Suchitepéquez, marzo de 2022.

**UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA
CENTRO UNIVERSITARIO DE SUROCCIDENTE**

MSc. Pablo Ernesto Oliva Soto

Rector en Funciones

MSc. Gustavo Enrique Taracena Gil

Secretario General

**MIEMBROS DEL CONSEJO DIRECTIVO DEL CENTRO UNIVERSITARIO DE
SUROCCIDENTE**

M.A. Luis Carlos Muñoz López

Director en Funciones

REPRESENTANTE GRADUADO DEL CUNSUROC

Lic. Vilser Josvin Ramirez Robles

Vocal

REPRESENTANTES ESTUDIANTILES

TPA. Angélica Magaly Domínguez Curiel

Vocal

PEM y TAE. Rony Roderico Alonzo Solís

Vocal

COORDINACIÓN ACADÉMICA

MSc. Bernardino Alfonso Hernández Escobar
Coordinador Académico

Dr. Álvaro Estuardo Gutierrez Gamboa
Coordinador Carrera Licenciatura en Administración de Empresas

Lic. Edín Aníbal Ortiz Lara
Coordinador Carrera de Licenciatura en Trabajo Social

MSc. José Norberto Thomas Villatoro
Coordinador de las Carreras de Pedagogía

MSc. Víctor Manuel Nájera Toledo
Coordinador Carrera Ingeniería en Alimentos

Ing. Luis Alfredo Tobar Píril
Coordinador Carrera Ingeniería Agronomía Tropical

MSc. Karen Rebeca Pérez Cifuentes
Coordinadora Carrera Ingeniería en Gestión Ambiental Local

Lic. Sergio Román Espinoza Antón
Coordinador Carrera de Licenciatura en Ciencias Jurídicas y Sociales
Abogacía y Notariado

Lic. José Felipe Martínez Domínguez
Coordinador de Área

CARRERAS PLAN FIN DE SEMANA

Lic. Néstor Fridel Orozco Ramos
Coordinador de las carreras de Pedagogía

M.S. Juan Pablo Ángeles Lam
Coordinador Carrera Periodista Profesional y
Licenciatura en Ciencias de la Comunicación

DEDICATORIA

A DIOS: Por darme la vida, su infinita misericordia, amor, fortaleza, paciencia y sabiduría cada día para tener la oportunidad de lograr este éxito.

A MI MADRE: Blanca Ofelia García Guarchaj, por su apoyo incondicional durante la trayectoria de mi carrera universitaria, su cariño, confianza y motivación.

A MIS ABUELOS: Candelaria Guarchaj, Valeriano García (Q.E.P.D.) por brindarme su amor incondicional y por sus palabras de motivación, apoyo y ejemplo de lucha y perseverancia.

A MI FAMILIA Nolasco, Porfirio, Carlos, Zoila, Ana, Amparo y primos. Por su confianza, apoyo durante mi proceso de formación y sus palabras de motivación.

AGRADECIMIENTOS

A:

Dios, por su amor y por haberme dado la oportunidad de culminar mis estudios universitarios.

Universidad de San Carlos de Guatemala, por la oportunidad que me brindó de realizar mis estudios universitarios en esta magna casa de estudios.

Carrera de Ingeniería en Gestión Ambiental Local por ser parte de mi formación.

Mis asesores, por su apoyo, tiempo dedicado, paciencia y motivación.

Mis catedráticos, por la enseñanza, apoyo y sus conocimientos compartidos.

Mis amigos (as), Mirna Dardón, Abigail Tumax, Marlon Beltrán, David Ramos, Omar Cervantes y compañeros de estudio, que estuvieron presentes en el transcurso de la carrera universitaria, por su apoyo y por el tiempo compartido.

ÍNDICE

| | Descripción | Página |
|---------|--|---------------|
| | Resumen..... | vii |
| | Abstract..... | viii |
| I. | INTRODUCCIÓN | 1 |
| II. | REVISIÓN DE LITERATURA | 2 |
| 2.1 | Desechos | 2 |
| 2.2 | Residuos sólidos | 2 |
| 2.2.1 | Residuos orgánicos..... | 2 |
| 2.3 | Descomposición de los residuos orgánicos | 3 |
| 2.4 | Tratamientos biológicos de los residuos orgánicos | 4 |
| 2.5 | Compostaje | 4 |
| 2.5.1 | Proceso de compostaje..... | 4 |
| 2.6 | Microorganismos..... | 7 |
| 2.6.1 | Microorganismos eficientes (ME) | 8 |
| 2.6.2 | Clasificación de los microorganismos..... | 9 |
| 2.6.3 | Función de los microorganismos eficientes..... | 9 |
| 2.7 | Métodos para la recolección y activación de microorganismo eficientes..... | 11 |
| 2.7.1 | Influencia de los microorganismos en el acondicionamiento y mejoramiento de los suelos..... | 13 |
| 2.7.2 | Aplicación y usos de los microorganismos eficientes | 13 |
| 2.7.3 | Té de compost..... | 15 |
| 2.8 | Descripción de productos utilizados en el proceso de descomposición de los residuos orgánicos. | 17 |
| 2.8.1 | Vinaza | 17 |
| 2.8.1.1 | Característica y descripción de la vinaza | 17 |
| 2.8.2 | Nitrógeno..... | 18 |
| 2.8.3 | Urea (46-0-0)..... | 19 |
| 2.8.4 | Bioterre..... | 19 |
| 2.9 | Factores de medición | 20 |
| 2.9.1 | Temperatura..... | 20 |

| | |
|--|----|
| 2.9.2 Humedad..... | 21 |
| 2.9.3 Aireación | 21 |
| 2.9.4 Calidad de los residuos | 21 |
| III. OBJETIVOS..... | 23 |
| 3.1 Objetivo General | 23 |
| 3.2 Objetivos Específicos | 23 |
| IV. HIPÓTESIS | 24 |
| 4.1 Hipótesis alternativa | 24 |
| 4.2 Hipótesis nula..... | 24 |
| V. MATERIALES Y MÉTODOS | 25 |
| 5.1 Humanos | 25 |
| 5.2 Equipo y materiales de oficina..... | 25 |
| 5.2.1 Equipo y materiales de campo..... | 25 |
| 5.2.2 Financieros..... | 26 |
| 5.3 Metodología..... | 29 |
| 5.3.1 Marco referencial..... | 29 |
| 5.3.1.1 Ubicación del área de trabajo..... | 29 |
| 5.3.2 Factor a evaluar..... | 32 |
| 5.3.3 Descripción del experimento | 32 |
| 5.3.4 Unidades experimentales | 33 |
| 5.3.5 Parcela bruta | 33 |
| 5.3.6 Descripción de los tratamientos | 33 |
| 5.3.7 Actividades antes de la aplicación | 34 |
| 5.3.7.1 Preparación y activación de microorganismos eficientes | 34 |
| 5.3.7.2 Microorganismos eficientes diluidos | 34 |
| 5.3.8 Manejo ambiental del experimento..... | 34 |
| 5.3.8.1 Preparación del terreno | 34 |
| 5.3.8.2 Medición del área experimental..... | 34 |
| 5.3.8.3 Elaboración de las cajas para cada tratamiento | 35 |
| 5.3.8.4 Estimación de la dosis de estimulantes en cada repetición..... | 35 |
| a) Microorganismos eficientes (ME) | 35 |
| b) Bioterre..... | 35 |

| | |
|--|----|
| c) Urea..... | 35 |
| d) Testigo | 36 |
| 5.3.8.5 Recolección de residuos..... | 36 |
| 5.3.8.6 Traslado del material al área experimental..... | 36 |
| 5.3.8.7 Pesado y distribución de los residuos orgánicos | 36 |
| 5.3.8.8 Conducción del experimento | 36 |
| 5.3.8.9 Riego en área experimental..... | 37 |
| 5.3.8.10 Muestreo de los residuos orgánicos..... | 37 |
| 5.4 Diseño experimental..... | 38 |
| 5.5 Croquis de campo de la parcela experimental para evaluación de los tratamientos..... | 39 |
| 5.6 Modelo estadístico | 40 |
| 5.7 Variables de respuesta..... | 40 |
| 5.7.1 Período de descomposición de los residuos orgánicos..... | 40 |
| 5.7.2 Peso (libras) | 40 |
| 5.7.3 Temperatura (grados Centígrados C°) | 40 |
| 5.7.4 Potencial de Hidrógeno (pH) | 40 |
| 5.7.5 Humedad (H°) | 41 |
| 5.7.6 Grado de descomposición..... | 41 |
| 5.7.7 Costo en Quetzales por libras de descomposición..... | 41 |
| 5.8 Análisis estadístico | 41 |
| 5.9 Análisis económico..... | 41 |
| VI. RESULTADOS Y DISCUSIÓN..... | 42 |
| 6.1 Período de descomposición de los residuos orgánicos | 42 |
| 6.2 Peso final de los residuos orgánicos | 45 |
| 6.3 Temperatura (C°)..... | 47 |
| VII. CONCLUSIONES..... | 48 |
| VIII. RECOMENDACIONES | 49 |
| IX. ANEXOS | 50 |
| X. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS | 59 |

ÍNDICE DE TABLAS

| Tabla | Descripción | página |
|--------------|---|---------------|
| 1. | Rangos adecuados de diferentes organismos en compost y té de compost... | 16 |
| 2. | Características de la vinaza | 18 |
| 3. | Costos humanos para ejecución del proyecto de investigación | 26 |
| 4. | Costos de materiales de campo para la elaboración de los tratamientos con residuos orgánicos | 27 |
| 5. | Costos de materiales de oficina para la ejecución del proyecto..... | 28 |
| 6. | Descripción y nomenclatura de productos..... | 32 |
| 7. | Descripción de procesos..... | 33 |
| 8. | Escala de degradación de residuos para tratamientos evaluados..... | 37 |
| 9. | Resultados en días de descomposición de los residuos orgánicos..... | 42 |
| 10. | Análisis de varianza de días en descomposición | 43 |
| 11. | Prueba media de Tukey al 5% de significancia de la variable días de descomposición | 44 |
| 12. | Datos de variable peso en libras de residuos orgánicos | 45 |
| 13. | Análisis de varianza de la variable peso final de residuos orgánicos..... | 46 |
| 14. | Datos de temperatura (grados Centigrados) de los residuos orgánicos..... | 51 |
| 15. | Datos de humedad de residuos orgánicos | 52 |
| 16. | Datos de potencial de hidrógeno de residuos orgánicos..... | 53 |

ÍNDICE DE FIGURAS

| Figura | Descripción | página |
|---------------|--|---------------|
| 1. | Etapas del compostaje de la fracción orgánica de residuos municipales recogida separadamente (FORS)..... | 7 |
| 2. | Recolección de muestra en campo de microorganismos eficientes..... | 12 |
| 3. | Almacenamiento de microorganismos eficientes activados en estado líquido..... | 13 |
| 4. | Mapa de localización de Santa María Chiquimula, departamento de Totonicapán, Guatemala..... | 30 |
| 5. | Ubicación de la parcela experimental, Santa María Chiquimula..... | 31 |
| 6. | Limpieza y preparación del terreno ubicado en granja Popol Já..... | 54 |
| 7. | Medición del área experimental..... | 54 |
| 8. | Elaboración de las cajas para cada tratamiento..... | 55 |
| 9. | Estimación de la dosis de estimulantes en cada repetición..... | 55 |
| 10. | Recolección de residuos..... | 56 |
| 11. | Traslado y pesado del material al área experimental..... | 56 |
| 12. | Pesado y distribución de los residuos orgánicos..... | 57 |
| 13. | Riego en área experimental..... | 57 |
| 14. | Muestreo de los residuos orgánicos..... | 58 |
| 15. | Recopilación de datos de campo..... | 58 |

ÍNDICE DE GRÁFICAS

| Gráfica | Descripción | página |
|----------------|--|---------------|
| 1 | Días de descomposición de los residuos orgánicos..... | 43 |
| 2 | Peso final de los residuos orgánicos | 46 |
| 3 | Gráfica de temperatura de los tratamientos evaluados. | 51 |
| 4 | Gráfica de humedad de tratamientos evaluados. | 52 |
| 5 | Gráfica de pH de tratamientos evaluados..... | 53 |

RESUMEN

La ejecución de la investigación titulada “Evaluación de estimulantes biológicos y químicos para acelerar el proceso de descomposición de residuos orgánicos”, se realizó con el objetivo principal de identificar un producto que acelere la descomposición de los residuos orgánicos, producido con materiales provenientes del mercado municipal de Santa María Chiquimula, del departamento de Totonicapán; el experimento se hizo a partir de la utilización de productos biológicos y químicos. El trabajo se ejecutó en las instalaciones de la granja Popol Já, ubicado a 1.3 kilómetros del centro de este municipio.

En la evaluación de estimulantes se utilizaron dos productos biológicos; el primero microorganismos eficientes (ME); conformado por levaduras, bacterias acidolácticas y bacterias fotosintéticas, elaboradas de forma natural a partir de un cultivo de microorganismos utilizando hojas, materiales caídos de los árboles, melaza y agua, el segundo fue Bioterre, elaborada por la industria BioGanar, y como producto químico se utilizó urea. Se instaló un tratamiento testigo donde no se utilizó ningún producto, para compararlo con los otros durante la evaluación.

Se utilizaron 1,600 libras de residuos orgánicos (cáscaras de frutas, verduras, hojas y papel), provenientes de ventas del mercado municipal. El área total experimental fue de 123.5 metros cuadrados, comprendida en 13 metros de ancho por 9.5 metros de largo.

El diseño que se utilizó fue bloques completamente al azar, con cuatro tratamientos y cuatro repeticiones, obteniéndose 16 tratamientos en el área. Los tratamientos evaluados fueron: a) Microorganismos eficientes, c) Bioterre, c) Urea y d) Testigo (solo residuos orgánicos sin aplicación de producto). Las variables de la evaluación fueron: período descomposición, peso final, temperatura, humedad, pH y costos por proceso de descomposición.

El análisis se realizó utilizando ANDEVA el cuál indicó que el tratamiento ideal fue de 66 días, correspondiente a los microorganismos eficientes en función al período de descomposición. Los resultados de esta investigación pueden ser de utilidad para la toma de decisiones a nivel municipal, referente al tema de los desechos sólidos al mismo tiempo la producción de abono orgánico en el menor tiempo posible.

ABSTRACT

The execution of the research entitled "Evaluation of biological and chemical stimulants to accelerate the decomposition process of organic waste", was carried out with the main objective of identifying a product that accelerates the decomposition of organic waste, produced with materials from the municipal market. from Santa María Chiquimula, in the department of Totonicapán; the experiment was made from the use of biological and chemical products. The work was carried out in the facilities of the Popol Já farm, located 1.3 kilometers from the center of this municipality.

Two biological products were used in the evaluation of stimulants; the first efficient microorganisms (EM); made up of yeasts, lactic acid bacteria and photosynthetic bacteria, made naturally from a culture of microorganisms using leaves, fallen materials from trees, molasses and water, the second was Bioterre, made by the BioGanar industry, and as a chemical product used urea. A control treatment was installed where no product was used, to compare it with the others during the evaluation.

1,600 pounds of organic waste (fruit peels, vegetables, leaves, and paper) were used, from sales at the municipal market. The total experimental area was 123.5 square meters, comprised of 13 meters wide by 9.5 meters long.

The design that was used was completely randomized blocks, with four treatments and four repetitions, obtaining 16 treatments in the area. The treatments evaluated were: a) Efficient microorganisms, c) Bioterre, c) Urea and d) Witness (only organic waste without product application). The evaluation variables were: decomposition period, final weight, temperature, humidity, pH and costs per decomposition process.

The analysis was carried out using ANDEVA which indicated that the ideal treatment was 66 days, corresponding to the efficient microorganisms depending on the decomposition period. The results of this research can be useful for decision-making at the municipal level, regarding the issue of solid waste and at the same time the production of organic fertilizer in the shortest possible time.

I. INTRODUCCIÓN

La generación de desechos sólidos va en aumento, y cada vez los espacios de almacenaje se reducen, con esta problemática el municipio de Santa María Chiquimula se ve afectado por los botaderos clandestinos dentro del casco urbano. Actualmente en el centro del municipio se encuentran dos botaderos clandestinos, los cuales no cuentan con monitoreo y manejo técnico de desechos.

De acuerdo con el diagnóstico realizado en el municipio se identificó este problema que afectaba las condiciones de vida de los pobladores, siendo necesario encontrar alternativas viables que permitan la aceleración y descomposición de los residuos orgánicos en menor tiempo.

Esta investigación tuvo como objetivo identificar el producto acelerador ideal para llevar a cabo el proceso de descomposición de los residuos orgánicos. La investigación evaluó los tratamientos microorganismos eficientes (conformado por levaduras, bacterias acidolácticas y bacterias fotosintéticas), Bioterre, urea (46% de Nitrógeno) y el testigo comparado sin ninguna aplicación.

Para la distribución de los tratamientos se utilizó el diseño experimental completamente al azar y para su evaluación ANDEVA para obtener resultados que brinden la confiabilidad y certeza de los tratamientos, y que aportarán resultados positivos.

Las muestras que produjeron el menor tiempo de descomposición, fue con la aplicación de microorganismos eficientes con un tiempo promedio de 66 días siendo el tratamiento ideal para descomponer residuos orgánicos y evitar ser hospedero de plagas y enfermedades.

II. REVISIÓN DE LITERATURA

2.1 Desechos

Se refiere al material o conjunto de materiales resultantes de cualquier proceso u operación que esté destinado al desuso, que no vaya a ser utilizado, recuperado o reciclado. Básicamente la diferencia entre ambos conceptos radica en que todo material o resto que pueda ser nuevamente utilizado a través de un adecuado proceso de reciclaje se denomina residuo, éste se transforma en materia prima generando un beneficio económico y una protección al ambiente, mejorando la calidad de vida. (García, J. 1997)

2.2 Residuos sólidos

Son desechos procedentes de materiales utilizados en la fabricación, transformación o utilización de bienes de consumo. Todos estos residuos sólidos, en su mayoría son susceptibles de reaprovecharse o transformarse con un correcto reciclado. (García, J. 1997)

2.2.1 Residuos orgánicos

Están compuestos por material derivadas de vegetales, animales y comestibles, los cuales se descomponen con facilidad y vuelven a la tierra. Por ejemplo: frutas y verduras, restos de comidas, papeles. Son biodegradables, es decir, tienen la capacidad de fermentar y ocasionan procesos de descomposición. Aunque la naturaleza los puede aprovechar como parte del ciclo natural de la vida, cuando se acumulan posibilitan la multiplicación de microbios y plagas, convirtiéndose en potenciales fuentes de contaminación de aire, agua y suelo. (García, J. 1997)

2.3 Descomposición de los residuos orgánicos

Los organismos que constituyen la «biota u organismos vivos del suelo», incluidos los microorganismos, usan los residuos de las plantas, los animales y los derivados de la materia orgánica como restos de alimentos. A medida que descomponen los residuos y la materia orgánica, los nutrientes en exceso, entre ellos, el nitrógeno, fósforo y azufre, son liberados dentro del suelo de forma en que puedan ser usados por las plantas. Los productos de desechos descompuestos por los microorganismos contribuyen a la formación de la materia orgánica del suelo. (FAO, 2016).

Mediante la descomposición de los residuos y el almacenamiento del carbono dentro de su propia biomasa o la reconstrucción de nuevas estructuras de carbono, la biota del suelo tiene una función muy importante en los procesos de reciclaje de nutrientes y, por lo tanto, en la capacidad de un suelo para proveer al cultivo con suficientes nutrientes para poder cosechar un buen producto. Las sustancias pegajosas sobre la piel de las lombrices y aquellas producidas por los hongos y bacterias ayudan a aglutinar las partículas. Los rastros dejados por las lombrices son también agregados más resistentes que el material que circunda el suelo, debido a la mezcla de la materia orgánica, el material mineral del suelo y las secreciones de las lombrices. (FAO, 2016)

La parte viva del suelo es responsable de mantener la disponibilidad del agua y aire, proveer nutrientes a las plantas, destruir a los agentes contaminantes y mantener la estructura del suelo. Esto contribuye a la renovación de la porosidad mediante los procesos de excavación de túneles y formación de sustancias pegajosas asociadas con la actividad biológica. Consecuentemente, el suelo puede almacenar más agua y actuar como sumidero de dióxido de carbono. (FAO, 2016)

2.4 Tratamientos biológicos de los residuos orgánicos

Los tratamientos biológicos son operaciones de tratamiento por biodegradación de materia orgánica tanto recogida de forma separada, Fracción Orgánica (**FO**). Cuando se recoge de forma separada se utiliza el término FORS (fracción orgánica de recogida separada). Está constituida por restos de la preparación de la comida o manipulación y elaboración de los productos alimentarios, restos sobrantes de comida, alimentos en mal estado y excedentes alimentarios que no se han comercializado o consumido (separados de su envase o embalaje). (MTE, 2016).

2.5 Compostaje

El compostaje es un proceso biológico aerobio (con presencia de oxígeno) que, bajo condiciones de ventilación, humedad y temperatura controladas, transforma los residuos orgánicos degradables en un material estable e higienizado llamado compost, que se puede utilizar como enmienda orgánica. (MTE, 2016).

2.5.1 Proceso de compostaje

El proceso de compostaje imita la transformación de la materia orgánica en la naturaleza, y permite homogenizar los materiales, reducir su masa y el volumen e higienizarlos. Este tratamiento favorece el retorno de la materia orgánica al suelo y su reinsertión en los ciclos naturales. (MTE, 2016)

El proceso de descomposición se basa en la actividad de microorganismos como los hongos y las bacterias y su duración puede oscilar, dependiendo de distintos factores (sistema, tecnología, disponibilidad de espacio, etc.) entre 10 y 16 semanas. (MTE, 2016)

El proceso de compostaje se desarrolla en dos fases: descomposición y maduración. En la primera fase, desaparecen las moléculas más fácilmente degradables liberando energía (se alcanzan temperatura de 60-70°C), agua, anhídrido carbónico y amoníaco; biopolímeros como la celulosa y la lignina quedan parcialmente alterados y pasan a ser, en la posterior fase de maduración, las estructuras básicas de las macromoléculas que incluirán parte del nitrógeno contenido en los materiales iniciales dando lugar a materia orgánica parecida a las sustancias húmicas del suelo. (Soliva, 2001).

La duración de esta primera fase suele ser de 4-6 semanas, aunque si se lleva a cabo de forma intensiva (recintos cerrados y aireación forzada) puede reducirse a 2-4 semanas. (MTE, 2016).

Después se pasa a la etapa de maduración, donde el residuo se estabiliza y madura, para ello se requiere de 6-10 semanas, y finalmente se obtiene un producto, el compost, con distinta estabilidad, según la duración de esta fase. (MTE, 2016).

En el proceso es importante conseguir una higienización del material resultante. El incremento de la temperatura alcanzado durante el proceso de compostaje, especialmente en su fase de descomposición, unido a la competencia y el antagonismo entre los grupos de microorganismos y la formación de antibióticos de la fase de maduración son elementos que minimizan el número de agentes patógenos animales y vegetales en el producto final. (MTE, 2016)

Si se tratan cantidades importantes de residuos y dependiendo de las características de los materiales, se necesitan etapas de pre y post tratamiento, las primeras para adecuar los materiales a la transformación biológica, y las segundas para ajustar el producto a sus destinos. (MTE, 2016)

En el pre-tratamiento, la FORS, por su elevado contenido en humedad, materia orgánica fermentable y nitrógeno, necesita ser mezclada con otro tipo de residuos (Soliva et al, 1993; Pérez et al, 1995 y 1999; López et al, 2010a y b), como restos vegetales, que incrementan la porosidad, equilibran los contenidos aire/agua, y permiten adecuar la proporción en biopolímeros y la relación carbono-nitrógeno (C/N). Las mezclas acostumbran a realizarse con una proporción en volumen de restos vegetales que puede estar entre el 25 y el 60%, dependiendo del tipo de FORS y el sistema de compostaje utilizado en las distintas instalaciones. (MTE, 2016).

Las etapas de post-tratamiento pueden tener distintas finalidades: fraccionar según granulometría, separar según posibles usos, mezclar con otros productos para mejorar alguna de sus características.

Según el MTE (2016), en el caso del tratamiento de la FORS normalmente se instalan para eliminar impurezas derivadas de los impropios iniciales no separados y recuperar la parte de restos vegetales más gruesa y menos transformada (reciclado vegetal).

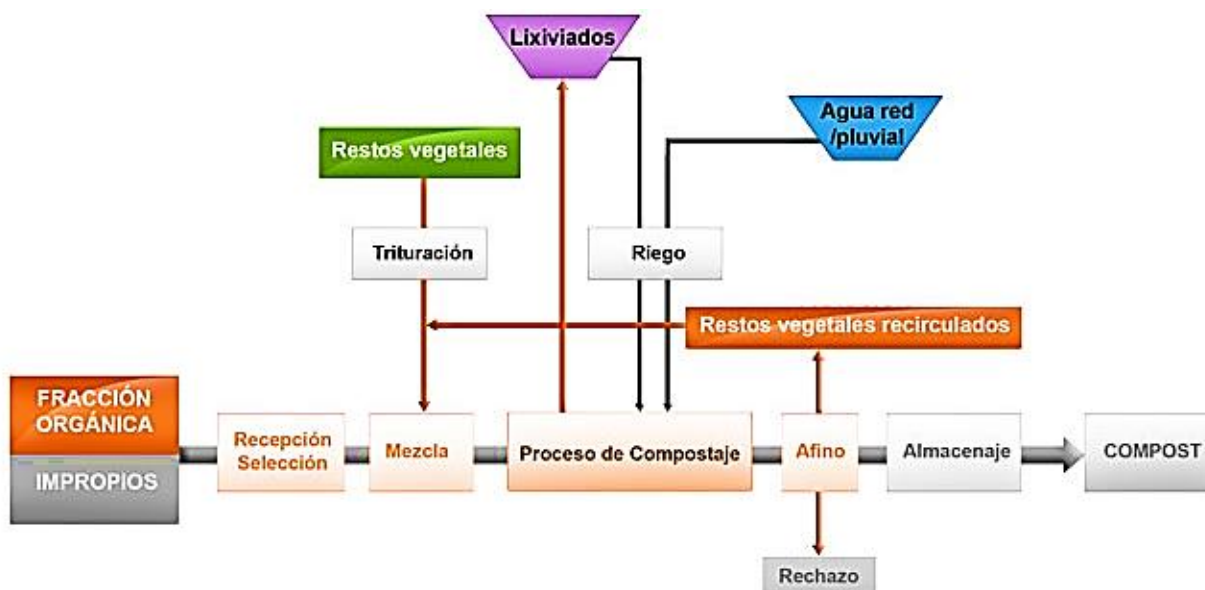
Los principales sistemas de compostaje / bioestabilización son los siguientes:

- Pilas.
- Túneles de compostaje.
- Tambores de compostaje.
- Compostaje en nave cerrada con volteo automático.
- Estabilización en trincheras.

Otro tipo de tratamiento biológico que se puede aplicar a los residuos orgánicos es el biosecado. Este consiste en la evaporación de parte de la humedad contenida en los residuos y en su estabilización. Se lleva a cabo mediante la circulación de una corriente de aire forzada, a través de las pilas formadas con los residuos triturados. El aire aplicado y el calor producido en las reacciones de degradación aeróbica de la materia orgánica favorecen la evaporación del agua contenida en el residuo, de manera que se elimina una parte importante de la humedad y de los patógenos, así como una parte de la materia orgánica contenida en los residuos. (MTE, 2016).

Este sistema se puede utilizar con fracciones mezcladas sin tratamiento mecánico de selección previo para conseguir cierta estabilización de los rechazos con contenido orgánico y de la materia orgánica no recogida separadamente. La reducción del grado de humedad por debajo del 20% del peso, genera un material de alto PCI que podría llegar a ser valorizado como combustible. (MTE, 2016).

Figura 1. Etapas del compostaje de la fracción orgánica de residuos municipales recogida separadamente (FORS)



Fuente: Huerta, et. al, (2010). Guía para la recogida separada y gestión de la fracción orgánica, (FORS).

2.6 Microorganismos

El concepto de microorganismo es operativo y carece de cualquier implicación taxonómica o filogenética, dado que engloba organismos unicelulares heterogéneos, no relacionados evolutivamente entre sí, tales como bacterias (procariotas), protozoos (eucariotas, algunos filum de algas) y hongos unicelulares. Incluye también entidades biológicas acelulares de tamaño ultramicroscópico (visibles con microscopio electrónico) como virus y priones, que también se incluyen en el campo de estudio de la Microbiología. (Ganten D. 2009).

No obstante, la inmensa mayoría de los microbios no son en absoluto perjudiciales y bastantes juegan un papel clave en la biosfera al proporcionar oxígeno (algas y cianobacterias) y otros, descomponer la materia orgánica, mineralizarla y hacerla de nuevo accesible a los productores, cerrando el ciclo de la materia. (Ganten D. 2009).

2.6.1 Microorganismos eficientes (ME)

Desde la década de 1980, el sistema de Agricultura Natural Kyusei (Kyusei Natural Farming), ha ganado amplio reconocimiento por su innovador uso de preparados microbianos conocidos como microorganismos eficientes (ME). Estos fueron desarrollados por el profesor Doctor Teruo Higa, investigador en Horticultura de la Universidad de Ryukyus, Okinawa, Japón. (Rosales, 2009).

Los microorganismos eficientes al entrar en contacto con material orgánico, secretan sustancias beneficiosas como vitaminas, ácidos orgánicos, minerales quelatados y fundamentalmente sustancias antioxidantes. A través de los efectos antioxidantes promueven la descomposición de la materia orgánica. (Rosales, 2009).

La presentación de microorganismos eficientes puede producirse en forma líquida, se utiliza con la materia orgánica para enriquecer los suelos y para mejorar la flora y labranza, se encuentran en estado latente y por lo tanto se utiliza para hacer otros productos secundarios. (Rosales, 2009).

Los microorganismos eficientes consisten de varios elementos que pueden tener múltiples beneficios según sea el caso: bacterias ácido lácticas que producen ácido láctico que es sintetizado por las bacterias fotosintéticas y levaduras. El ácido láctico puede suprimir microorganismos nocivos como el *Fusarium sp.*, ayuda a solubilizar la cal y el fosfato de roca. Otro elemento importante es la levadura que degradan las proteínas complejas y carbohidratos, producen sustancias bio-activas (vitaminas, hormonas, enzimas) que pueden estimular el crecimiento y la actividad de otras especies de microorganismos eficientes, así como de plantas superiores. (Rosales, 2009)

2.6.2 Clasificación de los microorganismos

Los microorganismos contienen un promedio de 80 especies y unos 10 géneros, que pertenecen básicamente a cuatro grupos.

- **Bacterias fotosintéticas:** que utilizan la energía solar en forma de luz y calor, y sustancias producidas por las raíces, para sintetizar vitaminas y nutrientes. Cuando se establecen en el suelo, producen también un aumento en las poblaciones de otros microorganismos eficaces, como los fijadores de nitrógeno, los actinomicetos y las micorrizas u hongos. (Rosales, 2009).
- **Actinomicetos:** hongos benéficos que controlan hongos y bacterias patógenas (causantes de enfermedades), y que dan a las plantas mayor resistencia frente a estos a través del contacto con patógenos debilitados.
- **Bacterias productores de ácido láctico:** el ácido láctico posee la propiedad de controlar la población de algunos microorganismos, como el hongo *Fusarium*. Además, mediante la fermentación de materia orgánica, elaboran nutrientes para las plantas.
- **Levaduras:** bacterias que utilizan sustancias que producen las raíces de las plantas y otros materiales orgánicos, para sintetizar vitaminas y activar otros microorganismos del suelo. (Rosales, 2009).

2.6.3. Función de los microorganismos eficientes.

Las bacterias fotosintéticas que pueden fijar el nitrógeno atmosférico y el bióxido de carbono en moléculas orgánicas tales como aminoácidos y carbohidratos, también sintetizan sustancias bio-activas. Los actinomicetos funcionan como antagonistas de

muchas bacterias y hongos patógenos de las plantas debido a que producen antibióticos. (Rosales, 2009)

Los microorganismos eficientes son cien por ciento naturales de bacterias anaeróbicas y aerobias, no patógenas generadoras de enzimas hidrolíticas. Su formulación es en forma de células micro-encapsuladas suspendidas en biopolímero y certificado como orgánico y como ingredientes activos se pueden mencionar:

1. *Azotobacter vinelandii*, esta es reconocida como la única bacteria capaz de fijar nitrógeno en condiciones de total aerobiosis.
2. *Clostridium pasteurianum*, es un microorganismo estrictamente anaerobio que permite una fijación no simbiótica del nitrógeno atmosférico dejándolo accesible a plantas sin necesidad de establecer una relación de simbiosis.
3. *Nitrosomas sp.*, oxidan el nitrito formando nitratos.
4. *Nitrobacter sp.*, oxida nitritos para formar nitratos.
5. *Nitrococcus sp.*, aumentan la actividad microbiana de suelo y agua, teniendo un efecto nitrificante.
6. *Micrococcus sp.*, es utilizado para la realización de biodegradación de contaminantes industriales.
7. *Lactobacter sp.*, es altamente eficiente en la fijación de nitrógeno atmosférico.
8. Termoactinomicetos y actinomicetos, son reconocidos por fijar el nitrógeno atmosférico.
9. *Lactobacillus sp.*, presentan ventajas prebióticas.
10. *Bacillus subtilis*, tienen variadas aplicaciones industriales como fuente de antibióticos naturales contra bacterias y hongos patógenos.
11. *Bacillus cereus*, ayudan a reducir olores en aguas residuales.
12. *Bacillus megaterium* y *Rhizobium sp.*, son fijadores de nitrógeno. (Rosales, 2009)

2.7 Métodos para la recolección y activación de microorganismos eficientes.

Estos microorganismos son llamados también “microorganismo de montaña” o MM, muchos de estos microorganismos eficientes cumplen roles benéficos en los procesos biológicos de los suelos y agroecosistemas, y pueden ser encontrados en la capa superficial y orgánica de todo suelo de un ecosistema natural donde no haya habido intervención depredadora del hombre.

Existen dos etapas en la preparación de microorganismos eficientes, la primera consiste en activar el producto, y la segunda en la dilución del mismo, con el fin de tener producto.

El tiempo para la activación dependerá del tipo de microorganismo a utilizar; siendo 4 a 10 días se forman las bacterias, 10 a 15 días se producen hongos para el suelo y follaje, de 16 en adelante levaduras, las disponibilidad de fosforo y compuestos capaces de descomponer la materia orgánica. (Higa y Parr, 2009)

Pasos para la captura:

- a) Identificar un bosque que no tenga intervención del hombre.

Buscar un bosque natural en zonas protegidas del sol, con cierta humedad y donde no haya intervención del hombre.

- b) Recopilar durante la temporada previa de lluvia, en la superficie rodeada de hojas secas, cerca de los árboles con mayor densidad de follaje.

Sacar la primera capa de hojas y materiales caídos de los arboles (2cm) que todavía no haya empezado su descomposición y recolectar la segunda capa que contiene muchos microorganismos. De las muestras que escogerán, es mejor descartar las que contengan cepas de color oscuro.



Fuente: Autor,(2019)

Figura 2. Recolección de muestra en campo de microorganismos eficientes.

- c) Trasladar en sacos libres de contaminantes.
- d) Realizar el proceso de activación y reproducción de microorganismos de montaña o microorganismos eficientes.

Los microorganismos se conservan en una fase sólida y se utilizan en una fase líquida a lo largo de las necesidades.

Reproducción de microorganismos eficientes en fase líquida:

- Un recipiente de 120 litros con tapa hermética
- 4 kg de microorganismos eficientes sólido.
- 1 galón de melaza
- 1 costal limpio (se usará como colador)
- 100 litros de agua sin cloro (filtrada, manantial o lluvia)
- Llenar el recipiente de 120 litros con agua y el galón de melaza.
- Preparar un costal (tipo malla o rafia) con 4 kilos de microorganismos sólido y colocarlo en el cilindro.
- Mantener el recipiente bajo sombra, a los 4 días se desarrollan los hongos, a los 8 días las bacterias y a los 15-25 días las levaduras. El agua irá tornando de un color marrón y olor a fermentado.



Fuente: Autor,(2019)

Figura 3. Almacenamiento de microorganismos eficientes activados en estado líquido.

2.7.1 Influencia de los microorganismos en el acondicionamiento y mejoramiento de los suelos.

Las aplicaciones de microorganismo benéficos al suelo pueden ayudar a definir la estructura y establecimiento de ecosistemas naturales. (Higa y Parr, 2009)

Las bacterias fotosintéticas dan sostén a las actividades de los demás microorganismos, sin embargo, las bacterias fotosintéticas también utilizan sustancias producidas por otros microorganismos. Este fenómeno se conoce como “coexistencia y coprosperidad”.

El incremento de las poblaciones de microorganismos en el suelo a través de su aplicación, promueve el desarrollo de microorganismos benéficos ya existentes en el suelo (Higa y Parr, 2009).

2.7.2 Aplicación y usos de los microorganismos eficientes

Los microorganismos eficientes pueden tener diferentes usos y se aplicaciones según sea la necesidad y factores externos, entre ellos se encuentra:

a) Medio ambiente:

El suelo es uno de los ambientes donde un conjunto ingobernable de microorganismos compiten entre sí para obtener lo que todos ellos necesitan: nutrientes y energía. Al mismo tiempo, los productos de su metabolismo alteran la composición química del sitio donde habitan. Más aún, los propios microorganismos evolucionan en respuesta a la presión del ambiente, es por ello que se describen formas de usos siguientes:

- Tratamiento de desechos orgánicos como los desechos de cocina, fermentándolos y transformándolos en un fertilizante natural.
- Tratamientos de aguas negras.
- Tratamiento de aguas contaminadas como lagunas, ríos, etc. para restaurar la flora y fauna. (Higa y Parr, 2009)

b) Agricultura:

La aplicación de los microorganismos eficientes en la agricultura cumplen roles benéficos en los procesos biológicos de los suelos y agroecosistemas siendo las principales acciones siguientes:

- Aumenta la productividad de los cultivos: a través de la reducción de enfermedades causadas por plagas y hongos.
- Reduce la mano de obra en la agricultura orgánica: puede ser aplicado de forma manual, sin necesidad de invertir en instrumentos costosos, utilizando aspersores manuales y bombas de mochila para el riego sobre los cultivos.
- Aumenta la concentración de azúcares en frutas como cítricos: la aplicación de microorganismos en presentación líquida, concentra mayor cantidad de azúcares

por ser fermentada con melaza rico en sacarosa que puede nutrir los suelos y compensar la cantidad que necesita.

- Produce alimentos más sanos y seguros sin necesidad de agroquímicos. (Higa y Parr, 2009)

c) Fincas con ganado, gallinas, cerdos, cabras y otros:

- Reduce los malos olores: al estar elaborado con materiales orgánicos puede neutralizar olores.
- Controla las moscas.
- Disminuye las enfermedades respiratorias de los animales.
- Sirve para transformación de las excretas de los animales y de los desechos vegetales en un abono orgánico de alta calidad. (Higa y Parr, 2009)

2.7.3 Té de compost

El té de compost es una terminología moderna, sin embargo, la utilización de extractos biológicos data desde hace miles de años por diferentes culturas (griegos, egipcios y mayas), pero sólo actualmente a través del uso de bombas que suministran aire se han logrado obtener soluciones biológicas de microorganismos aeróbicos, siendo estos los microorganismos benéficos del suelo. (Ingham, 2003).

Ingham (2003), indica que el té de compost es un extracto acuoso de alta actividad biológica que se consigue por una fermentación aeróbica del compost. Además, para estimular y favorecer el crecimiento de los microorganismos en el té, se agregan fuentes de nutrientes, como melaza, harina de pescado, extractos de algas marinas, polvo de roca, ácidos húmicos, entre otros.

También expresa que un buen té puede tener una diversidad tan alta como 25.000 especies, lo que incluye principalmente bacterias, hongos, protozoos, nemátodos, entre otros. Además, estableció estándares de calidad según la abundancia de

microorganismos en el compost y en el té, destacando que un buen té puede tener una cantidad de bacterias del orden de 1000 individuos por mililitro. Para lograrlo, es fundamental proporcionar una concentración adecuada de oxígeno, el que alcanza un máximo de consumo en 16 – 20 horas desde el inicio de la operación y el cual no debiera tener una concentración menor de 5 ppm, Así, se asegura que los microorganismos generados se mantengan vivos y activos, logrando un producto de óptima calidad.

En la Tabla 1 se muestran los rangos adecuados de diferentes organismos presentes en un té de compost.

Tabla 1. Rangos adecuados de diferentes organismos en compost y té de compost.

| Organismos | Compost (por gramo seco) | Té de Compost (por mL) |
|---|--------------------------|------------------------|
| Bacterias activas (μg) | 15 – 30 | 10 -150 |
| Bacterias totales (μg) | 150 -300 | 150 -300 |
| Hongos activos (μg) | 2 – 10 | 2 - 10 |
| Hongos totales (μg) | 150 -200 | feb-20 |
| Protozoos Flagelados (N°) | 10000 | 1000 |
| Protozoos Ameboides (N°) | 10000 | 1000 |
| Protozoos Ciliados (N°) | 20 -50 | 20 - 50 |
| Nematodos benéficos (N°) | 50 – 100 | 2 - 10 |

Fuente: Ingham, (2003)

Existen diferentes formas de elaborar un té de compost. La calidad del mismo dependerá de los materiales que sean utilizados y la cantidad de té de compost que produzcan los microorganismos durante el proceso de descomposición.

2.8 Descripción de productos utilizados en el proceso de descomposición de los residuos orgánicos.

Los productos utilizados para el proceso de descomposición de los residuos orgánicos fueron los siguientes:

2.8.1 Vinaza

La vinaza es un residuo de la producción de etanol, el cual es un carburante a base de alcohol, proveniente como subproducto de la producción de azúcar, de la caña de azúcar (Gómez, Flores, Correa & Molina, 2009).

Según Quintero, Cadena y Briceño (2006), los altos contenidos de materia orgánica en la vinaza y su aplicación en residuos de cosecha o en subproductos obtenidos en la elaboración del azúcar incrementan la actividad microbiana que acelera el proceso de descomposición y reduce el tiempo de la preparación de abonos orgánicos; igualmente, aumentan los contenidos de potasio, calcio y azufre en el abono orgánico.

2.8.1.1 Característica y descripción de la vinaza

La vinaza es un insumo para uso en agricultura orgánica. La vinaza concentrada es un producto que se genera durante la producción de alcohol etílico a partir de mieles de caña de azúcar, tiene aplicaciones como fertilizante de cultivos por su alto contenido de minerales. (Ferreira y Montenegro, 1987)

Tabla 2. Características de la vinaza

| Variable | Magnitud |
|-------------------------|-----------------|
| DQO, mg/l | 214,00 |
| TSS, mg/l | 21,625+ 2,033 |
| PH | 4.3 |
| Turbiedad , NTU | 590 |
| Conductividad, ds/cm | 28 |
| CaO, % p/p | 0.58 -1.18 |
| MgO, % p/p | 0.27-0.66 |
| K ₂ O, % p/p | 1.50-1.87 |
| Fe,ppm | 110-170 |
| Mn, ppm | 60-100 |
| Zn, ppm | 7.5 -45.66 |

Fuente: Ferreira y Montenegro,(1987)

2.8.2 Nitrógeno

Osorio (2004), indica que el nitrógeno es uno de los elementos más escasos en los suelos de todo el mundo, aunque el aire está compuesto del 78% de nitrógeno pero el cual las plantas no pueden utilizar directamente. El contenido de nitrógeno en el suelo depende también del reciclaje de la materia orgánica.

Los residuos de plantas y animales retornan al suelo donde se mineralizan o se descomponen por acción de los microorganismos, convirtiéndose en humus, el cual actúa como un depósito liberando gradualmente los elementos nitrógeno, fósforo y azufre (N,P,S) y micronutrientes esenciales para la nutrición de las plantas. (Osorio, 2004).

2.8.3 Urea (46-0-0)

Urea es el fertilizante sólido con mayor concentración de nitrógeno (N). Se adapta a diferentes tipos de cultivos y distintos tipos de aplicaciones. Se puede aplicar al volteo, en cobertura.

La urea tiene una gran variedad de usos y aplicaciones. Es un componente indispensable para producir formulas balanceadas de fertilización, se puede aplicar al suelo directamente como monoproducto, se puede incorporar a mezclas físicas balanceadas y por su alta solubilidad en agua puede funcionar como aporte de nitrógeno en formulas nitrógeno, fósforo y potasio (NPK) foliares, para fertirriego y en fertilizantes líquidos. (Osorio, 2004).

2.8.4 Bioterre

El Bioterre es un complejo prebiótico y enzimático que acelera la transformación, estabiliza, estandariza, deshidrata, higieniza, desodoriza y enriquece energéticamente la materia orgánica.

Es un producto 100% natural, ecoamable, totalmente biodegradable, fabricado por BioGanar en sus laboratorios de biotecnología, por fermentación sumergida; que es capaz de actuar en una amplia gama de residuos orgánicos contaminantes, transformándolos en acondicionadores orgánicos u orgánicos minerales de suelos; en alimento para rumiantes o en biomasa enriquecida para la cogeneración de energía. (Bioganar, 2018).

2.9 Factores de medición

Los factores de medición son utilizados para determinar de manera cuantitativa y cualitativamente los resultados evaluados, para representar y comparar cada uno de los tratamientos según las variables que se determinaron.

2.9.1 Temperatura

Para conseguir la eliminación de patógenos, parásitos y semillas de malezas, se consideran óptimas temperaturas entre 55-65°C.

A temperaturas muy altas, muchos microorganismos interesantes para el proceso mueren y otros se inactivan y, al descender la temperatura, se detiene el proceso de descomposición (Larco, 2004).

Temperaturas por encima de 53° C durante el compostaje elimina totalmente las bacterias patógenas, los virus y los huevos de *Ascaris* pierden la viabilidad, encontrándose en estas condiciones una sobrevivencia limitada de microorganismos indicadores y formas enquistadas de protozoos. (D'Angelo, González y Rubalcaba, 2004)

Higa y Parr (2009), afirman que con altas temperaturas se incrementan el número de las poblaciones microbianas, al igual que ciertos patógenos de las plantas como el *Fusarium*, el cual es uno de los principales organismos que generan pudrición en los suelos.

2.9.2 Humedad

Es importante que la humedad alcance los niveles óptimos entre 40 y 60%. Si el contenido de humedad es mayor del 70%, el agua desplazará al aire de los espacios libres y el proceso se volvería anaeróbico, generándose la putrefacción de la materia orgánica. Pero, si la humedad es excesivamente baja se disminuye la actividad de los microorganismos y el proceso es más lento. El contenido de humedad también depende de las materias primas empleadas, por ejemplo, para materiales fibrosos o residuos forestales la humedad máxima permisible se sitúa entre 75-85% (Larco, 2004).

Higa y Parr (2009) indican que los microorganismos son efectivos cuando se dan las condiciones óptimas dentro de las cuales está la buena disponibilidad de agua y oxígeno, esto depende si los microorganismos son aerobios y confirman que ya hay productos en el mercado que han logrado quitar esta barrera.

2.9.3 Aireación

El compostaje es un proceso aeróbico, por tanto, la presencia de oxígeno es esencial. La concentración de oxígeno depende del tipo de material, textura, humedad, frecuencia de volteo y presencia o ausencia de estructuras que permita la aireación. Si esta es insuficiente o está mal distribuida, se tienen consecuencias negativas con la producción de microorganismos anaeróbicos (Larco, 2004).

2.9.4 Calidad de los residuos

Larco (2004) determinó que la calidad de los residuos a descomponer es muy importante y por ello clasificó al heno, hojas, ramas y aserrín como materiales ricos en carbono y pobres en nitrógeno, mientras que los desechos de animales y desperdicios de mataderos son ricos en nitrógeno y pobres en carbono.

En el compostaje se puede utilizar cualquier desecho de origen orgánico como:

- Heno seco
- Hojas y ramas
- Aserrín
- Desperdicios de matadero
- Estiércol de animales.
- Residuos de verduras y frutas.

III. OBJETIVOS

3.1 Objetivo General

- Generar información técnica en el uso eficiente de estimulantes biológicos y químicos para acelerar los procesos de descomposición de residuos orgánicos.

3.2 Objetivos Específicos

- Evaluar el efecto de dos productos biológicos (microorganismo eficiente y Bioterre), un producto químico (urea), en la aceleración del proceso de descomposición de los residuos orgánicos.
- Establecer la rentabilidad económica al utilizar los tres estimulantes (urea, microorganismos eficientes y Bioterre) en la descomposición de residuos orgánicos.
- Comprobar el período de compostaje en la generación de abono orgánico para cada uno de los estimulantes biológicos y químicos utilizados en la investigación.

IV. HIPÓTESIS

4.1 Hipótesis alternativa

Al menos un estimulante evaluado presentará una descomposición de los residuos orgánicos en menos días que el proceso normal.

4.2 Hipótesis nula

Todos los estimulantes evaluados presentarán el mismo número de días durante el proceso de descomposición de los residuos orgánicos.

V. MATERIALES Y MÉTODOS

5.1 Humanos

- Estudiante Epesista Ingeniería en Gestión Ambiental Local
- Docente Supervisor-Asesor de EPS
- Auxiliar de campo

5.2 Equipo y materiales de oficina

- Computadora
- Impresora
- Manual de EPS IGAL
- Libreta de campo
- Hojas de papel bond tamaño carta
- Folders tamaño carta
- Sobre manila

5.2.1 Equipo y materiales de campo

- pH metro
- Termómetro
- Pala
- Azadón
- Costales
- Nylon
- Guantes de hule
- Mascarillas
- Cinta métrica
- Balanza de resorte
- Tonel
- Vinaza
- Bolsas de nylon
- Muestras de suelo

- Urea (producto)
- Bioterre (producto)

5.2.2 Financieros

La elaboración de las siguientes tablas, describen los materiales y los costos que representó la ejecución del proyecto de investigación, siendo los siguientes:

5.2.2.1 Tabla 3. Costos humanos para ejecución del proyecto de investigación.

| Descripción | Cantidad | Costo unitario | Días laborados | Costo total |
|---|----------|----------------|----------------|--------------------|
| Estudiante epesista Ingeniería en Gestión Ambiental Local | 1 | Q 90.16 | 120 | Q 10,819.20 |
| Docente supervisor- asesor de EPS | 1 | Q 90.16 | 6 | Q 540.96 |
| Ing. Agr. asesor de proyecto inferencial | 1 | Q 90.16 | 12 | Q 1,081.92 |
| Auxiliar de campo | 1 | Q 90.16 | 8 | Q 721.28 |
| TOTAL | | | | Q 13,163.36 |

Nota: Los costos fueron ingresados de acuerdo al salario mínimo agrícola y no agrícola, establecido por el Acuerdo gubernativo número 297-2017.

Fuente: Autor, (2019)

5.2.2.2 Tabla 4. Costos de materiales de campo para la elaboración de los tratamientos con residuos orgánicos.

| Descripción | Cantidad | Unidad de medida | Costo Unidad (Q) | COSTO TOTAL |
|----------------------------|----------|------------------|------------------|-------------------|
| pH metro | 1 | unidad | Q 950.00 | Q 950.00 |
| Termómetro | 1 | unidad | Q 500.00 | Q 500.00 |
| Pala | 2 | unidad | Q 65.00 | Q 130.00 |
| Azadón | 1 | unidad | Q 50.00 | Q 50.00 |
| Costales | 30 | unidad | Q 2.00 | Q 60.00 |
| Nylon | 32 | metro | Q 9.50 | Q 304.00 |
| Guantes de hule | 4 | unidad | Q 18.00 | Q 72.00 |
| Mascarillas | 15 | unidad | Q 4.50 | Q 67.50 |
| Cinta métrica | 1 | unidad | Q 25.00 | Q 25.00 |
| Balanza de resorte | 1 | unidad | Q 45.50 | Q 45.50 |
| Bomba de mochila | 1 | unidad | Q 350.00 | Q 350.00 |
| Atomizadores | 6 | unidad | Q 10.00 | Q 60.00 |
| Madera | 24 | unidad | Q 15.50 | Q 372.00 |
| Clavos | 170 | unidad | Q 0.10 | Q 17.00 |
| Tonel | 1 | unidad | Q 75.00 | Q 75.00 |
| Melaza | 2 | galón | Q 25.00 | Q 50.00 |
| Microorganismos eficientes | 4 | litro | Q 10.00 | Q 40.00 |
| Urea | 8 | libra | Q 6.00 | Q 48.00 |
| Bioterre | 250 | mililitro | Q 85.00 | Q 285.00 |
| TOTAL | | | | Q 3,501.00 |

Fuente: Autor, (2019)

5.2.2.3 Tabla 5. Costos de materiales de oficina para la ejecución del proyecto.

| Descripción | Cantidad | Unidad de medida | Costo Unidad (Q) | COSTO TOTAL |
|----------------------------------|----------|------------------|------------------|-------------------|
| Computadora (alquiler) | 1 | unidad | Q 500.00 | Q 500.00 |
| Impresiones | 1 | unidad | Q 100.00 | Q 100.00 |
| Cámara fotográfica (alquiler) | 1 | unidad | Q 500.00 | Q 500.00 |
| Libreta de campo | 1 | unidad | Q 12.50 | Q 12.50 |
| Lápiz | 1 | unidad | Q 2.00 | Q 2.00 |
| Borrador | 1 | unidad | Q 1.00 | Q 1.00 |
| Lapicero | 2 | unidad | Q 1.25 | Q 2.50 |
| Marcadores | 2 | unidad | Q 8.50 | Q 17.00 |
| Hojas de papel bond tamaño carta | 15 | unidad | Q 0.10 | Q 1.50 |
| Folders tamaño carta | 2 | unidad | Q 1.50 | Q 3.00 |
| Sobre Manila | 1 | unidad | Q 1.00 | Q 1.00 |
| Total | | | | Q 1,140.50 |

Fuente: Autor, (2019)

5.3 Metodología

5.3.1 Marco referencial

5.3.1.1 Ubicación del área de trabajo

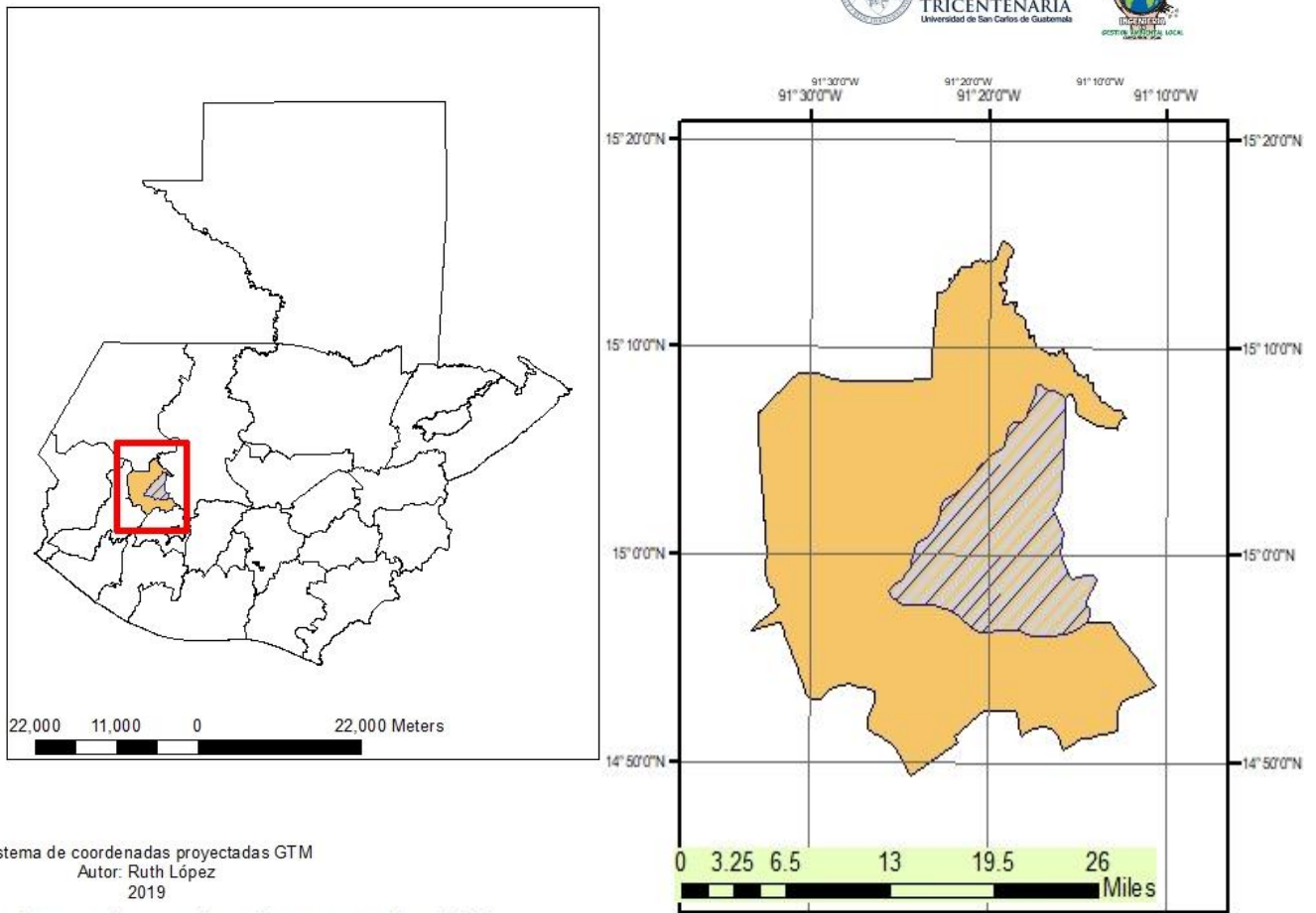
La presente investigación se realizó en el municipio de Santa María Chiquimula, departamento de Totonicapán, instalado en el área experimental donde se ejecutó la evaluación de los tratamientos, en granja Popol Já, ubicado a 1.3 kilómetros del centro poblacional en el paraje Xesiquel.

Las características geográficas y ecológicas del municipio se muestran a continuación:

El municipio de Santa María Chiquimula, se encuentra localizado al norte de la cabecera departamental con San Antonio Ilostenango, Santa Lucía La Reforma y Momostenango; al este con San Antonio Ilostenango y Patzité; al sur con Totonicapán, al oeste con Totonicapán y Momostenango. (ver Figura 4, pg. 30) . La granja Popol Já está ubicada en las coordenadas geográficas latitud 15° 01´45”, longitud 91° 19´46” y se localiza a una altitud de 2,092 msnm. , con una extensión de 80 km². (ver Figura 5, pg 31).

El clima del municipio es frío, pertenece a la zona de vida del bosque Húmedo Montano Bajo Subtropical, formando en determinados días una especie de llovizna. De mayo a octubre se enmarca el invierno y de noviembre a abril la estación del verano. Según el Instituto Nacional de Sismología, Vulcanología, Meteorología e Hidrología INSIVUMEH, la temperatura del municipio oscila entre 12 a 18 grados centígrados y la precipitación pluvial es de 2,000 a 4,000 milímetros anuales, la variabilidad del viento es de 10.9 kilómetros por hora, su dirección es de 360 grados sexagesimales (hacia el norte), la nubosidad es de siete en una escala de cero a ocho, la humedad es de un 72%.

Mapa de Localización del municipio de Santa María Chiquimula, Totonicapán



Sistema de coordenadas proyectadas GTM
 Autor: Ruth López
 2019

Sistema de coordenadas proyectadas GTM
 Autor: Ruth López
 2019

Legenda




-  Municipio de Santa María Chiquimula
-  Departamento de Totonicapán
-  Guatemala

Figura 4. Mapa de localización de Santa María Chiquimula, departamento de Totonicapán, Guatemala.

Fuente: Autor, 2019



Figura 5. Ubicación de la parcela experimental, Santa María Chiquimula.

Fuente: Instituto Geográfico Nacional, 2015

5.3.2 Factor a evaluar

Durante el proceso de descomposición de los residuos orgánicos, se registró los días, llevando el control sobre el período en que se degradaba cada uno de los materiales, para determinar el tiempo de cada tratamiento hasta el proceso final de generación de abono orgánico.

- **Tiempo de descomposición:** Se evaluó el tiempo de descomposición de los tratamientos basados en la utilización de productos biológicos y químicos siguientes:

Tabla 6. Descripción y nomenclatura de producto

| Producto | Presentación | Representación |
|----------------------------|--------------------|----------------|
| Microorganismos eficientes | Líquido/ biológico | ME |
| Bioterre | Líquido/ biológico | BT |
| Urea | Granular/ químico | UR |

Fuente: Autor, (2019)

5.3.3 Descripción del experimento

Se utilizó el diseño experimental completamente al azar, con 4 repeticiones, de 4 tratamientos a evaluar, teniendo un total de 16 tratamientos.

Se utilizaron residuos orgánicos provenientes del mercado municipal, papel, cartón, cáscaras de verduras y frutas, así mismo se aplicó un té de compost, extracto obtenido de la fermentación de microorganismos.

5.3.4 Unidades experimentales

Las unidades experimentales consistieron en 1.5 metros de ancho y 2 metros de largo, siendo un área de 3 metros, distanciados a 0.5 metros entre cada tratamiento y 1 metro para cada repetición.

5.3.5 Parcela bruta

La parcela bruta comprendió de 13 metros de largo y un ancho de 9.5 metros, es decir un área de 123.5 metros cuadrados. La distancia de cada tratamiento fue de 0.5 metros entre repetición y 1 metro de calle, obteniéndose 16 tratamientos en el área.

5.3.6 Descripción de los tratamientos

Los materiales utilizados para la evaluación del experimento fueron dos productos industriales y un producto elaborado de forma casera, como lo es microorganismos de montaña; para la obtención de éstos se realizó el proceso de recolección y activación, presentado posteriormente, así mismo se adquirieron los estimulantes; Bioterre procedente de industria BioGanar y distribuido por Profert, aplicación de urea, obtenida en un centro agropecuario.

Se incluyó un tratamiento testigo, al cual no se le aplicó ningún producto, para realizar la comparación del tiempo de descomposición con los otros tratamientos donde fueron aplicados estimulantes y aceleraron el proceso en los residuos orgánicos.

Tabla 7. Descripción de procesos

| No. | Tratamiento | Actividad |
|-----|------------------------------|------------|
| 1 | Microorganismos eficientes | Con volteo |
| 2 | Bioterre | Con volteo |
| 3 | Urea | Con volteo |
| 4 | Testigo (residuos orgánicos) | Con volteo |

Fuente: Autor,(2019)

5.3.7 Actividades antes de la aplicación

5.3.7.1 Preparación y activación de microorganismos eficientes:

Se diluye 1 litro de melaza en 250 mililitros de agua no clorada. Esta mezcla se pone en el recipiente de 20 litros, y allí se añade 1 litro de microorganismos eficientes concentrado. Llenar el recipiente con el agua no clorada. Se cierra el recipiente y se deja fermentar la mezcla durante una semana.

5.3.7.2 Microorganismos eficientes diluidos:

En un recipiente con capacidad de 200 litros, se agrega 1 galón de melaza, un galón de microorganismo eficiente activado, y se llena el resto con agua (no clorada). Este producto puede ser almacenado por un periodo de 15 días.

5.3.8 Manejo ambiental del experimento

5.3.8.1 Preparación del terreno

Se realizó la poda y nivelación del terreno, con la finalidad de mantener un terreno homogéneo, utilizando un paso de rastra para la eliminación de residuos, llevando a cabo esta labor 3 días previos a la instalación de las cajas.

5.3.8.2 Medición del área experimental

Para la medición del área experimental se utilizó una cinta métrica de 50 metros para la toma respectiva de las unidades experimentales, instalando una estaca en cada extremo para indicar el área entre cada tratamiento.

Se delimitó las unidades experimentales con las medidas respectivas, en el área dimensionada para la ubicación de los bloques y el espacio de camino entre cada uno.

5.3.8.3 Elaboración de las cajas para cada tratamiento

Se instalaron cajas para cada tratamiento, elaboradas de madera de 0.5 metros de altura, 1.5 metros de ancho y 2 metros de largo para almacenar los residuos, logrando evitar el esparcimiento en los alrededores, con una separación entre cada tratamiento de 0.5 metros, almacenando los residuos recolectados.

5.3.8.4 Estimación de la dosis de estimulantes en cada repetición

a) Microorganismos eficientes (ME)

Para la elaboración de dicho tratamiento se realizó la recolección de microorganismos en el bosque de pinos, para la obtención de bacterias benéficas en el proceso de multiplicación, utilizando el factor de 10 libras de microorganismos sólido más un galón de melaza y 10 litros de agua.

Se realizó la aplicación de microorganismos líquidos, dos veces durante el proceso de evaluación, la primera aplicación se realizó el día dos de la instalación y la segunda aplicación, cinco días después, esparciendo 100 mililitros de microorganismos a cada 100 libras de residuos orgánicos, distribuidos en los 4 tratamientos. Utilizando 8 litros de microorganismos líquidos durante el proceso de descomposición de los residuos orgánicos.

b) Bioterre

Se utilizó la tabla de comparación recomendada, aplicando 100 mililitros de producto Bioterre diluido en 1.9 litros de agua, para la aspersion total de 2 litros de mezcla en 100 libras de residuos, realizada la conversión se aplicó 400 mililitros de Bioterre a las 400 libras de residuos orgánicos en dos aplicaciones.

c) Urea

Para el tratamiento de urea se realizó la aplicación de 200 gramos, diluidos en 800 mililitros de agua a cada tratamiento, en dos aplicaciones utilizando un aspersor de mano y realizando el respectivo volteo.

d) Testigo

En el testigo se utilizó residuos orgánicos sin aplicación de productos, se añadió para comparar el grado de aceleración. Para realizar la descomposición y el mezclado de los residuos orgánicos, se realizó 2 volteos por semana, en lo que perduró su descomposición y maduración.

5.3.8.5 Recolección de residuos

Se recolectaron los residuos orgánicos de los días con mayor generación de material, los días miércoles, jueves y viernes, ingresando 1600 libras para la respectiva evaluación. Se distribuyeron en parcelas con medidas de 1.5 x 2 metros, en cada tratamiento.

5.3.8.6 Traslado del material al área experimental

El traslado de los residuos orgánicos se realizó utilizando costales, que fueron recolectados en ventas y negocios alrededor del mercado municipal, estos fueron: cáscaras de frutas y verduras, papel, cartón y hojas.

5.3.8.7 Pesado y distribución de los residuos orgánicos

Se distribuye homogéneamente todo el material recolectado, obteniéndose una mezcla con diferentes residuos en cada tratamiento. Se realizó el pesado de 100 libras de residuos orgánicos, para cada repetición, logrando la distribución en los 16 tratamientos.

5.3.8.8 Conducción del experimento

Los productos biológicos fueron aplicados en dos tiempos: al inicio del experimento y a los 5 días, luego de la fase termófila. Los volteos fueron realizados a los 5 días, (antes de la segunda aplicación). Posteriormente los volteos fueron realizados cada semana.

5.3.8.9 Riego en área experimental

La aplicación de los productos biológicos, se roció en 2 tiempos, al iniciar el proceso y cinco días después, con bomba de mochila, mediante la aspersion en todo el material recolectado en cada uno de los tratamientos, mientras que para la urea, se utilizó un aspersor plástico.

5.3.8.10 Muestreo de los residuos orgánicos

Semanalmente se procedió a tomar una muestra de cada parcela donde se realizó el análisis físico, anotando las características de temperatura (C°), humedad (H°), pH, olor y fragmentación del material, se utilizó como escala para evaluar el grado de descomposición de residuos provenientes de la producción de café, que se presenta a continuación.

Tabla 8. Escala de degradación de residuos para tratamientos evaluados.

| No | Estado | Descripción |
|----|---------------------------|--|
| 1 | Semi – fresco | <ul style="list-style-type: none"> - Fragmentos grandes color verde amarillento. - Humedad a 40%. - Estado semiseco. - Olor a hierba. - Aspecto tosco. |
| 2 | Ligeramente descompuesto | <ul style="list-style-type: none"> - Residuos quebradizos con facilidad - Color café oscuro. - Humedad a 40%. - Olor a fermentación fuerte. - Presencia de hongos actinomicetos. - Masas blancas o verdes. |
| 3 | Medianamente descompuesto | <ul style="list-style-type: none"> - Color oscuro. - Color oscuro negruzco. - Olor a fermentación. - Olor agridulce. - Se identifican algunas fibras. |

| | | |
|---|-------------------------|---|
| 4 | Descompuesto | <ul style="list-style-type: none"> - Residuos desmenuzados de color intenso. - No se observan fibras y si se encuentran se deshacen al tacto. |
| 5 | Totalmente descompuesto | <ul style="list-style-type: none"> - No se observa ninguna fibra. - Su aspecto es fino similar al humus. - Tienden a confundirse con frac de suelo al luz directa. |

Fuente: Anacafé, (2009)

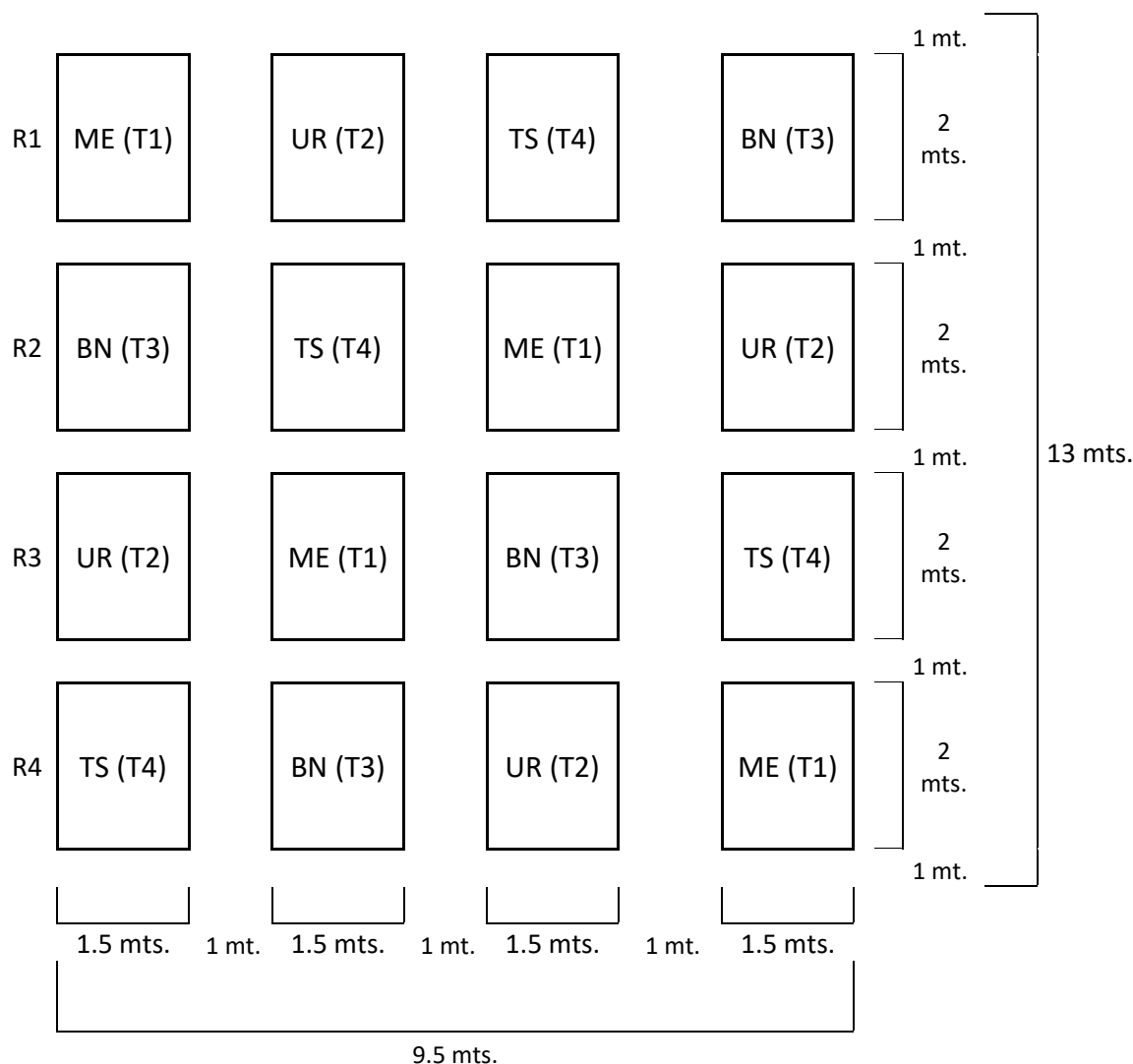
Al final del experimento, se pesó el total de residuos en cada parcela. Se utilizó esta tabla para comparar la textura en los residuos orgánicos, mientras se generaba su descomposición, porque aún no se cuenta con una tabla específica para residuos.

5.4 Diseño experimental

Se utilizó el diseño experimental completamente al azar, con cuatro tratamientos y tres repeticiones y el testigo a evaluar.

Fue determinante los factores a evaluar durante el proceso de descomposición, siendo los siguientes: microorganismos eficientes, Bioterre, urea y testigo.

5.5 Croquis de campo de la parcela experimental para evaluación de los tratamientos



Descripción
ME (T1)= microorganismos eficientes
(tratamiento 1)
UR (T2) = urea
(tratamiento 2)

BN (T3)= Bioterre
(tratamiento 3)
TS (T4)= testigo
(tratamiento 4)

En el croquis anterior se presenta la distribución de los tratamientos utilizando los productos acelerantes; microorganismos eficientes (ME) como tratamiento uno (T1), Urea (UR) como tratamiento dos (T2), Bioterre (BN) como tratamiento tres (T3) y testigo (TS) como tratamiento cuatro (T4) aplicando el diseño experimental completamente al azar para evitar la duplicidad en las parcelas evaluadas.

5.6 Modelo estadístico

$$Y_{ij} = U + T_i + E_{ij}$$

La respuesta (Y_{ij}) es una variable que depende de la media general (U) del i -ésimo tratamiento (T_i) y del error experimental asociado a la i -j-ésima unidad experimental (E_{ij}).

5.7 Variables de respuesta

5.7.1 Período en días de descomposición de los residuos orgánicos

Se registró desde el inicio de la aplicación de los estimulantes, durante y al final del proyecto, los cambios que presentaba cada uno de los tratamientos hasta lograr estabilizar los residuos orgánicos en evaluación.

5.7.2 Peso (libras)

Fue registrado el peso inicial de cada tratamiento y el peso final, luego del proceso de descomposición de los residuos orgánicos, para evaluar el porcentaje de reducción después de la evaluación de los estimulantes.

5.7.3 Temperatura (grados Centígrados C°)

Se efectuó la lectura de temperatura, dos veces al día (8:00 y 15:00 horas) a cada tratamiento, durante los primeros cinco días del proceso de descomposición, luego una vez a la semana. Las lecturas fueron realizadas colocando el termómetro en tres puntos de la parcela a una profundidad media y anotando el promedio.

5.7.4 Potencial de hidrógeno (pH)

Se efectuó la lectura de pH, dos veces al día (8:00 y 15:00 horas), durante los primeros cinco días del proceso de descomposición, luego una vez a la semana. Las lecturas fueron realizadas colocando el pHmetro evaluando el grado de acidez de la materia según los valores que estaban entre cero (el valor más ácido) al 14 (el más básico) en cada tratamiento.

5.7.5 Humedad (H°)

Se efectuó la lectura de humedad utilizando un higrómetro, realizado dos veces al día (8:00 y 15:00 horas) a cada tratamiento, durante los primeros cinco días del proceso de descomposición, luego una vez a la semana, teniendo como variable el porcentaje entre 0 y 100% en cada tratamiento respectivamente.

5.7.6 Grado de descomposición

Las características color, olor y aspecto de los residuos descompuestos fueron utilizadas para determinar el grado de descomposición, según escala mostrada en la tabla 7.

5.7.7 Costo en Quetzales por libras de descomposición

Se determinó el valor total de cada libra de material orgánico, a partir del costo de cada producto aplicado a los tratamientos, siendo los siguientes: microorganismos eficientes Q165, urea con un precio de Q48 y el producto de BioGanar Q285, cada uno de estos resultados fueron divididos por las libras totales producidas al final del proyecto, véase tabla 9.

5.8 Análisis estadístico

Para el análisis de cada una de las variables medidas se realizó el análisis de varianza (ANDEVA), utilizando el paquete estadístico DosBox, Nuevo León Versión 2014, FCA, Universidad Autónoma de Nuevo León, México). Así mismo se realizaron pruebas de medias Tukey utilizando la prueba DMS (diferencias mínimas significativas) al 0.05.

5.9 Análisis económico

Dicho análisis se realizó mediante comparación del costo de los productos utilizados en cada tratamiento más el valor total de los insumos utilizados durante el proceso, cada uno de estos resultados fueron divididos por las libras totales producidas al final del proyecto.

VI. RESULTADOS Y DISCUSIÓN DE RESULTADOS

6.1 Período de descomposición de los residuos orgánicos

En el cuadro siguiente se presenta los resultados del período de descomposición (días) de los residuos orgánicos para cada uno de los tratamientos evaluados.

Tabla 9. Resultados en días de descomposición

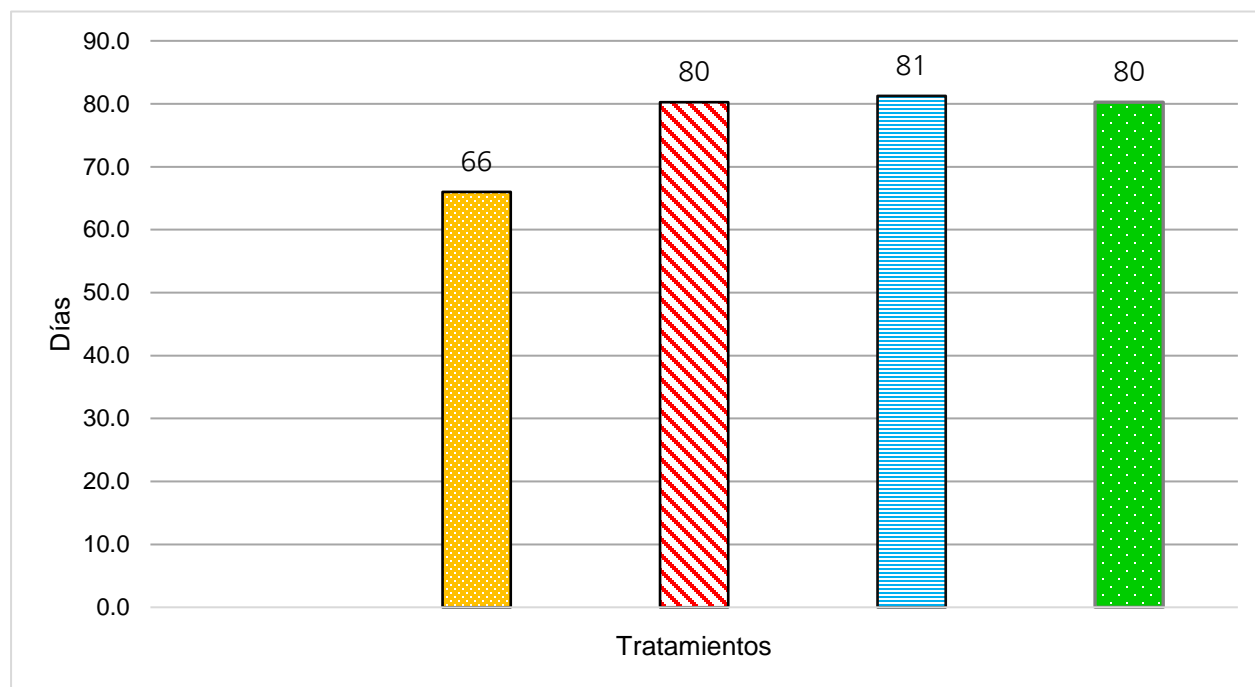
| Tratamiento | Producto | Repetición | | | | Media |
|-------------|----------------------------|------------|----|----|----|-------|
| | | R1 | R2 | R3 | R4 | |
| T1 | Microorganismos Eficientes | 64 | 67 | 65 | 68 | 66 |
| T2 | Urea | 76 | 79 | 82 | 84 | 80 |
| T3 | Bioterre | 81 | 78 | 81 | 85 | 81 |
| T4 | Testigo | 70 | 80 | 84 | 87 | 80 |

Fuente: Autor,(2019)

En el cuadro anterior se logra observar que el tiempo de descomposición de los residuos orgánicos osciló entre 66 y 81 días, con un promedio general de 77 días.

Con los datos obtenidos a través de la variable, indica que el tratamiento con la aplicación de microorganismos de montaña, generó un resultado de 66 días, siendo éste el menor tiempo de descomposición en comparación a los otros productos evaluados.

Gráfica 1. Días de descomposición de los residuos orgánicos, representando el período utilizado para cada tratamiento.



Fuente: Autor, (2019)

La Gráfica 1, representa la media de los días que se ejecutó el proceso de descomposición de los residuos orgánicos, en la fase de cada tratamiento.

Los datos de la Tabla 8 fueron transformados mediante la fórmula \sqrt{x} , para luego llevar a cabo el análisis de varianza, que se presenta en la Tabla 9.

Tabla 10. Análisis de varianza en días de descomposición.

| FV | GL | SC | CM | F | P > F |
|---|----|----------|----------|---------|-------|
| Tratamientos | 3 | 2.17627 | 0.725423 | 11.4834 | 0.001 |
| Error | 12 | 0.758057 | 0.063171 | - | - |
| Total | 15 | 2.934326 | - | - | - |
| C. V. = | | 2.87% | | | |
| GL = Grados de libertad, SC = Suma de cuadrados, CM = Cuadrados medios, F = Valor de F, P>F) = Probabilidad | | | | | |

Fuente: Autor, 2019

Como se observa en la Tabla 10, existe diferencia altamente significativa entre los tratamientos evaluados, debido a que el valor $P > F$, es menor que 0.01.

Esta diferencia altamente significativa indica que al menos uno de los tratamientos produce un menor tiempo de descomposición de los residuos orgánicos.

Por lo que se acepta la hipótesis alternativa planteada para esta investigación.

El coeficiente de variación (C.V.) fué de 2.87%, lo cual indica un adecuado manejo del experimento, siendo aceptable un coeficiente de variación menor o igual al 20%.

Debido a lo anterior se realizó una prueba múltiple de medias de Tukey al 5% de significancia, para determinar el tratamiento que produjo el menor tiempo de descomposición de los residuos orgánicos.

Tabla 11. Prueba media de Tukey al 5% de significancia de la variable días de descomposición

| Tratamientos | Media | |
|-------------------------------|--------|---|
| T1 | 8.1233 | A |
| T4 | 8.9505 | B |
| T2 | 8.9563 | B |
| T3 | 9.0125 | B |
| Nivel de significancia = 0.05 | | |

Fuente: Autor,(2019)

Como se observa en la prueba de medias de Tukey, el tratamiento 1, que corresponde la aplicación de microorganismos con una dosis de 400 mililitros de microorganismos eficientes, fue el tratamiento que produjo el menor tiempo de descomposición de los residuos orgánicos, siendo este tratamiento el mejor de los 4 evaluados.

6.2 Peso final de los residuos orgánicos

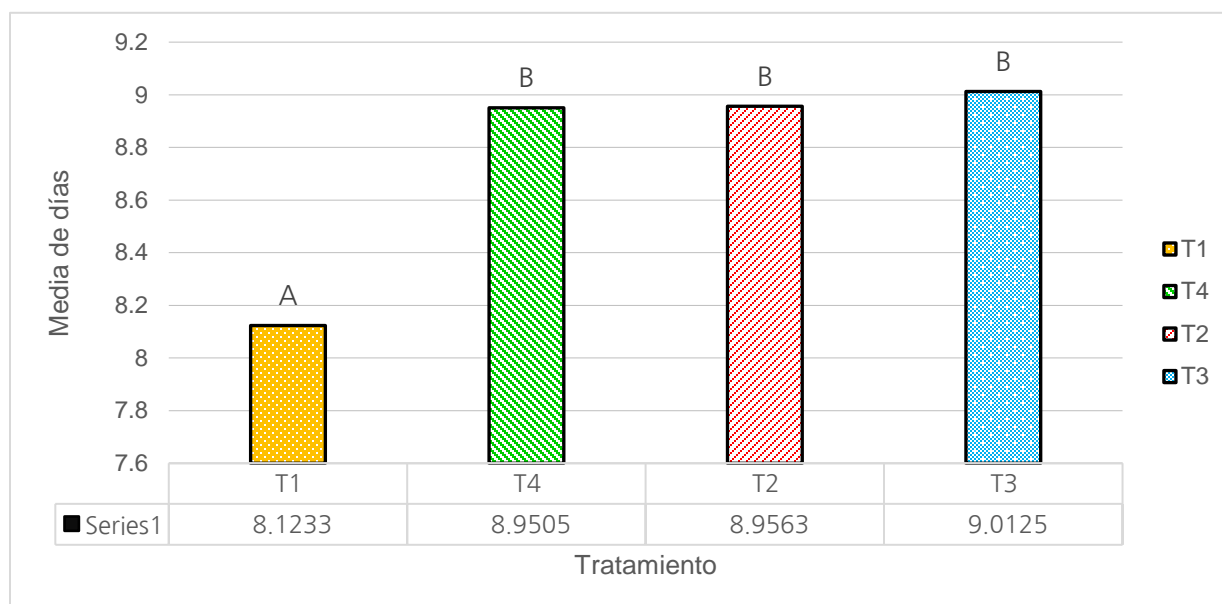
Tabla 12. Datos de variable peso final de residuos orgánicos, representados en libras obtenidas durante el proceso de descomposición.

| Tratamiento | Producto | Repetición | | | | Total (lbs) |
|-------------|----------------------------|------------|----------|----------|----------|-------------|
| | | R1 (lbs) | R2 (lbs) | R3 (lbs) | R4 (lbs) | |
| T1 | Microorganismos Eficientes | 12.300 | 12.400 | 12.500 | 13.500 | 50.7 |
| T2 | Urea | 20.100 | 16.800 | 24.100 | 12.500 | 73.5 |
| T3 | Bioterre | 16.400 | 23.000 | 22.000 | 18.400 | 79.8 |
| T4 | Testigo | 24.300 | 20.200 | 16.200 | 14.000 | 74.7 |

Fuente: Autor,(2019)

Se presenta en el cuadro anterior los resultados obtenidos del peso final de cada uno de los tratamientos evaluados. El tratamiento que generó mayor peso fue de 79.8 libras al ser utilizado el producto de Bioterre y con el uso de microorganismos eficientes con 50.7 libras siendo el que proporcionó menor peso.

Los datos indican que el uso de Bioterre para el proceso de descomposición de residuos orgánicos, puede generar mayor cantidad de materia orgánica, con un costo mayor en comparación al uso de los otros productos.

Gráfica 2. Peso final de los residuos orgánicos por cada tratamiento evaluado.

Fuente: Autor, (2019)

La Gráfica 2 representa la media del peso en libras que resultó de cada uno de los tratamientos evaluados, indicando que el uso de microorganismos eficientes produce menor cantidad de materia orgánica.

Los datos de la Tabla 12 se generaron mediante la fórmula \sqrt{x} , para luego llevar a cabo el análisis de varianza, que se presenta en la Tabla 13.

Tabla 13. Análisis de varianza de la variable peso final de residuos orgánicos

| FV | GL | SC | CM | F | P > F |
|---|----|------------|-----------|--------|-------|
| Tratamientos | 3 | 125.611328 | 41.870441 | 3.0612 | 0.069 |
| Error | 12 | 164.132813 | 13.677734 | - | - |
| Total | 15 | 289.744141 | - | - | - |
| C. V. = 21.23% | | | | | |
| GL = Grados de libertad, SC = Suma de cuadrados, CM = Cuadrados medios, F = Valor de F, P>F) = Probabilidad | | | | | |

Fuente: Autor,(2019)

De acuerdo al análisis de varianza del peso final de residuos orgánicos, no existe diferencia significativa entre los tratamientos evaluados, debido a que el valor $P > F$, es mayor que 0.05. Lo anterior indica que, estadísticamente, todos los estimulantes evaluados producen el mismo peso final de residuos orgánicos.

No es necesario realizar la prueba de medias de Tukey debido a que no existe diferencia significativa entre los tratamientos evaluados

6.3 Temperatura (C°)

Respecto a la temperatura se obtuvo una variación durante las diferentes semanas, con el uso de los microorganismos eficientes se presentó en la primera semana un valor de 30 C°, aumentado en la séptima semana con un valor de 50°C, realizando la comparación de temperaturas con los otros productos la cual indicaron valores menores, esto representa que al utilizar microorganismos y realizando el volteo adecuado puede generarse un ambiente estable para la descomposición de los residuos orgánicos. Véase en anexos la tabla 11 con los datos de temperatura.

VII. CONCLUSIONES

- Al evaluar dos estimulantes biológicos y un químico en la aceleración del proceso de descomposición de la muestra tomada, se estableció que la aplicación de microorganismos de montaña presentó el menor período de tiempo, siendo un total de 66 días en descomponer los residuos orgánicos.
- Se presentó mejores resultados con el uso del producto de Bioterre con respecto a la humedad, aireación y peso, debido que las enzimas al interactuar con la humedad, provocan la aceleración en la descomposición sin afectar el peso para la generación de abono orgánico.
- El período de compostaje para cada uno de los estimulantes fue: Bioterre con 81 días, microorganismos eficientes 66 días y urea con 80 días, siendo el segundo de ellos para efectos técnico y práctico, el mejor resultado del tratamiento que logró el compostaje en menor tiempo.
- Se determinó que al acelerar el proceso de descomposición de los residuos orgánicos, contribuye a reducir la proliferación de plagas de insectos en el municipio.
- En el municipio de Santa María Chiquimula no se cuenta con el servicio de tren de aseo, incidiendo negativamente en la contaminación visual y ambiental, el surgimiento de posibles enfermedades para los pobladores.

VIII. RECOMENDACIONES

- Es importante realizar los análisis de laboratorio para determinar la cantidad de micro y macronutrientes que poseen las muestras si se desea utilizar el abono orgánico para usos agronómicos u otras aplicaciones.
- Es conveniente continuar evaluando los productos, a nivel de campo con mayor cantidad de peso de residuos orgánicos, para respaldar la investigación.
- Se debe mantener una temperatura estable para todos los tratamientos, que promueva la aceleración de los residuos y para la reducción del tiempo, para un mejor control de estabilidad en el producto final.
- Al realizar nuevos estudios para la toma de datos y el volteo respectivo de los residuos orgánicos, se debe contar con medidas de seguridad y los implementos necesarios, porque durante el proceso pueden generarse olores fuertes y desagradables.
- Es conveniente que la municipalidad de Santa María Chiquimula implemente un servicio de tren de aseo para la recolección de residuos y desechos orgánicos.

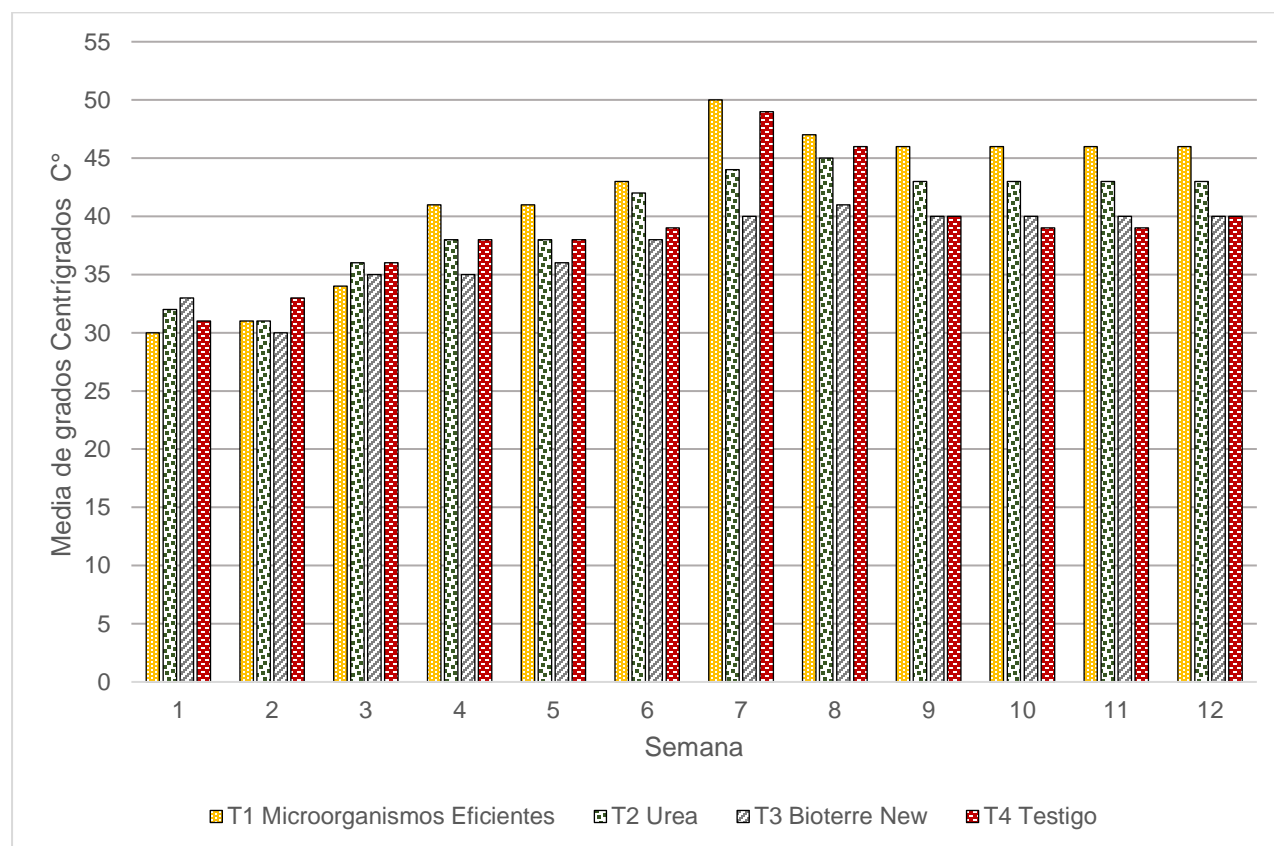
IX. ANEXOS

Tabla 14. Datos de temperatura (grados Centígrados) de los residuos orgánicos

| Tratamiento | Producto | Temperatura promedio por semana | | | | | | | | | | | |
|-------------|----------------------------|---------------------------------|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|
| | | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | 10 | 11 | 12 |
| T1 | Microorganismos Eficientes | 30 | 31 | 34 | 41 | 41 | 43 | 50 | 47 | 46 | 46 | 46 | 46 |
| T2 | Urea | 32 | 31 | 36 | 38 | 38 | 42 | 44 | 45 | 43 | 43 | 43 | 43 |
| T3 | Bioterre | 33 | 30 | 35 | 35 | 36 | 38 | 40 | 41 | 40 | 40 | 40 | 40 |
| T4 | Testigo | 31 | 33 | 36 | 38 | 38 | 39 | 49 | 46 | 40 | 39 | 39 | 40 |

Fuente: Autor, (2019)

Gráfica 3. Representación de resultados de temperatura de los tratamientos evaluados.



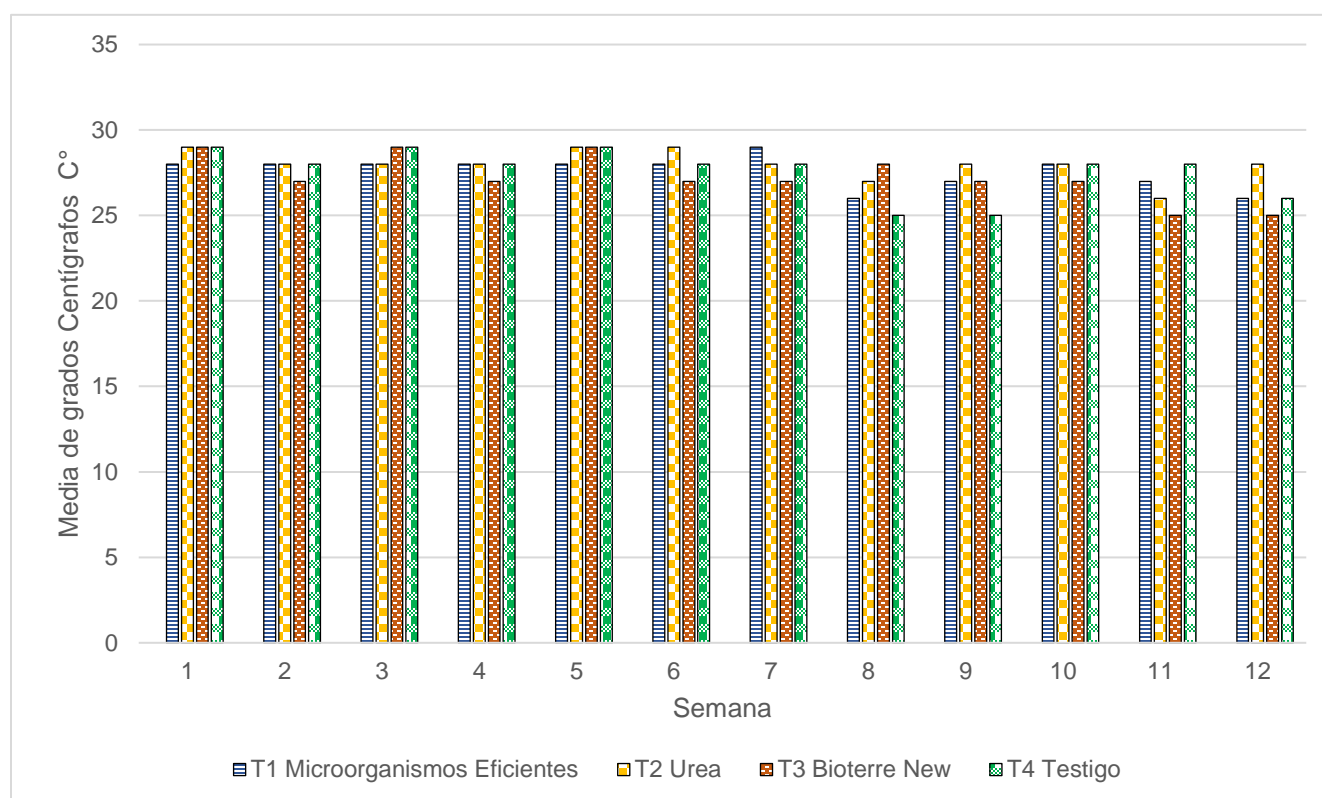
Fuente: Autor, (2019)

Tabla 15. Datos de humedad de residuos orgánicos, con respecto al período en semanas durante la evaluación.

| Tratamiento | Producto | Humedad promedio por semana | | | | | | | | | | | |
|-------------|----------------------------|-----------------------------|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|
| | | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | 10 | 11 | 12 |
| T1 | Microorganismos Eficientes | 28 | 28 | 28 | 28 | 28 | 28 | 29 | 26 | 27 | 28 | 27 | 26 |
| T2 | Urea | 29 | 28 | 28 | 28 | 29 | 29 | 28 | 27 | 28 | 28 | 26 | 28 |
| T3 | Bioterre | 29 | 27 | 29 | 27 | 29 | 27 | 27 | 28 | 27 | 27 | 25 | 25 |
| T4 | Testigo | 29 | 28 | 29 | 28 | 29 | 28 | 28 | 25 | 25 | 28 | 28 | 26 |

Fuente: Autor, (2019)

Gráfica 4. Representación de resultados de humedad con respecto a los tratamientos evaluados.



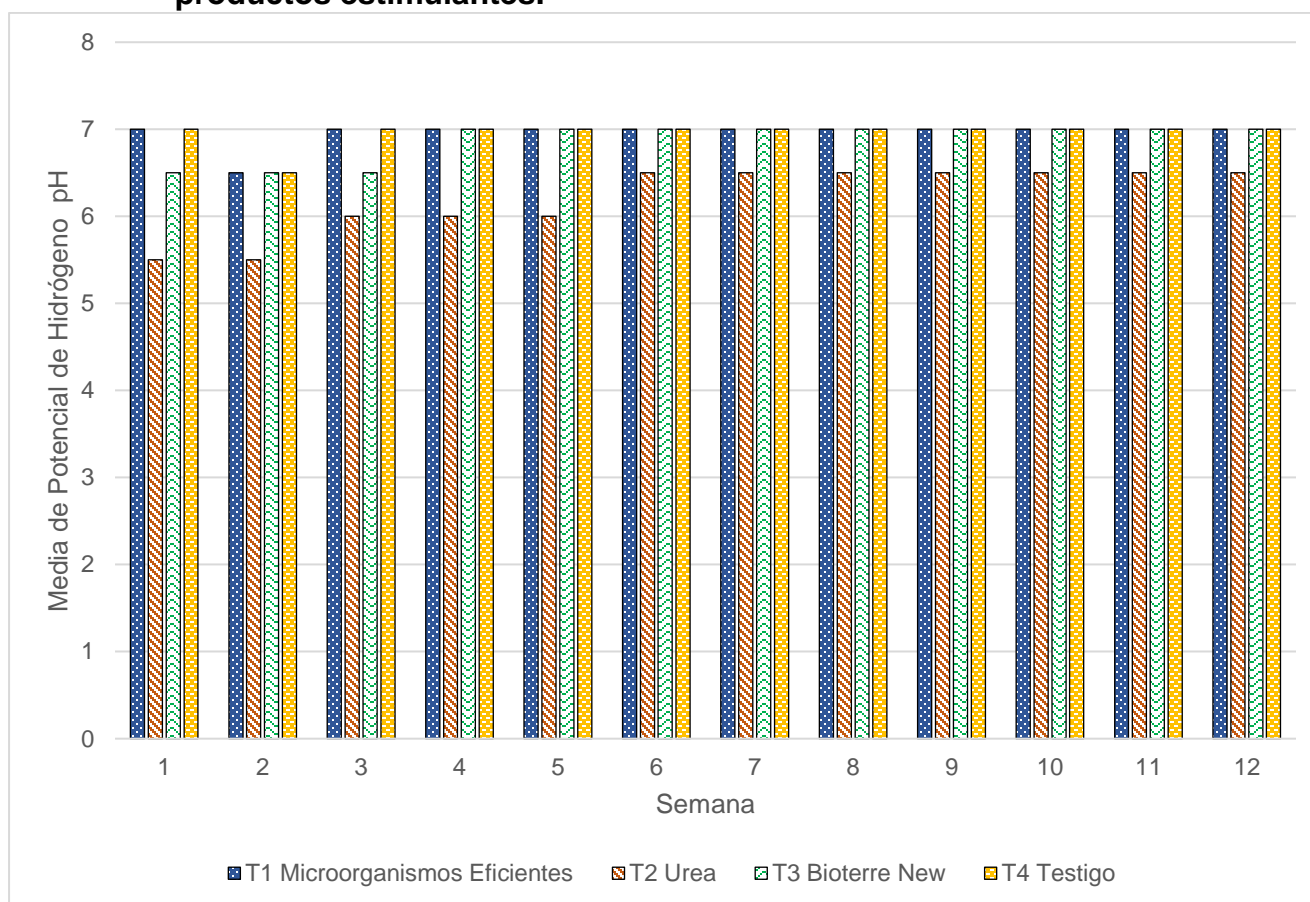
Fuente: Autor, (2019)

Tabla 15. Datos de potencial de hidrógeno de residuos orgánicos evaluados de cada tratamiento.

| Tratamiento | Producto | pH promedio por semana | | | | | | | | | | | |
|-------------|----------------------------|------------------------|-----|-----|---|---|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|
| | | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | 10 | 11 | 12 |
| T1 | Microorganismos Eficientes | 7 | 6.5 | 7 | 7 | 7 | 7 | 7 | 7 | 7 | 7 | 7 | 7 |
| T2 | Urea | 5.5 | 5.5 | 6 | 6 | 6 | 6.5 | 6.5 | 6.5 | 6.5 | 6.5 | 6.5 | 6.5 |
| T3 | Bioterre New | 6.5 | 6.5 | 6.5 | 7 | 7 | 7 | 7 | 7 | 7 | 7 | 7 | 7 |
| T4 | Testigo | 7 | 6.5 | 7 | 7 | 7 | 7 | 7 | 7 | 7 | 7 | 7 | 7 |

Fuente: Autor,(2019)

Gráfica 5. Presentación de gráfica de pH de tratamientos evaluados con productos estimulantes.



Fuente: Autor,(2019)



Figura 6. Limpieza y preparación del terreno ubicado en granja Popol Já.



Figura 7. Medición del área experimental para división de cada repetición.



Figura 8. Elaboración de las cajas para instalación de materiales orgánicos de cada tratamiento.



Figura 9. Medición y llenado de bomba para aplicación de productos estimulantes a cada tratamiento.



Figura 10. Recolección de residuos en las ventas del mercado municipal de Santa María Chiquimula.



Figura 11. Traslado y pesado del material recolectado en el mercado municipal para el área experimental



Figura 12. Distribución de 100 libras de residuos orgánicos en los 16 tratamientos evaluados.



Figura 13. Riego y aplicación de productos estimulantes en cada tratamiento.



Figura 14. Muestreo de los residuos orgánicos para influir en la aceleración del proceso.



Figura 15. Recopilación de datos de campo para generar una base de datos del proceso de descomposición de cada tratamiento.

X. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

1. Acuña, O.; Peña, W.; Serrano, E.; Pocasangre, L.; Rosales, F.; Delgado. & J.; Segura, A. (2006) *Importancia de los microorganismos en la calidad de los suelos*. Obtenido..en:..http://zamo-oti02.zamorano.edu/tesis_infolib/2006/T2330.pdf
2. Carrillo, L. (2003) *Microbiología Agrícola: Microorganismo*. Capitulo1. Obtenido..en:..<http://www.unsa.edu.ar/matbib/micragri/micagricap1.pdf>
3. D'Angelo, Y. González, M. & Rubalcaba, S. (2004) *Microorganismos presentes en el compost: Importancia de su control sanitario*. Obtenido.en:http://www.medioambiente.cu/revistama/7_01.asp
4. Del Pilar, M. (2000). *Estudio sobre la preparación del compost estático y su calidad...* Obtenido...en:<http://www.bibliociencias.cu/gsd/collect/tesis/index/assoc/HASH0144.dir/doc.pdf>
5. Dos Santos, J. Díaz, A. Vázquez, V. González & J. Ledesma, C. (2009). *Uso.de.Abonos.Verdes*. Obtenido..en:..<http://www.mailxmail.com/curso-uso-abonos-verdes>
6. FAO. (*Food and Agriculture Organization*) (2016) *Conservación de los recursos naturales para una agricultura sostenible*. Venezuela. Obtenido en : <http://www.fao.org/conservation-agriculture/en/>

7. Ferreira, S. E; Montenegro, O. A. (1987). *Efectos da aplicación de vinaza y las propiedades químicas, físicas y biológicas*. Boletín Técnico COPERSUCAR (Brasil).
<http://www.bibliociencias.cu/gsd/collect/tesis/index/assoc/doc.pdf>
8. García, J. (1997) *El sistema de la gestión de residuos sólidos urbanos*. Madrid, España. Obtenido en: <https://dialnet.unirioja.es/servlet/libro?codigo=16127>
9. Ganten, D. (2009). *Vida, naturaleza y ciencia*. Madrid, España. Obtenido en :
<https://www.libreriadesnivel.com/libros/vida-naturaleza-y-ciencia/9788430605385/>
10. Gómez, S. Flores, J. Correa, C. y Molina, R. (2009) *Influencia de la aplicación de vinaza en actividad y biomasa microbiana*. Colombia.
Obtenido en: <http://www.scielo.org.co/pdf/acag/v58n1/v58n1a07.pdf>
11. Higa, T. y Parr, J. (2009). *Microorganismos benéficos y efectivos para una agricultura y medio ambiente sostenible*.
Obtenido en:
http://www.fundases.com/userfiles/file/MicroorG_Benef_Efect.pdf
12. Ingham, E. (2003). *The compost Tea brewing Manual*. Oregon, USA .
Obtenida en <http://www.compost.org.co/pdf/acag/v58n1/v58n1a07.pdf>

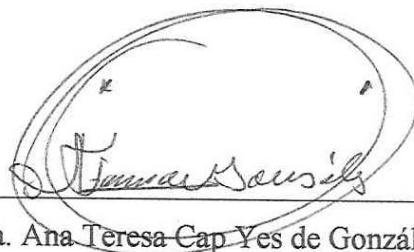
13. Larco, E. (2004). *Desarrollo y evaluación de lixiviados de compost y lombricompost para el manejo de sigatoka negra. (Mycosphaerella fijiensis Morelet) en plátano*. Obtenido en:
http://musalit.inibap.org/pdf/IN070510_es.pdf

14. MTE. (Ministerio para la Transición Ecológica) (2016) . *Sistemas de Tratamiento para residuos orgánicos*. España. Obtenido en :
<https://www.miteco.gob.es/es/calidad-y-evaluacion-ambiental/temas/prevencion-y-gestion-residuos/flujos/domesticos/gestion/sistema-tratamiento/Tratamientos-biologicos-compostaje.aspx>

15. Quintero, R.; Cadena, S.; y Briceño, C. (2006). *Proyectos sobre uso y manejo de vinaza*. Obtenido en:
http://www.cengicana.org/portal/subotrasareas/etanol/presentaciones/proyecto_sInvestigacionSobreUsoManejo%20Vinaza.pdf

16. Rosales, L. (2009). *Evaluación de microorganismos eficientes, para la biodegradación en aguas mieles del beneficiado húmedo de Café (coffea arabiga l.)*, en Cobán, Alta Verapaz. Trabajo de Graduación, Universidad de San Carlos de Guatemala.

Vo.Bo.



Lcda. Ana Teresa Cap Yes de González

Bibliotecaria –CUNSUROC-





CARRERA INGENIERÍA EN GESTIÓN AMBIENTAL LOCAL
CENTRO UNIVERSITARIO DEL SUR OCCIDENTE
UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA



Mazatenango Suchitepéquez, 27 de enero de 2020

MSc Karen Rebeca Pérez Cifuentes
Coordinadora de Carrera
Ingeniería en Gestión Ambiental Local

Respetable Coordinadora:

Muy respetuosamente me dirijo a usted para presentarle el informe final de Investigación Inferencial titulado: **"EVALUACIÓN DE ESTIMULANTES BIOLÓGICOS Y QUÍMICOS PAR ACELERAR EL PROCESO DE DESCOMPOSICIÓN EN RESIDUOS ORGÁNICOS"**, presentada por la estudiante Ruth López García, quien se identifica con número de carné 201044529, y Código Único de identificación 2122744651008, dentro del programa de Ejercicio Profesional Supervisado de la Carrera de Ingeniería en Gestión Ambiental Local – EPSIGAL-

Este documento se presenta para que de acuerdo con el artículo 6, inciso 6.4 del normativo de trabajo de graduación, pueda a través de sus buenos oficios darse el procedimiento para poder ser considerado como Trabajo de Graduación para la obtención del Título de Ingeniería en Gestión Ambiental Local.

Respetuosamente se despide de usted,

Atentamente

"D Y ENSEÑAR A TODOS"

MSc Celso González Morales
Supervisor EPSIGAL
Ingeniería en Gestión Ambiental Local
CUNSUROC

KAREN REBECA PÉREZ CIFUENTES
24/ENERO/2020





Mazatenango 05 febrero 2020

MSc. Karen Rebeca Pérez Cifuentes
Coordinadora de Carrera
Ingeniería en Gestión Ambiental Local
Centro Universitario de Sur Occidente

Estimada MSc. Pérez:

Muy respetuosamente me dirijo a usted, para informarle que de acuerdo al artículo 9 del Normativo de Trabajo de Graduación de la carrera de Ingeniería en Gestión Ambiental Local, he realizado la revisión y observaciones de la Investigación titulada "Evaluación de estimulantes biológicos y químicos, para el proceso de descomposición de residuos orgánicos", presentada por la estudiante: **RUTH LOPEZ GARCIA**, quien se identifica con CUI 2122 74465 1008, y número de carné 201044529.

Por lo tanto, en mi calidad de revisora le informo que después de realizar el proceso que se me fue asignado y verificar la incorporación de las observaciones a la investigación, por parte de la estudiante, procedo a dar visto bueno al documento para que se continúe con el proceso de mérito.

Con altas muestras de estima y respeto.

Atentamente

Inga. Agra. Mirna Lucrecia Vela
Revisora de Trabajo de Graduación
Ingeniería en Gestión Ambiental Local



Mazatenango 24 de marzo de 2021

Lic. Luis Carlos Muñoz López
Director
Centro Universitario del Suroccidente

Respetable Señor Director:

De la manera más atenta, me dirijo a usted para referirle el Informe Final de Trabajo de Graduación titulado "**Evaluación de Estimulantes Biológicos y Químicos para el Proceso de Descomposición de Residuos Orgánicos**", de la estudiante **Ruth López García** carné número **201044529**, de la Carrera de Ingeniería en Gestión Ambiental Local.

Con base en el dictamen favorable emitido y suscrito por el revisor del informe, el cual fue corregido de acuerdo a las recomendaciones indicadas.

Por lo tanto, en mi calidad de Coordinadora de la Carrera, me permito solicitarle el **IMPRÍMASE** respectivo para que el estudiante continúe con el proceso de mérito y pueda presentarlo en el Acto Público de Graduación.

Sin otro particular

Karen Rebeca
MSc. Karen Rebeca Pérez Cifuentes
Coordinadora de Carrera
Ingeniería en Gestión Ambiental Local
CUNSUROC



Mazatenango, Suchitepéquez 23 de febrero 2022

Señores

Honorable Consejo Directivo
Centro Universitario de Suroccidente
Universidad de San Carlos de Guatemala

Respetables Señores

De Conformidad con las normas establecidas en la Ley Orgánica de la Universidad de San Carlos de Guatemala, tengo el honor de someter a su consideración el Trabajo de Graduación titulado: **“Evaluación de estimulantes biológicos y químicos para acelerar el proceso de descomposición de residuos orgánicos”**.

Esperando que el trabajo de graduación merezca su aprobación, me suscribo de ustedes,

Atentamente

A handwritten signature in blue ink, appearing to read 'Ruth López García', enclosed within a blue oval stamp.

Ruth López García
Carné 201044529

Ingeniería en Gestión Ambiental Local



UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA
CENTRO UNIVERSITARIO DEL SUR OCCIDENTE
MAZATENANGO, SUCHITEPEQUEZ
DIRECCIÓN DEL CENTRO UNIVERSITARIO

CUNSUROC/USAC-I-04-2022

DIRECCION DEL CENTRO UNIVERSITARIO DEL SUROCCIDENTE,
Mazatenango, Suchitepéquez, el cuatro de marzo dos mil veintidós_____

Encontrándose agregados al expediente los dictámenes del Asesor y Revisor, se autoriza la impresión del Trabajo de Graduación Titulado: **“EVALUACIÓN DE ESTIMULANTES BIOLÓGICOS Y QUÍMICOS PARA ACELERAR EL PROCESO DE DESCOMPOSICIÓN EN RESIDUOS ORGÁNICOS”**, de la estudiante: **Ruth López García**. Carné 201044529 CUI: 2122 74465 1008 de la Carrera Ingeniería en Gestión Ambiental Local.

“ID Y ENSEÑAD A TODOS”

M.A. Luis Carlos Muñoz López
Director

/gris