

UNIVERSIDAD NACIONAL AGRARIA DE LA SELVA

FACULTAD DE RECURSOS NATURALES RENOVABLES

**DEPARTAMENTO ACADEMICO DE CIENCIA EN CONSERVACION DE
SUELOS Y AGUA**



EFFECTO EN LA APLICACIÓN DE MICROORGANISMOS

PARA LA TRANSFORMACIÓN DE DESECHOS

ORGÁNICOS EN COMPOST EN EL DISTRITO DE

NARANJILLO-MAPRESA

**TESIS PARA OPTAR EL TÍTULO PROFESIONAL DE
INGENIERO EN CONSERVACIÓN DE SUELOS Y AGUA**

Presentado por:

EVELYN ANGELA HUAMAN ALVARADO

Tingo

María- Perú

2015



T
CSA

Huamán Alvarado, Evelyn Angela

Efecto en la aplicación de microorganismos para la transformación de desechos orgánicos en compost en el Distrito de Naranjillo – Mapresa.

90 páginas; 30 cuadros; 41 figuras; 23 ref.; 30 cm.

Tesis (Ing. en Conservación de Suelos y Agua) Universidad Nacional Agraria de la Selva, Tingo María (Perú). Facultad de Recursos Naturales Renovables.

1. MICROORGANISMO EFICIENTES
- 2....BACTERIAS FOTOSINTÉTICAS
3. BACTERIAS ÁCIDOLÁCTICAS
- 4.'...HONGOS Y ACTINOMICETOS
5. COMPOSTAJE



UNIVERSIDAD NACIONAL AGRARIA DE LA SELVA
Tingo María – Perú



FACULTAD DE RECURSOS NATURALES RENOVABLES

ACTA DE SUSTENTACIÓN DE TESIS

Los que suscriben, Miembros del Jurado de Tesis, reunidos con fecha 30 de octubre de 2015, a horas 7:30 p.m. en el Gabinete de Meteorología del Departamento Académico de Ciencias en Conservación de Suelos y Agua, para calificar la Tesis titulada:

“EFECTO EN LA APLICACIÓN DE MICROORGANISMOS PARA LA TRANSFORMACIÓN DE DESECHOS ORGÁNICOS EN COMPOST EN EL DISTRITO DE NARANJILLO - MAPRESA”

Presentado por la Bachiller: **EVELYN ANGELA HUAMAN ALVARADO**, después de haber escuchado la sustentación y las respuestas a las interrogantes formuladas por el Jurado, se declara aprobado con el calificativo de **“MUY BUENO”**

En consecuencia, la sustentante queda apta para optar el Título de **INGENIERO EN CONSERVACIÓN DE SUELOS Y AGUA**, que será aprobado por el Consejo de Facultad, tramitándolo al Consejo Universitario para la otorgación del Título correspondiente.

Tingo María, 11 de diciembre de 2015.


Dr. CÉSAR SAMUEL LÓPEZ LÓPEZ
PRESIDENTE




Ing. Mg. WILFREDO ALVA VALDIVIEZO
VOCAL


Ing. JAIME TORRES GARCÍA
VOCAL


Ing. M.Sc. LUCIO MANRIQUE DE LARA SUÁREZ
ASESOR

DEDICATORIA

A DIOS por ser mi guía y camino en momentos adversos, y por dotarme del mejor regalo: MI FAMILIA.

A mí queridos abuelos

A mi querida abuela Ana Gómez Condeso y a mí querido abuelo Lorenzo Tejeda Puente que siempre me aconsejaron a cumplir con mis metas y mis sueños aunque ya no estén conmigo físicamente lo están en mi corazón les dedico es tesis en memoria de ellos.

A mis familiares

A mi madre Bertha Alvarado Gómez, mi padre Julio Huamán Dipáz a mis queridos tíos Francisca, Abelito, Martha, Enrique, Carmen y Aurelio que los motores de mi esfuerzo y su amor me impulsó a terminar la carrera.

AGRADECIMIENTOS

A la Universidad Nacional Agraria de la Selva por la formación académica profesional que me brindó en sus aulas.

Al Ing. MSc. LUCIO MANRIQUE DE LARA SUAREZ ; mi asesor, sobre todo un gran amigo, que gracias a sus consejos, paciencia, sabiduría y su invaluable apoyo incondicional tanto en campo y gabinete, permitió en mí que el trabajo llegase al objetivo alcanzado que es la elaboración y/o ejecución de mi tesis.

Al Ing. ORDOÑEZ GÓMEZ ELIZABETH; por sus enseñanzas e invaluable apoyo incondicional en la ejecución de la tesis docente de la facultad de industrias alimentarias.

Al Dr. CESAR LÓPEZ LÓPEZ, mi presidente de mi tesis por todo su valioso apoyo brindado, enseñanza, dedicación y apreciable amistad y apoyo en la culminación de mi carrera profesional profesor de la Facultad de Recursos Naturales.

Al Ing. M.Sc NELINO FLORIDA ROFNER, mi miembro de investigación de la Facultad de Recursos Naturales Renovables por su valioso apoyo brindado, enseñanza, como egresado en la Facultad de Recursos Naturales.

Al Ing. JAIME TORRES GARCÍA; por todo su valioso apoyo brindado, enseñanza, dedicación y apreciable amistad como egresado en la Facultad de Recursos Naturales.

Al Ing. MSC. WILFREDO ALVA VALDIVIEZO; mi jurado y mi asesor de mi primera práctica pre profesional, que no solamente con su apoyo, sino también con su amistad brindada, enseñanza y dedicación como guía formador de profesionales egresados en la Facultad de Recursos Naturales.

Al Ing. Richard Sias Rodríguez, por ser un gran amigo, gracias por su apoyo y paciencia incondicional en los análisis de laboratorio de microbiología.

Al señor Zósimo Pujay por ser un gran amigo por su apoyo incondicional en los análisis de suelos.

A mis amigos de la compañía de bomberos de Tingo María: Teniente Mario Franco Medina, Teniente Moisés Porta Trinidad, Sub Teniente Vitmer Álvarez Sánchez, a los seccionarios Jean Pierre Dextre Acuña, Jean Marco Berrio Basualdo, Carlos Corsino Córdova, Luis Ángel Huachua Duran, Gerardo Flores Campos, Bryan Sajami Saldaña y Herbert Lindenberg Artega por su apreciable amistad y apoyo en todo momento.

Amigas de la iglesia Gabriela Huarcaya Rivera, Jheisy Chate Hilario, Dina Aguilar Cubas y a la pastora Gladys Alvarado por su amistad y su apoyo incondicionales en todo momento.

A mis amigos y compañeros de la Universidad Nacional Agraria de la Selva: Juana Egoavil Calero, Janeth Maribel Díaz Paredes, Claudia León Vega, Luzmila Herrera Jaramillo, Maydy Calliri Ahuashi, Lucia Gutiérrez Torre, Jairo Honorio Villanueva, Xiomara Carhuapoma Horna, Sherly Tacuri Aspajo, Carmen Rosa Rolando Colquier, Janina Marín Rengifo entre otros.

A los docentes de la Facultad de Recursos Naturales Renovables por haber sido los forjadores para mi formación profesional. Y a todas las personas que de alguna forma influyeron en mi formación profesional y en la realización de este trabajo de investigación ya que no alcanzó a recordar y espero que me disculpen.

RESUMEN

El trabajo investigó el “Efecto en la aplicación de microorganismos para acelerar la transformación de desechos orgánicos en compost”, se llevó a cabo en la “Cooperativa Agraria Cafetalera La Divisoria”, ubicado en el caserío de Mapresa, distrito de Padre Felipe Luyando y provincia Leoncio Prado. Sus coordenadas UTM son 390122 m este y 8975297 m norte, altitud de 641 msnm, con el propósito de evaluar el efecto de los microorganismos capturados en un cultivo de café orgánico (P1) y en un bosque de tornillo (P2) aplicados en tres (10 D1, 20 D2 y 30 D3 cc/10 l de agua, respectivamente). Se empleó el diseño experimental de bloques completamente al azar (DBCA) con arreglo factorial 2x 3+1 testigo, con tres repeticiones. Los tratamientos fueron siete, producto de la combinación de los factores en estudio más el testigo que no recibió aplicación de microorganismos. Se efectuó el análisis de variancia (ADEVA), pruebas de significación de Tukey al 5%, para diferenciar entre tratamientos, factor dosis e interacción; pruebas de Diferencia Mínima Significativa al 5% para el factor productos. La aplicación de los microorganismos en la dosis de 30 cc/10 l de agua (D3), causó el mejor efecto en el proceso de descomposición, acelerando el tiempo a la cosecha del compost y obteniéndose mejor calidad en su contenido nutricional, por cuanto los tratamientos que recibieron aplicación de esta dosis reportaron: menor tiempo a la obtención del compost de mejor calidad, obteniéndose en los

tratamientos de éste producto: menor tiempo a la obtención del compost (72,33 días), mayor número de colonias de microorganismos aerobios viables con 340×10^4 y según la enumeración de actinomicetos fue de 450×10^4 y la cantidad de mohos y levaduras fue de 50×10^4 de UFC/gr de muestra, con mejor contenido nutricional, al reportar mayor contenido de fósforo (0.777%) y buen contenido de nitrógeno (1.88%), potasio (2.52%), materia orgánica (35%) y pH (7.77), por lo que es el producto apropiado para acelerar la descomposición de los materiales orgánicos, obteniéndose el compost en menor tiempo, con mejor contenido nutricional.

SUMMARY

The study investigated the "Effect on the application of microorganisms to accelerate the transformation of organic waste into compost," was held at the "Agrarian Coffee Cooperative The Divide", located in the hamlet of Mapresa district of Padre Felipe Luyando and province Leoncio Prado. Its UTM coordinates are 390122 m east and 8975297 north m, altitude of 641 meters, in order to evaluate the effect of microorganisms captured in a growing organic coffee (P1) and a wood screw (P2) applied in three (D1 10, D2 20 and D3 30 cc / 10 l of water, respectively). The block design was used completely at random (DBCA) factorial arrangement witness 2x 3 +1, with three replications. The treatments were seven product of the combination of the factors under study more witness who did not receive the application of microorganisms. Analysis of variance (ANOVA), Tukey tests of significance of 5% was made to differentiate between treatments, dosage and interaction factor; least significant difference test at 5% for the products factor. The application of microorganisms in the dose of 30 ml / 10 l of water (D3), caused the greatest effect on the decomposition process, accelerating time to harvest the compost and obtain better quality in their nutritional content, because the treatments were applied with this dose reported: less time to obtain the best quality compost, obtained in the treatment of this product: less time to obtain the compost (72.33 days), increased number of viable colonies of aerobic

microorganisms with 340×10^4 and as enumerated actinomycete was 450×10^4 and the number of molds and yeasts was 50×10^4 CFU / g of sample, with better nutritional content, reporting higher phosphorus content (0.777%) and good nitrogen content (1.88%), potassium (2.52%), organic material (35%) and pH (7.77), so that the right product is to accelerate decomposition of organic materials, compost obtained in less time, with better nutritional content .

ÍNDICE GENERAL

	Página
I. INTRODUCCION	9
1.1. Objetivos	10
1.1.1. Objetivo general	10
1.1.2. Objetivos específicos.....	10
II. REVISIÓN DE LITERATURA.....	11
2.1. Los microorganismos del suelo.....	11
2.1.1. Importancia.....	11
2.1.2. Taxonomía de los microorganismos	11
2.1.3. Aplicación de los microorganismos del suelo.....	12
2.2. Los microorganismos eficientes (EM)	13
2.2.1. Composición microbiológica de los principales tipos de EM	14
2.2.2. Uso de los microorganismos	17
2.2.3. Reducción de olores	18
2.3. Química y biología del proceso de compostaje.....	18
2.4. Fases del compostaje.....	20
2.4.1. Fase mesófila.	20
2.4.2. Fase termófila o de higienización.	21
2.4.3. Fase de enfriamiento o mesófila II.	22
2.4.4. Fase de maduración.	22
2.5. Factores físicos y químicos en el proceso de compostaje	22
2.5.1. Relación carbono/nitrógeno (C/N).....	24
2.5.2. Temperatura.....	25
2.5.3. Humedad	30
2.5.4. pH	31
2.5.5. Aireación.....	32
2.6. Calidad del compostaje	33

2.7. Sistemas de compostado.....	34
III. MATERIALES Y MÉTODOS	35
3.1. Descripción de la zona de estudio.....	35
3.1.1.Ubicación política	35
3.1.2.Ubicación geográfica	35
3.1.3.Vías de acceso	36
3.2. Materiales	36
3.2.1.Insumos	36
3.3. Metodología.....	36
3.3.1.Características del ensayo	36
3.3.2.Esquema de la disposición del ensayo	37
3.3.3.Recolección de datos	37
3.3.4.Etapas de la investigación	38
3.3.5.Análisis microbiológico y mineralógico del compost	40
3.3.6.Factores en estudio	42
3.3.6.1.Variable independiente	42
3.3.6.2.Indicadores de la variable independiente	42
3.3.7.Diseño experimental	42
3.3.7.1.Ajuste estadístico.....	43
IV. RESULTADOS	44
4.1.Efecto de los microorganismos estudiados en los tratamientos.....	44
4.1.1.Días a la obtención del compost.....	44
4.1.2.Temperatura.....	47
4.1.3.Peso del compost.....	48
4.1.4.Humedad	49
4.1.5.Contenido nutricional.....	51
4.2.Dosis de los productos en estudio y el tiempo requerido	66
4.2.1.Días a la obtención del compost.....	66
4.2.2.Peso del compost.....	69
4.2.3.Humedad	69
4.2.4.Contenido nutricional.....	71
4.3.Análisis microbiológicos	82

4.3.1. Recuento de microorganismos	82
4.3.2. Identificación de mohos y levaduras	82
4.3.3. Análisis de bacterias.....	84
4.3.4. Análisis de bacterias.....	85
V. DISCUSION	86
VI. CONCLUSIONES	91
VII. RECOMENDACIONES	92
VIII. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS	93
IX. ANEXOS.....	96

ÍNDICE DE CUADROS

Cuadro	Página
1. Condiciones deseables durante el proceso de compostaje.	24
2. Prueba de Tukey al 5% para tratamientos en la variable días a la obtención del compost.....	44
3. Prueba de diferencia mínima significativa al 5% para el factor productos en la variable días a la obtención del compost.	46
4. Cuadro de la temperatura de las semanas de compostaje.	47
5. Prueba de Tukey al 5% para tratamientos en la variable peso del compost.	48
6. Prueba de Tukey al 5% para tratamientos en la variable contenido de humedad.....	50
7. Prueba de Tukey al 5% para tratamientos en la variable contenido de nitrógeno.....	52
8. Prueba de diferencia mínima significativa al 5% para el factor productos en la variable nitrógeno del compost.	53
9. Prueba de Tukey al 5% para tratamientos en la variable contenido de fósforo.	55
10. Prueba de diferencia mínima significativa al 5% para el factor productos en la variable fosforo del compost.	56
11. Prueba de Tukey al 5% para tratamientos en la variable contenido de potasio.....	58

12. Prueba de diferencia mínima significativa al 5% para el factor productos en la variable potasio del compost.....	59
13. Prueba de Tukey al 5% para tratamientos en la variable contenido de materia orgánica.....	61
14. Prueba de diferencia mínima significativa al 5% para el factor productos en la variable potasio del compost.....	62
15. Prueba de Tukey al 5% para tratamientos en la variable contenido de pH.....	64
16. Prueba de diferencia mínima significativa al 5% para el factor productos en la variable del pH del compost.....	65
17. Prueba de Tukey al 5% para el factor dosis en la variable días a la obtención del compost.....	66
18. Prueba de Tukey al 5% para la interacción productos por dosis en la variable días de obtención.....	68
19. Prueba de Tukey al 5% para el factor dosis en la variable contenido de humedad.....	70
20. Prueba de Tukey al 5% para el factor dosis en la variable contenido de nitrógeno.....	72
21. Prueba de Tukey al 5% para la interacción productos por dosis en la variable contenido de nitrógeno.....	73
22. Prueba de Tukey al 5% para el factor dosis en la variable contenido de fósforo.....	74
23. Prueba de Tukey al 5% para la interacción productos por dosis en la variable contenido de fósforo.....	76

24. Prueba de Tukey al 5% para el factor dosis en la variable contenido de potasio.....	77
25. Prueba de Tukey al 5% para la interacción productos por dosis en la variable contenido de potasio.	79
26. Prueba de Tukey al 5% para el factor dosis en la variable contenido de materia orgánica.	80
27. Prueba de Tukey al 5% para la interacción productos por dosis en la variable contenido de materia orgánica.	81
28. Cuantificación de microorganismos encontrados en cada gramo de compost.	82
29. Especies de fungí encontrados en los tratamientos de compost.	83
30. Identificación de bacterias en el compost.	84

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura	Página
1.Evolución de la temperatura durante el compostaje.	29
2.Cálculo del número de microorganismos por el método de diluciones seriadas..	41
3.Prueba de Tukey al 5% para tratamientos en la variable días a la obtención del compost.....	45
4.Prueba de diferencia mínima significativa al 5% para el factor productos en la variable días a la obtención del compost.	46
5. Gráfico de las temperaturas de cada semanas.....	47
6. Prueba de Tukey al 5% para tratamientos en la variable peso del compost.	49
7. Prueba de Tukey al 5% para tratamientos en la variable contenido de humedad.....	50
8. Prueba de Tukey al 5% para tratamientos en la variable contenido de nitrógeno.....	52
9. Prueba de diferencia mínima significativa al 5% para el factor productos en la variable nitrógeno del compost.	54
10. Prueba de Tukey al 5% para tratamientos en la variable contenido de fósforo.	55
11. Prueba de diferencia mínima significativa al 5% para el factor productos en la variable fosforo del compost.	57

12. Prueba de Tukey al 5% para tratamientos en la variable contenido de potasio.....	58
13. Prueba de diferencia mínima significativa al 5% para el factor productos en la variable potasio del compost.....	60
14. Prueba de Tukey al 5% para tratamientos en la variable contenido de materia orgánica.....	61
15. Prueba de diferencia mínima significativa al 5% para el factor productos en la variable potasio del compost.....	63
16. Prueba de Tukey al 5% para tratamientos en la variable contenido de pH.....	64
17. Prueba de diferencia mínima significativa al 5% para el factor productos en la variable del pH del compost.....	65
18. Prueba de Tukey al 5% para el factor dosis en la variable días a la obtención del compost.....	67
19. Prueba de Tukey al 5% para el factor dosis en la variable contenido de humedad.....	71
20. Dosis de aplicación de microorganismos versus contenido de nitrógeno.....	72
21. Prueba de Tukey al 5% para el factor dosis en la variable contenido de fósforo.....	75
22. Prueba de Tukey al 5% para el factor dosis en la variable contenido de potasio.....	78
Figura 23. Prueba de Tukey al 5% para el factor dosis en la variable contenido de materia orgánica.....	80
24. Preparación y activación de los microorganismos de bosque y de cultivo.....	103
25. Instalación del diseño en bloque de los tratamientos del compost.....	103

26. Tratamiento de cultivo.....	104
27. Monitoreo de los tratamientos instalados.....	104
28. Evaluación de la temperatura de los tratamientos.....	105
29. Evaluación del pH de los tratamientos.....	105
30. Medios de cultivos para evaluar a los microorganismos.....	106
31. Dilución de la muestra en los caldos peptona manitol para la identificación de bacterias.....	106
32. Microcultivo para la identificación de hongos.....	107
33. Coloración para la identificación de bacterias y dilución de muestras.....	107
34. Identificación de actinomicetos, hongos y bacterias ne el microscopio.....	108
35. Agar Plate Count a las 48 horas de sembrío en el cuenta-colonias.....	108
36. Colonias de Geotrichum sp.....	109
37. Geotrichum sp. en la muestras.....	109
38. Colonias de Saccharomyces cerevisiae en las muestras de compost.....	110
39. Saccharomyces cerevisiae en las muestras de compost.....	110
40. Realizando el análisis de nitrógeno en el compost.....	111
41. Realizando el análisis de fosforo en el compost.....	111

I. INTRODUCCION

La necesidad de disminuir la dependencia de productos químicos artificiales en los distintos cultivos, se está obligando a la búsqueda de alternativas fiables y sostenibles. En la agricultura orgánica, se le da gran importancia a este tipo de abonos, y cada vez más, se están utilizando estos abonos a base de microorganismos ya que reduce el tiempo de descomposición, aumenta la capacidad que posee el suelo de absorber los distintos elementos nutritivos y mejora las características físicas, químicas y biológicas del suelo, y en este sentido, este tipo de abono juega un papel fundamental en la agricultura sostenible.

La tecnología de los microorganismos eficaces, desarrollados por el Dr. Teruo Higas de la universidad de Ryukus de Okinawa, Japón, consiste en efecto potencializar en efecto benéfico con la mezcla de varios microorganismos naturales, existiendo 3 tipos principales: bacterias fototrópicas, bacterias ácidolácticas y hongos unicelulares y pluricelulares (GACETA, 2001).

En el presente trabajo se contrasta en la optimización de la descomposición de desechos orgánicos por acción de microorganismos eficientes para la elaboración de compost. Se usaron dos fuentes de microorganismos (microorganismos obtenidos en el bosque y microorganismos

eficientes obtenidos en un cultivo de café) inoculados en diferentes niveles de concentración para comparar su accionar sobre un sistema estándar de manejo de restos orgánicos.

El planteamiento de problema de la investigación es ¿Cuál es el efecto mayor de los dos tipos de microorganismos que acelera la transformación de desechos orgánicos en compost?

La hipótesis:

La aplicación de los microorganismos del bosque en la dosis de 30 cc/10 l de agua (D3), causará el mejor efecto en el proceso de descomposición, acelerando el tiempo a la cosecha del compost y obteniéndose mejor calidad en su contenido nutricional

1.1. Objetivos

1.1.1. Objetivo general

- Aplicar microorganismos eficientes para acelerar la transformación de restos orgánicos en la elaboración de compost.

1.1.2. Objetivos específicos

- Evaluar el efecto sobre los desechos orgánicos de los microorganismos bosque y de los de un cultivo de café, para su transformación en compost.

- Evaluar la calidad del proceso de compostaje con la aplicación de microorganismos eficientes.

- Identificar los microorganismos que intervinieron en la transformación de los restos orgánicos en compost.

II. REVISIÓN DE LITERATURA

2.1. Los microorganismos del suelo

Los microorganismos del suelo, son los componentes más importantes de este. Constituyen su parte viva y son los responsables de la dinámica de transformación y desarrollo. Estos microorganismos beneficiosos que se encuentran en el suelo, son bacterias, actinomicetos, hongos, algas y protozoarios. Un suelo fértil es aquel que contiene una reserva adecuada de elementos nutritivos disponibles para la planta, o una población microbiana que libere nutrientes que permitan un buen desarrollo vegetal (GRANT y LONG, 1992).

2.1.1. Importancia

Los microorganismos son muy importantes dentro del ciclo de transformación de la materia y energía. Se encargan de degradar los restos animales y vegetales, transformándolos en nutrientes indispensables para su propio metabolismo, además de generar sustancias y minerales que servirán como fuente de energía para otras especies dentro de otros ciclos (CASANOVAS, 1993).

2.1.2. Taxonomía de los microorganismos

Según FUNDASES (2005), señala el agrupamiento taxonómico se basa en un sistema binomial de nomenclatura que designa un nombre al

organismo, utilizando dos palabras latinizadas: la primera indica el género al cual pertenece el individuo, y la segunda indica su especie dentro del género; por ejemplo, *Bacillus thuringiensis*: *Bacillus* (género) y *thuringiensis* (especie).

Sin embargo, la taxonomía se encarga de realizar un agrupamiento más completo, haciendo uso de categorías jerarquizadas, que permiten trazar un historial biológico comparativo del organismo con otros. Estas categorías son: reino, subreino, tipo o Phylum, subtipo, clase, subclase, orden, suborden, grupo, familia, subfamilia, género y especie (FUNDASES, 2005).

2.1.3. Aplicación de los microorganismos del suelo

Según MILGRAM (2006), desde que el ser humano descubrió que podía capturar, “domesticar” y utilizar algunos grupos de microorganismos, éste sea visto beneficiado en diferentes áreas, aprovechando sus capacidades de degradación y segregación de sustancias. Así, tenemos varios campos principales donde el hombre se ha valido de la actividad de los microorganismos para obtener resultados favorables: en alimentación, medicina, agricultura y medio ambiente.

2.1.3.1. En la agricultura

En esta área, la acción microbiana ha sido fundamental para mantener una producción de alimentos que sea sostenible y esté acorde con la naturaleza, ya sea por su asociación con algunas clases de plantas (*Bradyrhizobium*, micorrizas), su acción entomopatógena (*Trichoderma*, *Bacillus thuringiensis*) o su importante desempeño dentro del suelo como degradadores de materia orgánica (MILGRAM, 2006).

Los efectos en la microbiología del suelo: suprime o controla las poblaciones de microorganismos patógenos que se desarrollan en el suelo por competencia. Incrementa la biodiversidad microbiana, generando las condiciones necesarias para que los microorganismos benéficos nativos prosperen. sobre esto último, se desarrollan preparados microbianos que permiten la descomposición de material vegetal en forma eficiente, para su utilización dentro de la agricultura, en la elaboración de abonos naturales tipo compost, bioles, bokashi, humus, etc., así tenemos como ejemplo los microorganismos eficientes (PORTA, 1994).

PROEXANT (2002), cita que los microorganismos inoculados al suelo corrigen la salinidad, facilitan el intercambio de los iones en el suelo y aguas duras, facilitan el drenaje y lavado de sales tóxicas de los cultivos agrícolas (sodio y cloro), solubilizan ciertos minerales (cal y fosfatos), aceleran la descomposición de compost, bokashi, etc (PROEXANT, 2002).

2.2. Los microorganismos eficientes (EM)

Según KUSAKA *et al.*, (2006), los microorganismos eficientes, son una combinación de varios microorganismos benéficos, de origen natural, que no han sido modificados genéticamente, fisiológicamente compatibles unos con otros, presentes en ecosistemas naturales. Estos microorganismos coexisten en un medio líquido. Desarrollados en Japón, son utilizados en diferentes aplicaciones en más de 110 países del mundo, brindando soluciones a diferentes problemas de la agricultura, el medio ambiente, la acuicultura, entre otras áreas.

2.2.1. Composición microbiológica de los principales tipos de EM

Los E.M son una combinación de varios microorganismos agrupados en 3 grandes géneros: bacterias fototrópicas, bacterias ácidolácticas y actinomicetos.

2.2.1.1. Bacterias fototrópicas

Son un grupo de microorganismos que sintetizan sustancias útiles (aminoácidos, ácidos nucleicos, compuestos bioactivos y azúcares), a partir de las secreciones de las raíces y la materia orgánica, promoviendo el crecimiento y desarrollo de las plantas. Son consideradas el eje central de la actividad del EM, pues dan sostén a otros microorganismos (KUSAKA *et al* ,2006).

Según PINTO (2001), señala que las bacterias son las principales responsables de la descomposición y de la generación de calor. Las bacterias mesófilas cumplen un rol importante durante la primera etapa de compostaje, principalmente por su habilidad de crecer rápidamente en proteínas solubles y otros sustratos fácilmente disponibles (Miller, 1991). Durante la segunda etapa, cuando las temperaturas son mayores a 40°C comienzan a predominar las bacterias termófilas. La población bacteriana presente durante el proceso pertenece principalmente al género *Bacillus*, siendo las principales especies: *B. brevis*, *B. circulans*, *B. coagulans*, *B.licheniformes*, *B.spharicus*, *B subtilis*

Toleran temperaturas de hasta 55°C, pero decrecen drásticamente a los 60°C o más. Cuando las condiciones son desfavorables, estos microorganismos forman endoesporas para sobrevivir, las cuales son

resistentes al calor y a la desecación. Una vez que el compost se enfría, bacterias mesófilas nuevamente predominan, siendo la recolonización dependiente del tipo de esporas generadas en las etapas anteriores y a las condiciones existentes en la masa de compostaje (PINTO, 2001).

2.2.1.2. Bacterias ácidolácticas

Originan ácido láctico a partir de azúcares y otros carbohidratos, producidos por las bacterias fotosintéticas y levaduras. El ácido láctico, es un compuesto que controla microorganismos nocivos y mejora la descomposición de la materia orgánica. Los *Lactobacillus plantarum*, *Lactobacillus casei*, *Stréptococcus lacteis*, promueven la fermentación y desdoblamiento de lignina y celulosa, permitiendo una más rápida descomposición de los materiales vegetales. También, tienen la habilidad de suprimir microorganismos causantes de enfermedades, como los hongos del género *Fusarium*, que debilitan las plantas, exponiéndolas al ataque de otras enfermedades y plagas (HIGA, 1998).

2.2.1.3. Fungí (Hongos)

Sintetizan tanto sustancias antimicrobiales, como compuestos útiles para el crecimiento de las plantas, partiendo de aminoácidos y azúcares (secretados por las bacterias fotosintéticas), así como de materia orgánica. Los elementos producidos por los fungí tipo (hormonas y enzimas), promueven la división activa de células, siendo también, sustratos útiles para las bacterias ácidolácticas y los actinomicetos (FIORAVANTI, 2005).

Las levaduras sintetizan sustancias antimicrobiales y útiles para el crecimiento de las plantas a partir de aminoácidos y azúcares secretados por bacterias fototróficas, materia orgánica y raíces de las plantas. Las levaduras presentes son: *Saccharomyces cerevisiae*, *Cándida utilis*. Los actinomicetos actúan como antagonistas de muchas bacterias y hongos patógenos de las plantas debido a que producen antibióticos (KUSAKA *et al*, 2006).

Los hongos multicelulares (mohos) atacan el material más resistente, poseen un rol limitado en el compostaje, excepto en la etapa de maduración, cuando las temperaturas son moderadas y los sustratos son predominantemente celulosa y lignina. Están presentes en los *Aspergillus oryzae*, *Mucor hiemalis*.(Eastwood, 1952; Chang, 1967; Chang y Hudson, 1967: De Bertoldi *et al.*, 1983 citado por MILLER, 1991).

Estos son excluidos de las fases tempranas de altas temperaturas, sólo algunos pueden soportar temperaturas mayores a 55°C. La máxima tasa de crecimiento y de respiración de los hongos son de una magnitud menor que las de las bacterias (MATHUR, 1991).

2.2.1.4. Actinomicetos

Los filamentos que forman se observan comúnmente en las últimas etapas del compostaje, en los primeros 10 a 15 cm de la pila (TRAUTMANN y OLYNCIW, 2000).

Algunas especies aparecen durante la etapa termófila y otras son más importantes durante la etapa de enfriamiento o maduración, donde solo quedan los materiales más resistentes. En el compostaje juegan un rol

importante en la degradación de compuestos orgánicos complejos como materiales leñosos, paja y aserrín (LABRADOR, 1996).

Las condiciones óptimas para su desarrollo son ambientes húmedos pero aerobios, con un pH neutro o ligeramente alcalino (Lacey, 1973, citado por MILLER, 1991).

Según FERGUS (1964), señala que el característico olor a tierra del suelo es causado por los actinomicetes, del género *Streptomyces*, los cuales producen una serie de metabolitos llamados geosminas. (Brock y Madigan, 1991, 1991). Los actinomicetes que comúnmente se encuentra en el compost son: *Actinobifida chromogena*, *Micrbispora bispora*, *Micropolyspora faeni*, *Nocardia sp.*, *Streptomyces rectus*, *S. thermofuscus*, *S. thermovulgaris*, *S. violaceus-ruber*, *Thermoactinomyces vulgaris*, *T. sacchari*, *Thermonospora curvata*, *T. viridis*. La participación de los Actinomicetes durante el proceso de modificación de la materia orgánica del compost es relevante, debido a la capacidad enzimática para degradar compuestos orgánicos complejos (celulosa, lignina, etc.). Asimismo, muchas de las especies que participan en este proceso son tolerantes a las temperaturas que alcanza el compost durante el proceso de degradación aeróbica (FERGUS, 1964).

2.2.2. Uso de los microorganismos

Según SPELLMAN (2002), señala que los resultados fueron notables y el proceso de expansión de esta tecnología, ahora conocida

comúnmente como microorganismos eficientes, comenzó en 1989. El uso de microorganismos eficaces en agricultura tiene efectos positivos, como:

- Promueve la germinación, crecimiento, florecimiento, fructificación y maduración de las plantas cultivadas.
- Incrementa la eficiencia de la materia orgánica como fertilizante.
- Desarrolla resistencia de las plantas a plagas y enfermedades.
- Mejora las propiedades físicas, químicas y biológicas del suelo.
- Suprime patógenos y plagas del suelo.

Debido a las ventajas mencionadas, EM mejora los rendimientos de los cultivos bajo sistemas de producción orgánica y presenta los siguientes beneficios económicos.

2.2.3. Reducción de olores

La materia orgánica, produce olor cuando la descomponen microorganismos de tipo putrefactivo; al aplicar EM, empiezan a predominar los fermentativos, que eliminarán el olor, ya que segregan ácidos orgánicos, enzimas, antioxidantes y quelatos metálicos. El amoníaco (el gran responsable del olor característico de los procesos de descomposición orgánica), es una sustancia alcalina débil, que es neutralizada por dichos ácidos; las enzimas y los antioxidantes, en acción sinérgica, tienen un efecto amortiguador que reduce el olor; los quelatos metálicos, reaccionan con sustancias olorosas de manera instantánea, convirtiéndolas en inodoras (BETTIOL, 2000).

2.3. Química y biología del proceso de compostaje

Según ALEXANDER (1977), para lograr reproducirse y crecer, los microorganismos deben degradar los residuos para la formación de energía y sintetizar nuevo material celular. Los dos modos de obtención de energía son la respiración y la fermentación, siendo la primera más eficiente ya que existe una mayor producción de ATP y permite la finalización del compost en un menor tiempo. Existen dos tipos de respiración, la aeróbica y la anaeróbica, en ésta última los microorganismos utilizan aceptores de electrones diferentes al oxígeno como nitrato (NO_3), sulfato (SO_2^-) y carbonatos (CO_3^{-2}) para la obtención de energía, lo cual trae como consecuencia problemas de olor. Una serie de reacciones se llevan a cabo durante el compostaje, las cuales además de liberar energía, forman una serie de intermediarios orgánicos que sirven como punto de partida de otras reacciones.

La actividad de los microorganismos comprometida en el compostaje está dirigida a la síntesis de protoplasma el cual contiene 50%C, 5%N y 0.25-1%P en base a materia seca. Los microorganismos en general utilizan 30 partes de carbono por cada parte de nitrógeno (Waskman, 1938 citado por Mathur, 1991). Bacterias, actinomicetes y hongos asimilan el carbono y nitrógeno en forma distinta. En una población de microorganismos 5-10% del carbono del sustrato es asimilado por las bacterias, 15-30% por los actinomicetes y 30-40% por los hongos. Ambos, bacterias y actinomicetes tiene una relación C: N protoplasmática de 5:1, mientras que los hongos tienen una relación de 10:1 (ALEXANDER, 1977 y MILLER, 1991).

2.4. Fases del compostaje

Según BROCK y MADIGAN (1991), el compostaje es un proceso biológico, que ocurre en condiciones aeróbicas (presencia de oxígeno). Con la adecuada humedad y temperatura, se asegura una transformación higiénica de los restos orgánicos en un material homogéneo y asimilable por las plantas. Es posible interpretar el compostaje como el sumatorio de procesos metabólicos complejos realizados por parte de diferentes microorganismos, que en presencia de oxígeno, aprovechan el nitrógeno (N) y el carbono (C) presentes para producir su propia biomasa.

En este proceso, adicionalmente, los microorganismos generan calor y un sustrato sólido, con menos C y N, pero más estable, que es llamado compost. Al descomponer el C, el N y toda la materia orgánica inicial, los microorganismos desprenden calor medible a través de las variaciones de temperatura a lo largo del tiempo. Según la temperatura generada durante el proceso, se reconocen tres etapas principales en un compostaje, además de una etapa de maduración de duración variable. Las diferentes fases del compostaje se dividen según la temperatura, en:

2.4.1. Fase mesófila.

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

solubles, como azúcares, produce ácidos orgánicos y, por tanto, el pH puede bajar (hasta cerca de 4.0 o 4.5). Esta fase dura pocos días (entre dos y ocho días).

2.4.2. Fase termófila o de higienización.

Cuando el material alcanza temperaturas mayores que los 45°C, los microorganismos que se desarrollan a temperaturas medias (microorganismos mesófilos) son reemplazados por aquellos que crecen a mayores temperaturas, en su mayoría bacterias (bacterias termófilas), que actúan facilitando la degradación de fuentes más complejas de C, como la celulosa y la lignina. Estos microorganismos actúan transformando el nitrógeno en amoníaco por lo que el pH del medio sube. En especial, a partir de los 60 °C aparecen las bacterias que producen esporas y actinobacterias, que son las encargadas de descomponer las ceras, hemicelulosas y otros compuestos de C complejos. Esta fase puede durar desde unos días hasta meses, según el material de partida, las condiciones climáticas y del lugar, y otros factores.

Esta fase también recibe el nombre de fase de higienización ya que el calor generado destruye bacterias y contaminantes de origen fecal como *Escherichia coli* y *Salmonella* sp.

Esta fase es importante pues las temperaturas por encima de los 55°C eliminan los quistes y huevos de helminto, esporas de hongos fitopatógenos y semillas de malezas que pueden encontrarse en el material de partida, dando lugar a un producto higienizado.

2.4.3. Fase de enfriamiento o mesófila II.

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

2.4.4. Fase de maduración.

Es un período que demora meses a temperatura ambiente, durante los cuales se producen reacciones secundarias de condensación y polimerización de compuestos carbonados para la formación de ácidos húmicos y fúlvicos (BROCK y MADIGAN, 1991).

2.5. Factores físicos y químicos que influyen en el proceso de compostaje

Según INTEC (1997), en el proceso de compostaje el principio básico más importante es el hecho de que se trata de un proceso biológico llevado a cabo por microorganismos, y por tanto, se ve afectado por todos los factores que afectan su desarrollo. Entre estos factores están: sustrato, aireación, contenido de humedad, temperatura, pH y la relación C/N,

condiciones que determinarán el desarrollo exitoso del proceso y la obtención de un producto final de alta calidad.

Las características principales a considerar son:

1. Porosidad. Relacionada con la aireación e influye en la resistencia al paso de aire a través de la pila.

2. Tamaño de las partículas. La actividad microbiana ocurre generalmente en la superficie de las partículas orgánicas, por lo tanto el tamaño de éstas debe ser menor, de manera de aumentar el área superficial, y así favorecer la actividad de los microorganismos y la tasa de descomposición.

El tamaño ideal es de 2 a 5 cm. Por otra parte, cuando las partículas son demasiado pequeñas y compactas, la circulación del aire a través de la pila se ve dificultada, disminuyendo la disponibilidad de oxígeno y por ende la actividad microbiana.

3. Estructura: Habilidad de las partículas de resistir compactación. Como se puede ver los sustratos cumplen un rol importante dentro de la elaboración del compost. Es muy importante realizar una mezcla de materiales inicial óptima. Es raro que un sólo material residual tenga todas las características requeridas para un compostaje eficaz. Por tanto, es necesario mezclarlo con otros materiales, en proporciones adecuadas, para obtener una mezcla con las características necesarias para llevar a cabo el proceso de compostaje (INTEC, 1997).

Cuadro 1. Condiciones deseables durante el proceso de compostaje.

Características	Rango Razonable	Rango Óptimo
Relación carbono- nitrógeno	20:1 – 40:1	25:1 – 30:1
Contenido de humedad	40-65%	50-60%
Concentración de oxígeno	Mayor al 5%	Mucho mayor al
pH	5.5-9.0	6.5-8.0
Temperatura	45-66	55-60

2.5.1. Relación carbono/nitrógeno (C/N)

Según BROCK y MADIGAN (1991), señala que muchos elementos requeridos para la descomposición microbiana, el carbono y el nitrógeno son los más importantes. El carbono proporciona una fuente de energía y además constituye aproximadamente el 50% de la masa de células microbiana.

El nitrógeno es un componente crucial de las proteínas, de los ácidos nucleicos, aminoácidos, enzimas y de las coenzimas necesarias para el crecimiento y la funcionalidad de la célula. Una célula bacteriana típica tiene de 12 a 15% de nitrógeno (en peso seco).

El balance entre la inmovilización del nitrógeno y la mineralización se encuentra fuertemente influenciado por la relación C/N de la materia orgánica degradada. Con una relación mayor a 30, no existe el suficiente nitrógeno para el crecimiento óptimo de las poblaciones microbianas,

produciéndose una inmovilización de ésta (NH_4^+ o NO_3^-). Mientras que con cocientes menores a 30, el nitrógeno se encontrará en exceso y puede perderse como amoniaco (NH_3^+) (RAVIV et al., 2002).

En caso que la relación C/N inicial es muy alta, existe la posibilidad de utilizar aditivos (fuentes de nitrógeno). Estas sustancias adicionales permiten ajustar la relación C/N sin alterar el contenido de humedad. Se pueden utilizar fertilizantes como urea, sulfato de amonio, entre otros (Graves, 2000). Si se adicionan fuentes que contienen sulfato o calcio, existe el riesgo que aumente la conductividad eléctrica. Inbar *et al.*, (1993) relaciona la conductividad eléctrica con el contenido de iones sulfato, calcio y magnesio.

A medida que el compostaje avanza, el cociente C/N disminuye gradualmente llegando a alcanzar valores entre 10 y 12 en el producto final "compost". Esto ocurre ya que gran parte del carbono es continuamente liberado (CO_2), mientras que la mayoría del nitrógeno es reciclado, lo que refleja la descomposición de la materia orgánica y su estabilización (CHEFETZ *et al.*, 1996).

2.5.2. Temperatura

La temperatura es un factor importante en el proceso de compostaje, refleja la actividad biológica de los microorganismos, siendo una de las condiciones ambientales determinante de la rapidez con la cual los materiales son metabolizados (ALEXANDER, 1977)

Es fundamental en la maduración del compost, ya que la elevación de la temperatura durante el proceso refleja una actividad microbiana óptima y

un equilibrio entre la aireación, humedad y composición de la mezcla (LABRADOR, 1996).

La retención y la continua generación de calor están influenciadas por las temperaturas ambientales lo que se relaciona con el tamaño de la pila (capacidad de aislamiento), contenido de agua y relación C/N de sus constituyentes, los de menor relación C/N alcanzan mayores temperaturas (MATHUR, 1991).

Según MADRID Y CASTELLANOS (1997), la temperatura varía en función de la actividad microbiana, dividiendo al proceso en dos periodos principalmente: (1) activo compostaje y (2) maduración.

1. Activo compostaje

Se caracteriza por una gran actividad de los microorganismos y grandes variaciones en la temperatura. Inicialmente, los residuos se encuentran a temperatura ambiente, los microorganismos crecen y la temperatura sube considerablemente alcanzando a los pocos días los 40°C, esta primera fase se denomina mesotérmica, actúan especialmente bacterias mesófilas, las cuales degradan el material de fácil descomposición.

La segunda fase es la termofílica, con temperaturas que van desde los 40 a 70°C, en esta fase la microflora mesófila es sustituida por la termófila (resistentes a altas temperaturas) y el material más difícil de descomponer comienza a ser degradado. Si existen condiciones óptimas de humedad y ventilación se producen visibles emanaciones de vapor de agua.

La temperatura máxima en esta fase, no debe superar los 70°C. La configuración geométrica de las pilas es un factor importante que afecta el comportamiento de la temperatura, si esta es inadecuada se pueden alcanzar temperaturas demasiado altas (letales para los microorganismos), siendo necesario reducir las dimensiones para permitir la pérdida de calor y controlar la evolución de la temperatura (MADRID Y CASTELLANOS, 1997).

El manejo de la temperatura requiere cuidado y control, ya que así como la alta temperatura es capaz de sanitizar patógenos, también puede terminar con la flora benéfica, las enzimas responsables de la degradación se desnaturalizan y se convierten en no funcionales, provocando que los microorganismos no puedan nutrirse de manera adecuada (GRAVES, 2000).

Normalmente en esta etapa, se logran destruir semillas de malezas, esporas de hongos y algunas fitotoxinas que posteriormente significarían un problema al adicionar el compost al suelo (INTEC, 1997).

El CO₂ se produce en volúmenes importantes que difunden desde el centro a la superficie de la pila. Este gas, juega un papel fundamental en el control de larvas de insectos, dado que concentraciones altas de CO₂ resultan letales para las larvas (GRAVES, 2000).

La reducción de patógenos puede ser efectivamente lograda a través del compostaje. Los dos mecanismos de destrucción son la muerte por temperatura y el antagonismo biológico (Makawi, 1980; Millner et al., 1987 citado por MILLER, 1991).

La sanitización del material está directamente relacionado con la temperatura. Para alcanzar efectivamente la sanitización del material se deben cumplir dos condiciones principalmente: (1) Todo el material tiene que estar expuesto a las condiciones letales y (2) La exposición a altas temperaturas debe ser de por lo menos dos horas, de manera de maximizar su efectividad (Graves, 2000). Para alcanzar una reducción significativa de los patógenos durante el compostaje, se debe tener una temperatura mayor a 55°C por lo menos cuatro horas (TRAUTMANN y OLYNCIN, 2000).

La destrucción de semillas de malezas se logra cuando la pila alcanza temperaturas mayores a 60 °C, lo cual puede variar según la especie de la maleza, por ejemplo *Convolvulus arvensis* es muy difícil de eliminar, puede resistir temperaturas de incluso 72°C por tres días (Larney y Blackshaw, 2003). Eghball y Lesoing (2000) reportaron que cuando el guano compostado se mantiene húmedo, la viabilidad de las semillas disminuye a pesar de que no se alcance la temperatura crítica, posiblemente por la producción de fitotoxinas.

2. Maduración

Según GRAVES (2000), la etapa de maduración o de estabilización, se encuentra marcada por una baja tasa de actividad microbiana, al agotarse los sustratos se produce una caída gradual de la temperatura, la cual se iguala a la del medio ambiente, lo que indica el término de la elaboración del compost.

Durante esta etapa los productos resultantes de la etapa de activo compostaje se estabilizan, lo que involucra una descomposición más avanzada

de ácidos orgánicos, una disminución de los compuestos resistentes y la formación de compuestos húmicos. Se debe continuar con un manejo apropiado de la humedad y oxígeno para la mantención de la actividad microbiana. Se considera finalizado el proceso cuando la pila después de repetidos volteos vuelve a presentar una temperatura similar a la ambiental (GRAVES, 2000).

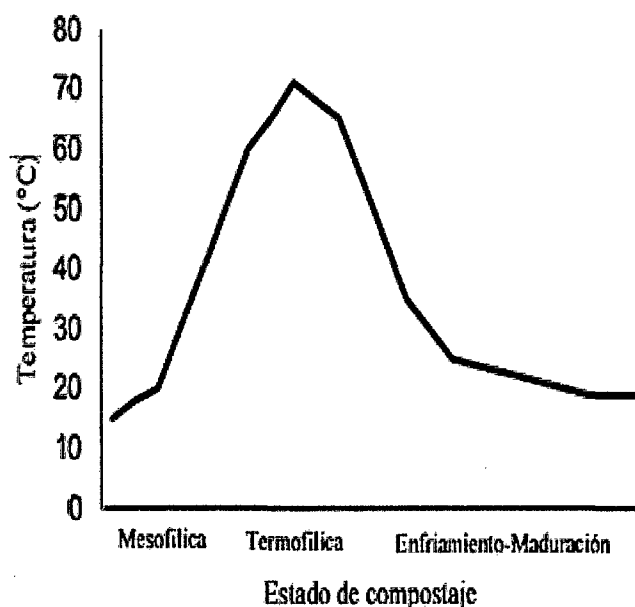


Figura 1. Evolución de la temperatura durante el compostaje.

- **Termogénesis**

La temperatura en cualquier punto de la pila durante el compostaje se encuentra en función de cuánto calor está siendo producido por los microorganismos con respecto al que se está perdiendo por conducción, convección, enfriamiento evaporativo o calentamiento sensible del aire.

La conducción es limitada como mecanismo de transferencia ya que la conductividad térmica del compost es baja, aunque puede llegar a ser importante en pilas pequeñas con una alta relación superficie volumen.

El enfriamiento evaporativo tiene un gran potencial de remover calor de la pila. Una gran cantidad de calor se utiliza para el cambio de estado líquido a vapor. Durante el proceso se pierde gran cantidad de agua, principalmente a través del proceso de enfriamiento evaporativo, lo que se traduce en una disminución de la masa total de la pila, en aproximadamente un 49% (HARPER *et al.*, 1992).

La aireación del compost puede remover grandes cantidades de calor a través de este mecanismo (MILLER, 1991).

2.5.3. Humedad

Los microorganismos necesitan agua como medio para transportar los nutrientes y otros elementos a través de la membrana celular. El agua es esencial para disolver y transportar los nutrientes y sustratos que los organismos pueden absorber sólo como solución (MATHUR, 1991).

Es requerida para necesidades fisiológicas, solución de sustratos y sales, como medio de colonización bacteriana y es determinante para el intercambio gaseoso (PINTO, 2001).

La humedad óptima del compostaje se puede situar alrededor del 30 a 55% aunque varía dependiendo del estado físico y tamaño de las partículas, así como del sistema empleado para realizar el compostaje. El

contenido de humedad ideal para el compostaje debe considerar una adecuada humedad para las necesidades fisiológicas de los microorganismos y un adecuado flujo de oxígeno para mantener las condiciones aeróbicas. Cuando la humedad es excesiva (mayor a 65°C) la proliferación microbiana es suprimida, no por la sobreabundancia de agua sino debido a que disminuye el intercambio gaseoso y por lo tanto existe menor disponibilidad de oxígeno, generando un ambiente anaeróbico (ALEXANDER, 1977).

Por último se debe considerar la producción metabólica de agua. La producción de agua metabólica puede ser de un rango entre 0,29 a 0,71 kg por kg de materia seca perdida (HARPER *et al.*, 1992).

2.5.4. pH

Es un parámetro importante para evaluar el ambiente microbiano y la estabilización de los residuos. Los microorganismos tienen distintos requerimientos de pH, el rango ideal se encuentra entre 6,5 y 8,0 (GRAVES, 2000).

Los niveles de pH varían en respuesta a los materiales utilizados en la mezcla inicial y a la producción de varios productos y compuestos intermedios producidos durante el compostaje. Durante el proceso de compostaje se producen diferentes fenómenos o procesos que hacen variar este parámetro. Al comienzo y como consecuencia del metabolismo fundamentalmente bacteriano, los complejos carbonados fácilmente degradables, se transforman en ácidos orgánicos, provocando que el pH descienda. Luego los niveles aumentan como consecuencia de la formación

de amoníaco, alcanzando valores más altos (alrededor de 8,5), lo cual coincide con el máximo de actividad de la fase termófila (GUERRA *et al.*, 2001).

Finalmente, el pH disminuye en la fase final o de maduración (pH entre 7 y 8) debido a las propiedades naturales de amortiguador o tampón de la materia orgánica (GRAVES, 2000).

2.5.5. Aireación

Es un factor importante en el proceso de compostaje y, por tanto, un parámetro a controlar. El oxígeno es esencial para el metabolismo y la respiración de los microorganismos aerobios y para oxidar las moléculas orgánicas presentes en los residuos. La aireación tiene varios objetivos, mezclar los materiales, soltarlos (evitar compactación), creación de nuevas superficies de ataque para los microorganismos, aportar el oxígeno suficiente a los microorganismos y permitir al máximo la evacuación del dióxido de carbono producido

Según HARPER *et al.*, (1992), señala que la aireación debe mantenerse en unos niveles adecuados (mayor al 5%) durante el proceso, teniendo en cuenta además que las necesidades de oxígeno varían a lo largo del proceso. Al principio de la actividad oxidativa, la concentración de oxígeno en los espacios porosos es cerca de 15-20% (similar a la composición normal del aire), y la concentración de CO₂ entre 0.5-5%. Se pueden presentar durante la etapa de enfriamiento un aumento en la utilización de oxígeno debido presumiblemente al uso de sustratos restantes o productos inestables por nuevas poblaciones microbianas (HARPER *et al.*, 1992)

2.6. Calidad del compostaje

La calidad de las enmiendas orgánicas se determina a través de las propiedades físicas, químicas y biológicas (Lasaridi *et al.*, 2006). La calidad de un abono orgánico se determina a partir de su contenido nutricional y de su capacidad de proveer nutrientes a un cultivo. Este contenido está directamente relacionado con las concentraciones de estos nutrientes en los materiales utilizados para su elaboración (BENZING, 2001).

La calidad del compostaje está influenciada por el tipo de inoculante como la aplicación de microorganismos eficaces por el desarrollo del proceso del compostaje, por la procedencia del material, por el tipo de recogida, se realiza o no alguna selección adicional en la planta por el tratamiento de residuos. La calidad no solamente se da en control final sino dependerá totalmente de controles que se realicen tanto en la materia prima, como durante el producto final. Los diferentes materiales que se pueden compostar, determinan el tipo de producto que se puede obtenerse. La diversidad tipo de materia orgánica aplicando microorganismos establecerá un abono orgánico de alta calidad que sirve para recuperar o mejora la fertilidad de los suelos ya demás tendiendo un contenido nutricional (N, P y K) (SOLIVA, 2001).

Un compost de buena calidad se obtiene manteniendo una relación equilibrada entre carbono y nitrógeno. Teóricamente una relación de C/N óptima es de 25-35, pero esta se encuentra sujeta a la variedad de residuos que se utilicen (REATEGUI, E., ZENTENO, 2005).

Un compost de calidad razonablemente bueno contiene los siguientes valores de N, P y K, respectivamente 1%,0.6%,0.8% (CONAMA la Norma Chilena 2880, 2004).

2.7. Sistemas de compostado

Según MILGRAM (2006), señala que existen varios sistemas de compostado que son aplicados acorde a las condiciones del medio. La finalidad es reducir el tiempo de descomposición, el requerimiento de espacio, de energía y la seguridad higiénica de la planta.

- **Compostaje en pilas estáticas con aireación natural:** Es un sistema antiguo, se realiza a través de pilas de altura reducida, máximo de 1.5 m, ancho no mayor a 2.5 m; la longitud está sujeta al deseo del productor.

- **Compostaje en pilas estáticas con ventilación artificial:** Al igual que el anterior, este sistema procede con pilas que no se mueven; sin embargo, la aireación se da a través de un sistema de tuberías perforadas empotradas al suelo y conectadas a un ventilador que abastece el oxígeno necesario (MILGRAM, 2006).

III. MATERIALES Y MÉTODOS

3.1. Descripción de la zona de estudio

3.1.1. Ubicación política

El proyecto se ejecutó en la caserío de Mapresa dentro del distrito de Padre Felipe Luyando ubicado al margen derecho del río Huallaga, a 4.4 Km de la ciudad de Tingo María, por la carretera Fernando Belaunde Terry. La zona del lugar de estudio limita por:

- Sector : Mapresa
- Distrito : Padre Felipe Luyando
- Provincia : Leoncio Prado
- Departamento : Huánuco

3.1.2. Ubicación geográfica

El lugar donde se realizó el estudio posee un área de 1100 m² aproximadamente, dicha zona de estudio tiene como coordenadas UTM:

Norte : 8975297 m.
Este : 390122 m
Altitud : 641 msnm.

3.1.3. Vías de acceso

Para acceder a la zona es por la carretera Fernando Belaunde Terry, el tiempo aproximado es de 10 minutos, ya que se tiene que pasar por la carretera antigua.

3.2. Materiales

3.2.1. Insumos

- 1 costales de 50 de kilos de mantillo de bosque virgen
- 1 costales de 50 kilos de mantillo de plantación de café
- 6 Kg polvillo de arroz
- 3 Kg cascarilla de arroz
- 25 Kg aserrín descompuesto
- 4 Lt melaza
- 13 Kg ceniza
- 13 Kg carbón molido
- 2 Kg dolomita
- 10 Kg roca fosfórica
- 40 Kg estiércol vacuno
- 4L de leche de vaca fresca

3.3. Metodología

3.3.1. Características del ensayo

Los tratamientos se realizó en una compostera, de forma: rectangular, cuyas características fueron:

- Área de la pila: $\frac{1}{2} m_2$
- Área total de las pilas: $40m_2$
- Largo de la pila: 1 m
- Ancho de la cama: 1 m
- Alto de la pila: 0,70 m
- Caminos entre pilas: 0.5 m
- Ancho del bloque: 10 m
- Largo del bloque: 15 m
- Área total del ensayo: $174 m_2$

3.3.2. Esquema de la disposición del ensayo

Repeticiones

I	II	III
P2D3	P1D1	P1D3
P2D2	T	P1D1
P1D1	P2D2	P1D2
T	P2D3	P2D2
P2D1	P1D3	P2D1
P1D2	P2D1	P2D3
P1D3	P1D2	T

3.3.3. Recolección de datos

Se realizó la recolección de las muestras en cada volteo para garantizar la homogeneidad del compost. Los parámetros a monitorear serán pH, temperatura y humedad para la calidad del compost.

3.3.3.1. Medición de la temperatura

La medición de la temperatura se efectuó utilizando un termómetro que se colocaba en la parte central de la pila.

3.3.3.2. Días a la obtención del compost

Se determinó el número de días transcurridos desde la instalación del ensayo hasta la obtención del compost.

3.3.3.3. Peso del compost

Al final del ensayo, se cuantificó el peso del compost obtenido por tratamiento.

3.3.3.4. Humedad

Se tomó una muestra de un gramo y se llevó al laboratorio para los análisis respectivos.

3.3.3.5. Contenido nutricional

El contenido nutricional se determinó al final del ensayo, para lo cual se tomó 1 kg de muestra y se envió al laboratorio de análisis de suelos, de la facultad de Agronomía de la UNAS, para la determinación del contenido de N total (%), P (ppm), K (%), materia orgánica (%), el pH y otros microelementos.

3.3.4. Etapas de la investigación

3.3.4.1. Selección de material para el compost

El material a orgánico a compostar para cada pila fue 6 Kg polvillo de arroz, 3 Kg cascarilla de arroz, 25 Kg aserrín descompuesto, 13 Kg

ceniza, 13 Kg carbón molido, 2 Kg dolomita, 10 Kg roca fosfórica y 40 Kg estiércol vacuno después de agregar todos los materiales homogenizar para la aplicación de las cepas de los microorganismos eficientes.

3.3.4.2. Construcción de la pila

Se homogenizo todos los materiales, cada pila presentó 1 m² de capacidad con una altura de ½ m, separados por caminos de 0,10 m.

3.3.4.3. Captura y activación de los microorganismos

La recolección de los microorganismos P1 fue en una plantación de café orgánico P1 y la segundo microorganismo de bosque P2 fue el bosque de la Universidad Nacional Agraria de la Selva en un plantación de tornillos, se le activará con 6 kilos de polvillo de arroz y 1 galón de melaza se le colocará en un recipiente por 30 días y otra parte se le dejara reposar con 2 días luego se le colocara en un costalillo. Sera la solución madre de microorganismos (bacterias fototróficas, bacterias ácidolácticas, hongos y levaduras).

3.3.4.4. Aplicación de microorganismos

La aplicación de microorganismos activados del bosque y el microorganismos activados de una plantación de café), en las dosis propuestas, en los tratamientos, se realizó al inicio del ensayo con la ayuda de una bomba manual, cubriendo de solución el total de la pila de compost.

3.3.4.5. Riego

Los riegos fueron con la ayuda de un balde, diariamente, a razón de 10 L por riego, manteniendo la capacidad de campo.

3.3.4.6. Volteo

El volteo se realizó de manera manual a los tres días de la aplicación de los productos, para facilitar la oxigenación de la materia orgánica y los microorganismos actúen eficazmente en la descomposición.

3.3.4.7. Cosecha

La cosecha del compost se realizó cuando el material vegetal presentó una coloración oscura y la relación C/N este bajo.

3.3.4.8. Obtención de muestras de compost para análisis

Se recogió cinco submuestras de aproximadamente 1kg, cubriendo toda el área de la pila y se mezclaron para obtener una muestra de un gramo, la cual se llevó al laboratorio de microbiología de la Universidad Nacional Agraria de la Selva para analizarlo.

3.3.5. Análisis microbiológico y mineralógico del compost

Se realizó los análisis microbiológicos y de suelo de las muestras de compost.

3.3.5.1. Identificación de fungi

Para la identificación de fungi (hongos) se sembró alicuotas de compost en medio de BH7 mas Ceftrioxona (0.50 mg/L) que luego de la inoculación a 30°C x 48 horas, se replicó a placas con medio Sabouraud glucosa 4% para permitir el desarrollo de mohos y levaduras precedentes en el

proceso de las colonias desarrolladas, se trasladó en sistemas de microcultivo para la identificación genérica de fungí detectado.

3.3.5.2. Coliformes y Salmonella

Para la identificación de bacterias, se colocó una alícuota (1gr) del producto (compost) en un matraz con BHI se inocularán a 37°C x 24 horas repicándose posteriormente a medios de M77 (para actinomicetos), CLED y Mca Conkey (para coliformes y afines) y para salmonella y el SS Agar (para salmonella y patógenos similares).

3.3.5.3. Recuento de microorganismos

Para el recuento de microorganismos se realizó el método de recuento en placa. La fórmula para el conteo de microorganismos (m.o.) es la siguiente:

$$\text{“m.o.} = \text{N}^{\circ} \text{ colonias} \times \text{Inóculo} \times \text{Factor de dilución”}$$

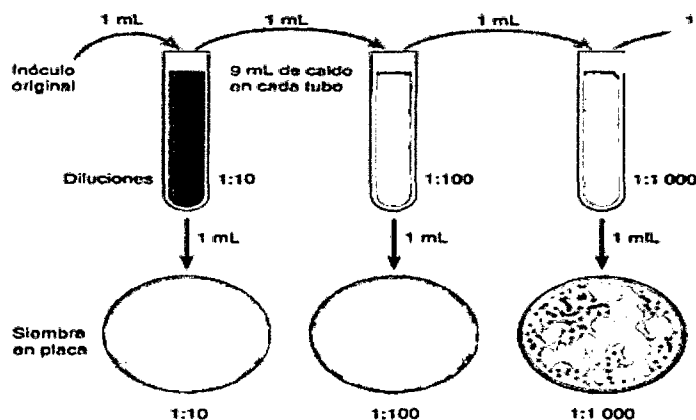


Figura 2. Cálculo del número de microorganismos por el método de diluciones seriadas (Modificado de TÓRTORA, 2007).

3.3.6. Factores en estudio

3.3.6.1. Variable independiente

- Microorganismos eficientes de un de cultivo de café (P1).
- Microorganismos eficientes de bosque (P2).

3.3.6.2. Indicadores de la variable independiente

- D1 :10 cc/20 L de agua
- D2 : 20 cc/20 L de agua
- D3: 30 cc/20 L de agua

3.3.7. Diseño experimental

Se utilizó el diseño experimental de estímulo creciente y de covarianza, disponiéndose en 6 tratamientos como a continuación se anotan:

No.	Símbolo	Microorganismos	Dosis
			(cc/10 l de agua)
1	P ₁ D ₁	Microorganismos de cultivo (P1)	10
2	P ₁ D ₂	Microorganismos cultivo (P1)	20
3	P ₁ D ₃	Microorganismos cultivo (P1)	30
4	P ₂ D ₁	Microorganismos bosque (P2)	10

5	P ₂ D ₂	Microorganismos bosque (P2)	20
6	P ₂ D ₃	Microorganismos bosque (P2)	30
7	T ₀	Testigo	Sin aplicación

3.3.7.1. Ajuste estadístico

Se efectuó el análisis de variancia (ADEVA), en BCA con arreglo 2x3 asimismo pruebas de significación de Tukey al 5%, para diferenciar entre tratamientos, factor dosis e interacción; pruebas de diferencia mínima significativa al 5% para el factor productos.

IV. RESULTADOS

4.1. Efecto de los microorganismos estudiados en los tratamientos.

4.1.1. Días a la obtención del compost

Los valores correspondientes a los días a la obtención del compost, para cada tratamiento, se observan en el anexo B-I, cuyo promedio general fue de 98,38 días.

Cuadro 2. Prueba de Tukey al 5% para tratamientos en la variable días a la obtención del compost.

N°	Microorganismos	Símbolo	Días de obtención
1	Cultivo	P1D1	99,00±0,10 ^b
2	Cultivo	P1D2	90,33±0,33 ^a
3	Cultivo	P1D3	84,00±0,57 ^a
4	Bosque	P2D1	88,00±0,57 ^a
5	Bosque	P2D2	82,33±0,33 ^b
6	Bosque	P2D3	72,33±0,33 ^b
7	Testigo	To	120,00±0,00 ^a

Los valores representan (promedio ± SEM) datos provienen del experimento (n=3) valores de la misma columna con superíndices diferentes son significativos (P≤0,05).

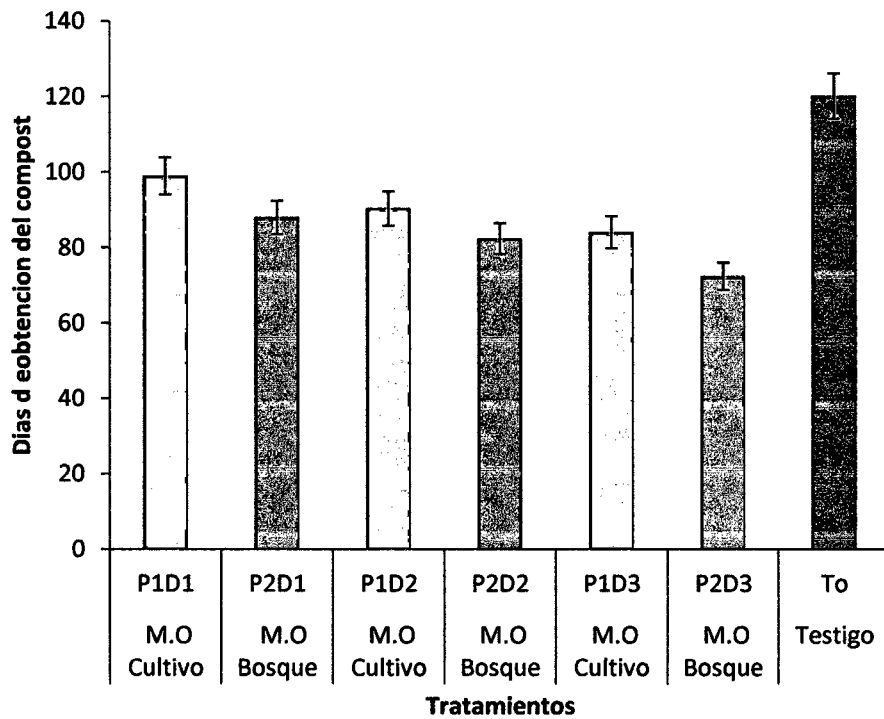


Figura 3. Prueba de Tukey al 5% para tratamientos en la variable días a la obtención del compost.

Mediante la prueba de significación de Tukey al 5% para tratamientos en los días a la obtención del compost, se observaron dos rangos de significación bien definidos (cuadro 2). El menor tiempo a la obtención del compost reportó el tratamiento P2D3 (microorganismos de bosque, dosis de 30 cc/10 l), con promedio de 72,33 días, ubicado en el primer rango y lugar; seguido de los tratamientos P2D2 (microorganismos bosque, dosis de 20 cc/10 l), P1D3 (microorganismos de un cultivo, dosis de 30 cc/10 l), P2D1 (microorganismos de bosque, dosis de 10 cc/10 l) y P1D2 (microorganismos de cultivo, dosis de 20 cc/10 l), que compartieron el primer rango, en su orden, con promedios que van desde 82,00 días hasta 90,00 días.

Cuadro 3. Prueba de diferencia mínima significativa al 5% para el factor productos en la variable días a la obtención del compost.

Productos	Promedio (días)	Rango
Microorganismos de bosque	78.16	a
Microorganismos de cultivo	91.11	b

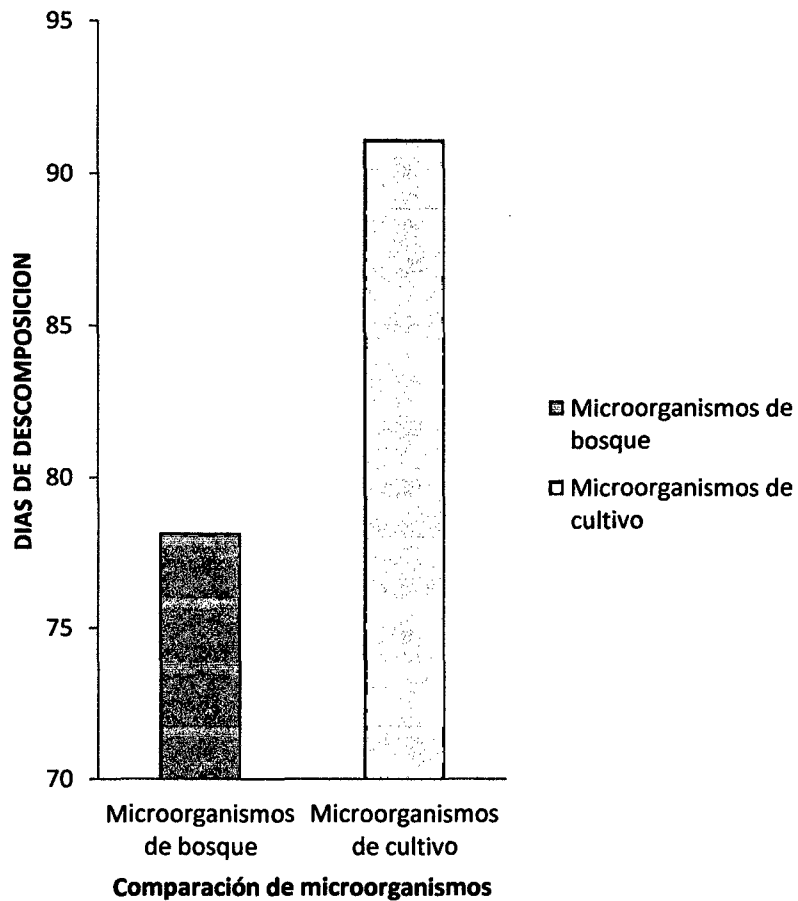


Figura 4. Prueba de diferencia mínima significativa al 5% para el factor productos en la variable días a la obtención del compost.

4.1.2. Temperatura

En el anexo A-II, se indica la temperatura de cada semana obtenidos en los tratamientos. Según el análisis de variancia no se registraron diferencias estadísticas significativas para tratamientos.

Cuadro 4. Temperatura de las semanas de compostaje.

Tratamientos	1° semana	7 ° semana	11° semana	16° semanas
P1D1	28.26	40.26	28.18	28.18
P2D1	28.33	40.90	31.11	30.1
P1D2	30.23	48.73	31.06	30.2
P2D2	30.11	48.90	32.37	31.22
P1D3	32.46	64.23	32.46	32.46
P2D3	32.37	65.00	32.37	32.37
T	28.00	35.00	31	28.3

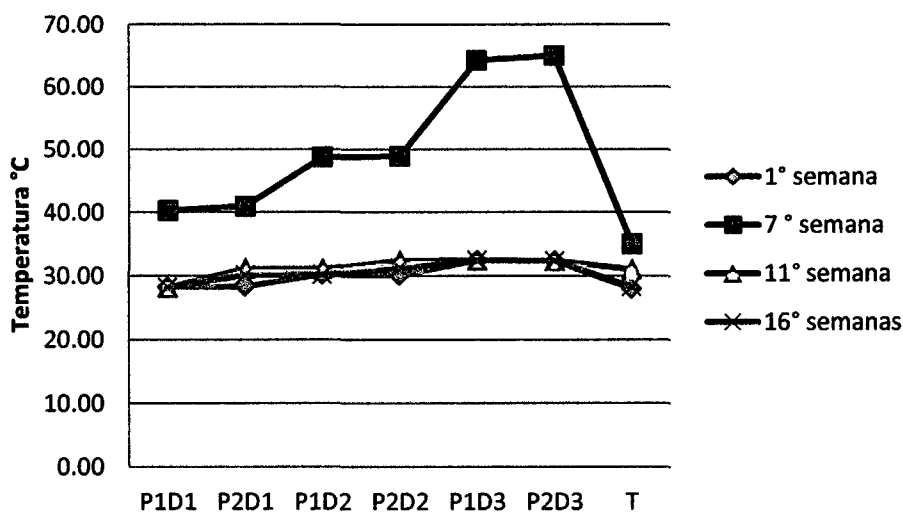


Figura 5. Gráfico de las temperaturas de cada semana.

4.1.3. Peso del compost

En el anexo A-III, se indica el peso de compost obtenido en cada tratamiento, cuyo peso promedio general fue de 68,38 kg. Según el análisis de variancia (anexo B-II), observando el cuadro 5 y la figura 5 no se registraron diferencias estadísticas significativas para tratamientos.

Cuadro 5. Prueba de Tukey al 5% para tratamientos en la variable peso del compost.

.N°	Microorganismos	Código	Peso del compost (Kg)
1	Cultivo	P1D1	64,66±0,33 ^a
2	Cultivo	P1D2	69.33±0,66 ^a
3	Cultivo	P1D2	68.33±1.85 ^a
4	Bosque	P1D1	69.33±0,8 ^a
5	Bosque	P1D1	68.00±2.51 ^a
6	Bosque	P1D1	70.67±0.88 ^a
7	Testigo	To	69.00±0,57 ^a

Los valores representan (promedio ± SEM) datos provienen del experimento (n=3) valores de la misma columna con superíndices diferentes son significativos (P≤0,05).

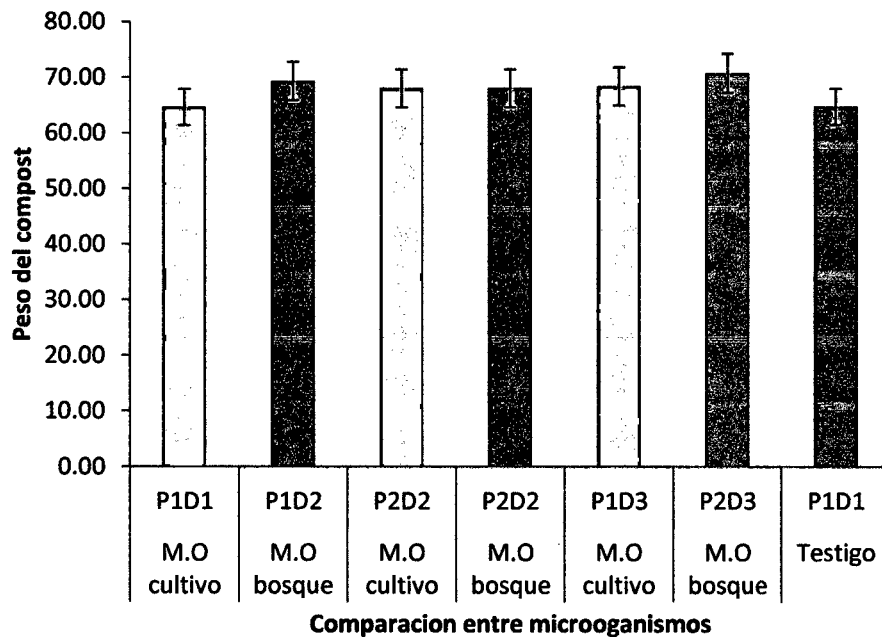


Figura 6. Prueba de Tukey al 5% para tratamientos en la variable peso del compost.

Analizando los resultados obtenidos en el peso del compost, es posible deducir que, al no reportar significación estadística el ADEVA, demuestra que el peso de los tratamientos fue estadísticamente similar, sin encontrar pesos significativamente más altos o valores más bajos. Estas respuestas indican que, con la aplicación de microorganismos se acelera el proceso de compostaje, deduciendo así mismo que no influyeron relevantemente en el peso final del abono obtenido.

4.1.4. Humedad

El anexo A-IV, muestra los contenidos de humedad en cada tratamiento, cuyo promedio general fue de 32.3 %. Mediante el análisis de

variancia (anexo B-III), se registraron diferencias estadísticas altamente significativas para tratamientos.

Cuadro 6. Prueba de Tukey al 5% para tratamientos en la variable contenido de humedad.

N°	Microorganismos	Código	Humedad %
1	Cultivo	P1D1	29.52±0.015 ^b
2	Cultivo	P1D2	29.80±0.003 ^b
3	Cultivo	P1D3	37.87±0.006 ^a
4	Bosque	P2D1	29.63±0.013 ^a
5	Bosque	P2D2	30.11±0.026 ^a
6	Bosque	P2D3	36.87±0.008 ^a
7	Testigo	To	29.13±0.012 ^b

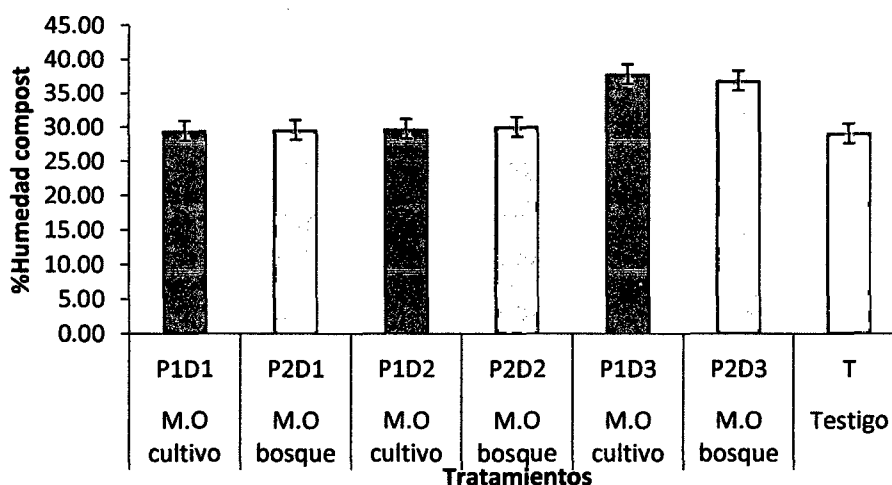


Figura 7. Prueba de Tukey al 5% para tratamientos en la variable contenido de humedad.

Aplicando la prueba de significación de Tukey al 5% para tratamientos en el contenido de humedad, se establecieron tres rangos de significación (cuadro 6). El mayor contenido de nitrógeno reportó el tratamiento P2D3 (microorganismos de bosque, dosis de 30 cc/10 l), con promedio de 37.87%, ubicado en el primer rango; seguido del tratamiento P2D3 (microorganismos de bosque, dosis de 30 cc/10 l), que compartió el primero y segundo rango, con promedio de 36.87 %.

4.1.5. Contenido nutricional

4.1.5.1. Contenido de nitrógeno

El anexo A-V, muestra los contenidos de nitrógeno en cada tratamiento, cuyo promedio general fue de 1.2 %. Mediante el análisis de variancia (anexo B-VI), se registraron diferencias estadísticas altamente significativas para tratamientos. El factor productos reportó diferencias a nivel del 1%. El coeficiente de variación fue de 22,20%, confiriendo confiabilidad a los resultados.

Cuadro 7. Prueba de Tukey al 5% para tratamientos en la variable contenido de nitrógeno.

N°	Microorganismos	Código	N%
1	Cultivo	P1D1	1.02±0.015 ^b
2	Cultivo	P1D2	1.25±0.003 ^b
3	Cultivo	P1D3	1.45±0.006 ^a
4	Bosque	P2D1	1.25±0.013 ^a
5	Bosque	P2D2	1.62±0.026 ^a
6	Bosque	P2D3	1.88±0.008 ^a
7	Testigo	To	0.99±0.012 ^b

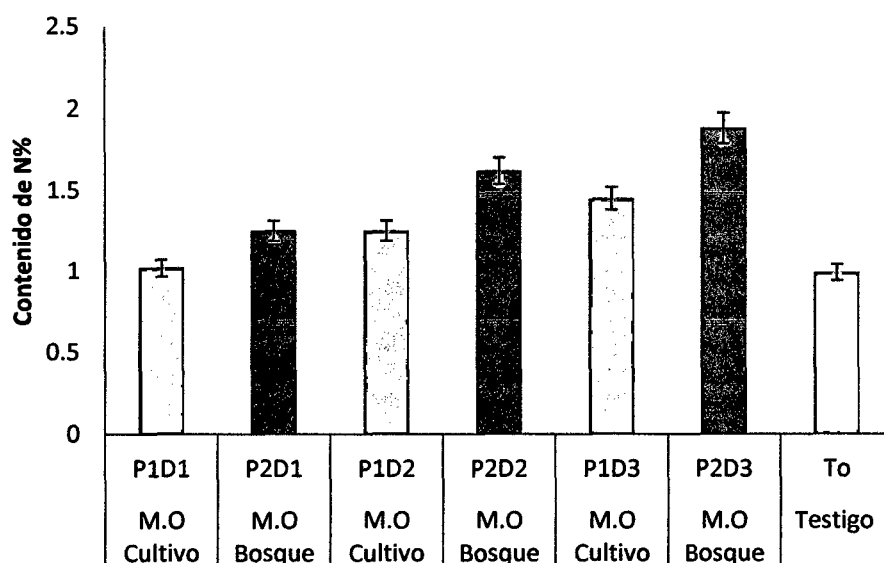


Figura 8. Prueba de Tukey al 5% para tratamientos en la variable contenido de nitrógeno.

Aplicando la prueba de significación de Tukey al 5% para tratamientos en el contenido de nitrógeno, se establecieron tres rangos de significación (cuadro 7). El mayor contenido de nitrógeno reportó el tratamiento P2D3 (microorganismos de bosque, dosis de 30 cc/10 l), con promedio de 1,88%, ubicado en el primer rango; seguido del tratamiento P2D2 (microorganismos de bosque, dosis de 20 cc/10 l), que compartió el primero y segundo rango, con promedio de 1.66% y del tratamiento P1D3 (microorganismos de cultivo, dosis de 30 cc/10 l), que compartió los tres primeros rangos, con promedio de 1,45%. El menor porcentaje de nitrógeno, establecieron los tratamientos P2D1 (microorganismos de bosque, dosis de 10 cc/10 l), P1D1 (microorganismos cultivo, dosis de 10 cc/10 l) y P1D2 (microorganismos de cultivo, dosis de 20 cc/10 l), que compartieron el tercer rango, con promedios de 1.25%, 1.25% y 1.05%, para cada tratamiento, en su orden.

Cuadro 8. Prueba de diferencia mínima significativa al 5% para el factor productos en la variable nitrógeno del compost.

Productos	Promedio (días)	Rango
Microorganismos de bosque	1.55	a
Microorganismos de cultivo	1.14	b

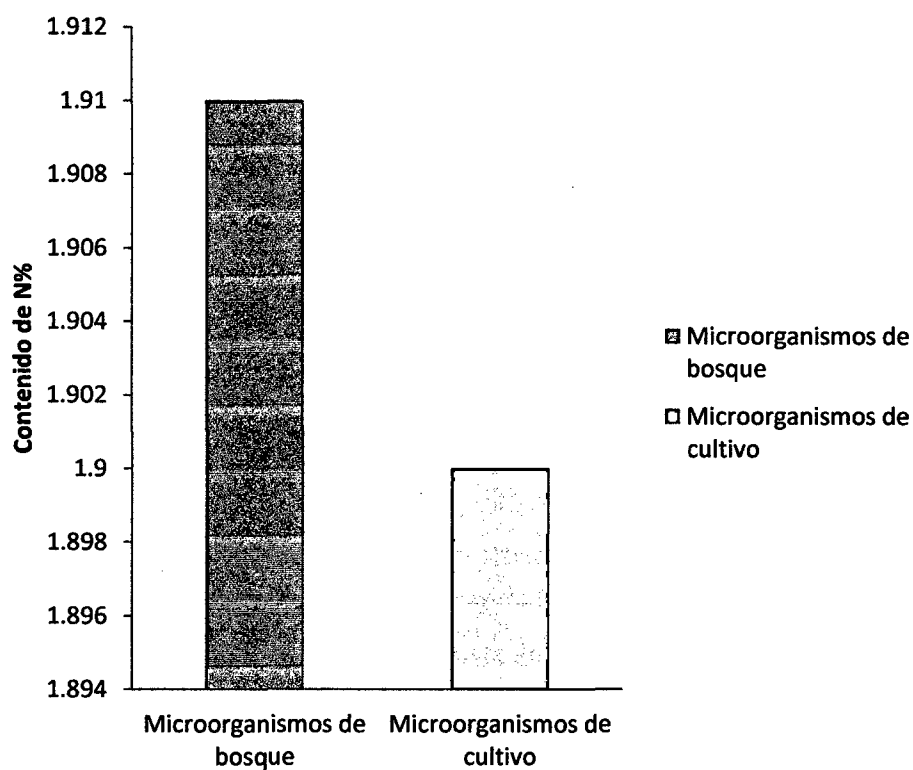


Figura 9. Prueba de diferencia mínima significativa al 5% para el factor productos en la variable nitrógeno del compost.

4.1.5.2. Contenido de fósforo

El anexo A-VI, muestra los contenidos de fósforo en cada tratamiento, cuyo promedio general fue de 0.623 %. Mediante el análisis de variancia (anexo B-V), se registraron diferencias estadísticas altamente significativas para tratamientos. El coeficiente de variación fue de 22,20%, confirmando confiabilidad a los resultados.

Cuadro 9. Prueba de Tukey al 5% para tratamientos en la variable contenido de fósforo.

N°	Microorganismos	Código	P (%)
1	Cultivo	P1D1	0.522±2,59 ^c
2	Cultivo	P1D2	0.563±1,49 ^c
3	Cultivo	P1D3	0.623±0,35 ^b
4	Bosque	P2D1	0.599±1,24 ^c
5	Bosque	P2D2	0.622±3,67 ^b
6	Bosque	P2D3	0.777±3,43 ^a
7	Testigo	To	0.561±0,39 ^b

Los valores representan (promedio ± SEM) datos provienen del experimento (n=3) valores de la misma columna con superíndices diferentes son significativos (P≤0,05).

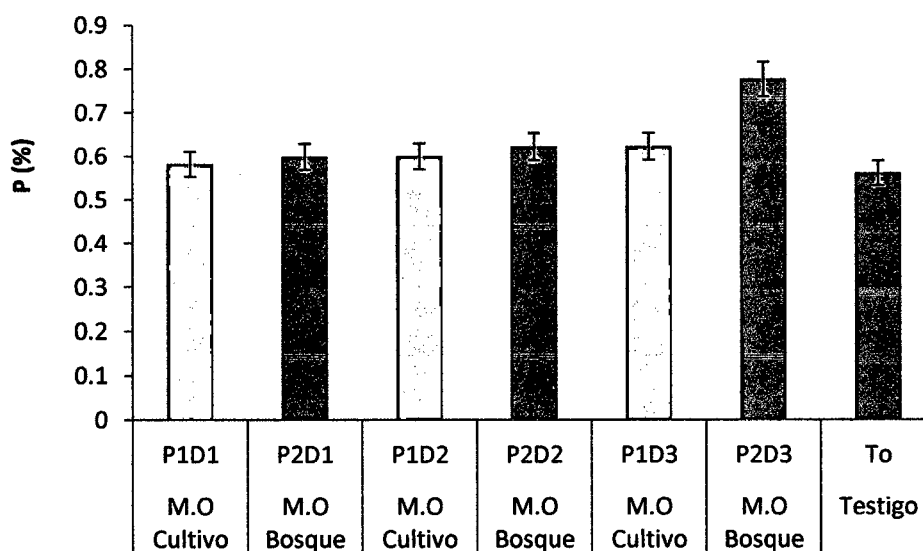


Figura 10. Prueba de Tukey al 5% para tratamientos en la variable contenido de fósforo.

La prueba de significación de Tukey al 5% para tratamientos en el contenido de fósforo, registró tres rangos de significación bien definidos (cuadro 9). El mayor contenido de fósforo reportó el tratamiento P2D3 (microorganismos de bosque, dosis de 30 cc/10 l), con promedio de 0.777 %, ubicado en el primer rango y lugar; seguido del tratamiento P2D2 (microorganismos de cultivo, dosis de 20 cc/10 l), que compartió el primer rango, con promedio de 0.623%. El menor contenido de fósforo, experimentaron los tratamientos P1D2 (microorganismos de cultivo, dosis de 20 cc/10 l), P1D3 (microorganismos de cultivo, dosis de 30 cc/10 l) y P1D1 (microorganismos de cultivo, dosis de 10 cc/10 l) y el testigo, al compartir el tercer rango, con promedios de 0.599 %, 0.623% y 0.522% para cada tratamiento, en su orden.

Cuadro 10. Prueba de diferencia mínima significativa al 5% para el factor productos en la variable fósforo del compost.

Productos	Promedio (días)	Rango
Microorganismos de bosque	1.55	a
Microorganismos de cultivo	1.14	b

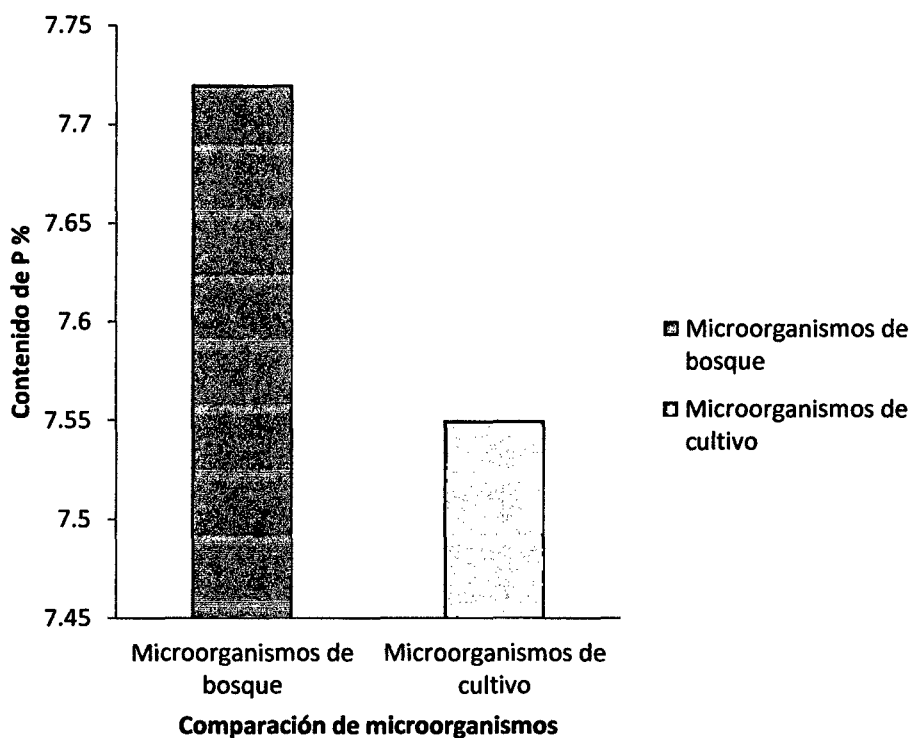


Figura 11. Prueba de diferencia mínima significativa al 5% para el factor productos en la variable fósforo del compost.

4.1.5.3. Contenido de potasio

En el anexo A-VII, se indican los valores del contenido de potasio en cada tratamiento evaluado, cuyo promedio general fue de 0,63%. El análisis de variancia (anexo B-VI), experimentó diferencias estadísticas significativas para tratamientos. El factor productos no mostró diferencias estadísticas significativas. El coeficiente de variación fue de 21,53%, confiriendo confiabilidad a los resultados presentados.

Cuadro 11. Prueba de Tukey al 5% para tratamientos en la variable contenido de potasio.

N°	Microorganismos	Código	K (%)
1	Cultivo	P1D1	1.29±0,012 ^d
2	Cultivo	P1D2	1.23±0,012 ^d
3	Cultivo	P1D3	2.2±0,017 ^c
4	Bosque	P2D1	1.35±0,020 ^b
5	Bosque	P2D2	1.85±0,031 ^b
6	Bosque	P2D3	2.52±0,024 ^a
7	Testigo	To	0.80±0,097 ^d

Los valores representan (promedio ± SEM) datos provienen del experimento (n=3) valores de la misma columna con superíndices diferentes son significativos (P≤0,05).

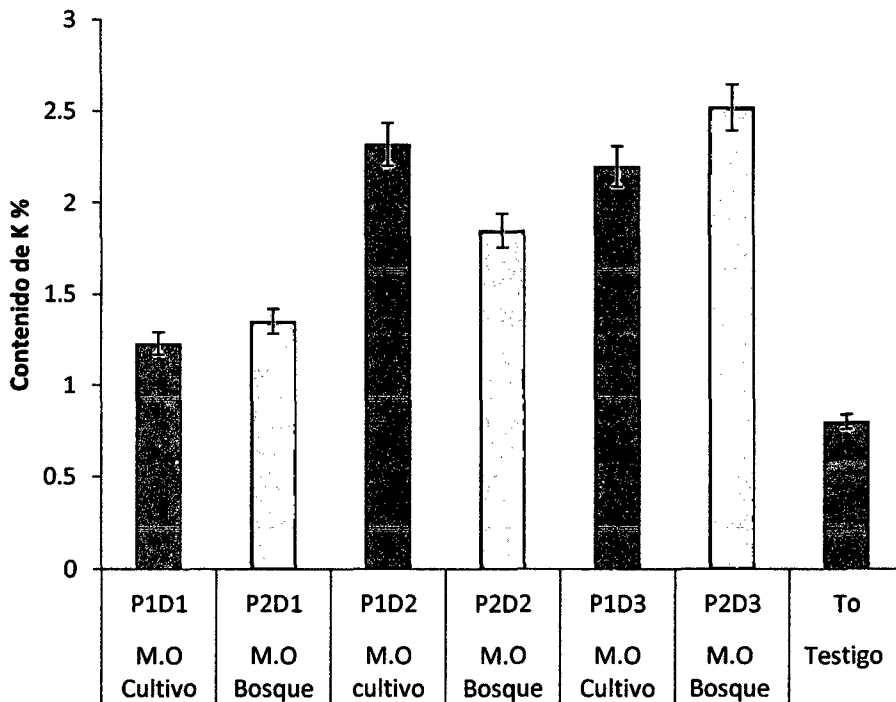


Figura 12. Prueba de Tukey al 5% para tratamientos en la variable contenido de potasio.

Mediante la prueba de significación de Tukey al 5% para tratamientos en el contenido de potasio, se detectó dos rangos de significación (cuadro 11). Mayor contenido de potasio experimentaron los tratamiento P2D3 (microorganismos bosque, dosis de 30 cc/10 l) y P1D3 (microorganismos de cultivo, dosis de 30 cc/10 l), con promedio compartido de 2.20%, ubicados en el primer rango; seguidos de varios tratamientos que compartieron el primero y segundo rangos, con promedios que van desde 1.85% hasta 1.35%. El menor contenido de potasio, reportó el tratamiento testigo, al ubicarse en el último lugar en la prueba, con promedio de 0.80%.

Cuadro 12. Prueba de diferencia mínima significativa al 5% para el factor productos en la variable potasio del compost.

Productos	Promedio (días)	Rango
Microorganismos de bosque	2.007	a
Microorganismos de cultivo	1.907	b

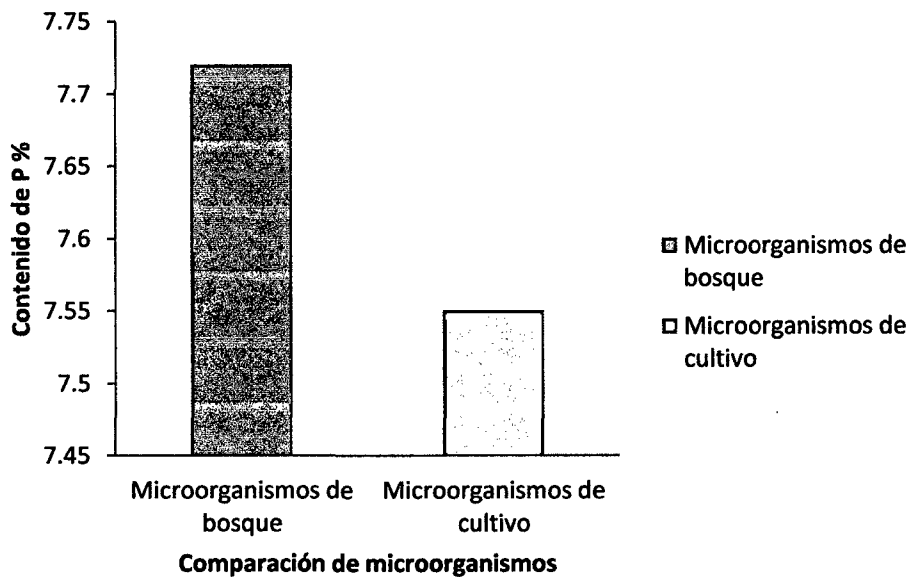


Figura 13. Prueba de diferencia mínima significativa al 5% para el factor productos en la variable potasio del compost.

4.1.5.4. Contenido de materia orgánica

Los valores correspondientes al contenido de materia orgánica del compost de cada tratamiento, se indican en el anexo A-VIII, cuyo promedio general fue de 23,08%. Según el análisis de variancia (anexo B-VII), se observaron diferencias estadísticas altamente significativas para tratamientos. El factor productos no reportó diferencias estadísticas significativas. El factor dosis de aplicación experimentó diferencias a nivel del 1%, con tendencia lineal altamente significativa y cuadrática significativa. La interacción productos por dosis fue no significativa; en tanto que, el testigo se diferenció del resto de tratamientos a nivel del 1%. El coeficiente de variación fue de 6,66%, lo que confiere alta confiabilidad a los resultados evaluados.

Cuadro 13. Prueba de Tukey al 5% para tratamientos en la variable contenido de materia orgánica.

.N°	Microorganismos	Símbolo	Materia orgánica
1	Cultivo	P1D1	27.57±0.206 ^b
2	Cultivo	P1D2	29.59±0.058 ^b
3	Cultivo	P1D3	30.71±0.242 ^b
4	Bosque	P2D1	28.03.±0.574 ^a
5	Bosque	P2D2	30.33±0.115 ^a
6	Bosque	P2D3	35.00±0.144 ^a
7	Testigo	To	24.00±0.340 ^c

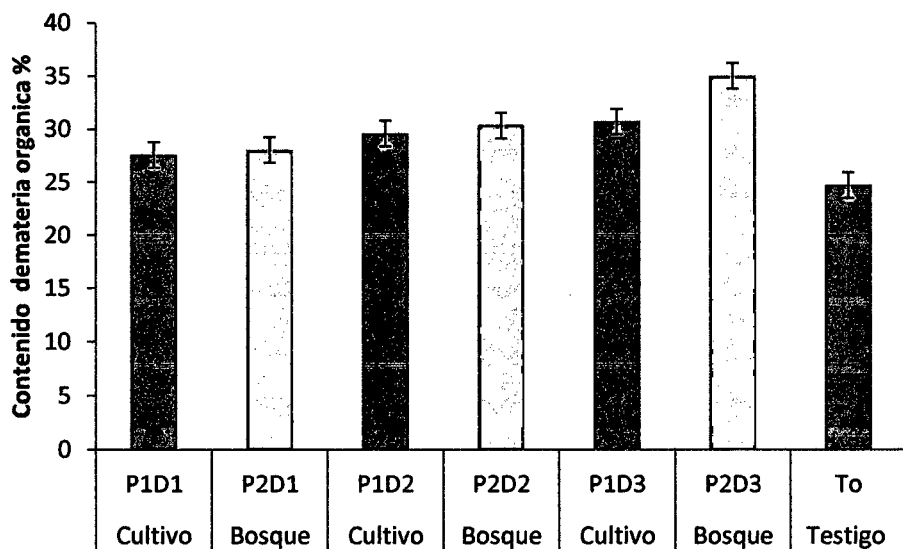


Figura 14. Prueba de Tukey al 5% para tratamientos en la variable contenido de materia orgánica.

Según la prueba de significación de Tukey al 5% para tratamientos en el contenido de materia orgánica del compost, se detectaron dos rangos de significación (cuadro 13). Mayor contenido de materia orgánica reportó el tratamiento P2D3 (microorganismos de bosque, dosis de 30 cc/10 l), con promedio de 35.00 %, ubicado en el primer rango; seguido del tratamiento P2D2 (microorganismos de cultivo, dosis de 20 cc/10 l) que compartió el primer rango, con promedio de 30.71%. El menor contenido de materia orgánica, reportó el tratamiento testigo, al ubicarse en el último lugar en la prueba, con promedio de 24%.

Cuadro 14. Prueba de diferencia mínima significativa al 5% para el factor productos en la variable potasio del compost.

Productos	Promedio (días)	Rango
Microorganismos de bosque	31.12	a
Microorganismos de cultivo	29.29	b

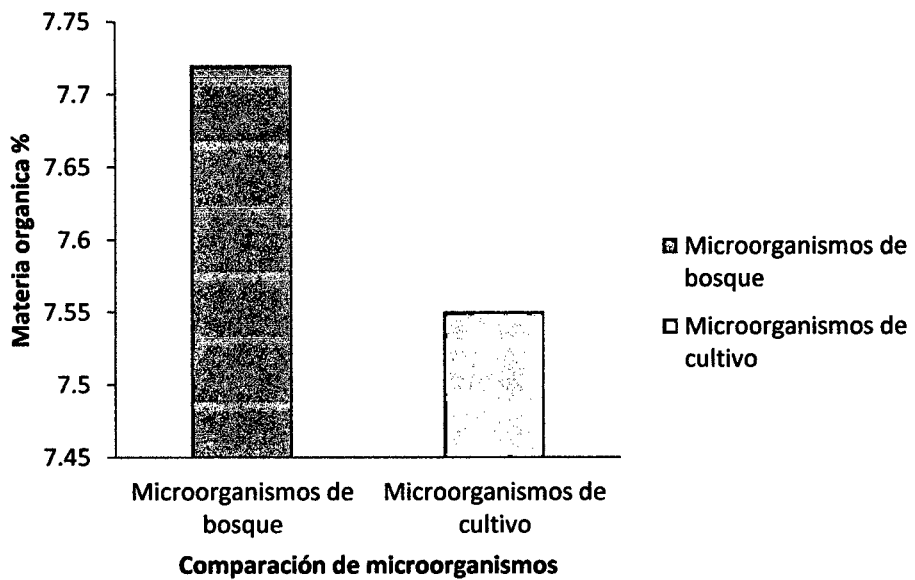


Figura 15. Prueba de diferencia mínima significativa al 5% para el factor productos en la variable potasio del compost.

4.1.5.5. pH

El anexo A -IX, muestra los valores de pH en cada tratamiento, cuyo pH promedio general fue de 7,67. El análisis de variancia (cuadro 14), no reportó diferencias estadísticas significativas para tratamientos. El factor productos reportó ausencia de significación, como también el factor dosis de aplicación y la interacción productos por dosis. El testigo no se diferenció del resto de tratamientos y el coeficiente de variación fue de 5,66%, que confiere alta confiabilidad en las respuestas obtenidas.

Cuadro 15. Prueba de Tukey al 5% para tratamientos en la variable contenido de pH.

N°	Microorganismos	Símbolo	pH
1	Cultivo	P1D1	7,74±0,18 ^a
2	Cultivo	P1D2	7,47±0,04 ^a
3	Cultivo	P1D3	7,44±0,12 ^a
4	Bosque	P2D1	7,70±0,08 ^a
5	Bosque	P2D2	7,69±0,32 ^a
6	Bosque	P2D3	7,77±0,14 ^a
7	Testigo	To	7,43±0,19 ^a

Los valores representan (promedio ± SEM) datos provienen del experimento (n=3) valores de la misma columna con superíndices diferentes son significativos (P≤0,05).

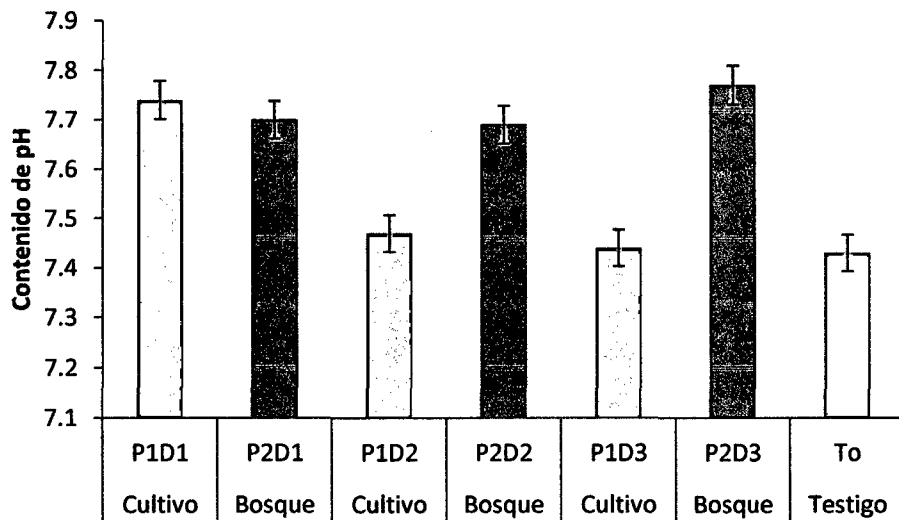


Figura 16. Prueba de Tukey al 5% para tratamientos en la variable contenido de pH.

El testigo no se diferenci6 del resto de tratamientos y el coeficiente de variaci6n fue de 5,66%, que confiere alta confiabilidad en las respuestas obtenidas.

Cuadro 16. Prueba de diferencia m6nima significativa al 5% para el factor productos en la variable del pH del compost.

Productos	Promedio (d6as)	Rango
Microorganismos de bosque	7.72	a
Microorganismos de cultivo	7.55	b

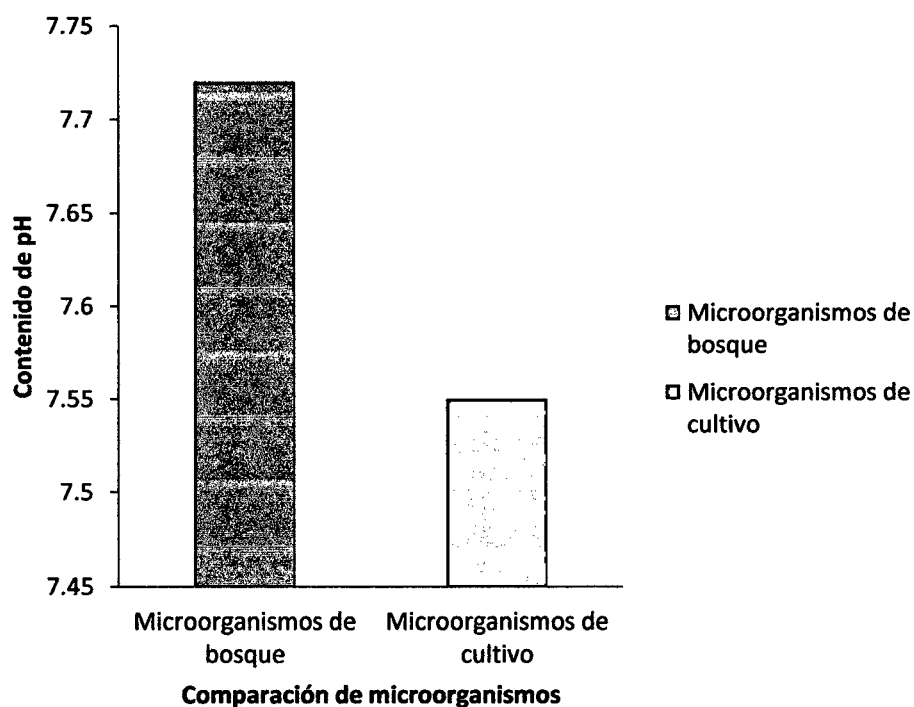


Figura 17. Prueba de diferencia m6nima significativa al 5% para el factor productos en la variable del pH del compost.

4.2. Dosis de los productos en estudio y el tiempo requerido

4.2.1. Días a la obtención del compost

En cuanto al factor dosis de aplicación en la evaluación de los días a la obtención del compost, la prueba de significación de Tukey al 5%, separó los promedios en dos rangos de significación bien definidos (cuadro 17). El menor tiempo a la obtención del compost experimentaron los tratamientos que recibieron aplicación de microorganismos en la dosis de 30 cc/10 l de agua (D3), con promedio de 78.16 días, ubicado en el primer rango. Los tratamientos que recibieron aplicación de los productos en la dosis de 20 cc/10 l de agua (D2) y 10 cc/10 l de agua (D1), compartieron el segundo rango, con mayor tiempo a la obtención del compost, promedios de 86.33 días y 93.50 días, respetivamente.

Cuadro 17. Prueba de Tukey al 5% para el factor dosis en la variable días a la obtención del compost.

Productos	Promedio (días)	Rango
30cc/10l de agua (D1)	78.16	a
20cc/10l de agua (D1)	86.33	a
10cc/10l de agua (D1)	93.50	b

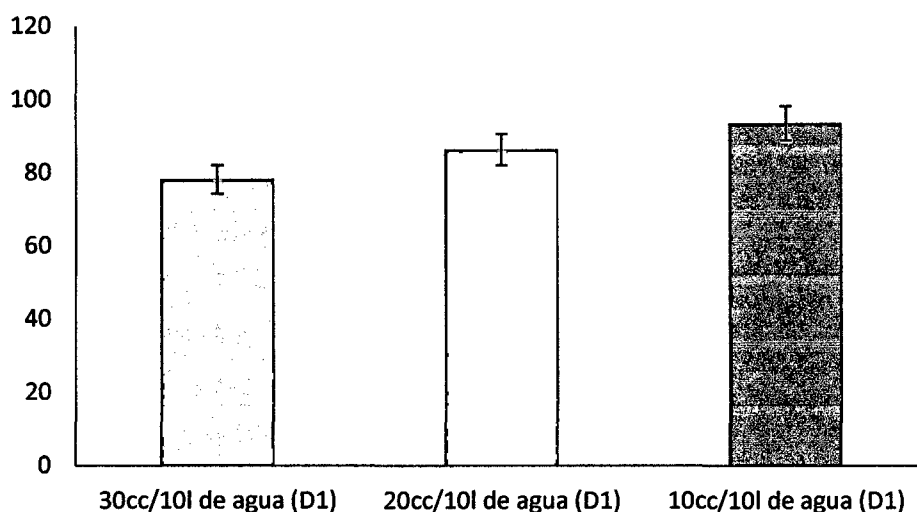


Figura 18. Prueba de Tukey al 5% para el factor dosis en la variable días a la obtención del compost.

Analizando la figura de los productos por dosis en la evaluación de los días a la obtención del compost, según la prueba de significación de Tukey al 5% se registraron dos rangos de significación bien definidos. Menor tiempo a la obtención del compost se obtuvo en la interacción P2D3 (Microorganismos bosque, dosis de 30 cc/10 l), con promedio de 72.33 días, ubicado en el primer rango y lugar; seguido de los tratamientos P2D2 (Microorganismos bosque, dosis de 20 cc/10 l), P1D3 (Microorganismos cultivo, dosis de 30 cc/10 l), P2D1 (Microorganismos bosque, dosis de 10 cc/10 l) y P1D2 (Microorganismos bosque, dosis de 20 cc/10 l), que compartieron el primer rango, en su orden, con promedios que van desde 88.00 días hasta 90.33 días; en tanto que, mayor tiempo a la obtención del compost, reportó la interacción P1D1

(Microorganismos cultivo, dosis de 10 cc/10 l), con promedio de 99.00 días, al ubicarse en el segundo rango en la prueba.

Cuadro 18. Prueba de Tukey al 5% para la interacción productos por dosis en la variable días de obtención.

P X D	Promedio (días de obtención de compost)	Rango
P2D3	72.33	a
P2D2	82.33	a
P1D3	84.00	a
P2D1	88.00	a
P1D2	90.33	a
P1D1	99.00	b

Los resultados obtenidos permiten deducir que, el aporte de microorganismos para acelerar la transformación de desechos orgánicos en compost, influenciaron favorablemente en este proceso, por cuanto, en general, todos los tratamientos que recibieron aplicación de microorganismos reportaron menor tiempo a la obtención del compost, que lo observado en el testigo.

4.2.2. Peso del compost

El factor productos reportó ausencia de significación, como también el factor dosis de aplicación y la interacción productos por dosis. El testigo no se diferenció del resto de tratamientos y el coeficiente de variación fue de 2.15 %, lo que confiere alta confiabilidad a los cálculos reportados.

4.2.3. Humedad

Evaluando el factor dosis de aplicación, en el contenido de nitrógeno, aplicando la prueba de significación de Tukey al 5%, se observaron tres rangos de significación bien definidos (cuadro 19). El mayor contenido de nitrógeno experimentaron los tratamientos que recibieron aplicación de microorganismos en la dosis de 30 cc/10 l de agua (D3), con promedio de 37.37%, al ubicarse en el primer rango; seguido de los tratamientos que recibieron aplicación de los productos en la dosis de 20 cc/10 l de agua (D2), que se ubicó en el segundo rango, con promedio de 29.95%; en tanto que, los tratamientos de la dosis de 10 cc/10 l de agua (D1), reportaron el menor porcentaje de nitrógeno, al ubicarse en el tercer rango, con promedio de 29.57%.

Cuadro 19. Prueba de Tukey al 5% para el factor dosis en la variable contenido de humedad.

Productos	Promedio (humedad)	Rango
30cc/10l de agua (D3)	37.37	a
20cc/10l de agua (D2)	29.95	a
10cc/10l de agua (D1)	29.57	b

La figura 19, muestra la diferencia entre dosis de aplicación de microorganismos versus el contenido de nitrógeno del compost, se demuestra que a mayores dosis de aplicación de microorganismos, el contenido de nitrógeno fue significativamente mayor, obteniéndose los mejores resultados en los tratamientos con aplicación de los productos en la dosis de 30 cc/10 l de agua.

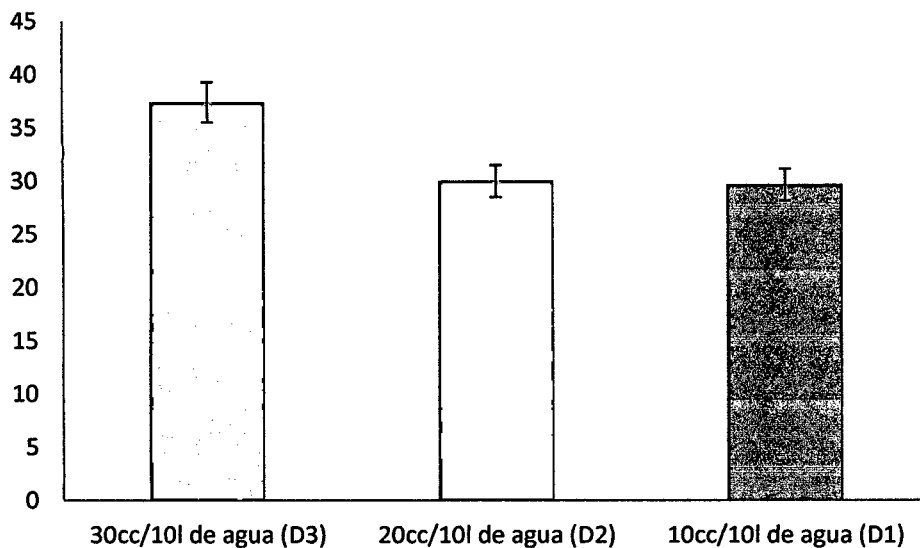


Figura 19. Prueba de Tukey al 5% para el factor dosis en la variable contenido de humedad.

4.2.4. Contenido nutricional

4.2.4.1. Contenido de nitrógeno

Evaluando el factor dosis de aplicación, en el contenido de nitrógeno, aplicando la prueba de significación de Tukey al 5%, se observaron tres rangos de significación bien definidos (cuadro 20). El mayor contenido de nitrógeno experimentaron los tratamientos que recibieron aplicación de microorganismos en la dosis de 30 cc/10 l de agua (D3), con promedio de 1.67%, al ubicarse en el primer rango; seguido de los tratamientos que recibieron aplicación de los productos en la dosis de 20 cc/10 l de agua (D2), que se ubicó en el segundo rango, con promedio de 1.44 %; en tanto que, los tratamientos de la dosis de 10 cc/10 l de agua (D1), reportaron el menor porcentaje de nitrógeno, al ubicarse en el tercer rango, con promedio de 1.14%.

Cuadro20. Prueba de Tukey al 5% para el factor dosis en la variable contenido de nitrógeno.

Productos	Promedio (N%)	Rango
30cc/10l de agua (D3)	1.67	a
20cc/10l de agua (D2)	1.44	a
10cc/10l de agua (D1)	1.14	b

La figura 20, muestra la diferencia entre dosis de aplicación de microorganismos versus el contenido de nitrógeno del compost, se demuestra que a mayores dosis de aplicación de microorganismos, el contenido de nitrógeno fue significativamente mayor, obteniéndose los mejores resultados en los tratamientos con aplicación de los productos en la dosis de 30 cc/10 l de agua.

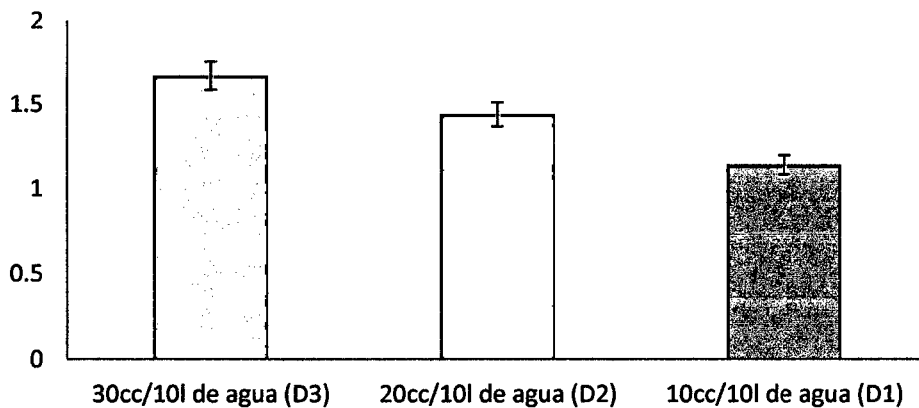


Figura 20. Dosis de aplicación de microorganismos versus contenido de nitrógeno.

Analizando la evaluación estadística del contenido de nitrógeno del compost, es posible afirmar que, el aporte de microorganismos en el proceso de compostaje, influyó favorablemente en este proceso, por cuanto, en general, varios tratamientos que recibieron aplicación de microorganismos reportaron mayor porcentaje de nitrógeno lo registrado en el testigo.

Cuadro 21. Prueba de Tukey al 5% para la interacción productos por dosis en la variable contenido de nitrógeno.

P X D	Promedio (N %)	Rango
P2D3	1.88	a
P2D2	1.62	b
P1D3	1.45	b
P2D1	1.25	c
P1D2	1.25	c
P1D1	1.02	c

4.2.4.2. Contenido de fósforo

Examinando el factor dosis de aplicación, en el contenido de fósforo del compost, según la prueba de significación de Tukey al 5%, se establecieron dos rangos de significación bien definidos (cuadro 22). El mayor contenido de fósforo se obtuvo en los tratamientos que recibieron aplicación de microorganismos en la dosis de 30 cc/10 l de agua (D3), con promedio de

219,99 ppm, al ubicarse en el primer rango; seguido de los tratamientos que recibieron aplicación de los productos en la dosis de 20 cc/10 l de agua (D2), que compartieron el primer rango, con promedio de 186,54 ppm; mientras que, los tratamientos de la dosis de 10 cc/10 l de agua (D1), reportaron el menor porcentaje de fósforo, al ubicarse en el segundo rango, con promedio de 113,54 ppm.

Cuadro 22. Prueba de Tukey al 5% para el factor dosis en la variable contenido de fósforo.

Productos	Promedio (fosforo %)	Rango
30cc/10l de agua (D3)	0.700	a
20cc/10l de agua (D2)	0.611	a
10cc/10l de agua (D1)	0.591	b

Mediante la figura 21, se representa diferencia entre dosis de aplicación de microorganismos versus el contenido de fósforo, se muestra que a mayores dosis de aplicación de microorganismos, el contenido de fósforo del compost fue significativamente mayor, alcanzándose los mejores resultados en los tratamientos con aplicación de los productos en la dosis de 30 cc/10 l de agua, con correlación lineal significativa de 0,24

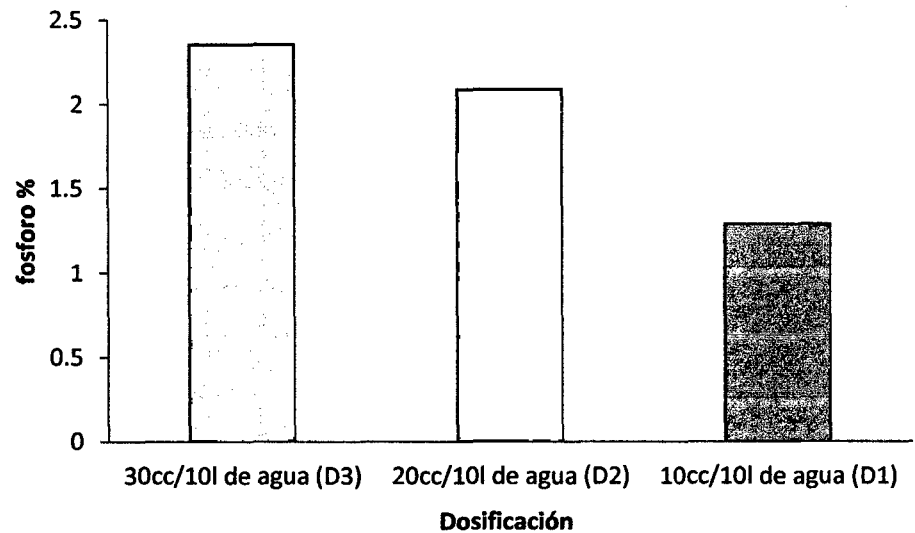


Figura 21. Prueba de Tukey al 5% para el factor dosis en la variable contenido de fósforo.

Evaluando la interacción productos por dosis en el contenido de fósforo, la prueba de significación de Tukey al 5%, registró tres rangos de significación bien definidos (cuadro 23). El mayor contenido de fósforo reportó la interacción P2D3 (microorganismo de bosque, dosis de 30 cc/10 l), con promedio de 432,67 ppm, ubicado en el primer rango y lugar; seguido de la interacción P2D2 (microorganismo de bosque, dosis de 20 cc/10 l), que compartió el primer rango, con promedio de 365,25 ppm. El menor contenido de fósforo, por su parte, experimentó la interacción P1D1 (microorganismos de cultivo, dosis de 10 cc/10 l), al ubicarse en el tercer rango y último lugar en la prueba, con promedio de 6,01 ppm.

Cuadro 23. Prueba de Tukey al 5% para la interacción productos por dosis en la variable contenido de fósforo.

P X D	Promedio (fosforo %)	Rango
P2D3	0.777	a
P1D3	0.623	ab
P2D2	0.622	ab
P1D2	0.600	ab
P2D1	0.599	b
P1D1	0.582	b

Examinando los resultados estadísticos del contenido de fósforo del compost, es posible confirmar que, el aporte de microorganismos en el proceso de compostaje, influyó favorablemente en este proceso, por cuanto, en general, todos los tratamientos que recibieron aplicación de microorganismos reportaron mayor porcentaje de fósforo que lo establecido en el testigo. En este sentido, con la aplicación de microorganismo de bosque (P2) se obtuvieron los mejores resultados, al incrementar el contenido de fósforo en promedio de 332,61 ppm, que lo observado en los tratamientos de microorganismos de cultivo (P1). Igual respuesta ocurrió con la aplicación de los microorganismos en la dosis de 30 cc/10 l de agua (D3), con la cual el contenido de nitrógeno se incrementó en promedio de 106,45 ppm, que los tratamientos de la dosis de 10 cc/10 l de agua (D1); lo que demuestra que, con

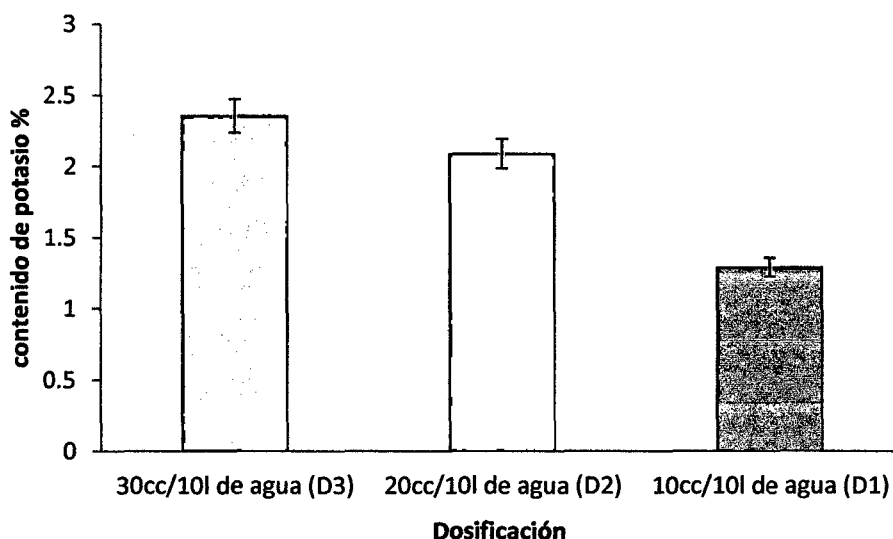
la aplicación de microorganismo de bosque en dosis de 30 cc/10 l de agua, en el producto y la dosis apropiada para obtener compost de mejor calidad, con mayor contenido nutricional de fósforo.

4.2.4.3. Contenido de potasio

En relación al factor dosis de aplicación, en el contenido de potasio del compost, aplicando la prueba de significación de Tukey al 5%, se detectaron dos rangos de significación bien definidos (cuadro 24). Mayor contenido de potasio se alcanzó en los tratamientos que recibieron aplicación de microorganismos en la dosis de 30 cc/10 l de agua (D3), con promedio de 0,72%, al ubicarse en el primer rango; seguido de los tratamientos que recibieron aplicación de los productos en la dosis de 20 cc/10 l de agua (D2), que compartieron el primer rango, con promedio de 0,69%; en tanto que, los tratamientos de la dosis de 10 cc/10 l de agua (D1), reportaron el menor porcentaje de potasio, al ubicarse en el segundo rango, con promedio de 0,44%.

Cuadro 24. Prueba de Tukey al 5% para el factor dosis en la variable contenido de potasio.

Productos	Promedio (k %)	Rango
30cc/10l de agua (D3)	2.36	a
20cc/10l de agua (D2)	2.09	a
10cc/10l de agua (D1)	1.29	b



.Figura 22. Prueba de Tukey al 5% para el factor dosis en la variable contenido de potasio.

La evaluación estadística del contenido de potasio del compost, permite deducir que, el aporte de microorganismos al proceso de compostaje, influenció favorablemente en este proceso, debido a que, en general, varios tratamientos que recibieron aplicación de microorganismos reportaron mayor porcentaje de potasio que lo registrado en el testigo. Los mejores resultados se alcanzaron con la aplicación de microorganismos en la dosis de 30 cc/10 l de agua (D3), se obtuvieron los mayores contenidos, superando en promedio de 0,28%, que los tratamientos de la dosis de 10 cc/10 l de agua (D1). Estos resultados permiten inferir que, la aplicación de microorganismos en dosis de 30 cc/10 l de agua, es la dosis apropiada para obtener compost de mejor calidad, con mayor contenido nutricional de potasio, reduciendo así mismo el tiempo a la obtención del compost.

Cuadro 25. Prueba de Tukey al 5% para la interacción productos por dosis en la variable contenido de potasio.

P X D	Promedio (k %)	Rango
P2D3	2.52	a
P1D2	2.32	ab
P1D3	2.20	ab
P1D2	1.85	ab
P2D1	1.35	b
P1D1	1.23	b

4.2.4.4. Materia orgánica

Con respecto al factor dosis de aplicación, en el contenido de materia orgánica del compost, la prueba de significación de Tukey al 5%, separó los promedios en dos rangos de significación bien definidos (cuadro 26). Mayor contenido de materia orgánica se obtuvo en los tratamientos que recibieron aplicación de microorganismos en la dosis de 20 cc/10 l de agua (D2), con promedio de 24,66%, ubicado en el primer rango; seguido de los tratamientos que recibieron aplicación de los productos en la dosis de 30 cc/10 l de agua (D3), que compartieron el primer rango, con promedio de 24,63%; mientras que, los tratamientos de la dosis de 10 cc/10 l de agua (D1), reportaron el menor porcentaje de materia orgánica, al ubicarse en el segundo rango, con el menor promedio de 21,30%.

Cuadro 26. Prueba de Tukey al 5% para el factor dosis en la variable contenido de materia orgánica.

Productos	Promedio (m.o %)	Rango
30cc/10l de agua (D3)	32.85	a
20cc/10l de agua (D2)	29.96	a
10cc/10l de agua (D1)	27.8	b

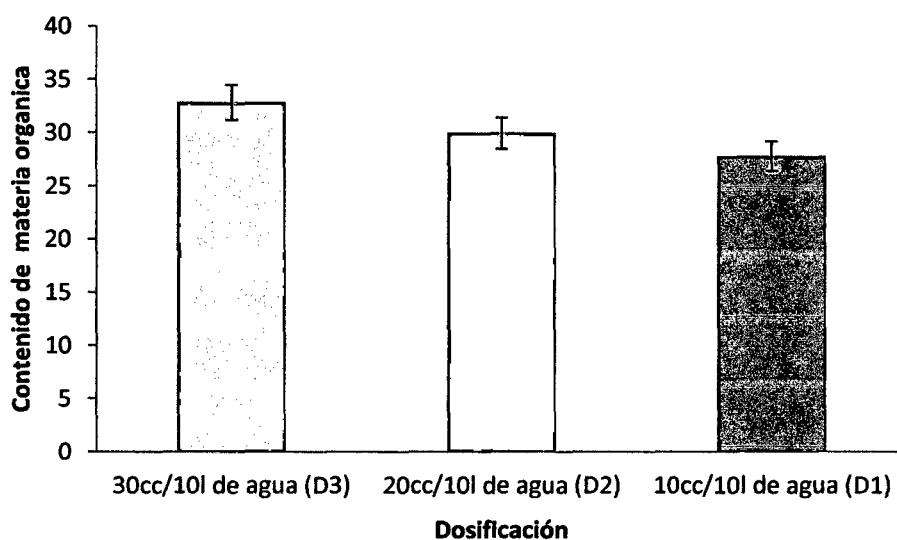


Figura 23. Prueba de Tukey al 5% para el factor dosis en la variable contenido de materia orgánica.

La figura 23, ilustra la regresión lineal entre dosis de aplicación de microorganismos versus el contenido de materia orgánica del compost, en donde la tendencia lineal positiva de la recta, muestra que, el contenido de materia orgánica fue significativamente mayor, conforme se incrementaron las

dosis de aplicación de microorganismos, obteniéndose los mejores resultados en los tratamientos que recibieron aplicación de los productos en la dosis de 30 cc/10 l de agua, con correlación lineal significativa de 0,57.

Cuadro 27. Prueba de Tukey al 5% para la interacción productos por dosis en la variable contenido de materia orgánica.

P X D	Promedio (m.o/compost)	Rango
P2D3	35.00	a
P1D3	30.71	ab
P2D3	30.33	ab
P1D2	29.59	ab
P2D1	28.03	b
P1D1	27.57	b

4.2.4.5. pH

Evaluando los resultados del pH, se puede deducir que, al no reportar significación estadística el ADEVA, indica que el pH de todos los tratamientos fue estadísticamente similar, sin encontrar valores de pH significativamente más altos o valores más bajos. Estas respuestas indican que la aplicación de microorganismos a pesar que aceleran el proceso de

descomposición y dotan de mejor valor nutricional al compost, no influyen relevantemente en el comportamiento del pH de producto final obtenido.

4.3. Análisis microbiológicos

4.3.1. Recuento de microorganismos

Cuadro 28. Cuantificación de microorganismos encontrados en cada gramo de compost.

Tratamientos	Numeración de Microorganismos aerobios viables UFC/gr de muestra	Numeración de Actinomicetos UFC/gr de muestra	Numeración de Mohos y Levaduras UFC/gr de muestra
Microorganismos de cultivo	280 x 10 ⁴	320 x 10 ⁴	45 x 10 ⁴
Microorganismos de bosque	340 x 10 ⁴	450 x 10 ⁴	50 x 10 ⁴
Testigo	Ausencia	Ausencia	8 x 10 ⁴

4.3.2. Identificación de mohos y levaduras

Mediante la realización de microcultivos se determinaron las siguientes especies de hongos.

Cuadro 29. Especies de fungí encontrados en los tratamientos de compost.

Microorganismos	Tratamientos	Fungí encontrados
Cultivo	P1D1	<i>Geotrichum sp.</i>
		<i>Aspergillus sp.</i>
		<i>Mucor sp.</i>
	P1D2	<i>Mucor sp.</i>
		<i>Saccharomyces cerevisiae</i>
	P1D3	<i>Trichoderma sp.</i>
<i>Geotrichum sp.</i>		
<i>Mucor sp.</i>		
Bosque	P2D1	<i>Saccharomyces cerevisiae</i>
		<i>Trichoderma</i>
	P2D2	<i>Trichoderma.</i>
		<i>Penicillium sp.</i>
	P2D3	<i>Aspergillus terreus</i>
		<i>Geotrichum candidum</i>
Testigo	To	<i>Penicillium sp.</i>
		<i>Aspergillus terreus</i>
		<i>Geotrichum sp.</i>

4.3.3. Análisis de bacterias

Cuadro 30. Identificación de bacterias en el compost.

Microorganismos	Tratamientos	Bacterias encontrados
Cultivo	P1D1	<i>Bacillus.</i>
		<i>Lactobacillus plantarum</i>
		<i>Stréptococcus lacteis.</i>
	P1D2	<i>Pseudomonas sp</i>
		<i>Stréptococcus lacteis</i>
Bosque	P1D3	<i>Bacillus.</i>
		<i>Enterobacter</i>
	P2D1	<i>Bacillus.</i>
		<i>Pseudomonas sp</i>
P2D2	<i>Enterobacter</i>	
	<i>Stréptococcus lacteis.</i>	
P2D3	<i>Pseudomonas fluorescentes</i>	
	<i>Bacillus.</i>	
Testigo	To	<i>Pseudomonas</i>

4.3.4. Análisis de bacterias

Cuadro 31. Identificación de actinomicetos en el compost.

Microorganismos	Tratamientos	Bacterias encontrados
	P1D1	<i>Streptomyces rectus.</i> <i>S. thermovulgaris</i>
Cultivo	P1D2	<i>Streptomyces rectus</i> <i>Stréptococcus lacteis</i>
	P1D3	<i>Bacillus.</i> <i>Streptomyces rectus</i>
	P2D1	<i>Streptomyces rectus</i>
Bosque	P2D2	<i>Nocardia sp</i> <i>Streptomyces rectus</i>
	P2D3	<i>Streptomyces rectus</i> <i>Bacillus.</i>
Testigo	To	<i>Nocardia sp</i>

V. DISCUSION

Con la utilización de los microorganismos de bosque (P2) como aporte de microorganismos benéficos, para acelerar la transformación de restos orgánicos en compost, se alcanzaron los mejores resultados, al reducirse el tiempo a la cosecha y obtener compost de mejor calidad obteniéndose en los tratamientos de éste producto: menor tiempo a la obtención del compost 98,38 días), mayor número de microorganismos (bacterias, hongos y actinomicetos), con mejor contenido nutricional, por lo que es el producto apropiado para acelerar la descomposición de los materiales orgánicos, obteniéndose el compost en menor tiempo, con mejor contenido nutricional. El empleo de microorganismos es una opción para mejorar la calidad del suelo y evitar el deterioro de los ecosistemas agrícolas (FUNDASES, 2005).

Se confirman que la aplicación de EM, que bien utilizados puede reducir no sólo la contaminación del microambiente (control de malos olores, moscas), sino también mejorar la calidad del producto, acelerar la estabilización del proceso, pues el EM es un inoculado constituido por la mezcla de varios microorganismos benéficos (levaduras, actinomicetos, bacterias ácido lácticas y fotosintéticas) que son mutuamente compatibles entre sí y coexisten en un cultivo líquido (HIGA, 1997).

Diferentes investigaciones han demostrado que los microorganismos benéficos pueden: incrementar el valor nutricional; aumentar la supervivencia y disminuir enfermedades mediante la inhibición del crecimiento de bacterias patógenas dependiendo de la dosificación que se aplica (INTEC, 1997).

ALEXANDER, M. 1977 (2005), la temperatura es uno de los factores que mejor indica el desarrollo del proceso de descomposición de la materia orgánica. El incremento en la temperatura de las pilas tiene dos efectos importantes: acelerar la descomposición y eliminar o disminuir las poblaciones de los microorganismos patogénicos existentes.

En relación a la humedad los microorganismos de cultivo presentaron una humedad de 29.65 % y los microorganismos de bosque 34.95% y el testigo 29.13% lo cual con lleva que la humedad óptima del compostaje se puede situar alrededor del 30 a 55% aunque varía dependiendo del estado físico y tamaño de las partículas, así como del sistema empleado para realizar el compostaje. El contenido de humedad ideal para el compostaje debe considerar una adecuada humedad para las necesidades fisiológicas de los microorganismos y un adecuado flujo de oxígeno para mantener las condiciones aeróbicas (HARPER et al., 1992).

El pH del tratamiento que contiene más alto pH es P2D3 con (7,77) y el más bajo el testigo con 7.43 indica que están al rango. Durante el proceso de compostaje se producen diferentes fenómenos o procesos que hacen variar este parámetro. Al comienzo y como consecuencia del

metabolismo fundamentalmente bacteriano, los complejos carbonados fácilmente degradables, se transforman en ácidos orgánicos, provocando que el pH descienda. Luego los niveles aumentan como consecuencia de la formación de amoníaco, alcanzando valores más altos (alrededor de 8,5), lo cual coincide con el máximo de actividad de la fase termófila (GUERRA et al., 2001). Finalmente, el pH disminuye en la fase final o de maduración (pH entre 7 y 8) debido a las propiedades naturales de amortiguador o tampón de la materia orgánica (GRAVES, 2000).

En relación al testigo, que no recibió aporte de microorganismos, experimentó el mayor tiempo a la cosecha del compost y el contenido nutricional fue menor, al observarse en éste tratamiento: mayor tiempo a la obtención del compost (120,00 días), y menor contenido de fósforo (0.561%) potasio (0.80 %) y materia orgánica (24.00%), lo que justifica la aplicación de los microorganismos en el proceso de compostaje, siendo evidente la reducción del tiempo que ocasionan hasta la obtención del compost. Según KUSAKA *et al.* (2006), los microorganismos eficientes, son una combinación de varios microorganismos benéficos, de origen natural, que no han sido modificados genéticamente, fisiológicamente compatibles unos con otros, presentes en ecosistemas naturales. Estos microorganismos coexisten en un medio líquido por ello dan mejores resultados del testigo.

Los mejores resultados se alcanzaron con la aplicación de microorganismos de la dosis P2D3 cuya dosis fue 3030 cc/10 L. Las especies de EM incluyen poblaciones predominantes de bacterias acidolácticas

(*Lactobacillus plantarum*, *L. casei*, *Streptococcus lactis*), levaduras (*Saccharomyces cerevisiae*, *Candida utilis*), bacterias fotosintéticas (*Rhodospseudomonas palustris*, *Rhodobacter spaeroides*), actinomicetes (*Streptomyces albus*, *S. griseus*), hongos fermentativos (*Aspergillus oryzae*, *Mucor hiemalis*) y otros tipos de microorganismos. Todos ellos son mutuamente compatibles entre sí y pueden coexistir en un cultivo mixto mayor dosificación de microorganismos mejor (HIGA ,2003)

Los porcentajes de potasio obtenidos se encuentran dentro del rango que brinda la FAO (1991), que van desde 0.4 a 1.6 %.

Según Fernández y Novo (1998) se encuentran la fitina, nucleoproteínas, ácidos nucleicos, azúcares fosforilados, fosfolípidos y otras combinaciones poco móviles, difíciles de ser hidrolizadas por ácidos y de lenta descomposición por los microorganismos. Los contenidos encontrados se corresponden con los de la FAO (1991) que están entre 0.1 y 1.6 %; por otra parte Mayea (1995), Kolmans y Vázquez (1996) y la FAO (1997) obtuvieron 0.9, 0.5 y 0.20 % respectivamente.

La relación C/N PARA el tratamiento que mejor contenido nutricional es 35 /1.8 que va al tratamiento P2D3. En el proceso de compostaje el carbono es la fuente de energía utilizada por los microorganismos para la activación de sus procesos metabólicos, mientras que el nitrógeno, es el material básico para la síntesis de material celular, por lo tanto la relación C/N es uno de los aspectos más importantes en el balance nutricional del compost.

Es deseable que la relación C/N este en el rango de 25:1 a 50:1 en la mezcla final (TCHOBANOGLOUS, 1994)

Según CONAMA la Norma Chilena 2880 (2004). Un compost de calidad razonablemente bueno contiene los siguientes valores igual o mayor de N (1%), P (0.6%) y K (0.8%), los cuales los dos tratamientos los valores cumplen con esta norma.

VI. CONCLUSIONES

1. Se aplicó los microorganismos eficientes (bacterias fototróficas, bacterias lácticas, actinomicetos, hongos, levaduras) para acelerar la descomposición de los restos orgánicos para la elaboración de compost.
2. Los microorganismos de bosque alcanzaron mejores resultados que microorganismos de cultivo para acelerar la transformación de desechos orgánicos en compost, al reducirse el tiempo de la cosecha y obtener mejor contenido nutricional pero ambos microorganismos cumplen con el rango de calidad.
3. Se evaluó la calidad del proceso de compostaje mediante la diferente aplicación de microorganismos todos cumplieron con la norma chilena 2880.
4. Se realizó la identificación de bacterias en el compost son; *Bacillus*, *Pseudomonas*, En cuanto a la presencia de fungi, se identificaron los géneros de *Aspergillus*, *Saccharomyces*, *Geotrichum*, *Penicillum*, *Fusarium*, *Trichoherman*, *Mucor*. y actinomicetos género *Saccharomicetes*.

VII. RECOMENDACIONES

- 1.** Para acelerar el tiempo de transformación de desechos orgánicos en compost, así como para obtener mayor contenido nutricional, se recomienda utilizar las cepas de los microorganismos de bosque como aporte de microorganismos benéficos, en dosis de 30 cc/10 L de agua, por cuanto fue el tratamiento que mejores resultados reportó, en la mayoría de variables analizadas, al reducir el tiempo a la obtención del compost y reportar mayores contenidos de nitrógeno, fósforo y potasio y mejor contenido de materia orgánica, en las condiciones de manejo que se efectuó el ensayo.
- 2.** Se recomienda realizar un supervisión minucioso de las condiciones climáticas como: (temperatura, humedad y pH), ya que estas son muy importantes en la en la descomposición del compost.
- 3.** Se recomienda hacer análisis de metales pesados para determinar si su concentración es alta o baja en el compostado final.

VIII. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ALEXANDER, M. 1977. Introducción a la microbiología del suelo. En J. Wiley and Sons eds. Nueva York. 250-255 p.

BROCK, T, y MADIGAN, M. 1993. Microbiología. En T. Aloisi y Brecewell, C ed. México. 848 a 850 p..

CANOVAS, A. 1993. Tratado de Agricultura Ecológica, Ed. Instituto de Estudios Almerienses de la Diputación de Almería, Almería.122p.

CAVASA. 2005. Manejo de desechos sólidos. [En línea] (<http://www.cavasa.com.co/htm/compostaje.htm>, documento, 25 Agos.2005).

COMPOSTADORES. 2005. Compostaje. [En línea] (<http://www.compostadores.com>, documento, 25 Agos.2005).

DE MENDIBURU, F. 2007. Análisis Estadístico con "R" [En línea]: la molina, (<http://lamolina.edu.pe/~fmendiburu/indexfiler/Presentationsdocumento>, documento, 20 Jun. 2015).

ECO TECNOLOGIAS. 2011. Uso de tecnología EM- microorganismos eficaces para el tratamiento de aguas residuales. [En línea]

(<http://www.ecotecnologias.com.ve/utta/pdf/General.pdf>, documento, 09 Ene. 2014).

FIORAVANTI, P. 2005. The Composting Toilet System Book. Center for Ecological Pollution Prevention, Massachusetts, US. 235 p.

FONDO AMBIENTAL DE QUITO. 2006. Proyecto "Manejo Participativo de Desechos Sólidos en Barrios del Sur de Quito". [En línea]: (http://www.fondoambiental.gov.ec/site/download/prj/prj_06.pdf, documento, 09 Nov. 2006).

FUNDACIÓN LUIS PIEDRABUENA. 2005. EM-Detalles. [En línea]: (<http://www.iespana.es./em/detalles/detalles.html>, documento, 10 Jun. 2008).

FUNDASES. 2005. EM-Microorganismos Eficientes. [En línea]: (<http://www.fundases.org/p/em01.html>, documento, 10 Jun. 2008).

GARCIA, J. 2004. "Los Microorganismos Eficientes en la Agricultura". El Agro Edición 95, Editorial UMINASA S.A., Guayaquil, Ecuador. 25p.

GRANT W.D. Y LONG P.E. 2000. Microbiología ambiental, Capítulo 1º, Ed. ACRIBIA. Chile. 1- 22p.

GRAVES, R.E. 2000. Nacional Cuelgue Ingeniería libro: El compost. [En línea]: (www.nrcs.usda.gov/technical/ENG/neh.html, documento, 10 Jun. 2015).

- HARPER, E., MILLER, C .1992. Gestión física y la interpretación de un ecosistema de compostaje de ambiente controlado. Diario Australiano de Agricultura Experimental. 32: 657 - 667.
- HIGA, T.; CHINEN, N. 1998. EM treatments of odor, waste waster and environmental problems. College of Agriculture, University of the Ryukyus, Okinawa, JP.122p.
- INTEC.1997. Manual de compostaje. Santiago.21-30p,
- JIMENEZ EDWIN Y ARIAS CARLOS. "Manejo de Desechos Sólidos Orgánicos Generados en Bares y Comedores de ESPOL". Revista Investigación y Desarrollo Edición 14, CICYT-VLIR., Guayaquil, Ecuador.25p.
- MILLER, F. 1991. La biodegradación de los residuos sólidos mediante compostaje. En A.M. Martin Ed. Elsevier Science Publishers, Essex IG118JU, Inglaterra. 1-25p.
- PARNES, R. 1990. Fértil del suelo: Una guía para el cultivador de fertilizers. orgánica y inorgánica. En Ag acceso. Davis. California. 51-59p.
- PINTO, C. 2001.Principios Básicos del Proceso de compostaje. Chile Agrícola. Julio -Agosto: 102-107p.
- RAMÍREZ, M. 2006. Tecnologías de microorganismos aplicados a la agricultura y medio ambiente sostenible. Monografía especialización Ing ambiental. Bucaranmanga Colombia. universidad industrial de Santander escuela de ingeniería química. 44p.

IX. ANEXOS

ANEXO A. DATOS TOMADAS DEL CAMPO Y LABORATORIO

A.I. Días a la obtención del compost

Tratamientos		Repeticiones			Total	Promedio
N°	Símbolo	I	II	III		
1	P1D1	99.00	98.00	99.00	360	99.00
2	P1D2	90.00	90.00	91.00	271	90.33
3	P1D3	85.00	84.00	83.00	252	84.00
4	P2D1	89.00	88.00	87.00	264	88.00
5	P2D2	82.00	83.00	82.00	247	82.33
6	P2D3	72.00	73.00	72.00	217	72.33
7	T	120.00	120.00	120.00	360	120.00

A.II. Temperatura del compost

Tratamientos	1° semana	7 ° semana	11° semana	16° semanas
P1D1	28.26	40.26	28.18	28.18
P2D1	28.33	40.90	31.11	30.1
P1D2	30.23	48.73	31.06	30.2
P2D2	30.11	48.90	32.37	31.22
P1D3	32.46	64.23	32.46	32.46
P2D3	32.37	65.00	32.37	32.37
T	28.00	35.00	31	28.3

A.III. Peso del compost (Kg)

Tratamientos		Repeticiones			Total	Promedio
N°	Símbolo	I	II	III		
1	P1D1	65.00	65.00	64.00	194.00	64.67
2	P1D2	68.00	70.00	70.00	208.00	69.33
3	P1D3	67.00	66.00	72.00	205.00	68.33
4	P2D1	68.00	69.00	71.00	208.00	69.33
5	P2D2	63.00	71.00	70.00	204.00	68.00
6	P2D3	69.00	72.00	71.00	212.00	70.67
7	T	68.00	70.00	69.00	207.00	69.00

A.IV. Humedad

Tratamientos		Repeticiones			Total	Promedio
N°	Símbolo	I	II	III		
1	P1D1	29.60	29.52	29.45	88.57	29.52
2	P1D2	29.60	30.00	29.80	89.40	29.80
3	P1D3	37.50	38.10	38.00	113.60	37.87
4	P2D1	29.80	29.60	29.50	88.90	29.63
5	P2D2	30.22	30.32	29.80	90.34	30.11
6	P2D3	36.52	37.20	36.90	110.62	36.87
7	T	29.20	28.90	29.30	87.40	29.13

A. V. Contenido de nitrógeno (%)

Tratamientos		Repeticiones			Total	Promedio
N°	Símbolo	I	II	III		
1	P1D1	0.65	0.64	0.69	1.98	0.66
2	P1D2	0.86	0.86	0.87	2.59	0.86
3	P1D3	1.30	1.32	1.32	3.94	1.31
4	P2D1	0.97	0.93	0.97	2.87	0.96
5	P2D2	1.20	1.29	1.25	3.74	1.25
6	P2D3	1.76	1.75	1.78	5.29	1.76
7	T	0.63	0.60	0.59	1.82	0.61

A.VI. Contenido de fósforo (%)

Tratamientos		Repeticiones			Total	Promedio
N°	Símbolo	I	II	III		
1	P1D1	0.523	0.521	0.522	1.566	0.522
2	P1D2	0.560	0.564	0.562	1.568	0.563
3	P1D3	0.621	0.624	0.622	1.856	0.623
4	P2D1	0.599	0.590	0.597	1.786	0.599
5	P2D2	0.621	0.620	0.624	1.865	0.622
6	P2D3	0.776	0.779	0.778	2.333	0.777
7	T	0.561	0.559	0.561	1.721	0.561

A.VII. Contenido de potasio (%)

Tratamientos		Repeticiones			Total	Promedio
N°	Símbolo	I	II	III		
1	P1D1	0.78	0.75	0.74	2.27	0.76
2	P1D2	0.85	0.89	0.88	2.62	0.87
3	P1D3	0.93	0.97	0.99	2.89	0.96
4	P2D1	3.12	3.05	3.09	9.26	3.09
5	P2D2	3.22	3.33	3.28	9.83	3.28
6	P2D3	3.56	3.48	3.50	10.54	3.51
7	T	0.82	0.50	0.75	2.07	0.69

A.VIII. Contenido de materia orgánica (%)

Tratamientos		Repeticiones			Total	Promedio
N°	Símbolo	I	II	III		
1	P1D1	27.33	28.00	27.45	82.78	27.59
2	P1D2	29.52	29.45	29.65	88.62	29.54
3	P1D3	31.20	30.50	30.45	92.15	30.72
4	P2D1	33.21	35.20	34.25	102.66	34.22
5	P2D2	44.87	45.26	44.99	135.12	45.04
6	P2D3	51.39	51.45	50.99	153.83	51.28
7	T	21.08	20.07	20.05	61.20	20.40

A.IX. Contenido de pH (%)

Tratamientos		Repeticiones			Total	Promedio
N°	Símbolo	I	II	III		
1	P1D1	8.10	7.58	7.54	23.22	7.74
2	P1D2	7.55	7.45	7.41	22.41	7.47
3	P1D3	7.65	7.45	7.23	22.33	7.44
4	P2D1	7.85	7.56	7.68	23.09	7.70
5	P2D2	7.05	8.02	8.00	23.07	7.69
6	P2D3	7.99	7.81	7.51	23.31	7.77
7	T	7.23	7.80	7.25	22.28	7.43

ANEXO B. PRUEBAS ESTADÍSTICAS DE LOS PARAMETROS FISICOQUÍMICOS.

B-I. Análisis de varianza de la cuantificación de días de descomposición en los tratamientos.

F.V.	G.L	S.C	C.M	F. cal.	P _{valor}	Sig
Tratamiento	6	82,1693	16,4338	17,39	0,0001	**
Error experimental	14	11,3416	0,9451			
Total	20	93,5110				

R2 = 0,879 CV = 8.23 MSE = 0,97 Media = 7,35

B-II. Análisis de varianza de la cuantificación del peso del compost en los tratamientos.

F.V.	G.L	S.C	C.M	F. cal.	P _{valor}	Sig
Tratamiento	6	63,571	13,428	28,00	0,01	**
Error experimental	14	6,000	0,428			
Total	20	63,5714				
R ² = 0,99 CV = 2,15 MSE = 0,65 Media = 3,85						

B-III. Análisis de varianza de la cuantificación de la humedad en los tratamientos.

F.V.	G.L	S.C	C.M	F. cal.	P _{valor}	Sig
Tratamiento	6	0,4117	0,068	41,38	0,0001	**
Error experimental	14	1,2778	0,091			
Total	20	1,6895				
R ² = 0,243 CV = 32.3 MSE = 0,30 Media = 7,60						

B-VI. Análisis de varianza de la cuantificación de nitrógeno en los tratamientos.

F.V.	G.L	S.C	C.M	F. cal.	P _{valor}	Sig
Tratamiento	6	0,4117	0,068	41,38	0,0001	**
Error experimental	14	1,2778	0,091			
Total	20	1,6895				
R ² = 0,243 CV = 2. 20% MSE = 0,30 Media = 7,60						

B-V. Análisis de varianza de la cuantificación de fosforo en los tratamientos.

F.V.	G.L	S.C	C.M	F. cal.	P _{valor}	Sig
Tratamiento	6	417,17	699,19	592,38	0,001	**
Error experimental	14	162,60	11,614			
Total	20	417,78				
R2 = 0,99 CV =22.20% MSE = 3,40 Media = 215,36						

B-VI. Análisis de varianza de la cuantificación de potasio en los tratamientos.

F.V.	G.L	S.C	C.M	F. cal.	P _{valor}	Sig
Tratamiento	6	31,818	5,303	1028,30	0,0001	**
Error experimental	14	0,072	0,005			
Total	20	31,890				
R2 = 0,99 CV =21.53 MSE = 0,071 Media = 1,88						

B-VII. Análisis de varianza de la cuantificación de materia orgánica.

F.V.	G.L	S.C	C.M	F. cal.	P _{valor}	Sig
Tratamiento	6	0,4117	0,268	11,38	0,0001	**
Error experimental	14	1,2778	0,391			
Total	20	1,6895				
R2 = 0,243 CV =6.66 MSE = 0,30 Media = 7,60						



Figura 24. Preparación y activación de los microorganismos de bosque y de cultivo.



Figura 25. Instalación del diseño en bloque de los tratamientos del compost.



Figura 26. Tratamiento de cultivo.



Figura 27. Monitoreo de los tratamientos instalados.

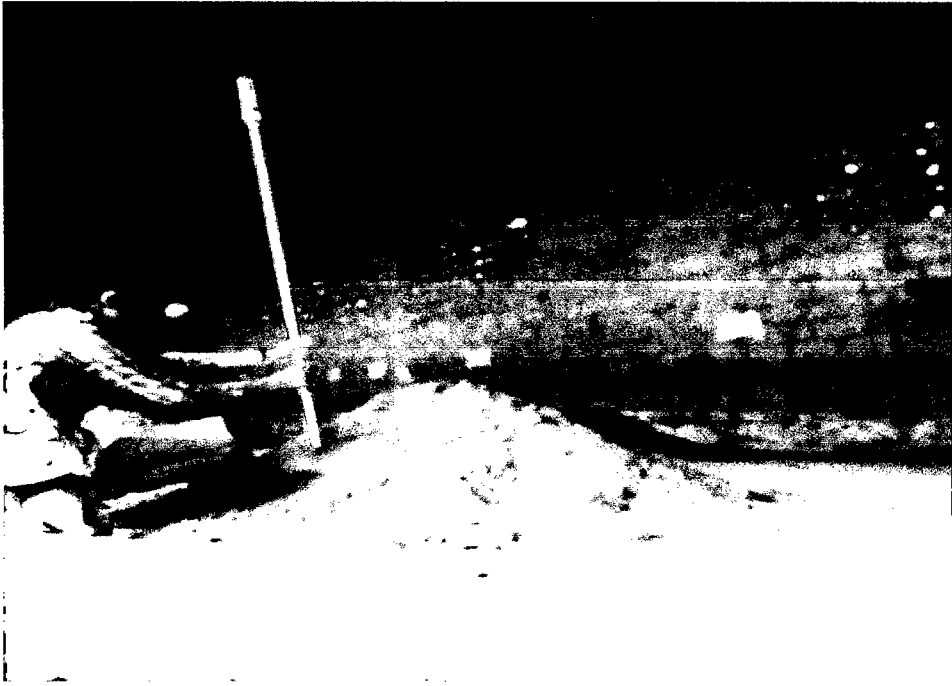


Figura 28. Evaluación de la temperatura de los tratamientos.



Figura 29. Evaluación del pH de los tratamientos

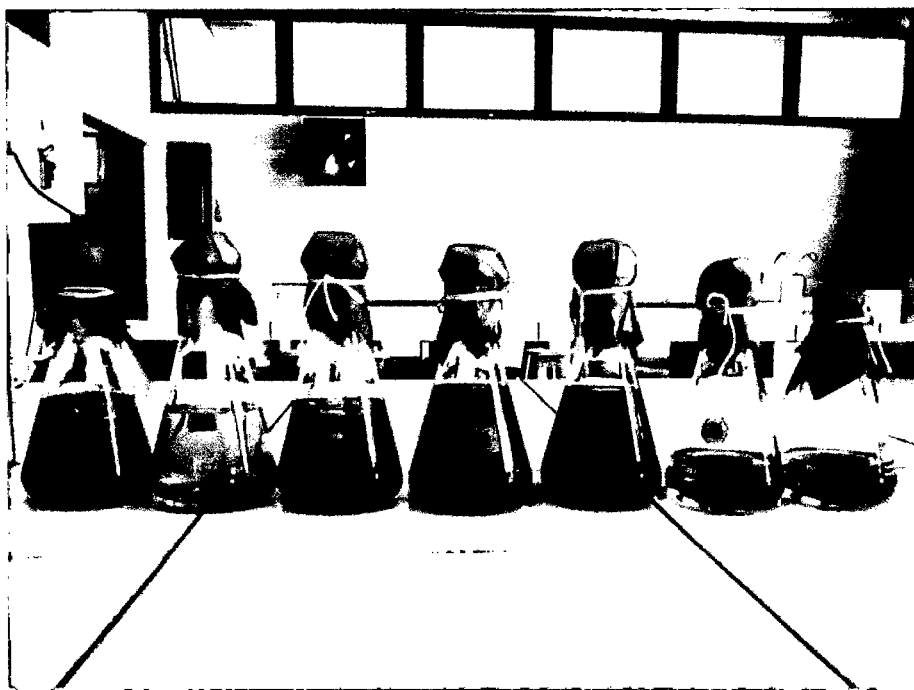


Figura 30. Medios de cultivos para evaluar a los microorganismos.



Figura 31. Dilución de la muestra en los caldos peptona manitol para la identificación de bacterias.



Figura 32. Microcultivo para la identificación de hongos.

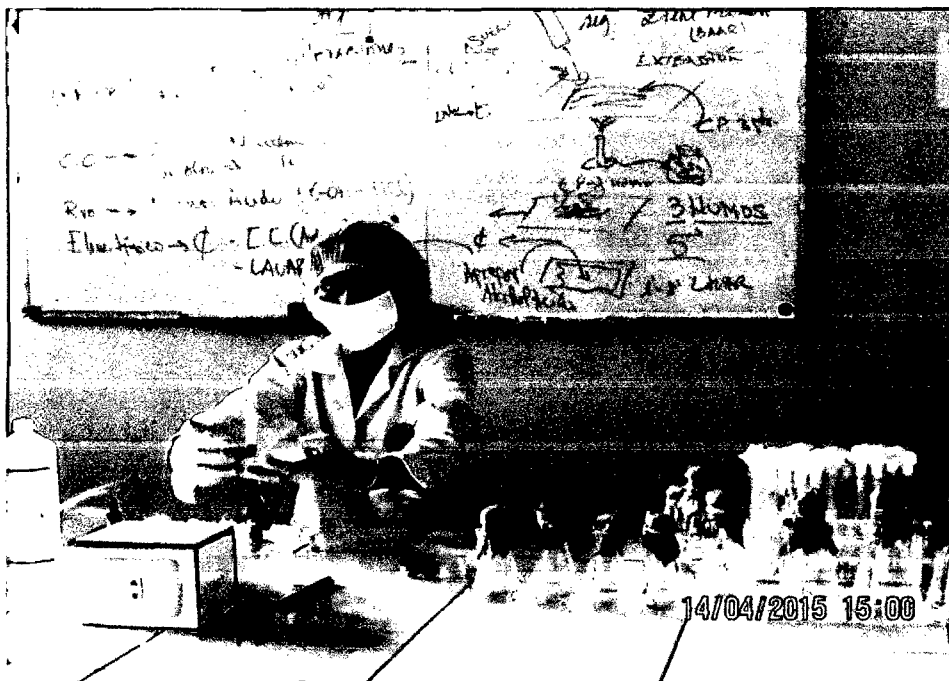


Figura 33. Coloración para la identificación de bacterias y dilución de muestras.



Figura 34. Identificación de actinomicetos, hongos y bacterias ne el microscopio.

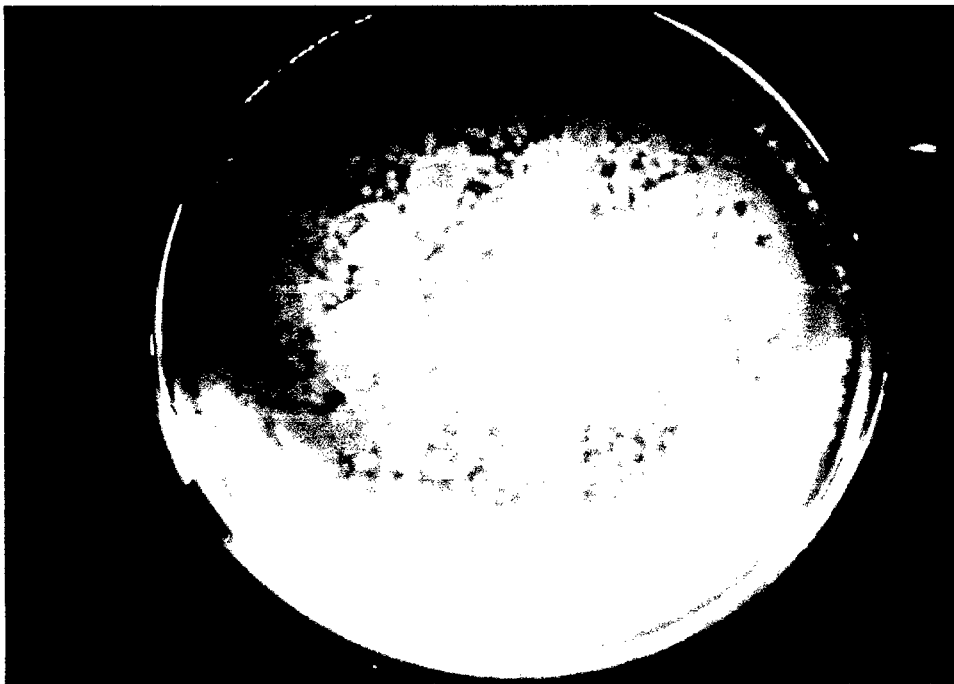


Figura 35. Agar Plate Count a las 48 horas de sembrío en el cuenta-colonias.

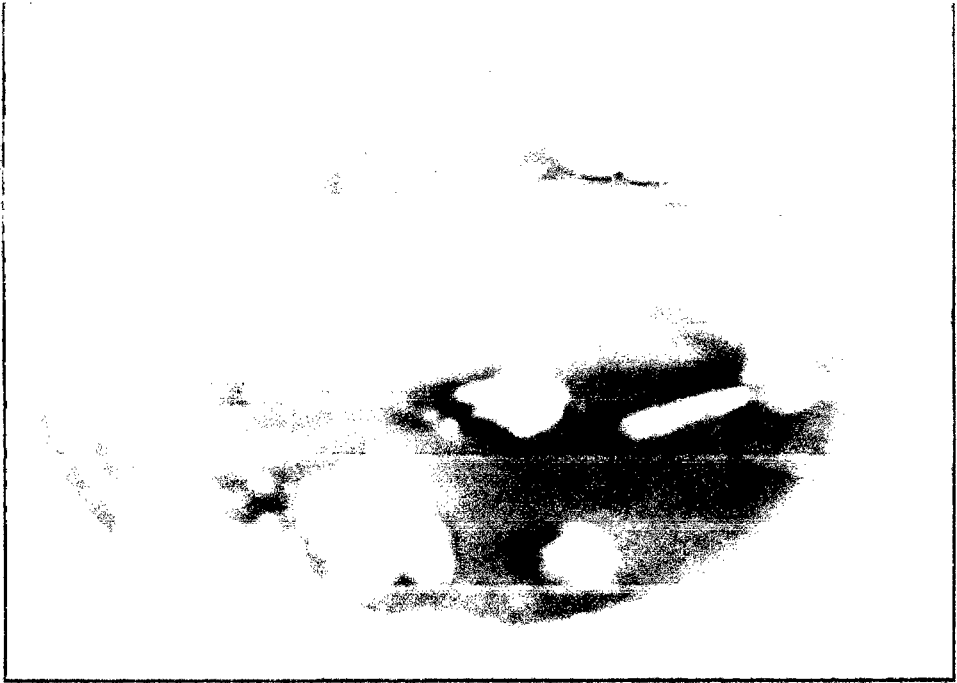


Figura 36. Colonias de Geotrichum sp.



Figura 37. Geotrichum sp. en la muestras

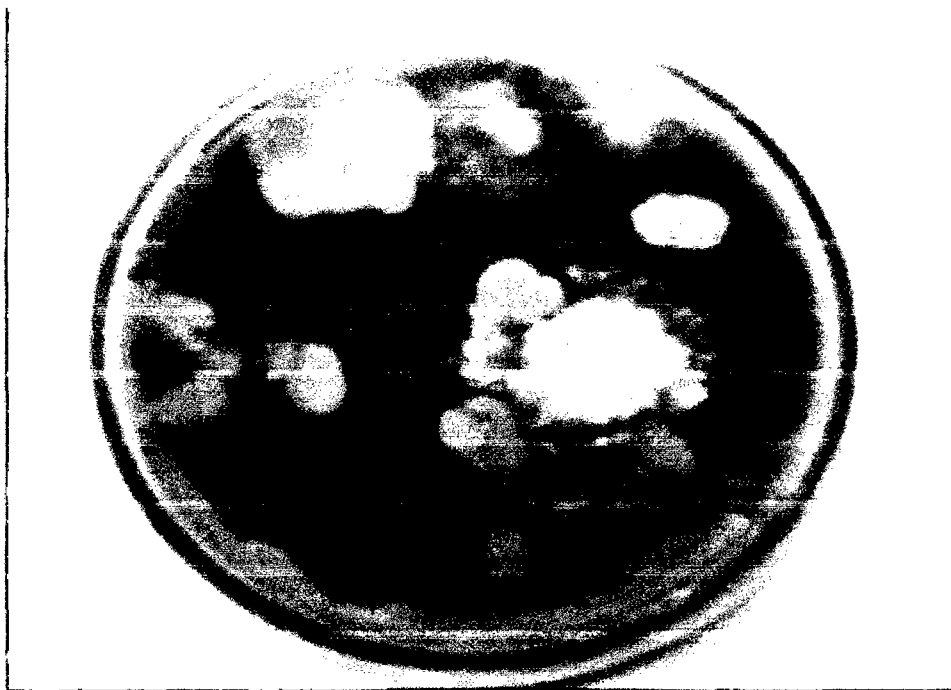


Figura 38. Colonias de *Saccharomyces cerevisiae* en las muestras de compost.



Figura 39. *Saccharomyces cerevisiae* en las muestras de compost.



Figura 40. Realizando el análisis de nitrógeno en el compost.



Figura 41. Realizando el análisis de fosforo en el compost.