



UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE MÉXICO.

FACULTAD DE ESTUDIOS SUPERIORES ZARAGOZA

Efecto de un biopreparado de manzanilla
(*Matricaria chamomilla*) sobre la calidad
nutrimental y microbiológica de la composta

T E S I S

QUE PARA OBTENER EL TÍTULO DE:

B I Ó L O G A

P R E S E N T A:

MARTÍNEZ CORTÉS ZULEIMA ARISAÍ

DIRECTORA DE TESIS: BIÓL. LETICIA LÓPEZ VICENTE

AMBIENTALISMO

LABORATORIO DE CONTAMINACIÓN Y RESTAURACIÓN DE
SUELOS.



MÉXICO, D.F.

AGOSTO 2014



Universidad Nacional
Autónoma de México



UNAM – Dirección General de Bibliotecas
Tesis Digitales
Restricciones de uso

DERECHOS RESERVADOS ©
PROHIBIDA SU REPRODUCCIÓN TOTAL O PARCIAL

Todo el material contenido en esta tesis esta protegido por la Ley Federal del Derecho de Autor (LFDA) de los Estados Unidos Mexicanos (México).

El uso de imágenes, fragmentos de videos, y demás material que sea objeto de protección de los derechos de autor, será exclusivamente para fines educativos e informativos y deberá citar la fuente donde la obtuvo mencionando el autor o autores. Cualquier uso distinto como el lucro, reproducción, edición o modificación, será perseguido y sancionado por el respectivo titular de los Derechos de Autor.

DEDICATORIA

Dedico este trabajo de tesis a los grandes amores de mi vida:

A Dios, por qué a pesar de los caídas siempre ha estado a mi lado para levantarme y hoy puedo decir con júbilo: “Eben - ezer; hasta aquí nos ayudó Jehová”, y sin duda lo seguirá haciendo.

A mis padres, Noemí Cortés Rodríguez, y Noé Martínez Palmas, que todo el tiempo me han dado grandes ejemplos de responsabilidad, fortaleza y superación. Nunca dejaron de confiar en mí, y aún cuando tardé tanto, al fin puedo regresarles un poco de todo lo que me han dado, con el orgullo de haber terminado este trabajo y por fin se la Bióloga que tanto esperaron. Gracias por todos los desvelos, y preocupaciones que se ganaron por mi culpa, por todo el apoyo moral y económico que recibí de ustedes. Gracias por brindarme su amor y cariño que serán por siempre mi motivo para seguir esforzándome y superándome. Espero que se sientan orgullosos de mí.

A Alfredo Garduño Ruíz, que llegó al final de este camino para darme el empujón que necesitaba, para llenar de regocijo mis días y ser mi apoyo constante. Gracias por regalarme cada día una sonrisa y un motivo para alegrarme, por aguantar mi mal genio y apoyarme en todos mis proyectos. Gracias por ser el compañero de mi vida.

AGRADECIMIENTOS:

Agradezco a la Bióloga Leticia López Vicente por aceptarme como su tesis, por mostrarme lo importante de cuidar el ambiente, utilizar todos los recursos al máximo y por todo el apoyo que me brindó. A cada uno de mis sinodales que participaron en la revisión y mejoramiento de este trabajo: a la Dra. Ma. Socorro Orozco Almanza, a la Dra. Esther M. García Amador, al M. en C. Ramiro Ríos Gómez y al Biol. Juan Romero Arredondo.

A cada uno de los profesores de esta facultad que intervino en mi formación profesional, en el mejoramiento de mi carácter y de mi vida. Específicamente al Profesor Francisco Silva, porque con él aprendí la importancia de estar presente en todas las clases, ya que una falta puede ser la causa de reprobar el semestre. Al Profesor Carlos Castillejos la frase de cada día que llegó a ser tan oportuna en varias ocasiones. Al Biol. José Luis Guzmán su buen humor y cada momento de plática que se tomó para escucharme y aconsejarme a lo largo de mi carrera. Le agradezco infinitamente que siempre estuviera dispuesto a explicarme cosas que no eran su obligación. A la Dra. Ma. Elena Ayala Escobar por su exigencia que me orillaba a esforzarme por ser mejor alumna cada día. Al Biol. Roberto Cristóbal por mostrarme la importancia de hacer todas las tareas, porque gracias a eso no falté con ninguna tarea en adelante. A la M. en C. Judith Villavicencio por ser tan amable conmigo, siempre tener un buen ánimo para dar clases y un buen saludó. Al Biólogo Juan Romero Arredondo por ayudarme a corregir varias deficiencias en mi formación y enseñarme lo bello de la propagación vegetal. Al Dr. Guillermo Blancas todo lo que hizo por mí: todos los libros que me prestó, las horas de pláticas personales y profesionales, cada uno de los momentos que le robé para explicarme cosas que no entendía, su gran apoyo para la realización de esta tesis hasta el último momento y cada palabra de aliento para no darme por vencida y terminar este ciclo de mi vida. A la Dra. Socorro Orozco por llevarme a campo y enseñarme lo importante de cuidar el suelo y ayudarlo a recuperarse. A la M. en C. Elvia García por aclararme que México es “megadiverso” y aprender así a valorarlo. A la Dra. Patricia Rivero por tenerme en tan buena estima y considerarme una buena alumna. Por orientarme y ayudarme a terminar el trabajo que sirvió para mi liberación de servicio social, porque sin su ayuda tal vez seguiría con

ese pendiente. Al M. en C. y actual jefe de carrera Armando Cervantes, por recibirme en su laboratorio y confiar en mí. Gracias por su apoyo inagotable, por cada palabra de ánimo, por la ayuda financiera que recibí con su apoyo y que por fin le voy a pagar a la UNAM, por ayudarme a enfrentar uno de los peores momentos de mi vida. Gracias por recomendarme al Psicólogo Vicente Gattica a quien también agradezco la ayuda y terapias que me dio. Nunca podría pagarles a estas últimas tres personas todo lo que hicieron por mí y la ayuda que recibí de su parte.

También agradezco a aquellas personas que cursaron conmigo la carrera y lograron hacer que mi estancia en esta Facultad fuera más agradable: A Carmen, Nancy, Guadalupe, Norma, Viridiana, Sara, Geovani, Daniel, Jair, Karla.

Por su puesto no pueden faltar los amigos de toda la vida... los que siempre han estado para mí y me han apoyado tanto: Nay, Gaby, Iván, Lety, Aidé, Ale, Brenduchis. Gracias por todos los consejos y excelentes momentos que hemos pasado juntos hasta ahora.

Y especialmente a mi amiguísima del alma: Isabel. Gracias por ser mi amiga, confidente, cómplice, paño de lágrimas, etc., por cada uno de los consejos, por escucharme, por estar para mí cada momento que necesité, por compartir alegrías y tristezas, por estar en las buenas, en las malas y en las peores, por ser la mejor amiga que he tenido y empujarme, cada vez que había oportunidad, a terminar este proyecto inconcluso. Gracias por todo.

A mi familia: a los maravillosos padres que Dios me dio, a mis hermanos Joel y Víctor por su apoyo y alegría constante, a mis tíos y mis primos que en su momento tuvieron palabras de ánimo para mí. Y finalmente, a mi nueva familia: Garduño Ruíz, que me aceptaron muy bien desde que llegué, a mis cuñados, cuñadas y sus familias por ser tan alegres y ofrecerme su apoyo siempre que lo necesito.

ÍNDICE

RESUMEN.....	1
1. INTRODUCCIÓN.....	2
2. MARCO TEÓRICO	4
2.1 Basura y contaminación en la actualidad.....	4
2.2 Residuos inorgánicos, orgánicos y su tratamiento	7
2.3 Composta.....	13
2.3.1 Experiencia en México	13
2.3.2 Generalidades.....	15
2.3.3 Materia prima	17
2.3.4 El ciclo de crecimiento y descomposición	18
2.3.5 Tipos de composta	20
2.3.6 Técnicas o sistemas de producción de composta	21
2.3.7 Proceso para realizar composta en pila	23
2.3.8 Partes de una pila de composta	25
2.3.9 Etapas de la composta.....	25
2.3.10 Composta madura.....	29
2.3.11 Factores físicos a controlar en el compostaje.....	30
2.3.12 Efectos y beneficios: suelo, plantas y cultivos.....	36
2.4 Bioestimulantes	40
2.4.1 Generalidades.....	40
2.4.2 Tipos	40
2.4.3 Efectos.....	41
2.5 Manzanilla	43
2.5.1 Nombres	43
2.5.2 Categorías taxonómicas superiores.....	43
2.5.3 Origen y distribución geográfica.....	44
2.5.4 Descripción	44
2.5.5 Hábitat y distribución.....	45
2.5.6 Principios activos	46
2.5.7 Propiedades y efectos.....	47
3. ANTECEDENTES	48
4. PROBLEMÁTICA	49
5. JUSTIFICACIÓN	50
6. HIPÓTESIS.....	51
7. OBJETIVO GENERAL.....	51
7.1 Objetivos Particulares	51

8. ZONA DE ESTUDIO	52
9. MÉTODO	53
10. RESULTADOS Y DISCUSIÓN	64
11. SUGERENCIAS	79
12. ÍNDICE COSTO / BENEFICIO	80
13. CONCLUSIONES.....	80
14. LITERATURA CITADA	82
15. ANEXO	92

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1. Esquema de manejo de los residuos sólidos.	9
Figura 2. El proceso de compostación	19
Figura 3. Las fases de compostaje	28
Figura 4. Humedad/porosidad óptima y en exceso de la composta	35
Figura 5. Morfología de <i>Matricaria chamomilla</i>	45
Figura 6. Área de estudio	52
a) Campo II Facultad de Estudios Superiores Zaragoza	
b) Área de composteo del Vivero Chimalxochipan	
Figura 7. Residuos orgánicos para el proceso de composteo	53
a) Recolecta de residuos en la central de abasto;	
b) Transporte de residuos al área de composteo;	
c) Acopio de residuos.	
Figura 8. Preparación de las pilas de composta	55
a) Fragmentación de la materia orgánica;	
b) Pesaje de la MO;	
c) <i>Matricaria chamomilla</i> antes del biopreparado;	
d) Preparación del terreno para colocar las pilas de composta.	
Figura 9. Toma de temperatura a la composta.....	55
Figura 10. Pilas de composta recién removidas para aireación.....	56
Figura 11. Porcentaje de humedad por método empírico	57
Figura 12. Refinamiento por cribado.....	57
Figura 13. Secado de las muestras.....	58
Figura 14. Prueba de nitrógeno.....	62
Figura 15. Densidad aparente.....	68
Figura 16. Primer porcentaje de humedad gravimétrica.....	69
Figura 17. Segundo porcentaje de humedad gravimétrica.....	70

Figura 18. Porcentaje de materia orgánica	72
Figura 19. Niveles de conductividad eléctrica	73
Figura 20. Niveles de pH	74

ÍNDICE DE CUADROS

Cuadro 1. Materias primas para el proceso de composteo	17
Cuadro 2. Microorganismos en el composteo	26
Cuadro 3. Porcentaje de rendimiento en sistemas testigo y con biopreparado	66
Cuadro 4. Resumen de resultados en composta testigo y con biopreparado	66
Cuadro 5. Promedio del valor de la densidad aparente y su desviación estándar en sistemas testigo y con biopreparado	67
Cuadro 6. Contenido de humedad (%) en sistemas testigo y con biopreparado en dos fechas que se realizó la prueba gravimétrica	68
Cuadro 7. Promedio del valor de materia orgánica y su desviación estándar en sistemas testigo y con biopreparado.....	71
Cuadro 8. Promedio del valor de la conductividad eléctrica y su desviación estándar en sistemas testigo y con biopreparado	72
Cuadro 9. Promedio del valor del pH y su desviación estándar en sistemas testigo con biopreparado	74
Cuadro 10. Valores promedio de nitrógeno, fósforo y potasio en composta con biopreparado (% en peso seco)	75
Cuadro 11. Límites máximos permisibles para patógenos y parásitos en lodos y biosólidos.....	78
Cuadro 12. Concentración de CO₂ (µg/g) en los tratamientos de composta	78

RESUMEN

Una de las soluciones al manejo de los residuos orgánicos es el proceso de composteo. La composta es un producto que tiene varios usos, dentro de los cuales destacan: mejorador del suelo; fuente de nutrimentos y microorganismos edáficos para un mejor desarrollo de las plantas; fertilizante orgánico para producción de alimentos en horticultura; recuperación de suelos, propagación de plantas, biorremediador, etc. Por lo cual el objetivo de este trabajo fue evaluar el efecto del biopreparado de *Matricaria chamomilla* como un bioactivador de los microorganismos de la composta y con ello, evaluar el tiempo de degradación y los parámetros físicos y químicos de la composta con el biopreparado. Para ello se evaluaron dos tratamientos, de los cuales uno fungió como testigo y el otro se utilizó para evaluar el biopreparado de manzanilla, con la finalidad de aumentar la calidad de la composta y disminuir el tiempo en el proceso de degradación de los residuos. Los resultados mostraron una reducción del tiempo del proceso de 15 días, finalizando el testigo en 76 días, y en 61 días el sistema con biopreparado. El testigo presentó los siguientes resultados: 0.64 g/cm³ de densidad aparente; la materia orgánica fue de 76.66%, una conductividad eléctrica de 8.62 s/m y un pH de 8.62. El tratamiento con biopreparado obtuvo los siguientes datos: 0.7 g/cm³ de densidad aparente; la materia orgánica presentó un porcentaje de 78.25%, una conductividad eléctrica de 2.22 s/m y el pH de 8.57. Para la composición química se tuvieron los siguientes resultados: el nitrógeno fue de 0.46%; el fósforo de 4.03% y el potasio de 5.22% para el testigo y 0.49% de nitrógeno; fósforo de 4.25% y potasio de 5.43% para la composta con biopreparado, en donde también se determinaron 240 NMP/g de coliformes fecales y totales, los cuales se encuentran por debajo del límite máximo para considerarlos nocivos.

En conclusión la composta con biopreparado de manzanilla reduce el tiempo de degradación de los residuos en 15 días y proporciona condiciones adecuadas para la utilización en cultivos.

I. INTRODUCCION

En México, para el 2001, se estimaba una generación total de 31'489,000 toneladas de residuos sólidos municipales (Reza *et al.*, 2006). En el Distrito Federal se generaba casi la octava parte de los residuos totales generados en la República Mexicana (510 ton/d), esto representa graves consecuencias para la salud pública (Jiménez, 2001). Una correcta separación de residuos, reduce significativamente los desechos que se envían a disposición. Se separa la fracción inorgánica o "no biodegradable" –plásticos, vidrios, metales– más la fracción patogénica –pañales desechables, jeringas, medicamentos caducos, etc.– y algunos residuos domésticos peligrosos –baterías, pilas, restos de esmaltes, pinturas, etc.–, quedando al final de esto sólo material orgánico o "biodegradable" (Jiménez, 2001) así, la cantidad que se tendría al final sería una porción mínima de las cantidades actuales, y los residuos se comprimirían prácticamente a solo residuos orgánicos, los cuales pueden procesarse mediante composteo, proceso mediante el cual se degrada la materia orgánica, se estimula la actividad microbiana y se aumentan los índices de mineralización, convirtiendo rápidamente el sustrato en sustancias parecidas al humus (Atiyeh *et al.*, 2001)

Al respecto, Canellas y Facanha (2004), mencionan que el uso de la composta favorece las propiedades físicas, químicas y biológicas del suelo, y aumenta su fertilidad porque incrementa la disponibilidad de los nutrientes y mejora la estructura y la capacidad de retención de agua. También mejora la germinación de semillas, el crecimiento y desarrollo de plántulas, la disminución en el tiempo de floración y fructificación, el aumento en el tamaño de los frutos, una menor incidencia de enfermedades de los cultivos, una actividad de micorrización favorecida y la disminución casi total de la población parasitaria de nematodos (García y González, 2005).

Aún no se sabe con exactitud cuál es la razón o el mecanismo por el cual las compostas producen todos estos efectos benéficos, similares a los bioestimulantes, en el desarrollo de los cultivos.

De manera general, se ha sugerido que durante el composteo se influye en la dinámica poblacional de los microorganismos generadores de la composta, lo que promueve la presencia de compuestos similares a los bioestimulantes como, por ejemplo, auxinas y giberelinas. La palabra bioestimulante sugiere “estimulación del crecimiento”, pero estas sustancias hacen mucho más que eso (García y González, 2005).

Los biopreparados son sustancias y mezclas de origen vegetal, animal o mineral presentes en la naturaleza que tienen propiedades nutritivas para las plantas o repelentes y atrayentes de insectos para la prevención y control de plagas y/o enfermedades. También ayudan a mejorar las condiciones físicas, químicas y biológicas y como fertilizantes de aplicación foliar y edáfica (Terrile y Price, 2010)

Dentro de las plantas más utilizadas en diferentes ámbitos, como la medicina y/o la agricultura, por su amplia variedad de componentes y los efectos que proporciona, está *Matricaria chamomilla*, conocida habitualmente como manzanilla común. Según las características y propiedades que posee, esta especie podría ser considerada como una planta bioestimulante.

La manzanilla es utilizada en forma de infusión para proteger las semillas y defender, en general, a las plantas. También repele insectos, actúa como fungicida y el macerado actúa como incentivador del crecimiento de las plantas (Cuchman *et al.*, 1995).

Es por lo anterior, que en el presente estudio se prueba la acción de un estimulante en el proceso de composteo, destacando sus efectos en el producto final obtenido.

2. MARCO TEÓRICO

2.1 Basura y contaminación en la actualidad

El sobrecrecimiento poblacional ha ido en aumento a un ritmo acelerado en las últimas décadas. Aunado a este problema social, se presenta otra dificultad que es necesario amortiguar a la brevedad posible, la generación de residuos, que depende de los hábitos que tenga cada persona. El inconveniente real radica en que los residuos se convierten en basura, y esto conlleva a la proliferación de insectos, roedores y microorganismos patógenos. Y si a eso se le agrega un mal sistema de gestión de basura, el resultado es un deterioro y depreciación del entorno debido a la contaminación del aire, del agua y del suelo (Mora, 2004).

Jiménez (2001) enumera como principales causas de producción de desechos sólidos las siguientes:

- 1) Ignorancia: Se producen desechos constantemente, porque no todos saben los daños y problemas que se ocasionan al hacerlo y porque se desconocen los efectos nocivos que el desecho ocasiona a los individuos y al medio ambiente.
- 2) Hábito: Producción y consumo, son dos hábitos característicos de los seres humanos. Se genera un gran volumen de residuos, debido a la gran cantidad de productos sofisticados existentes en el mercado, cuyos envases o empaques terminan como materiales de desecho.
- 3) Irresponsabilidad: Generalmente se desarrollan conductas que van en contra de reglamentaciones, leyes, instituciones y disposiciones, sin saber que al hacerlo, actuamos en contra de nosotros mismos.
- 4) Pereza. La mayoría de las personas está acostumbrada a que otros hagan lo que a uno mismo le corresponde llevar a cabo.

Llamamos basura a la serie de desechos que generamos cada día en nuestro hogar, escuela u oficina, que están revueltos en un solo contenedor o recipiente y como consecuencia, pierden la propiedad de volverse a usar (Mora, 2004). Anteriormente los residuos iban a parar a los tiraderos a cielo abierto, lo cual generaba una gran cantidad de contaminación por la ineficiencia en el tratamiento de los mismos.

México, al igual que muchos países, enfrenta grandes retos en el manejo integral de sus residuos sólidos municipales (RSM) (Mora, 2004). Debido al elevado índice de crecimiento demográfico e industrial del país, las costumbres de la población y la tendencia a abandonar las zonas rurales para concentrarse en los centros urbanos.

Lo anterior ha modificado de manera sustancial la cantidad y composición de los RSM. Por lo que la generación aumentó de 300 g por habitante por día en la década de los cincuentas, a más de 850 g en promedio en 1998; asimismo, la población se incrementó en el mismo periodo de 30 millones a más de 98 millones, contribuyendo a esa fecha a una generación nacional estimada de 85,000 ton/día de residuos sólidos municipales, de las cuales el 52% era materia orgánica (Buenrostro *et al.*, 2000). Respecto a esto, SEMARNAT (2009) señala que la generación per cápita diaria creció de 850 a 970 gramos en 2008. Las entidades que generaron mayor volumen de residuos sólidos urbanos (RSU) fueron: Estado de México (16.4% del total nacional para ese año), Distrito Federal (12.6%) y Jalisco (7.2%), lo cual representa un grave problema para la salud pública, contaminación de agua, suelo, aire, y consumo de energía.

Paralelamente al crecimiento en la generación, la composición de los residuos también ha cambiado: mientras que en la década de los años cincuenta el porcentaje de residuos orgánicos oscilaba entre 65 y 70%, para 2008 se había reducido al 52% (SEMARNAT, 2009)

Existen varios casos de daños graves provocados por el manejo deficiente de residuos sólidos municipales (RSM), entendiendo manejo como las diferentes fases del ciclo de vida de los residuos desde que se generan, almacenan, transportan, tratan y disponen en algún sitio, por ser causantes directos de contaminación del suelo, aire o agua.

Históricamente, el primer problema que plantean los residuos ha sido el de su eliminación, no el de su reciclaje, recuperación y reutilización, como sería lógico pensar si razonáramos desde el punto de vista ecológico. Hasta hoy, la solución que la sociedad da al problema de la basura es bastante primitiva: apartarlos de su vista, arrojándolos o enterrarlos para ocultar el problema (Mora, 2004).

Cuando no se toman medidas para aminorar los problemas ambientales, generalmente derivan otros mas, tal es el caso de la contaminación del suelo, la cual recibe poca atención. El daño causado a los suelos depende, tanto de la cantidad, como de la naturaleza física y química del contaminante. Una fuente de contaminantes la constituyen los sitios de almacenamiento, debido a que no todos tienen un buen manejo de sus residuos (Mora, 2004). Cada sitio, o centro de generación de residuos debe desarrollar su propia estrategia para la minimización y el manejo de los mismos.

Los contaminantes del suelo superficial son esencialmente residuos sólidos, que varían mucho en su composición y características, dependiendo de su origen, éste puede ser: doméstico, industrial, hospitalario o de laboratorios, comercios, talleres (Jiménez, 2001).

Jiménez (2001) y Reinoso (2011) sugieren que una alternativa para aminorar dicho problema sería realizar un Plan de Gestión Integral de Residuos Sólidos, en el cual se incluya un apartado para el aprovechamiento óptimo de los recursos naturales y mejoramiento y recuperación de las condiciones ambientales del territorio, así mismo, divulgación de la información pertinente a la población, implantación de planes, monitoreo y evaluación de resultados y la redefinición del plan en caso de ser necesario.

2.2 Residuos inorgánicos, orgánicos y su tratamiento

Sztern y Pravia (1999) mencionan que la clasificación de los residuos por su naturaleza química permite establecer dos categorías: residuos *inorgánicos o abiógenos* y *residuos orgánicos o biógenos*.

Los residuos inorgánicos incluyen todos aquellos residuos de origen mineral y sustancias o compuestos sintetizados por el hombre. Dentro de esta categoría se incluyen habitualmente metales, plásticos y vidrios, por ejemplo. Desechos provenientes de agrotóxicos, agroquímicos, fitosanitarios y agroveterinarios, son en su mayoría de origen sintético y con un gran efecto residual.

Los residuos orgánicos se refieren a todos aquellos que tienen su origen en los seres vivos, animales o vegetales. Incluye una gran diversidad de residuos que se originan naturalmente durante el “ciclo vital”, como consecuencia de las funciones fisiológicas de mantenimiento y perpetuación o son producto de la explotación por el hombre de los recursos bióticos.

Los residuos sólidos se pueden clasificar también, según Mora (2004) y Jimenez (2001) como degradables y no degradables. Los degradables son aquellos que pueden descomponerse en unidades química y físicamente menores. En términos ecológicos, la degradabilidad ocurre cuando la sustancia desechada se integra al medio en que se encuentre, de tal forma que deja de constituir un contaminante (Mora, 2004). La degradabilidad puede ocurrir bajo la influencia de factores físicos (aire, lluvia, sol) y biológicos (acción microbiana) combinados. La producción de composta es una alternativa para el manejo y disposición de los residuos sólidos orgánicos. La composta como acondicionador y mejorador de suelos se emplea en la agricultura y jardinería a modo de fertilizante (García y González, 2005).

Los no degradables pueden ser tóxicos, radiactivos o inertes. La toxicidad está en función de la concentración en el ambiente de una sustancia determinada

(Jiménez, 2001). Los sólidos radioactivos tienen gran importancia para el hombre, porque no ha sido capaz de eliminarlos o controlarlos. Los sólidos inertes son aquellos que permanecen prácticamente sin cambio en el transcurso de décadas, tales como los plásticos.

Debe prestarse mayor atención a los miles de productos sintéticos que anualmente se manejan en los mercados internacionales, ya que sólo una mínima parte de estos se conocen los efectos últimos que pueden producir sobre el ambiente (Jimenez, 2001).

Los residuos sólidos cuya disposición no está controlada, representan un peligro potencial para los ecosistemas. Por ejemplo, cuando la basura doméstica se tira al aire libre, se crean sitios para la proliferación de insectos y roedores, mismos que son propagadores de enfermedades. Sin embargo, ningún sistema actual de recolección y confinamiento de residuos puede considerarse totalmente seguro porque dejan escapar lixiviado que va al manto freático y contamina las reservas de agua (Miller, 1993).

Una vez originado el desecho, no se puede desaparecer, esconder ni deshacer. La única solución real a este problema es no producirlo (Medellín, 2003). Una solución para la no producción de desecho consta de los siguientes pasos:

- 1) Separación y clasificación de los desperdicios en el hogar.
- 2) Desplazamiento de los desperdicios ya clasificados a los centros de acopio y recolección.
- 3) Traspaso de los mismos a las industrias que los compren para ser transformados nuevamente en productos útiles

Al reutilizar los desperdicios para la elaboración de materia prima, se ahorran recursos naturales, energía y, lo más importante, se dejan de generar desechos, por lo que ya no tendremos que buscar en dónde ponerlos.

Las personas comprometidas con la preservación del medio ambiente, tienen claro ahora que, para disminuir de manera eficaz y segura los niveles actuales de contaminación del suelo por deposición de residuos sólidos, es necesario un cambio de mentalidad no sólo a nivel comunidad, sino también a nivel empresarial y gubernamental (CEAMA, 2006), que ponga en práctica el esquema planteado en la figura 1.

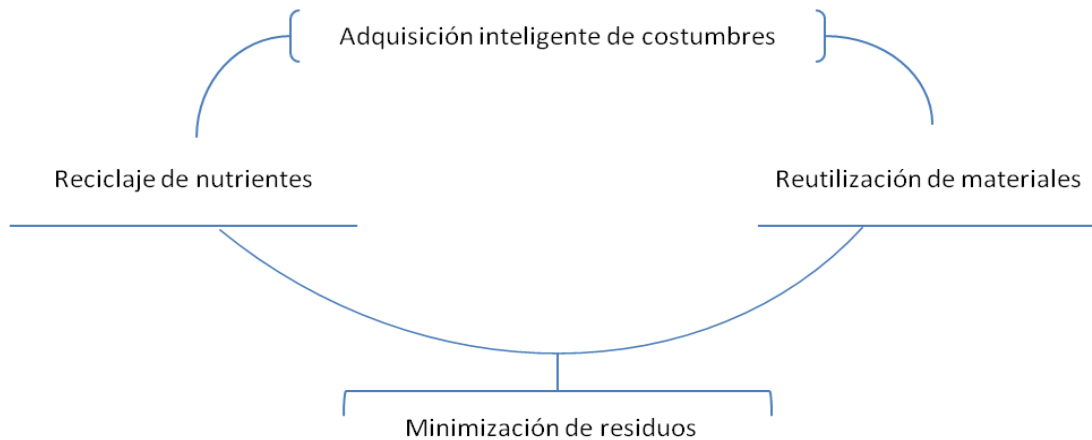


Figura 1. Esquema de manejo de los residuos sólidos (Jiménez, 2001)

Mora (2004) sugiere lo siguiente para disminuir la generación de residuos sólidos:

- a) Reducir la cantidad de desecho que generamos comprando y usando inteligentemente los productos de consumo.
- b) Reutilizar los productos de desecho cada vez que sea posible,
- c) Reciclar los desechos, lo cual significa volver a usar, como materia prima, elementos utilizados y descartados anteriormente, para producir otros nuevos. Esta tarea permite una sensible disminución de los residuos, a la vez que ahorra enormes cantidades de agua y energía. Se realiza mediante los siguientes métodos:

- Separación. Clasificación, en las casas habitación, de los diversos componentes de los residuos: papel y cartón, plásticos, vidrio, metal, materia orgánica, etc.
- Recolección. Los centros de acopio y recolección de materiales son los encargados de almacenar y transportar los desperdicios a los centros de reciclamiento.
- Procesamiento. Implica la transformación de los materiales seleccionados.

Si se realizaran estos sencillos pasos, utilizando o reciclando al máximo los residuos inorgánicos y aprovecharíamos la totalidad de los residuos orgánicos, sólo se produciría 17% de la basura que actualmente se genera (Mora, 2004).

Es importante destacar el problema de residuos sólidos, como un problema común, el cual necesita una alta participación de toda la sociedad, en todos los escenarios de la comunidad; de lo contrario, se continuará con el sistemático proceso actual, que consiste en un mínimo esfuerzo, por parte de los ciudadanos y otro esfuerzo, también mínimo, por parte de las administraciones y las entidades que actualmente realizan estas labores. Lo ideal es que no se produzca basura. Para ello se necesita reducir (minimizar) el consumo de productos, reusar los residuos generados y reciclar aquellos materiales desechados para su venta (Mora, 2004).

Respecto a las alternativas de tratamiento de los residuos orgánicos, Bono y Tomas (2006), Buenrostro *et al* (2000), CEAMA (2006), Cruz (2010) y, Sztern y Pravia (1999), proponen la reutilización y/o reconversión de los mismos por alguna de las siguientes formas:

- a) Los residuos *como fuente de alimento animal*, debido a que la actividad agroindustrial genera una gran cantidad y diversidad de residuos susceptibles de ser transformados en forrajes y piensos para animales; y

algunos residuos de la industria de frutas y legumbres, cerealera, láctea y azucarera pueden ser utilizados en forma directa como alimento animal.

- b) Los residuos *como fuente de energía*, en donde los restos de origen biógeno presentan una composición que se caracteriza por el predominio de macromoléculas orgánicas con un alto potencial energético almacenado como energía química de enlace. Artificialmente se degradan estas macromoléculas rompiendo estos enlaces, para hacer posible liberar la energía química de enlace. A los recursos de origen biógeno como fuente de energía se le denomina Biomasa, definiendo a esta con fines energéticos como la masa de material biológico que es soporte de dicha energía. Para realizar esto es necesario contar con los procedimientos técnicos que permitan la transformación de la energía contenida en la biomasa en formas de energía compatible con los equipamientos existentes, diseñados para el consumo de combustibles derivados de hidrocarburos. La extracción de la energía de enlace químico contenida en la biomasa se puede realizar por diversos procedimientos técnicos. Sztern y Pravia (1999), clasifican estos procedimientos en dos grandes grupos: procedimientos por vía seca y por vía húmeda.

* *Procedimientos por vía seca*: Procesos físico-químicos basados en la transformación de los materiales a altas temperaturas: combustión directa, carbonización, pirólisis, gasificación.

* *Procedimientos por vía húmeda*: Procesos bioquímicos en el medio acuoso mediados por microorganismos. En este grupo se destacan la biodigestión anaerobia y la fermentación alcohólica.

- c) Los residuos orgánicos *como materia prima para la producción de abonos orgánicos*, en donde se debe entender genéricamente por *abonos* todas aquellas sustancias o compuestos de origen abiógeno o

biógeno que presentan alguna propiedad positiva para los suelos y cultivos.

Por abonos minerales se entienden sustancias o compuestos químicos que pueden pertenecer al campo de la química inorgánica u orgánica. Son inorgánicos todos los abonos potásicos y fosfatados; entre los nitrogenados, algunos, como la urea y el amoníaco, pertenecen a la química orgánica.

Por contraposición, los abonos orgánicos o bioabonos, son aquellas sustancias o compuestos de origen biógeno vegetal o animal que pertenecen al campo de la química orgánica, y que son en general incorporados directamente al suelo sin tratamientos previos. La aplicación de estiércoles y purines es una práctica tradicional de abonado orgánico. En esta categoría se puede incluir los abonos verdes. Si bien potencialmente, la incorporación al suelo de residuos orgánicos puede llegar a tener algún efecto beneficioso sobre la estructura y fertilidad de los suelos, no en todos los casos esto se cumple e inclusive el efecto puede ser perjudicial. Cuando se incorporan residuos orgánicos frescos o en proceso incipiente de biodegradación al suelo, el orden natural, conlleva a que se cumplan los procesos de mineralización. Es frecuente, que para que esta serie de procesos se cumplan, se produzca un alto consumo de oxígeno e inclusive si los materiales aportados no tienen una buena relación carbono/nitrógeno se agoten inicialmente las reservas de nitrógeno del suelo. En algunos casos, se terminan favoreciendo los procesos anaerobios, con la consiguiente acidificación, movilización y pérdidas de nutrientes. En resumen, los procesos de estas prácticas son incontrolables por lo que los resultados finales quedan en muchos casos librados al azar.

Parece entonces razonable, que para aprovechar el potencial que los desechos orgánicos tienen como abonos, estos deben pasar por un proceso previo antes de su integración al suelo, de forma tal que, el material que definitivamente se aporte, haya transcurrido por los procesos más enérgicos de

la mineralización, se presente desde el punto de vista de la biodegradación de la forma más estable posible, y con los macro y micro nutrientes en las formas más asimilables posibles para los productores primarios.

Unas de las técnicas que permite esta biodegradación controlada de la materia orgánica previa a su integración al suelo es el Compostaje y el producto final es conocido como Composta.

2.3 Composta

2.3.1 Experiencia en México

En México, existe una amplia y exitosa experiencia a nivel ensayos experimentales, prácticamente para todo tipo de residuos y mezclas de los mismos, principalmente en el estado de Yucatán. Mientras que en instalación y operación de plantas a escala industrial, las experiencias han sido desafortunadas en todos los casos y se han enfocado exclusivamente al composteo de residuos municipales (SEDESOL, 2001)

La implementación del composteo en México como proceso de tratamiento para la reincorporación de los residuos a los procesos naturales se introdujo desde finales de la década de los 60's y principios de la década de los 70's, como una propuesta para la reducción de residuos orgánicos. En esos años se construyeron varias plantas dedicadas al tratamiento de este problema. "Estas plantas generaron grandes expectativas; los objetivos de los promotores en esa época eran similares a los que se tienen hoy en día: recuperar materias primas para la industria de reciclaje y prolongar la vida útil de los sitios de disposición final" (Buenrostro *et al.*, 2000). Infortunadamente, cerca de una tercera parte de las plantas instaladas en México han ido cerrándose por diversas razones (técnicas, económicas, administrativas, políticas y sociales). Actualmente se tienen registradas nueve de esas experiencias negativas mencionadas, de las que ya se

puede establecer que seis han sido un fracaso rotundo (Monterrey, Zapopan, Tonalá, Oaxaca, Toluca y Distrito Federal), dos más se instalaron pero nunca han operado (Acapulco y Villahermosa) (SEDESOL, 2001). Estos fracasos pueden atribuirse básicamente a la falta de estudios de factibilidad previos y a la inadecuada ubicación de las instalaciones y selección de tecnología.

Los centros de compostaje en México son operados en su mayoría por la autoridad local. Los que muestran un mayor impacto y que han logrado mayor continuidad son aquellos donde hubo colaboración entre el gobierno local y alguna institución civil.

Algunas de las centros que continúan en operación y que logran los objetivos de reducción de residuos llevados al sitio de disposición final, así como objetivos educativos, son las de Bordo Poniente, Cuautitlán Izcalli, Atizapán de Zaragoza, Universidad Nacional Autónoma de México (UNAM), Universidad Autónoma Metropolitana (UAM), Jiutepec, Querétaro y Jalapa, entre otros.

En cuanto al tipo de residuos tratados, se observa que el más común es el tipo I (residuos verdes), aun cuando el compostaje de los residuos del tipo II (residuos de cocina) es más urgente y necesario. Esto se explica por la disponibilidad de residuos en los centros. En ninguna planta activa se han reportado problemas de acopio de materiales verdes. En cambio, ha habido ocasiones en los cuales el personal de los centros de compostaje tiene que salir a buscar residuos de ciertos componentes, como frutas y verduras, por ejemplo. La fuente principal de los residuos tratados proviene de las áreas verdes de los municipios locales. Los mercados de los municipios ocupan el segundo lugar en la estrategia de acopio de los materiales tratados.

2.3.2 Generalidades del proceso.

La práctica del compostaje deriva probablemente del tradicional cúmulo de residuos en el medio rural, que se generaba en las tareas de limpieza y mantenimiento de viviendas e instalaciones. Los desechos de las actividades de granja, agropecuarias y domiciliarias se acopiaban por un tiempo a la intemperie con el objetivo de que redujeran su tamaño para luego ser esparcidos empleándolos como abonos. En la naturaleza se produce de forma lenta pero continua el recambio cíclico de la materia y en términos generales a esta serie de procesos se le denomina mineralización. Cuando se realiza una técnica de compostaje, no es más que tratar de reproducir en forma parcial y a escala los procesos de la mineralización de la naturaleza (Sztern y Pravia, 1999)

El composteo es un proceso de fermentación aerobia en fase sólida en el que se aprovecha el fenómeno de “autocalentamiento” de las diferentes poblaciones microbianas nativas que se suceden para la biodegradación total o parcial de la materia orgánica, bajo condiciones controladas, con el objeto de obtener un producto estable denominado composta. Durante este proceso, se degrada la materia orgánica, se estimula la actividad microbiana y se aumentan los índices de mineralización, convirtiendo rápidamente el sustrato en sustancias parecidas al humus (García y González, 2005).

En términos generales, Sztern y Pravia (1999) definen el compostaje como una biotécnica donde es posible ejercer un control sobre los procesos de biodegradación de la materia orgánica, ésta es consecuencia de la actividad de los microorganismos que crecen y se reproducen en los materiales orgánicos en descomposición. La consecuencia final de estas actividades vitales es la transformación de los materiales orgánicos originales en otras formas químicas. Los productos finales de esta degradación dependerán de los tipos de metabolismo y de los grupos fisiológicos que hayan intervenido. Es por estas razones, que los controles que se puedan ejercer, siempre estarán enfocados a

favorecer el predominio de determinados metabolismos y en consecuencia a determinados grupos fisiológicos. En una pila de material en compostaje, si bien se dan procesos de fermentación en determinadas etapas y bajo ciertas condiciones, lo deseable es que prevalezcan los metabolismos respiratorios de tipo aerobio, tratando de minimizar los procesos fermentativos y las respiraciones anaerobias, ya que los productos finales de este tipo de metabolismo no son adecuados para su aplicación agronómica y conducen a la pérdida de nutrientes. Lo importante no es biodegradar, sino poder conducir esta biodegradación por rutas metabólicas, que nos permitan la obtención de un producto final lo más apropiado posible, en el menor tiempo posible. El éxito de un proceso de compostaje, dependerá entonces de aplicar los conocimientos de la microbiología, manejando la pila de compost como un medio de cultivo. En tal sentido, el compostaje, se puede definir entonces como un proceso dirigido y controlado de mineralización y pre-humificación de la materia orgánica, a través de un conjunto de técnicas que permiten el manejo de las variables del proceso; y que tienen como objetivo la obtención de un biofertilizante de características físico-químicas, biológicas y microbiológicas predeterminadas, conocido como Composta.

Esta es una alternativa que se ha desarrollado, de manera incipiente, en algunos lugares y regiones, y de manera más completa, en otras regiones de Latinoamérica y del mundo. Tal solución, se propone como una medida, altamente eficiente. Este proceso se da, principalmente, para aprovechar las fracciones orgánicas de los residuos sólidos. La composta es un nutriente para el suelo, que mejora la estructura y textura del suelo, ayuda a reducir la erosión y la absorción de agua y nutrientes, por parte de las plantas (Contreras, 2003).

2.3.3 Materia prima

Cogger et al. (1999) refieren que existen tres tipos de materias primas, algunas suplen energía, otras tienen volumen, y otras proveen una combinación de energía y volumen (cuadro 1).

Cuadro 1. Materias primas para el proceso de composteo (Cogger et al., 1999)

Materiales de energía <i>(Mucha humedad, baja porosidad, alto nivel de nitrógeno)</i>	Materiales voluminosos <i>(Poca humedad, alta porosidad, bajo nivel de nitrógeno)</i>	Materiales equilibrados <i>(Humedad baja o mediana, porosidad mediana, nivel de nitrógeno mediano)</i>
Recortes de césped	Astillas de madera y aserrín	Recortes de árboles o arbustos molidos
Estiércol de vacas, pollos o conejos	Heno de hierba	Estiércol de caballos con paja
Desperdicios de frutas y legumbres	Paja	Hojas deciduas
Recortes de plantas verdes	Tallos de maíz	Heno de plantas leguminosas

Los materiales de alta energía suplen nitrógeno y los compuestos de carbono que se necesitan para el crecimiento rápido de los microorganismos. Si no se les añade materiales voluminosos, estos materiales por lo general quedan demasiado densos y húmedos. No permiten la penetración de aire, y si se abre la pila, se percibe un olor a huevos podridos.

Los materiales voluminosos son secos y porosos y permiten la entrada del oxígeno. Debido a su bajo contenido de humedad y nutrientes, no se descomponen rápidamente.

Los materiales equilibrados suplen tanto energía como volumen. Estas materias se descomponen con facilidad, y no hay que mezclarlas con otros ingredientes. Estos materiales son útiles para asegurar la descomposición rápida.

Una mezcla de materiales voluminosos y aquellos que suplen energía asegura un equilibrio provechoso entre humedad, aire y nutrientes. Una mezcla típica que consigue la descomposición rápida consiste en una parte de material de energía por cada dos partes de material voluminoso.

Es de relativa importancia conocer que para preparar composta se pueden utilizar diferentes materiales como desperdicios domésticos, residuos de cosechas, hojarasca, hierba segada, residuos o desechos de frutas, vegetales y café, pero no es nada recomendable agregar carne debido a que atrae a perros y gatos y los residuos fecales de estos pueden contener enfermedades. Tampoco se deben mezclar malas hierbas o plantas enfermas porque la temperatura en este proceso no es suficiente para matar las semillas o los organismos que causan enfermedades en las plantas.

2.3.4 El ciclo de crecimiento y descomposición

El proceso de compostaje lleva a cabo parte del ciclo biológico de crecimiento y descomposición (Figura 2). Para crecer, las plantas capturan energía del sol, dióxido de carbono del aire, nutrientes y agua de la tierra. Después de morir, las plantas se convierten en las materias primas para el proceso de descomposición y compostación. Los microorganismos convierten el carbono de las plantas muertas en energía para su propio crecimiento, al mismo tiempo liberan dióxido de carbono al aire, como también incorporan los nutrientes de las plantas en descomposición a sus cuerpos y luego los devuelven a la tierra. Otros microorganismos y plantas utilizan el carbono y nutrientes liberados por este proceso, y el ciclo empieza de nuevo. El material que queda después del proceso de descomposición se parece a la materia orgánica que forma parte el suelo. Retiene agua y nutrientes y hace la tierra mas porosa y fácil de labrar (Cogger *et al.*, 1999)

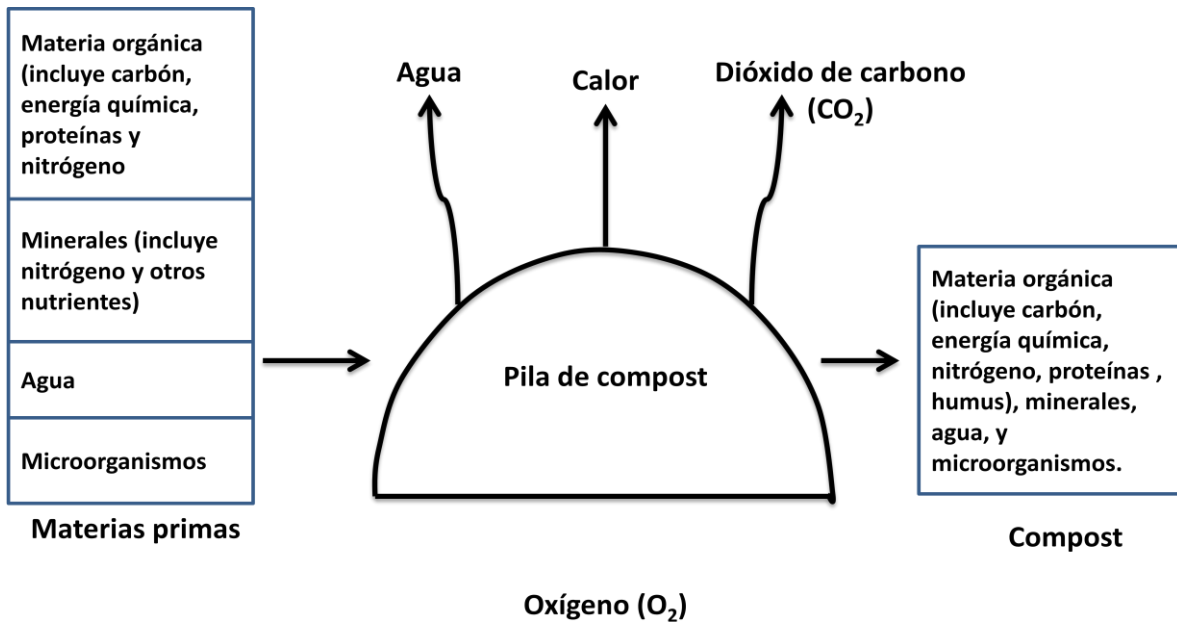
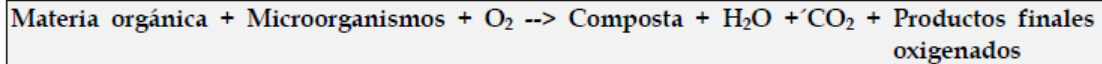


Figura 2. El proceso de compostación. La composta final tiene menos carbón, energía química, proteínas y agua que las materias primas, pero tiene más humus. Hay una reducción del 50 por ciento en el volumen de las materias primas durante el proceso de descomposición (Cogger et al., 1999)

En el proceso de composteo, la transformación de los residuos ocurre principalmente a través de la acción de microorganismos, presentándose en dos etapas: una física (desintegración) y otra química (descomposición). La descomposición de la materia orgánica puede ocurrir en presencia de oxígeno (aerobio) y en ausencia de éste (anaerobio) (Buenrostro *et al.*, 2000).

En cuanto a la digestión anaerobia, en esta variante biotecnológica, predomina la acción de los microorganismos cuyo metabolismo necesita de oxígeno libre para su subsistencia y desarrollo (SEDESOL, 2001).

En el proceso aerobio se favorece una mayor oxigenación si la masa de residuos se revuelve en forma manual o por medios mecánicos, obteniéndose como productos principales, materiales orgánicos estabilizados, bióxido de carbono y agua, conforme a la siguiente ecuación:



Las reacciones bioquímicas que se llevan a cabo durante el proceso aeróbico son exotérmicas y elevan la temperatura de la composta hasta cerca de 70°C, con lo cual se eliminan todos los agentes patógenos que puedan estar presentes en la masa inicial (SEDESOL, 2001).

2.3.5 Tipos de composta

Cogger *et al.* (1999) sugieren dos tipos de procesos para la creación de composta de acuerdo a la velocidad de la degradación de los residuos: ***El composteo lento (frío) y el composteo rápido (caliente)***; mismos que Sztern y Pravia (1999) reconocen como **anaeróbico y aeróbico**, respectivamente.

Del primer tipo mencionan que es una manera fácil y conveniente de convertir los desperdicios de jardín en un producto beneficioso para la tierra. En este tipo, no se produce bastante calor como para destruir las semillas de muchas malas hierbas, es mejor arrancarlas antes de que formen semillas si se piensa añadir al cúmulo de composta. Si las semillas se agregan al montón, debe esperarse que haya malas hierbas en el futuro.

El segundo tipo, el rápido (caliente) o aeróbico, se llevará a cabo si se crea y mantiene un equilibrio provechoso entre aire, humedad y energía para los microorganismos en descomposición. El calor destruye muchos organismos que causan enfermedades, además de semillas de malas hierbas. Se necesita más esfuerzo para cuidar una pila de composta caliente, pero produce una composta de mayor calidad (Cogger *et al.*, 1999). Este tipo se caracteriza por el predominio de los metabolismos respiratorios aerobios y por la alternancia de etapas mesotérmicas (10-40°C) con etapas termogénicas (40-75°C), y con la

participación de microorganismos mesófilos y termófilos respectivamente (Sztern y Pravia, 1999).

2.3.6 Técnicas o sistemas de producción de composta.

Existen varios sistemas de composteo, no obstante, el objetivo de todos es, además de transformar los residuos en *Composta*, conseguir las condiciones consideradas letales para patógenos, parásitos y elementos germinativos (semillas, esporas).

De acuerdo a la clasificación anterior, se tiene:

Para el composteo por medio lento o frío se maneja el sistema de ***culo o bote***, el cual ayudará a impedir la entrada de insectos y animales indeseados. Se colocan los componentes (suelo, estiércol, residuos y agua) y se tapa el bote en espera de que el sistema por si mismo realice los procesos de descomposición y maduración (Cogger *et al.*, 1999).

También se tiene la opción de enterrar los desechos de legumbres y frutas directamente en el jardín. A este sistema se le conoce como ***composteo en hoyo***, (Cogger *et al.*, 1999) y se realiza, como su nombre lo dice, cavando un hoyo en el jardín de aproximadamente 30 cm de profundidad y depositando los residuos dentro, cubriendo al final con una capa del mismo suelo que se extrajo de él (SAGARPA, 2012)

Para este tipo de composteo en frío, es difícil conseguir en su totalidad las condiciones letales para organismos patógenos ya que las temperaturas durante el proceso no llegan a las requeridas para acabar con ellos.

Para asegurar la muerte de patógenos, parásitos y elementos germinativos se pueden realizar las llamadas **pilas ó camellones** (Cogger *et al.*, 1999).

Los métodos más usados para este tipo de proceso, se basan en la acumulación de los residuos en pilas o hileras colocadas directamente en el terreno natural o sobre superficies pavimentadas o de concreto, cuyas características dependerán de las condiciones locales tales como son la disponibilidad de equipos para mover los residuos, mano de obra, y condiciones climáticas (temperatura, lluvia, humedad, viento, etc.).

El material amontonado debe ser colocado en la forma más esponjada posible, para permitir la entrada de aire entre los intersticios. La experiencia ha demostrado que la altura más conveniente de la pila varía de 1.00 m como mínimo a 1.80 m como máximo. La altura debe ser mayor para climas fríos. Las pilas muy altas sufren compactación por el propio peso, exigiendo volteos más frecuentes para mantener la condición aeróbica de la masa orgánica; en cambio, las pilas demasiado bajas tienen el inconveniente de que pierden calor rápidamente, no alcanzando la temperatura óptima que se requiere para el desarrollo de los organismos termófilos y la destrucción de los patógenos, por lo que la descomposición de la materia orgánica puede llegar a detenerse. Para evitar una excesiva pérdida de humedad, se recomienda que las hileras de residuos tengan de 2.40 a 3.60 m de ancho en la base. En tiempo seco, la sección puede ser trapezoidal, con un talud de 30° en relación con la vertical, ángulo que permite la estabilidad física de sus taludes (SEDESOL, 2001)

Para climas lluviosos la sección transversal de la pila debe ser redondeada para permitir el escurrimiento de agua. El largo depende de la cantidad de residuos y es posible ir aumentando, diaria y progresivamente su longitud, hasta alcanzar el total que permita el terreno. El volumen de los residuos digeridos por el sistema de pila en relación con el volumen original decrece en 20 a 60% y el peso se reduce de 50 a 80% del peso original.

Generalmente la composta por este sistema se cubre con algún plástico para evitar las visitas inesperadas, como plagas o roedores. Si las plagas siguen siendo un problema, se debe cubrir con tela metálica u optar por otro método de composteo.

2.3.7 Proceso para realizar composta en pila.

Para construir una pila de composta, Cogger *et al.*, (1999) sugiere seguir los siguientes pasos:

- a) Reunir bastante materiales para construir una pila abierta con una base de 1.5 m de ancho y 90 cm de alto como medidas mínimas. Se debe usar alrededor de dos partes de material voluminoso por cada parte de material de energía.
- b) Triturar, cortar o picar los materiales gruesos para que se descompongan más rápidamente, dejando un tamaño de partícula ideal entre 2 y 5 cm.
- c) Apretar un puñado de los materiales mezclados para comprobar el contenido de agua. Si apenas se puede sacar una gota de agua, el contenido de humedad es ideal. Si la pila está demasiado seca, se debe añadir un poco de agua y en seguida realizar la misma prueba de humedad.
- d) Si al contrario, la pila está demasiado mojada, se debe añadir más material seco.
- e) Se debe agregar suelo y estiércol de ganado precompostado a la mezcla de residuos orgánicos en una relación 2:1:10. Esto con el objeto de enriquecer la fauna de microorganismos que comenzaran la descomposición de los residuos.

- f) Hacer una remoción completa de la pila de composteo con ayuda de una pala al menos una vez a la semana. De este modo el oxígeno puede penetrar hasta el centro y la descomposición se acelera. Al hacer esto también se incorporan los materiales de la parte exterior al centro caliente. Se debe añadir agua si la pila está seca y cubrir para evitar que se moje demasiado si hay ocasión de lluvia.

- g) Una vez que el volumen de la pila original se redujo a la mitad y que la temperatura haya descendido se dejará reposar la pila de cuatro a ocho semanas más para que se cure. La composta sin curar puede lastimar las plantas, especialmente si se usa en macetas o para la siembra. La curación es menos importante cuando una pequeña cantidad de composta se mezcla con la tierra de jardín. La temperatura durante la curación es de entre 25 – 45 °C.

- h) La composta estará lista cuando haya transcurrido la curación, la temperatura ya no suba cuando se revuelve la pila y el producto final se vea oscuro y quebradizo.

En caso de que la pila de composta no esté caliente se deben tomar en cuenta las siguientes sugerencias:

- Si la pila está seca, añadir agua
- Si la pila consiste principalmente de materiales voluminosos, añadir materiales de energía o fertilizante de nitrógeno.
- Si la pila está demasiado mojada, añadir más material voluminoso y cubrirla.
- Si la pila emite un olor desagradable, revolver con más frecuencia o añadir más material voluminoso para que entre más oxígeno.
- Si la pila es demasiado pequeña, construir una más grande para que retenga mejor el calor.

2.3.8 Partes de una pila de composta

Sztern y Pravia (1999) señalan dos regiones o zonas que son importantes distinguir en una pila o camellón:

- La *zona central o núcleo* de compostaje, que es la que está sujeta a los cambios térmicos más evidentes, y
- La corteza o zona cortical que es la zona que rodea al núcleo y cuyo espesor dependerá de la compactación y textura de los materiales utilizados.

El núcleo actúa como zona inductora sobre la corteza. No obstante, todos los procesos que se dan en el núcleo, no alcanzan la totalidad del volumen de la corteza.

2.3.9 Etapas de la composta

Durante el composteo se lleva a cabo un proceso de biodegradación de la materia orgánica en descomposición que se efectúa por la actividad de diversos microorganismos, tales como actinomicetos, bacterias y hongos, siendo las bacterias las que desempeñan el papel principal. Esta transformación se produce a distinta temperatura, gracias a la cual se lleva a cabo la sucesión de comunidades microbianas (Tang, *et al.*, 2007). A medida que evoluciona dicho proceso se presentan diversas poblaciones de microorganismos.

Palmisano y Barlaz (1996) enlistan en el cuadro dos los microorganismos más comunes que intervienen en el proceso de composteo.

Cuadro 2. Microorganismos en el composteo (Palmisano y Barlaz, 1996)

Actinomicetos	Hongos	Bacterias
<i>Actinobifida chromogena</i>	<i>Aspergillus fumigatus</i>	<i>Alcaligenes faecalis</i>
<i>Microbispora bispora</i>	<i>Humicola grisea</i>	<i>Bacillus brevis</i>
<i>Micropolyspora faeni</i>	<i>H. insolens</i>	<i>B. circulans complex</i>
<i>Nocardia sp.</i>	<i>H. lanuginosa</i>	<i>B. coagulans</i> tipo A
<i>Pseudocardia thermophilia</i>	<i>Malbranchea pulchella</i>	<i>B. coagulans</i> tipo B
<i>Streptomyces rectus</i>	<i>Myriococcum thermophilum</i>	<i>B. licheniformis</i>
<i>S. thermofuscus</i>	<i>Paecilomyces variotti</i>	<i>B. megaterium</i>
<i>S. thermoviolaceus</i>	<i>Papulaspora thermophila</i>	<i>B. pumilus</i>
<i>S. thermovulgaris</i>	<i>Scytalidium thermophilum</i>	<i>B. sphaericus</i>
<i>S. violaceus-ruber</i>	<i>Scporotrichum thermophile</i>	<i>B. stoarchthermophilus</i>
<i>Thermoactinomyces sacchari</i>		<i>B. subtilis</i>
<i>T. vulgaris</i>		<i>Clostridium thermocellum</i>
<i>Thermomonospora curvata</i>		<i>Escherichia coli</i>
<i>T. viridis</i>		<i>Flavobacterium sp.</i>
		<i>Pseomonas sp.</i>
		<i>Serratia sp.</i>
		<i>Thermus sp.</i>

Tchobanoglous *et al.* (1994) clasifican las fases o etapas de la composta de acuerdo a las temperaturas que llega a alcanzar la materia en biodegradación en un proceso aeróbico (Figura 3), de acuerdo a estos cambios de temperatura se van dando las sucesiones de microorganismos; la clasificación es la siguiente:

- **Mesofílica.** Se le conoce también como etapa de latencia (SEDESOL, 2001). Es la etapa inicial considerada desde la formación de la pila hasta que se constan incrementos de temperatura, con respecto a la temperatura del material inicial, los cuales serán menores a los 45 °C. Esta etapa solo dura de 12 a 24 horas y es notoria solo cuando el material ingresa fresco al compostaje. Si el material tiene ya un tiempo de acopio puede pasar inadvertida. Se caracteriza por que hay valores relativamente bajos de biomasa microbiana. Actúan principalmente bacterias y hongos (*Bacillus sp.*;

Azotobacter sp. y *Pseudomonas sp.*). Se presenta una mayor capacidad de utilizar lípidos y proteínas y una mayor reducción en masa de la materia orgánica.

Palmisano y Barlaz (1996) mencionan que en el caso de las bacterias, necesitan una abundancia de nutrientes, por tanto, en esta etapa se van a encontrar bacterias mesofílicas, que se establecerán en una temperatura <45 °C, siendo la óptima a 35 °C. Para que los hongos puedan presentarse y actuar en la composta requieren una temperatura de entre 40 y 50°C y una humedad moderada <50%, por ello, es en esta etapa que comienzan a surgir. Toleran la escasez de nutrientes solubles.

- **Termofílica.** También llamada Termogénica (Sztern y Pravia, 1999). La microflora mesófila es sustituida por la termófila debido a la acción de bacilos y actinomicetos termófilos, entre los que también se establecen relaciones del tipo sintróficas. Los actinomicetos poseen una tolerancia al aumento de la temperatura y escasez de nutrientes, pero su actividad se establece mayormente en el rango de temperatura de 60 a 65°C. Las bacterias termofílicas que se presentarán en un rango de temperatura de 45 – 65 °C, siendo su temperatura óptima entre los 50 – 60°C.

Normalmente en esta etapa, se eliminan todos los mesófilos patógenos, hongos, esporas, semillas y elementos biológicos indeseables. La temperatura se encontrará entre los 40 y los 70 °C, pero es importante mencionar que por encima de 65 °C se inhibe la descomposición, es por ello que debe controlarse ese factor para evitar dicho efecto. Si la compactación y ventilación son adecuadas, se producen visibles emanaciones de vapor de agua. El CO₂ se produce en volúmenes importantes que difunden desde el núcleo a la corteza. Este gas, juega un papel fundamental en el control de larvas de insectos. La corteza y más en aquellos materiales ricos en proteínas, es una zona donde se origina la puesta de insectos. La

concentración de CO₂ alcanzada resulta letal para las larvas. Conforme el ambiente se hace totalmente anaerobio, los grupos termófilos intervinientes, entran en fase de muerte. Esta etapa no tiene un tiempo específico de duración, pueden ser días, semanas e incluso meses, dependiendo de la cantidad de materia orgánica en proceso de biodegradación, pero ya que es de gran interés para la higienización del material, es conveniente su prolongación hasta el agotamiento de nutrientes.

- Maduración o curado.** Conocida por algunos autores como Sztern y Pravia (1999) como fase mesotérmica 2, en donde con el agotamiento de los nutrientes, y la desaparición de los termófilos, comienza el descenso de la temperatura. Cuando la misma se sitúa aproximadamente a temperaturas iguales o inferiores a los 40°C se desarrollan nuevamente los microorganismos mesófilos que utilizarán como nutrientes los materiales más resistentes a la biodegradación, tales como la celulosa y lignina restante en las pilas. Su duración depende de numerosos factores. La temperatura descenderá paulatinamente hasta presentarse en valores muy cercanos a la temperatura ambiente. En estos momentos se dice que el material se presenta estable biológicamente y se da por culminado el proceso.

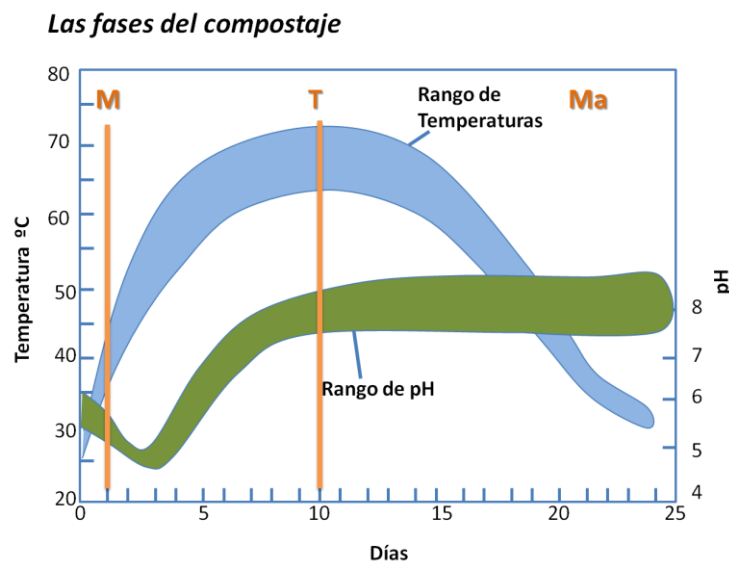


Figura 3. Las fases de compostaje (Tchobanoglous *et al.*, 1994)

Las etapas mencionadas, no se cumplen en la totalidad de la masa en compostaje, por ello es necesario realizar la remoción de las pilas de material en proceso, de forma tal que el material que se presenta en la corteza, pase a formar parte del núcleo. Estas remociones y reconfiguraciones de las pilas se realizan en momentos puntuales del proceso, y permiten además airear el material, lo que provoca que la secuencia de etapas descrita se presenta por lo general más de una vez (SEDESOL, 2001).

Desde el punto de vista microbiológico la finalización del proceso de compostaje se tipifica por la ausencia de actividad metabólica. Las poblaciones microbianas se presentan en fase de muerte por agotamiento de nutrientes. Con frecuencia la muerte celular no va acompañada de lisis. La biomasa puede permanecer constante por un cierto período aún cuando la gran mayoría de la población se haya hecho no viable. Las características descritas, corresponden a una composta en condición de estabilidad. Esta condición se diagnostica a través de diversos parámetros. Algunos de ellos, se pueden determinar en campo (temperatura, color, olor), otras determinaciones se deben realizar en laboratorio (Sztern y Pravia, 1999)

2.3.10 Composta madura

No todo el material que entra al sistema de compostaje se biodegrada con la misma velocidad. Muchos materiales requieren por su estructura física y composición química mayores tiempos para perder su morfología inicial. Por esta razón, es muy frecuente que conjuntamente con la composta, se presenten restos de materiales en distintas etapas de biodegradación o bien el residuo original contenga aún componentes inorgánicos. Este caso se da cuando la materia prima es la fracción orgánica recuperada de los Residuos Sólidos Domiciliarios.

Para lograr una composta apta para su aplicación agronómica, sea en forma manual o mecánica, debe presentar una granulometría adecuada y homogénea y estar libre de elementos orgánicos o inorgánicos que dificulten su aplicación. Hay muchas alternativas técnicas para el refinado de la composta: separación balística, centrífuga, o cribado (granulométrica) (Bono y Tomás, 2006). La experiencia indica que la separación granulométrica por cribado es sin duda la menos costosa de instrumentar, y la que ha dado mejores resultados. Las cribas o zarandas, pueden ser vibratorias o de rotación. En particular las rotatorias, presentan un mejor rendimiento cuando se trata de procesar volúmenes importantes. El tamaño de malla de la criba dependerá de la granulometría que se desea obtener, no obstante para utilización agrícola se recomiendan mallas de 10 mm x 10 mm. Para que este proceso, se realice sin inconvenientes es fundamental que la composta presente un contenido en humedad inferior al 20% (Rodríguez y Córdova, 2006). Los procesos de refine se realizan por razones obvias bajo techo. Una vez culminado el proceso de compostaje, el material es trasladado al área de procesamiento y es convenientemente extendido en capas no superiores a los 30 cm, para favorecer la pérdida de humedad. Cuando la composta presente el contenido de humedad mencionado, estará pronta para su refine. De este proceso se produce un rechazo, debido a materia que no terminó el proceso de descomposición por completo que dependiendo de la materia prima utilizada y de la granulometría que se desea obtener, se puede presentar en el orden del 5 al 20 %. Si el rechazo es exclusivamente de desechos orgánicos, el mismo se ingresará nuevamente al sistema de compostaje (Sztern y Pravia, 1999).

2.3.11 Factores físicos a controlar en el compostaje

El compostaje es un proceso microbiológico donde los resultados se dan por efecto combinado de la actividad individual de una gran cantidad de microorganismos. De ahí, la importancia de entender la influencia del medio

ambiente sobre los microorganismos, porque permite explicar cómo se distribuyen, controlan y aumentan (Castrillón *et al.*, 2006), y de ello depende el tiempo de duración del proceso y la calidad del producto a obtener. Los parámetros físicos más importantes a controlar en una composta son:

a) *Temperatura*

La actividad microbiana produce un incremento considerable en la cantidad de calor que se genera en la fermentación aeróbica de los residuos, atribuido a las oxidaciones biológicas exotérmicas, consecuentemente hay un aumento apreciable de la temperatura en la masa orgánica (SAGARPA, 2012). En algunas ocasiones la temperatura por la actividad microbiana puede alcanzar hasta 76° C, situación no deseable, debido a que a temperaturas de 64° C la pérdida de nitrógeno en forma de amoníaco es muy alta (SAGARPA, 2012) y se reduce el número de organismos termófilos que activamente actúan en el proceso de descomposición (Cogger *et al.*, 1999).

Las temperaturas altas (60 – 65° C) son necesarias por dos o tres semanas para la destrucción de los organismos patógenos y las semillas de diversas plantas, pero no destruyen las micorrizas (hongos beneficiosos que aumentan la absorción de nutrientes por las raíces de las plantas (Cogger *et al.*, 1999). Sin embargo, si el material presenta este rango de temperatura durante 5 ó 6 semanas es señal de una anomalía en el proceso y pudiera ocurrir un retraso en la estabilización de la composta (SAGARPA, 2012). Si la temperatura no aumenta, indica que hay un defecto en la aireación, baja relación C/N o un bajo nivel de humedad.

Si no se mantienen las condiciones ideales, los microorganismos aún descomponen los residuos orgánicos pero la descomposición se vuelve menos rápida, más fría, y menos eficaz para destruir los patógenos y semillas de malas hierbas (Cogger *et al.*, 1999). La declinación final de la temperatura es lenta e indica que el material ha sido digerido. Una caída de la temperatura antes de la

estabilización de la materia orgánica puede reflejar que empieza la evolución hacia una digestión anaerobia (Komilis, 2004).

b) Aireación

En el proceso de composteo, el oxígeno se requiere para el metabolismo aeróbico, ligado a la oxidación de moléculas orgánicas presentes en el material por descomponer (SAGARPA, 2012). La aireación es básica para la descomposición termofílica de los residuos, con el propósito de lograr una rápida transformación sin malos olores (SEDESOL, 2001)

Se han desarrollado varias técnicas para airear los residuos en transformación, pero parece que el método más eficaz para el método de pilas, es el volteo periódico del material (SEDESOL, 2001); con estas acciones, además de suministrarse oxígeno, se disipa el calor producido dentro de la pila (SAGARPA, 2012). En este proceso de volteo debe tenerse especial cuidado de que las capas exteriores pasen a ocupar el interior de la unidad siguiente, y para ello se utilizan equipos mecanizados. La frecuencia de la aireación o número total de vueltas de la pila de residuos en transformación, depende principalmente del contenido de humedad, la temperatura y del tipo de material (SEDESOL, 2001). En la práctica esta actividad se realiza cuando la temperatura es cercana a los 70° C o la humedad es mayor a 60 % (SAGARPA, 2012). Komilis (2004) sugiere que el ideal en una pila de composta es $> 10 \% O_2$ y que es necesario 1 g/g de M.O. biodrgradable.

c) Oxígeno

El consumo de oxígeno es directamente proporcional a la actividad microbiana; por ello existe una relación directamente proporcional entre el oxígeno consumido y la temperatura. La mayor cantidad de oxígeno se requiere durante la fase inicial de la descomposición, debido al crecimiento de la población microbiana, el incremento en la temperatura y la gran actividad bioquímica;

durante la fase de estabilización, la demanda de oxígeno decrece (SAGARPA, 2012)

d) pH

Los cambios en el pH durante el proceso se deben a cambios constantes en la composición química del sustrato. Sundberg (2005) menciona que el pH en el compost está influenciado por tres sistemas ácido-base:

- El sistema carbónico, con el dióxido (CO_2) que se forma durante la descomposición y puede escapar a la atmósfera como gas o disolverse en los líquidos, formando ácido carbónico (H_2CO_3), bicarbonato (HCO_3^-) y carbonato (CO_3^-). Este sistema tiene dos constantes de disociación (pKa): 6.35 y 10.33 a 25°C y la tendencia a neutralizar el pH, incrementando los pH bajos y reduciendo los pH altos.
- El segundo sistema es el amonio (NH_4^+) – amoníaco (NH_3), que se forma cuando se descomponen las proteínas. Durante la fase inicial del compostaje la mayoría del nitrógeno metabolizado es usado para el crecimiento de los microorganismos, pero durante la fase de mayor actividad se libera el ión amonio. El sistema amonio tiene una constante de disociación (pKa) de 9.24 a 25°C y de esta forma incrementa el pH a valores cercanos a 9.24.
- El tercer sistema está compuesto por varios ácidos orgánicos en los cuales predominan el ácido acético y el ácido láctico. Este sistema puede reducir el pH a 4.14, que es el pKa del ácido láctico a 25°C.

Estos tres sistemas se combinan para formar una curva típica del pH del compostaje, donde se presenta un descenso en la fase inicial, un aumento en la fase de máxima actividad y luego la tendencia es la estabilización (Sundberg, 2005).

Los residuos orgánicos municipales (RSM) tienen un pH inicial bajo, alrededor de 5, debido a los altos contenidos de ácidos grasos de cadena corta. En composta terminada, el pH puede estar entre 8 y 9 debido a las pérdidas de CO₂ por la respiración de los microorganismos. La presencia de ácidos orgánicos bajo condiciones de acidez y su ausencia cuando el compost se torna alcalino, es un indicador de que ellos son un factor clave para la evolución del pH (Sundberg, 2003).

e) Humedad

Komilis (2004) Sugiere que la humedad ideal para mantener el proceso en condiciones aeróbicas, debe encontrarse entre el 50 y 60 %. Este es uno de los factores más importantes en el proceso de digestión, ya que si ésta es muy baja, provoca una sensible disminución de la actividad microbiana e incluso algunos organismos no se desarrollan, lo que produce que la fermentación se detenga y descienda la temperatura; además pueden ocurrir invasiones de hormigas, ácaros y otros animales (SAGARPA, 2009).

Si la humedad es excesiva, hay descenso en la temperatura, producción de olores desagradables (SAGARPA, 2012), y el oxígeno presenta dificultades para circular debido a que el agua desplaza el aire al llenar los intersticios, presentándose circunstancias propicias para el desarrollo de condiciones anaerobias (Figura 4) (Komilis, 2004). Sin embargo, si los materiales a digerir contienen una cantidad importante de paja y materiales fibrosos resistentes, el contenido de humedad puede ser mayor, llegando a soportar hasta un 70 a 75% sin afectar el proceso de descomposición aeróbica (Komilis, 2004).

El exceso de humedad hace que el espesor de la película de agua que rodea la partícula sea grande (> 0.5 mm) en relación con el tamaño de poros en el sistema (Figura 4).

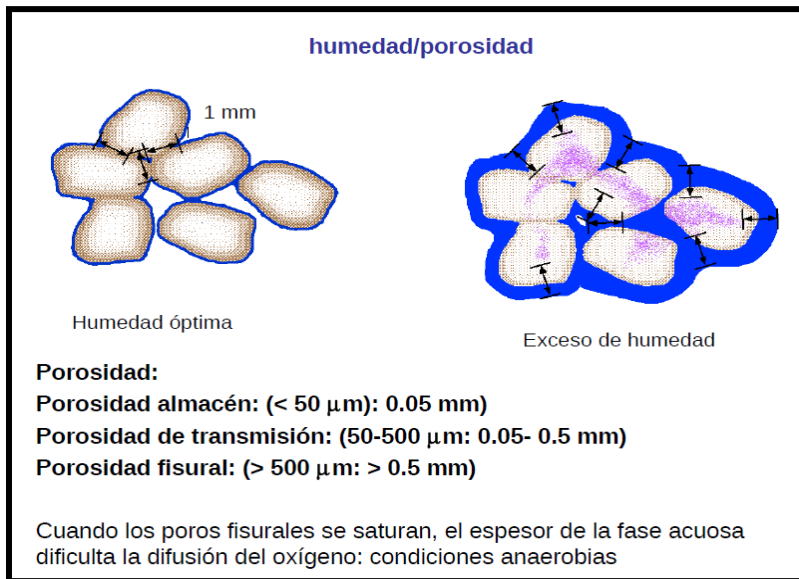


Figura 4. Humedad/porosidad óptima y en exceso de la composta (Komilis, 2004)

Para mantener una humedad óptima, el contenido en agua debe ser el adecuado para mantener saturadas la porosidad almacén y la porosidad de transmisión. La porosidad fisural ha de quedar disponible para la entrada de aire.

f) Tamaño de la partícula

Cogger *et al.* (1999) menciona que las partículas pequeñas tienen más superficie donde los microbios pueden vivir y comer. También son más fáciles de mezclar. El moler, cortar o desmenuzar las materias primas reduce el tamaño de las partículas. La compostación rápida exige partículas con un tamaño uniforme de entre $\frac{1}{4}$ a $\frac{1}{2}$ de pulgada de diámetro (0.6 a 1.3 cm). SAGARPA (2012) añade que el máximo tamaño permitido serían 5 cm (2 pulgadas) si se trata de papel y residuos vegetales o de cocina y 1.3 cm ($\frac{1}{8}$ de pulgada) si se trata de madera, ya que la presencia de ramas leñosas enteras hace más difícil la mezcla debido a que éstas se descomponen muy lentamente, por ello se recomienda el uso de una máquina para moler o astillarlas. Otra opción es ponerlas en otra pila y dejarlas descomponer paulatinamente.

g) *Clima*

La lluvia y frío en exceso afectan el proceso. No se puede aislar el sistema del ambiente porque también necesita el calor del sol y oxígeno del aire fresco; sin embargo, hay que protegerla. La mejor época para iniciar un compostaje doméstico es en primavera o verano. Durante las épocas frías, la velocidad del proceso disminuirá naturalmente, y volverá a acelerarse cuando regrese el calor (Rodríguez y Córdova, 2006)

2.3.12 Efectos y beneficios: Suelo, plantas y cultivos.

El uso de la composta trae diversos beneficios consigo. Canellas y Facanha (2004) mencionan los siguientes:

1. Favorece las propiedades físicas, químicas y biológicas del suelo
2. Aumenta la fertilidad del suelo porque incrementa la disponibilidad de los nutrientes y mejora la estructura y la capacidad de retención de agua.
3. Como consecuencia, un mayor rendimiento de los cultivos, debido a la generación de plantas más vigorosas y con mayor resistencia a algunas plagas y enfermedades.

La composta suele emplearse en una gran variedad de cultivos de cereales, legumbres y plantas ornamentales, pero en su mayoría sólo se emplean a nivel invernadero y en muy pocos casos se realizan en el campo.

García y González (2005) mencionan que a pesar de la gran respuesta en la aplicación de compostas para el aumento en la producción de cultivos, mejoras estructurales de suelos y el incremento en la disponibilidad de nutrientes, el uso de la composta genera otros fenómenos como:

1. Mejoramiento en la germinación, el crecimiento y desarrollo de semillas.
2. Disminución en el tiempo de floración y fructificación.

3. Aumento en el tamaño de los frutos.
4. Menor incidencia de enfermedades de los cultivos
5. Actividad de micorrización favorecida y,
6. La disminución casi total de la población parasitaria de nematodos, entre otros.

Independientemente de los nutrientes presentes y su forma fácilmente asimilable, estos beneficios se generan cuando se utilizan cantidades relativamente pequeñas de composta, en un rango del 10-40%, a concentraciones mayores no se han observado mejorías en los cultivos y, en algunos casos, han provocado trastornos en ellos.

Las plantas sintetizan de manera natural algunas sustancias, denominadas bioestimulantes y/o reguladores del crecimiento vegetal, que en cantidades pequeñas promueven, no sólo el crecimiento vegetal, sino otras funciones fisiológicas (Canellas y Facanha, 2004). Aún no se sabe con exactitud cuál es la razón o el mecanismo por el cual las compostas producen todos estos efectos benéficos, similares a los bioestimulantes, en el desarrollo de los cultivos (García y González, 2005).

SAGARPA (2009) también añaden los siguientes beneficios:

1. Aumenta la capacidad de retención de humedad del suelo y la capacidad de intercambio de cationes en el mismo.
2. Es una fuente de alimentos para los microorganismos.
3. Amortigua los cambios de pH en el suelo.
4. Disminuye los cambios bruscos de temperatura.
5. Las plantas pueden absorber más nitrógeno como consecuencia de la relación C/N en el suelo.

6. Logra la descomposición parcial o casi completa de algunos residuos agrotóxicos.

Respecto a este último beneficio, Reza *et al.* (2006) sugieren que la composta puede ser empleada como cubierta en sitios de disposición final con el propósito de eliminar las emisiones de gas ya que es un material que puede reunir todas las condiciones para el desarrollo y crecimiento de los organismos metanotróficos encargados de la oxidación del metano.

Una de las formas por las cuales se elimina el metano es por medio de su oxidación biológica, que se lleva a cabo en muchos sistemas naturales y en suelos sin influencia humana y es muy importante para el control de las emisiones naturales de metano. Los procesos de oxidación de metano consisten en la conversión de metano en agua, dióxido de carbono y biomasa por medio de la actividad de los microorganismos. La oxidación de metano depende de los siguientes factores: 1) Existencia de microorganismos metanotróficos; 2) Suministro de oxígeno; 3) Suministro adecuado de nutrientes y facilidad para la formación de colonias; y 4) Adecuado contenido de humedad y condiciones ambientales en el medio.

Los microorganismos que son capaces de oxidar el metano son las llamadas bacterias metanotróficas obligadas, las cuales se especializan en la asimilación de compuestos como el metano y el metanol. Las bacterias metanotróficas descomponen el metano el cual usan como fuente de energía y carbono (Humer y Lechner, 1999)

La oxidación de metano, por lo tanto, se puede llevar a cabo a través de suelos o en cualquier material que reúna las condiciones necesarias para el desarrollo de los organismos metanotrófos. La composta madura es un material con alto contenido orgánico que puede poseer todas las condiciones para el desarrollo y crecimiento de estos microorganismos al brindar un adecuado suministro de nutrientes, facilidad para la formación de colonias y para retener humedad, además de una adecuada porosidad que asegura la disponibilidad de

oxígeno en el material. Por lo tanto, la composta sería un material ideal para realizar la bio-oxidación de metano y analizar su posible utilización en rellenos sanitarios o basureros a cielo abierto para disminuir o eliminar las emisiones de este gas invernadero.

Humer y Lechner (1999) realizaron experimentos con el fin de encontrar sustratos adecuados para los microorganismos metanotróficos, así como proponer parámetros para lograr un diseño adecuado de la cubierta en los rellenos sanitarios y, de esa forma, optimizar la tasa de oxidación de metano en ella. Entre los sustratos probados se encuentran compostas provenientes de residuos sólidos municipales, y de lodos de drenajes, así como diferentes suelos. Sus resultados muestran que se puede aplicar la oxidación microbiana del metano para el control de las emisiones gaseosas de sitios contaminados, así como para rellenos sanitarios. Sin embargo cuando se utiliza composta como sustrato en el proceso de oxidación del metano, la composta debe ser un sustrato maduro con bajas concentraciones de amoníaco y libre de nitritos. La composta también debe tener estabilidad estructural a largo plazo y una porosidad adecuada con un alto contenido de agua, para garantizar una permeabilidad satisfactoria de oxígeno y metano.

Finalmente, Picó (2002) añade:

1. Reduce la cantidad de residuos sólidos que van a los vertederos, extendiendo así la vida útil de éstos.
2. Reduce los riesgos potenciales de contaminación ambiental (emisiones al aire y contaminación de las aguas).
3. Crea empleo y genera ingresos a la comunidad mediante la venta de material para el desarrollo de jardines
4. Previene la compactación del suelo.

5. Reduce la erosión del suelo.
6. Reduce la necesidad de la utilización de fertilizantes químicos.

2.4 Bioestimulantes

2.4.1 Generalidades.

Bioestimulante es un término utilizado para describir sustancias biológicas, que cuando se aplican en pequeñas cantidades actúan potenciando determinadas rutas metabólicas y/o fisiológicas de las plantas. No son nutrientes ni pesticidas pero tienen un impacto positivo sobre la salud vegetal (Turgeon, 2005).

Un gran número de reportes demuestran que los bioestimulantes son producidos por microorganismos, y se ha sugerido que la promoción de la actividad microbiana sobre la materia orgánica por el composteo da lugar a la producción de cantidades significativas de bioestimulantes. Los bioestimulantes son mensajeros bioquímicos que regulan el desarrollo normal de la planta, algunos le ayudan a detectar si el ambiente es favorable o no y, además, regulan su crecimiento y diferenciación de tejido, pues dictan el momento oportuno para su crecimiento y maduración (García y González, 2005).

2.4.2 Tipos.

Los principales grupos de bioestimulantes pueden incluir fitohormonas y aminoácidos.

Las fitohormonas son moléculas orgánicas que actúan a muy bajas dosis (menos 0.1g/L) (Tayupanta, 2011). Son producidas en una región de la planta para luego ser translocadas hasta el punto sobre el que actúan. Las estimadoras

de crecimiento básicamente son tres: auxinas, citoquininas y giberelinas (Soto, 2006), también están el ácido absicico, ácido jasmónico, entre otros (Turgeon, 2005).

Los aminoácidos son sustancias orgánicas ricas en nitrógeno que son las unidades básicas para la síntesis de las proteínas, vitaminas, nucleótidos y alcaloides (Niculcar, 1999). Pese a que las plantas producen 300 tipos distintos, sólo 20 de ellos son esenciales en la síntesis de proteínas (Bohinski, 1991).

2.4.3 Efectos

De manera general, se ha sugerido que durante el composteo se influye en la dinámica poblacional de los microorganismos generadores de la composta, lo que promueve la presencia de compuestos similares a los bioestimulantes como, por ejemplo, auxinas y giberelinas (García *et al.*, 2002). Por otra parte, algunas fracciones húmicas han demostrado estimular el desarrollo y crecimiento vegetal, por lo cual también pueden ser consideradas como bioestimulantes (García y González, 2005).

Un bioestimulante es definido por sus efectos, por lo que hace, y no por lo que es, puesto que la categoría incluye una gran diversidad de sustancias. La palabra bioestimulante sugiere “estimulación del crecimiento”, pero estas sustancias hacen mucho más que eso (García y González, 2005). No son sustancias destinadas a corregir una deficiencia nutricional, sino que son formulaciones que contienen distintas hormonas en pequeñas cantidades junto con otros compuestos químicos como aminoácidos, vitaminas, enzimas, azúcares y elementos minerales. Influyen sobre diversos procesos metabólicos tales como la respiración, la fotosíntesis, la síntesis de ácidos nucleicos y la absorción de iones, mejoran la expresión del potencial de crecimiento, la precocidad de la floración además de ser reactivadores enzimáticos (Tayupanta, 2011).

Los bioestimulantes se usan para hacer que las plantas sean más tolerantes al estrés del medio ambiente. Estos se aplican específicamente para neutralizar los radicales de oxígeno (Turgeon, 2005).

La tolerancia al estrés, la sequía y la resistencia a las enfermedades son quizá los beneficios más importantes que proporcionan los bioestimulantes, pero también estimulan el crecimiento de la raíz y promueven la actividad antioxidante (Tayupanta, 2011).

Niculcar (1999) menciona que los aminoácidos libres, aquellos que no están ligados a ningún otro, tienen un peso molecular menor y por ello son asimilados con mayor facilidad, actúan como promotores del crecimiento y dan vigor en períodos críticos de los cultivos: árboles recién transplantados, en floración y/o cuajado de frutos. También ayudan a la recuperación de daños producidos por estrés hídrico, heladas, granizos y plagas.

La disponibilidad de aminoácidos esenciales es importante porque las proteínas tienen funciones estructurales (de sostén), metabólicas (enzimas), de transporte, etc. Su aplicación antes, durante y después de unas condiciones de estrés ayuda a las plantas a prevenirlo y recuperarse más fácilmente (Niculcar, 1999).

Tienen un efecto quelante (evitan la toxicidad de los metales pesados) mejorando la absorción y el transporte de los micronutrientes. Los aminoácidos L-glicina y L-ácido glutámico son agentes quelantes muy efectivos (Niculcar, 1999).

Son precursores o activadores de fitohormonas y sustancias de crecimiento. Por ejemplo, la L-metionina es precursor del etileno y otros factores de crecimiento. El L-triptófano es precursor de las síntesis de auxinas. La L-arginina induce la síntesis de hormonas relacionadas con la floración y el cuajado del fruto (Niculcar, 1999).

El uso de bioestimulantes está directamente relacionado con el funcionamiento normal de todos los tejidos y órganos de la planta. Presentan

múltiples ventajas ya que, al ser residuales, permanecen almacenados en los puntos de crecimiento, otorgan turgencia a las células, mejoran las funciones estomáticas y son utilizadas por la planta de forma gradual según sus necesidades fisiológicas los requieren. Por todo ello, se puede decir que los bioestimulantes son capaces de incrementar la producción, el crecimiento y la resistencia al estrés. Además pueden reducir el uso de fertilizantes (Escaich *et al.*, 1991).

Dentro de las plantas más utilizadas en diferentes ámbitos, como la medicina y/o la agricultura, por su amplia variedad de componentes y los efectos que proporciona, está *Matricaria chamomilla*, conocida habitualmente como manzanilla común. Según las características y propiedades que posee, esta especie podría ser considerada como una planta bioestimulante.

2.5 Manzanilla

2.5.1 Nombres

Martínez (1979) denomina a esta planta como *Matricaria chamomilla*, sin embargo, es una planta que se le conoce con diversos nombres. Algunos sinónimos son los que mencionan Rzedowsky y Rzedowsky (2001): *Matricaria courrantiana* DC.; *Chamomilla courrantiana* (DC.) y *C. recutita*.

Los nombres comunes son: Manzanilla alemana, manzanilla común y manzanico. En zapoteca se le conoce como queza y gguía-gueza (Martínez, 1979)

2.5.2 Categorías taxonómicas superiores

Basada en Hanan y Mondragon (2005):

Reino: Plantae

Subreino: Traqueobionta (plantas vasculares)

Superdivisión: Spermatophyta (plantas con semillas)

División: Magnoliophyta (plantas con flor)

Clase: Magnoliopsida (dicotiledóneas)

Subclase: Asteriidae

Orden: Asterales.

Familia: Asteraceae

Subfamilia: Asteroideae

Tribu: Anthemideae

Género: *Matricaria*

Especie: *chamomilla* L.

2.5.3 Origen y distribución geográfica

Esta planta es nativa de Eurasia, pero se distribuye en las regiones templadas de otros continentes (Hanan y Mondragón, 2005).

En México se ha registrado en Chiapas, Chihuahua, Coahuila, Distrito Federal, Hidalgo, Jalisco, Estado de México, Michoacán, Morelos, Oaxaca, Puebla, San Luís Potosí, Sinaloa, Tlaxcala, Veracruz y Zacatecas (Villaseñor y Espinosa, 2004).

2.5.4 Descripción (Figura 5)

Basada en Hanan y Mondragón (2005) y Rzedowski y Rzedowski (2001).

- **Forma de vida:** Hierba anual, a veces persistiendo por más tiempo, glabra o casi glabra.
- **Tamaño:** Hasta de 60 cm de alto.
- **Tallo:** Ramificado.

- **Hojas:** Alternas, de 5 a 7 cm de largo, finamente 2 a 3 veces pinnado divididas (bi a tripinnatisectas), los segmentos linear-filiformes, agudos.
- **Inflorescencia:** Compuesta de cabezuelas solitarias a agrupadas por varias en el extremo de las ramas, a veces numerosas, sobre pedúnculos hasta de 10 cm de largo.
- **Frutos y semillas:** El fruto es seco y no se abre (indehiscente), contiene una sola semilla, se le conoce como aquenio (o cipsela), es cilíndrico, a menudo oblicuo, de un poco menos de 1 mm de largo, con 4 o 5 costillas en la cara ventral, en el ápice del fruto puede presentarse una estructura llamada vilano en forma de corona de tamaño variable.
- **Características especiales:** Aromática al estrujarse.



Figura 5. Morfología de *Matricaria chamomilla* (Hanan y Mondragón, 2005)

1) Planta; 2) Corte de una flor; 3) Pétalo; 4) Ovario y estigma; 5) Receptáculo y pedúnculo

2.5.5 Hábitat y distribución

Habita a orilla de caminos, setos, jardines. Es arvense ocasional. Se distribuye en el Valle de México de los 2250 a los 2800 msnm en climas templados (Rzedowski y Rzedowski, 2001).

2.5.6 Principios activos

Los principios activos más destacados, aunque no únicos, según la BDMTM (2009) son:

- Aceite esencial (0.25 – 1.5 %):
 - ✓ Azuleno
 - ✓ Camazuleno
 - ✓ Terpenoides Alfa-bisabolol y sus óxidos
 - ✓ Farnesol
- Flavonoides:
 - ✓ Luteolol
 - ✓ Apigenol
 - ✓ Quercetol
- Cumarinas:
 - Umbeliferona
 - Herniarina
- Mucílagos (10%)
- Lactonas sesquiterpénicas
 - ✓ Matricina
 - ✓ Matricarina
- Sales minerales (8 – 10%)

Avallone et al. (2000) menciona que los componentes principales de las flores incluyen varios compuestos fenólicos, principalmente la apigenina flavonoides, quercetina, patuletin, luteolina y sus glucósidos.

También contiene ácido tíglico y varias sesquiterpenolactonas, alguna de las cuales tiene propiedades citotóxicas (*Grabarczyk et al., 1977*). Otros componentes incluyen ácido antémico, atesterol, antemena y taninos (*Ma et al.,*

2007). Contiene también varios derivados cumarínicos, entre otros, la herniarina y dos espiroésteres (Engelmeier *et al.*, 2004).

2.5.7 Propiedades y efectos

Las flores secas de *Matricaria chamomilla* son muy utilizados para proporcionar efectos sedantes, así como espasmolítico (Avallone *et al.*, 2000).

La manzanilla tiene propiedades antioxidantes y antimicrobianas moderada, y una importante actividad antiplaquetaria *in vitro*. Estudios en modelos animales indican potente acción antiinflamatoria, algunas de las actividades anti-mutagénica y para bajar el colesterol, así como los efectos antiespasmódicos y ansiolíticos (McKay y Blumberg, 2006). Es una de las plantas que reúne más y significativas virtudes medicinales. El más importante de sus principios activos es un aceite esencial, que se obtiene de sus flores por destilación al vapor. Este aceite está constituido por numerosos compuestos hidrocarbonados: éteres y alcoholes de distinta naturaleza. De estos últimos, el camazuleno es el que reviste mayor importancia, ya que posee un fuerte efecto antihistamínico. (Carrera y Nuñez, 2001).

El té de camomila contiene una notable cantidad de compuestos polifenólicos (340 mg/l), el más importante de los cuales es el chamaemelósido(155 mg/l), sustancia que tiene propiedades hipoglucemiantes (König *et al.*, 1998). También se han realizado otros trabajos que apuntan a que el efecto de *M. chamomilla* tiene efectos antiagregante plaquetario, antiinflamatorio y sedante. (Rossi *et al.*, 1988; Tognolini *et al.*, 2006)

Según las características y propiedades que posee, esta especie podría ser considerada como una planta bioestimulante.

La manzanilla es utilizada en forma de infusión para proteger las semillas y defender, en general, a las plantas. También repele insectos, actúa como

fungicida y el macerado actúa como incentivador del crecimiento de las plantas porque logra aportar a la planta nutrientes esenciales (Cuchman *et al.*, 1995).

3. ANTECEDENTES

Una iniciativa para disminuir la problemática de los residuos sólidos urbanos (RSU) se refiere a la separación de residuos sólidos y el procesamiento de los residuos orgánicos por técnicas de composteo, tal como lo mencionan algunos autores como Cruz (2010) en su trabajo *La composta como alternativa para la gestión de residuos sólidos municipales en Miahuatlán de Porfirio Díaz, Oaxaca*; donde aborda la importancia de la gestión de los residuos sólidos municipales (RSM) en esa localidad y asegura que el tratamiento de los RSM disminuyen en gran cantidad los residuos que se desechan en tiraderos a cielo abierto.

Un trabajo que prueba el efecto fungistático de *Matricaria chamomilla* es el de Duarte *et al.* (2005) en donde sugieren que el efecto fungicida es directamente sobre la especie *Candida albicans* bajo el efecto del aceite esencial de la planta, ya que el extracto alcohólico parece no tener efecto a cualquier concentración que se considere. Con estos argumentos, se puede aseverar que el efecto fungicida se puede dar única y exclusivamente bajo la acción del aceite esencial. Un extracto hidroalcohólico de la manzanilla inhibió también el crecimiento de *Estafilococo aureus*, *estreptococo mutans*, así también en *Estreptococo*, y *Estreptococo salivarius*, y tenía un efecto bactericida *In Vitro* demostrada en *Bacilo megatherium* y *Leptospira Icterohaemorrhagiae*. *In vitro*, el aceite de manzanilla también inhibe al *Estafilococo aureus* y *Bacilo subtilis* (Torres, 2009). Al respecto, se puede inferir que la acción fungicida y bactericida de la manzanilla se da principalmente en las bacterias y hongos que son dañinos para el hombre y no en las especies presentes en el grupo de microorganismos que actúan en la composta.

Salas (2006), menciona la importancia de la aplicación de caldos revitalizadores a base de plantas medicinales como la ortiga, en donde se

promueve la recuperación de suelo, restableciendo y diversificando la población de microorganismos y activando las funciones biológicas, de aquí que se proponga trabajar con Manzanilla (*Matricaria chamomilla*) para observar los posibles efectos benéficos en la elaboración de composta.

Valderrama *et al.* (2012) mencionan la importancia de el uso de microorganismos promotores de crecimiento vegetal que protegen la semilla y le dan a la planta propiedades enraizadoras, biocontroladoras y biofertilizantes, esto por medio de un biopreparado agregado a las semillas sembradas, dando resultados significativamente efectivos, por ello la sugerencia de aplicar biopreparados en el proceso de composteo.

4. PROBLEMÁTICA

Con el aumento continuo de la población, su concentración progresiva en grandes centros urbanos, el desarrollo industrial y agrícola, ha ido en aumento la producción de residuos sólidos urbanos (RSU), con ello incrementa tanto la contaminación edáfica como la hídrica. Los contaminantes del suelo superficial son esencialmente residuos sólidos, que varían mucho en su composición y características, dependiendo de su origen.

Ante este incremento de RSU y para aminorar dicha situación, se sugiere reducirlos, reutilizarlos y reciclarlos, para el caso de los inorgánicos; y utilizarlos como fuente de alimento animal y/o fuente de energía, para el caso de los orgánicos; de esta manera podrían reducirse tanto los residuos como los efectos de contaminación que provocan.

Una buena parte de los problemas que padece la humanidad obedecen a la degradación y pérdida de los suelos. Cuando esto ocurre, el ser humano no puede cultivar, o las producciones de las cosechas son exiguas, por ello la necesidad de

buscar formas alternativas de aminorar esa degradación y pérdida de suelos y mejorar la calidad y cantidad de los productos obtenidos de cultivos. Esto representa para el agricultor un costo alto de producción, además de la aplicación de prácticas no sostenibles, que dañan al ambiente y la salud humana.

Una práctica alternativa que ayudaría a aminorar el problema de los RSU es el tratamiento y conversión de los mismos en abonos orgánicos o compostas, lo cual se traduce en beneficios a favor de la reducción tanto de contaminación como de erosión; absorción de agua y nutrientes por parte de las plantas, y mejora de la estructura y textura de suelos.

Si se optara por esta práctica, sería de gran utilidad poder disminuir el tiempo de maduración de la composta y mejorar las propiedades físicas y químicas de la misma. De aquí la necesidad de nuevas opciones que complementen y mejoren el procedimiento y resultado de un proceso de composteo.

5. JUSTIFICACIÓN

La elaboración de una composta requiere procesos cronológicos, que dependiendo de la materia prima, podrían ser muy tardados. El beneficio de la disposición de una composta determina en muchos casos el éxito cuantitativo y cualitativo de los cultivos. Al respecto, la búsqueda de estrategias para el mejoramiento de las propiedades de la composta y la reducción del tiempo en su preparación a base de biopreparado de manzanilla, significa un avance para la obtención de un sustrato mejorado.

6. HIPÓTESIS

Si se agrega un biopreparado de *Matricaria chamomilla* durante el proceso de degradación de residuos orgánicos en la preparación de composta, se producirá un efecto bioestimulante que activará el metabolismo de los microorganismos (actividad microbiana) en menor tiempo, lo cual modificara la composición química o física de la composta y disminuirá el tiempo de biodegradación y maduración de la misma.

7. OBJETIVO GENERAL

Evaluar el efecto del biopreparado de *Matricaria chamomilla* L. en las propiedades físicas y químicas de la composta, así como la reducción en el tiempo del proceso de degradación.

7.1 OBJETIVOS PARTICULARES

1. Evaluar el efecto de biopreparado de manzanilla en cuanto al tiempo de degradación de los residuos de la composta.
2. Evaluar el efecto del biopreparado en la composición química y física de la composta.
3. Evaluar la actividad de descomposición por los microorganismos de la composta (actividad microbiana).
4. Evaluar los costos de producción de la composta tradicional y con biopreparado.

8. ZONA DE ESTUDIO

El presente estudio se desarrolló en el Área de composteo del Centro de capacitación en agricultura urbana ecológica “Chimalxochipan” de la Unidad de Investigación en Ecología Vegetal (Fig. 6); y en el Laboratorio de contaminación y restauración de suelos, localizados en el Campo II de la FES Zaragoza, en la Ciudad de México, la cual está ubicada en la cuenca del Valle de México, específicamente en las coordenadas $19^{\circ} 22' 22.82''$ de latitud N y $99^{\circ} 02' 02.82''$ de longitud O, con una elevación de 2250 msnm, en donde se presenta un clima templado subhúmedo. La temperatura promedio anual oscila entre los 12° C hasta los 18° C. La precipitación pluvial total varía de 1000 a 600 mm por año, y el período en el que se concentra es en el verano (Secretaría del Medio Ambiente, 2005)



Figura 6. Área de estudio: a) Campo II. Facultad de Estudios Superiores Zaragoza. b) Área de composteo del Vivero Chimalxochipan de la UIEV

9. MÉTODO

El diseño de la investigación se llevó a cabo en varias etapas:

1. La Recolecta de residuos orgánicos (materia prima de la composta) se realizó en la Central de Abastos de la Ciudad de México. Los residuos fueron de frutas y verduras: lechuga, calabaza, jitomate, mango, mamey, tomate, hojas de elote, olote, sandia, hojas de tomate, cilantro y una cantidad mínima de cítricos, como naranjas y mandarinas. Las proporciones de residuos fueron variables dependiendo de la existencia de ellos en el sitio de recolección (Fig. 7).



Figura 7. Residuos orgánicos para el proceso de composteo: a) Colecta de residuos en la central de abasto; b) Transporte de residuos al área de composteo; c) Acopio de residuo

2. En el área de composteo del Centro de Capacitación en Agricultura Urbana “Chimalxochipan”, se realizaron dos tratamientos con cinco repeticiones cada uno. Al primer tratamiento se le agregó biopreparado de manzanilla y al segundo se le agregó agua para actuar como testigo. Las pilas se realizaron de la siguiente forma: Se colocaron 10 kilos de materia orgánica cortada en partículas de 1-5 cm para acelerar el proceso de descomposición como lo indica Vento (2000), un kilo de estiércol de caballo, dos kilos de suelo y dos litros de agua o de biopreparado (Fig. 8).

El biopreparado se realizó según el método que estableció Shogo (1999), el cual especifica que por cada kilogramo de planta, se agreguen 20 litros de agua.

Cabe mencionar que este procedimiento se realizó bajo las siguientes condiciones: el área de composteo es un área a “cielo abierto”, en donde se acondicionó un área específica para instalar los sistemas. Se realizaron algunos canales en el suelo para recibir los lixiviados cuando los residuos estuvieran en proceso de descomposición, para así evitar la filtración de los mismos al subsuelo y conservarlos también para un posible uso posterior. Una vez realizados los canales se colocó plástico negro calibre 600 para cubrir el área del canal y un área aproximada de 1m x 1m que fue la utilizada para cada pila de composta (Fig. 8d). Se colocaron las cinco repeticiones del tratamiento en una fila y las cinco repeticiones del testigo en otra. Una vez colocados los componentes de cada pila, se cubrió cada una con plástico negro, para mantener el calor, conservar la humedad, evitar la evaporación y la interrupción del proceso por la llegada de fauna nociva como: caninos, felinos y roedores.



Figura 8. a) Fragmentación de la materia orgánica; b) Pesaje de la MO; c) *Matricaria chamomilla* antes del biopreparado; d) Preparación del terreno para colocar las pilas de composta

3. Cada Tercer día se registró la temperatura (Fig. 9) con la ayuda de un termómetro digital de bayoneta para composta, marca HANNA instruments HI 145-20 (precisión 0.01 °C), tomando los datos en tres puntos diferentes de la pila (dos en la periferia y una en el centro), obteniendo con ello un promedio final.



Figura 9. Toma de temperatura a la composta

4. Se realizó una aireación natural en cada una de las repeticiones mediante la remoción completa de la masa de la composta con la ayuda de una pala manual conforme a lo que señala Vento (2000). Esto se realizó en cada una de las repeticiones para oxigenar y asegurar la descomposición aeróbica (Fig. 10).



Figura 10. Pilas de composta recién removidas para aireación

5. Se registró el porcentaje de humedad del sustrato para mantener las condiciones necesarias referentes a la cantidad de agua o de biopreparado, el cual se debía encontrar entre el 55 y 65% como porcentaje óptimo para el proceso. SAGARPA (2012) sugiere para fines prácticos, se determine la humedad de manera empírica por el método del puño (Fig. 11) mientras dure el proceso. Cuando la humedad se encontraba baja se adicionaba la cantidad necesaria de agua o biopreparado, según fuera el caso. También se verificaron los datos por el método gravimétrico de porcentaje de humedad que establece la NOM-021-RECNAT-2000. Esto se realizó durante tres meses, que fue el tiempo estimado para la maduración de una composta (Rodríguez y Córdova, 2006).



Figura 11. Porcentaje de humedad por método empírico.

6. Una vez madura la composta (Rodríguez y Córdova, 2006) se procedió al refinamiento en forma manual por cribado para que las muestras presentarán una granulometría homogénea, quedando así, libre de elementos orgánicos remanentes sin descomposición total o inorgánicos que dificultaran los procedimientos analíticos (Figura 12) (Bono y Tomás, 2006) .



Figura 12. Refinamiento por cribado

7. Antes de realizar los análisis se procedió a la preparación de la muestra (Figura 13), llevando a cabo el procedimiento que establece la NMX-FF-109-SCFI-2007 para vermicomposta, en donde se extendió la muestra para su secado natural al aire y se realizó un tamizado con malla de 5 mm.



Figura 13. Secado de las muestras

8. Se realizó una muestra compuesta con la composta testigo y una con la del tratamiento con biopreparado para realizar los análisis correspondientes.

9. Se evaluó la actividad microbiana ($\text{mg CO}_2/100 \text{ g}$ de composta) por el método de fumigación – incubación (Figura 14) (Mora, 2006), el cual es relevante en virtud de que, es un índice de disponibilidad de Nitrógeno debido a que forma parte fundamental de la actividad microbiana y que a través de ella se mineralizan las formas orgánicas del elemento (Delgado y España, 2000).

10. Posteriormente para evaluar la calidad del producto de composteo se le realizaron a cada uno de los sistemas dos repeticiones de las pruebas físicas, químicas y biológicas, de acuerdo a los procedimientos que establece la NMX-FF-109-SCFI-2007 para vermicomposta y sus métodos de prueba, que está basada en la NOM-021-RECNAT-2000 para suelo, que estandariza las técnicas de análisis.

- ANÁLISIS FÍSICOS:
 - ✓ Densidad aparente. (método de la probeta)
 - ✓ Densidad real (método del picnómetro)
 - ✓ Porcentaje de humedad (método gravimétrico)

- QUÍMICOS:
 - ✓ Materia orgánica (vía seca por el método de incineración)
 - ✓ Conductividad eléctrica relación 1:5 (determinación por conductímetro)
 - ✓ Potencial de Hidrógeno (pH) relación 1:2 con H₂O (medición con potenciómetro)
 - ✓ Nitrógeno (método micro-Kjeldahl)
 - ✓ Fósforo (procedimiento de Olsen)
 - ✓ Potasio (extracción con acetato de amonio)
 - ✓ Relación C:N

- BIOLÓGICOS:
 - ✓ Coliformes totales (Método para la cuenta de microorganismos coliformes totales en placa)

ANÁLISIS FÍSICOS:

- ***Densidad aparente***

La densidad aparente de una muestra de suelo es calculada a partir del conocimiento de dos parámetros: la masa del suelo y el volumen total, es decir el volumen de los sólidos y el volumen ocupado por el espacio poroso (NOM-021-RECNAT-2000).

- **Porcentaje de humedad (método gravimétrico)**

El método se basa en la medición o determinación de la cantidad de agua expresada en gramos que contiene una muestra de humus. Esta masa de agua hace referencia de la masa del humus húmeda de la muestra. La determinación de la masa de agua se realiza por la diferencia en peso entre la masa de suelo húmedo y la masa de suelo seco. Se considera como muestra seca aquella secada a la estufa a 105 °C por 24 hrs, hasta obtener un peso constante (NOM-021-RECNAT-2000).

ANÁLISIS QUÍMICOS:

- **Materia orgánica (vía seca por el método de incineración)**

Este método se fundamenta en el hecho de que toda la materia orgánica se oxida en ausencia de flama a una temperatura que fluctúa entre los 550 – 600 °C; el material inorgánico que no se volatiliza a esta temperatura se conoce como ceniza (Nollet, 1996).

- **Conductividad eléctrica relación 1:5 (determinación por conductímetro)**

Todos los suelos fértiles contienen por lo menos pequeñas cantidades de sales solubles. Cuando un suelo tiene un exceso de sales solubles se le denomina suelo salino. La medida de la conductividad eléctrica (CE) permite estimar en forma casi cuantitativa la cantidad de sales que contiene. El análisis de la CE en suelos se hace para establecer si las sales solubles se encuentran en cantidades suficientes como para afectar la germinación normal de las semillas, el crecimiento de las plantas o la absorción de agua por parte de las mismas.

La CE de una solución se mide a través de la resistencia que ofrece el paso de la corriente la solución que se encuentra entre los dos electrodos paralelos de la celda de conductividad al sumergirla en la solución.

- **Potencial de hidrógeno (pH) relación 1:2 con H₂O (medición con potenciómetro)**

Esta técnica es un método electrométrico para determinar pH de muestras de suelo y/o muestras de composta o vermicomposta en una solución de agua pura. La evaluación electrométrica del pH se basa en la determinación de la actividad del ion H⁺ mediante el uso de un electrodo cuya membrana es sensitiva al H⁺. En el caso de los sustratos el pH se mide potenciométricamente en la suspensión sobrenadante de una mezcla de relación suelo:agua 1:2

El pH es una de las mediciones más comunes e importantes en los análisis químicos rutinarios de suelo, ya que controla reacciones químicas y biológicas en el suelo. La determinación del pH es afectada por varios factores tales como: el tipo y cantidad de constituyentes orgánicos e inorgánicos que contribuyen a la acidez del suelo, la concentración de sales en la solución, la relación suelo: solución, la presión parcial de bióxido de carbono y el efecto de la suspensión asociado con el potencial de unión, etc (NOM-021-RECNAT-2000).

La medición del pH por este método se realizó con un equipo Conductronic PC18.

- **Nitrógeno (método micro-kjeldahl)**

La determinación de nitrógeno total por este procedimiento involucra dos pasos: (a) digestión de muestra para convertir el nitrógeno a NH₄⁺ y (b) la determinación de la muestra con ácido sulfúrico concentrado y sustancias como el K₂SO₄ que promueven la oxidación de la materia orgánica y la conversión del nitrógeno orgánico a amonio por incremento de la temperatura de digestión y también emplea catalizadores como el Cu y Se, que aumentan la velocidad de oxidación de la materia orgánica por el ácido sulfúrico (Figura 16). El amonio en el digestado es determinado por titulación del amonio liberado por destilación del digestado con el álcali (NOM-021-RECNAT-2000).



Figura 14. Prueba de Nitrógeno

- **Fósforo (procedimiento de Olsen)**

En esta técnica, el fósforo es extraído del suelo con una solución de NaHCO_3 0.5 M ajustada a un pH de 8.5. En suelos neutros, calcáreos o alcalinos, conteniendo fosfatos de calcio, este extractante disminuye la concentración de Ca en solución a través de una precipitación del CaCO_3 , por tanto la concentración de Fósforo (P) en solución se incrementa. En suelos ácidos conteniendo fosfatos de **Al y Fe** tales como la variscita y estrengita, la concentración de P en solución, se incrementa conforme el pH se eleva. Este extractante evita que se presenten reacciones secundarias en suelos ácidos y calcáreos debido a que el nivel de Al, Ca y Fe se mantiene muy bajo en dicha solución (NOM-021-RECNAT-2000).

- **Potasio (extracción con acetato de amonio)**

El método para la determinación consiste en la saturación de la superficie de intercambio con un catión índice, el ion amonio; lavado del exceso de saturante con alcohol; desplazamiento del catión índice con potasio y determinación del amonio mediante destilación. El amonio se emplea como catión índice debido a su fácil determinación, poca presencia en los suelos y porque no precipita al entrar en contacto con el suelo. La concentración normal que se usa asegura una completa saturación de la superficie de intercambio y como está amortiguada a pH 7.0, se logra mantener un cierto valor de pH. El lavado con alcohol pretende desplazar el exceso de saturante y minimizar la pérdida del amonio adsorbido (NOM-021-RECNAT-2000).

- **Relación C:N**

Es la relación del total de Carbono y de Nitrógeno C/N que hay en la muestra. Se obtiene con el porcentaje de carbono orgánico obtenido de la prueba de materia orgánica y del porcentaje de nitrógeno total (NMX-FF-109-SCFI-2007)

El carbono es el componente mayor de la materia orgánica del suelo y es importante como fuente principal de CO₂. Como componente principal de la materia orgánica del suelo, la determinación del C orgánico sirve como determinación indirecta de la materia orgánica usando un factor de corrección aproximado. El factor "Van Bemmelen" de 1,724 se ha utilizado durante muchos años para tal fin y se basa en la aceptación de que la materia orgánica contiene 58% de C orgánico (Durán, 2004).

ANÁLISIS BIOLÓGICOS:

- **Coliformes fecales y totales.**

El método para llevar a cabo la cuantificación de coliformes fecales en lodos y biosólidos se basa en que las bacterias presentes en una muestra pueden ser separadas por agitación, dando por resultado una suspensión de células

bacterianas, uniformemente distribuidas. A través de diluciones sucesivas de la muestra se obtienen inóculos de, al menos, una célula para obtener crecimiento en el medio de cultivo (tubos positivos), y otros que al sembrarse dan resultado en por lo menos, un tubo de la serie. La combinación de resultados positivos y negativos permite realizar una estimación de la densidad bacteriana por medio de cálculos de probabilidad (NOM-004-SEMARNAT-2002)

Para complementar el análisis físico, químico y biológico del producto obtenido a base de composteo, se elaboró una muestra compuesta donde se analizaron los niveles de Fósforo NMX-AA-032-1976, Nitrógeno total Kjeldhal por NOM-021-SEMARNAT-2000, Potasio con la técnica EPA-7610-1986 y los análisis biológicos Coliformes fecales y totales por la Técnica número más probable NOM-004-SEMARNAT-2002 NMP/g

11. El manejo numérico de los resultados se realizó obteniendo los promedios y desviación estándar de los datos obtenidos en las pruebas físicas y químicas de la composta, organizadas por tratamiento y por análisis para aplicar posteriormente una prueba t–student, donde se compararon las medias de cada población (Norman y Streiner, 1996) con ayuda de una hoja de cálculo Microsoft Office Excel 2007.

10. RESULTADOS Y DISCUSIÓN.

Los dos tratamientos de composteo se establecieron el 01 de Abril de 2011 y se terminaron, el 31 de mayo la composta con biopreparado y el 15 de junio la composta testigo.

El proceso de degradación tuvo una duración total de 76 días para el testigo, en donde se agregó un total de 5,700 mL de agua durante el proceso cuando los sistemas lo requirieron (Anexo 1). En el caso de la composta con

biopreparado el proceso duró 61 días, en donde se adicionó un total de 4,500 mL (Anexo 1).

Esto representa que el tiempo de degradación disminuyó por quince días cuando se agregó el biopreparado, además de que propició una mejor retención de humedad al agregar únicamente 4,500 mL durante todo el proceso, a diferencia del método tradicional, en donde se adicionó un total de agua de 5,700 mL, lo cual indica que el biopreparado ayuda a que el agua se evapore menos y mejore algunas condiciones en la degradación de residuos.

Este efecto de disminución de requerimientos de humedad por los bioestimulantes, parece estar relacionado con lo que menciona Tayupanta (2011), donde destaca el efecto que tienen en disminuir la tolerancia al estrés, la sequía y la resistencia a las enfermedades, debido a que poseen hormonas, aminoácidos, vitaminas, enzimas, azúcares y elementos minerales, los cuales influyen sobre diversos procesos metabólicos tales como la respiración, la fotosíntesis, la síntesis de ácidos nucleicos y la absorción de iones, mejoran la expresión del potencial de crecimiento, la precocidad de la floración además de ser reactivadores enzimáticos.

El registro completo de temperaturas del proceso y de la adición total de agua y/o biopreparado se presenta en el Anexo 1.

Las temperaturas durante el proceso fueron muy variadas; en algunas ocasiones el testigo registró mayores temperaturas y en otras el tratamiento con biopreparado. Esto no se atribuye directamente al efecto del biopreparado, sino al diferente cambio de clima y de temperatura ambiental.

Por otro lado, la composición inicial de la composta fue de 10 kg de materia orgánica, dos kilos de suelo y uno de estiércol, dando un total de 13 kg para cada

uno de los sistemas. El rendimiento final fue de 39.31% para el testigo y de 37.66% para el tratamiento (Cuadro 3).

Cuadro 3. Porcentaje de rendimiento en sistemas testigo y con biopreparado.

TESTIGO					BIOPREPARADO				
Sistema	Peso inicial (kg)	Peso Final (kg)	% rendimiento	DS	Sistema	Peso inicial (kg)	Peso Final (kg)	% rendimiento	DS
1	13	4.2	32.31	7.07	1	13	5.5	42.31	4.30
2	13	4.5	34.62	6.91	2	13	5.65	43.46	4.08
3	13	6.35	48.85	6.94	3	13	4.48	34.46	1.81
4	13	4.4	33.85	6.57	4	13	4.5	34.62	2.17
5	13	6.1	46.92	5.38	5	13	4.35	33.46	2.97
PROMEDIO	13	5.11	39.31	6.58	PROMEDIO	13	4.896	37.66	3.07

La diferencia en el porcentaje final es de 1.65 % y de la desviación estándar es de 3.51, teniendo la composta con biopreparado, un menor rendimiento que la testigo, atribuible a que el efecto del biopreparado ayuda a una mejor descomposición de los residuos ya que la estructura final de la misma presentó granulometría más fina.

Los resultados de los análisis de composta se pueden observar en el cuadro 4.

Cuadro 4. Resumen de resultados en composta testigo y con biopreparado.

<i>Prueba</i>	<i>TESTIGO</i>		<i>BIOPREPARADO</i>	
	<i>Promedio</i>	<i>DS</i>	<i>Promedio</i>	<i>DS</i>
Densidad Aparente	0.64 g/cm ³	0.0198	0.7 g/cm ³	0.0198
% de humedad 1	113.74%		150.90%	
% de humedad 2	89.29%		143.27%	
Materia orgánica	76.77%	1.1328	78.25%	0.9687
Conductividad eléctrica	2.68	0.0757	2.22	0.407
Ph	8.62	0.0214	8.57	0.0218
Nitrógeno	0.46%		0.49%	
Fósforo	4.03%		4.25%	
Potasio	5.22%		5.43 %	
Coliformes fecales			240.00 NMP/g	
Coliformes totales			240.00 NMP/g	

DS = Desviación estándar

Como se puede observar en los resultados, la composta tiene mejoras al aplicarle un biopreparado de manzanilla que al realizarlo de forma tradicional adicionando agua. Sería conveniente aplicar ambos biofertilizantes a un sustrato de cultivo para observar, analizar y complementar la información de la investigación.

ANÁLISIS FÍSICOS DE LOS SISTEMAS TESTIGO Y CON BIOPREPARADO

- **Densidad aparente**

Considerando que Ochoa (2013) registra como nivel permitido de densidad aparente para la composta un valor entre 0.4 g/cm^3 y 0.7 g/cm^3 , los resultados de esta prueba colocarían tanto a la composta testigo como al tratamiento con biopreparado dentro de este intervalo. La densidad aparente promedio de la composta testigo fue de $0.64 \text{ g/cm}^3 \pm 0.0198$ y la del tratamiento con biopreparado fue de $0.70 \text{ g/cm}^3 \pm 0.0198$ (Cuadro 5). La prueba t - student muestra una diferencia estadísticamente significativa ($p \leq 0.05$) en la densidad aparente (Figura 16), lo que sugiere que el biopreparado interviene en la modificación de los espacios porosos permitiendo una mayor mineralización y una mejor disponibilidad de nutrimentos.

Cuadro 5. Promedio del valor de la densidad aparente y su desviación estándar en sistemas testigo y con biopreparado.

TESTIGO			BIOPREPARADO		
Sistema	Promedio g/cm^3	Desviación estándar	Sistema	Promedio g/cm^3	Desviación estándar
1	0.65	0.0141	1	0.72	0.0354
2	0.67	0.0495	2	0.67	0.0071
3	0.67	0.0141	3	0.71	0.0283
4	0.63	0.0071	4	0.74	0.0283
5	0.61	0.0141	5	0.67	0.0000
Prom	0.64	0.0198	Prom	0.70	0.0198

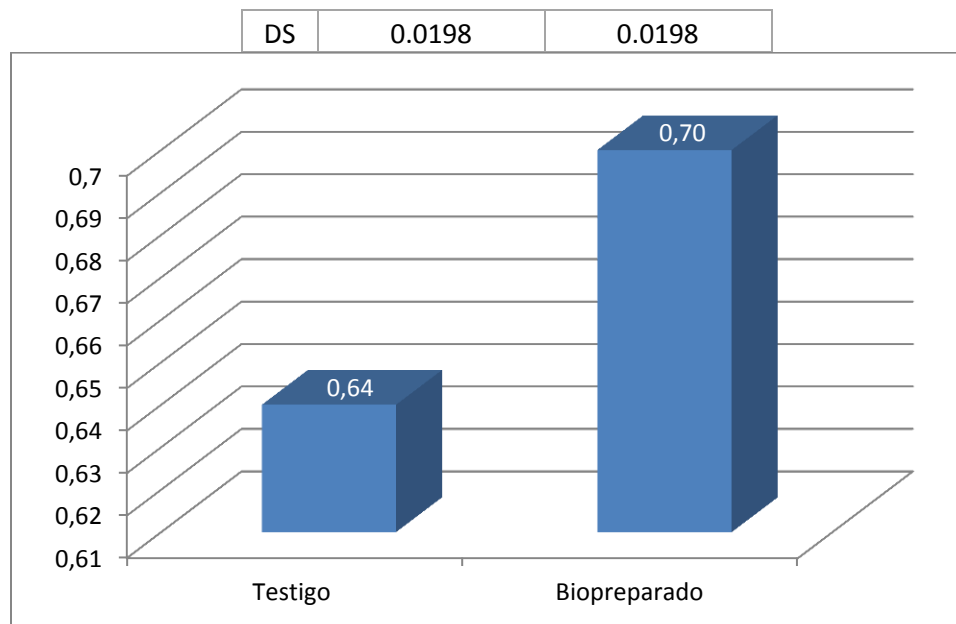


Figura 15. Densidad aparente (g/cm³)

- **Porcentaje de humedad**

A lo largo del experimento se realizaron, para fines prácticos, pruebas empíricas del contenido de humedad de los sistemas. Se realizaron dos pruebas gravimétricas cuando el exceso de humedad se hacía evidente, las cuales confirmaron el supuesto con los resultados obtenidos (cuadro 6), dando un promedio de 113.74% para el testigo y 150.90% para el tratamiento con biopreparado en la fecha del 11 de abril, y un promedio de 89.28% y 143.27%, respectivamente en la fecha del 05 de mayo.

Cuadro 6. Contenido de humedad (%) en sistemas Testigo y con biopreparado en dos fechas que se realizó la prueba gravimétrica.

11-abr	Testigo	DS	Biopreparado	DS
1	121.20%	0.4549	180.90%	0.3193
2	94.60%	0.5069	187.40%	0.3169
3	137.00%	0.5742	141.50%	0.2422
4	39.70%	0.6833	146.30%	0.2907
5	176.20%	0.3411	98.40%	0.5271
Promedio	113.74%	0.5121	150.90%	0.3393

05-may	Testigo	DS	Biopreparado	DS
1	87.26%	0.0588	184.09%	0.2469
2	84.50%	0.0648	123.21%	0.1618
3	85.87%	0.0670	148.75%	0.1704
4	87.96%	0.0706	147.52%	0.1896
5	100.80%	0.0815	112.76%	0.2157
Promedio	89.28%	0.0685	143.27%	0.1969

DS= Desviación estándar

El proceso de hidratación continua, llevada a cabo para proporcionar el medio adecuado necesario en el proceso de descomposición en la composta arrojó datos de humedad elevados que superan el 100 % del valor de la humedad, como se puede observar en las figuras 17 y 18. Este alto contenido se atribuye al tipo de residuos orgánicos, que según Cogger *et al.* (1999), se clasifican en materiales de alta energía, quien señala que de no haber una cantidad suficiente de materiales voluminosos, la composta tiende a quedar demasiado húmeda. Otra explicación es que el clima no fue tan favorable, ya que la temporada en la que se crearon las pilas coincidía con la temporada de lluvias y aun cuando estaban cubiertas por plásticos, debido a que estaban en un área a cielo abierto y en declinación fueron víctimas de la escorrentía y por consecuencia, del exceso de humedad.

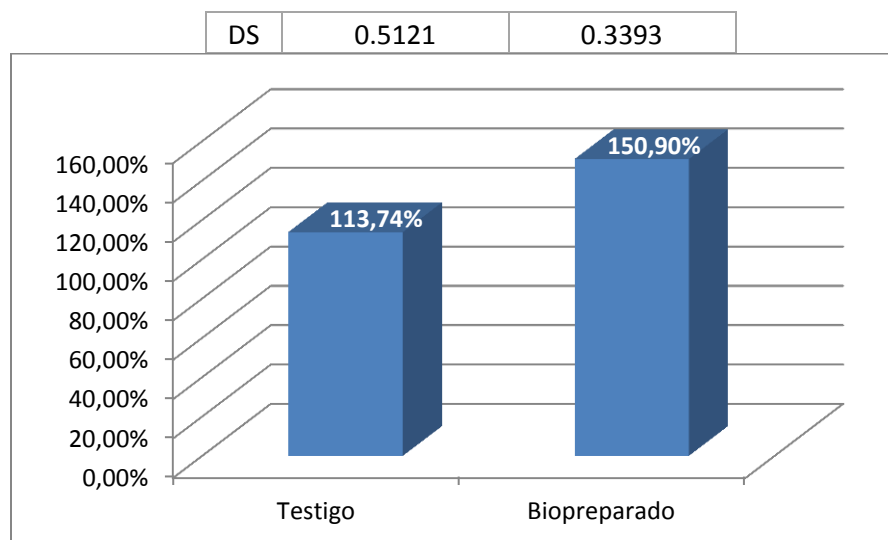


Figura 16. Primer porcentaje de humedad (11 de abril) por prueba gravimétrica.

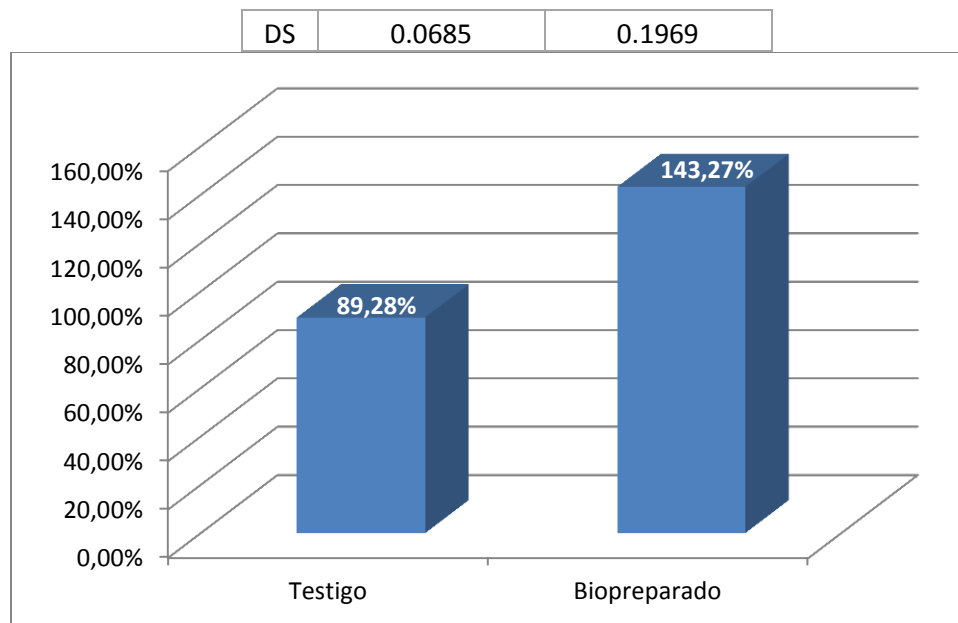


Figura 17. Segundo porcentaje de humedad (5 de mayo) por prueba gravimétrica.

El contenido de humedad en los residuos sólidos es uno de los principales factores que sugiere una digestión anaerobia, ya que los porcentajes de humedad obtenidos en las muestras son mayores a los reportados como adecuados para una digestión aerobia. Buenrostro *et al.* (2000) sugieren contenidos de humedad ideales entre un 50 a 70% y mencionan que de acuerdo con las características de los residuos orgánicos de los mercados, cuyo contenido oscila entre 80 y 86%, se tendría que someter el material, una vez molido y homogeneizado, a un proceso de desecación previa, o en su caso agregar algún material del tipo voluminoso, que reduciría la humedad por el poco contenido que posee, para llevarla así a los niveles requeridos de la digestión aerobia.

ANÁLISIS QUÍMICOS:

- **Materia Orgánica**

La materia orgánica fue alta en ambos tratamientos. Los valores fueron en promedio 76.7% y 78.25 % para el sistema testigo y con biopreparado, respectivamente (Cuadro 7). La prueba t-student mostró una diferencia significativa ($p \leq 0.05$), por lo cual la composta con biopreparado es mejor que la del testigo.

Cuadro 7. Promedio del valor de materia orgánica y su desviación estándar en Sistemas Testigo y con Biopreparado

TESTIGO			BIOPREPARADO		
Sistema	Promedio	Desviación estándar	Sistema	Promedio	Desviación estándar
1	75.71	0.2121	1	78.10	0.1131
2	77.99	1.6193	2	78.37	1.3435
3	77.44	1.1667	3	76.54	0.2333
4	76.65	2.0577	4	81.44	2.6446
5	76.06	0.6081	5	76.81	0.5091
Prom	76.77	1.1328	Prom	78.25	0.9687

Buenrostro *et al.* (2000) citan promedios de materia orgánica de 50% a 60% en los residuos para que sean susceptibles de aprovecharse. También mencionan que el composteo es incosteable si la fracción orgánica es menor al 30% del peso total y que los residuos que son más adecuados para el proceso de composteo son los provenientes del jardín, cocina, papel y cartón.

Teniendo como referencia esto y al observar los resultados promedio: 76.7% y 78.25% para el sistema testigo y con biopreparado respectivamente (Figura 19), la composta en ambos tratamientos presentó un buen contenido de materia orgánica, ya que sobrepasó el rango de 50 – 60% y eso hace a la composta susceptible de aprovecharse, ya que independientemente de la cantidad de macro y micronutrientes, parte de la finalidad de mejorar el contenido de materia orgánica es para ayudar a evitar la erosión, incrementar la capacidad de retención de agua y contribuir a la mejor captación de CO₂ (Soliva y López, 2004).

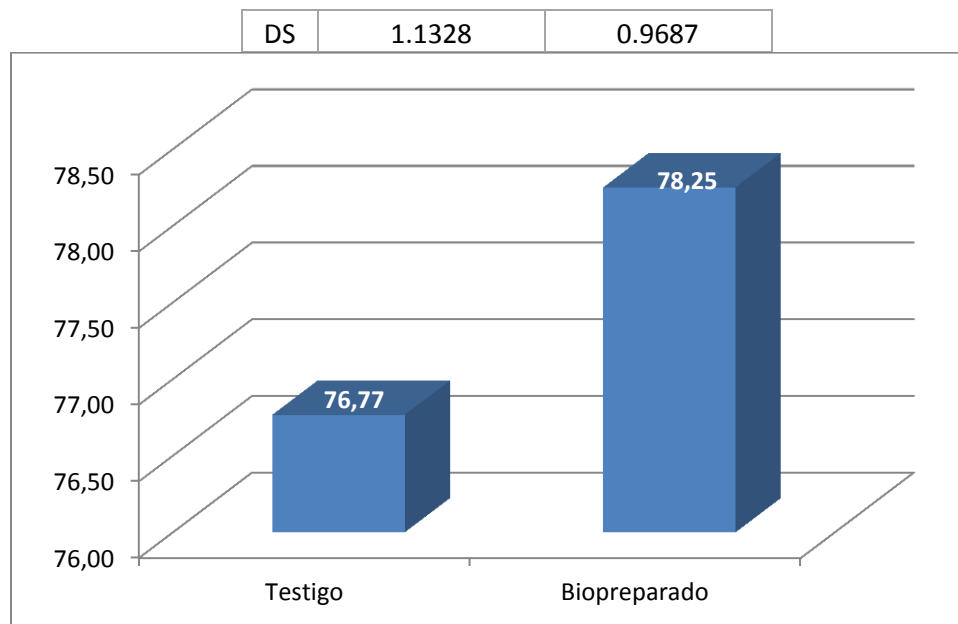


Figura 18. Porcentaje de materia orgánica.

- **Conductividad eléctrica**

Los valores de conductividad eléctrica se ubicaron en 2.68 dS/m \pm 0.07 en la composta testigo y 2.22 dS/m \pm 0.04 en la composta con biopreparado (Cuadro 8).

Cuadro 8. Promedio del valor de la conductividad eléctrica y su desviación estándar en Sistemas Testigo y con Biopreparado

<i>TESTIGO</i>			<i>BIOPREPARADO</i>		
Sistema	Promedio	Desviación estándar	Sistema	Promedio	Desviación estándar
1	3.65	0.1066	1	1.97	0.0284
2	2.62	0.0355	2	1.86	0.0440
3	2.39	0.1758	3	2.68	0.0630
4	2.54	0.0336	4	2.48	0.0347
5	2.19	0.0268	5	2.13	0.0651
Prom	2.68	0.0757	Prom	2.22	0.0470

La conductividad eléctrica de la composta con biopreparado fue significativamente mayor ($p \leq 0.05$), lo cual muestra que tiene una tendencia a

disminuir (Figura 20) y por lo tanto un menor contenido de sales, hecho que se traduce en beneficio cuando se utiliza en el sustrato de un cultivo.

Ochoa (2013) sugiere un rango de conductividad eléctrica aceptable, entre 0.7 dS/m y 3 dS/m, siendo 1.5 dS/m el valor ideal para una composta; de esta manera, la composta con biopreparado se ubica dentro del valor aceptable.

Esta disminución de la salinidad en la composta, podría estar relacionada con lo que menciona Salas (2006), en donde destaca el efecto benéfico de un biopreparado alterno, en la recuperación de suelos y el restablecimiento de la población de microorganismos.

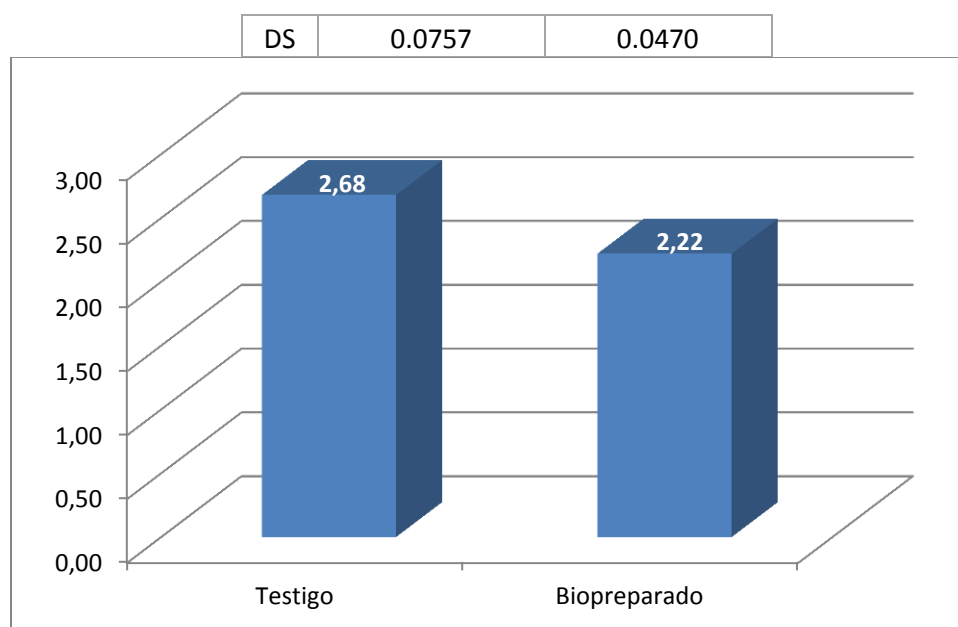


Figura 19. Niveles de conductividad eléctrica.

- **Potencial de Hidrógeno (pH)**

El pH de la composta tanto en testigo como en el tratamiento con manzanilla se ubicó en 8.62 ± 0.02 y 8.57 ± 0.02 respectivamente (Cuadro 9). La Figura 21 muestra la diferencia, que estadísticamente es significativa ($p \leq 5$), lo cual

sugiere que aunque los valores de pH no son los más recomendados para poner una mayor disponibilidad de nutrientes al cultivo al que se aplique, si son aceptables según lo registra Sundberg (2003) y reducen significativamente el pH del tratamiento con respecto al testigo.

Cuadro 9. Promedio del valor del pH y su desviación estándar en Sistemas Testigo y con Biopreparado

<i>TESTIGO</i>			<i>BIOPREPARADO</i>		
Sistema	Promedio	Desviación estándar	Sistema	Promedio	Desviación estándar
1	8.64	0.0153	1	8.57	0.0351
2	8.80	0.0100	2	8.64	0.0265
3	8.62	0.0115	3	8.60	0.0208
4	8.50	0.0351	4	8.52	0.0115
5	8.56	0.0351	5	8.49	0.0153
Prom	8.62	0.0214	Prom	8.57	0.0218

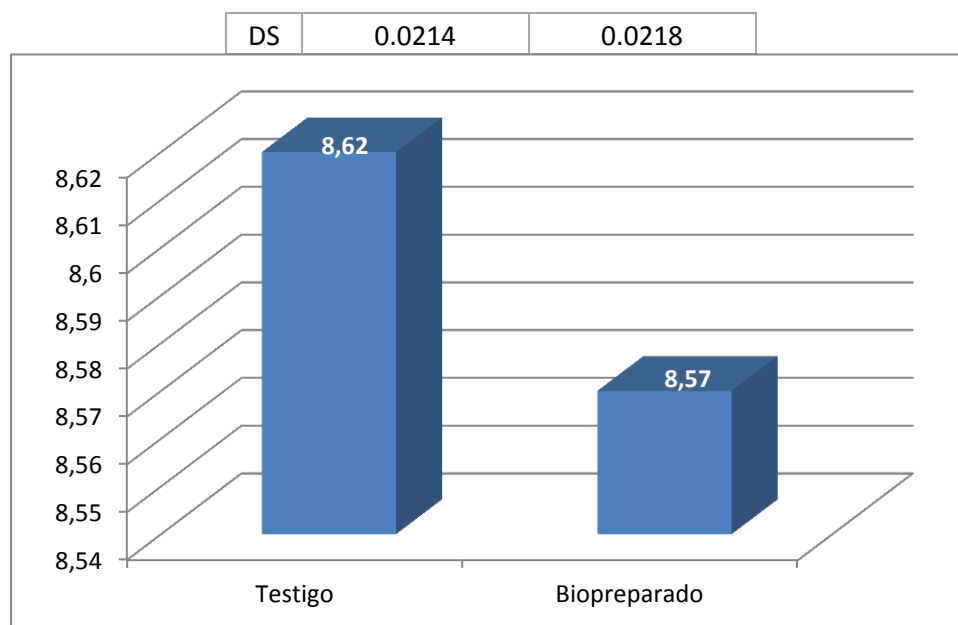


Figura 20. Niveles de pH

- **Nitrógeno, Fósforo y Potasio**

El nivel de nitrógeno (N) es de los más importantes porque frecuentemente es el más escaso en los sustratos. Un nivel aceptable en la composta se considera entre un 2.5% a 3.5%. Otros nutrientes como el fósforo (P) de 0.8% a 1.5%, y 2.5% a 3.0% de potasio (K) (SAGARPA, 2012)

Los valores de nitrógeno, fósforo y potasio obtenidos en el tratamiento con biopreparado de manzanilla se observan en el Cuadro 10.

Cuadro 10. Valores promedio de Nitrógeno, Fósforo y Potasio en composta testigo y con biopreparado (% en peso seco)

	TESTIGO	BIOPREPARADO
Nitrógeno *	1.46%	1.49%
Fósforo*	4.03%	4.25%
Potasio *	5.22%	5.43 %

* Análisis realizado por Laboratorios ONSITE México, S.A de C.V.

El contenido de nitrógeno es mayor al 1%, lo cual sitúa a la composta dentro de una clasificación de poca calidad. La pérdida de nitrógeno durante el proceso de digestión fue un parámetro importante, ya que tratándose de macronutrientes, la conservación de nitrógeno es importante. La pérdida de este puede atribuirse al hecho de que no se hizo una valoración inicial del contenido de nitrógeno que podían aportar los residuos que se ingresaron a la composta, también podrían referirse las pérdidas a que durante el proceso de digestión pudo haber lixiviación por escape de amonio y/o volatilización de gases nitrogenados, tal como lo sugieren Buenrostro *et al.* (2000), quienes también refieren que estas pérdidas pueden ser afectadas por la relación C:N, el pH, el contenido de humedad, la aireación, la temperatura, la forma en que se encuentran los compuestos nitrogenados al inicio del composteo y la absorción o capacidad de retención de los materiales a compostear.

Tomando en cuenta que las pérdidas de nitrógeno total en composteos anaerobios de residuos de jardín se encuentran en un porcentaje entre el 10 y 15%, mientras que en composteo aerobio se encuentra en un rango de 20 - 25% (Buenrostro *et al.*, 2000), en el caso de este estudio, los porcentajes de pérdida de nitrógeno fueron muy altos, ya que sobrepasaron el rango límite por 60%.

Con respecto al fósforo, el nivel aceptable es de 0.8% a 1.5% (SAGARPA, 2012); y en este trabajo el nivel fue de 4.25%. Se puede observar que este macronutriente sobrepasa el rango en un 283 %, esto podría ser ideal, de no ser porque surge un problema cuando los nutrientes no se encuentran disponibles, lo cual está en función del pH que contiene la composta (Buenrostro *et al.*, 2000). Si no hay disponibilidad de nutrientes, la planta no los puede utilizar.

Aunque el pH registrado en esta composta es de 8.57 y está considerado como aceptable, es un sustrato alcalino y eso provoca que haya una gran parte del elemento insolubilizado, lo cual se traduce en un riesgo de carencias de este elemento que en un sustrato de carácter ácido o neutro.

Como sugerencias a esta situación se proponen las siguientes:

- ✓ Utilizar la composta para activar plantas tolerantes a alcalinidad, ya que las acidófilas no irán bien con el sustrato y provocaran una tonalidad amarillenta en las hojas y pocas flores en la planta.
- ✓ Con no colocar las acidófilas no se resuelve el problema, ya que muchas otras plantas tendrán el inconveniente de no tener tanto los macronutrientes como los micronutrientes a disposición de la planta; es entonces que se sugiere que si se utiliza esta composta, ya que es un complemento, debe hacerse con un suelo ligeramente ácido para regular el pH del sustrato completo.

Finalmente, SAGARPA (2012) cita que el nivel aceptable de potasio es de 2.5% a 3.0%. En la composta con biopreparado se encontró un contenido de 5.43%, y al igual que el caso del fósforo, está poco disponible debido a que el pH de la composta es alcalino y sobrepasa el rango máximo de ocho. Barbaro *et al.* (2010) sugieren disminuir el pH para que se puedan aprovechar los nutrientes haciéndolos disponibles.

- **Relación C:N**

La relación ideal de C/N es de 25 – 35:1, según lo registra SAGARPA (2012) quien también afirma que generalmente los residuos orgánicos municipales que básicamente contienen residuos orgánicos vegetales tienen una relación C/N óptima.

El resultado del contenido de carbono en la composta con biopreparado fue de 78.25% y del contenido de nitrógeno fue de 1.49%, lo cual da una relación 78.25/1.49 ó 52.51. El contenido de carbono es muy alto, lo cual es de esperar, debido a que la materia prima fueron materiales orgánicos, situación difícil de cambiar debido al origen de los mismos. Como ya se ha comentado, el contenido de nitrógeno fue bajo y es en lo que se debe tener especial atención al momento de comenzar a realizar la pila. Se debe hacer un cálculo inicial del aporte de nitrógeno que darán los residuos que se desean compostear, para que en caso necesario, se hagan cambios de materiales y se corrija, tal situación.

ANÁLISIS BIOLÓGICOS

- ✓ ***Coliformes fecales y totales***

La NOM-004-SEMARNAT-2002 NMP/g establece tres categorías de biosólidos, de acuerdo al contenido de patógenos parásitos. Dicha clasificación se observa en el cuadro siguiente:

Cuadro 11. Límites máximos permisibles para patógenos y parásitos en lodos y biosólidos

CLASE	INDICADOR BACTERIOLOGICO DE CONTAMINACION	PATOGENOS	PARASITOS
		Coliformes fecales NMP/g en base seca	<i>Salmonella spp.</i> NMP/g en base seca
A	Menor de 1 000	Menor de 3	Menor de 1(a)
B	Menor de 1 000	Menor de 3	Menor de 10
C	Menor de 2 000 000	Menor de 300	Menor de 35

(a) Huevos de helmintos viables

El contenido de coliformes fecales para la composta con biopreparado fue de 240.00 NMP/g y de coliformes totales fue de 240.00 NMP/g. Según el cuadro anterior, la composta se encontraría en una clasificación del tipo A ó B, ya que el contenido de coliformes fecales está por debajo de 1 000 NMP/g para la clase A y B, la diferencia de ubicación correspondería a la cantidad de huevos de helmintos/g en base seca que contenga, de modo que se considera una composta aceptable no contaminada y utilizable en cultivos o mejorador de suelos.

ACTIVIDAD MICROBIOLÓGICA

De acuerdo a lo que menciona Ochoa (2013) la concentración promedio apropiada es de 45 µg/g de CO₂, a diferencia de lo que se encontró en este trabajo para la composta con biopreparado es de 34 µg/g y para el testigo de 15 µg/g. Aunque es un valor bajo, existe un aumento de actividad microbiana en el tratamiento, lo cual sugiere que esa sea la razón por la cual la composta con biopreparado de manzanilla se obtuvo en menor tiempo.

Cuadro 12. Concentración de CO₂ (µg/g) en los tratamientos de composta.

Tratamiento	CO ₂ (µg/g)
Testigo	15
Con biopreparado	34

* Análisis realizado por Laboratorios ONSITE México, S.A de C.V.

11. SUGERENCIAS.

Es importante mencionar que las pilas que se formaron para este procedimiento fueron creadas con volúmenes muy pequeños de material, debido a esto, se puede inferir que esto influyó en el comportamiento general de los sistemas.

De acuerdo a lo evaluado se propone tener en cuenta lo siguiente para experimentaciones futuras:

- a) Verificar el tipo de residuos que se colocan inicialmente en la pila y, de observarse materiales con contenidos altos de humedad, se coloquen materiales del tipo voluminoso que reducirán esa condición y además poseen alta porosidad. Según Cogger *et al.* (1999), esto producirá una baja en el contenido de humedad general de la pila y ayudará a mantener condiciones más estables durante el proceso.
- b) Tener especial cuidado en verificar que el contenido de nitrógeno en residuos sólidos de materia prima sea mayor, ya que en este no se realizó una valoración inicial en dichos residuos. Debe hacerse el cálculo inicial en cuanto a tipos de materiales que se coloquen y sus aportaciones nutrimentales, calculando los valores finales de la composta para así tener un producto más balanceado en cuanto a resultados se refiere y lograr principalmente el objetivo de tener una composta de mejor calidad para que pueda ayudar en realidad en los cultivos en los que se aplique.
- c) Verificar los valores de pH en el transcurso del proceso para corregir valores altos o bajos que limiten la disponibilidad de nutrimentos.

12. ÍNDICE COSTO / BENEFICIO.

Los resultados costo/beneficio obtenidos fueron satisfactorios para ambos tipos de composta, donde el índice resultó > 1 . El índice para el tratamiento con biopreparado fue de 1.25 y el del testigo fue de 1.31, lo que significa que son rentables.

Si bien, es cierto que la composta testigo posee un índice mayor que el tratamiento, en ambos casos las ganancias son mayores que la inversión inicial, tal como lo describen Cohen y Franco (2006), por lo cual se tiene un proyecto aconsejable, capaz de redituar la inversión más un excedente.

Los insumos utilizados en el proceso y la mano de obra, representan un costo mínimo comparado con los beneficios obtenidos; principalmente si se valoran los beneficios no solo económicos traducidos en la reducción de RSU orgánicos, disminución de contaminación, ayuda en restauración de suelos y mejora de cultivos, siendo el principal beneficio la reducción del tiempo de maduración de la composta.

13. CONCLUSIONES

La aplicación de un biopreparado de manzanilla al proceso de degradación de residuos presentó un efecto diferencial en las propiedades físicas y químicas de la composta final y redujo el tiempo de mineralización de los residuos orgánicos en una composta.

Mejóro significativamente el espacio poroso de la composta, lo cual permitirá una mayor mineralización y en teoría una mejor disponibilidad de nutrimentos; así como la mejor conservación de humedad

El contenido de materia orgánica fue alto en ambos casos (mayor al 70%), lo cual lo hace susceptible de aprovechar por las plantas a las que se le adicione.

La conductividad eléctrica se ve disminuida cuando la composta es tratada con biopreparado, permitiendo así una disminución de sales contenidas.

El nivel de nitrógeno, fue bajo en ambas compostas, situación que no es adecuada si lo que se quiere es incrementar los nutrimentos en el sustrato de cultivo al que se adicione. Se recomienda el uso de esta composta como un mejorador de suelos y biorremediador, y no como mejorador de cultivos por los niveles bajos de nutrimentos que se presentan.

La cantidad de coliformes fecales y totales presentes en la composta con biopreparado sitúan a la misma en una clasificación del tipo A, es decir, la que contiene una cantidad mínima de coliformes.

Los resultados costo/beneficio fueron satisfactorios para ambos tipos de composta (índice > 1), lo que hace que sea económicamente rentable, además de que los beneficios no económicos son de gran importancia porque ayudaran a disminuir los efectos provocados por la contaminación y principalmente, en el caso del biopreparado, ayudaran a realizarla en un tiempo considerablemente menor.

Estas compostas son una buena alternativa para el cultivo de diversas plantas.

14. LITERATURA CITADA

- ✓ Atiyeh, R. M., Edwards, C. A., Subler, S. Metzger, J. D. 2001. Pig manure vermicompost as a component of a horticultural bedding plant medium: effects on physicochemical properties and plant growth. *Bioresource Technology*, 78: 11-20
- ✓ Avallone, R., Zanolli P., Puia, G., Kleinschnitz, M., Schreier, P., Baraldi, M. 2000. Pharmacological profile of apigenin, a flavonoid isolated from *Matricaria chamomilla*. *Biochemical Pharmacology*, 59 (11): 1387-1394.
- ✓ Barbaro, L. A., Karlanian, M. A., Morisigue, D. 2010. Utilización de azufre micronizado en la corrección del pH de compost de residuos de poda. *Agriscientia*, 27(2):125-130
- ✓ BDMTM. 2009. Atlas de las Plantas de la Medicina Tradicional Mexicana. México. Consultado el 14 de diciembre de 2012. Disponible en: <http://www.medicinatradicionalmexicana.unam.mx/index.php>
- ✓ Bohinski, R. C. 1991. Bioquímica 5a edición. Addison – Wesley. Wilimngton, USA. 739 p.
- ✓ Bono, M. E., Tomás, C. J. 2006. Residuos urbanos y sustentabilidad ambiental. Instituto Mediterráneo para el desarrollo sostenible. España. 240p.
- ✓ Buenrostro, O., Cram, S., Bernache, G., Bocco, G. 2000. La digestión anaerobia como alternativa de tratamiento a los residuos sólidos orgánicos

generados en los mercados municipales. *Revista Internacional de Contaminación Ambiental*, 16 (1): 19-26.

- ✓ Canellas, L. P., Facanha, A. R. 2004. Chemical nature of soil humified fractions and their bioactivity. *Pesquisa Agropecuaria Brasileira*, 39 (3): 233-240.
- ✓ Carrera, F., Nuñez, E. 2001. Plantas Medicinales CE Costa Rica. Universidad Americana. Costa Rica. 25 p.
- ✓ Castrillón, Q. O., Bedoya, M. O., Montoya, M. D. 2006. Efecto del pH sobre el crecimiento de microorganismos durante la etapa de maduración en pilas estáticas de compost. *Producción + Limpia*, 1(2): 87-98.
- ✓ CEAMA. Comisión Estatal del Agua y Medio Ambiente. 2006. Plan de manejo de residuos sólidos urbanos y de manejo especial. Gobierno del estado de Morelos. México. 10 p.
- ✓ Cohen, E., Franco, R. 2006. Evaluación de proyectos sociales. Siglo veintiuno. México, D. F. 171-180 p
- ✓ Contreras, L. J. 2003. Generación de residuos sólidos urbanos en el municipio de Victoria, Tamaulipas. Tesis Ingeniero en Ciencias Ambientales. UAT.
- ✓ Cogger, C. G., Sullivan D. M., Kropf, J. A. 1999. Sustainable gardening. The Oregon – Washington master gardener handbook. Whashington State University. 495 p.

- ✓ Cruz, S. A. M. 2010. La composta como alternativa para la gestión de residuos sólidos municipales en Miahuatlán de Porfirio Díaz, Oaxaca, 2009. Tesis, Universidad de la Sierra Sur.

- ✓ Cuchman, A., Diverso G., Villaverde, H. 1995. Producción orgánica: experiencias, tecnologías y posibilidades comerciales de la agricultura sustentable en el Uruguay. Montevideo: CEADU (Centro de Estudios, análisis y comunicación del Uruguay), Agricultura Orgánica. Montevideo. Uruguay. 200 p.

- ✓ Delgado, R., España, M. 2000. Evaluación de la biomasa microbiana por los métodos de fumigación – incubación y fumigación – extracción y si relación con la disponibilidad de nitrógeno en suelos de Venezuela. *Agronomía Tropical* 50(4): 537-551.

- ✓ Duarte, M. C., Figueira, G. M., Sartoratto, A., Rehder, V. L., Delarmelina, C. 2005. Anti-Candida activity of Brazilian medicinal plants. *Journal of Ethnopharmacol* 97(2):305-311.

- ✓ Durán, A. 2004. Composición del suelo. Facultad de Agronomía. Universidad de la República. Montevideo. Uruguay. 50 p.

- ✓ Engelmeier, D., Hadacek, F., Hofer, O., Lutz-Kutschera, G., Nagl, M., Wurzl, G., Greger, H. 2004. Antifungal 3-butylisocoumarins from Asteraceae-Anthemideae. *Journal of Natural Products* 67(1):19-25.

- ✓ Escaich, J., Soler, F., Juncosa, R., Gomis, P. 1991. Fructificación en cultivos tratados con aminoácidos de hidrólisis enzimática. *Horticultura* 67: 47-52.

- ✓ García, I., González, L. R. 2005. Análisis e identificación de bioestimulantes indólicos en una composta. *Investigación universitaria multidisciplinaria* 4 (4): 7-13.

- ✓ García, M. I., Cruz, F., Larqué, S. A., Soto, M. 2002. Extraction of auxine – like substances from compost. *Crop Research* 24:323-327.

- ✓ Grabarczyk, H., Drozd, B., Hladon, B., Wojciechowska, J. 1977. Sesquiterpene lactones. Part XV. New cytostatic active sesquiterpene lactone from herb of *Anthemis nobilis* L. Pol. *Journal of Pharmacol Pharm* 29(4):419-423.

- ✓ Hanan, A. A. M., Mondragón, P. J. 2005. Malezas de México. Asteraceae=Compositae – *Matricaria recutita* L. CONABIO. Consultado el 28 de septiembre de 2012. Disponible en <http://www.conabio.gob.mx/malezasdemexico/asteraceae/matricaria-recutita/fichas/ficha.htm#9.%20Referencias>

- ✓ Humer, M., Lechner, P. (1999). Methane oxidation in compost cover layers on landfills. *Proceedings Sardinia 99. Seventh International Waste Management and Landfill Symposium*. CISA. Cagliari. 3:403-410

- ✓ Jiménez, C. B. E. 2001. La contaminación ambiental en México: causas, efectos y tecnología apropiada. Limusa. Colegio de Ingenieros Ambientales de México. Instituto de Ingeniería de la UNAM y FEMISCA. 920 p.

- ✓ Komilis, D. P., 2004. A kinetic analysis of solid waste composting at optimal conditions. *Elsevier Waste Management*. 26 (2006):82-91.

- ✓ König, G.M., Wright A.D., Keller W.J., Judd R.L., Bates S., Day C. 1998. Hypoglycaemic activity of an HMG-containing flavonoid glucoside, chamaemeloside, from *Chamaemelum nobile*. *Planta Med.* 64(7):612-4.

- ✓ Ma, C.M., Winsor, L., Daneshtalab, M. 2007. Quantification of spiroether isomers and herniarin of different parts of *Matricaria matricarioides* and flowers of *Chamaemelum nobile*. *Phytochem Anal* 18(1):42-49.

- ✓ Martínez, M. 1979. Catálogo de nombres vulgares y científicos de plantas mexicanas. Fondo de cultura económica. México, D.F. 1220 p.

- ✓ McKay, D. L., Blumberg, J. B. 2006. A Review of the bioactivity and potential health benefits of chamomile tea (*Matricaria recutita* L.). *Phytotherapy Research.* 20 (7), 519-530.

- ✓ Miller, G. T. 1993. *Environmental Science-Sustaining the Earth.* 4a ed. Wadsworth, Belmont, California.

- ✓ Mora, R. J. A. 2004. El Problema de la basura en la ciudad de México. Adolfo Christlieb Ibarrola. Fundación de Estudios Urbanos y Metropolitanos. México. 82 p.

- ✓ Niculcar, C. R. C. 1999. Efecto de la aplicación de un producto bioestimulante a base de aminoácidos, ácido giberélico y una solución de macro y micro elementos sobre la cuaja y retención de frutos de palto (*Persea americana* Mill.) cv. Hass en la zona de Quillota. Tesis, Facultad de agronomía, Universidad católica de Valparaíso.

- ✓ NMX-FF-109-SCFI-2007 Humus de lombriz (lombricomposta) – especificaciones y métodos de prueba.

- ✓ Nollet, L. M. L. 1996. Handbook of food analysis. Marcel Dekker. New York. 182 p.

- ✓ NOM-021-RECNAT-2000. Especificaciones de fertilidad, salinidad y clasificación de suelos, estudio, muestreo y análisis.
- ✓ NOM-004-SEMARNAT-2002. Lodos y biosólidos. Especificaciones y límites máximos permisibles de contaminantes para su aprovechamiento y disposición final.
- ✓ Norman, G. R., Streiner, D. L. 1996. Bioestadística. Harcourt. Madrid, España. 88-97 p.
- ✓ Ochoa, S. I., 2013. Curso de compostaje en la UAM: Tipos de compost. Asociación Ferrer i Guàrdia - Universidad Autónoma de Madrid. España. Consultado el 29 de enero de 2014. Disponible en http://www.uam.es/personal_pdi/ciencias/eeymar/default_archivos/7.TIPOS%20DE%20COMPOST.pdf
- ✓ Palmisano, A. C., Barlaz, M. A. 1996. Microbiology of Solid Waste. CRC Press Inc. Florida. USA. 185 p.
- ✓ Picó, A. G. 2002. Composta. Servicio de extensión agrícola. Universidad de Puerto Rico. Puerto Rico.
- ✓ Reinoso, J. V. A. 2011. Evaluación de alternativas para el manejo de los residuos sólidos en el municipio de Balboa Risaralda. Universidad Tecnológica de Pereira. Pereira, Colombia. 115 p.
- ✓ Reza, B. G., Sauri, R. M., Castillo, B. E., Méndez, N. R. 2006. Aprovechamiento de la composta para la oxidación de metano. *Revista*

AIDS de ingeniería y Ciencias Ambientales: Investigación, desarrollo y práctica. 1(1), 1-13.

- ✓ Rodríguez, S. M., Córdova, V. A. 2006. Manual de compostaje municipal. Tratamiento de residuos sólidos urbanos. Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales (SEMARNAT), Instituto Nacional de Ecología (INE). México. 104 p.
- ✓ Rossi, T., Melegari, M., Bianchi, A., Albasini, A., Vampa, G. 1988. Sedative, anti-inflammatory and anti-diuretic effects induced in rats by essential oils of varieties of *Anthemis nobilis*: a comparative study. *Pharmacology Research Communications* 20 (5):71-74.
- ✓ Rzedowsky, G. C., Rzedowsky J. 2001. Flora fanerogámica del Valle de México. 2ª edición. Instituto de Ecología y Comisión Nacional para el Conocimiento y Uso de la Biodiversidad. Pátzcuaro, Michoacán, México. 494 p.
- ✓ SAGARPA. 2009. Boletín ASERCA Regional Península: “La caña de Azúcar”. Gobierno del Distrito Federal. Dirección Regional Peninsular. 22(09):26-27.
- ✓ SAGARPA. 2012. Manual para la elaboración de abonos orgánicos a partir de técnicas como la composta y lombricomposta. Gobierno Federal. Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias. México D.F. 56 p.
- ✓ Salas, A. J. 2006. Producción orgánica o ecológica de cultivos hortofrutícolas (Mora, Uchuva y Tomate de árbol). Guía para la elaboración y aplicación de abonos orgánicos compostados, caldos microbianos y

preparados vegetales y minerales para el control de plagas y enfermedades en cultivos hortofrutícolas. Programa Integral para la Gestión Ambiental Empresarial – PIGAE. Bogotá, Colombia. 38 p.

- ✓ Secretaría del Medio Ambiente. 2005. Informe Climatológico Ambiental del Valle de México. Gobierno del Distrito Federal. 10 p.

- ✓ SEDESOL, Secretaría de Desarrollo Social. 2001. Manual para determinar la factibilidad de reducción y reuso de residuos sólidos municipales. Manuales técnicos para el Manejo de Basura. Publicación electrónica. México D.F. 115 p.

- ✓ SEMARNAT. 2009. El medio ambiente en México. Resumen. Consultado el 25 de junio de 2013. Disponible en http://app1.semarnat.gob.mx/dgeia/resumen_2009/index.html

- ✓ Shogo, S. 1999. Técnicas Básicas de Agricultura Orgánica. República Dominicana. 39 p.

- ✓ Soliva, M., López M. 2004. Calidad del compost: Influencia del tipo de materiales tratados y de las condiciones del proceso. Escuela Superior de Agricultura de Barcelona. Valsaín. España. 20 p.

- ✓ Soto, L. 2006. Efecto de diferentes dosis de AIB sobre el enraizamiento de *Benjamina ficus* L. en diferentes épocas del año. *Ra Ximhai*. 2(3):795-814.

- ✓ Sundberg, C. 2003. Food waste composting – effect of heat, acids and size. Swedish University of Agricultural Sciences. Department of Agricultural Engineering. Uppsala. 38 p.

- ✓ Sundberg, C. 2005. Improving compost process efficiency by controlling aeration, temperature and pH. Faculty of Natural Resources and Agricultural Sciences. Uppsala. 49 p.
- ✓ Sztern, D., Pravia, M. A. 1999. Manual para la elaboración de compost. Bases conceptuales y procedimientos. Organización Panamericana de la Salud (OPS). Uruguay. 69 p.
- ✓ Tang, J. C., Shibata, A., Zhou, Q., Katayama, A. 2007. Effect of temperature on reaction rate and microbial community in composting of cattle manure with rice Straw. *Journal of Bioscience and Bioengineering*. 104, 321-328.
- ✓ Tayupanta, C. D. 2011. Validación del efecto de tres bioestimulantes radicales en viveros de rosa de la asociación agropecuaria Quinlata, Patate – Ecuador. Tesis, Ingeniería en ciencias agropecuarias, Escuela Politécnica del ejército.
- ✓ Tchobanoglous, G., Thiesen, H., Vigil, S. 1994. Gestión integral de residuos sólidos. Volumen I. Mc Graw-Hill. Interamericana de España. España. 210p.
- ✓ Terrile, R., Price, J. L. 2010. Biopreparados para el manejo sostenible de plagas y enfermedades en la agricultura urbana y periurbana. IPES/FAO. Perú. 96 p.
- ✓ Tognolini, M., Barocelli, E., Ballabeni, V., Bruni, R., Bianchi, A., Chiavarini, M., Impicciatore, M. 2006. Comparative screening of plant essential oils: phenylpropanoid moiety as basic core for antiplatelet activity. *Life Sciences*. 78(13):1419-1432.

- ✓ Torres, M. J. 2009. Ficha Técnica Manzanilla, *Chamomilla recutita* L. Publicación virtual Red Peruana de Alimentación y Nutrición (r-PAN). Lima, Perú. 7 p.
- ✓ Turgeon, A.J. 2005. Turfgrass Management. Person Prentice Hall. Nueva Jersey, Estados Unidos. 415 p.
- ✓ Valderrama, A. L. C., Herrada, J. J., Cuervo L. L. E. 2012. Efecto de biopreparados *Azospirillum* sp., *Azotobacter* sp. y *Trichoderma* sp. como estimuladores en la germinación de esquejes de caña de azúcar (*Saccharum Officinarum* L.). Memorias Congreso Atalac – Tecnicaña. Cali, Colombia.
- ✓ Vento, P. M. 2000. Estudio sobre la preparación del compost estático y su calidad. Universidad de Camagüey. Instituto de Suelos. Camagüey. 55 p.
- ✓ Villaseñor, R. J. L., Espinosa, G. F. J. 2004. Catálogo de malezas de México. Universidad Nacional Autónoma de México. Consejo Nacional Consultivo Fitosanitario. Fondo de Cultura Económica. México, D. F. 448 p.

15. ANEXO 1

Las temperaturas que se registran en esta tabla son el valor mínimo y el valor máximo entre las que oscilaban los 5 sistemas de composteo testigo y con biopreparado.

Tabla general de registro de Temperaturas

Día	Fecha	Agua (ml)	Temperatura	Biop (ml)	Temperatura
1	01-abr	2000		2000	
4	04-abr	500	23.4 - 28.3		22.7 - 24.3
7	07-abr		31.3 - 32.4		22.9 - 25.0
11	11-abr		23.1 - 27.0		27.6 - 31.4
13	13-abr		22.4 - 25.4		26.1 - 30.1
15	15-abr	200	25.3 - 28.4		29.0 - 30.0
28	28-abr		21.8 - 23.3	500	23.3 - 24.6
33	03-may		21.3 - 22.7		18.9 - 20.5
35	05-may		20.4 - 21.6		20.6 - 21.2
39	09-may		23.6 - 24.2	500	24.7 - 26.4
46	16-may	500	21.1 - 21.9	500	22.4 - 23.8
55	25-may	1000	23.4 - 24.5	500	24.7 - 26.5
57	27-may	1000	22.5 - 26.9	500	23.2 - 26.7
61	31-may	500	24.0 - 24.7		Se levantó
63	02-jun		20.5 - 21.1		
67	06-jun		25.0 - 27.8		
74	13-jun		22.4 - 27.2		
76	15-jun		Se levantó		
		5,700			4,500