

ESCUELA SUPERIOR POLITECNICA DEL LITORAL

**Facultad de Ingeniería en Mecánica y Ciencias de la
Producción**

“Estudio de 2 Grupos de Microorganismos como Agentes
Aceleradores de Descomposición de los Desechos Sólidos
Orgánicos Originados en los Comedores de ESPOL”

TESIS DE GRADO

Previo a la obtención del Título de:

INGENIERO AGROPECUARIO

Presentada por:

Carlos Aurelio Arias Vega

GUAYAQUIL – ECUADOR

Año: 2007

DEDICATORIA

A MIS AMADOS PADRES WILFRIDO
Y FLOR.

A MIS HERMANOS EDUARDO,
JORGE Y ANDREA.

A MI QUERIDA ENAMORADA
KARLA.

AGRADECIMIENTO

A la M.Sc. María Isabel Jiménez, excelente persona, por toda la ayuda brindada en el transcurso de este ensayo.

Al Sr. Medardo Poveda por su colaboración en el trabajo de campo.

A la Srta. Julissa Galarza por proveerme de los microorganismos autóctonos que ella desarrolló.



TRIBUNAL DE GRADUACIÓN

Ph.D. Alfredo Barriga R.
DELEGADO DEL DECANO
PRESIDENTE

M.Sc. Edwin Jiménez R.
DIRECTOR DE TESIS

M.Sc. Miguel Quilambaqui J.
VOCAL

Ing. Felipe Mendoza G.
VOCAL

DECLARACIÓN EXPRESA

“La responsabilidad del contenido de esta Tesis de Grado, me corresponden exclusivamente; y el patrimonio intelectual de la misma a la ESCUELA SUPERIOR POLITECNICA DEL LITORAL”

(Reglamento de Graduación de la ESPOL).

A handwritten signature in dark ink, appearing to read 'Carlos Arias', is written over a horizontal line.

Carlos Aurelio Arias Vega

RESUMEN

El presente trabajo consistió en probar la utilidad de diferentes fuentes de microorganismos para determinar cuales son los más eficientes dentro del manejo de desechos sólidos orgánicos generados en los comedores de ESPOL, realizado a través de un proceso de compostaje.

El compostaje es una tecnología de tratamiento para el aprovechamiento de los residuos sólidos orgánicos aplicado en el ámbito mundial, allí radica la importancia de este trabajo, es así que mejorar y acelerar este proceso a través de la inoculación de microorganismo resulta, por tanto, indispensable y necesario para su adaptación a nuestro medio.

En el primer capítulo se hizo una descripción detallada de la importancia de los microorganismos como agentes de descomposición de materia orgánica, los grupos conocidos de microorganismos utilizados en la agricultura y sus diferencias. El capítulo dos habla del manejo de desechos orgánicos, su implementación y metodología, la aplicación del compost en este sistema, su proceso de elaboración, los sistemas de compostaje existentes, y su aplicación a nivel mundial. A continuación se detalló la metodología utilizada para la elaboración de la tesis, el diseño aplicado, las variables a evaluar, además de los equipos y materiales empleados en la investigación.

Después de los análisis estadísticos, se encontraron diferencias estadísticas no significativas dentro de los tratamientos, lo que indica que la aplicación de microorganismos en el manejo de desechos orgánicos de ESPOL es innecesaria puesto que éstos no generan ninguna diferencia que pueda solventar la inversión en este tipo de insumos para realizar el compostaje de estos residuos.

Se encontraron poblaciones abundantes de hongos y levaduras en el compost, además de una gran concentración de minerales y nutrientes que enriquecen la composición de este abono.

ÍNDICE GENERAL

	Pág.
RESUMEN.....	I
ÍNDICE GENERAL.....	III
ABREVIATURAS.....	IX
SIMBOLOGÍA.....	X
ÍNDICE DE TABLAS.....	XI
ÍNDICE DE FIGURAS.....	XII
INTRODUCCIÓN.....	1
 CAPÍTULO 1	
1 GENERALIDADES DE LOS MICROORGANISMOS.....	3
1.1 Importancia.....	4
1.2 Taxonomía de los Microorganismos	4
1.3 Aplicaciones de los Microorganismos	7
1.3.1 En Alimentación.....	8
1.3.2 En Medicina.....	8
1.3.3 En Agricultura	8
1.3.4 En Medio Ambiente	9
1.4 Los E.M.	10

1.4.1 Origen.....	10
1.4.2 Tipos de Microorganismos que conforman el complejo E.M.	11
1.4.3 Utilidad	13
1.4.4 Aplicaciones	14
1.4.4.1 En Agricultura.....	14
1.4.4.2 En Producción Animal	14
1.4.4.3 En el Manejo de Desechos Sólidos Orgánicos	15
1.5 Microorganismos autóctonos	15
1.5.1 Origen.....	16
1.5.2 Aplicación	17
1.5.3 Captura de microorganismos autóctonos.....	17
1.5.3.1 Selección del área de captura	18
1.5.3.2 Colocación de trampas.....	19
1.5.3.3 Cosecha	20
1.5.4 Ventajas frente a los E.M.	20

CAPITULO 2

2 MANEJO DE DESECHOS SÓLIDOS ORGÁNICOS	22
2.1 Introducción	22
2.2 Materiales considerados como desechos sólidos orgánicos	23
2.3 Infraestructura necesaria para el proceso	24
2.4 Proceso del manejo de desechos sólidos orgánicos de las ciudades .	25
2.4.1 Recolección del material.....	25

2.4.2 Clasificación	26
2.4.3 Picado	27
2.4.4 Apilado	28
2.4.5 Proceso de compostado	28
2.4.5.1 Parámetros a considerar en su elaboración	30
2.4.5.1.1 Temperatura	31
2.4.5.1.2 Aireación	34
2.4.5.1.3 Humedad	35
2.4.5.1.4 pH	35
2.4.5.1.5 Relación Carbono/Nitrógeno	36
2.4.5.2 Sistemas de compostado utilizados	36
2.4.5.2.1 Compostaje en pilas estáticas con aireación natural.....	37
2.4.5.2.2 Compostaje en pilas estáticas con ventilación artificial	38
2.4.5.2.3 Humedad	38
2.5 Aplicación a nivel mundial.....	39
2.5.1 Experiencias en Costa Rica	39
2.5.2 Experiencias en Colombia	42
2.5.3 Experiencias en Ecuador	44

CAPITULO 3

3 METODOLOGÍA Y EVALUACIÓN	46
3.1 Ubicación del Experimento	46
3.2 Diseño Experimental.....	46
3.3 Variables Estudiadas	48
3.3.1 Peso y volumen de materia prima recolectada	48
3.3.2 Peso y volumen de compost obtenido	48
3.3.3 Relación entre materia prima y compost obtenido	49
3.3.4 Tiempo de compostaje del material	49
3.3.5 pH semanal del proceso	49
3.3.6 Temperatura semanal del proceso	50
3.4 Materiales Utilizados.....	50
3.5 Equipos Utilizados	52
3.6 Metodología.....	53
3.6.1 Recolección de los desechos sólidos orgánicos	53
3.6.2 Apilado de los desechos sólidos orgánicos.....	53
3.6.3 Picado de los desechos sólidos orgánicos.....	54
3.6.4 Delimitación de las U.E.....	54
3.6.5 Inoculación de los Microorganismos en la U.E.....	55
3.6.6 Análisis microbiológico de los insumos a utilizar.....	56
3.6.7 Recolección de datos	57
3.6.7.1 Peso y volumen de materia prima recolectada	57

3.6.7.2 Peso y volumen de compost obtenido.....	58
3.6.7.3 Relación entre materia prima y compost obtenido.....	59
3.6.7.4 Tiempo de compostaje del material.....	59
3.6.7.5 pH semanal del proceso.....	59
3.6.7.6 Temperatura semanal del proceso.....	60
3.6.8 Análisis Estadístico.....	60
3.6.8.1 Análisis de Varianza.....	60
3.6.8.2 Prueba de Tukey al 1%.....	61
3.6.9 Análisis microbiológico y mineralógico del compost obtenido ...	61

CAPITULO 4

4 RESULTADOS Y DISCUSIÓN.....	68
4.1 Resultados.....	68
4.1.1 Peso y Volumen de materia prima recolectada.....	68
4.1.2 Peso y Volumen de Compost Obtenido.....	68
4.1.3 Relación entre materia prima y compost obtenido.....	70
4.1.4 Tiempo de compostaje del material.....	71
4.1.5 pH semanal del proceso.....	72
4.1.6 Temperatura semanal del proceso.....	74
4.2 Discusión.....	82

CAPITULO 5**5 CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES..... 84****5.1 Conclusiones****5.2 Recomendaciones****APÉNDICES****BIBLIOGRAFÍA**

ABREVIATURAS

Ho	Hipótesis nula
Ha	Hipótesis alternativa
Dr.	Doctor
E.M.	Efficient Microorganisms (Microorganismos Eficientes)
E.M.R.O.	Efficient Microorganisms Research Organization
UFC	Unidad Formadora de Colonias
Kg.	Kilogramos
gr.	gramos
mg	miligramos
C	Carbono
N	Nitrógeno
m.	metros
cm	centímetros
mm	milímetros
lt.	Litros
ml	mililitros
°C	Grados centígrados
TM	Toneladas métricas
ONG	Organización No Gubernamental
ONU	Organización de las Naciones Unidas
m.s.n.m.	Metros sobre el nivel del mar
S	Sur
O	Oeste
HP	Horse Power (Caballos de fuerza)
lb.	Libras
DBCA	Diseño de Bloques Completos al Azar
ADEVA	Análisis de Varianza
M.Sc.	Magíster in Sciences
CIBE	Centro de Investigaciones Biotecnológicas del Ecuador
U.E.	Unidades Experimentales
Atm.	Atmósfera
h.	horas
<i>E. coli</i>	<i>Escherichia coli</i>

SIMBOLOGÍA

C/N	Relación Carbono/Nitrógeno
V	Volúmen
a	Longitud
b	Ancho
h	Altura
π	3.141592654
r	Radio

ÍNDICE DE TABLAS

	Pág.
TABLA 1	Comparación entre las Características presentadas por los E.M. y los Microorganismos Autóctonos..... 21
TABLA 2	Análisis Comparativo por Municipio del Incremento en la Generación de Desechos Sólidos 1978- 2001, Costa Rica..... 40
TABLA 3	Contenido Microbiológico presente en las dos Fuentes de Microorganismos que fueron Evaluados (E.M. y Microorganismos Autóctonos)..... 57
TABLA 4	ADEVA a Aplicar en el Ensayo, con sus respectivos Grados.. de Libertad..... 61
TABLA 5	Valores de Peso en Kilogramos para Compost Final Obtenido con la Aplicación de E.M. y Microorganismos Autóctonos..... 69
TABLA 6	Valores de Relaciones de Conversión de Material entre Tratamientos para Compost Final Obtenido con la aplicación de E.M. Y Microorganismos Autóctonos..... 70
TABLA 7	Valores de pH Registrados en las Pilas de Compost..... 72
TABLA 8	Valores de Temperaturas Registrados en las Pilas de Compost..... 75
TABLA 9	Población de Microorganismos presentes en cada 100 g. de Compost Final..... 78
TABLA 10	Población de <i>Escherichia coli</i> presente en el Compost Obtenido con la aplicación de E.M. y Microorganismos Autóctonos..... 80
TABLA 11	Composición de Macronutrientes para cada montículo de Compost Obtenido por Tratamiento..... 81
TABLA 12	Composición de Micronutrientes para cada montículo de Compost Obtenido por Tratamiento..... 82

ÍNDICE DE FIGURAS

	Pág.
Figura 1.1 Árbol Filogenético para la Clasificación de las Especies	7
Figura 1.2 Bacterias Fototrópicas	12
Figura 1.3 Bacterias Ácido-lácticas	12
Figura 1.4 Levaduras	13
Figura 1.5 Ubicación de las Trampas para Microorganismos	19
Figura 2.1 Fases del Proceso de Compostaje con relación a la Temperatura.....	32
Figura 3.1 Disposición de los Bloques dentro de la Planta de Compostaje	48
Figura 4.1 Diferencias de Pesos Registrados entre Tratamientos para Compost Final obtenido con la Aplicación de E.M. y Microorganismos Autóctonos.	70
Figura 4.2 Comparación de Relaciones de Conversión de Material entre Tratamientos para Compost Final obtenido con la Aplicación de E.M. y Microorganismos Autóctonos.....	71
Figura 4.3 Comparación de Valores de pH entre Tratamientos y Repeticiones para Compost Final obtenido con la Aplicación de E.M. y Microorganismos Autóctonos.	74
Figura 4.4 Comparación entre Curvas de pH para Tratamientos del Ensayo.	74
Figura 4.5 Comparación de Temperaturas entre Tratamientos y Repeticiones para Compost Final obtenido con la Aplicación de E.M. y Microorganismos Autóctonos.	76
Figura 4.6 Comparación de Curvas de Temperaturas halladas en el Ensayo con Microorganismos frente a la Curva Estándar de Temperaturas para Compost.....	77
Figura 4.7 Comparación de Poblaciones de Coliformes y Hongos y Levaduras entre Tratamientos del Ensayo.	79
Figura 4.8 Comparación de Presencia de <i>E. Coli</i> entre Tratamientos del Ensayo.....	80

INTRODUCCIÓN

El presente trabajo tuvo como punto principal la optimización de la descomposición de desechos sólidos orgánicos producidos en las diferentes áreas (bares y comedores) de la ESPOL. El principal factor de este experimento fue el uso de dos fuentes de microorganismos (E.M. y autóctonos) inoculados para comparar su accionar sobre un sistema estándar de manejo de residuos orgánicos (testigo).

Dada la falta de información sobre el compostaje de desechos orgánicos urbanos, este proyecto servirá como base para futuros trabajos encaminados al desarrollo de esta tecnología, además de brindar la oportunidad a las empresas de escoger la fuente de microorganismos descomponedores que les ayuden en dicha labor y no encarezca sus costos.

El desarrollo de este trabajo se basó en el objetivo general de estudiar la acción de fuentes de microorganismos diferentes para el compostaje de desechos sólidos orgánicos generados en la ESPOL y como objetivos específicos tenemos (i) determinar el efecto de ambas fuentes de microorganismos sobre el tiempo de descomposición de las materias orgánicas recolectadas, (ii) determinar el efecto de los tratamientos biológicos y el testigo sobre parámetros de procesos durante la fermentación de las materias primas utilizadas, (iii) evaluar el efecto de las dos fuentes de

microorganismos sobre parámetros de calidad de las enmiendas sólidas obtenidas al final del proceso de fermentación versus el producto obtenido desde el tratamiento testigo.

El planteamiento de estos objetivos nos permitió desarrollar el procedimiento adecuado para validar la hipótesis de que la aplicación de microorganismos de distintas fuentes genera diferencias durante el proceso, tiempo y características de las enmiendas sólidas obtenidas de desechos orgánicos urbanos.

Para realizar el ensayo se utilizaron pilas grandes (0.5 m x 3.0 m x 0.3 m) como los bloques o repeticiones y sub-pilas (0.5 m x 1.0 m x 0.3 m) como unidades experimentales, el ensayo tuvo una duración de siete semanas. Los microorganismos autóctonos y los E.M fueron aplicados durante las tres primeras semanas; se tomaron datos de temperatura y pH semanales, relación de conversión de peso y volumen, tiempo que duró el proceso de descomposición y un análisis microbiológico y nutrimental al producto final. Utilizando ADEVA y Prueba de Duncan para el análisis estadístico, se determinó la hipótesis válida, a través de la adecuada revisión de los resultados que arrojó la tesis, los cuales también sirvieron para dar soporte a los objetivos planteados.

CAPÍTULO 1

1. GENERALIDADES DE LOS MICROORGANISMOS

En el planeta existen diversas clases de organismos que interactúan con la naturaleza, permitiendo un equilibrio adecuado entre todos los reinos vivientes. Sin embargo, existen algunos tipos de seres que han sido beneficiosos dentro de este proceso, los microorganismos (2). Estos diminutos seres están presentes en casi todos los rincones de nuestro planeta, dentro de casi todos los procesos existentes, ayudando a mantener el equilibrio de la materia y energía en el ciclo del planeta (11).

La diversificación de estos microorganismos nos lleva a encontrar desde microorganismos parásitos y patógenos tanto de planta, animales y el hombre, hasta microorganismos llamados benéficos, por la gran ayuda que éstos brindan en diversos procesos en algunas áreas de la vida del ser humano (17).

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 (11).

Por tanto, la presencia de los microorganismos saprófitos resulta importante, por cuanto su inexistencia provocaría que muchos procesos naturales no funcionen correctamente (16) y microorganismos patógenos se desarrollen aceleradamente, provocando la proliferación de enfermedades infecciosas para las plantas y animales; además del agotamiento de fuentes de alimento para otros organismos debido al rompimiento de cadenas tróficas (2).

1.2 Taxonomía de los Microorganismos

Como todos los seres vivos, los microorganismos han sido agrupados en un sistema de clasificación taxonómica que nos permite identificarlos de forma sencilla y concisa al momento de estudiarlos o utilizarlos en algún proceso (11).

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 (17); por ejemplo, *Bacillus thuringiensis*: *Bacillus* (género) y *thuringiensis* (especie)

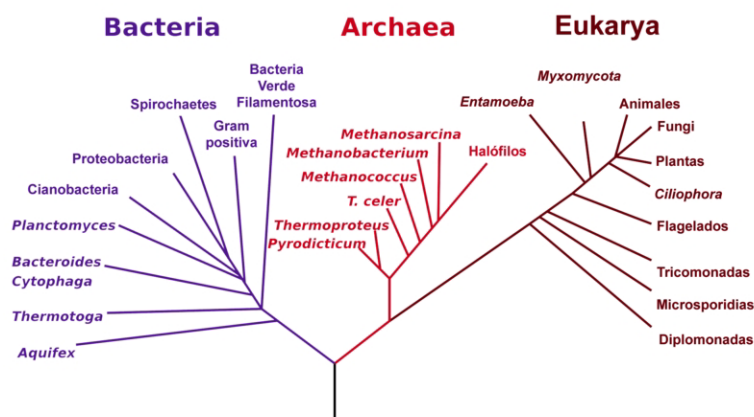
Sin embargo, la taxonomía se encarga de realizar un agrupamiento más completo, haciendo uso de categorías jerarquizadas, que permiten trazar un historial biológico comparativo del organismo con otros (2). Estas categorías son: Reino, subreino, Tipo o Phylum, subtipo, Clase, subclase, Orden, suborden, Grupo, Familia, subfamilia, Género y Especie. Comúnmente los taxónomos ordenan a todas las especies dentro de estas categorías utilizando caracteres fenotípicos específicos comunes entre los individuos (15).

En el caso de los microorganismos, este proceso pudo ser aplicado solo a los hongos y las algas, que son organismos más complejos; las bacterias constituyen la excepción a la clasificación taxonómica por su extrema simplicidad estructural, dado que todas, sin excepción, son organismos unicelulares con organelos simples (21). Esta simplicidad hace que el rango de caracterización se vuelva

reducido, y provocaría un erróneo agrupamiento de especies sin similitudes funcionales (11).

Es por estos que los taxónomos han considerado otros parámetros fisiológicos y bioquímicos de comparación que ayuden, junto con los estructurales, a determinar una correcta clasificación de las bacterias (21). Actualmente se está recurriendo a la utilización de marcadores moleculares, secuenciación de ácidos nucleicos y la determinación de bases de ADN para lograr una mayor precisión al momento de identificar y clasificar bacterias (17).

Gracias a esto, se ha desarrollado un nuevo sistema de clasificación denominado Arbol Filogenético (Figura 1.1), donde todos los organismos se encuentran agrupados en 3 Categorías Superiores (25): Eukarya (organismos eucarióticos o pluricelulares), Archaea (organismos unicelulares con mayor relación con los eucarióticos) y Bacteria (organismos unicelulares, propiamente bacterias). De esta forma se puede agrupar mejor las bacterias según sus características morfológicas a nivel de membrana y otros organelos, y según la funcionalidad de estos (21)



Fuente: <http://es.wikipedia.org/wiki/Bacteria>

FIGURA 1.1 ÁRBOL FILOGENÉTICO PARA LA CLASIFICACIÓN DE LAS ESPECIES

1.3 Aplicaciones de los Microorganismos

Desde que el ser humano descubrió que podía capturar, “domesticar” y utilizar algunos grupos de microorganismos, éste se ha visto beneficiado en diferentes áreas, aprovechando sus capacidades de degradación y segregación de sustancias (3).

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 (16).

1.3.1 En Alimentación

En la preparación de alimentos existen muchos

microorganismos que aportan con su acción para obtener nuevos productos apetecibles para el ser humano, así encontramos a las levaduras (que fermentan la masa para preparar pan y cakes), bacterias ácido-lácticas (que fermentan la leche y la transforman en yogurt), entre otros (11).

1.3.2 En Medicina

Algunos antibióticos han sido elaborados a partir de secreciones de microorganismos que evitan la proliferación de otras especies de bacterias u hongos; por ejemplo tenemos la penicilina, obtenida de una secreción del hongo *Pennicillium*, la cual suprime el crecimiento de otros hongos o microorganismos que se hallen dentro del territorio de dicho hongo (17)..

1.3.3 En 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 (18).

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 o E.M. (por sus siglas en Inglés), desarrollados en Japón (9).

1.3.4 En Medio Ambiente

En la actualidad se utilizan bacterias capaces de degradar aceites, para contener los grandes derrames de petróleo, comunes en nuestros tiempos, y de esta forma evitar la destrucción de ecosistemas en algunas partes de mundo (6).

Así mismo, los E.M., son utilizados como agentes descomponedores de materia orgánica presente en los desechos urbanos o industriales, reduciendo los márgenes de contaminación, a la vez que se obtienen abonos naturales que son incorporados en la producción de alimentos (24).

1.4 Los E.M.

Los E.M. (Effective Microorganisms) o Microorganismos Eficientes, son una combinación de varios microorganismos benéficos, de origen natural, que no han sido modificados genéticamente (22), fisiológicamente compatibles unos con otros, presentes en ecosistemas naturales. Estos microorganismos coexisten en un medio líquido (8).

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 (9).

1.4.1 Origen

Los E.M. y su tecnología fueron desarrollados en la década de los ochenta por el Dr. Teruo Higa, profesor de la Universidad de Ryukyus (Okinawa) en Japón. Luego de diversas investigaciones, el Dr. Higa logró elaborar, en 1982, un cultivo mixto de microorganismos capaz de mejorar las propiedades de los suelos, además de ayudar en la nutrición de los cultivos (22).

Las respectivas investigaciones realizadas por el Dr. Higa a

este cultivo arrojaron como resultado que estas facultades se generaban por la complementación de la acción particular de cada tipo de microorganismo con la de los otros grupos, en una especie de sinergismo colectivo (9).

En 1994, el Dr. Higa junto a sus colaboradores fundan la EMRO (E.M. Research Organization) para brindarle al mundo la tecnología E.M. y mantener las investigaciones para hallar soluciones a diversos problemas a través del uso de éstos (10).

1.4.2 Tipos de Microorganismos que conforman el complejo E.M.

Los E.M. son una combinación de varios microorganismos agrupados en 4 grandes géneros: bacterias Fototrópicas, bacterias ácidolácticas, levaduras y actinomicetos (8).

Las bacterias fototrópicas (Figura 1.2) son bacterias autótrofas que sintetizan sustancias útiles como aminoácidos, ácidos nucleicos y azúcares, a partir de secreciones de raíces, materia orgánica y gases dañinos, usando la luz solar y el calor del suelo como fuentes de energía (22).



Fuente: <http://www.fundases.org/p/em01.html>

FIGURA 1.2 BACTERIAS FOTOTRÓPICAS

Las bacterias ácido-lácticas (Figura 1.3) que producen ácido láctico a partir de azúcares y otros carbohidratos sintetizados por bacterias fototróficas y levaduras; también aumentan la fragmentación de los componentes de la materia orgánica, como la lignina y la celulosa (10).



Fuente: <http://www.fundases.org/p/em01.html>

FIGURA 1.3 BACTERIAS ÁCIDO-LÁCTICAS

Las levaduras (Figura 1.4) 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 (9).



Fuente: <http://www.fundases.org/p/em01.html>

FIGURA 1.4 LEVADURAS

Los actinomicetos actúan como antagonistas de muchas bacterias y hongos patógenos de las plantas debido a que producen antibióticos (3).

1.4.3 Utilidad

Los E.M. tienen un sin número de usos o aplicaciones, que permiten proveer solución a diversos problemas sean alimenticios, de manejo de recursos, agrícolas, contaminación y salud. Esta amplitud en acción se debe a la gran variabilidad de funciones que poseen los microorganismos presentes en el cultivo líquido, descritos anteriormente (8).

1.4.4 Aplicaciones

Los E.M. son utilizados en la producción avícola, ganadera y acuícola, cultivos, mejora de suelos, manejo de desechos sólidos (22), preparación de abonos orgánicos, eliminación de malos olores, descontaminación de fuentes de agua, entre otros (10).

1.4.4.1 En Agricultura

Los E.M. son utilizados en Agricultura porque mejoran las propiedades físico-químicas de los suelos, aumentan la microflora bacteriana del mismo (1), promueven la descomposición de la materia orgánica utilizada en la elaboración de bioabonos, suprimen la acción de entes fitopatógenos (22), secretan fitohormonas que ayudan al crecimiento de los cultivos y actúan como correctores de la salinidad (8).

1.4.4.2 En Producción Animal

La tecnología E.M. es utilizada en la producción animal para controlar de malos olores y patógenos en los galpones (6), como parte de la alimentación para mejorar la flora bacteriana de los intestinos (2), para

descomponer los desechos fecales de los animales en las lagunas de oxidación, etc (9).

1.4.4.3 En el Manejo de Desechos Sólidos Orgánicos

En este ámbito, los E.M. son utilizados para degradar sólidos presentes en las lagunas de oxidación, para transformar desechos orgánicos en compost a través de su fermentación (24), para contrarrestar la producción de malos olores en procesos de descomposición, evita la proliferación de insectos vectores, como moscas, ya que estas no encuentran un medio adecuado para su desarrollo (8).

1.5 Microorganismos autóctonos

El término “microorganismos autóctonos” ha sido atribuido por productores agrícolas a la combinación de microorganismos presentes en un área de cultivo determinada, los cuales han sido “capturados” mediante procesos artesanales sencillos y potenciados posteriormente con soluciones de azúcares y proteínas (13).

El microorganismo autóctono es efectivo, puesto que al pertenecer al mismo suelo donde se realiza el cultivo, no necesita ser reactivado

con anticipación, y su adaptación al ecosistema del suelo es completa (1).

1.5.1 Origen

La utilización de microorganismos autóctonos surge dentro de algunas escuelas de agricultura alternativa, que se fundamentan en la producción agrícola amigable con el ecosistema, como una alternativa a la aplicación de E.M. y siendo parte de la “apropiación” de tecnología que ayude a los productores a generar alimentos sin necesidad de depender de empresas comercializadoras de insumos (2).

El fracaso de la Revolución Verde (surgida luego de la II Guerra Mundial) en la agricultura, conllevó a que las escuelas agrícolas alternativas buscaran en los conocimientos ancestrales y la técnica actual una forma de contar con la acción beneficiosa de los microorganismos (18). Esta búsqueda llevó a la generación del proceso para capturar microorganismos propios de las fincas o haciendas, proceso que ha sido difundido por todo el mundo con mucho éxito (16).

1.5.2 Aplicación

Los microorganismos autóctonos son utilizados en Agricultura como mejoradores de las propiedades físico-químico-biológicas de los suelos (15), para aumentar la población microbiana del mismo, como degradadores de la materia orgánica, para elaborar bioabonos, etc (17). También son utilizados en el manejo de desechos sólidos en pequeña escala, es decir en granjas, y en lagunas de oxidación (5).

1.5.3 Captura de microorganismos autóctonos

Como ya se ha dicho, existe una técnica que permite capturar los microorganismos autóctonos de las granjas para su posterior proliferación y aplicación dentro del mismo campo y los cultivos encontrados en éste (1).

Para poder capturar de forma eficaz un grupo importante de microorganismos autóctonos del suelo de la granja, primero debemos ubicar un área adecuada donde proceder a ubicar las trampas, preparar el sustrato adecuado para capturar los microorganismos, y luego de su captura proceder a su potenciación y reproducción para su posterior uso dentro del proceso productivo (2).

1.5.3.1 Selección del área de captura

El área a seleccionar debe ser un área con gran población vegetal, preferible de árboles y arbustos. Debe observarse la situación de las especies presentes en el sector, analizar la estructura del suelo, sus antecedentes en el uso agrícola, ya que una vegetación sana y bien desarrollada es producto de la interacción del suelo, en particular los microorganismos (18).

En caso de contar con un bosque secundario dentro de la finca, seleccionar árboles sobresalientes que gocen de condiciones favorables para su crecimiento. Aquí encontraremos una mayor diversidad de microorganismos autóctonos, es recomendable seleccionar de 5 a 10 árboles (19).

1.5.3.2 Colocación de trampas

Una vez seleccionada el área donde colocaremos las trampas, procedemos a armarlas. Para esto primero debemos cocinar 1 Kg. de arroz (sin sal), el cual será mezclado con 1 lt. de melaza; una vez hecho esto, se

distribuye el arroz en varias tarrinas plásticas, que serán cubiertas con un pedazo de nylon bien asegurado (13).

Con las trampas terminadas, se procede a enterrarlas en número de cinco, bajo la copa de los árboles seleccionados (Figura 1.5). Procurar que la trampa quede bien cubierta por la misma tierra, y que cuente con la humedad necesaria. Dejar las trampas por 2 semanas (2).

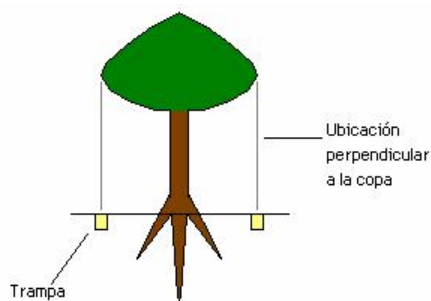


FIGURA 1.5 UBICACIÓN DE LAS TRAMPAS PARA MICROORGANISMOS

1.5.3.3 Cosecha

Transcurridas 2 semanas, se desentierran las trampas, se podrá observar que el arroz está cubierto de diversas colonias de microorganismos de

diferentes colores; mezclar todos los contenidos de las trampas y proceder a licuar para obtener una masa homogénea (13).

Luego, mezclar el licuado con 5 lt. de melaza, 5 Kg. de harina de pescado y 15 lt. de agua, con lo cual obtendremos una solución madre. A partir de esta solución madre podremos replicar el proceso para obtener más soluciones diluidas (1).

1.5.4 Ventajas frente a los E.M.

Los microorganismos autóctonos presentan varias ventajas sobre los E.M. (Tabla 1), sin embargo la principal ventaja que presentan los microorganismos autóctonos radica en que por ser propios del lugar del cultivo, su acción es mucho más efectiva ya que rápidamente pueden actuar sin necesidad de adaptarse a las condiciones de clima, humedad, y poblaciones de microorganismos diversos que encuentren en la zona donde se los utiliza (16).

TABLA 1

**COMPARACIÓN ENTRE LAS CARACTERÍSTICAS
PRESENTADAS POR LOS E.M. Y LOS MICROORGANISMOS
AUTÓCTONOS.**

	E.M.	MICROORGANISMOS AUTÓCTONOS
Tecnología	Comercial, con derechos de propiedad	Artesanal, realizable por todos
Adaptabilidad	Necesitan ser reactivados por periodos de 3 a 5 días	Son aplicables de manera inmediata, sin necesidad de reactivación
Aplicación	Se necesitan varias aplicaciones por cultivo o bioabono	Se necesitan 2 aplicaciones por cultivo o bioabono
Costo	\$ 25 por galón	\$ 10 por galón

CAPITULO 2

2. MANEJO DE DESECHOS SÓLIDOS ORGÁNICOS

2.1 Introducción

El aumento constante de las cantidades de desechos sólidos, se ha venido agravando en consecuencia del acelerado crecimiento de la población, concentración en las áreas urbanas, desarrollo industrial, cambios de hábitos de consumo, así como otra serie de factores, lo que conlleva a la contaminación del medio ambiente y al deterioro de los recursos naturales (14).

Más aún, no existe una cultura de manejo de residuos sólidos orgánicos, los cuales son precisamente una fuente de contaminación común en todos los hogares, y corresponde a una relevante proporción de la basura que actualmente es enterrada en los lotes destinados para relleno sanitario (3).

La visión generada hacia el componente orgánico de los desechos radica en que éste puede ser reutilizado en la cadena de alimentación, integrándola en la fase de producción de materias primas (vegetales, frutas, desechos vegetales en general) en forma de abonos compostados. Es una alternativa muy eficiente para aprovechar este recurso orgánico, a la vez que ayuda a reducir los márgenes de desechos que se generan en hogares, hoteles, instituciones educativas, restaurantes, etc. (5).

El compostaje es una tecnología de tratamiento utilizada para el aprovechamiento de los residuos sólidos orgánicos, la cual es aplicada a nivel mundial, principalmente en países de Europa y en algunos países de Centro y Sur América. Esta tecnología es fácil de aplicar, adaptable al medio, y por ser una forma de tratamiento biológico para la disposición final de desechos orgánicos, se soporta fundamentalmente en los aspectos ambientales, sociales y económicos (20).

2.2 Materiales considerados como desechos sólidos orgánicos

Entre los residuos que son considerados como desechos sólidos orgánicos tenemos hojas de árboles, restos de legumbres y verduras, cáscaras de frutas y verduras, vísceras, residuos de

camales, plumas, huesos, entre otros (15). Todos estos materiales son considerados biodegradables, es decir, pueden ser llevados a un proceso de fermentación y luego convertidos en compost o abono natural. Podemos encontrar estos residuos en gran porcentaje dentro de la basura de mercados, hoteles, restaurantes y hogares (14).

2.3 Infraestructura necesaria para el proceso

Dependiendo de la cantidad de material a procesar, de los recursos con los que cuente la empresa o institución que realiza el manejo de desechos implementar puede variar significativamente (5).

En sistemas donde se generan pilas de gran volumen, sean móviles o estáticas, se requiere grandes extensiones de terreno, implementos mecánicos como bandas móviles, termómetros electrónicos, ventiladores o blowers, tuberías o canales de ventilación, entre otros (6).

Si el compost se trabaja en silos o reactores, la inversión aumenta por la gran cantidad de equipos, la mayoría de alto valor económico, que son necesarios para implementar estos sistemas (23).orgánicos y del sistema de compostaje que se utiliza, la infraestructura a

2.4 Proceso del manejo de desechos sólidos orgánicos de las ciudades

El manejo de desechos sólidos orgánicos requiere de un proceso adecuado que permita garantizar la mayor pureza del material recolectado, sin presencia considerable de otros residuos no fermentables (12).

Es por tanto, indispensable que las fuentes donde se obtienen los residuos realicen la selección y clasificación de todos los componentes que se generan, de esta forma se agiliza el proceso de compostaje (7).

El tratamiento de residuos orgánicos debe seguir el siguiente procedimiento: recolección, clasificación, picado, apilado y proceso de compostaje; el cual puede variar dependiendo de las condiciones del área, el sistema de compostaje utilizado y del grado de selección realizado en la fuente (20).

2.4.1 Recolección del material

Un punto muy importante es la recolección, durante este paso, el material previamente seleccionado en la fuente, es recolectado por el personal adecuado y transportado hacia la

planta donde se realizará el manejo apropiado de estos residuos orgánicos (14).

Es necesario que el grupo humano encargado de la recolección esté capacitado acerca del tipo de material a transportar, de tal forma que pueda determinar si existen depósitos con otro tipo de residuos que contaminen los desechos orgánicos. Esta información será indispensable al momento de llevar los recipientes en la planta (6).

2.4.2 Clasificación

Cuando los transportes han llegado a la planta con el material, es necesario realizar una segunda clasificación de este, con la finalidad de separar aquellos residuos inorgánicos que puedan encontrarse entremezclados con los residuos orgánicos, previo a su picado y apilado (24).

Esta clasificación se hará en base a la información que lo recolectores brinden al equipo de la planta y de una revisión previa a su tratamiento biológico por descomposición natural (12).

También dependerá si se ha procedido a seleccionar los materiales en la fuente, pues en caso de no ocurrir esto, esta clasificación será un punto muy importante para separar los desechos que irán al reciclado y los que corresponden al compostaje (14).

2.4.3 Picado

Posteriormente a la clasificación, los residuos orgánicos deben ser llevados a una picadora antes de ser apilado. El objetivo es reducir el tamaño de las partículas a un rango entre 3 - 5 mm., para permitir que las pilas tengan la porosidad adecuada (23).

Si las partículas poseen dimensiones por debajo de este rango, se producirá la compactación, lo cual genera la desaparición de la porosidad y por ende la baja de oxígeno en la pila, transformando el proceso aeróbico en anaeróbico, propiciando la putrefacción de los residuos y la generación de malos olores (4).

Si el material es demasiado grande, los microorganismos tendrán mayor dificultad en colonizar y degradar estos

desechos orgánicos, retrasando el proceso (1); además la excesiva porosidad evitará que se genere la temperatura adecuada para eliminar microorganismos patógenos presentes en la pila (6).

2.4.4 Apilado

La acumulación del material picado en un montículo o pila, está determinado en base al sistema de compostaje seleccionado y la cantidad que se maneje, pudiendo variar tanto la forma como las dimensiones (15).

En caso de utilizar un sistema que requiera formar pilas horizontales, las dimensiones de ancho y altura recomendadas son 1.5 m x 1.5 m, o 2.0 m x 2.0 m (23); sin embargo, las dimensiones se deben adaptar al volumen de residuos que se manejen en el proyecto (12).

2.4.5 Proceso de compostado

Una vez apilado el material, con las dimensiones que mejor se acoplen al sistema elegido y que permitan la aireación adecuada del material, se procede a monitorear el proceso de compostado (o compostaje) del mismo. Pero primero,

definamos que los términos compost y compostaje, para un mejor entendimiento.

Jairo Restrepo (2001) define el compost como *“el producto de la fermentación de un sustrato orgánico por medio de la actividad de microorganismos vivos”*.

Según Héctor Acuña (2002), el compost *“es un material orgánico resultante de la descomposición aerobia de restos vegetales y animales bajo condiciones apropiadas, que aporta al suelo nutrientes y factores que activan las funciones biológicas de suelos, microorganismos y plantas”*.

A criterio de Guillermo Urribarri (2000), el compostaje es *“la descomposición de un residuo biodegradable en condiciones controladas y su reconstitución por la acción de microorganismos de forma que la materia orgánica del producto final sea fácilmente disponible por los vegetales”*.

Para Carrión (2002), el compostaje es *“un proceso biológico aerobio, que bajo condiciones de aireación, humedad y temperaturas controladas, transforma los residuos orgánicos*

degradables, en un producto estable e higienizado, aplicable como sustrato o abono”.

Otros criterios denominan al compostaje como el proceso biológico aeróbico, mediante el cual los microorganismos actúan sobre la materia biodegradable (restos de cosecha, excrementos de animales y residuos urbanos), permitiendo obtener un producto final conocido como compost (19).

Tomando todos estos conceptos como referencia, podemos inferir que el proceso de compostaje de los desechos sólidos orgánicos que su transformación bio-físico-química, realizada por la acción de microorganismos, que genera un sustrato estable, humificado, mineralizado, inocuo, denominado compost.

2.4.5.1 Parámetros a considerar en su elaboración

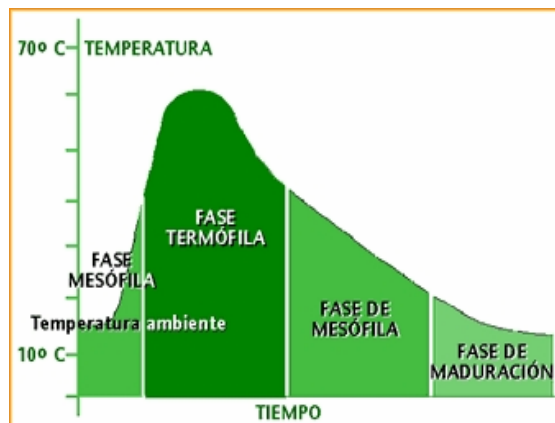
El proceso de compostado está en función de varios parámetros; cada uno de ellos es indispensable para que el compostaje se realice de forma eficiente; todos se encuentran influenciados por las condiciones ambientales, el tipo de material a compostar y el sistema empleado (20).

Estos parámetros deben ser controlados durante todo el proceso debido a que son aquellos que afectan directamente a la acción de los microorganismos, quienes son los encargados de llevar a cabo el compostado con éxito (6). Entre los parámetros más importantes tenemos: temperatura, aireación, humedad, pH y relación Carbono/Nitrógeno (C/N).

2.4.5.1.1 Temperatura

Es un parámetro muy importante, por lo que debe ser regulado y monitoreado constantemente. Durante el proceso, la temperatura varía dependiendo de la actividad metabólica de los microorganismos (4).

Estas variaciones permiten identificar 4 fases dentro del proceso de compostaje. (Figura 2.1) Estas son: fase mesolítica, fase termofílica, fase de enfriamiento y fase de maduración (9).



Fuente: <http://www.fundases.com/p/pub-compostaje01.html>

FIGURA 2.1 FASES DEL PROCESO DE COMPOSTAJE CON RELACIÓN A LA TEMPERATURA

En la fase mesófila, los materiales se encuentran a temperatura ambiente, los microorganismos mesófilos comienzan a alimentarse y a multiplicarse (1), aumentando considerablemente la temperatura de la pila. En esta fase es indispensable una adecuada aireación para evitar que la temperatura sobrepase los 45 °C y por ende se limite la acción microbiana (15).

La siguiente fase, denominada termófila, se caracteriza por la muerte de los microorganismos iniciales a temperaturas superiores a 55 °C (2); en su lugar, proliferan microorganismos resistente a altas temperaturas, como bacterias esporígenas y actinomicetos, que se encargan de descomponer la celulosa,

hemicelulosa, y otros compuestos (20).

Cuando los microorganismos termófilos han degradado todos los materiales compuestos de celulosa y afines, desaparecen y dan paso a nuevos grupos de microorganismos mesófilos que terminan de degradar cualquier material sin descomponer (6) y la temperatura disminuye paulatinamente equiparándose a la del medio ambiente (4). Esta etapa es conocida como fase de enfriamiento.

Por último se encuentra la fase de maduración, en la cual, organismos propios del suelo comienzan a colonizar el compost, tales como lombrices e insectos, que se alimentan del sustrato obtenido, generando reacciones secundarias que polimerizan y humifican al mismo. Esta fase puede durar cerca de 2 meses (23).

Es importante controlar la temperatura durante el compostaje, ya que su variaciones extremas perjudican al proceso (22). Es así que con valores bajos, los desechos se degradan lentamente (2); al contrario, con valores muy altos, se inhibe la acción microbiológica hasta el punto de su destrucción (17).

Se consideran temperaturas óptimas para la eliminación de patógenos, semillas de malezas y parásitos, las ubicadas dentro de un rango entre 35 a 55 °C (11).

2.4.5.1.2 Aireación

Por ser un proceso aerobio, el compostaje requiere que se mantenga un nivel de oxígeno adecuado y se controlen los aumentos de temperatura (20).

La aireación cumple con estas dos funciones: suple el suministro de oxígeno por la inyección de aire a las pilas, sea por movimiento de las mismas, o por un sistema artificial interno (16); también ayuda a controlar el aumento de temperatura dentro del proceso, reduciéndola a niveles considerados óptimos (15).

Sin embargo, este parámetro debe ser regulado para evitar su exceso, lo que produciría una disminución considerable de temperatura, retrasando la degradación de los residuos, o conllevaría a una reducción del contenido de humedad de los montículos (4).

2.4.5.1.3 Humedad

La humedad dentro del proceso debe ubicarse en un rango entre 40-60%, para mantener un equilibrio gaseoso adecuado (6). Al igual que la temperatura y la aireación, se debe evitar que la humedad se ubique en valores muy alejados de los considerados óptimos, puesto que se producen alteraciones que afectan al proceso (18).

A niveles de humedad excesivamente bajos, el proceso se torna lento por la inhibición de la actividad microbológicas (2), mientras que a niveles demasiado altos, los poros se saturan, reduciendo el oxígeno y volviendo anaeróbico al proceso, con lo cual éste cambia a putrefacción (19).

2.4.5.1.4 pH

Este parámetro influye mucho en el proceso, debido a su relación directa con la actividad microbiana (17), coincidiendo su valor más alto con el máximo de actividad microbiológica en la fase termófila (9). Generalmente debe ubicarse en un rango de 5 a 8, para permitir la acción colectiva de las especies de microorganismos presentes en el sistema (22).

2.4.5.1.5 Relación Carbono/Nitrógeno

Un compost de buena calidad se obtiene manteniendo una relación equilibrada entre el Carbono y el Nitrógeno. Teóricamente, una relación C/N óptima es de 25-35, pero ésta se encuentra sujeta a la variedad de residuos que se utilicen (23).

Una relación C/N superior a 35 supone el alargue del proceso de fermentación hasta que el exceso de carbono se oxida y la relación desciende a valores adecuados para la acción microbiológica (2).

2.4.5.2 Sistemas de compostado utilizados

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 (15).

Estos sistemas pueden ser clasificados en dos grupos: abiertos y cerrados. Los sistemas abiertos contemplan técnicas tradicionales de compostaje, y su aireación se puede realizar a través del volteo o de la inducción forzada o artificial (4).

Los sistemas cerrados requieren de gran infraestructura, comúnmente son utilizados a nivel industrial para compostar residuos de ciudades próximas. El proceso se realiza en reactores horizontales o verticales, pero la maduración se produce al aire libre (23).

Estos sistemas tienen la ventaja de reducir las áreas para producir compost y permiten el mejor control de parámetros específicos y el manejo de malos olores; su principal desventaja es el costo de instalación requerido (20).

Entre los principales sistemas abiertos que se aplican para obtener compost a base de residuos orgánicos y que pueden ajustarse a inversiones de nivel medio se encuentran el compostaje en pilas estáticas con aireación natural y compostaje en pilas estáticas con ventilación artificial (6).

2.4.5.2.1 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 (4).

En general, su forma debe parecer un prisma triangular, las pendientes laterales deben ser mayores en las épocas más lluviosas (19). Por ser pilas estáticas, la ventilación se da mediante los espacios que presenta el montículo de materia a compostar (2).

2.4.5.2.2 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 (23).

Es importante combinar este proceso con un control riguroso de temperatura, porque el flujo de aire inyectado no solo brindará la cantidad de oxígeno necesaria, sino que ayudará a disminuir la temperatura del montículo; por tanto es imprescindible monitorear esta variación para evitar el enfriamiento por exceso de ventilación (1).

2.4.5.2.3 Humedad

Es importante recordar que la humedad del proceso debe

ubicarse en un rango entre 40-60%, para mantener un equilibrio gaseoso adecuado (6). Se debe evitar que la humedad se ubique en valores muy alejados de los considerados óptimos, puesto que se producen alteraciones que afectan al proceso (18).

2.5 Aplicación a nivel mundial

2.5.1 Experiencias en Costa Rica

En Centro América, principalmente en Costa Rica, el manejo de desechos sólidos orgánicos es una política de estado, y su implementación es responsabilidad de las municipalidades. Un ejemplo es el Área Metropolitana de San José donde se produce 1400 TM de basura por día, de las cuales el 35% se recicla (14). Esta cantidad es considerable si tomamos como punto de partida que no se recicla todo el material, solo una parte, además ese valor se mantiene en aumento (3), no solo en San José, sino en los municipios en donde se realiza este manejo de residuos sólidos (Tabla 2).

Pero aún existen problemas en cuanto a la separación en la fuente de los residuos, principalmente de la ciudadanía, quienes no cumplen de forma adecuada con esta labor en sus

hogares o áreas de trabajo; sin embargo, la colaboración de los recuperadores o recicladores permite que se vea disminuido en cierta parte este inconveniente (5). Aún así, existe una conciencia de reciclaje fundamentada en los aspectos ambientales, ecológicos y económicos en el país, con énfasis en la separación de los residuos desde la fuente con el fin de recolectar material limpio (6).

TABLA 2
ANÁLISIS COMPARATIVO POR MUNICIPIO DEL
INCREMENTO EN LA GENERACIÓN DE DESECHOS
SÓLIDOS 1978- 2001, COSTA RICA

Ayuntamiento	TM 1978	TM 2001	Incremento %
San José	60,717	120,704	99%
Goicoechea	9,419	28,852	206%
Tibás	6,382	17,201	170%
Montes de Oca	6,140	16,500	169%
Curridabat	3,044	17,709	482%
Moravia	3,763	13,904	269%
Desamparados	8,732	37,090	325%
Alajuelita	1,761	12,013	582%
Escazù	3,175	13,174	315%
Coronado	1,548	12,152	685%
La Unión	1,647	15,229	825%
Aserri	582	5,077	772%
Total TM	106,910	309,605	

Fuente: Plan de Manejo de Desechos Sólidos del municipio de San José, obtenido en el sitweb <http://www.sanjosemetropolitano.org/>

Los desechos orgánicos representan cerca del 60% de los residuos sólidos producidos en los hogares, sin embargo son los menos reutilizados siendo su principal destino el relleno

sanitario, lo que agrava el traslado de todo el material recolectado hacia los lugares de disposición final por su capacidad para contaminar los desechos reciclables (12). Además por ser el mayor componente de la basura, el traslado de todo el material genera costos muy elevados por transportación cuando el centro de disposición final se encuentra en lugares alejados (20).

En cuanto a transporte, existe otro inconveniente aquí por la gran cantidad de vehículos recolectores que existen, lo que conlleva a elevar los costos por combustible y por ende la utilización de mucha energía para esta labor, sumando a esto la gran distancia existente entre las ciudades y varias plantas de disposición y reciclaje (14).

Para superar estos problemas, se están generando proyectos para minimizarlos a través de nuevas técnicas, siendo los principales promotores de estos proyectos algunas ONG's, los mismos municipios y el Estado (24). Entre las propuestas esta implementar tecnologías de compostaje y lombricultura para reducir los volúmenes de residuos orgánicos encontrados en la basura, construir centros de acopio temporales cerca de las

ciudades para que los recolectores pequeños dejen su carga en dicho lugar y sean vehículos de mayor carga los que trasladen los residuos a su destino final (6).

2.5.2 Experiencias en Colombia

En Colombia, la disposición final de los desechos sólidos es un problema a punto de colapsar. Según cifras del Ministerio de Desarrollo, Ambiente y Vivienda de este país, los habitantes de 1.088 municipios producen diariamente 27.000 toneladas de desechos (24). Este material es depositado en rellenos sanitarios o botaderos a cielo abierto, muchos de los cuales han rebasado su capacidad o carecen de las especificaciones técnicas necesarias para evitar riesgos en la salud y el bienestar general de la población (3).

Algunos botaderos y centros de disposición final trabajan en condiciones más o menos adecuadas, mas esto no es suficiente para contrarrestar este problema muy grave (20). Los botaderos solamente receptan un 83% de los residuos generados en las ciudades, en donde recicladores del sector informal logran recoger unas 2.700 toneladas para vender en compañías fabricantes de envases de vidrio, plástico y empaques de cartón (7).

En pocos municipios del país se registran planes y estrategias para el manejo de residuos sólidos, principalmente los originados en los hogares, los cuales contienen un 60% aproximado de material orgánico; incluso no poseen un sistema de comercialización que permita impulsar este tipo de proceso como separación en la fuente, la promoción del reciclaje como alternativa al desechado (12).

Sin embargo no todo es malo en Colombia, en 19 municipios de este país, se han registrado experiencias exitosas con el uso de la tecnología E.M. sobre los desechos orgánicos. (22) Producto de esta aplicación de parte de los cabildos, se han beneficiado cerca de 54.500 habitantes y el promedio mensual de desechos que se tratan con los microorganismos eficientes es de 278.2 TM en total (9).

El departamento de Boyacá tiene el mayor número de municipios que manejan los residuos sólidos de esta forma amigable con el medio ambiente, además de tener el volumen de residuos/mes más alto (6). Un ejemplo es la ciudad de Togüí, donde sus habitantes hacen la separación de los residuos orgánicos e inorgánicos desde sus casas, sacando

los lunes los materiales para que sean recogidos y luego procesados mediante compostaje con Tecnología E.M., generando una abono el cual se utiliza como fertilizante para más de 80.000 plantas de café que se cultivan y son vendidas con el fin de promover el cultivo del grano en el departamento. Los jueves se recogen los desechos inorgánicos para someterlos a selección y reciclado (24).

2.5.3 Experiencias en Ecuador

En nuestro país un ejemplo muy convincente del manejo de desechos sólidos orgánicos, lo podemos encontrar en el municipio de Loja, donde residen 160000 habitantes, con el Programa de Reciclaje y Tratamiento de Desechos Sólidos que ha implementado esta ciudad (7), el cual le valió el tercer puesto en el concurso Nations in Bloom (Naciones en florecimiento) de la Organización de las Naciones Unidas (ONU).

Este programa consiste en el reciclaje y manejo de desechos biodegradables (orgánicos), no biodegradables (vidrio, papel, plástico) y hospitalarios, aplicando un sistema diferenciado de recolección, la utilización de un relleno sanitario,

transformación de materiales orgánicos a través de lombricultura en el vivero municipal y reciclaje de residuos inorgánicos (14).

Este sistema ha generado conciencia en la gente sobre su obligación de realizar la separación en la fuente, además que ha mejorado el proceso de recolección de desechos, de tal manera que sólo la tercera parte de éstos van al relleno municipal, el cual ahora tiene una vida de uso estimada para 40 años o más, cuando antes al ser adquirido el lote le pronosticaron solamente 10 años (20).

Existen muchos municipios de nuestro país que están tomando este ejemplo e implementando sistemas similares para el manejo de sus desechos sólidos, entre estos tenemos las ciudades de Puyo y Cuenca (6); además ESPOL con su proyecto “Manejo de Desechos Sólidos Orgánicos” está tomando posta de dicho sistema para generar la información necesaria y transmitirla a la comunidad (12).

CAPITULO 3

3. METODOLOGÍA Y EVALUACIÓN

3.1 Ubicación del Experimento

Esta investigación se realizó en la planta de compostaje de residuos sólidos orgánicos del Vivero Forestal del Bosque Protector Prosperina, que forma parte del campus Gustavo Galindo de ESPOL, ubicado en el Km. 30 ½ vía Perimetral, sector Prosperina, Parroquia urbana Tarqui, Cantón Guayaquil, Provincia del Guayas, a una altitud de 65 m.s.n.m., precipitación media anual de 850 mm, temperatura media anual de 26 °C, con localización geográfica en latitud 2° 9' 7.54" S y longitud 79° 57' 40.45" O (Anexo A),

3.2 Diseño Experimental

La evaluación estadística de este proyecto se desarrolló aplicando un Diseño de Bloques Completos al Azar, o DBCA, para distribuir los

ensayos y regular cualquier variación presente en el lugar de trabajo.

Se utilizó un solo factor con 3 niveles de estudio, en 5 repeticiones.

Factor: Fuentes de microorganismos

Niveles:

a1: Microorganismos eficientes (E.M.).

a2: Microorganismos autóctonos.

a3: Testigo o control (Sin aplicación de microorganismos).

Repeticiones:

r1: Repetición 1.

r2: Repetición 2.

r3: Repetición 3.

r4: Repetición 4.

r5: Repetición 5.

El DBCA está ajustado a un modelo matemático donde una observación cualquiera es igual a:

$$X_{ij} = \mu + T_i + \beta_j + \varepsilon_{ij}$$

Donde:

$i = 1, 2, 3, \dots, t$ Tratamientos del ensayo;

$j = 1, 2, 3, \dots, r$ Repeticiones (bloques) del ensayo

Se aplicó un sorteo para determinar el orden de los tratamientos dentro de cada pila y la distribución de las repeticiones (Figura 3.1).



FIGURA 3.1 DISPOSICIÓN DE LOS BLOQUES DENTRO DE LA PLANTA DE COMPOSTAJE

3.3 Variables Estudiadas

3.3.1 Peso y volumen de materia prima recolectada

Se registró el peso y volumen de los desechos orgánicos a compostar, como base comparativa para el producto final que se obtenga luego del proceso. Utilizamos para este fin una balanza tipo reloj (para 150 Kg.).

3.3.2 Peso y volumen de compost obtenido

Estos datos sirvieron para determinar que diferencias existieron al final del proceso en cuanto a peso de compost y

su volumen final. Para su registro se utilizó una balanza tipo reloj (para 150 Kg.).

3.3.3 Relación entre materia prima y compost obtenido

A través de esta relación, se determinó la conversión de los desechos orgánicos en compost y se generó una idea preliminar de la acción microbiológica según los valores obtenidos. Es una relación matemática de conversión que nos indicó cuánto se necesitó de desechos orgánicos para obtener el compost.

3.3.4 Tiempo de compostaje del material

Se determinó el tiempo que duró el proceso de compostaje para cada tratamiento, y siendo comparados con el tiempo de referencia de duración de un compostaje estático con ventilación artificial, el cual es de siete semanas.

3.3.5 pH semanal del proceso

La variación de pH en la pila pudo afectar el trabajo de los microorganismos en el compostaje. Utilizamos un pH-metro para obtener los valores de estas variaciones durante todo el proceso.

3.3.6 Temperatura semanal del proceso

La acción microbiológica genera un aumento acelerado de temperatura en las pilas durante las primeras horas y esto se mantiene así durante tres semanas aproximadamente. El registro de temperatura se realizó con un termómetro electrónico durante los días que duró el proceso.

3.4 Materiales Utilizados

Los materiales experimentales utilizados en este ensayo fueron:

- ❖ Desechos orgánicos generados en la preparación de alimentos provenientes de los comedores y bares, mezclados con césped King Grass, cortado y seco, obtenido de las áreas verdes de ESPOL.
- ❖ Un galón de E.M. (Microorganismos eficientes) de AGEARTH.
- ❖ Un galón de microorganismos cosechados en el Bosque Protector Prosperina de ESPOL, tecnología implementada por una alumna de la carrera de Ingeniería Agropecuaria (Anexo B).

Entre los materiales de campo ocupados para el desarrollo de la tesis tenemos:

- ❖ Lona de cobertura
- ❖ Tres Baldes

- ❖ Dos Toneles metálicos
- ❖ Dos Palas
- ❖ Dos Machetes
- ❖ Bloques de construcción
- ❖ Regadera
- ❖ Agua
- ❖ Libreta de campo
- ❖ Bolígrafo.
- ❖ Cámara digital

Para los trabajos en laboratorio se utilizaron los siguientes materiales:

- ❖ Agua pectonada ISO 6579
- ❖ Quince Matraces Enlarmeyer de 250 ml
- ❖ Dos Pipetas mecánicas
- ❖ Puntas para pipetas
- ❖ Agua destilada
- ❖ Treinta Kits SimPlate® para análisis microbiológicos
- ❖ Quince Kits 1-2Test (Método Oficial AOAC 989.13) para detectar *Salmonella*
- ❖ Alcohol
- ❖ Mechero Bunzen

- ❖ Guantes
- ❖ Mandil
- ❖ Libreta de anotaciones
- ❖ Bolígrafo
- ❖ Cámara Digital

3.5 Equipos Utilizados

Para el trabajo en campo se utilizaron los siguientes equipos (Anexo C):

- ❖ Blower de 1 HP de potencia
- ❖ Balanza de 200 lb.
- ❖ Termómetro electrónico
- ❖ pH-metro
- ❖ Sistema de tuberías perforadas de la planta de compostaje.

En el laboratorio se ocuparon los siguientes equipos:

- ❖ Agitador magnético
- ❖ Autoclave
- ❖ Cámara de flujo artesanal.
- ❖ Cámara de incubación.

3.6 Metodología

3.6.1 Recolección de los desechos sólidos orgánicos

El material base para la conformación de las pilas provino de tres lugares donde se realiza la separación de residuos orgánicos e inorgánicos: El comedor del área de Ingenierías “Rincón Politécnico”, el comedor de la Piscina del área de Tecnologías y el puesto de sorbetes y batidos “Don German’s Fruta Express”.

Los desechos fueron colocados en fundas plásticas destinadas sólo para este tipo de material; trabajadores del Vivero Forestal procedían con la recolección y transportación diaria hacia la planta de compostaje, en donde se realizó su pesaje respectivo (Anexo E).

3.6.2 Apilado de los desechos sólidos orgánicos

Tras el pesaje, se procedió con el amontonamiento previo de los residuos orgánicos con el fin de secarlos mediante temperatura y viento, para luego retirar algunos materiales plásticos mezclados entre éstos y separar aquellos desechos que presenten un tamaño no adecuado para su proceso.

3.6.3 Picado de los desechos sólidos orgánicos

Aquellos materiales orgánicos de mayor tamaño que fueron separados, son sometidos a un picado manual, con la finalidad de facilitar su descomposición en el compostaje.

El picado no se aplicó a todos los desechos, puesto que se carecía de una picadora mecánica para tal fin, sin embargo se logro conseguir la reducción de tamaño para tener un material homogéneo en dimensiones.

3.6.4 Delimitación de las U.E.

Para conformar los montículos del ensayo, se utilizaron bloques de construcción para delimitar un espacio de 0.5 m de alto, 0.5 m de ancho y 3.0 m. de largo, separando esta longitud en tres secciones de 1.0 m cada una.

En estos espacios se colocó una capa de material seco procedente de la poda de césped, luego una gran cantidad de desechos orgánicos procurando que se cubra todo el espacio, y al final se colocó otra capa de césped seco como cobertura. Las pilas se dejaban reposar por un día completo para que se compacten acorde a la forma de los bloques que los

delimitaban (Anexo E).

Al día siguiente los bloques se retiraron, quedando delimitadas las tres pilas pequeñas que son las unidades experimentales (U.E.), en donde se realizaron las aplicaciones; las tres pilas pequeñas conformaron una sola repetición

En total se formaron cinco repeticiones o bloques experimentales con tres pilas de ensayo cada una, es decir, se contó con 15 unidades experimentales homogéneas.

3.6.5 Inoculación de los Microorganismos en la U.E.

Delimitadas todas las unidades experimentales, se realizó un sorteo para definir el orden de las repeticiones y de los niveles del factor a estudiar dentro de las repeticiones. Terminado esto, se aplicaron las diluciones de E.M. y Microorganismos autóctonos en sus respectivas pilas dentro de cada repetición.

Previo a la aplicación de los E.M., dado que éstos vienen en un estado de letargo dentro de la solución del envase, se procedió a activarlos siguiendo el siguiente procedimiento: en

diez litros de agua se diluyó 1 litro de E.M. con 0.5 Kg de melaza y se dejó reposar por 3 días, después de los cuales se diluyó esta mezcla en 20 lt. de agua. Esta dilución (3 lt/día/pila) se aplicó durante 3 semanas en las 5 unidades experimentales respectivas para este ensayo (Anexo D).

En el caso de los microorganismos autóctonos, se diluyó 4 lt. del medio base en 20 lt. de agua, los cuales se aplicaron durante el mismo tiempo (3 semanas) en sus respectivas unidades experimentales (Anexo D). Notese que no se tuvo que activar dichos microorganismos para aplicar la dilución (1.6 lt/día/pila), dado que estos por ser capturados y potenciados cada día, no entran en estado de aletargamiento.

3.6.6 Análisis microbiológico de los insumos a utilizar

Los productos utilizados en el ensayo (E.M: y microorganismos autóctonos) fueron sometidos a un análisis previo con el objetivo de determinar la población de microorganismos existentes en su composición.

Con la ayuda de los directivos y personal del Centro de Investigaciones Científicas del Ecuador (CIBE), se realizaron

estos análisis en una laboratorio de la empresa Inspectorate del Ecuador S.A., aplicando los métodos AOAC 17 990.12 para microorganismos aerobios totales, AOAC 17 976.30 para anaerobios totales y BAM 2001 CAP. 18 LIT. C para Hongos y Levaduras, en donde se obtuvieron los resultados que se muestran en la Tabla 3.

TABLA 3

CONTENIDO MICROBIOLÓGICO PRESENTE EN LAS DOS FUENTES DE MICROORGANISMOS QUE FUERON EVALUADOS (E.M. Y MICROORGANISMOS AUTÓCTONOS)

Parámetros	Unidad	E.M.	Microorganismos Autóctonos
Aerobios totales	UFC/g.	5.5×10^4	1×10^5
Anaerobios totales	UFC/g.	2×10	5×10
Hongos	UFC/g.	< 10	< 10
Levaduras	UFC/g.	3.2×10^3	1.2×10^4
Actinomicetos	UFC/g.	< 10	1×10

3.6.7 Recolección de datos

3.6.7.1 Peso y volumen de materia prima recolectada

Al momento de formar las sub-pilas, los desechos orgánicos y el material seco fueron pesados en una balanza, repitiéndose el procedimiento en cada bloque experimental.

El volumen de cada sub-pila lo obtuvimos utilizando

las dimensiones de cada una de ellas a través de la siguiente fórmula:

$$V = a \times b \times h;$$

Donde:

V = Volúmen,

a = longitud,

b = ancho,

h = altura

3.6.7.2 Peso y volumen de compost obtenido

Una vez obtenido el compost, se procedió a pesar cada sub-pila con ayuda de una balanza y un balde pequeño, se determinaron los volúmenes respectivos de las sub-pilas utilizando esta fórmula:

$$V = \pi \times r^2 \times h$$

Donde:

r = radio,

h = altura

3.6.7.3 Relación entre materia prima y compost obtenido

Con los valores de peso y volúmen de desechos orgánicos (material inicial) y compost (material final) respectivos, se obtuvo una relación matemática para la conversión de materia orgánica que se produjo en cada sub-pila, la cual indicó la eficiencia en transformación de materiales orgánicos en abono natural.

3.6.7.4 Tiempo de compostaje del material

La hipótesis de este ensayo está sustentada en una acción aceleradora de los microorganismos sobre las pilas; esta variable se registró observando la transformación de las unidades experimentales a través del tiempo, específicamente el porcentaje de material existente en campo, comparado con el material inicial, que es considerado el 100%.

3.6.7.5 pH semanal del proceso

Utilizando el pH-metro, se procedió de la misma manera que se realizaron las lecturas de temperatura, tomando en tres puntos distintos los

valores y promediándolos para obtener un valor final (Anexo H). Sin embargo, estas lecturas se realizaron cada dos días, por cuestión de logística.

3.6.7.6 Temperatura semanal del proceso

El monitoreo y registro de temperatura se realizó diariamente, con ayuda del termómetro electrónico, procurando hacer tres lecturas por sub-pila: una en cada extremo y otra en la parte central; estos valores son promediados para obtener una lectura única que será analizada estadísticamente (Anexo H).

3.6.8 Análisis Estadístico

3.6.8.1 Análisis de Varianza

Para el análisis estadístico de los datos registrados durante la realización del ensayo, con miras a determinar si las hipótesis planteadas son las correctas, se aplicó un Análisis de Varianza (ADEVA) adaptado al Diseño de Bloque Completos al Azar (DBCA).

Este ADEVA está sujeto al siguiente esquema para obtener los resultados estadísticos (Tabla 4):

TABLA 4

ADEVA A APLICAR EN EL ENSAYO, CON SUS RESPECTIVOS GRADOS DE LIBERTAD

Fuentes de Variación	Grados de libertad (g.l)
Total	14
Tratamientos	2
Repeticiones	4
Error experimental	8

3.6.8.2 Prueba de Tukey al 1%

Cuando se encontraron diferencias estadísticas en el ADEVA (o ANOVA), se aplicó una prueba de significancia; para este ensayo se utilizó la Prueba de Tukey con un nivel de probabilidad del 1% ($\alpha = 0.01$).

3.6.9 Análisis microbiológico y mineralógico del compost obtenido

Se realizó un análisis microbiológico y de contenido nutricional al compost obtenido dentro del ensayo, específicamente a cada sub-pila se le tomó una muestra de 500 gr. para tales fines. En el caso del análisis nutricional, éste fue realizado en un laboratorio de Inspectorate de

Ecuador S.A.; mientras que el análisis microbiológico fue llevado a cabo en las instalaciones del CIBE.

Preparación de Solución madre:

El procedimiento para desarrollar este análisis se detalla a continuación (Anexo F): Se preparó una solución enriquecedora de muestras, para lo cual se pesaron 0.25 gramos de Agua pectonada granulada que fueron disueltos en 1 lt. de agua destilada.

A continuación se pesaron 25 gr. de cada muestra (10% de concentración peso/volumen), los cuales se colocaron en sus respectivos matraces Enlarmeyer de 250 ml. de capacidad (15 en total), y lo restante se llenó con agua destilada (aproximadamente 225 ml. de agua). Para esto, se calculó la cantidad de agua necesaria para llenar las matraces y un restante para utilizar en la cámara de flujo al momento de realizar los tests; es así que multiplicando los mililitros necesarios para llenar las matraces por el número de matraces a utilizar (225 ml. x 15), se encontró que necesitamos 3378 ml. o 3.378 lt. de agua destilada.

Llenamos 4 matraces de 1 lt. de capacidad para preparar la solución enriquecedora (0.25 gr. por lt. de agua destilada), por tanto utilizamos 1 gr. de agua pectonada granulada para los 4 lt., luego disolvimos esto utilizando un agitador magnético.

Preparación de muestras:

Listos los 4 litros de agua, se llenaron las matraces que contienen las muestras con el agua enriquecedora, se las selló con un trozo de papel aluminio y después fueron llevadas a la autoclave para esterilizar las soluciones de las matraces, durante un tiempo de 15 minutos a 121 °C y 2 atm. de presión. Luego de sacar las matraces de la autoclave y dejarlas enfriar durante un tiempo prudencial, fueron llevadas a la cámara de incubación, donde permanecieron durante 24 horas a una temperatura controlada de 35 °C (Anexo I).

Pasado el tiempo determinado (24 h.) se retiraron las matraces y fueron trasladados a la cámara de flujo laminar, donde se realizaron los análisis utilizando los kits de prueba respectivos. Para determinar presencia de *E. coli*, coliformes totales, hongos y levaduras en las muestras se utilizó el mismo procedimiento y los kits *SimPlate*®. Sin embargo cabe

resaltar que se realizó un test para analizar *E. coli* junto a coliformes totales y otro para analizar hongos y levaduras.

Inoculación en Kits de prueba:

Con una pipeta mecánica y una punta plástica, se procedió a colocar 9 ml. de agua pectonada y 1 ml. de la solución muestra en un frasco que contenía un reactivo en polvo, se tapó y se agitó hasta disolver todo el polvo. Observe que el líquido se tornó azul. Una vez disuelto el polvo, el contenido del frasco se vació en el interior del plato, que posee 84 pocillos. Tapado el plato, los 10 ml. de líquido aplicados fueron distribuidos de manera uniforme cubriendo todos los pocillos, esto se logró moviendo en forma circular el plato (Anexo I).

Cuando se hallaron pocillos llenos de aire, se procedió a golpear suavemente el plato contra una superficie dura para hacer que el aire salga y permita el ingreso del líquido en el pocillo. Cuando todos estén llenos, el líquido restante se lo drenó a la esponjita que se encuentra a un costado mediante un giro del plato. Este procedimiento se repitió con todas las muestras que se analizaron, en este caso fueron 15 platos.

Terminado esto, se llevaron los platos a la cámara de incubación, donde permanecieron durante 24 horas a una temperatura controlada de 37 °C. (Para hongos y levaduras, se deja incubar durante 48 h. a 37 °C)

Análisis de Hongos, levaduras y coliformes:

Para analizar coliformes totales, hongos y levaduras, se contaron la cantidad de pocillos que cambiaron su coloración de azul a rojo, este cambio fue un indicativo de la presencia de coliformes. En el caso de *E. coli*, se sostuvo a una altura de 15 - 30 cm. sobre los platos una luz ultravioleta (366 nm.), se observó si hubo pocillos que se volvieron fluorescentes al paso de esta luz; esto fue indicador de la presencia de este microorganismos patógeno en la muestra. En los test de hongos y levaduras, la coloración varió de azul a café, y se realizó el mismo procedimiento aplicado para los coliformes totales.

Los valores obtenidos de estas lecturas los comparamos con la tabla de conversión del kit, para determinar el total de coliformes, *E. coli*, hongos y levaduras presentes en cada plato. Para conocer el total presente en las muestras o en las

sub-pilas, se multiplicaron los valores obtenidos de la tabla por la cantidad de muestra utilizada o el peso de cada sub-pila.

Análisis de *Salmonella*:

En el *1-2Test* (Método Oficial AOAC 989.13) para comprobar la presencia de *Salmonella sp.* en las muestras, se realizaron los siguientes pasos: Se utilizaron 15 frascos con 2 aberturas dispuestas en forma de L, una con tapa negra y otra con tapa blanca; primero se procedió a agregar una gota de Reactivo #1 (solución de yodo-yoduro) en la cámara de inoculación del frasco (tapa negra), se tapó y se agitó para que se mezcle adecuadamente. Luego se retiró la tapa negra nuevamente para quitar el tapón (plug) que cubría la cámara de inoculación, utilizando una pinza estéril; retirando este plug se permitió el movimiento de la bacteria desde esta locación hasta la cámara de movilidad. Retirado este tapón, se aplicó 0.1 ml. de la muestra en la cámara de inoculación, luego se tapó completamente.

Se retiró la tapa blanca del frasco y se cortó la punta de esta tapa con tijeras estériles, luego se agregó sólo 1 gota del

Reactivo #2 (Anticuerpo) en el pocillo formado en el gel por la punta de la tapa, esta gota llenó uniformemente las 2/3 partes del pocillo. Tapados los frascos se llevaron a la incubadora, colocándolos con la tapa blanca hacia arriba, fueron dejados durante 14 h. a 37 °C.

La lectura se realizó sosteniendo el frasco con la tapa blanca hacia arriba cerca de una luz de alta intensidad. Girando el frasco se observó cuidadosamente el gel en la cámara de movilidad. Al estar ausente una banda blanca (denominada inmunobanda) en forma de U o menisco en todo o un lado del gel en la mitad más alta de la cámara de movilidad, se comprobó la no existencia de *Salmonella* en las muestras.

Terminadas todas las pruebas para microorganismos, éstas fueron desechadas inmediatamente, para lo cual se incineraron los materiales para evitar la contaminación de fuentes de agua o alimentos.

CAPITULO 4

4. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

4.1 Resultados

4.1.1 Peso y Volumen de materia prima recolectada

Usados como valores referenciales, los datos de Peso y Volumen iniciales del material no fueron objeto de análisis estadístico u otro tipo de estudio, debido a que éstos representan valores demasiado similares entre si, lo que impidió que se pueda realizar un registro estadístico. Sin embargo, con dichos datos pudimos comparar el avance de la acción microbiológica dentro de las pilas de compost.

4.1.2 Peso y Volumen de Compost Obtenido

TABLA 5

VALORES DE PESO EN KILOGRAMOS PARA COMPOST FINAL OBTENIDO CON LA APLICACIÓN DE E.M. Y MICROORGANISMOS AUTÓCTONOS

Repeticiones	Tratamientos		
	E.M	Autóctonos	Testigo
1	4,66	3,64	3,98
2	5,68	5,45	5,80
3	9,43	10,00	8,07
4	6,36	4,09	6,02
5	5,45	4,55	5,00
Total	31,58	27,73	28,87
Media	6,32	5,55	5,77

La Tabla 5 presenta los datos obtenidos en el registro del peso de compost final para cada unidad experimental de la investigación. A simple vista podemos ver que la media generada por la acción de los E.M. es mayor (6.32 Kg.) a las otras dos, lo que sugiere que los E.M. no degradaron los desechos como se esperaba, o los otros dos tratamientos sufrieron un proceso de degradación muy acelerado y descontrolado que transformó a la mayoría de los desechos en lixiviados (Figura 4.1). Al aplicar los análisis estadísticos correspondientes, no se encontraron diferencias estadísticas entre los tratamientos que corroboren lo observado. De igual manera, los volúmenes finales de los tratamientos no presentaron diferencias estadísticas significativas.

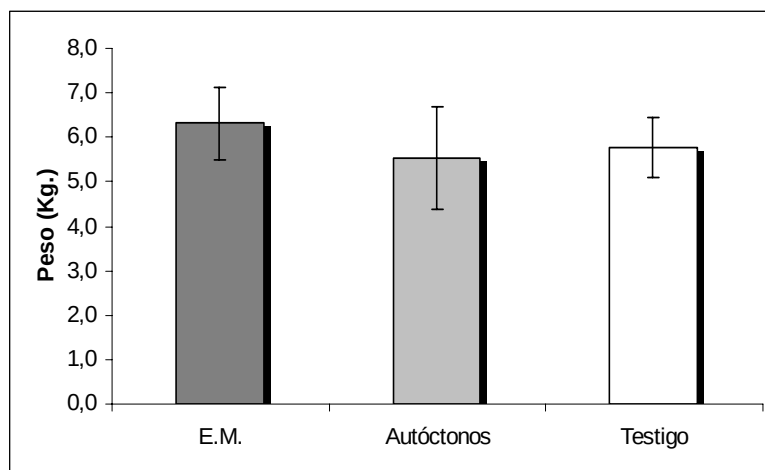


FIGURA 4.1 DIFERENCIAS DE PESOS REGISTRADOS ENTRE TRATAMIENTOS PARA COMPOST FINAL OBTENIDO CON LA APLICACIÓN DE E.M. Y MICROORGANISMOS AUTÓCTONOS.

4.1.3 Relación entre materia prima y compost obtenido

TABLA 6

VALORES DE RELACIONES DE CONVERSIÓN DE MATERIAL ENTRE TRATAMIENTOS PARA COMPOST FINAL OBTENIDO CON LA APLICACIÓN DE E.M. Y MICROORGANISMOS AUTÓCTONOS

Repeticiones	Tratamientos		
	E.M.	Autóctonos	Testigo
1	0,14	0,11	0,12
2	0,17	0,16	0,17
3	0,28	0,29	0,24
4	0,19	0,12	0,18
5	0,16	0,13	0,15
Total	0.94	0.81	0.86
Media	0.19	0.16	0.17

En la Tabla 6 se presentan los datos de conversión de material (relación peso final/peso inicial) obtenidos para cada

unidad experimental, estos valores complementan la información indicada por la variable anterior. Así mismo no se hallaron diferencias estadísticas entre tratamientos tanto para la relación de conversión en peso como la relación de conversión en volumen. No obstante, la aplicación de E.M. (tratamiento 1) generó una mayor conversión (0.187 o 18.7%) de desechos orgánicos en compost, comparado con los otros 2 tratamientos (Figura 4.2).

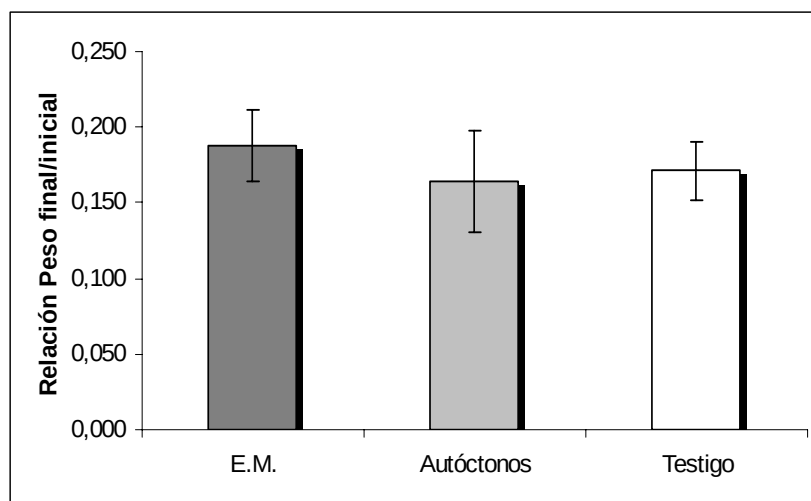


FIGURA 4.2 COMPARACIÓN DE RELACIONES DE CONVERSIÓN DE MATERIAL ENTRE TRATAMIENTOS PARA COMPOST FINAL OBTENIDO CON LA APLICACIÓN DE E.M. Y MICROORGANISMOS AUTÓCTONOS.

4.1.4 Tiempo de compostaje del material

No se observó ningún tiempo de duración menor con respecto al testigo (a3) durante el proceso de compostaje con las aplicaciones de E.M. y microorganismos autóctonos, es decir, el producto final se generó dentro de 7 semanas para los 3 tratamientos, confirmando esto con el análisis estadístico donde no se encontraron diferencias significativas. El cambio de textura se evidenció en todas las repeticiones alrededor de las 3 semanas, sin diferencia alguna en lapso de tiempo.

4.1.5 pH semanal del proceso

TABLA 7

VALORES DE PH REGISTRADOS EN LAS PILAS DE COMPOST.

Bloque	Tratamiento	Semana						
		1	2	3	4	5	6	7
1	E.M.	7,1	6,8	6,7	6,6	6,4	6,6	6,5
	Autóctonos	7,3	7,0	7,0	6,7	6,6	6,7	6,2
	Testigo	7,1	6,9	6,7	6,5	6,6	6,6	6,2
2	E.M.	6,4	6,5	6,6	6,7	6,7	6,5	6,5
	Autóctonos	6,5	6,7	6,6	6,5	6,5	6,5	6,7
	Testigo	6,5	6,6	6,7	6,7	6,7	6,7	6,8
3	E.M.	6,7	6,7	6,6	6,7	6,6	6,5	6,5
	Autóctonos	6,8	6,4	6,5	6,7	6,5	6,4	6,5
	Testigo	6,7	6,7	6,6	6,6	6,7	6,6	6,4
4	E.M.	6,8	6,7	6,6	6,6	6,5	6,7	6,6
	Autóctonos	6,9	6,6	6,5	6,7	6,5	6,6	6,5
	Testigo	7,2	7,0	6,7	6,5	6,5	6,6	6,5
5	E.M.	7,1	6,9	6,7	6,5	6,7	6,7	6,4
	Autóctonos	7,4	7,2	7,3	7,3	6,8	6,7	6,6
	Testigo	7,2	7,1	6,8	6,6	6,6	6,7	6,6

Encontramos los valores de pH registrados en el ensayo para cada tratamiento en la Tabla 7; luego del análisis respectivo no se hallaron diferencias significativas entre los tratamientos, esto indica que el pH de los montículos con aplicaciones de microorganismos no difirió mucho del pH hallado en el testigo o control (Figura 4.3), esto se visualiza en mayor medida en la comparación entre los tratamientos la que podemos encontrar en la Figura 4.4, donde encontramos que la variación de pH de las pilas con aplicación de E.M. y la variación en las pilas control, se comportaron de forma muy similar, mientras que en las pilas con aplicación de microorganismos autóctonos hubo una diferencia con las otras dos durante las semanas 7 y 13, posiblemente tenga relación con la actividad microbiológica; si observamos esto en la conversión de material, tiene cierta concordancia dado que en los montículos con este tratamiento (microorganismos autóctonos) se evidenció una mayor conversión de desechos en abono.

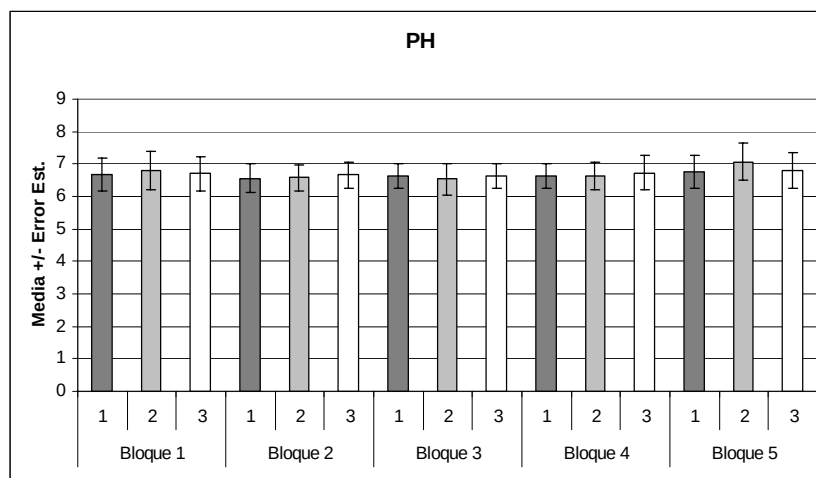


FIGURA 4.3 COMPARACIÓN DE VALORES DE PH ENTRE TRATAMIENTOS Y REPETICIONES PARA COMPOST FINAL OBTENIDO CON LA APLICACIÓN DE E.M. Y MICROORGANISMOS AUTÓCTONOS.

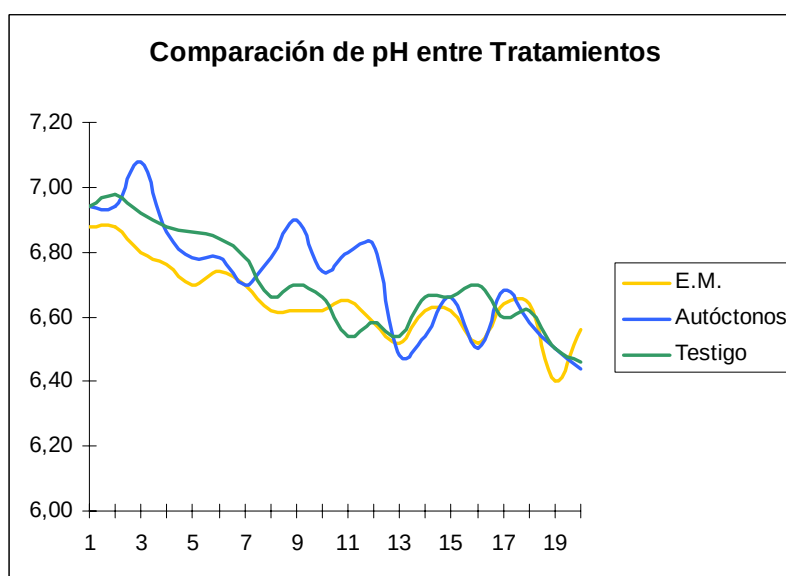


FIGURA 4.4 COMPARACIÓN ENTRE CURVAS DE PH PARA TRATAMIENTOS DEL ENSAYO.

4.1.6 Temperatura semanal del proceso

Vemos las temperaturas registradas en el ensayo para cada tratamiento en la Tabla 8; luego de analizar los datos, no se encontraron diferencias significativas entre los tratamientos, es decir la temperatura promedio semanal generada en éstos se mantuvo dentro de un mismo rango, por tanto se sugiere que la presencia de microorganismos inoculados no induce a una variación de temperatura acelerada ni excesiva.

TABLA 8
VALORES DE TEMPERATURAS REGISTRADOS EN LAS
PILAS DE COMPOST.

Bloque	Tratamiento	Semana						
		1	2	3	4	5	6	7
1	E.M.	41,8	39,2	35,0	34,8	35,0	35,0	35,3
	Autóctonos	43,8	39,8	34,8	35,6	35,0	34,8	35,0
	Testigo	43,0	40,2	35,2	35,4	35,4	36,0	35,3
2	E.M.	42,8	38,8	31,0	31,4	31,0	30,8	30,8
	Autóctonos	41,4	39,0	31,0	31,0	30,8	30,8	31,3
	Testigo	41,4	37,6	31,8	31,2	31,2	30,8	32,0
3	E.M.	49,6	39,0	31,0	30,8	31,6	31,0	30,8
	Autóctonos	49,8	40,6	30,4	31,0	31,4	31,2	31,5
	Testigo	48,0	38,8	31,0	30,4	31,2	30,8	31,0
4	E.M.	42,6	38,2	33,0	31,2	32,6	32,2	32,3
	Autóctonos	46,4	39,8	32,6	32,0	31,8	33,0	32,5
	Testigo	38,8	36,6	31,4	32,0	32,6	32,4	32,5
5	E.M.	43,6	37,2	31,6	32,0	32,2	31,8	31,5
	Autóctonos	42,2	39,0	32,0	31,4	31,2	31,4	31,8
	Testigo	43,2	42,2	31,4	31,4	31,6	31,6	32,0

Observando la Figura 4.5 corroboramos como la temperatura

no ha presentado diferencia entre los tratamientos, es más, la temperatura media máxima que se encontró entre los tres tratamientos fue de 37 °C, cuando los valores esperados en una labor de compostaje superan los 60 °C durante las primeras semanas.

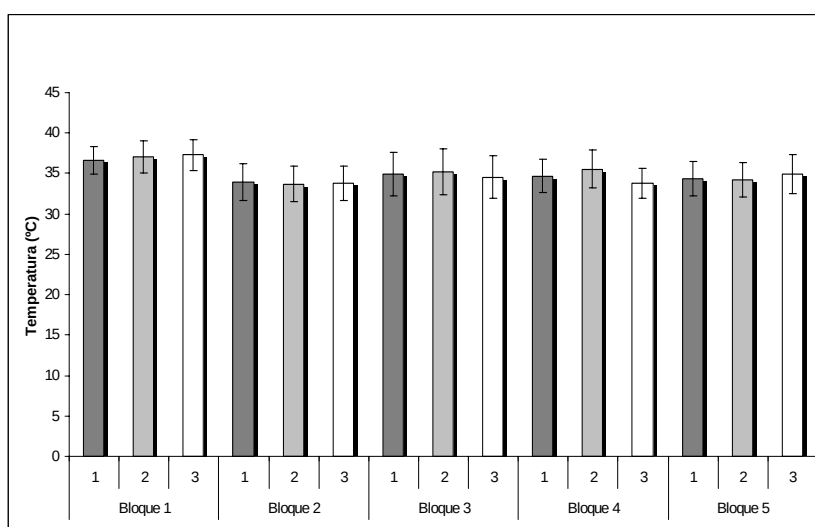


FIGURA 4.5 COMPARACIÓN DE TEMPERATURAS ENTRE TRATAMIENTOS Y REPETICIONES PARA COMPOST FINAL OBTENIDO CON LA APLICACIÓN DE E.M. Y MICROORGANISMOS AUTÓCTONOS.

Si analizamos la Figura 4.6, podemos comparar el comportamiento de las curvas de temperaturas para los 3 tratamientos frente a la curva de temperaturas esperada en un proceso de compostaje. Observamos como los valores obtenidos no se acercaron a los de la curva de valores

esperados, sobre todo en los primeros días, donde las temperaturas registradas oscilaron entre 30 y 40 °C, cuando debieron alcanzar valores entre 60 y 70 °C.

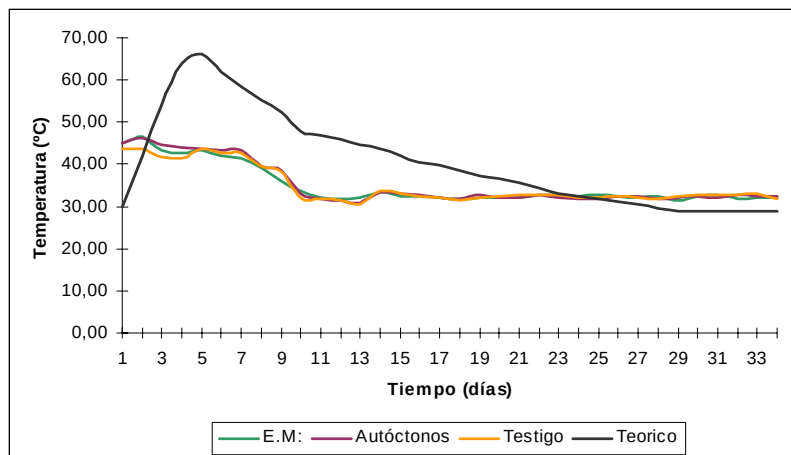


FIGURA 4.6 COMPARACIÓN DE CURVAS DE TEMPERATURAS HALLADAS EN EL ENSAYO CON MICROORGANISMOS FRENTE A LA CURVA ESTÁNDAR DE TEMPERATURAS PARA COMPOST.

Análisis microbiológico y nutrimental del compost obtenido.

En los análisis de laboratorio realizados a las sub-pilas, se encontró una gran población de coliformes totales, hongos y levaduras, además de una considerable población de *Escherichia coli* en la mayoría de éstas y la ausencia general de *Salmonella*, como podemos observar en los datos de la Tabla 9.

TABLA 9
POBLACIÓN DE MICROORGANISMOS PRESENTES EN
CADA 100 G. DE COMPOST FINAL

Bloques	Tratamientos	E. coli	Coliformes (>)	Hongos y Levaduras (>)
1	E.M.	0	73800	73800
	Autóctonos	1000	73800	73800
	Testigo	200	73800	73800
2	E.M.	200	73800	73800
	Autóctonos	5800	73800	73800
	Testigo	200	73800	73800
3	E.M.	0	73800	73800
	Autóctonos	0	73800	73800
	Testigo	0	73800	73800
4	E.M.	1400	73800	73800
	Autóctonos	800	73800	73800
	Testigo	600	73800	73800
5	E.M.	600	73800	73800
	Autóctonos	5800	73800	73800
	Testigo	800	73800	73800

Los análisis arrojaron que las poblaciones de coliformes y hongos y levaduras se desarrollaron en forma similar entre los tratamientos, donde los valores se encontraban muy cercanos a 74000 individuos por cada 100 g. de compost. En la Figura 4.7 podemos visualizar como las poblaciones de estos microorganismos varían de acuerdo a la cantidad de compost que se obtuvo al final del ensayo.

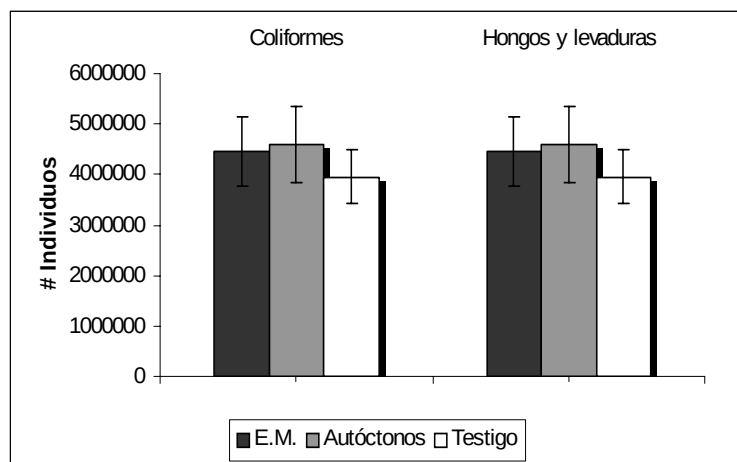


FIGURA 4.7 COMPARACIÓN DE POBLACIONES DE COLIFORMES Y HONGOS Y LEVADURAS ENTRE TRATAMIENTOS DEL ENSAYO.

Para poblaciones de *E. coli*, al analizar los datos encontramos diferencias estadísticas significativas entre tratamientos (Tabla 10). Podemos observar que en las unidades experimentales con aplicación de microorganismos autóctonos, se halló mayor presencia de *E. coli* en comparación con las unidades experimentales donde se aplicaron los E.M. y con las unidades testigo. En la Figura 4.8 se corrobora con mayor detalle esta diferencia; esto puede deberse a que los microorganismos autóctonos se encontraban debilitados y no lograron desarrollarse al nivel necesario para inhibir el crecimiento de individuos patógenos, pero esto es una posibilidad y sería necesario otros ensayos para determinar la causa real de este problema.

TABLA 10

POBLACIÓN DE *ESCHERICHIA COLI* PRESENTE EN EL COMPOST OBTENIDO CON LA APLICACIÓN DE E.M. Y MICROORGANISMOS AUTÓCTONOS

Tratamientos	Medias	Rangos*
Autóctonos	313,16	a
Testigo	115,43	b
E.M.	109,50	b

*Rangos obtenidos Prueba Duncan $P=0.05$. Promedios Seguidos por la misma letra son iguales estadísticamente

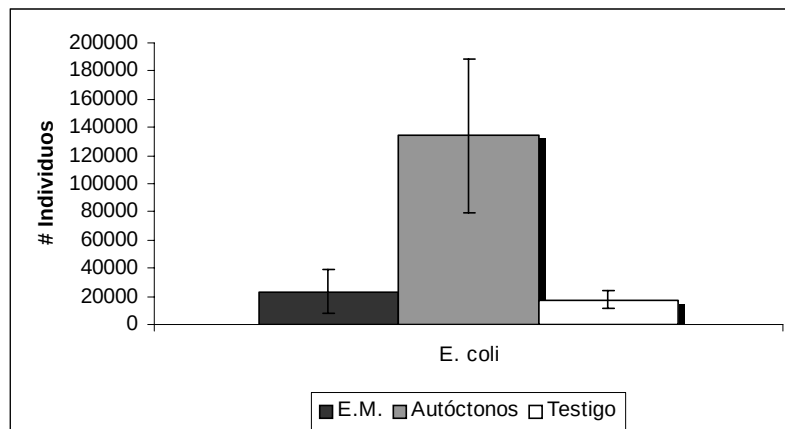


FIGURA 4.8 COMPARACIÓN DE PRESENCIA DE *E. COLI* ENTRE TRATAMIENTOS DEL ENSAYO.

Los análisis de composición nutricional realizados al compost muestran la riqueza de minerales que se pueden hallar dentro de la estructura de este abono, tanto de macronutrientes (Tabla 11) como de micronutrientes (Tabla 12). Tras el análisis estadístico, no se presentaron diferencias estadísticas significativas entre tratamientos, aunque revisando las tablas se

pueden observar las variaciones de nutrientes entre cada tratamiento.

TABLA 11

**COMPOSICIÓN DE MACRONUTRIENTES PARA CADA
MONTÍCULO DE COMPOST OBTENIDO POR
TRATAMIENTO**

Rep	Tratamientos	Macronutrientes						
		%	p.p.m.		meq/100 g.			
		N	S	P	K	Ca	Mg	Ca/Mg
1	1	0,12	343,82	517,70	17,06	16,06	7,26	2,21
	2	0,10	311,62	431,64	13,53	17,39	9,12	1,91
	3	0,10	320,64	427,41	13,92	15,41	5,97	2,58
2	1	0,12	334,03	370,29	12,21	15,07	6,70	2,25
	2	0,10	296,54	359,85	14,02	15,53	7,08	2,19
	3	0,09	354,78	319,45	12,38	16,55	7,26	2,28
3	1	0,16	281,34	347,46	15,04	15,54	10,62	1,46
	2	0,14	311,90	354,58	13,08	15,39	7,53	2,04
	3	0,13	252,77	438,78	12,71	15,47	6,27	2,47
4	1	0,11	310,94	362,94	14,07	15,44	7,68	2,01
	2	0,12	251,02	544,56	17,50	18,21	9,01	2,02
	3	0,11	400,83	408,67	12,62	15,19	8,04	1,89
5	1	0,10	262,59	403,42	13,01	15,85	6,36	2,49
	2	0,15	273,03	434,84	12,56	23,27	8,30	2,80
	3	0,15	270,09	421,14	12,63	15,71	6,31	2,49

TABLA 12
COMPOSICIÓN DE MICRONUTRIENTES PARA CADA
MONTÍCULO DE COMPOST OBTENIDO POR
TRATAMIENTO

Repeticiones	Tratamientos	Micronutrientes				
		p.p.m.				
		Zn	Cu	Mn	Fe	B
1	1	8,80	0,60	12,00	9,70	16,10
	2	8,90	0,60	28,70	7,90	16,30
	3	9,60	0,80	9,20	6,90	16,70
2	1	13,10	0,90	13,90	5,40	16,90
	2	10,40	0,50	12,30	4,50	17,60
	3	11,70	0,80	13,90	7,50	15,80
3	1	17,50	0,60	12,80	10,00	15,40
	2	10,70	0,60	8,70	12,10	12,90
	3	11,00	1,60	8,90	6,30	15,30
4	1	10,10	0,60	25,80	6,80	17,60
	2	9,80	0,70	15,30	11,30	14,00
	3	13,50	0,60	7,80	4,60	17,20
5	1	8,80	0,80	9,00	4,70	16,10
	2	10,20	2,90	17,00	22,30	15,90
	3	10,00	0,60	8,70	8,00	17,10

4.2 Discusión

El tiempo de degradación de los desechos orgánicos en compost no varió con la aplicación de E.M. y microorganismos autóctonos, el trabajo fue similar al del testigo, incluso los tiempos, esto contrasta con la información bibliográfica, donde se resalta la acción aceleradora tanto de los E.M. como de microorganismos propios de un suelo (Acuña, 2002; CAVASA, 2005; FUNDASES, 2005; García, 2004; Lusaka y Ortega, 2006; Restrepo, 2001; Suquilanda, 1996).

El tamaño de las partículas jugó un papel importante en este punto, dado que al ser los trozos de desechos orgánicos muy grandes (mayores de 5 cm.), los microorganismos no lograron colonizar en forma adecuada el material y por tanto el proceso de compostaje se aletargó, originando que el desempeño de las fuentes de microorganismos y del testigo durase un tiempo similar (Acuña, 2002; Jiménez y Arias, 2006; Peña y Carrión, 2002).

En los parámetros de proceso, principalmente en la temperatura, no se observó el comportamiento esperado dentro del compostaje de materia orgánico, ya que las temperaturas no sobrepasaron los valores de 45 °C en las primeras semanas, lo cual difirió con la información obtenida con otros trabajos (Acuña, 2002; Canovas, 1993; FUNDASES, 2005; Peña y Carrión, 2002; Suquilanda, 1996).

Al final del proceso, luego de los análisis para determinar presencia de microorganismos, encontramos alta poblaciones de coniformes y *E. coli*, su proliferación pudo estar relacionada con la falta de temperaturas altas en el compostaje, lo cual es diferente en otros trabajos, donde la temperatura si alcanzó o sobrepasó valores de 60 °C (Acuña, 2002; García, 2004; Restrepo, 2001; Suquilanda, 1996).

CAPITULO 5

5. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

5.1 Conclusiones

- 1.** Tanto los microorganismos autóctonos como los E.M. no aceleraron el proceso de descomposición de los residuos orgánicos generados en los comedores y bares de ESPOL, trabajaron al mismo ritmo que el control (testigo).
- 2.** El tamaño de las partículas orgánicas de las sub-pilas (mayores a 1 cm.) afectaron el desenvolvimiento de los microorganismos en el momento de colonizar dichas partículas.
- 3.** La variación de peso en las unidades experimentales sumada a los efectos producidos por su disposición dentro de la planta de

compostaje tuvo mucha incidencia en el ensayo

4. Los valores de conversión de material obtenidos se encontraban en un rango entre 10 al 20% con respecto a los residuos orgánicos utilizados.
5. Se encontraron poblaciones numerosas de hongos y levaduras por cada 100 gr. de peso en las sub-pilas (mayor a 73800 individuos); también de coliformes totales en mismo número (sobre los 73800 individuos por cada 100 gr.).
6. Los microorganismos autóctonos no lograron suprimir el desarrollo de la población de *E. coli* en las respectivas sub-pilas.
7. No se encontró *Salmonella* en el análisis de laboratorio de las sub-pilas.
8. El compost final es rico en nutrientes y minerales, tales como nitrógeno (N), fósforo (P), calcio (Ca), Boro (B), entre otros, con concentraciones similares entre tratamientos.

5.2 Recomendaciones

1. Es necesario utilizar una picadora mecánica para manejar el tamaño de las partículas y mantenerlos dentro de un rango de 3 a 5 mm.
2. Para ensayos posteriores tratar de que las pilas sean lo más homogéneas posibles tanto en peso, en volumen y en la variedad de desechos que las compongan.
3. Si el ensayo se repite en la misma planta de ESPOL, disponer de los bloques alineándolos en forma vertical y escoger un diseño experimental que se ajuste a las necesidades del investigador.
4. Realizar las repeticiones que sean necesarias para reducir los errores experimentales que puedan surgir durante el ensayo.
5. Para reducir las poblaciones de patógenos, especialmente coliformes y *E. coli*, es prudente realizar un pre-tratamiento de los residuos, a través del secado de éstos.
6. El compost obtenido puede ser utilizado solamente como abono para jardineras o para viveros de plantas forestales, no para

hortalizas, por la presencia de *E. coli*

7. Realizar los ensayos que sean convenientes para generar mayor información sobre este tema.

ANEXOS

ANEXO A

PLANTA DE COMPOSTAJE DE ESPOL



ANEXO B

MATERIALES EXPERIMENTALES UTILIZADOS



Desechos Sólidos Orgánicos



Microorganismos Eficientes (E.M.)



Microorganismos Autóctonos

ANEXO C

EQUIPOS DE CAMPO UTILIZADOS



Blower



Termómetro



pH-metro

ANEXO D

ACTIVACIÓN E INOCULACIÓN DE LOS E.M. (MICROORGANISMOS EFICIENTES) Y LOS MICROORGANISMOS AUTÓCTONOS



E.M. activados



Aplicación de los E.M. en las unidades experimentales



Microorganismos autóctonos



Aplicación de los microorganismos autóctonos en las unidades experimentales

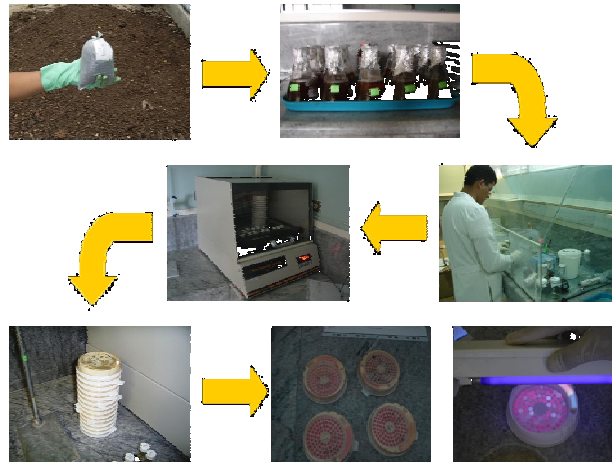
ANEXO E

SECUENCIA GRÁFICA DE LA REALIZACIÓN DE LA TESIS EN FASE DE CAMPO

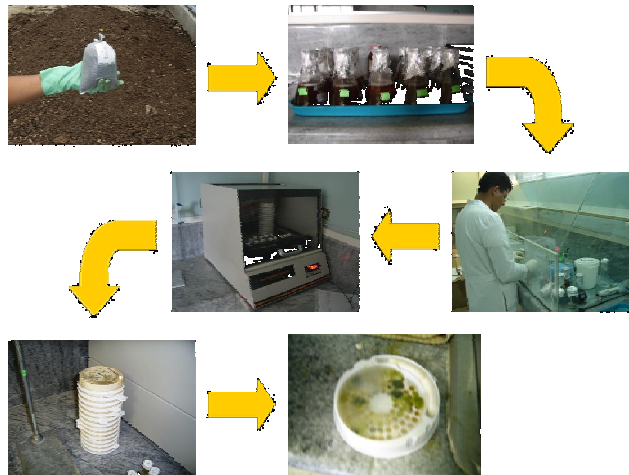


ANEXO F

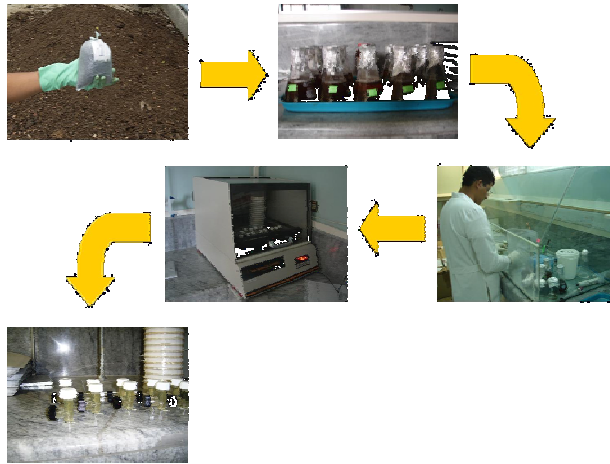
ANÁLISIS DE LABORATORIO DE LAS MUESTRAS



Análisis para determinación de coliformes y *E. coli*



Análisis para determinación de hongos y levaduras



Análisis para determinación de *Salmonella*

ANEXO G

ANÁLISIS DE VARIANCIA PARA PESOS FINALES GENERADOS EN EL ENSAYO

Fuentes de Variación	Grados de Libertad	Suma de Cuadrados Corregidos	Cuadrados medios (S ²)	F calculada	F tabulada	
					5%	1%
Total	14	50,90				
Tratamientos	2	1,56	0,78	1,42 n.s.	4,46	8,65
Bloques	4	44,93	11,23	20,39 **	3,84	7,01
Error exp.	8	4,41	0,55			

ANÁLISIS DE VARIANCIA PARA VOLUMENES FINALES GENERADOS EN EL ENSAYO

Fuentes de Variación	Grados de Libertad	Suma de Cuadrados Corregidos	Cuadrados medios (S ²)	F calculada	F tabulada	
					5%	1%
Total	14	0,0006400				
Tratamientos	2	0,0000000	0,0000000	0,00 n.s.	4,46	8,65
Bloques	4	0,0003733	0,0000933	2,80 n.s.	3,84	7,01
Error exp.	8	0,0002667	0,0000333			

ANEXO H

ANÁLISIS DE VARIANCIA PARA CONVERSIÓN EN PESO GENERADA EN EL ENSAYO

Fuentes de Variación	Grados de Libertad	Suma de Cuadrados Corregidos	Cuadrados medios (S^2)	F calculada	F tabulada	
					5%	1%
Total	14	0,0433600				
Tratamientos	2	0,0017200	0,0008600	1,94 n.s.	4,46	8,65
Bloques	4	0,0380933	0,0095233	21,48 **	3,84	7,01
Error exp.	8	0,0035467	0,0004433			

ANALISIS DE VARIANCIA PARA CONVERSIÓN EN VOLUMEN GENERADA EN EL ENSAYO

Fuentes de Variación	Grados de Libertad	Suma de Cuadrados Corregidos	Cuadrados medios (S^2)	F calculada	F tabulada	
					5%	1%
Total	14	0,026093				
Tratamientos	2	0,000013	0,000007	0,01 n.s.	4,46	8,65
Bloques	4	0,015627	0,003907	2,99 n.s.	3,84	7,01
Error exp.	8	0,010453	0,001307			

ANEXO I

ANÁLISIS DE VARIANCIA PARA TEMPERATURAS SEMANALES GENERADAS EN EL ENSAYO

Fuentes de Variación	Grados de Libertad	Suma de Cuadrados Corregidos	Cuadrados medios (S ²)	F calculada	F tabulada	
					5%	1%
Total	14	19,49				
Tratamientos	2	0,25	0,12	0,51 n.s.	4,46	8,65
Bloques	4	17,30	4,33	17,85 **	3,84	7,01
Error exp.	8	1,94	0,24			

ANÁLISIS DE VARIANCIA PARA pH SEMANALES GENERADOS EN EL ENSAYO

Fuentes de Variación	Grados de Libertad	Suma de Cuadrados Corregidos	Cuadrados medios (S ²)	F calculada	F tabulada	
					5%	1%
Total	14	0,25				
Tratamientos	2	0,01	0,01	0,79 n.s.	4,46	8,65
Bloques	4	0,16	0,04	4,46 *	3,84	7,01
Error exp.	8	0,07	0,01			

ANÁLISIS DE VARIANCIA PARA POBLACIONES DE *Escherichia coli* ENCONTRADAS EN EL ENSAYO

Fuentes de Variación	Grados de Libertad	Suma de Cuadrados Corregidos	Cuadrados medios (S ²)	F calculada	F tabulada	
					5%	1%
Total	14	0,25				
Tratamientos	2	0,01	0,01	0,79 n.s.	4,46	8,65
Bloques	4	0,16	0,04	4,46 *	3,84	7,01
Error exp.	8	0,07	0,01			

BIBLIOGRAFIA

1. ACUÑA HÉCTOR et al, Manual AgroPecuario, Editorial Biblioteca del Campo, Bogotá, Colombia, Volúmen Agro, 2002.
2. CANOVAS A., Tratado de Agricultura Ecológica, Ed. Instituto de Estudios Almerienses de la Diputación de Almería, Almería, 1993.
3. CAVASA, Manejo de desechos sólidos en Colombia; accesible en worldwide web at <http://www.cavasa.com.co/htm/compostaje.htm>, revisado en Agosto del 2005.
4. COMPOSTADORES S.L., Compostaje; accesible en worldwide web at <http://www.compostadores.com>, revisado en Agosto del 2005.
5. CUADROS GARCÍA, S. Tratamiento de los residuos sólidos urbanos por procesos de fermentación aerobia y anaerobia. CIEMAT. Madrid. 1995.
6. FINSTEIN M.S., Composting in the control of municipal solid waste management, En «Environmental microbiology», Ed. por R. Mitchell. Wiley-Liss, New York, 1992.

7. FONDO AMBIENTAL DE QUITO, Proyecto *“Manejo Participativo de Desechos Sólidos en Barrios del Sur de Quito”*; accesible en worldwide web at http://www.fondoambiental.gov.ec/site/download/prj/prj_06.pdf, revisado en Noviembre del 2006.
8. FUNDACIÓN LUIS PIEDRABUENA, EM-Detalles; accesible en worldwide web at <http://www.iespana.es/em/detalles/detalles.html>, revisado en Agosto del 2005.
9. FUNDASES, EM-Microorganismos Eficientes; accesible en worldwide web at <http://www.fundases.org/p/em01.html>, revisado en Agosto del 2005.
10. GARCIA JOSÉ, Artículo “Los Microorganismos Eficientes en la Agricultura”, Revista El Agro Edición 95, Editorial UMINASA S.A., Guayaquil, Ecuador, 2004.
11. GRANT W.D. Y LONG P.E., Microbiología ambiental, Capítulo 1º, Ed. ACRIBIA.
12. 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.

Junio 2007. Págs. 38-43

13. KUSAKA HIROYUKI Y ORTEGA EFRÉN, Artículo "Microorganismo Autóctono y la Aplicación a Bokashi", Revista El Agro Edición 116, Editorial UMINASA S.A., Guayaquil, Ecuador, 2006.
14. MILGRAM JOSÉ, Manejo de desechos sólidos; Municipio de San José, Costa Rica; accesible en worldwide web at http://www.sanjoosemetropolitano.org/ModDocumentacion/Documentos/GuiaSEAM/ELR_GS_ESP_Desechos.htm, revisado en Noviembre del 2006.
15. PEÑA E. Y CARRIÓN M., Manual para la producción de abonos orgánicos en la agricultura urbana, Edición INIFAT, 2002.
16. PORTA J.; LÓPEZ-ACEVEDO M. Y ROQUERO C., Edafología para la agricultura y el medio ambiente, Ed. Mundi-Prensa, Madrid, 1994.
17. PUIGDOMENECH GERMAN, Taxonomía Bacteriana; accesible en worldwide web at <http://www.monografias.com/trabajos14/taxonomia-bacteriana/taxonomia-bacteriana.shtml>, revisado en Agosto del 2005.

18. RESTREPO JAIRO, Elaboración de Abonos Orgánicos Fermentados y Biofertilizantes Foliares, IICA, 2001.
19. SUQUILANDA, V. MANUEL, Agricultura Orgánica, alternativa tecnológica del futuro, UPS, Fundagro, Quito, Ecuador, 1996.
20. TCHOBANOGLOUS, G.; THEISEN, H.; VIGIL, S. Gestión Integral de Residuos Sólidos. Mc Graw Hill/Interamericana de España. S.A. España. 1994.
21. WASSENAAR, T., *“Las Bacterias: Más que Patógenos”* , 2002; accesible en worldwide web at www.actionbioscience.org, revisado en Agosto del 2007
22. Artículo *“Los Microorganismos Eficientes (E.M.) en la Producción Sostenible”*, Revista El Agro Edición 96, Editorial UMINASA S.A., Guayaquil, Ecuador, 2004.
23. Artículo *“El Compostaje”*; accesible en worldwide web at <http://www.infoagro.com/abonos/compostaje.asp>, revisado en Agosto del 2005.

24. Artículo "*Día Mundial del Medio Ambiente*"; accesible en worldwide web at

<http://www.colombia.com/tecnologia/autonoticias/salud/2007/06/05/De-talleNoticia572.asp>, revisado en Junio del 2007

25. Artículo "Bacterias"; accesible en worldwide web at

<http://es.wikipedia.org/wiki/Bacteria>, revisado en Agosto del 2007