



1859

unl



UNIVERSIDAD NACIONAL DE LOJA
FACULTAD AGROPECUARIA Y DE RECURSOS
NATURALES RENOVABLES

CARRERA DE INGENIERÍA AGRONÓMICA

Evaluación de diferentes formulaciones de microorganismos eficientes en el período de descomposición de los desechos orgánicos urbanos en el sector Belén, cantón Loja

Tesis previa a la obtención del título de Ingeniero Agrónomo.

Autor:

Erick Daniel Noboa Rivera

Director:

Ing. Klever Aníbal Chamba Caillagua

Loja – Ecuador

2022

CERTIFICACIÓN DE TESIS

Ing. Klever Aníbal Chamba Caillagua

DIRECTOR DE TESIS

CERTIFICO:

Que he revisado y orientado todo proceso de la elaboración de tesis de grado titulado: **“Evaluación de diferentes formulaciones de microorganismos eficientes en el período de descomposición de los desechos orgánicos urbanos en el sector Belén, cantón Loja”**, de autoría del estudiante Erick Daniel Noboa Rivera previa a la obtención del título de Ingeniero Agrónomo, una vez que el trabajo cumple con todos los requisitos exigidos por la Universidad Nacional de Loja para el efecto, autorizo la presentación para la respectiva sustentación y defensa.

Loja, 31 de enero del 2022



Firmado electrónicamente por:
**KLEVER ANIBAL
CHAMBA CAILLAGUA**

.....
DIRECTOR DE TESIS

AUTORÍA

Yo, Erick Daniel Noboa Rivera, declaro ser el autor del presente trabajo de tesis y eximo expresamente a la Universidad Nacional de Loja y a sus representantes jurídicos de posibles reclamos y acciones legales, por el contenido de la misma.

Adicionalmente acepto y autorizo a la Universidad Nacional de Loja la publicación de mi tesis en el Repositorio Digital Institucional – Biblioteca Virtual.

Firma:  Firmado electrónicamente por:
**ERICK DANIEL
NOBOA RIVERA**

Cédula de identidad: 1105218380

Fecha: 29 de marzo del 2022

Correo electrónico: erick.noboa@unl.edu.ec

Celular: 0981264892

CARTA DE AUTORIZACIÓN DE TESIS POR PARTE DEL AUTOR PARA LA CONSULTA DE PRODUCCIÓN PARCIAL O TOTAL, Y PUBLICACIÓN ELECTRÓNICA DE TEXTO COMPLETO

Yo, Erick Daniel Noboa Rivera, declaro ser el autor de la tesis titulada “**Evaluación de diferentes formulaciones de microorganismos eficientes en el período de descomposición de los desechos orgánicos urbanos en el sector Belén, cantón Loja**” como requisito para optar el título de Ingeniero Agrónomo, autorizo al sistema Bibliotecario de la Universidad Nacional de Loja para que con fines académicos muestre la publicación intelectual de la Universidad, a través de la visibilidad de su contenido de la siguiente manera en el Repositorio Institucional.

Los usuarios pueden consultar el contenido de este trabajo en el RI, en las redes de información del país y del exterior con las cuales tenga convenio la Universidad.

La Universidad Nacional de Loja, no se responsabiliza por el plagio o copia de la tesis que realice un tercero.

Para constancia de esta autorización, en la ciudad de Loja a los veintinueve días del mes de marzo del dos mil veintidós.

Firma:  Firmado electrónicamente por:
**ERICK DANIEL
NOBOA RIVERA**

Autor: Erick Daniel Noboa Rivera

Cédula de identidad: 1105218380

Dirección: Sector Belén, Av. La Habana, Cantón Loja, Provincia de Loja.

Correo electrónico: erick.noboa@unl.edu.ec

Celular: 0981264892

DATOS COMPLEMENTARIOS

Director de Tesis: Ing. Klever Aníbal Chamba Caillagua

Tribunal de grado: PhD. Santiago Cristóbal Vásquez Matute

PhD. Jorge Isaac Armijos Rivera

Mg.Sc. Freddy Eliazar Tinoco Tinoco

Presidente

Vocal

Vocal

DEDICATORIA

El presente trabajo de investigación está dirigido principalmente a Dios y a la Virgen Santísima, por haberme dado la vida y la sabiduría necesaria para culminar esta etapa tan anhelada e importante en mi vida profesional.

A mis padres Geovanny Noboa y Nelly Rivera por su amor, trabajo y sacrificio en todos estos años, gracias a ustedes he logrado llegar hasta aquí y convertirme en lo que soy son los mejores.

A mis hermanos Kelly y Joel por estar siempre presentes, acompañándome y por el apoyo moral, que me brindaron a lo largo de esta etapa de mi vida.

A mi novia Yajaira López por estar día tras día apoyándome en los buenos y malos momentos alentándome a cumplir mis metas y objetivos en unión a mi hijo motivándome a seguir adelante.

A mis abuelitos maternos y paternos, tíos, primos y amigos por apoyarme cuando más lo necesitaba al extenderme su mano en los momentos difíciles.

Erick Daniel Noboa Rivera

AGRADECIMIENTO

A la Universidad Nacional de Loja, por haberme brindado la oportunidad de participar en este proceso de formación; a los Docentes de la Carrera de Ingeniería Agronómica por impartirme sus conocimientos, qué constituyeron el pilar fundamental para alcanzar mis objetivos de aprendizaje.

A mis amados padres, por brindarme todo su apoyo incondicional en el transcurso de mis estudios, por ser el pilar fundamental en el cual me he sostenido para poder seguir adelante, a mis hermanos, quienes me han animado durante esta etapa universitaria y a mi hijo por inspirarme.

De manera muy especial al Ing. Klever Chamba, por haber dirigido y asesorado la consecución del presente trabajo investigativo.

Erick Daniel Noboa Rivera

ÍNDICE

PORTADA	i
CERTIFICACIÓN DE TESIS	ii
AUTORÍA	iii
CARTA DE AUTORIZACIÓN	iv
DEDICATORIA	v
AGRADECIMIENTO	vi
ÍNDICE.....	vii
ÍNDICE DE FIGURAS	xi
ÍNDICE DE TABLAS.....	xii
ÍNDICE DE ANEXOS	xiv
1. TÍTULO.....	1
2. RESUMEN	2
2.1. ABSTRACT	3
3. INTRODUCCIÓN.....	4
Objetivo General.....	6
Objetivos Específicos	6
4. REVISIÓN DE LITERATURA	7
4.1.Residuos Sólidos	7
4.2.Compost	7
4.3.Abono Orgánico.....	7
4.4.Compostaje	8
4.4.1.Fases del compostaje.....	8
4.4.1.1.Fase mesófila inicial	8
4.4.1.2.Fase termófila o de higienización.....	9
4.4.1.3.Fase de enfriamiento o mesófila II	9
4.4.1.4.Fase de maduración.....	9
4.4.2.Sistemas de compostaje.....	10

4.4.2.1.	<i>Sistemas abiertos o pilas de compostaje</i>	10
4.4.2.2.	<i>Sistemas cerrados o reactores</i>	10
4.4.3.	Factores que influyen en el proceso de compostaje	11
4.4.3.1.	<i>Temperatura</i>	11
4.4.3.2.	<i>Humedad</i>	12
4.4.3.3.	<i>pH</i>	12
4.4.3.4.	<i>Oxígeno</i>	12
4.4.3.5.	<i>Tamaño de partícula</i>	13
4.5.	Microorganismos Eficientes (EM).....	13
4.5.1.	Grupos de microorganismos eficientes (EM).....	13
4.6.	Aplicaciones de los Microorganismos Eficientes	15
4.6.1.	En semilleros	15
4.6.2.	En plantas	15
4.6.3.	En suelos.....	15
5.	METODOLOGÍA.....	16
5.1.	Ubicación del Estudio	16
5.2.	Materiales, Equipos e Insumos	17
5.2.1.	Materiales de campo.....	17
5.2.2.	Equipos	17
5.2.3.	Insumos.....	17
5.2.4.	Programas	18
5.3.	Diseño Experimental y Tratamientos.....	18
5.3.1.	Modelo matemático del diseño experimental.....	19
5.3.2.	Descripción de los tratamientos.....	19
5.4.	Metodología General	20
5.4.1.	Ubicación de las composteras.....	20
5.4.2.	Elaboración de las composteras.....	20
5.4.3.	Condiciones de manejo para las unidades experimentales	20
5.4.4.	Recolección de los residuos orgánicos	21
5.4.5.	Apilado de los residuos orgánicos	21

5.4.6.	Picado de los residuos orgánicos	21
5.4.7.	Proporciones de los materiales en las composteras	21
5.4.8.	Activación de los microorganismos eficientes	22
5.4.9.	Inoculación de microorganismos eficientes	22
5.4.10.	Volteo y riego	23
5.5.	Metodología para el Primer Objetivo.	23
5.5.1.	Temperatura.....	23
5.5.2.	Humedad.....	23
5.5.3.	pH	23
5.6.	Metodología para el Segundo Objetivo.	24
5.7.	Análisis Estadístico.....	24
6.	RESULTADOS	25
6.1.	Resultados del Primer Objetivo	25
6.1.1.	Temperatura.....	25
6.1.2.	Humedad.....	27
6.1.3.	pH	29
6.2.	Resultados del Segundo Objetivo.....	31
6.2.1.	Tiempo de degradación de los residuos orgánicos	31
6.3.	Calidad del Compost.....	35
6.3.1.	Peso del compost	35
6.3.2.	Composición nutricional.....	36
7.	DISCUSIÓN	38
7.1.	Temperatura	38
7.2.	Humedad	39
7.3.	pH.....	39
7.4.	Tiempo de Descomposición.....	40
7.5.	Peso del Compost.....	41
7.6.	Composición Nutricional	41
8.	CONCLUSIONES.....	43
9.	RECOMENDACIONES	45

10. BIBLIOGRAFÍA	46
11. ANEXOS	51

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1. Ubicación geográfica del sector Belén parroquia Sucre, cantón Loja.....	16
Figura 2. Esquema del diseño experimental.	18
Figura 3. Comportamiento de la temperatura durante el período de descomposición de los residuos orgánicos.	25
Figura 4. Comportamiento de la humedad durante el período de descomposición de los residuos orgánicos. 27	
Figura 5. Comportamiento del pH durante el período de descomposición de los residuos orgánicos. 29	
Figura 6. Comportamiento de la temperatura y el pH en función del tiempo para el Testigo.....	31
Figura 7. Comportamiento de la temperatura y el pH en función del tiempo para Microcompostic (T1).....	32
Figura 8. Comportamiento de la temperatura y el pH en función del tiempo para Trichotic (T2). 33	
Figura 9. Comportamiento de la temperatura y el pH en función del tiempo para Microspore(T3).....	34
Figura 10. Análisis químico de la composición nutricional del compost N-P-K.....	60
Figura 11. Análisis químico de materia orgánica.....	61
Figura 12. Instalación de composteras	62
Figura 13. Recolección de residuos orgánicos	62
Figura 14. Picado manual de los residuos orgánicos.....	62
Figura 15. Formulaciones de microorganismos eficientes.....	62
Figura 16. Agregado de tierra de jardín.....	63
Figura 17. Agregado de la materia orgánica vegetal	63
Figura 18. Agregado de la materia seca (hojarasca de aguacate)	63
Figura 19. Activación de los microorganismos eficientes	63
Figura 20. Inoculación de las diferentes formulaciones de EM.	64
Figura 21. Volteos semanales para el control de los parámetros físicos.....	64
Figura 22. Medición de los parámetros físicos: temperatura, humedad y pH.....	64
Figura 23. Pesaje del material compostado	64
Figura 24. Compost final	64
Figura 25. Etiquetado para el envío al laboratorio de suelos (INIAP).	64

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1. Tratamientos del diseño experimental.....	20
Tabla 2. Cantidad de cada material que conforman las composteras.....	22
Tabla 3. ANOVA de las temperaturas sometidas a contrastes ortogonales con el 95 % de significación.	26
Tabla 4. Medias de temperaturas en las diferentes fases de compostaje.....	26
Tabla 5. ANOVA de porcentajes de humedad sometidos a contrastes ortogonales con el 95 % de significación.....	28
Tabla 6. Medias de Humedad en las diferentes fases de compostaje.....	28
Tabla 7. ANOVA de valores de pH sometidos a contrastes ortogonales con el 95 % de significación.	30
Tabla 8. Medias de pH durante el proceso de compostaje.....	30
Tabla 9. Peso del compost de cada tratamiento.....	35
Tabla 10. ANOVA de los pesos sometidos a contrastes ortogonales con el 95 % de significación. 36	
Tabla 11. Medias de pesos del compost obtenido.....	36
Tabla 12. Composición nutricional en comparación a la Norma Técnica Colombiana 5167 (NTC) y la Norma Técnica Chilena 2880 (NCH) para un compost de calidad.	37
Tabla 13. Datos de Temperatura durante el proceso de compostaje.....	51
Tabla 14. Datos de Humedad durante el proceso de compostaje.....	52
Tabla 15. Datos de pH durante el proceso de compostaje.....	53
Tabla 16. Datos de la temperatura ambiental de AccuWeather.....	54
Tabla 17. Análisis de varianza del parámetro físico de temperatura.....	55
Tabla 18. Contrastes ortogonales para la temperatura entre tratamientos.....	55
Tabla 19. Medias de temperatura °C mediante el Test de Tukey al 95 % de significancia.	55
Tabla 20. Análisis de varianza para el parámetro físico de Humedad.....	56
Tabla 21. Contrastes ortogonales para la Humedad % entre tratamientos.....	56
Tabla 22. Medias de Humedad % mediante el Test de Tukey al 95 % de significancia.....	56
Tabla 23. Análisis de varianza para el parámetro físico de pH.....	57
Tabla 24. Contrastes ortogonales para el pH entre tratamientos.....	57
Tabla 25. Medias de pH mediante el Test de Tukey al 95 % de significancia.....	57
Tabla 26. Análisis de varianza de los pesos de compost obtenido.....	58

Tabla 27. Contrastes ortogonales para el compost obtenido entre tratamientos.	58
Tabla 28. Medias de compost obtenido kg mediante el Test de Tukey al 95 % de significancia.	58
Tabla 29. Pesos promedio del compost	59

ÍNDICE DE ANEXOS

Anexo 1. Tablas de recolección de datos	51
Anexo 2. Tablas de ANOVA, contrastes ortogonales y Test de Tukey al 95 %.....	55
Anexo 3. Resumen de los pesos promedios del material compostado.....	59
Anexo 4. Análisis químico del compost	60
Anexo 5. Panel fotográfico	62

**EVALUACIÓN DE DIFERENTES FORMULACIONES DE
MICROORGANISMOS EFICIENTES EN EL PERÍODO DE DESCOMPOSICIÓN
DE LOS DESECHOS ORGÁNICOS URBANOS EN EL SECTOR BELÉN,
CANTÓN LOJA**

2. RESUMEN

El presente trabajo de investigación se llevó cabo en el barrio Belén de la parroquia Sucre al sur-oeste de la hoya de Loja, con una altitud de 2 060 msnm. El objetivo fue evaluar la influencia de los microorganismos eficientes (EM) en la variación de los factores: Temperatura, Humedad y pH para determinar el tiempo y grado de descomposición de los residuos orgánicos urbanos. Se empleó un diseño completamente al azar (DCA) con cuatro tratamientos (T0: Testigo; T1 Microcompostic; T2 Trichotic; T3 Microspore) y cuatro repeticiones, instalándose composteras a base de madera con un volumen de 0.15 m³ y conformadas por 31 kg de residuos, bajo una dosificación de 50 cc/ l de agua de EM. Para el análisis estadístico de datos, se utilizó el software Infostat empleando análisis de varianza (ANOVA), y para evaluar las diferencias estadísticas se utilizó contrastes ortogonales mediante el Test de Tukey al 95 %, finalizando con la toma de muestras para el respectivo análisis químico del compost en el laboratorio de suelos del INIAP.

Al término del proceso de compostaje la Temperatura presentó diferencias estadísticas entre el testigo y las formulaciones de microorganismos eficientes ($p < 0,001$), siendo el T1 y T3 quienes alcanzaron valores máximos de 60,9 °C y 61,7 °C, en comparación al T0 cuyo valor superior fue de 32,3 °C. La Humedad mostró un promedio similar de T0: 51,39 %, T1: 52,18 %, T2: 52,93 % y T3: 53,05 %. El pH por su parte, mostró una relación inversa ante el aumento de la temperatura, destacándose el T1 y T3 con valores ligeramente ácidos de 5,9 y 5,8. Microcompostic degradó en menor tiempo los residuos orgánicos (12 semanas), al igual que presentó el mejor contenido nutricional N:1,86 %, P:1,49 %, K: 1,10 %, M.O: 31,32 % y obtuvo el mayor promedio de material compostado 9,3 kg, comparado con normas internacionales de calidad de compost NTC 5167 y NCH 2880 cumple con los límites máximos permisibles.

PALABRAS CLAVE

Calidad, compostaje, compost, microorganismos eficientes, residuos orgánicos.

2.1. ABSTRACT

The present research work was carried out in the Belén neighborhood of the Sucre parish to the south-west of the Hoya de Loja, with an altitude of 2 060 meters above sea level. The objective was to evaluate the influence of efficient microorganisms (EM) on the variation of factors: Temperature, Humidity and pH to determine the time and degree of decomposition of urban organic waste. A completely random design (DCA) with four treatments was used (T0: Control; T1 Microcompostic; T2 Trichotic; T3 Microspore) and four repetitions, installing wood-based compost bins with a volume of 0.15 m³ and consisting of 31 kg of waste, under a dosage of 50 cc / l of EM water. For the statistical analysis of data, the Infostat software was used using analysis of variance (ANOVA), and to evaluate the statistical differences, orthogonal contrasts were used using the 95 % Tukey Test, ending with the taking of samples for the respective chemical analysis of the compost in the Soil Laboratory of INIAP.

At the end of the composting process, the Temperature presented statistical differences between the control and the formulations of efficient microorganisms ($p < 0,001$), with T1 and T3 reaching maximum values of 60,9 °C and 61,7 °C, compared to T0 whose upper value was 32,3 °C. Humidity showed a similar average of T0: 51,39 %, T1: 52,18 %, T2: 52,93% and T3: 53,05%. The pH, on the other hand, showed an inverse relationship to the increase in temperature, highlighting the T1 and T3 with slightly acidic values of 5,9 and 5,8. Microcompostic degraded organic waste in the shortest time (12 weeks), as well as presented the best nutritional content N: 1,86 %, P: 1,49 %, K: 1,10 %, M.O: 31,32 % and obtained the highest average of composted material 9,3 kg, compared to international compost quality standards NTC 5167 and NCH 2880 meets the maximum permissible limits.

KEYWORDS

Quality, composting, composting, efficient microorganisms, organic waste.

3. INTRODUCCIÓN

La población mundial ha crecido lentamente a lo largo de la historia, pero en los últimos doscientos años se ha incrementado notoriamente. Según el último informe emitido por la organización de naciones unidas, se proyecta un aumento de 8 500 millones de personas para el año 2 030 (10 % de aumento), 9 700 millones de habitantes para el año 2 050 (26 % de aumento) y 10 900 millones para el año 2 100 (42 % de aumento), frente a los 7 700 millones actuales (ONU, 2019).

Con el aumento demográfico, unido a los cambios en el estilo de vida y patrones de consumo en las ciudades, los residuos orgánicos se incrementan y su manejo se vuelve cada vez más complejo. La inadecuada gestión es uno de los principales problemas relacionados con la contaminación ambiental, debido a que no se da un control y técnica en específico para tratarlos, generando una gran cantidad de lixiviados producto de la degradación de la materia orgánica mezclada con aguas pluviales, produciendo malos olores que tienen un fuerte en: la atmósfera, el suelo, las aguas superficiales y subterráneas, pero sobre todo para la salud humana, causando enfermedades (De la Torre, 2007).

En Ecuador, de los 221 Gobiernos Autónomos Descentralizados Municipales, diariamente se generan 14 000 t de desechos, lo que representa más de cinco millones de t al año, de los cuales el 56,2 % corresponde a residuos orgánicos y el 43,8 % a inorgánicos. De estas t de residuos que son generadas algunas se acumulan en las calles y otras se organizan en contenedores especiales, a espera de que el sistema de salubridad gestione de manera apropiada su destino final (Ministerio del Ambiente, 2020).

En la actualidad del cantón Loja, diariamente se generan 160 t de basura de las cuales el 60 % son orgánicas y el 40 % son inorgánicas, clasificados por el Centro de Gestión Integral de Residuos Sólidos que administra el Municipio por cerca de 20 años. Al contar con terreno disponible la administración pretende tecnificar los procesos de reciclaje y lombricultura, con el fin de reducir la cantidad de residuos que ingresan al relleno sanitario, por el cual un promedio de 300 y 500 sacos de abono orgánico se produce semanalmente y es comercializado en tres puntos de la ciudad (El Telégrafo, 2016).

Una alternativa para el tratamiento de los residuos orgánicos es el compostaje, la acción de los microorganismos es alterar la estructura molecular de los compuestos orgánicos degradándolos. Además, contribuyen a restablecer el equilibrio biológico del suelo, muchas veces deteriorado por las malas prácticas de manejo agronómico, lo cual incrementa la disponibilidad de nutrientes para las plantas, logrando una producción agrícola eficiente y de calidad (Puerta, 2004).

Los microorganismos eficientes agrupan una gran diversidad microbiana entre las cuales resaltan: bacterias ácido lácticas, bacterias fotosintéticas, levaduras, actinomicetos y hongos filamentosos con capacidad fermentativa, que bajo condiciones controladas se ha demostrado que mejoran la estructura física de los suelos, incrementan la fertilidad química de macro y micro nutrientes, suprimen a varios agentes fitopatógenos causantes de enfermedades en numerosos cultivos y reducen los tiempos de maduración de abonos orgánicos, teniendo gran aceptación en el campo agrícola (Morocho y Mora, 2019).

Por tal situación, es importante el estudio de los EM, con el propósito de reducir el tiempo de descomposición de los residuos orgánicos y la obtención de un compost de calidad, para solucionar el problema de la contaminación ambiental mediante la implementación de este fertilizante orgánico a los cultivos y el mejoramiento de los suelos.

A fin de cumplir con el propósito de esta investigación se plantearon los siguientes objetivos:

Objetivo General

- Evaluar la influencia de los microorganismos eficientes en el proceso de aceleración y descomposición de los desechos orgánicos urbanos.

Objetivos Específicos

- Analizar la variación de los factores: temperatura, humedad y pH, en el proceso de descomposición de residuos orgánicos urbanos.
- Determinar el tiempo y grado de descomposición de los desechos orgánicos urbanos efectuados por los microorganismos eficientes.

4. REVISIÓN DE LITERATURA

4.1. Residuos Sólidos

Es aquel material u objeto que se encuentra en estado sólido generados a partir de una actividad humana proveniente del uso o consumo de un producto en distintas actividades: comerciales, domésticas, institucionales, agrícolas y ganaderas. Útiles para realizar técnicas de reutilización, transformación o aprovechamiento en la obtención de un nuevo bien o servicio (Lara, 2018).

4.2. Compost

Asobiocom (2018) lo define como el producto final que resulta del proceso de compostaje, originario principalmente de la degradación de los residuos orgánicos vegetales y animales transformados por la actividad microbiológica, en una sustancia que mejora la estructura y la estabilidad del suelo.

El compost tiene una particularidad especial respecto a los fertilizantes tradicionales ya que, al ser el resultado de la humificación de la materia orgánica, no contiene microorganismos patógenos favoreciendo el crecimiento de las plantas al presentar valores apreciables de macronutrientes como: nitrógeno, fósforo y potasio en la formación de humus en el suelo (Uribe, 2003).

4.3. Abono Orgánico

Es el material resultante de la descomposición natural de la materia orgánica por acción de los microorganismos presentes en el medio, transformándolos en otros benéficos que aportan nutrimentos al suelo y a las plantas que crecen en él (Libreros, 2012).

En general, los abonos orgánicos se clasifican en dos tipos:

- **Abonos orgánicos sólidos:** compost, humus de lombriz, bocashi, abonos verdes.
- **Abonos orgánicos líquidos:** biol, té de humus, té de compost.

4.4. 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 (Cerrato *et al.*, 2007).

Los residuos orgánicos son desintegrados por: bacterias, hongos, levaduras, entre otros, siendo su primordial fuente de alimento la materia orgánica. Además, el proceso de compostaje reduce considerablemente los agentes patógenos, los cuales pueden ser dañinos para los seres humanos como para los animales y vegetales.

4.4.1. Fases del compostaje

A través de la observación de la temperatura generada durante el proceso, se puede reconocer 4 fases principales: mesófila, termófila, mesófila II y maduración.

4.4.1.1. Fase mesófila inicial

En esta etapa existe la presencia de bacterias del género: *Bacillus*, *Lactobacillus* y *Pseudomonas* entre otros. Además de hongos como: *Aspergillus*, *Backusella*, *Cladosporium*, *Fusarium*, *Mucor*, *Rhizopus* y *Trichoderma*. Debido a la actividad metabólica que realizan, hay un aumento de la temperatura hasta los 45 °C, conforme se eleva el pH empieza

acidificarse desde un valor neutro hasta 5, a causa de la descomposición de lípidos y glúcidos en ácidos pirúvicos y de proteínas en aminoácidos. (Cajahuanca, 2016).

4.4.1.2. Fase termófila o de higienización

Se produce un aumento progresivo de la temperatura del material a compostar llegando a obtener valores de hasta 75 °C, desaparecen los microorganismos mesofílicos, y aparecen las bacterias termofílicas: *Bacillus stearothermophilus*, *Bacillus subtilis*, *Bacillus schlegelii*, *Clostridium sp* y *Thermus thermophilus*. La actividad microbiana se incrementa entre los 50 °C y 60 °C generando calor y la transformación del nitrógeno en amoníaco, debido a la liberación de vapor de agua que favorece a la eliminación de agentes patógenos humanos como: *Escherichia coli*, *Salmonella sp*, *Clostridium sp*, además del pH que se hace alcalino (Román *et al.*, 2013).

4.4.1.3. Fase de enfriamiento o mesófila II

La actividad de los microorganismos termofílicos disminuye al igual que la temperatura, logrando adquirir la del medio ambiente y provocando la muerte de estos, reaparecen los microorganismos mesofílicos oscilando temperaturas de 40 °C y 45 °C, que continúan con el proceso de compostaje (Lara, 2018).

4.4.1.4. Fase de maduración

En esta etapa la temperatura y el pH se estabilizan, el color del producto final es negro o marrón oscuro con olor a tierra de bosque, siendo nula la visualización de las partículas de los residuos iniciales. Este período dura meses a temperatura ambiente, desarrollándose reacciones secundarias de condensación y polimerización de compuestos carbonados para la elaboración de ácidos húmicos y fúlvicos (Román *et al.*, 2013).

4.4.2. Sistemas de compostaje

Actualmente se han diseñado distintas formas de realizar el compostaje, algunas de ellas difieren significativamente unas de otras y tienen como objetivo optimizar las condiciones adecuadas para que el proceso de transformación de la materia orgánica se desarrolle bajo condiciones controladas, alcanzando un producto final de alta calidad (Gea, 2001).

Se pueden distinguir dos tipos de sistemas: abiertos y cerrados.

4.4.2.1. *Sistemas abiertos o pilas de compostaje*

Son sistemas que se basan en la formación de pilas, los materiales a compostar se apilan sin que se compriman mucho, facilitando el volteo a través de un sistema de distribución de aire.

Dentro de los sistemas abiertos se distinguen:

Pilas estáticas (sin volteos): En este sistema no se realizan volteos en las pilas, sino que se suministra la introducción de aire a presión (aireación forzada o método de Beltsville) y mediante aspiración de aire (aireación inducida o método de Rutgers).

Pilas dinámicas (con volteos): En este sistema los materiales se colocan en montones o en grandes filas paralelas, ya que es la altura y el ancho las que definen la formación de éstas (Barrena, 2005).

4.4.2.2. *Sistemas cerrados o reactores*

Son sistemas que tienen costos de instalación superiores al de las pilas, pero tienen la ventaja de controlar la Temperatura y Humedad para la aceleración del proceso, además necesita de menos espacio para trabajar con el mismo volumen los residuos a compostar (Gea, 2001).

Dentro de los sistemas cerrados se distinguen:

Contenedores o reactores verticales: Miden entre 4 m y 9 m de alto, en este sistema el proceso es difícil de controlar, dado que resulta complicado mantener uniforme la proporción de oxígeno para la masa del material a degradar.

Tambores o reactores horizontales: Son cilindros de acero, su principal ventaja es que se logra separar la materia orgánica de los materiales inertes.

Túneles de compostaje: Este sistema mantiene el material aislado del exterior, dando lugar a que no intervenga la temperatura del ambiente, ni emisiones líquidas o gaseosas (Barrios, y Fernández, 2004).

4.4.3. Factores que influyen en el proceso de compostaje

Al elaborar un compost, entran en juego muchos factores relacionados con la estructura y el grado de descomposición:

4.4.3.1. Temperatura

Es un parámetro importante, ya que está relacionado directamente con las fases del compostaje biológico mientras se produce la degradación de la materia orgánica. La temperatura de los materiales a compostar, sufren alteraciones durante las diferentes etapas del proceso, ya que están continuamente interactuando con los diferentes grupos de microorganismos. Cuando se alcanza entre los 60 °C y 70 °C, se puede garantizar la eliminación de semillas de malezas y muchos agentes patógenos que pueden estar presentes (Román *et al.*, 2013).

4.4.3.2. Humedad

Las actividades microbianas están relacionadas con el crecimiento y división celular, por tanto, requieren condiciones óptimas para el transporte de sustancias y nutrientes utilizados para su alimentación.

Durante la evolución del compostaje es necesario que los niveles óptimos se encuentren entre el 40 % al 60 %. Si la humedad es mayor, el agua dominará todos los poros y por tanto se producirá un proceso anaerobio dando lugar a la putrefacción de la materia orgánica. De lo contrario si la humedad es baja la actividad microbiana disminuye y el proceso es más lento (InfoAgro, 2017).

4.4.3.3. pH

El pH tiene una influencia directa en el compostaje debido a su acción sobre la dinámica de los procesos microbianos. En general, los hongos toleran un margen ligeramente ácido (entre 6,1 y 6,9), debido a que los productos iniciales de la descomposición son ácidos orgánicos. Al cabo de unos días, el potencial de hidrógeno se vuelve ligeramente alcalino debido a la liberación de amoníaco durante la transformación de las proteínas por parte de las bacterias, las cuales prefieren un medio casi neutro (entre 6,9 y 7,5). El pH recomendado para un sistema de compostaje debe estar en un rango de 6,5 y 8 (Bueno 2003).

4.4.3.4. Oxígeno

El oxígeno durante el proceso está en relación directa con la actividad microbiológica, por lo que la aireación debe incrementarse cuando la temperatura aumenta. Las mayores necesidades de oxígeno se generan cuando la temperatura varía entre 28 °C y 55 °C, esto con la finalidad de evitar la aparición de malos olores y favorezca la obtención del compost en menor tiempo (Soto, 2003).

4.4.3.5. *Tamaño de partícula*

El tamaño de las partículas que componen la masa a compostar es una importante variable para la optimización del proceso, ya que cuanto mayor sea la superficie expuesta al ataque microbiano, más rápida y completa será la reacción. Por lo tanto, es recomendable picar y triturar en dimensiones de entre 2 cm a 5 cm (Bueno, 2003).

4.5. Microorganismos Eficientes (EM)

Los microorganismos eficientes o EM (Effective Microorganisms) son un conjunto de microorganismos benéficos que trabajan en asociación y aceleran el proceso de compostaje.

Se encuentran conformados principalmente por tres diferentes tipos de organismos: levaduras, bacterias ácido lácticas, bacterias fotosintéticas, actinomicetos y hongos filamentosos con capacidad fermentativa las cuales desarrollan una sinergia metabólica que permite su aplicación en diferentes campos agrícolas (Morocho y Mora, 2019).

4.5.1. Grupos de microorganismos eficientes (EM)

4.5.1.1. Bacterias fotosintéticas (Rhodospseudomonas sp.)

Son un grupo de microorganismos independientes y autosuficientes, utilizan como fuente de carbono moléculas orgánicas producidas por los exudados de las raíces de las plantas y como fuente de energía utilizan la luz solar y la energía calórica del suelo (Su *et al.*, 2017).

4.5.1.2. Bacterias ácido lácticas (*Lactobacillus sp.*)

Biosca (2001), manifiesta que estas bacterias producen ácido láctico a partir de azúcares y carbohidratos sintetizados por bacterias fototróficas y levaduras. Este ácido suprime microorganismos patógenos e incrementa la rápida descomposición de materia orgánica aumentando la fragmentación de la lignina y la celulosa, sin causar influencias negativas en el proceso.

4.5.1.3. Levaduras

Son un grupo microbiano con estructura unicelular, capaces de descomponer materia orgánica a través de la fermentación. Tienen la facultad de sintetizar sustancias antimicrobiales, en compuestos útiles para el crecimiento de las plantas, partiendo de aminoácidos y azúcares secretados por las bacterias fotosintéticas (Fayemi y Ojokoh, 2014).

4.5.1.4. Actinomicetos o actinobacterias

Son un grupo de estructura intermedia, bacteria y hongo, se encuentran en el suelo y su función ecológica es la descomposición de la materia orgánica, reciclando las reservas de nutrientes e implantándolas en el humus. A partir de azúcares y aminoácidos que producen las bacterias fotosintéticas y la materia orgánica, los actinomicetos generan sustancias antimicrobianas que pueden eliminar microorganismos patógenos (Vurukonda *et al.*, 2018).

4.5.1.5. Hongos de fermentación

Los hongos de fermentación, como *Aspergillus* y *Penicilium*, son capaces de descomponer rápidamente la materia orgánica, produciendo ésteres, alcohol y sustancias antimicrobianas generando la desodorización evitando la aparición de gusanos e insectos (Yang *et al.*, 2017).

4.6. Aplicaciones de los Microorganismos Eficientes

(Morocho y Mora 2019), mencionan que el uso de los microorganismos como inoculantes microbianos, restablecen el equilibrio microbiológico del suelo, mejoran las condiciones fisicoquímicas y conservan los recursos naturales para generar una agricultura sostenible, trayendo los siguientes beneficios:

4.6.1. En semilleros

- Aumentan la velocidad y el porcentaje de germinación de las semillas, por su efecto hormonal.
- Incrementan el vigor y el crecimiento del tallo y raíces.

4.6.2. En plantas

- Generan un mecanismo de supresión de insectos y enfermedades.
- Incrementan el crecimiento, calidad y productividad de los cultivos.
- Aumentan la capacidad fotosintética por medio de un mayor desarrollo foliar.

4.6.3. En suelos

- Mejoran la estructura del suelo, reduciendo la compactación, y mejoran la infiltración del agua disminuyendo la frecuencia de riego permitiendo absorber 24 veces más el agua de lluvia, evitando la erosión por el arrastre de las partículas.
- Mejoran la disponibilidad de nutrientes en el suelo, separando las moléculas que los mantienen fijos, dejando elementos disgregados en forma simple facilitando la absorción por el sistema radical.
- Suprimen y controlan las poblaciones de microorganismos patógenos que se desarrollan en el suelo, incrementando su biodiversidad, generando las condiciones necesarias para que los microorganismos benéficos se reproduzcan.

5. MATERIALES Y MÉTODOS

5.1. Ubicación del Estudio

El presente trabajo de investigación se llevó cabo en el barrio Belén de la parroquia Sucre al sur-oeste de la hoya de Loja, detallada en la Figura 1. El sitio de estudio presenta una altitud de 2 060 msnm y coordenadas geográficas: Latitud $3^{\circ}56'15''S$ y Longitud $79^{\circ}12'51.5''O$.

Posee un clima temperado frío con una temperatura media de $15,3^{\circ}C$, humedad relativa del 82 %, pluviosidad de 1 453 mm/año; velocidad del viento de 0,4 m/s y según Holdridge (1982) pertenece a la zona de vida bosque seco montano-bajo (bs-MB).

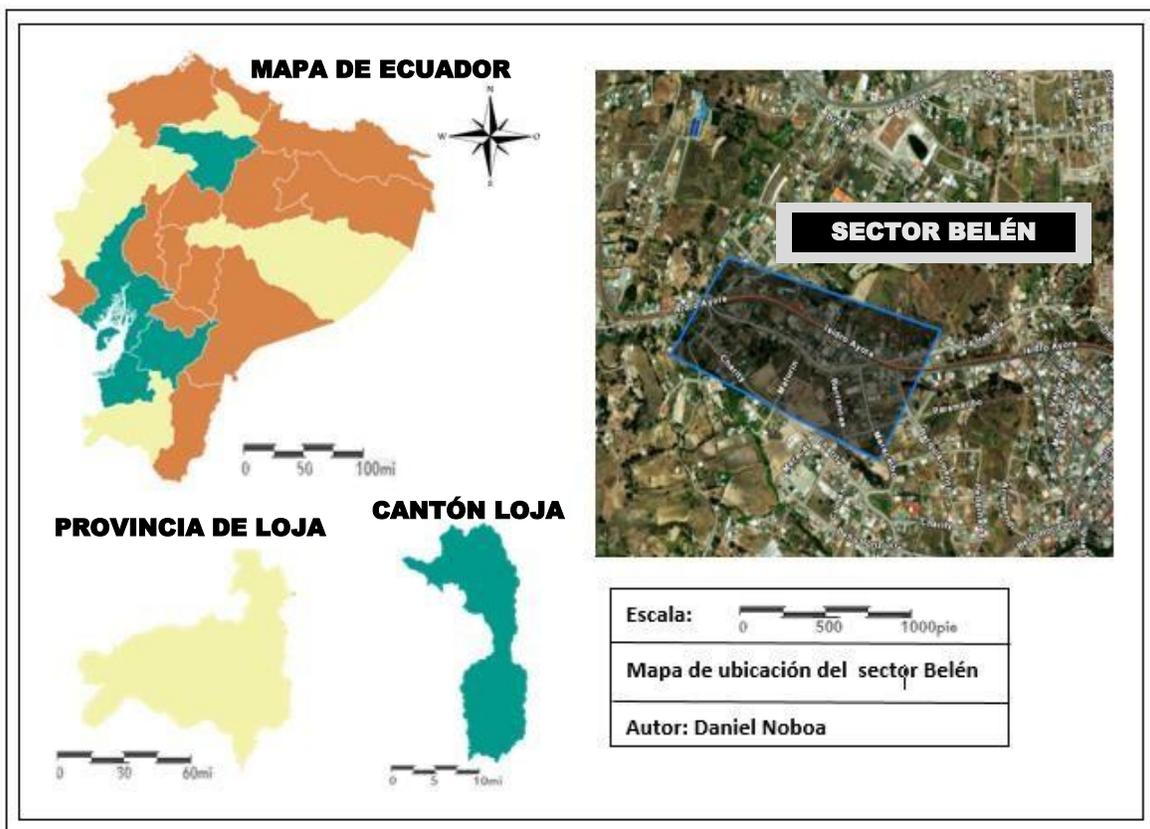


Figura 1. Ubicación geográfica del sector Belén parroquia Sucre, cantón Loja.

5.2. Materiales, Equipos e Insumos

5.2.1. Materiales de campo

- Baldes de 20 l
- Bolsas ziploc
- Bomba de mochila
- Composteras
- Flexómetro
- Libreta de registro
- Machete
- Malla sarán
- Tamiz
- Tridente

5.2.2. Equipos

- Potenciómetro
- Termohigrómetro digital
- Computadora
- Cámara fotográfica
- Balanza

5.2.3. Insumos

- Residuos orgánicos
- Hojarasca (aguacate)
- Tierra de jardín
- Formulaciones de microorganismos eficientes
- Melaza

5.2.4. Programas

- Programa estadístico Infostat
- Programa Microsoft Excel

5.3. Diseño Experimental y Tratamientos

Se utilizó un diseño completamente al azar (DCA) conformado por cuatro tratamientos (T1, T2, T3) + testigo (T0) y cuatro repeticiones dando un total de 16 unidades experimentales. Se consideró a cada compostera como unidad experimental (UE). Estructurado de la siguiente manera (Figura 2).

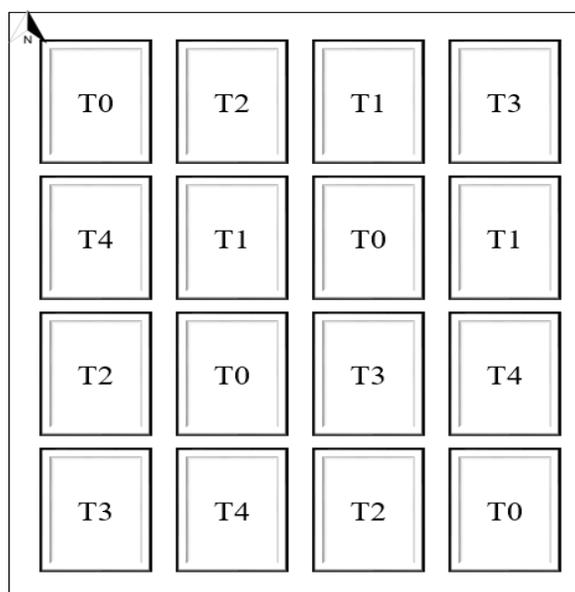


Figura 2. Esquema del diseño experimental.

5.3.1. Modelo matemático del diseño experimental

$$Y_{ij} = \mu + T_i + E_{ij}$$

Dónde:

Y_{ij} = Observación cualquiera

μ = Media poblacional

T_i = Efecto aleatorio (efecto del tratamiento)

E_{ij} = Error experimental

5.3.2. Descripción de los tratamientos

Microcompostic (Agrodiagnostic): Es un complejo de bacterias aerobias termófilas principalmente de la cepa de (*Bacillus subtilis*) con una concentración de 5×10^2 UFC/ml, acelera el proceso de compostaje y degrada la materia orgánica mediante la producción de enzimas celulolíticas, ligninolíticas, proteolíticas y lipolíticas.

Trichotic (Agrodiagnostic): Es un producto biológico a base del hongo (*Trichoderma sp.*) en concentración de 5×10^8 UFC/ml, su principal mecanismo de acción es la producción de sustancias que inhiben el crecimiento microbiano (antibióticos naturales), trae beneficios a la planta especialmente a la zona radicular, induciendo resistencia a patógenos en las plantas.

Microspore (Euroagroec): Es un producto con característica multifuncional, acelera la descomposición de la materia orgánica, bioestimulante, inoculante microbiano y biocontrolador de patógenos. Es una mezcla sinérgica de cepas de alta pureza (*Azospirillum*, *Azotobacter*, *Lactobacillus* y *Saccharomyces cerevisiae*) en concentraciones de 2×10^9 UFC/ml, contenidos en medio de cultivo de enzimas y vitaminas que asegura la viabilidad de los microorganismos contenidos.

La Tabla 1 detalla el código de identificación de los tratamientos Testigo y las formulaciones de microorganismos eficientes empleados en la presente investigación.

Tabla 1. Tratamientos del diseño experimental.

Código	Formulaciones de microorganismos eficientes
T0	Testigo (sin aplicación)
T1	Microcompostic
T2	Trichotic
T3	Microspore

5.4. Metodología General

5.4.1. Ubicación de las composteras

El área de ubicación de las composteras fue al aire libre, sin la incidencia de arvenses y corrientes fuertes de vientos, evitando la presencia de animales que pudieran destruir o alterar el proceso de compostaje.

5.4.2. Elaboración de las composteras

Las unidades experimentales fueron elaboradas en forma de cajones a base de madera, para proteger los tratamientos de los factores climáticos y de animales que puedan alterar los resultados. Por lo cual, tuvieron las siguientes dimensiones: Largo: 60 cm, Ancho: 50 cm, Altura: 50 cm y un distanciamiento de 1 m.

5.4.3. Condiciones de manejo para las unidades experimentales

Con la finalidad de brindar las condiciones herméticas y controladas del medio ambiente como: precipitaciones y radiación solar del sector, las composteras fueron tapadas con techo de zinc y envueltas con malla sarán.

5.4.4. Recolección de los residuos orgánicos

Los residuos orgánicos se obtuvieron de los desechos producidos en cada vivienda de los moradores del sector, conformados principalmente por cáscaras de: huevo, naranja, banano, papaya, hojas de hortalizas y restos de frutas. Transportados posteriormente al área donde se realizó el proceso de compostaje.

5.4.5. Apilado de los residuos orgánicos

Se procedió con el amontonamiento de los residuos orgánicos, facilitando la separación de materiales inorgánicos (huesos, plásticos y fundas) mezclados entre éstos (Jácome, 2013).

5.4.6. Picado de los residuos orgánicos

En esta fase los materiales orgánicos de mayor tamaño fueron separados, y sometidos a un picado manual aproximado de 5 cm, con la finalidad facilitar su descomposición (Jácome, 2013).

5.4.7. Proporciones de los materiales en las composteras

Con el objetivo de llenar las composteras se cubrió las $\frac{3}{4}$ partes para favorecer el volteo y riego requerido durante el proceso de compostaje. Primero se pesó que cada compostera estuviera conformada por 31 kg de material a compostar, constituido por hojarasca de aguacate, tierra de jardín y residuos orgánicos, tal como se detalla en la (Tabla 2).

A continuación, se colocó en la base 10 kg de tierra de jardín conformando una altura de 5 cm, seguidamente se añadió $\frac{1}{2}$ kg de hojarasca (aguacate) de 5 cm. Finalmente, se agregó 20 kg de residuos orgánicos de 22,5 cm, alternándose de $\frac{1}{2}$ kg de hojarasca de 5 cm.

Tabla 2. Cantidad de cada material que conforman las composteras

Tratamientos	Tierra de jardín (kg)	Hojarasca de aguacate (kg)	Residuos orgánicos (kg)	Total por compostera (kg)
Testigo (T0)	10	1	20	31
Microcompostic (T1)	10	1	20	31
Trichotic (T2)	10	1	20	31
Microspore (T3)	10	1	20	31
Proporción (%)	32,26	3,23	64,51	100

5.4.8. Activación de los microorganismos eficientes

Primeramente, se mezcló 50 cc de melaza, con 50 cc de EM adicionando 1 l de agua sin cloro, en base a la dosificación empleada por Naranjo (2013). Posteriormente, se introdujo en un bidón limpio y cerrado dejándolo reposar por 7 días bajo sombra, para que inicie el proceso de fermentación.

Transcurrido ese tiempo se observó que la superficie del preparado presentó una “nata” y un olor agridulce siendo indicadores de que los microorganismos están activos (Vilcahuaman, 2016).

5.4.9. Inoculación de microorganismos eficientes

En cada una de las unidades experimentales se aplicó una dosis de 50 cc / l de agua, la misma que se empleó en dos momentos: 25 cc al inicio del establecimiento de las composteras y los 25 cc restantes transcurridos quince días.

5.4.10. Volteo y riego

Se realizaron dos volteos semanales utilizando un tridente en las primeras cuatro semanas, y luego se realizó un volteo quincenal para: facilitar la oxigenación de la materia orgánica, homogenización de la mezcla y conservar una temperatura uniforme (Vilcahuaman, 2016).

Los riegos fueron realizados con la finalidad de mantener una humedad adecuada en las composteras, manteniéndose en un rango del 45 % al 60 % (Álvarez, 2010). Ante lo expuesto se utilizó un fumigador con capacidad de 20 l, aplicándose 1 l de agua en cada unidad experimental cuando los valores se encontraban por debajo del 40 %.

5.5. Metodología para el Primer Objetivo: Analizar la variación de los factores: temperatura, humedad y pH, en el proceso de descomposición de desechos orgánicos urbanos.

5.5.1. Temperatura

Debido a su facilidad de medición, la temperatura se registró a partir del segundo día de la instalación de las composteras y posteriores días: lunes, miércoles y viernes durante 4 meses, empleando un termohigrómetro digital, introducido a 20 cm de profundidad en el centro de la compostera.

5.5.2. Humedad

De igual forma que la temperatura y a la misma profundidad, se insertó el termohigrómetro digital en la compostera, registrando la medición de este parámetro los posteriores días: lunes, miércoles y viernes durante 4 meses.

5.5.3. pH

Mediante la utilización de un potenciómetro y similar a la metodología utilizada para la medición de los parámetros de temperatura y humedad, se registró su valor a partir del

segundo día de la instalación del experimento y posteriores días: lunes, miércoles y viernes durante 4 meses.

5.6. Metodología para el Segundo Objetivo: Determinar el tiempo y grado de descomposición de los desechos orgánicos urbanos efectuados por los microorganismos eficientes.

Se elaboraron curvas de temperatura y pH, las cuales permitieron analizar la evolución de sus valores en un determinado lapso de tiempo (semanas), facilitando la identificación de las diferentes fases del compostaje: mesofílica, termofílica, mesófila II y maduración. Tomando en cuenta que en las dos primeras etapas estos parámetros sufren cambios constantes en elevación y disminución de sus resultados, llegando a un punto en que estos se estabilicen.

Dicho de otra manera, que la temperatura final del compost adopte la del medio y el pH se encuentre oscilando un rango de 7 - 8 considerado óptimo, estimando el período de descomposición de los residuos orgánicos.

Después de la culminación del proceso, se procedió a tomar 1 kg de material compostado por cada tratamiento, en bolsas ziploc, las cuales fueron llevadas al laboratorio de suelos del Instituto Nacional de Investigaciones Agropecuarias (INIAP), para determinar el contenido de materia orgánica y macronutrientes (N-P-K).

5.7. Análisis Estadístico

Para el análisis estadístico de datos, se utilizó el método de análisis de varianza (ANOVA) en base al diseño experimental planteado y para evaluar las diferencias estadísticas entre tratamientos se empleó contrastes ortogonales mediante el Test de Tukey al 95 % de confianza, por medio del software Infostat.

6. RESULTADOS

6.1. Resultados del Primer Objetivo

6.1.1. Temperatura

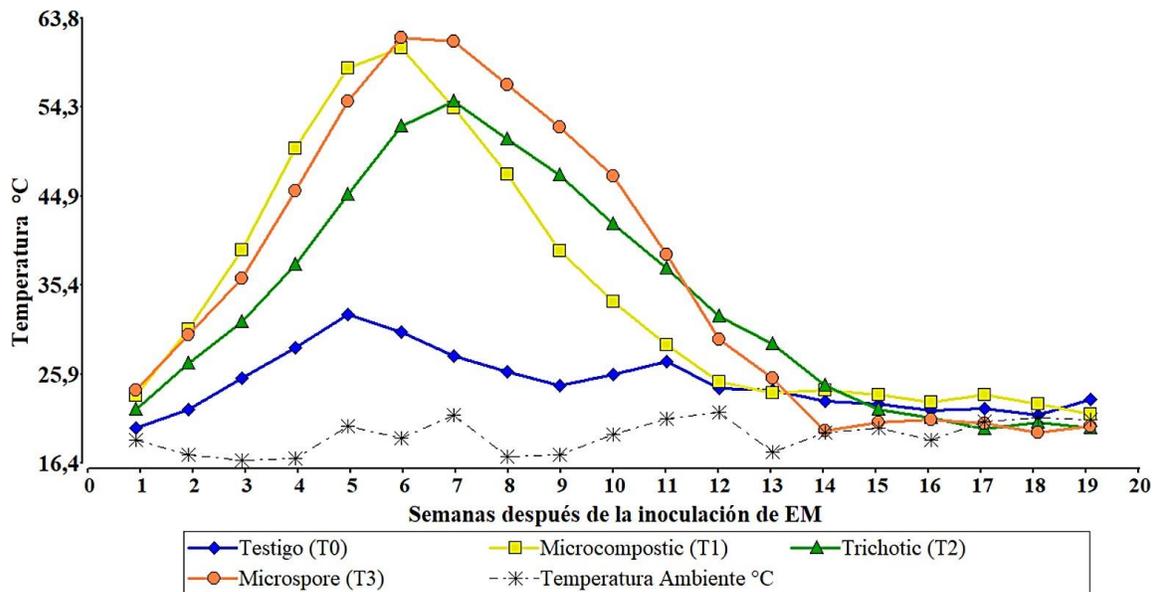


Figura 3. Comportamiento de la temperatura durante el período de descomposición de los residuos orgánicos.

La Figura 3 muestra la evolución de la temperatura durante el período de compostaje (19 semanas), los máximos promedios térmicos correspondieron al T3 con un valor de 61,7 °C y T1 de 60,9 °C durante la semana seis, siendo en la misma donde se presentaron diferencias estadísticas al exponerse temperaturas superiores al Testigo y que al igual que el T2 logró su valor máximo de 55,0 °C en la semana siete.

El T1 fue el que más rápido se estabilizó a partir de la semana doce, asemejándose a la temperatura ambiental. Contrario al T2 y T3 cuyos valores decrecieron durante la semana diecisiete y catorce en su orden. El T0 por su parte, presentó variaciones, mostrando la máxima temperatura de 32,3 °C durante la semana cinco, y nivelándose en la semana dieciocho.

La Tabla 3 presenta los resultados de las comparaciones mediante contrastes ortogonales, en base a los promedios obtenidos de cada fase y tratamiento, para determinar la estabilización del proceso y la identificación de las diferentes fases del compostaje, donde se encontraron diferencias estadísticas para el Testigo frente a las formulaciones de microorganismos eficientes ($p < 0,001$), por lo que se procedió a realizar una prueba de Tukey al 95 % de significancia.

Tabla 3. ANOVA de las temperaturas sometidas a contrastes ortogonales con el 95 % de significación.

Código	Tratamientos	Comparaciones	F calculada	P-valor
T0	Testigo	Testigo vs EM	43,90	< 0,001 *
T1	Microcompostic	Microcompostic vs Microspore y Trichotic	0,81	0,3681 ns
T2	Trichotic	Microspore vs Trichotic	3,12	0,0783 ns
T3	Microspore			

EM: Microorganismos eficientes

ns: No significativo

**Significativo al 0,05 de probabilidad*

Detallándose en la Tabla 4, durante la fase mesófila, T1 y T3 presentaron medias similares en sus temperaturas 35,84 °C y 32,48 °C respectivamente, así mismo T2 mostró semejanza al T3 con valor de 29,57 °C. Por otro lado, durante la fase termófila T1 y T3 mantuvieron promedios análogos de 55,17 °C y 55,63 °C en su orden, T0 por su parte expresó la ausencia de las fases termófila y mesófila II, a diferencia de los demás tratamientos que no expresaron resultados estadísticamente significativos durante la fase mesófila II y la fase de maduración.

Tabla 4. Medias de temperaturas en las diferentes fases de compostaje.

Código	Tratamientos	Fase Mesófila °C	Fase Termófila °C	Fase Mesófila II °C	Fase de Maduración °C
T0	Testigo	25,27 ^c	-	-	22,44 ^a
T1	Microcompostic	35,84 ^a	55,17 ^{ab}	33,86 ^a	23,49 ^a
T2	Trichotic	29,57 ^{bc}	50,06 ^b	33,60 ^a	21,92 ^a
T3	Microspore	32,48 ^{ab}	55,63 ^a	36,85 ^a	23,00 ^a

**Letras diferentes expresan diferencias significativas mediante prueba de Tukey ($p < 0,05$)*

6.1.2. Humedad

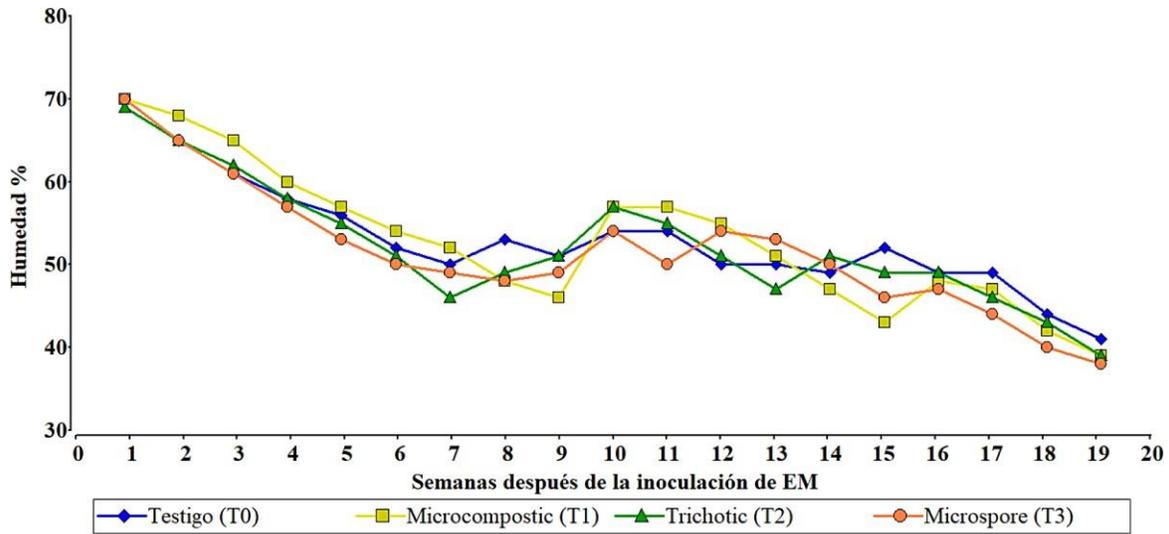


Figura 4. Comportamiento de la humedad durante el período de descomposición de los residuos orgánicos.

De acuerdo a la Figura 4 la humedad se mostró muy variable, y existió una estrecha relación entre tratamientos manteniéndose en un margen promedio del 40 % al 70 %. Se presentó notablemente un descenso para el T2, obtuvo el valor más bajo del 46 % durante la semana siete en comparación a los demás, frente a esto, para mantener la humedad adecuada se realizaron riegos moderados y volteos para mejorar la aireación y evitar que exista una acumulación excesiva de agua. Al final del proceso todos los tratamientos mantuvieron un rango promedio del 38 % al 41 % correspondiéndole al T3 el porcentaje más bajo y al T0 el más alto.

La Tabla 5 muestra las comparaciones mediante contrastes ortogonales, en función de los porcentajes de humedad al inicio y al final de la investigación, con la finalidad de mantener rangos óptimos que eviten la aparición de malos olores, favorezca la viabilidad de los EM y se obtenga un producto estable. Donde no se encontraron diferencias estadísticas ($p > 0,05$), es decir, los tratamientos presentaron un efecto similar.

Tabla 5. ANOVA de porcentajes de humedad sometidos a contrastes ortogonales con el 95 % de significación.

Código	Tratamientos	Comparaciones	F calculada	P-valor
T0	Testigo	Testigo vs EM	0,58	0,4482 ^{ns}
T1	Microcompostic	Microcompostic vs	0,86	0,3532 ^{ns}
		Microspore y Trichotic		
T2	Trichotic	Microspore vs Trichotic	0,31	0,5791 ^{ns}
T3	Microspore			

EM: Microorganismos eficientes

ns: No significativo

De acuerdo a la tabla 6, los porcentajes de humedad inicial fluctuaron entre el 56,33 % y 57,70 % respectivamente, correspondiéndole al T1 la media superior y a T2 la media inferior. Por otro lado, la humedad final para todos los tratamientos presentó resultado análogo, correspondiéndole al T0 el porcentaje más alto 48,64 % y al T3 el más bajo 46,67 %.

Tabla 6. Medias de Humedad en las diferentes fases de compostaje.

Código	Tratamientos	Humedad Inicial %	Humedad Final %
T0	Testigo	57,03 ^a	48,64 ^a
T1	Microcompostic	57,70 ^a	47,64 ^a
T2	Trichotic	56,33 ^a	47,58 ^a
T3	Microspore	55,65 ^a	46,67 ^a

**Letras iguales no expresan diferencias significativas mediante prueba de Tukey ($p > 0.05$)*

6.1.3. pH

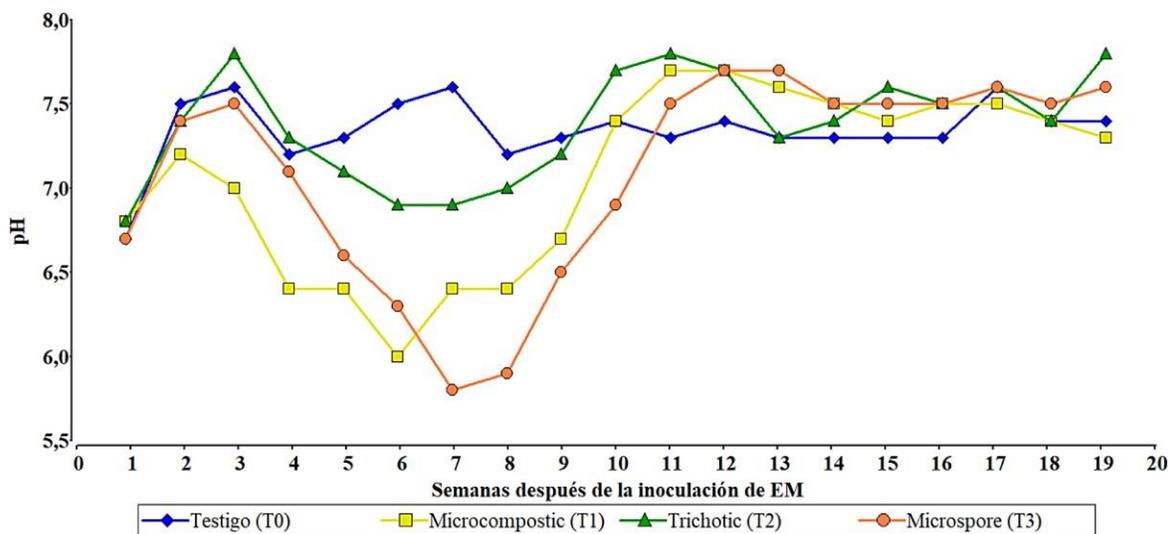


Figura 5. Comportamiento del pH durante el período de descomposición de los residuos orgánicos.

Como se muestra en la Figura 5, Microspore y Microcompostic entre las semanas seis y siete presentaron valores ligeramente ácidos de 5,9 y 5,8 respectivamente; logrando el T1 la neutralidad con promedio de 7,4 durante la semana diez, contrario al T3 cuya estabilización fue en la semana once con resultado de 7,5. Trichotic y Testigo por su parte, entre las semanas seis y cuatro mostraron sus valores más bajos de 6,9 y 7,2 en su orden.

Además, el T2 fue quien obtuvo un promedio superior neutro de 7,8 durante la finalización del proceso de descomposición en comparación a los demás tratamientos T0: 7,4; T1: 7,3 y T3: 7,6.

A continuación, en la Tabla 7 se presentan los resultados de las comparaciones mediante contrastes ortogonales, en base a valores de pH inicial, la fase termófila y el pH final de los tratamientos, para facilitar la interpretación de los procesos biodegradables de los EM en las diferentes fases del compostaje, donde se encontraron diferencias estadísticas ($p < 0,05$) por lo que se procedió a realizar una prueba de comparación de Tukey al 95 %.

Tabla 7. ANOVA de valores de pH sometidos a contrastes ortogonales con el 95 % de significación.

Código	Tratamientos	Comparaciones	F Calculada	P-valor
T0	Testigo	Testigo vs EM	6,63	0,0105 *
T1	Microcompostic	Microcompostic vs Microspore y Trichotic	5,03	0,0257 *
T2	Trichotic	Microspore vs Trichotic	10,27	0,0015 *
T3	Microspore			

EM: Microorganismos eficientes.

ns: No significativo.

**Significativo al 0,05 de probabilidad.*

De conformidad a la Tabla 8, se determinó que el pH inicial para T0, T2 y T3 presentaron valores neutros de 7,33; 7,31 y 7,17 respectivamente, contrario al T1 que presentó valor ligeramente ácido de 6,85. Por otra parte, durante la fase termófila existió la ausencia de esta etapa para el Testigo, que a diferencia del T1 y T3 mostraron valores ligeramente ácidos de 6,28 y 6,33 en su orden; destacándose el T2 por presenciar un promedio neutro de 7,00. Finalmente, tras la culminación de la investigación, el potencial de hidrógeno no mostró diferencias estadísticas al exponerse todos los tratamientos a valores neutros.

Tabla 8. Medias de pH durante el proceso de compostaje.

Código	Tratamientos	pH Inicial	pH Fase Termófila	pH Final
T0	Testigo	7,33 ^a	-	7,39 ^a
T1	Microcompostic	6,85 ^b	6,28 ^b	7,41 ^a
T2	Trichotic	7,31 ^a	7,00 ^a	7,58 ^a
T3	Microspore	7,17 ^{ab}	6,33 ^b	7,54 ^a

**Letras diferentes expresan diferencias significativas mediante prueba de Tukey ($p < 0.05$)*

6.2. Resultados del Segundo Objetivo

6.2.1. Tiempo de degradación de los residuos orgánicos

6.2.1.1. Testigo

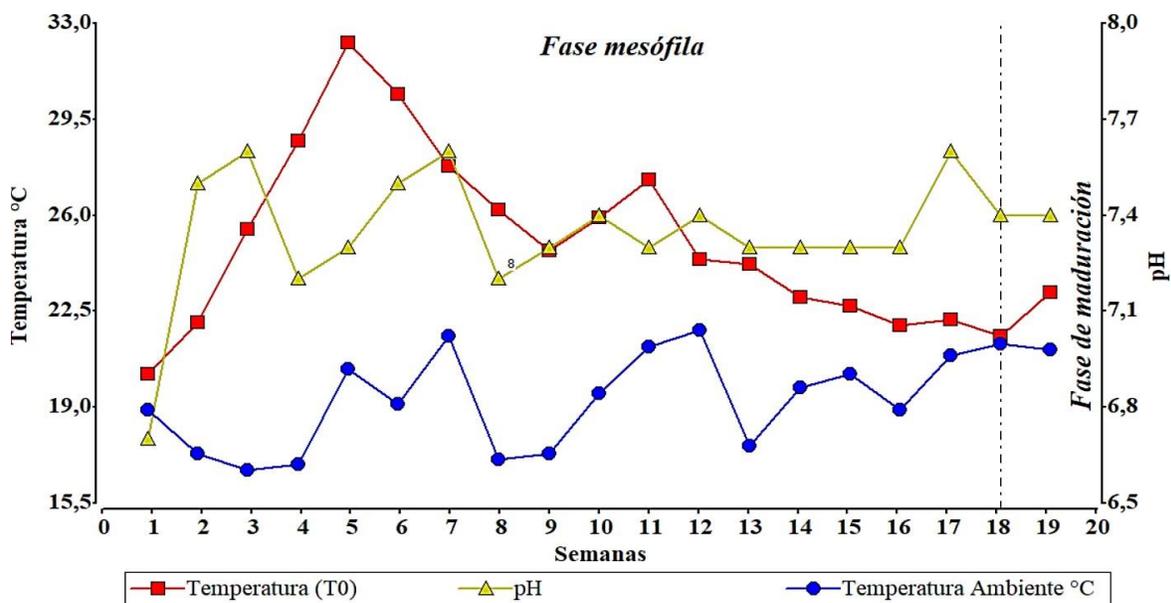


Figura 6. Comportamiento de la temperatura y el pH en función del tiempo para el Testigo.

La Figura 6 muestra que durante el período de descomposición (19 semanas) la fase mesófila inició desde la semana uno y concluyó en la dieciocho, caracterizada principalmente por presentar temperaturas menores a 45 °C, mostrándose la más alta en la semana cinco con un promedio de 32,3 °C y un pH de 7,3. Debido a la baja actividad microbiológica y las bajas temperaturas de la zona de estudio existió la ausencia de las fases: Termófila y Mesófila II que permitan evidenciar altos valores en el transcurso del compostaje.

Por otro lado, la fase de maduración inicio a partir de la semana dieciocho, por presentar valor similar a la temperatura ambiente 21,6 °C frente a 21,3 °C, interpretando que el proceso de descomposición ha concluido, al mostrar la estabilización de la temperatura y pH neutro de 7,4.

6.2.1.2. Microcompostic

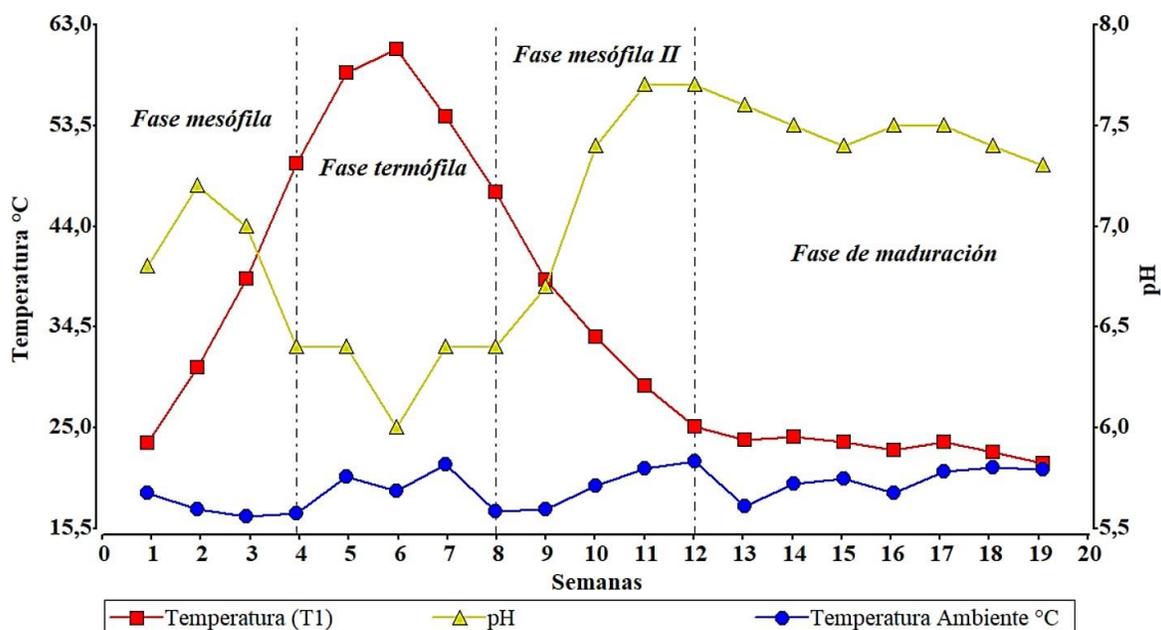


Figura 7. Comportamiento de la temperatura y el pH en función del tiempo para Microcompostic (T1).

La Figura 7 muestra que la fase mesófila presentó una elevación de la temperatura a partir de la semana uno, al igual que el pH experimentó una relación inversa conforme esta va aumentando, extendiéndose a la semana cuatro donde sus valores promedios alcanzaron los 49,9 °C y pH ligeramente ácido de 6,4.

Posteriormente, se dio inicio a la fase termófila entre las semanas cinco y ocho, las temperaturas continuaron en aumento y el pH disminuyendo, obteniéndose un valor máximo de 60,7 °C y pH de 5,9 durante la sexta semana.

La fase de enfriamiento o mesófila II comenzó entre las semanas nueve y once, mostrándose valores que parten desde los 24 °C a 39 °C. En cuanto al pH mantuvo rangos de 6,7 a 7,7, lográndose el promedio más bajo durante la semana once de 24,3 °C y pH de 7,7. Finalmente, la fase de maduración se inició a partir de la semana doce, la temperatura fue similar a la ambiental 21,6 °C frente a 21,8 °C y el pH alcanzó la neutralidad de 7,7, infiriendo en que el tiempo de descomposición a concluido.

6.2.1.3. Trichotic

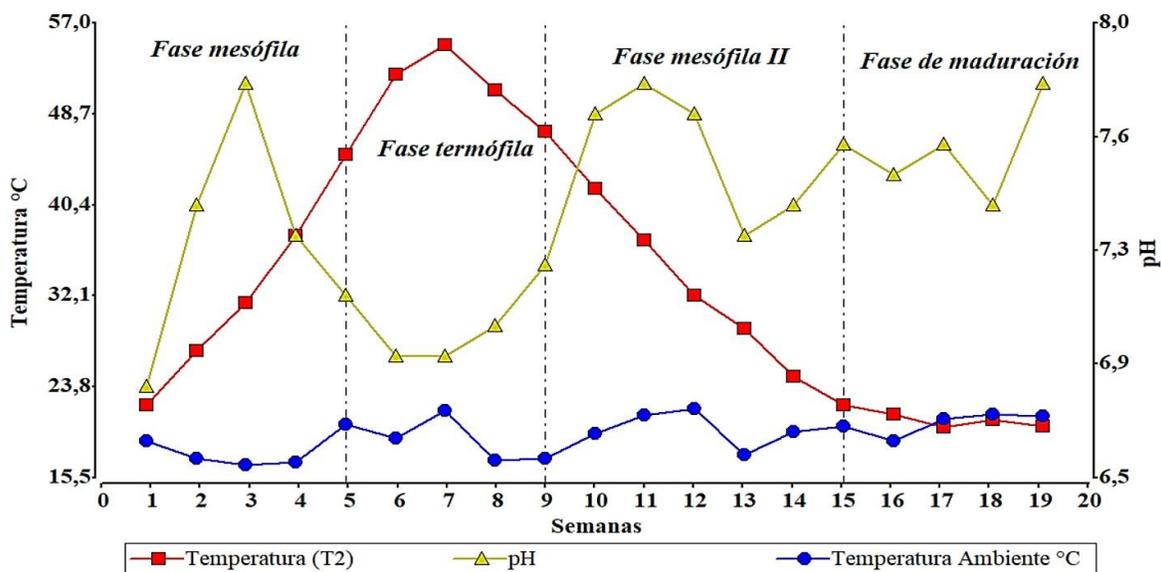


Figura 8. Comportamiento de la temperatura y el pH en función del tiempo para Trichotic (T2).

En la Figura 8 se puede inferir que la fase mesófila inicio a partir de la primera semana y culminó en el transcurso de la semana cinco, la temperatura mostró un promedio de 45 °C y pH de 7,1. Al concluir esta semana se dio inicio a la fase termófila donde ambos parámetros experimentaron cambios, principalmente durante la semana siete cuyo valor térmico más alto fue de 55 °C y pH ligeramente ácido de 6,9.

Posteriormente, las temperaturas disminuyeron manteniéndose en un rango de 22,1 °C a 41,9 °C presentando un pH de 7,4 a 7,8 entre la semana diez y catorce, integrando la fase mesófila II. La etapa de maduración inicio a partir de la semana quince haciendo énfasis en que la temperatura fue similar a la ambiental 20,1 °C frente a 20,2 °C y el pH neutro con valor de 7,6 en la semana diecisiete demostrando que el proceso de descomposición ha concluido.

6.2.1.4. *Microspore*

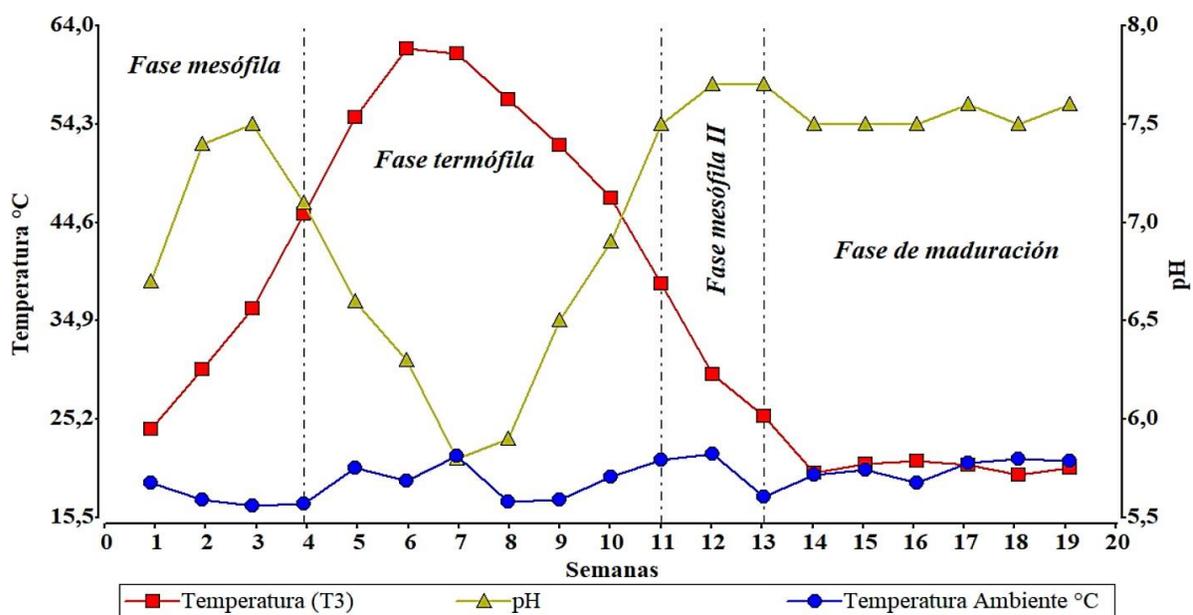


Figura 9. Comportamiento de la temperatura y el pH en función del tiempo para *Microspore*(T3).

En la Figura 9 se detalla que la fase mesófila inició en la semana uno y culminó en la cuatro, presentando valores de 45,4 °C y pH de 7,1. Seguidamente, se dio inicio a la fase termófila entre las semanas cinco y ocho, la temperatura continuó aumentando y el pH disminuyendo, obteniéndose valores de 61,7 °C y 5,8 durante la semana siete. Finalizado ese lapso de tiempo, se dio lugar a la fase de enfriamiento o mesófila II durante las semanas once y trece, destacándose promedios que parten desde 25,5 °C a 38,6 °C, mientras que el pH mantuvo rangos de 7,5 a 7,7.

Al concluir este período, se dio paso a la fase de maduración en la semana catorce, la temperatura fue similar a la ambiental 19,9 °C frente a 19,7 °C y el pH alcanzó neutralidad de 7,5, deduciendo que el tiempo de descomposición fue de catorce semanas.

6.3. Calidad del Compost

6.3.1. Peso del compost

Finalizado el proceso de descomposición, con ayuda de una balanza se realizó el pesaje de cada tratamiento del compost explicándose en la Tabla 9, que las formulaciones de microorganismos eficientes fueron los que mayor peso obtuvieron en relación al Testigo.

Resaltando además que: T1 y T3 mostraron los valores más altos de residuos compostados 9,3 kg y 8,7 kg respectivamente, mientras que los tratamientos T0 y T2 presentaron valores inferiores de 6,1 y 4,7 en su orden.

Tabla 9. Peso del compost de cada tratamiento.

Código	Tratamientos	Peso Inicial Composteras (kg)	Peso Final de residuos (kg)	Peso de tierra de jardín (kg)	Peso material sin compostar (kg)	Peso material compostado (kg)
T0	Testigo	31	25,1	10	10,4	4,7
T1	Microcompostic	31	21,8	10	2,5	9,3
T2	Trichotic	31	22,8	10	6,7	6,1
T3	Microspore	31	20,7	10	2,0	8,7

Como se muestra en la Tabla 10, Se encontraron diferencias estadísticas entre el Testigo y las formulaciones de microorganismos eficientes ($p < 0,001$), por lo que se procedió a realizar una prueba de Tukey al 95 % de significancia.

Tabla 10. ANOVA de los pesos sometidos a contrastes ortogonales con el 95 % de significación.

Código	Tratamientos	Comparaciones	F calculada	P-valor
T0	Testigo	Testigo vs EM	1987,83	< 0,001 *
T1	Microcompostic	Microcompostic vs Microspore y Trichotic	26,08	0,0003 *
T2	Trichotic	Microspore vs Trichotic	1119,29	0,0001 *
T3	Microspore			

EM: Microorganismos eficientes

ns: No significativo

**Significativo al 0,05 de probabilidad*

El peso del compost obtenido por el T1 y T3 presentaron promedios similares de 9,33 kg y 8,70 kg, así mismo la Tabla 11 presenta que T0 y T2 mostraron valores diferentes de 4,73 kg y 6,05 kg respectivamente.

Tabla 11. Medias de pesos del compost obtenido.

Código	Tratamientos	Compost obtenido (kg)
T0	Testigo	4,73 ^c
T1	Microcompostic	9,33 ^a
T2	Trichotic	6,05 ^b
T3	Microspore	8,70 ^a

**Letras iguales no expresan diferencias significativas mediante prueba de Tukey ($p > 0,05$)*

6.3.2. Composición nutricional

La Tabla 12 muestra los resultados del análisis químico de suelos, demostrándose que Microcompostic presentó los valores más altos en los parámetros de N: 1,86 %, P: 1,49 %, K: 1,10 %, M.O: 31,32 %, seguido de Microspore N: 1,73 %, P: 1,27 %, K: 1,16 %, M.O: 30,46 % y finalmente Trichotic N: 1,26 %, P: 1,19 %, K: 1,04 %, M.O: 28,90 %, comparados con la Norma Técnica Colombiana 5167 (NTC) y la Norma Técnica Chilena 2880 (NCH) cumplen con los estándares propuestos de un abono de calidad.

El Testigo por su parte obtuvo los valores más bajos de N: 0,74 %, P: 1,10 %, K: 0,97 % y M.O: 17,26 % en comparación a las formulaciones de microorganismos, pero en cuanto a los contenidos de fósforo > 1 % y materia orgánica de 15 % al 45 %, integran los rangos establecidos por las normas NTC y NCH.

Tabla 12. Composición nutricional en comparación a la Norma Técnica Colombiana 5167 (NTC) y la Norma Técnica Chilena 2880 (NCH) para un compost de calidad.

Parámetros	T0 Testigo	T1 Microcompostic	T2 Trichotic	T3 Microspore	Norma NTC 5167	Norma NCH 2880
Nitrógeno (%)	0,74	1,86	1,26	1,73	> 1 %	> 0.8 %
Fósforo (%)	1,10	1,49	1,19	1,27	> 1 %	< 5 %
Potasio (%)	0,97	1,10	1,04	1,16	> 1 %	> 1 %
Materia Orgánica (%)	17,26	31,32	28,90	30,46	Min. 15 %	25- 45 %

7. DISCUSIÓN

7.1. Temperatura

La temperatura es un factor importante que varía en función de la actividad biológica de los microorganismos, las formulaciones alcanzaron altos valores térmicos entre la semana cinco y diez: T1: 60,9 °C; T2: 55,0 °C; T3: 61,7 °C (Figura 3), debido a que en el proceso transforman compuestos de rápida degradación: azúcares, proteínas, almidones y aminoácidos, consumen O₂, emiten CO₂ y producen energía que se libera en forma de calor (Stentiford y Bertoldi, 2010). Además, Smars *et al.*, (2002) argumentan que en esta etapa se forman fitotóxicos como NH₃ y ácidos grasos volátiles de cadena corta, los cuales se metabolizan por los EM, incidiendo en el aumento de la temperatura, resultando favorable pues Sepúlveda y Alvarado (2013) expresan que se produce la eliminación de patógenos y semillas de malezas cuando se alcanza los 60 °C y 70 °C.

Acosta y Peralta (2015) explican que la variable que más influye sobre la concentración de ufc/g de hongos y bacterias es la temperatura, ya que si no está dentro de los rangos óptimos (35 °C a 60 °C), se inhibe su desarrollo, afectando directamente la descomposición de los residuos. En relación al testigo este mantuvo un rango de 17 °C a 32 °C desde el inicio hasta el final del proceso de compostaje, mostrando diferencias estadísticas ($p < 0,001$) frente a las formulaciones aplicadas (Tabla 4) cuya disparidad radica en que al presenciar una mayor actividad metabólica de los microorganismos se logra degradar más rápido la materia orgánica. Vilcahuaman (2016) concluye que existe una relación directa con las condiciones climatológicas del lugar de experimentación, es decir, bajas temperaturas alargan la fase mesófila y es nula la fase termofílica incrementándose el tiempo de obtención del compost.

7.2. Humedad

Madejón (2002) expresa que el compostaje al ser un proceso biológico de descomposición de la materia orgánica, la presencia de agua es imprescindible para las necesidades fisiológicas de los microorganismos, ya que es el medio de transporte de las sustancias solubles que sirven de alimento a las células. En los diferentes tratamientos no se presentó diferencias significativas ($p > 0,05$) (Tabla 5) debido a que, durante el proceso, se logró controlar mediante riegos constantes y volteos semanales, manifestándose promedios iniciales de T0: 57,03 %; T1: 57,70 %; T2: 56,33 % y T3: 55,65 % (Tabla 6), haciendo referencia a lo que Marquéz *et al.*, (2003) difieren, la humedad óptima para el crecimiento de los microorganismos y división celular se encuentra del 50 % al 70 %.

Al finalizar el proceso de compostaje, las humedades finales fueron inferiores presentándose en T0: 48,64 %; T1: 47,64 %; T2: 47,58 % y T3: 46,67 %, resultados parecidos a la investigación de Delgado *et al.*, (2018), donde los porcentajes finales del compost oscilaron entre el 36,20 % y 41,14 %, concluyendo en que al iniciarse la fase de maduración se genera menos calor y la actividad biológica es reducida, por lo que los requerimientos de humedad son menores, que en las etapas iniciales de descomposición y esto ayuda a obtener un producto estable.

Además, Álvarez (2010) menciona que la actividad biológica disminuye cuando este parámetro presenta valores por debajo del 30 %, es decir, se genera poco calor disminuyendo la actividad microbiológica y el proceso es lento, en cambio promedios por encima del 70 %, satura los espacios libres del material compostado, impidiendo el movimiento del aire dentro de las composteras produciendo anaerobiosis (malos olores).

7.3. pH

El potencial de hidrógeno tiene influencia directa sobre la dinámica de los procesos microbianos, el resultado final fue neutro para el T1: 7,1; y ligeramente ácido para T2: 6,9; T3: 6,8 y T0: 6,5 (Anexo 3), cuyos resultados coinciden con la investigación de Rivas y Silva

(2020), utilizando residuos de jardinería y pergamino de café, obtuvieron un rango promedio de 6,6 y 7,3. Ante lo expuesto, Román *et al.*, (2013) concluyen que valores bajos son indicativos de que el material aún no está maduro y falta descomponerse.

La evolución del pH (Figura 5) durante las semanas seis y siete mostraron valores inferiores T1: 5,9 y T3: 5,8 infiriendo en Gordillo (2010) debido a la acción de los microorganismos sobre la materia orgánica, se produce la descomposición de lípidos y glúcidos en ácidos pirúvicos y las proteínas en aminoácidos, produciéndose una liberación de ácidos orgánicos que acidifican el compost. Por otro lado, los valores neutros iniciaron a partir de la semana diez y once con promedios de 7,4 y 7,5 respectivamente, interpretando que en el proceso de compostaje se produce una progresiva alcalinización, debido a la pérdida de los ácidos orgánicos y la generación de amoníaco procedente de la descomposición de las proteínas (Sanchez y Monedero, 2001). Similar a lo que Sundberg (2004) deduce, que, tras la culminación del compostaje, el pH posee neutralidad debido a la formación de compuestos húmicos.

7.4. Tiempo de Descomposición

Román *et al.*, (2013) manifiestan que el proceso de descomposición aeróbica se presentan cuatro fases: Mesófila, caracterizada por presentar temperaturas menores a 45 °C y una disminución del pH a valores de 5,5; Termófila distinguida por mostrar temperaturas mayores a 45 °C y pH alrededor de 8; Mesófila II, temperaturas menores a 45 °C y el pH se estabiliza; finalmente la etapa de enfriamiento, cuando se logra una temperatura similar a la ambiental y el pH alcanza la neutralidad. Ante lo expuesto, se ha logrado determinar que el tiempo de degradación de los residuos orgánicos fue de doce semanas para la formulación Microcompostic, diecisiete semanas para Trichotic y catorce semanas para Microspore, mostrando una estrecha relación con los resultados obtenidos por Naranjo (2013) mediante la aplicación del producto Compost Treet y por Guasco y Jaramillo (2015) con la utilización de Surfixx-R & Best ultra-F logrando el mismo período de degradación que Microcompostic.

En relación al Testigo, requirió el mayor tiempo de degradación aproximándose a las dieciocho semanas, diferente a lo trabajado por Lara (2018) que fue de siete semanas y asemejándose a Naranjo (2013) de (90,67 días), la FAO (2013) expresa que no es normal un tiempo tan corto de descomposición, ya que, en procesos naturales, se tiene un periodo de maduración de entre 60 a 90 días.

7.5. Peso del Compost

Los resultados obtenidos muestran que el mayor peso de material compostado correspondió a T1: 9,3 kg y T3: 8,7 kg, en relación al peso inicial de 31 kg de desechos orgánicos conformados en cada compostera (Tabla 9). Cugat (2009) comparte en su publicación “1 kg de residuos se convierte en 300 g de compost”, infiriendo en la argumentación de Barrena (2005) que en el proceso de compostaje se obtiene una pérdida del peso superior al 50 %, debido a la formación de dióxido de carbono y vapor de agua, cuya explicación se ajusta a los resultados de la presente investigación, durante la primera semana los promedios fueron del 70 % y durante la última semana oscilaron porcentajes de T0: 41 %, T1: 39 %, T2: 39 % y T3: 38 %.

Dependiendo de la biodegradabilidad de los materiales que se compostan, Acosta y Peralta (2015) recomiendan que mientras más pequeño sea el tamaño de las partículas mayor es la superficie disponible para el ataque de los microorganismos, existiendo una alta degradación del material a compostar.

7.6. Composición Nutricional

Para evaluar la calidad del compost producido, se comparó con las normas técnicas NTC 5167 y NCH 2280, las cuales sugieren que los valores de N-P-K deben ser superiores al 1 % y M.O: > 15 %. Microcompostic presentó resultados superiores en N: 1,86 %; P: 1,49 %; K:1,10 %; M.O: 31,32 % (Tabla 12), comparado al trabajo de Avellaneda (2018) mediante

la aplicación de (EM-Compost) fueron semejantes N: 1,56 %; P: 1,26 %; K: 0,95 % y M.O: 33,10 % cumpliendo con los estándares de calidad.

Los porcentajes de nitrógeno fueron superiores con la presencia de microorganismos T1: 1,86 %, T2: 1,26 % y T3: 1,73 %, a diferencia del Testigo el cual presentó un valor inferior del 0,74 %. Sáez (2000) menciona que valores mayores al 1 % se debe a la presencia de residuos como: verduras y leguminosas las cuales aportan altos contenidos de N, contrario a Delgado y Moreto (2019) valores menores al 1 %, son a causa de variaciones en la temperatura y aireación durante el proceso, originando la oxidación y la pérdida en forma de óxidos gaseosos.

Según Hassen (2001), el contenido de fósforo en su compost se encontró entre 0,8 % y 2,5 %, cuyos valores se integran en esta investigación: T0: 1,10 %, T1: 1,49 %, T2: 1,19 %, T3: 1,27 %. En cuanto a potasio Brito *et al.*, (2016) obtuvieron un promedio de 1,69 % siendo superior a T0: 0,97 %, T1: 1,10 % T2: 1,04 % y T3: 1,16 % (Tabla 12), argumentando, que estos porcentajes se deben a la presencia de: desechos de plátano, verduras y hortalizas, mejorando el contenido nutricional del compost si se utiliza materiales de diferente origen.

La materia orgánica en comparación a los resultados de Widman *et al.*, (2005) con una media del 38,46 % es superior a T1: 31,32 % T2: 28,90 % y T3: 30,46 % frente al 17,26 % del Testigo. Estos valores demuestran la eficiencia de los microorganismos eficientes en la degradación de la materia orgánica, debido al aumento de las comunidades microbianas y el uso de enzimas hidrolíticas (celulasas, despolimerasa y B-glucosidasa) aumentan su porcentaje, pero depende de los parámetros: temperatura, humedad, pH y la cantidad de residuos a compostar (Michel *et al.*, 2004).

8. CONCLUSIONES

La utilización de microorganismos eficientes generó un incremento de la temperatura durante las primeras semanas, siendo Microcompostic y Microspore quienes alcanzaron valores superiores de 60,9 °C y 61,7 °C en comparación al Testigo, cuya temperatura máxima fue de 32,3 °C.

Durante la fase mesofílica y termofílica la formulación Microcompostic se destacó al obtener los máximos promedios térmicos en comparación a los demás tratamientos 35,84 °C y 55,63 °C, respectivamente.

La humedad no presentó diferencias significativas, es decir, los tratamientos mantuvieron un efecto similar durante la descomposición de los residuos orgánicos T0: 51,39 %; T1: 52,18 %; T2: 52,93 % y T3: 53,05 %.

El pH con la aplicación de EM, mostró una relación inversa frente al aumento de la temperatura, destacándose Microcompostic y Microspore al presentar los valores más bajos cuando el parámetro térmico se elevó T1: 60,9 °C: 5,9 y T3: 61,7 °C: 5,8.

Las formulaciones de microorganismos inciden directamente en el mecanismo de degradación de los residuos orgánicos, acelerando su proceso normal de descomposición con una dosificación de 50 cc/l de agua, Microcompostic y Microspore fueron los que requirieron un menor tiempo de obtención de compost: 12 semanas (84 días) y 14 semanas (98 días), en relación al Testigo y Trichotic que destacaron un período más extenso de 18 semanas (126 días) y 17 semanas (119 días).

El resultado final del análisis químico con la aplicación EM cumple con las normas NCH 2880 y NTC 5167, sobresaliendo Microcompostic, por presentar valores superiores e integrándose dentro de los límites máximos permisibles en los parámetros de N: 1,86 %; P: 1,49 %; K: 1,10 %; M.O: 31,32 %, además de obtener el mayor promedio de material compostado 9,3 kg.

9. RECOMENDACIONES

Se debe mantener un control minucioso con la humedad mediante riegos constantes y volteos semanales, con el objetivo de que los microorganismos posean las condiciones adecuadas para su crecimiento, desarrollo y actividad en los diferentes procesos metabólicos de degradación.

Si se realiza compostaje en zonas con bajas temperaturas se recomienda hacer uso de malla sarán cubriendo toda la compostera, con el objetivo de que el calor que ingrese no se disperse fácilmente en horas nocturnas y la temperatura permanezca estable.

Para acelerar el tiempo de descomposición de los residuos orgánicos, se recomienda utilizar los productos Microcompostic y Microspore como aporte de microorganismos benéficos en dosis de 50 cc/ l de agua, con base en que fueron los mejores resultados reportados en el tiempo de obtención del compost y superiores contenidos de: nitrógeno, fósforo, potasio y materia orgánica, para aplicar en cultivos.

Realizar otros estudios de compostaje, seleccionando el mejor resultado del presente estudio con diferentes dosis y mediante lombricomposteras.

10. BIBLIOGRAFÍA

- Acosta, W. y Peralta, M. (2015). Elaboración de abonos orgánicos a partir del compostaje de residuos agrícolas en el municipio de Fusagasugá. Universidad de Cundinamarca. Colombia. pág. 80.
- Álvarez, J. (2010). Manual de compostaje para agricultura ecológica. Consejería de agricultura y pesca, Andalucía Colombia. pág. 48.
- Avellaneda, F. (2018). Protocolo para la producción de compost de residuos sólidos orgánicos del mercado de la ciudad de Lambayeque. Noviembre 04, 2021, sitio web: <https://repositorio.udl.edu.pe/bitstream/UDL/226/1/Tesis%20Estefania%20Avellaneda.pdf>
- Barrena, R. (2005). Respirometric tests at fixed and process temperatures to monitor the composting process. *Bioresource technology*. pp. 153–159.
- Barrios, S. y Fernández, F. (2004). Composting activity in catalonia. *Biocycle* 25, pág. 64-66.
- Biosca, A. (2001). Plan educativo para la producción de abono orgánico mediante microorganismos eficientes. junio 18, de 2021, sitio web: <https://repositorio.uta.edu.ec/bitstream/123456789/2217/1/Tesis-22agr.pdf>
- Bueno, M. (2003). Manual para horticultores ecológicos. Barcelona, España. P. 41.
- Brito, A. (2016). Obtención de compost a partir de residuos sólidos orgánicos generados en el mercado mayorista del cantón Riobamba. *European Scientific Journal*.
- Cajahuanca, S. (2016). Optimización del manejo de residuos orgánicos por medio de la utilización de microorganismos eficientes (*Saccharomyces cerevisiae*, *Aspergillus sp.*, *Lactobacillus sp.*). En el proceso de compostaje en la central hidroeléctrica Chaglla (tesis de pregrado) Universidad de Huánuco, Facultad de Ingeniería, Perú.

- Cugat, R. (2009). Un kilo de residuos se convierte en 300 gramos de 'compost'. Municipio de España. diciembre 09, del 2021, sitio web: <https://www.elperiodico.com/es/sociedad/20091025/kilo-residuos-convierte-300-gramos-135579>
- De la Torre, F. (2007). Gestión Integral de Residuos Sólidos Urbanos del Distrito Metropolitano de Quito (DMQ). Revista de casos exitosos de programas de gestión integrada de residuos sólidos Urbanos en América Latina y el Caribe, Quito, Ecuador.
- Delgado, J. y Moreto, N. (2019). Compostaje de residuos sólidos orgánicos utilizando microorganismos eficientes en el distrito de Cacatachi. diciembre 02, de 2021, sitio web: <https://repositorio.upeu.edu.pe/handle/20.500.12840/1777>
- Fayemi, O., & Ojokoh, A. (2014). The effect of different fermentation techniques on the nutritional quality of the cassava product (fufu). *Journal of Food Processing and Preservation*, 38 (1):183-192.
- Food and Agriculture Organization. (2013). Organización de Comida y Agricultura. Manual de compostaje del agricultor. Oficina Regional de la FAO para América Latina y el Caribe.
- Gea, T. (2001). Diseño y validación de sistemas de compostaje a escala laboratorio. Aplicación al tratamiento de residuos sólidos urbanos. Master de investigación. EUP MA-UAB.
- Gordillo, F. (2010). Evaluación comparativa de la calidad del compost producido a partir de diferentes combinaciones de desechos agroindustriales azucareros. Guayaquil-Ecuador: Escuela Superior Politécnica del Litoral.
- Guasco, J. & Jaramillo, M. (2015). Obtención de compost a partir de activadores biológicos. Universidad de Cuenca. Pág.91.
- Hassen, A. (2001). Microbial characterization during the composting of municipal solid waste. United States, United States. *Biores.* pp. 217–225.

- Holdridge, L. (1982). Ecología, basado en zonas de vida. Trad. por Humberto Jiménez. Costa Rica, IICA. 216 p.
- Infoagro. (2017). El compostaje. agosto 09, de 2021, sitio web: 017. Disponible en: <http://www.lombricultura.cl/lombricultura.cl/userfiles/file/Compostaje.pdf>
- Jácome, G. (2013). Elaboración de compost utilizando cabello humano y aplicando dos fuentes de microorganismos: Microorganismos Eficientes (EM) y *Trichoderma sp*, como agentes aceleradores de compostaje. Pág.72-73.
- Jaramillo, G. (2008). Aprovechamiento de los residuos sólidos orgánicos en Colombia. Disponible en: <https://bibliotecadigital.udea.edu.co/bitstream/10495/45/1/AprovechamientoRSOUenColombia.pdf>
- Libreros, D. (2012). Compostaje de residuos industriales en Colombia. Scielo. vol. 28, pp. 13-14.
- Lopez, W. (2010). Estudio del uso de residuos industriales no peligrosos a través del proceso de compostaje y su aplicación para el cultivo de maíz y frijol. Centro de investigación en biotecnología aplicada Tlaxcala. México.
- Madejón, E. (2002). New approaches to establish optimal moisture content for compostable materials. Biores. Technol., 85: 73-78.
- Marquéz, P., Díaz, M., y Cabrera, F. (2003). Factores que afectan al proceso de Compostaje. diciembre 09, de 2021, sitio web: <http://digital.csic.es/bitstream/10261/20837/3/Factores%20que%20afectan%20al%20proceso%20de%20compostaje.pdf>
- Michel, F., Pecchia, J. & Rigot, J. (2004). Loss of mass and nutrients during composting of dairry manure amended with sawdust or straw. compost Sci.Util, 323 -334. p. 52.
- Puerta S. (2004). Los residuos sólidos municipales como acondicionadores de suelo. Revista Lasallista de Investigación. vol. 1, n°. 001: pp. 56- 65.

- Rivas, N y Silva, R. (2020). Calidad física y química de tres compost, elaborados con residuos de jardinería y pergamino de café. *Revista Ciencia UNEMI* Vol. 13. pág. 87- 100.
- Román, P., Martínez, M., Pantoja, A. (2013). Manual de compostaje del agricultor. Experiencias en América Latina. Santiago de Chile. septiembre 29, de 2021, sitio web: <https://www.redalyc.org/pdf/467/46790303.pdf>
- Sáez. A. (2000). Métodos para mejorar la calidad del compost de la fracción orgánica de los residuos sólidos. Universidad Politécnica de Madrid. pág. 130.
- Sánchez, M & Monedero, A. (2001). Nitrogen transformation during composting of organic waste by the Rutgers system and its effects on pH, EC and maturity of composting mixtures. *Biores. Technol.*, 78 (3): 301-308.
- Sepúlveda, L; Alvarado J. (2013). Manual de compostaje. Litografía Nicolás Aristizabal. Medellín, Colombia 88 p.
- Soriano J, (2016). Tiempo y calidad del compost con aplicación de tres dosis de microorganismos eficaces- Concepción (tesis de pre grado) Universidad Nacional del Centro del Perú, Facultad de Ciencias Forestales y del Ambiente, Huancayo-Perú.
- Soto, G. (2003). Abonos orgánicos: definiciones y procesos. In: Memoria del curso sobre abonos orgánicos: Principios, aplicaciones e impacto en la agricultura. San José, Costa Rica. p. 20-49.
- Su, P., Tan, X., Li, C. (2017). The photosynthetic bacterium *Rhodospseudomonas palustris* GJ-22 induces systemic resistance against viruses. *Microbial biotechnology*, 10 (3): 612-624.
- Sundberg, C. (2004). Low pH as an inhibiting factor in the transition from mesophilic to thermophilic phase in composting. *Biores. Technol.*, 95 (2): 145-150.
- Smars S., Gustafsson L., Friis B. (2002). Improvement of the composting time for household waste during an initial low pH phase by mesophilic temperature control. *Bioresource Technology*, volumen 84 (número 3), 2002: 237-241.

- Stentiford, E., y Bertoldi M. (2010). Composting process, en: Christensen T., *Solid Waste Technology & Management*, 1^{ra} ed., United Kingdom, Blackwell Publishin. pp 515-532.
- Vilcahuaman, J. (2016). Time And Quality Of The Compost With Application Of Three Doses Of "Effective Microorganisms"- Conception. Peru. p. 54.
- Vurukonda, S., Giovanardi, D., Stefan, E. (2018). Activity promoting plant growth and biocontrol of *Streptomyces* spp. as endophytes. *International Journal of Molecular Sciences*, 19 (4): 952.
- Widman, A., Herrera, R., & Cabañas, V. (2005). El uso de composta proveniente de residuos sólidos municipales como mejorador de suelos para cultivos en Yucatán. *Ingeniería*. diciembre 28, de 2021, sitio web: <https://www.redalyc.org/pdf/467/46790303.pdf>
- Yang, Z., Jiang, Z., Liu, R. (2017). Evaluation of the impact of wood decay fungi on the modulus of elasticity of cut pine (*Pinus elliottii*) by non-destructive stress wave testing. *International Biodeterioration and Biodegradation*, 117: 123-127.

11. ANEXOS

Anexo 1. Tablas de recolección de datos

Tabla 13. Datos de Temperatura durante el proceso de compostaje

Semanas	Testigo					Microcompostic					Trichotic					Microspore				
	T0	T0	T0	T0	Promedio	T1	T1	T1	T1	Promedio	T2	T2	T2	T2	Promedio	T3	T3	T2	T3	Promedio
	A	B	C	D	°C	A	B	C	D	°C	A	B	C	D	°C	A	B	C	D	°C
1	17,6	22,1	20,9	20,5	20,2	21,1	25,3	23,1	24,9	23,6	19,6	21,7	22,6	24,5	22,1	22,8	23,8	23,0	27,2	24,2
2	23,7	21,1	21,7	22,0	22,1	26,6	33,8	27,2	35,3	30,7	24,2	26,3	28,7	29,4	27,1	26,4	31,7	27,8	34,5	30,1
3	23,6	26,6	27,1	24,6	25,5	37,7	43,1	33,7	42,0	39,1	28,8	31,4	32,1	33,6	31,5	33,1	39,2	31,8	40,5	36,1
4	27,7	30,3	28,2	28,8	28,7	53,9	55,5	37,8	52,5	49,9	33,0	36,9	38,3	42,0	37,6	44,5	44,9	36,0	56,3	45,4
5	31,9	29,7	33,0	34,5	32,3	60,2	62,2	48,7	62,9	58,5	43,4	42,2	45,0	49,6	45,0	53,8	55,8	44,9	65,5	55,0
6	29,3	28,0	31,3	33,0	30,4	57,2	62,4	58,5	64,6	60,7	49,5	50,6	54,4	54,6	52,3	62,6	65,5	53,7	64,8	61,7
7	31,8	26,1	25,6	27,6	27,8	40,5	56,8	61,0	58,9	54,3	55,7	52,9	54,7	56,4	55,0	58,6	62,4	63,4	60,6	61,3
8	28,8	23,4	26,3	26,4	26,2	27,3	49,5	58,8	53,2	47,2	52,4	51,9	49,2	50,3	50,9	54,1	55,4	61,8	55,7	56,7
9	26,9	25,0	23,3	23,5	24,7	22,8	36,8	49,3	46,9	39,0	51,3	46,5	43,2	47,3	47,1	50,8	50,6	56,2	51,1	52,2
10	25,3	23,1	28,4	26,7	25,9	22,5	27,1	43,2	41,7	33,6	46,1	39,1	39,1	43,3	41,9	47,5	42,6	50,9	46,9	47,0
11	27,6	26,5	25,9	29,3	27,3	19,7	22,9	36,5	36,9	29,0	41,1	33,7	35,2	38,9	37,2	43,9	38,7	45,5	40,5	38,6
12	23,3	23,8	26,8	23,6	24,4	20,5	23,8	27,0	29,0	25,1	35,8	28,0	28,4	36,1	32,1	36,8	33,4	39,5	36,4	29,6
13	25,4	22,2	25,6	23,6	24,2	22,2	23,2	23,5	26,6	23,9	30,5	25,6	28,0	32,4	29,1	30,9	29,1	35,0	32,5	25,5
14	25,6	23,2	23,3	19,9	23,0	23,2	23,9	24,0	25,8	24,2	28,3	23,2	25,6	29,8	24,7	27,4	26,4	29,8	29,8	19,9
15	25,5	22,8	23,4	19,2	22,7	23,3	23,6	23,8	24,0	23,7	25,2	22,1	22,9	27,2	22,1	22,5	23,4	24,0	25,4	20,8
16	22,7	21,7	21,0	22,5	22,0	24,3	21,9	22,2	23,4	22,9	23,4	23,2	20,8	22,4	21,3	21,4	22,9	23,5	24,4	21,1
17	23,0	21,5	21,9	22,2	22,2	22,5	24,1	23,4	24,9	23,7	23,5	21,5	20,5	19,5	20,1	19,5	19,5	20,3	23,2	20,7
18	19,0	22,8	22,8	21,9	21,6	21,3	23,3	22,6	23,5	22,7	21,4	22,8	22,7	21,9	20,8	20,0	22,1	21,6	23,5	19,7
19	21,7	24,3	22,2	24,8	23,2	22,8	23,1	19,8	21,2	21,7	20,3	20,7	19,7	20,0	20,2	19,2	21,6	18,9	21,8	20,4

Tabla 14. Datos de Humedad durante el proceso de compostaje.

Semanas	Testigo				Microcompostic					Trichotic					Microspore					
	T0	T0	T0	T0	Promedio %	T1	T1	T1	T1	Promedio %	T2	T2	T2	T2	Promedio %	T3	T3	T3	T3	Promedio %
	A	B	C	D		A	B	C	D		A	B	C	D		A	B	C	D	
1	71	71	69	70	70	70	71	69	71	70	70	73	67	68	69	69	71	66	73	70
2	66	68	64	63	65	69	67	66	69	68	64	69	65	62	65	64	68	63	66	65
3	62	64	61	59	61	65	62	65	66	65	59	66	63	58	62	58	65	59	63	61
4	58	63	57	53	58	60	58	59	63	60	57	62	59	53	58	52	61	55	60	57
5	61	62	52	48	56	59	52	55	61	57	53	60	57	50	55	49	58	51	55	53
6	58	58	48	43	52	57	50	52	58	54	49	55	53	47	51	44	58	45	52	50
7	57	54	43	47	50	56	47	49	57	52	44	51	48	41	46	53	53	42	48	49
8	51	48	54	60	53	51	43	44	55	48	47	50	45	53	49	55	50	45	43	48
9	45	44	59	54	51	42	53	40	49	46	62	45	41	58	51	50	44	55	47	49
10	62	48	55	51	54	61	57	67	43	57	58	53	64	54	57	47	62	50	57	54
11	56	59	52	47	54	60	54	62	53	57	54	57	60	48	55	42	59	44	54	50
12	51	57	49	42	50	56	51	58	55	55	50	52	58	44	51	54	57	54	49	54
13	47	54	45	54	50	52	48	53	50	51	48	49	53	39	47	59	53	55	44	53
14	47	50	41	58	49	47	45	49	47	47	43	46	50	63	51	55	50	51	42	50
15	57	47	50	53	52	42	42	45	44	43	49	42	47	56	49	50	48	47	39	46
16	50	42	53	52	49	55	50	42	46	48	50	49	43	52	49	48	45	42	53	47
17	47	57	48	45	49	51	46	38	51	47	47	51	40	45	46	45	42	39	48	44
18	42	52	42	41	44	47	41	35	45	42	43	47	37	44	43	42	39	37	42	40
19	40	46	40	38	41	43	38	33	41	39	41	43	34	39	39	39	37	36	40	38

Tabla 15. Datos de pH durante el proceso de compostaje.

Semanas	Testigo					Microcompostic					Trichotic					Microspore				
	T0	T0	T0	T0	Promedio	T1	T1	T1	T1	Promedio	T2	T2	T2	T2	Promedio	T3	T3	T3	T3	Promedio
	A	B	C	D		A	B	C	D		A	B	C	D		A	B	C	D	
1	6,6	6,7	6,5	7,1	6,7	6,3	7,3	7,3	6,3	6,8	6,8	6,4	7,3	6,8	6,8	6,9	6,2	6,5	7,4	6,7
2	7,2	7,5	7,2	7,9	7,5	6,1	7,8	7,8	7,2	7,2	7,8	7,2	7,1	7,4	7,4	7,7	7,2	7,5	7,0	7,4
3	7,7	7,6	7,7	7,4	7,6	6,2	6,9	7,3	7,4	7,0	8,0	8,0	7,8	7,2	7,8	7,5	7,7	7,9	6,8	7,5
4	7,2	7,2	7,1	7,0	7,2	5,6	6,1	7,0	7,0	6,4	7,3	7,4	7,4	7,0	7,3	7,0	7,2	7,2	7,0	7,1
5	7,2	7,7	7,6	6,8	7,3	6,0	6,1	6,9	6,5	6,4	7,0	7,8	7,1	6,3	7,1	6,5	6,8	6,9	6,4	6,6
6	7,1	7,9	8,0	7,0	7,5	5,8	5,3	6,3	6,2	5,9	7,2	6,8	7,2	6,2	6,9	6,0	6,7	6,5	6,1	6,3
7	7,5	7,9	7,6	7,4	7,6	6,3	5,4	6,9	6,9	6,4	6,8	7,0	7,1	6,6	6,9	5,3	6,2	6,2	5,4	5,8
8	7,1	7,5	6,9	7,1	7,2	6,2	5,9	6,5	6,9	6,4	7,0	7,2	6,7	7,2	7,0	5,4	6,8	5,7	5,7	5,9
9	7,4	7,3	7,4	7,3	7,3	6,8	6,5	6,5	7,0	6,7	6,9	7,4	7,0	7,5	7,2	6,1	7,1	6,4	6,1	6,5
10	7,4	7,7	7,3	7,3	7,4	7,4	7,2	7,3	7,6	7,4	7,7	7,8	7,5	7,6	7,6	6,7	7,2	7,2	6,6	6,9
11	7,6	7,2	7,5	7,2	7,3	7,7	7,3	7,9	7,8	7,7	7,5	8,3	7,4	7,9	7,8	7,5	7,8	7,7	7,1	7,5
12	7,2	7,4	7,7	7,4	7,4	8,1	7,3	7,7	7,7	7,7	7,9	7,7	7,4	7,7	7,7	8,3	7,9	7,3	7,2	7,7
13	7,3	7,2	8,0	6,9	7,3	7,8	8,2	7,1	7,2	7,6	7,5	7,2	7,2	7,5	7,3	7,9	8,0	7,6	7,2	7,7
14	7,3	6,9	7,8	7,2	7,3	6,9	8,1	7,3	7,5	7,5	6,7	7,6	7,7	7,7	7,4	7,6	7,4	7,4	7,5	7,5
15	7,2	7,1	7,4	7,6	7,3	7,2	7,9	7,0	7,3	7,4	7,2	7,4	7,7	8,2	7,6	7,4	7,4	7,9	7,4	7,5
16	6,9	7,5	7,5	7,5	7,3	8,0	7,4	6,8	7,7	7,5	8,0	6,9	7,2	7,8	7,5	7,5	7,1	7,3	7,9	7,5
17	8,1	7,1	7,6	7,6	7,6	7,6	7,5	7,4	7,4	7,5	8,2	7,3	7,6	7,4	7,6	7,3	7,5	7,7	7,7	7,6
18	7,3	7,2	7,8	7,2	7,4	7,1	7,5	7,9	7,0	7,4	7,5	7,0	7,1	7,8	7,4	7,5	7,6	7,1	7,6	7,5
19	7,5	7,5	7,4	7,1	7,4	7,0	7,8	7,2	7,3	7,3	8,0	7,6	7,6	8,0	7,8	7,8	7,7	7,4	7,3	7,6

Tabla 16. Datos de la temperatura ambiental de AccuWeather

Semanas	Mañana	Tarde	Noche	Promedio °C
1	20,4	17,3	18,9	18,9
2	20,7	15,1	16,0	17,3
3	14,6	17,2	18,3	16,7
4	16,8	13,0	12,9	14,2
5	18,1	21,4	17,9	19,1
6	20,0	21,9	16,4	19,4
7	21,7	21,3	21,8	21,6
8	13,5	18,2	12,7	14,8
9	21,1	15,0	15,7	17,3
10	18,4	20,3	19,7	19,5
11	19,1	22,0	22,5	21,2
12	22,3	20,8	22,4	21,8
13	20,0	17,2	15,6	17,6
14	20,5	19,4	19,3	19,7
15	20,0	20,2	20,4	20,2
16	20,7	20,0	15,9	18,9
17	22,3	18,2	22,3	20,9
18	21,8	22,4	19,8	21,3
19	21,1			21,1

Anexo 2. Tablas de ANOVA, contrastes ortogonales y Test de Tukey al 95 %.

Tabla 17. Análisis de varianza del parámetro físico de temperatura.

F.V.	SC	gl	CM	F	p-value
Modelo	6862,25	3	2287,42	16,20	<0,0001
Tratamientos	6862,25	3	2287,42	16,20	<0,0001
Error	42358,82	300	141,20		
Total	49221,07	303			

Tabla 18. Contrastes ortogonales para la temperatura entre tratamientos.

Treatments	Contrast	E.E.	SC	gl	CM	F	p-value
T0 vs T1-T2-T3	6,42	4,72	260,69	1	260,69	1,85	0,1752
T1 vs T2-T3	16,63	3,34	3503,72	1	3503,72	24,81	<0,0001
T2 vs T3	-9,03	1,93	3097,83	1	3097,83	21,94	<0,0001
Total			6862,25	3	2287,42	16,20	<0,0001

Tabla 19. Medias de temperatura °C mediante el Test de Tukey al 95 % de significancia.

Treatments	Mesophyll means	Thermophyll means	Mesophyll means II	Maduration means
Testigo	25,27 c	-	-	22,44 a
Microcompostic	35,84 a	55,17 ab	33,86 a	23,49 a
Trichotic	29,57 bc	50,06 b	33,60 a	21,92 a
Microspore	32,48 ab	55,63 a	36,85 a	23,00 a

Medias con una letra común no son significativamente diferentes ($p > 0,05$)

Tabla 20. Análisis de varianza para el parámetro físico de Humedad.

F.V.	SC	gl	CM	F	p-value
Modelo	134,38	3	44,79	0,58	0,6265
Tratamientos	134,38	3	44,79	0,58	0,6265
Error	23042,04	300	76,81		
Total	23176,42	303			

Tabla 21. Contrastes ortogonales para la Humedad % entre tratamientos.

Treatments	Contrast	E.E.	SC	gl	CM	F	p-value
T0 vs T1-T2-T3	2,17	3,48	29,85	1	29,85	0,39	0,5335
T1 vs T2-T3	-2,45	2,46	75,87	1	75,87	0,99	0,3211
T2 vs T3	0,87	1,42	28,66	1	28,66	0,37	0,5418
Total			134,38	3	44,79	0,58	0,6265

Tabla 22. Medias de Humedad % mediante el Test de Tukey al 95 % de significancia.

Treatments	Means initial humidity	Means final humidity
Testigo	57,03 a	48,64 a
Microcompostic	57,70 a	47,64 a
Trichotic	56,33 a	47,58 a
Microspore	55,65 a	46,67 a

Medias con una letra común no son significativamente diferentes ($p > 0,05$)

Tabla 23. Análisis de varianza para el parámetro físico de pH

F.V.	SC	gl	CM	F	p-value	Modelo
6,61	3	2,20	7,31	0,0001	Tratamientos	6,61 3
2,20	7,31	0,0001	Error	90,48	300	0,30
Total	97,09	303				

Tabla 24. Contrastes ortogonales para el pH entre tratamientos.

Treatments	Contrast	E.E.	SC	gl	CM	F	p-value
T0 vs T1-T2-T3	-0,65	0,22	2,67	1	2,67	8,84	0,0032
T1 vs T2-T3	-0,56	0,15	3,94	1	3,94	13,07	0,0004
T2 VS T3	-0,01	0,09	0,01	1	0,01	0,02	0,8827
Total			6,61	3	2,20	7,31	0,0001

Tabla 25. Medias de pH mediante el Test de Tukey al 95 % de significancia.

Treatments	Means initial pH	Means thermophyll pH	Means final pH
Testigo	7,33 a	-	7,39 a
Microcompostic	6,85 b	6,28 b	7,41 a
Trichotic	7,31 a	7,00 a	7,58 a
Microspore	7,17 ab	6,33 b	7,54 a

Medias con una letra común no son significativamente diferentes ($p > 0,05$)

Tabla 26. Análisis de varianza de los pesos de compost obtenido.

F.V.	SC	gl	CM	F	p-value
Modelo	56,86	3	18,95	48,75	<0,0001
Tratamientos	56,86	3	18,95	48,75	0,0003
Error	4,66	12	0,39		<0,0001
Total	61,52	15			0,0001

Tabla 27. Contrastes ortogonales para el compost obtenido entre tratamientos.

Treatments	Contrast	E.E.	SC	gl	CM	F	p-value
T0 vs T1-T2-T3	-24,08	0,54	772,81	1	772,8	1987,93	<0,0001
T1 vs T2-T3	3,90	0,76	10,14	1	10,14	26,08	0,0003
T2 VS T3	-14,75	0,44	435,13	1	435,13	1119,29	<0,0001
Total			391,47	2	391,47	1007,01	<0,0001

Tabla 28. Medias de compost obtenido kg mediante el Test de Tukey al 95 % de significancia.

Treatments	Mean	n	E.E	
Microcompostic	9,33	4	0,31	A
Microspore	8,70	4	0,31	A
Testigo	6,05	4	0,31	B
Trichotic	4,73	4	0,31	C

Medias con una letra común no son significativamente diferentes ($p > 0,05$)

Anexo 3. Resumen de los pesos promedios del material compostado

Tabla 29. Pesos promedio del compost

Código	Tratamientos	Peso Inicial composteras (kg)	Peso Final Residuos (kg)	Peso tierra de Jardín (kg)	Peso de residuos sin compostar (kg)	Peso de material compostado (kg)	Promedio compost obtenido (kg)
T0 A	Testigo	31	25,6	10	11,3	4,3	
T0 B	Testigo	31	24,8	10	10,2	4,6	
T0 C	Testigo	31	24,7	10	9,6	5,1	4,7
T0 D	Testigo	31	25,2	10	10,3	4,9	
T1 A	Microcompostic	31	21,8	10	3	8,8	
T1 B	Microcompostic	31	20,7	10	1,8	8,9	
T1 C	Microcompostic	31	21,8	10	2,1	9,7	9,3
T1 D	Microcompostic	31	22,8	10	2,9	9,9	
T2 A	Trichotic	31	22,3	10	5,1	7,2	
T2 B	Trichotic	31	23,2	10	6,7	6,5	
T2 C	Trichotic	31	23,1	10	7,8	5,3	6,1
T2 D	Trichotic	31	22,2	10	7	5,2	
T3 A	Microspore	31	21,1	10	2,4	8,7	
T3 B	Microspore	31	20,1	10	2	8,1	
T3 C	Microspore	31	21,7	10	2,8	8,9	8,7
T3 D	Microspore	31	19,8	10	0,7	9,1	

Anexo 4. Análisis químico del compost

Figura 10. Análisis químico de la composición nutricional del compost N-P-K



ESTACIÓN EXPERIMENTAL DEL LITORAL SUR
"DR. ENRIQUE AMPUERO PAREJA"
LABORATORIO DE SUELOS, TEJIDOS VEGETALES Y AGUAS
Km. 26 Vía Durán - Tambo Apdo. Postal 09-01-7069 Yaguachi - Guayas - Ecuador
Teléfono: 042724260 - 042724119 e-mail: lab_suelos_eels@iniap.gob.ec

LABORATORIO DE ENSAYO
ACREDITADO POR EL SAE
N°OAE LE C 11-007

INFORME DE ANALISIS DE SUELOS

DATOS DEL PROPIETARIO		DATOS DE LA PROPIEDAD		DATOS DE LA MUESTRA			
Nombre :	ENRIK DANIEL NOROÑA RIVERA	Nombre :	SVN	Informe No. :	00731	Factura No. :	8714
Dirección :	NE	Provincia :	LOJA	Responsable Muestreo :	Cliente	Fecha Análisis :	16/11/2021
Ciudad :	LOJA	Cantón :	LOJA	Fecha Muestreo :	10/11/2021	Fecha Emisión :	17/11/2021
Teléfono :	NE	Parroquia :	LOJA	Fecha Ingreso :	11/11/2021	Fecha Impresión :	23/11/2021
Fax :	NE	Ubicación :	BARRIO BELEN AV. LA HABANA	Condiciones Ambientales :	T°C: 23.0 %H: 57.0	Cultivo Actual :	VACIO

N° Laborat.	Identificación del Lote	pH	%												
			* N	* P	K	* Ca	* Mg	* S	* Zn	Cu	* Fe	* Mn	* B	* Cl	
74696	MUESTRA 0 (T)	6.5 LAc	0.74 B	1.10 A	0.97 B										
74697	MUESTRA 1 (M)	7.1 PN	1.86 A	1.49 A	1.10 A										
74698	MUESTRA 2 (T)	6.9 PN	1.26 A	1.19 A	1.04 A										
74699	MUESTRA 3 (M)	6.8 PN	1.73 A	1.27 A	1.16 A										

Interpretación	pH	
Nitro, P, K, Ca, Mg, S	MdL = Muy Acido	N = Neutro
Zn, Cu, Fe, Mn, B, Cl	Ac = Acido	LAc = Lig. Alcalino
	MdAc = Med. Acido	NuN = Mod. Alcalino
	LAc = Lig. Acido	Al = Alcalino
	FV = Frac. Acidos	RC = Requiere Cal

Determinación	Metodología	Extractante
Nitro, P	Colorimetrica	Clorof.
K, Ca, Mg	Absorción	Modificado
Zn, Cu, Fe, Mn	Absorción	pH 8.5
S	Turbidimetrica	Fuente de Ca
B	Colorimetrica	Mononitroso
Cl	Volúmetrica	Punto Saturado
pH	Potenciometrica	Suero agua (1:2.5)

Niveles de Referencia Optimos					
Mg/L (mg/ml)					
Nitro	20 - 80	Mg	40.0 - 80	Fe	25 - 40
P	10 - 20	S	12 - 24	Mn	5 - 15
K	75 - 150	Zn	3.0 - 7.0	B	1.0 - 2.0
Ca	200 - 600	Cu	1.0 - 4.0	Cl	6 - 8

DIANA MARGARITA ACOSTA JARAMILLO

Responsable Técnico del Laboratorio

Vgs. Diana Acosta J.

Figura 11. Análisis químico de materia orgánica



INIAP
Instituto Nacional de Investigaciones Agropecuarias

ESTACIÓN EXPERIMENTAL DEL LITORAL SUR
"DR. ENRIQUE AMPUERO PAREJA"
LABORATORIO DE SUELOS, TEJIDOS VEGETALES Y AGUAS
Km. 26 Vía Durán - Tambo Apdo. Postal 09-01-7069 Yaguachi - Guayas - Ecuador
Teléfono: 042724260 - 042724119 e-mail: lab_suelos_eels@iniap.gob.ec

LABORATORIO DE ENSAYO
ACREDITADO POR EL SAE
N°OAE LE C 11-007

INFORME DE ANALISIS DE SUELOS

DATOS DEL PROPIETARIO		DATOS DE LA PROPIEDAD		DATOS DE LA MUESTRA			
Nombre :	<u>ERICK DANIEL NOBOA RIVERA</u>	Nombre :	<u>SN</u>	Informe No. :	00731	Factura No. :	8714
Dirección :	<u>NE</u>	Provincia :	<u>LOJA</u>	Responsable Muestreo :	Cliente	Fecha Análisis :	16/11/2021
Ciudad :	<u>LOJA</u>	Cantón :	<u>LOJA</u>	Fecha Muestreo :	<u>10/11/2021</u>	Fecha Emisión :	17/11/2021
Teléfono :	<u>NE</u>	Parroquia :	<u>LOJA</u>	Fecha Ingreso :	11/11/2021	Fecha Impresión :	23/11/2021
Fax :	<u>NE</u>	Ubicación :	<u>BARRIO BELEN AV. LA HABANA</u>	Condiciones Ambientales :	T°C:23.0 %H: 57.0	Cultivo Actual :	<u>VACIO</u>

N° Laborat.	Identificación	* Textura (%)			* Clase Textural	meg/100ml			mS/cm	(*)	meg/100ml			Ca	Mg	Ca+Mg	
		Arena	Limo	Arcilla		* Al+H	* Al	* Na			C.E.	* M.O.	K	* Ca	* Mg	± Bases	Mg
74696	MUESTRA 0 (T)																
74697	MUESTRA 1 (M)									17.25	B						
74698	MUESTRA 2 (T)									31.32	A						
74699	MUESTRA 3 (M)									26.90	A						
										30.45	A						

Interpretación		C.E.
Al, A, Na		
Al = Adecuado	NS = No Salino	
LT = Ligero Toxic	L3 = Lig Salino	
T = Toxic	S = Salino	
	MS = Muy Salino	

Abreviatura
C.E. Conductividad Eléctrica
M.O. Materia Orgánica
CIC. Capacidad de Intercambio Catiónico

Determinación	Metodología	Referencia
H.C.	Walkley Black	Unicoma de A.
CIC		Acatate de Areano
Na		Correa et al. Baso
C.E.	Extracción de pasta saturada	Agua

Log. Toxic (mg/100ml)	Log. Salino (dSm)	Niveles de Referencia		
		Medio	Medio (mg/100ml)	
Al + H 0.50 - 1.0	C.E. 2.5 - 3.0	CaMg 0.0 - 0.0	K 0.2 - 0.4	
Al 0.50 - 1.0	Medio (%)	MgK 0.0 - 0.0	Ca 1 - 3	
Na 1.0 - 2.0	M.O. 1.0 - 2.0	(Ca+Mg)/K 12.5 - 50.0	Mg 0 - 1	

DIANA
MARGARITA
ACOSTA
JARAMILLO

Responsable Técnico del Laboratorio

Mgs. Diana Acosta J.

NE = No entregado

<LC = Menor al Límite de Cuantificación
Los resultados emitidos en este informe, corresponden únicamente a la(s) muestra(s) sometida(s) al ensayo
Los ensayos marcados con (*) no están incluidos en el alcance de acreditación solicitado al SAE
Las opiniones, interpretaciones, etc. que se indican a continuación, están fuera del alcance de acreditación solicitado al SAE
** Ensayo subcorrelado
Se prohíbe la reproducción parcial, si se va a copiar que sea en su totalidad
Los datos marcados con cursiva y subrayados son proporcionados por el cliente

Anexo 5. Panel fotográfico



Figura 12. Instalación de composteras



Figura 13. Recolección de residuos orgánicos



Figura 14. Picado manual de los residuos orgánicos



Figura 15. Formulaciones de microorganismos eficientes



Figura 16. Agregado de tierra de jardín



Figura 17. Agregado de la materia orgánica vegetal



Figura 18. Agregado de la materia seca (hojarasca de aguacate)



Figura 19. Activación de los microorganismos eficientes



Figura 20. Inoculación de las diferentes formulaciones de EM.



Figura 21. Volteos semanales para el control de los parámetros físicos.



Figura 22. Medición de los parámetros físicos: temperatura, humedad y pH.



Figura 23. Pesaje del material compostado



Figura 24. Compost final



Figura 25. Etiquetado para el envío al laboratorio de suelos (INIAP).