

UNIVERSIDAD NACIONAL AUTONOMA DE MÉXICO

FACULTAD DE ESTUDIOS SUPERIORES ZARAGOZA.

VALIDACIÓN DE UN PROTOTIPO USANDO AIREACIÓN FORZADA EN PILA ESTÁTICA, PARA LA BIODEGRADACIÓN (ESTABILIZACIÓN BIOQUÍMICA) DE MATERIA ORGÁNICA PROCEDENTE DE MERCADOS.

T E S I S

QUE PARA OBTENER EL TITULO DE

BIÓLOGA

PRESENTA:

MARÍA ANTONIA FLORES GARCÍA

Director; M. en C. LUIS FELIPE PÉREZ HIDALGO

Asesor Interno: M en. C. MARÍA DE JESÚS SÁNCHEZ COLÍN



Universidad Nacional
Autónoma de México

Dirección General de Bibliotecas de la UNAM

Biblioteca Central



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.

A la memoria de mi madre Julia quien me enseñó con su ejemplo a enfrentar y abrazar con todas sus fuerzas a la vida.

A la memoria de mi padre Pastor quien me enseñó el gusto por el estudio y a ser una persona honesta y trabajadora.

A mi amado esposo Luis Felipe quien con su ejemplo, dedicación y amor, ha sido el motivo de mi superación.

A mis hermanos: Benjamín y Patricia a quienes amo, respeto y admiro por ser personas trabajadoras y por enfrentar la vida con amor y respeto.

A mi abuelita María quien me cuidó y educó desde mi infancia hasta mi adolescencia, con amor y respeto.

Agradecimientos.

A mi escuela, La Facultad de Estudios Superiores Zaragoza, por ser parte de mi formación académica a nivel licenciatura.

A la Universidad Tecnológica de Puebla (UTP), quien me acogió como uno más de sus estudiantes, permitiéndome realizar mi trabajo de tesis.

A mi director de tesis M. en C. Luis Felipe Pérez Hidalgo quien mostró gran profesionalismo y entusiasmo para el desarrollo de la investigación, mil gracias.

A mi asesor interno, M. en C. María de Jesús Sánchez Colín quien con su apoyo, atención prestada y su calidad humana, mis más sinceros agradecimientos.

A los sinodales:

Biólogo. José Rubén Zulvarán Rosales

Química. María Guadalupe de la Cruz Corona Vargas.

Biólogo. Elvia García Santos.

Por la revisión del escrito y sus valiosas observaciones para el mejoramiento del mismo.

ÍNDICE.

i. Índice de fotografías, tablas, y gráficas	3
1.-RESUMEN	4
2.-INTRODUCCIÓN.	5
3.-JUSTIFICACIÓN	9
4.-OBJETIVOS E HIPOTESIS	11
4.1. Objetivo general.	11
4.1.1. Objetivos particulares.	11
4.2. Hipótesis.	11
5.-MARCO TEÓRICO.	12
5.1 Bioquímica de composteo	15
5.2. Fases de Composteo.	18
5.2.1.Fase de latencia y crecimiento.	18
5.2.2.Fase termofílica.	19
5.2.3.Fase de maduración.	19
5.3. Factores que Influyen el Proceso de Composteo.	21
5.3.1. Composición del material.	21
5.3.2. Temperatura.	22
5.3.3. Humedad.	23
5.3.4. Aireación	23
5.3.5. Relación Carbono-Nitógeno (C/N)).	24
5.3.6. pH.	24
5.3.7. Selección de materiales acondicionadores	25
5.4. Análisis Físicoquímico de la Composta.	25
5.5. Propiedades Físicas Óptimas del Producto Final Compostead.	27
5.6. Descripción del Proceso de Composteo.	27
5.7. Usos y Aplicaciones del Compost.	29
5.8. Perspectiva Teórica Actual de los Métodos Utilizados y su Eficiencia para el Composteo.	31
5.9. Importancia de la Aplicación de Fertilizantes Orgánicos a los Suelos.	34
6.-METODOLOGÍA.	36
6.1. Colecta del Material y Transporte.	38
6.2. Procesamiento del Material.	39
6.3. Instalación del Experimento.	41
6.4. Toma de Datos y Ajuste.	50
6.5. Manejo del Material al Terminar el Proceso.	50
6.6. Análisis Físico y químico.	51
7. ANÁLISIS DE RESULTADOS.	52
8. CONCLUSIONES.	63
9. IMPACTO SOCIAL.	65
10 .BIBLIOGRAFÍA	66
11. Costos del prototipo, construcción y arranque	73
12. Apéndice 1	74

i) ÍNDICE DE FOTOGRAFÍAS, TABLAS Y FIGURAS.

Foto 1	Representa la colecta de los materiales, que se realizó en la zona de la subasta de la central de abastos, utilizando para su transporte una camioneta oficial de 1.5 toneladas de capacidad.	39
Foto 2	Representa la composición macroscópica de los materiales orgánicos.	40
Foto 3	Olote de maíz utilizado como agente mejorador de la porosidad de la materia orgánica.	41
Foto 4	Homogeneización a pala de la materia orgánica y el olote.	42
Foto 5	Área de experimentación techada, con control y pozos de muestreo de lixiviados.	42
Foto 6 y 7	Detalle de los registros colectores de lixiviados. A la derecha se observa un garrafón que permite tener mayor control de los mismos para su cuantificación y análisis.	43
Foto 8	Soplador de 400 m ³ /hr, que se conectó con la tubería.	44
Foto 9	Tubería perforada en "tres bolillo", éste sistema sirvió para inyectar el aire a la pila con el material a tratar.	45
Foto 10	Colocación de una capa de grava con grosor aproximado de 15 cm, con el fin de proteger las perforaciones de los tubos y además ayuda a que los lixiviados que se formen puedan salir libremente.	46
Foto 11	El sistema se cubre con una tela de plástico, para mantener a las perforaciones de los tubos libres de posibles obstrucciones.	47
Foto 12	Se agregó una capa de aserrín, para evitar el contacto directo del material orgánico con el sistema de aireación.	47
Foto 13	Llenado de la pila, con el material orgánico.	48
Foto 14	El experimento ya instalado. Como se puede ver se colocó una capa de paja de pasto, para evitar moscas y atenuar olores.	48
Foto 15	Instalación de los termopares antes del llenado de la pila, para monitorear la temperatura.	49
Foto 16	Composta obtenida al final del proceso.	61
Tabla 1	Valores de la temperatura promedio determinados cada día durante el proceso..	52
Tabla 3	Composición química de algunos estiércoles realizados por Castellanos, 1982, Donahue <i>et al.</i> , 1977 y Villarroel, 1979.	57
Tabla 2	Composición química de la composta.obtenida en el experimento.	57
Tabla 4	Resultados físicos y químicos del material orgánico composteado	58
Figura 1	Curva de tiempo contra temperatura, que muestra la dinámica del volumen de aproximadamente 5.5 m ³ de material composteándose en un sistema por aireación forzada.	53

1.-RESUMEN

Encontrar la forma de disminuir la cantidad de tiempo y dinero para realizar la degradación de los residuos orgánicos, es una de las búsquedas en el manejo integral de los residuos sólidos municipales. Por tal motivo el estudio realizado se fundamentó en el composteo por aireación forzada de desechos orgánicos de frutas y verduras, las cuales se cortaron a un tamaño de 5-7 cm., así mismo se le agregó un mejorador de porosidad (olote) con el objeto de aumentar la eficiencia de la degradación. Una vez hecha la mezcla se vació a una pila que contenía en la base una tubería con perforaciones por donde se inyectó el aire que provenía de una bomba. El proceso de composteo duró 27 días alcanzando una temperatura promedio de 64°C., en el día 7 la temperatura fue de 43°C y comenzó a descender hasta alcanzar la temperatura ambiente. Posteriormente se colocó en el área de curado los siguientes 30 días. Se obtuvo un total de 45 Kg. Los resultados de los análisis químicos de la composta obtenida fueron: para el nitrógeno 2.3%, fósforo 0.62%, potasio 3.62%, materia orgánica 50.34%, pH= 10 y C.E. = 38.3 ds/m. Con respecto al análisis cualitativo se obtuvo que su aroma fue leñoso y su color café-oscuro. Los costos tanto de la construcción del centro de composteo como el arranque del prototipo, fueron de \$38, 950.00. En conclusión el prototipo fue eficiente y terminó el proceso de composteo en 27 días.

2. INTRODUCCIÓN.

La generación de residuos sólidos urbanos y municipales es una de las actividades en las que los materiales son identificados como, "sin ningún valor o uso", por lo tanto estos materiales son desechados y son recogidos sin separación alguna, restando no darles un uso definido o mucho menos algún uso industrial (Tchobanoglous *et al.*, 1994). Algo muy importante es su composición ya que están constituidos en promedio por un 30-50% de materiales orgánicos y el resto de otros componentes. (Pèrez y Morales). La generación y disposición final de residuos sólidos en este momento en el país, es una actividad no controlada y genera problemas ambientales ya muy conocidos, como son: la generación y penetración de lixiviados al suelo y aún a los mantos acuíferos, malos olores, ser vector para la proliferación de enfermedades y de fauna acompañante como las ratas. En general degenera el paisaje.

Por las razones anteriores es necesario desarrollar y adaptar tecnologías y metodologías para el manejo y disposición de residuos sólidos, tanto orgánicos como inorgánicos, considerando los siguientes aspectos: bajo costo; mínimo impacto al ambiente; eficiencia en cuanto a reducción de contaminantes y patógenos; capacidad de adaptación para los requerimientos de desarrollo futuro y aprovechamiento de la energía que contienen estos residuos. (Ramírez ., 1994).

Las tecnologías más utilizadas para este fin son los rellenos sanitarios y la incineración, que requieren altos costos de inversión y de operación. Estas tecnologías comienzan a ser desplazadas por nuevos procedimientos en los cuales los desechos son considerados como una fuente de energía, un fertilizante, una materia prima, etc. (Trejo, 1994), un ejemplo de estas metodologías es **el composteo**, que es la biotransformación o **mineralización de materiales orgánicos a compuestos estables**, que se pueden aplicar de manera directa al suelo, como un mejorador de sus condiciones biofísicoquímicas, además de mejorar su fertilidad y aumentar la producción de los cultivos. (Rioch, 1990).

El composteo mineraliza a la mayoría de los compuestos orgánicos que contienen los residuos sólidos, con excepción de los componentes plásticos de goma y de cuero que llegaran a contener, la fracción orgánica de los residuos sólidos se puede considerar compuesta por proteínas, aminoácidos, lípidos, carbohidratos, ligninas, celulosa y ceniza. (Tchobanoglous *et al.*, 1994).

El composteo es un proceso de biotransformación, en el que participan las bacterias aeróbicas, anaeróbicas obligadas y facultativas, básicamente el establecimiento de cada grupo depende de la concentración o ausencia de oxígeno (O₂) en el ambiente donde se desarrollan y casi siempre con base en este coexisten y predominan los diferentes grupos. Bioquímicamente el grupo de bacterias aeróbicas es mucho más eficiente en la transformación de materiales orgánicos que los otros grupos, ya que lleva a los compuestos orgánicos a través

del proceso de respiración a bióxido de carbono (CO₂) y agua (H₂O), dos moléculas simples; en tanto que los grupos de bacterias anaerobias obligadas y facultativas producen moléculas mucho más complejas, por tanto menos metabolizadas o aprovechadas por los organismos, desde este punto de vista los organismos aeróbicos transforman a mayor velocidad, esto es, en menor tiempo a los materiales orgánicos. (Tchobanoglous ., 1994). Las bacterias no son los únicos organismos que participan en la biotransformación, también participan los hongos como grupos principales, la bioquímica de estos organismos también está regulada por las condiciones ambientales del material orgánico. (Noriega *et al.*, 1998).

Los tres sistemas de compostaje utilizados en la actualidad son el de **pila estática aereada** que consiste en inyectar el aire al material orgánico, organizado en forma de pila o hilera, bajo esta condición el material se mantiene en la zona bioquímica aeróbica, siendo de los más eficientes; por **volteo de pila o de hilera** este consiste en simplemente mover de un sitio a otro el material, para mecánicamente integrar el oxígeno contenido en el aire y los **sistemas mecánicos cerrados, o de reactor**, que son muy eficientes pero caros, ya que mantienen al material en condiciones totalmente controladas. (Tchobanoglous *et al.*, 1994).

Con base en lo anterior y tomando como referencia que los sistemas por volteo biotrasforman al material en tres meses, más un período de curado y los sistemas de aeración forzada teóricamente hacen lo mismo en 21 días más el

período de curado. Se sometió a prueba el diseño y la eficiencia de un prototipo con bombeo de aire forzado, en sus partes constitutivas y el tiempo de mineralización, utilizando material biodegradable de desechos de mercado (frutas y verduras).

El período de curado citado anteriormente consistió en dejar reposar la composta alrededor de 30 días, para eliminar olores y para que se estabilizara (Tchobanoglous *et al.*, 1994). Una vez terminado este proceso se puede aplicar a suelos o simplemente se puede guardar en bolsas oscuras en un lugar seco y a la sombra, pudiendo durar de uno a más años. (Rioch, 1990). Es importante mencionar que para tener la certeza de que calidad de composta obtenida, se efectuaron ciertos análisis físicos y químicos, tales como: color, aroma, pH, nitrógeno, fósforo , potasio y materia orgánica. (Ramírez *et al.*, 1994).

3,-JUSTIFICACIÓN.

En nuestro país los métodos usados para el control de la basura son los de incineración, rellenos sanitarios y los basureros a cielo abierto. Tales procedimientos de manera general causan emisiones de contaminantes, malos olores, contaminación de suelos y subsuelos así mismo de mantos freáticos. Es necesario mencionar que también se producen una gran cantidad de microorganismos patógenos y otro tipo de organismos que perjudican a la sociedad y que es necesario tomar en consideración.

La sociedad contemporánea produce una gran cantidad de residuos sólidos que generan una gran cantidad de problemas, de ahí la importancia de evaluarlos, particularmente los orgánicos biodegradables que son los de mayor impacto ambiental, por lo que determinar su valor y utilidad agronómica es la base para su manejo.

Por lo antes mencionado es necesario comprender que la utilización de métodos que eliminen la parte orgánica de los residuos sólidos, que son los principales contaminadores ya que son los responsables de la liberación de los lixiviados, es fundamental. Con el manejo de los residuos orgánicos se elimina buena parte del problema ambiental y ya sólo se tiene que establecer un programa de manejo para los residuos sobrantes. Es consecuencia que al manejar la parte orgánica se transforme en composta que es utilizable para el

mejoramiento de la fertilidad del suelo y en su momento hasta generar un producto que se pueda vender.

Se considera entonces que el prototipo que se propone cumple con la eliminación o manejo de los residuos sólidos orgánicos, ya que los reduce al 5%, además los transforma en composta que se podrá utilizar principalmente para beneficiar a los suelos (textura, nutrientes, erosión etc.). Es importante señalar que comparando éste prototipo con el del reactor, sus costos son mínimos, el impacto ambiental es bajo, su operación es mínima, tiene una buena adaptación para los requerimientos de desarrollo futuro.

4. OBJETIVO E HIPÓTESIS.

4.1. Objetivo general.

Validar un prototipo para el composteo de frutas y verduras por el método de aireación forzada.

4.1.1. Objetivos particulares.

- A)** Fundamentar los parámetros de diseño, bibliográficamente.
- B)** Construir el prototipo de aireación forzada.
- C)** Evaluar el funcionamiento del prototipo.
- D)** Realizar las siguientes pruebas físicas y químicas a la composta obtenida, Físicas (aroma y color) Químicas (nitrógeno, fósforo, potasio, pH, conductividad eléctrica y materia orgánica)

4.2. Hipótesis.

El composteo de frutas y verduras se llevara a cabo utilizando el prototipo propuesto denominado composteo por aireación forzada, el cual se efectua aproximadamente en un mes, comparado con el composteo por volteo, que dura aproximadamente tres meses.

5. MARCO TEÓRICO.

Los residuos tanto rurales como urbanos comprenden todos los desechos que provienen de actividades animales y humanas, éstos, normalmente son de consistencia sólida y son eliminados como inútiles. Desde los días de la sociedad primitiva, los seres humanos y los animales han utilizado los recursos de la tierra para la supervivencia y la evacuación de residuos. En tiempos remotos, la eliminación de los residuos humanos y otros no planteaban un problema, ya que la población era pequeña y la cantidad de terreno grande. No fue hasta el siglo XIX cuando las medidas de control de la salud pública llegaron a ser de una consideración vital para los funcionarios públicos, quienes empezaron a darse cuenta que los residuos sólidos, principalmente los de comida tenían que ser recogidos y eliminados de una forma sanitaria para controlar los roedores, las moscas y otros transmisores de enfermedades, ya que éstos se reproducen en vertederos incontrolados donde hay comida y cobijo. (Tchobanoglous *et al.*, 1994).

La contaminación del aire y del agua, han sido atribuidos a la gestión inapropiada de los residuos sólidos. Es decir cuando los registros colectores en un basurero están mal diseñados, los líquidos que se liberan contaminan las aguas superficiales y subterráneas; así mismo si los desechos sólidos no son tratados adecuadamente, la descomposición de los mismos libera al ambiente olores desagradables. Aunque la naturaleza tiene la capacidad de diluir, extender, degradar, absorber o, de otra forma, reducir el impacto de los residuos no

deseados en la atmósfera, en las vías fluviales y en la tierra, han existido desequilibrios ecológicos allí donde se ha excedido la capacidad de asimilación natural. (Tchobanoglous *et al.*, 1994).

Debido al gran problema que se tiene con los residuos sólidos (RS) es necesario adoptar una tecnología en continua evolución, para poder tener un control tanto de materia orgánica como inorgánica. (Tchobanoglous *et al.*, 1994).

Idealmente una instalación debería ser funcional, eficaz a través de toda su vida útil y tener bajo costo. (Trejo, 1994).

Hoy día existen dos métodos para poder controlar y transformar los RS.: el de relleno sanitario y el de incineración.

El RELLENO SANITARIO es considerado internacionalmente como la opción antigua, aunque aún es la más utilizada para la disposición final de los desechos sólidos, lo cierto es que a partir de los años cuarenta se difundió ampliamente en todo el mundo. Este es un método de disposición final de la basura más completo y de menor costo en inversiones que existe, siempre que se cuente con un terreno a bajo costo. (Trejo, 1994). A pesar de ser muy popular a nivel mundial, se prevé que en el futuro dejará de serlo debido a las dificultades para encontrar terrenos adecuados a distancias que resulten económicas para su transporte. (Noriega *et al.*, 1998).

El segundo método es la INCINERACION, su propósito principal es convertir los RS en material no peligroso, estable tanto química como microbiológicamente. Un segundo objetivo es obtener energía derivada del uso de RS urbanos como combustible. Esta técnica se comenzó a utilizar a finales del siglo XIX y hoy día se continúa desarrollando, ya que posee la capacidad de una alta reducción del peso y volumen en poco tiempo y espacio. (Trejo,1994).

Las altas cifras de generación de RS que se dan en todos núcleos urbanos del mundo ponen cada vez más de manifiesto la necesidad de contar con tecnología para disposición final de estos materiales en forma segura, eficiente, consistente y económica. (Deffis, 1993).

Un ejemplo de una nueva tecnología es el composteo, y se define como la degradación bioquímica de la materia orgánica, para convertirla en un compuesto bioquímicamente inactivo llamado compost, éste, es un material que se obtiene por la acción microbiana controlada, donde se utilizan los desechos orgánicos como materia prima.(Rioch,1990).

El composteo se desarrolló, originalmente, como un elemento para mejorar los suelos, reponiéndoles la materia orgánica y los micronutrientes perdidos a causa del cultivo exhaustivo. (Trejo, 1994).

Se ha demostrado, gracias a diversos estudios, que la aplicación conjunta de compost y fertilizantes químicos aumenta el crecimiento de los cultivos. Cuando

se añade compost al suelo, se mejora la estructura de los suelos compactos, se mejora la textura de suelos arenosos, se incrementa la capacidad de retención de agua en la mayoría de los suelos y se puede evitar la erosión y el deslave. de los mismos. (Trejo,1994).

Con la excepción de componentes plásticos, de goma y de cuero, la fracción orgánica de la mayoría de los residuos sólidos utilizados (RSU), se puede considerar compuesta por proteínas, aminoácidos, lípidos, hidratos de carbono, celulosa, lignina y materiales minerales como ceniza. (Brunner and Séller,1972).

El proceso de degradación de la materia orgánica es un proceso complejo, donde ocurren reacciones bioquímicas e intervienen organismos vivos, en un ambiente cálido y húmedo (Rioch, 1990).

5.1 Bioquímica del composteo.

El compostaje es esencialmente una reorganización biológica de la fracción de Carbono de la materia orgánica.

El material orgánico ya sea de origen industrial, doméstico o agropecuario, es una mezcla de azúcares, proteínas, hemicelulosas, celulosas, lignina y minerales en diferentes concentraciones (FAO,1991).

Durante el proceso de composteo los nutrientes se mantienen, el 50% del contenido de carbono orgánico se pierde como bióxido de carbono y agua.

Algunos compuestos orgánicos, tales como azúcares, son de forma simple y fácilmente solubles en agua; por ello son rápidamente absorbidos por los microorganismos para convertirlos en energía; otras sustancias tales como las hemicelulosas y celulosa, tienen grandes moléculas, por lo que inicialmente se deben fraccionar por enzimas antes de ser aprovechados por los microorganismos. Finalmente el compuesto más reciente, que se descompone después de un período de tiempo muy largo es la lignina (FAO, 1991).

Por ser diferentes en su estructura molecular cada componente de la materia orgánica presenta un proceso de descomposición diferente, siendo los más estudiados hasta ahora los procesos de descomposición de las proteínas, de los carbohidratos simples, de las celulosas y hemicelulosas.(Ortega, 1978)

DESCOMPOSICIÓN DE PROTEÍNAS. La cadena proteica se rompe en fragmentos peptídicos mediante la hidrólisis de aminoácidos generando amoniaco; cuando se encuentran cantidades adecuadas de carbohidratos al mismo tiempo que se libera amoniaco los carbohidratos se descomponen; si la cantidad de carbohidratos es excesiva, prácticamente no hay liberación de amoniaco, ya que el nitrógeno proteico inmediatamente forma parte de las proteínas que los microorganismos requieren para el protoplasma celular. Posteriormente sucede la oxidación de amonio a nitrito y de nitrito a nitrato, que es la forma disponible de nitrógeno para la planta.(Ortega, 1978).

DESCOMPOSICIÓN DE CARBOHIDRATOS SIMPLES. Los azúcares simples y almidones son rápidamente atacados por los organismos y pasan a formar parte de nuevos tejidos o bien se descomponen en los diferentes productos orgánicos, dependiendo de la naturaleza del compuesto, de los organismos y de las condiciones existentes. (Ortega, 1978).

Los hongos que atacan la glucosa producen ácidos cítricos y oxálicos además de agua y anhídrido carbónico. Las enzimas específicas hidrolizan el almidón para formar dextrinas y finalmente glucosa y maltosa. (Ortega, 1978).

DESCOMPOSICIÓN DE LA CELULOSA. La celulosa resiste la acción de muchos microorganismos del suelo, de las enzimas y de los reactivos químicos; pero al hidrolizarse, produce glucosa en presencia de ácidos concentrados. Las bacterias y hongos específicos la descomponen totalmente, liberando anhídrido carbónico produciendo también sustancias celulares de los microorganismos. (Ortega, 1978).

DESCOMPOSICIÓN DE HEMICELULOSAS. Las hemicelulosas contienen diversos polisacáridos, estos se convierten en azúcares simples por hidrólisis, tales como la glucosa y la pentosa. La rapidez con la que se descomponen las hemicelulosas dependen de su composición química y son desintegradas por bacterias y hongos.

Para lograr la descomposición de los materiales orgánicos, se requiere de la participación de organismos que se encuentran en el material a degradar y en el suelo.(Noriega *et al.*, 1999).

De los organismos edáficos, la lombriz de tierra tiene un papel muy importante en el proceso de descomposición de la materia orgánica, por ello en los últimos años ha despertado gran interés y se ha impulsado su uso para descomponer y aprovechar desperdicios como residuos domésticos, residuos urbanos, estiércoles y residuos de cosecha.(Noriega *et al.*, 1999)

Durante el composteo existe actividad constante de diversos organismos, cada uno con roles específicos y especificidad por el medio con una duración relativamente limitada (FAO, 1991).

5.2. Fases del proceso de composteo

En este proceso se distinguen tres fases: a)fase de latencia; b)fase termofílica; y c)fase de maduración (Noriega *et al.*, 1998).

5.2.1. Fase de latencia y crecimiento.

En esta fase de fermentación llamada mesofílica se desarrollan hongos y bacterias, los cuales se aclimatan al nuevo medio y comienzan a multiplicarse; dura de 2 a 4 días y al final de ella la temperatura, alcanza más de 50°C (Noriega *et al.*, 1998)

5.2.2. Fase termofílica.

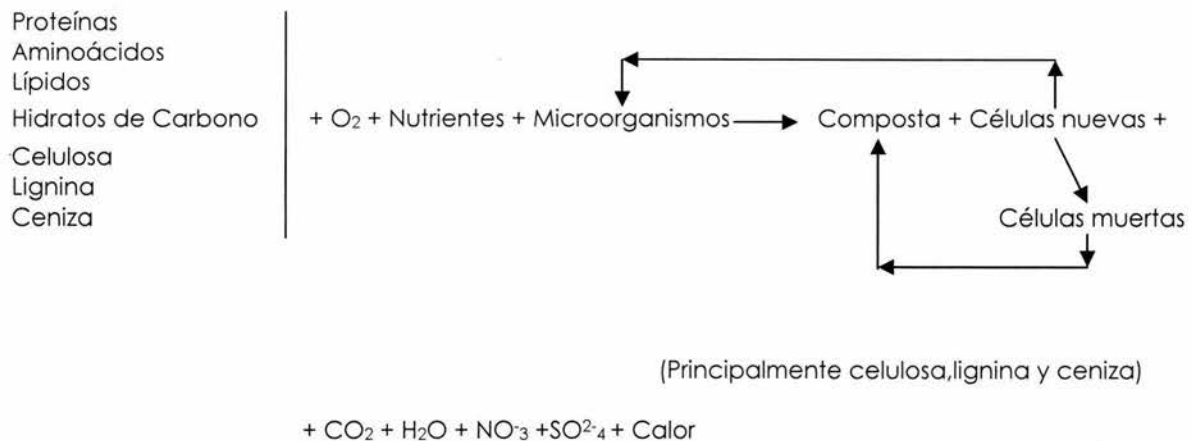
Los organismos iniciales son sustituidos por bacterias y hongos que viven a temperaturas altas (termófilos). En esta fase debido a la gran actividad microbiana, se alcanzan las temperaturas más elevadas (50 a 70°C), lo que elimina gérmenes patógenos, larvas y semillas; la mayor parte de la materia orgánica fermentable se transforma, por lo que la masa se estabiliza (Noriega et al., 1998).

Su duración depende del material inicial y las condiciones ambientales, pero de manera general dura de 3 a 4 semanas en los sistemas con aireación mecánica. (Monroy y Viniegra, 1981)

5.2.3. Fase de maduración.

En este período la temperatura disminuye y la fermentación es lenta, los microorganismos termófilos disminuyen su actividad y aparecen las bacterias y hongos mesófilos; los basidiomicetos inician la degradación de la lignina, los actinomicetos descomponen la celulosa. En resumen a partir de componentes orgánicos, se sintetizan minerales y humus. (Monroy y Viniegra, 1981)

LA TRANSFORMACIÓN AEROBIA GENERAL DE LOS RESIDUOS SÓLIDOS BIODEGRADABLES SE DESCRIBEN EN LA SIGUIENTE ECUACIÓN. (Tchobanoglous et al., 1994)



El punto clave del proceso de compostaje, es mantener las condiciones óptimas para que los microorganismos involucrados cumplan con sus ciclos biológicos y su metabolismo transformando el producto inicial (Haug, 1993).

Es muy importante que la maduración o curado de la composta se lleve a cabo ya que según Tchobanoglous et al., 1994, debe durar alrededor de 30 días, para prevenir olores, para que la composta se estabilice y para poder usarse o distribuirse.

5.3. Factores que influyen en el proceso de composteo.

Los factores que influyen en el proceso, son: a) composición del material; b) temperatura; c) humedad; d) aireación; e) relación Carbono / nitrógeno, y f) pH. (Tchobanoglous *et al.*, 1994)

Otro factor importante es la selección de materiales acondicionadores. (Ramírez *et al.*, 1994).

5.3.1. Composición del material:

La materia orgánica de la composta debe estar constituida por una buena relación de sólidos, agua y gases, para permitir el constante intercambio de sustancias. Para obtener un proceso operable, se requiere que el material se encuentre libre de impurezas, como: vidrio, plástico y objetos de metal (Haug, 1993).

El tamaño de las partículas debe ser de 1.5 a 3 cm para residuos vegetales, ya que con ello se da un intercambio de sustancias más eficiente. Un tamaño pequeño de partículas supone mayor superficie de ataque y por lo tanto fermentaciones rápidas y homogéneas. Sin embargo, si el tamaño es excesivamente pequeño pueden originarse problemas de compactación que impide la aireación necesaria (Haug, 1993).

5.3.2. Temperatura.

La actividad microbiana produce un incremento en la temperatura, atribuido a las oxidaciones biológicas exotérmicas, esta fase se llama termofílica, que es donde ocurre una descomposición rápida de la materia orgánica (Alvarez y Ferrero-Cerrato, 1994).

La temperatura óptima de la descomposición microbiana es de 50°C a 60°C considerando la producción de CO₂; en algunas ocasiones puede alcanzar hasta 76°C, situación no deseable, debido que a temperaturas de 64°C prolongada, pueden ocasionar la muerte de bacterias benéficas, lo que frena la fermentación y provoca pérdida de Nitrógeno. (Monrroy y Viniegra, 1981). En caso contrario, cuando la temperatura se eleva a 60°C o 70°C durante los primeros días y posteriormente se estabiliza a 40°C ó 50°C y ésta no aumenta, indica que hay un defecto en la aireación, baja relación C/N ó bajo nivel de humedad (Noriega et al., 1998).

Para sanear el material de la composta se requiere una temperatura de 60° a 65°C, durante 2 ó 3 semanas, sin embargo si el material presenta este rango de temperatura durante 5 ó 6 semanas, es indicador de una anomalía en el proceso, lo que ocasiona que la estabilización del compost se demore, generalmente la temperatura es baja cuando existen deficiencias en el proceso como aireación insuficiente y mezclas no equilibradas, entre otros. (Bertoldi et al., 1987).

5.3.3. Humedad.

La humedad óptima se encuentra en el rango de 50 a 60% en el caso de residuos urbanos. La actividad biológica disminuye cuando el contenido de humedad es menor de 12% (Gasser, 1984); si existe un exceso de humedad hay descenso en la temperatura y olor desagradable del material. La actividad microbiana disminuye cuando el nivel de humedad es cercano a 60% ya que la circulación de oxígeno es limitada (Alvarez y Ferrero-Cerrato, 1994).

El mayor nivel de humedad, se requiere durante la fase inicial del proceso de descomposición; si el contenido de humedad es de 35 ó 40% la actividad microbiana es lenta y el proceso se retrasa (Zucconi *et al.*, 1987)

5.3.4. Aireación.

En el proceso de composteo, el oxígeno se requiere para el metabolismo aeróbico, necesario para la oxidación de moléculas orgánicas presentes en el material (Alvarez y Ferrero-Cerrato, 1994). Por ello se inyecta aire a la pila con la finalidad de suministrar oxígeno y extraer el calor producido dentro de la misma. Se debe de considerar factores como la temperatura y humedad para poder manejar rangos de tiempo y tener un control de suministro de aire. (Monroy y Viniegra, 1981).

La mayor cantidad de oxígeno se requiere durante la fase inicial de la descomposición, debido al crecimiento de la población microbiana, el aumento en la temperatura y la gran actividad bioquímica; durante la fase de estabilización, la demanda decrece (Zucconi *et al.*, 1987).

5.3.5. Relación carbono-nitrógeno (C/N).

Se conoce que los microorganismos asimilan 30 partes en peso de Carbono por una parte de Nitrógeno para formar proteínas y generar energía, lo que sugiere que la relación C/N más indicada esta alrededor de 30/1, aunque se informa de composteos eficientes con materiales que poseen valores de C/N que fluctúan de 26 a 35 (Monroy y Viniegra 1981)

Los microorganismos son capaces de oxidar los excesos de carbono para ajustar una relación C/N apropiada para su metabolismo (Gasser, 1984). Si la relación C/N es menor de 20, la descomposición se retarda y el Nitrógeno se pierde (Zucconi *et al.*, 1987).

5.3.6. pH.

Al inicio del proceso el pH es ligeramente ácido, posteriormente se producen condiciones alcalinas. Los valores óptimos de pH, se encuentran en el rango de 5.5 a 8.0; ya que las bacterias prefieren un pH cercano al neutro y los hongos se desarrollan mejor en un pH ácido (Monroy y Viniegra, 1981).

5.3.7 Selección de materiales acondicionadores.

El material acondicionador se utiliza para proporcionar estructura, textura y porosidad a los desechos orgánicos con un alto contenido de humedad, con el fin de facilitar la difusión del oxígeno y otros gases en la mezcla. Debido a la alta biodegradabilidad de algunos materiales utilizados como acondicionadores, éstos constituyen también una fuente de energía adicional durante el proceso.

Los materiales más adecuados son de origen orgánico, desperdicios agroindustriales, como pedacería de madera, viruta, bagazo de caña y basura orgánica, entre otros.

Puede utilizarse también materiales inorgánicos para dar porosidad a la mezcla, siempre y cuando su densidad no sea muy alta. Estos materiales pueden ser piedra volcánica como tezontle. (Ramírez *et al.*, 1994)

5.4 Análisis físico y químico de la composta.

Se analizará: nitrógeno, fósforo, potasio, materia orgánica, pH, conductividad eléctrica, color y aroma; por las razones que a continuación se exponen.

Se sabe hoy que existen 14 elementos químicos que son importantes para el desarrollo de las plantas, sin embargo existen 3 elementos principales (N, P y K) para la fertilización de los suelos (Worthen and Aldrich, 1980).

La influencia del contenido de la materia orgánica en las propiedades del suelo es muy importante, ya que actúa como granular en las partículas minerales y además es la única abastecedora del nitrógeno (Gratez, 1992).

El pH del suelo tiene una influencia decisiva en la disponibilidad de nutrientes para las plantas. De hecho el pH determina la eficiencia con lo que las plantas pueden usarlos. (Gratez, 1992)

El pH contribuye a regular la velocidad de la descomposición de la materia orgánica. (Worthen and Aldrich, 1980).

La conductividad eléctrica del suelo está determinada por el número de iones en su solución, por lo que a baja C.E., valores menores de $0.004\mu\text{s}/\text{cm}$ en el extracto de saturación del suelo las plantas no sufren efectos nocivos graves, sin embargo, cuando se tienen valores de C.E. mayores de $0.004\mu\text{s}/\text{cm}$ la alta concentración de sales provoca un efecto osmótico sobre las plantas causando su marchites y posteriormente mueren; además dependiendo de la composición de las sales disueltas en el suelo se pueden provocar efectos tóxicos muy específicos en la relación suelo-planta. (Aguilera, 1989).

5.5. Propiedades físicas óptimas, del producto final composteado.

Las características físicas, tales como el color son de suma importancia, ya que de acuerdo al composteo del material, se van dando diferentes tonalidades, es decir cuando estamos en la etapa de descomposición o fermentación el color es Café-Claro y cuando se llega a la formación de humus el color es Negro-Ocre. Ahora bien con respecto al aroma se puede decir que en la etapa de fermentación el aroma es a Húmedo y a medida que continúa el proceso el aroma cambia a Tierra, para culminar así en un aroma Leñoso. (Riocho, 1990). Se tiene también el % de humedad, ya que para poder almacenarse por 1 ó más años deberá tener de un 15 a 20% de humedad (Rioch, 1990).

5.6. Descripción del proceso, de composteo.

Una de las primeras operaciones organizadas de compostaje que aparece en la literatura relativa al tema fue llevado a cabo en la India, a principios de los años 30, bajo la dirección de Howard y asociados (Haug, 1993). El proceso que ellos desarrollaron fue conocido como proceso Indore, por su localización en la India, donde se desarrolló. El proceso implica la excavación de una zanja en el suelo de entre 60 y 90 cm de profundidad en la que se introducían capas sucesivas de materiales putrefactibles, como pueden ser residuos sólidos, excrementos, estiércol animal, tierra y paja. El primer procedimiento consistía en voltear el material solamente dos veces durante el proceso de compostaje, que duraba 6 meses o más. El líquido emitido por el residuo era añadido a otros residuos más

secos en fermentación. Por el volteo limitado, se puede suponer que el proceso fue anaerobio durante casi todo el proceso de compostaje. Se ha modificado extensamente el proceso Indore, la más importante innovación es que el volteo del material en fermentación es más frecuente, para mantener condiciones aerobias o facultativas, y para acelerar el período de compostaje (Tchobanoglous *et al.*, 1994).

Los dos métodos principales de compostaje son el de hilera (agitado) y el de pila estática (estático). En el método agitado, se mueve periódicamente el material que se va a fermentar para introducir oxígeno, controlar la temperatura y mezclar el material con el fin de obtener un producto más uniforme. En el método estático, el material que se va a fermentar permanece estático y el aire es inyectado a través del material fermentándose. Los sistemas comerciales de compostaje en los que se lleva a cabo el compostaje en algún tipo de reactor son conocidos como sistema de compostaje en reactor. (Tchobanoglous *et al.*, 1994)

El método de compostaje estático más común es el de pila estática aireada y fue desarrollado por la Estación Experimental de Servicios para la Investigación Agrícola del Departamento de Agricultura USA en Beltsville, Maryland; por eso, a veces se conoce el proceso como proceso Beltsville o ARS. Originalmente desarrollado para el compostaje aerobio de fangos de aguas residuales, se puede utilizar el proceso para fermentar una amplia variedad de residuos orgánicos, incluyendo residuos de jardín o residuos sólidos utilizables (RSU)

separados (Haug, 1993). El sistema de pila estática aireada, consiste en una red de tuberías de escape sobre la cual se coloca la fracción orgánica procesada de los RSU. Las alturas de las pilas son aproximadamente de 2 a 2.5 m. A menudo se coloca encima de la pila una capa de compost cribado para control de olores (Tchobanoglous *et al.*, 1994).

Normalmente se proporciona a cada pila un inyector de aire individual para un control más eficaz de la aireación. Para el suministro de aire se utiliza una tubería de drenaje de plástico ondulado. Se introduce el aire para proporcionar el oxígeno necesario para la conversión biológica y para controlar la temperatura dentro de la pila. La operación de inyección está controlada por un cronómetro o, en algunos sistemas por un ordenador que controla un perfil de temperatura específico. Se fermenta el material durante un período de 3 a 4 semanas. Después se cura el material durante 4 semanas más. Normalmente se realiza una trituración y cribación del compost curado para mejorar la calidad del producto finales.(Tchobanoglous *et al.*,1994).

5.7. Usos y aplicaciones del compost.

El mercado natural del compost es el mismo al de los abonos, por ello el estiércol y la paja son fuertes competidores de él en la agricultura. El compost favorece la proliferación de la flora microbiana, benéfica para el cultivo. Esta se deprime por el uso exclusivo y excesivo de abonos minerales y la desaparición de la materia

orgánica. Lo más recomendable es la utilización equilibrada de compost y fertilizantes (Alvarez y Ferrero-Cerrato., 1994).

Trejo en 1994, observó que si se usa compost en el transplante de árboles, éstos tienen mayor posibilidad de vivir. En frutas y vegetales parece ser que el compost reduce la necesidad de usar fungicidas y venenos para plagas y malezas.

Voest-Alpine, de Australia, recomienda al compost para utilizarlo como alimento para cerdos, gallinas y otros animales. Ya que probó que no ofrece peligros y que se obtienen buenos resultados.(Trejo, 1994)

Otras alternativas consideradas por Ecology Inc., para el compost, es usarlo para paredes falsas, agregados para ladrillos, fertilizante y combustible.(Trejo, 1994)

Ahora bien para ampliar los mercados del compost es necesario encontrarle otros usos, o bien asignarle propiedades nuevas, que le permitan competir favorablemente con otros productos. Como materiales de cubierta, para rellenos sanitarios, se cree que reducirá la erosión, detendrá buena parte del agua que se pudiera percolar y permitirá un crecimiento más rápido de plantas encima del relleno.(Trejo, 1994)

Por último, otra aplicación del compost es mezclarlo con fertilizantes, agua y semillas de pasto o arbustos para formar un lodo de baja viscosidad. Con esta mezcla se riegan sitios en donde se desea un rápido crecimiento vegetal, tales como camellones, campos deportivos, parques, etc. (Trejo, 1994)

5.8. Perspectiva teórica actual, de los métodos utilizados y su eficiencia para el composteo.

De forma general en diversos países del mundo se ha apostado a utilizar 3 métodos de composteo básicamente, los cuales ya fueron discutidos anteriormente y son: por volteo, por aireación forzada y por reactor. El más prometedor es el de aireación forzada ya que tiene eficiencias reportadas de biotransformación entre 21 y 35 días utilizando diferentes materiales orgánicos, por volteo el tiempo de transformación dura aproximadamente 3 meses y en reactor puede durar menos tiempo que por aireación forzada, sin embargo los costos son muy elevados. Así mismo es muy importante señalar que para un buen funcionamiento del aire inyectado a la composta, se seleccionó un agente mejorador de la densidad. A continuación se presenta una serie de reportes bibliográficos que complementan y avalan los comentarios anteriores.

Sánchez, *et al.*, 1996, explica que se prepararon 2 pilas para compostear desperdicios orgánicos de casa y se agregó como un mejorador de la densidad bagazo de sorgo. Para la primera pila se usó aireación forzada (AF) y se mezclaron los desperdicios orgánicos y el bagazo de sorgo 50:50. En la segunda pila fue por volteo (PV) y sólo se colocaron los desperdicios orgánicos, teniendo materia orgánica inicial del 85%. En la PV se produjo una gran cantidad de amonio, el cual se perdió rápidamente en amoniaco durante el volteo (63% del N total). En la pila por (AF) se redujo la producción de amonio (57% del N total) y

esto se debió a la adición de un agente mejorador de la densidad. Por lo tanto la AF fue más efectiva en la retención de (N) ya que utilizando el mejorador de la densidad y controlando la temperatura por medio de la aireación se obtuvo un mayor porcentaje de (N).

EL Naga *et al.*, 1997 comenta que, utilizando aireación forzada (AF) se compostearon en 3 pilas, 160 litros de residuos de granja, basura municipal y basura urbana. En las 2 primeras semanas se detectó el estado termofílico, alcanzando mayor temperatura 62°C en los residuos de granja. Para la tercera semana el estado mesofílico dominaba el proceso de composteo. Los valores obtenidos en el producto final en el contenido de (N), fue mayor en los residuos de granja, menor en los desperdicios municipales y mucho menor en los urbanos, así mismo el producto final de materia orgánica fueron 45.5, 37.6 y 34.01% respectivamente.

Mc-Guckin and Eiteman., 1997. El compostaje de basura de verduras puede ser una problemática por las características típicas de humedad y alta proporción de C/N y alto contenido de azufre. Estos factores pueden llevar a la condensación de la verdura, por la falta de porosidad, produciendo condiciones anaerobias durante el proceso y un producto inmaduro e impropio para integrarse al suelo. Los agentes de densidad proporcionan una porosidad por la que pasa el aire y puede fluir, evitando los anteriores problemas. Se debe de prestar atención especial a los agentes de densidad inertes o sintéticos, que

pueden ser completamente reciclables y pueden proporcionar un espacio mayor que los orgánicos típicos como la corteza de los árboles.

El composteo por aireación forzada (AF) utilizada en Inglaterra es de bajo costo y se comprobó de la siguiente forma, se composteó lodo de pulpa de papel y se mezcló con estiércol de pollo y desperdicios de jardín, con una proporción de volumen 8:2:1 respectivamente. El control de temperatura se efectuó por la aireación, y no se extendió a más de 2 semanas, este trabajo lo realizó Sesay *et al.*, 1997.

Jackson and Line, 1997. Utilizando pila por volteo (PV), se composteó pulpa de papel y lodo, a los cuales se les agregó nutrientes minerales de C:N:P:K. El volteo se efectuó cada semana, durante 21 semanas, al término del ensayo el volumen de la pila había disminuido en un 45%. Se usó sulfato de aluminio como floculante para el secado de lodo, pero al analizar el producto final se encontraron concentraciones moderadas de aluminio, por lo que el producto final era impropio para el contacto directo con las plantas. La razón C:N se redujo de 218:1 a 23:1.

Según Ko-Byong *et al.*, 1997, se investigaron agentes mejoradores de la densidad para la composta de estiércol de animales. Se analizaron la cáscara de arroz, cáscara de arroz achicalada y paja de arroz. La capacidad de retención de humedad relativa fue para la cáscara de arroz (48%), cáscara de arroz

achicalada (96%) y para la paja de arroz (119%). La cáscara de arroz achicalada es el mejor agente en este experimento.

Klibansky *et al.*, 1993, mezcló estiércol con alto contenido de orina, paja de caña de azúcar y cenizas de papel. Se usó el método de pila por volteo (PV), por lo que cada 5 días se tenía que voltear el material. Se usaron 2 pilas a las cuales se les agregó de manera igual la mezcla anterior, además se agregó a la primera pila suelo y abono de vaca y a la segunda suelo y un inoculante comercial MCRO 110. Los resultados mostraron que agregar un inóculo para acelerar la velocidad de la degradación de la composta es innecesario, ya que gracias a la alta carga microbiana de los materiales utilizados, en ambas pilas se terminó el proceso de composta a las 12 semanas.

5.9- Importancia de la aplicación de fertilizantes orgánicos a los suelos.

Hoy se sabe que existen 14 elementos químicos que son indispensables para el desarrollo de las plantas, sin embargo el nitrógeno (N), fósforo (P) y potasio (K), son los elementos fundamentales para la fertilización, así como la materia orgánica (M.O.). (Worthen and Aldrich, 1980)

La materia orgánica es la única forma en la que se puede almacenar Nitrógeno en los suelos por un tiempo mayor, por lo que una buena aportación de la misma, aumenta el nitrógeno en las plantas y aumenta las proteínas en ellas (Worthen y Aldrich, 1980)

El fósforo es relativamente estable en los suelos. No presenta compuestos inorgánicos, como los nitrogenados que pueden ser volatilizados y altamente lixiviados. Esta gran estabilidad resulta de una baja solubilidad, lo que a veces causa diferencia en la disponibilidad de fósforo para las plantas, a pesar de la continua mineralización de compuestos orgánicos del suelo (Fassbender and Borsemisza, 1985).

El potasio se encuentra en el suelo en 3 formas diferentes 1) en los minerales del suelo, 2) retenido sobre las arcillas y el humus y 3) en la solución del suelo. El subsuelo suele tener más potasio que el suelo superficial, lo contrario del nitrógeno y el fósforo, estos últimos elementos existen en forma orgánica, es decir están contenidos en los tejidos vegetales y animales, sin embargo el potasio se encuentra en forma inorgánica por lo que es muy soluble. El papel específico de este último elemento radica en estimular la acumulación de almidón, por lo que las plantas forman grandes órganos de reserva. (Worthen and Aldrich, 1980)

La materia orgánica en forma de restos vegetales, alimenta a las bacterias, hongos, lombrices, animales pequeños e insectos, que viven en el suelo. Ésta al descomponerse, proporciona elementos nutritivos para las plantas, mejora la estructura del suelo. Por último el humus que queda después de su descomposición no sólo constituye un depósito de elementos nutritivos, sino que acelera la liberación de calcio, potasio y magnesio de los minerales por las características ácidas del humus modificando el pH del suelo (Fassbender and Borsemisza, 1985).

6 METODOLOGÍA.

El muestreo *no al azar o por juicio* es un proceso de selección de muestras sin el uso del azar. En otras palabras, se escoge una muestra no al azar sobre una base distinta de consideraciones de probabilidad, tal como el juicio de un experto, conveniencia o algunos otros criterios. En consecuencia, la probabilidad de que cada elemento individual sea extraído de la población es desconocida y la fidelidad de sus resultados no puede ser objeto del análisis de probabilidades, sino que debe depender del juicio personal del investigador. (Marqués, 1988). Por lo tanto el diseño experimental, se realizó utilizando muestreo por juicio.

La planeación y desarrollo del *diseño experimental por juicio*, tuvo su base en los siguientes acontecimientos:

- Experiencias previas fijaron el tamaño de la pila, se trabajo con prototipos de 20 L que nunca arrancaron la etapa termofílica, los siguientes tamaños probados fueron 1 m³, 2 m³, en estos casos el proceso de composteo, se llevo al cabo en un rango de 25-35 días, reflejando la realidad y no generó problemas de operación. Con estos antecedentes experimentales se fijó el tamaño de la pila en 5 m³ aproximadamente una tonelada de material orgánico (desperdicios de frutas y verduras); ¿por qué una tonelada? Se considera que es un buen principio para el diseño de la planta industrial. **El reto para el Municipio de Puebla es compostear 300 ton/día, que son la cantidad aproximada de basura de tipo orgánico producida por día.** Para

el cálculo de por qué 5 m³ son aproximadamente una tonelada de material, se utilizó la cuantificación del peso volumétrico del material muestreado que resultó de 198 kg/m³, esta determinación fue experimental y por quintuplicado. Consultar la NORMA OFICIAL MEXICANA, PROTECCIÓN AL AMBIENTE-CONTAMINACIÓN DEL SUELO-RESIDUOS SÓLIDOS MUNICIPALES- NOM-AA-19-1985-Peso Volumétrico "in situ".

- La limitación más grande en el desarrollo de un proyecto son los recursos económicos y los humanos. En este proyecto existían diversas situaciones para lograr llevarlo al cabo, la primera era, la colecta del material (que implicaba lo menos tres viajes con una camioneta a la central de abastos), la instalación; requirió de una bomba, sitio techado y pavimentado, electricidad, etc., para el caso particular de la bomba es uno de los factores de mayor limitación para poder llevar al cabo repeticiones del experimento en tiempo y forma ya que tiene un costo aproximado de \$5,000.00 moneda nacional, así que para poder realizar una repetición adicional se necesitaba lo menos de esta inversión mínima.

- *Sin embargo, con base en las experiencias comentadas y la experiencia acumulada, se propuso probar el prototipo en esas condiciones.*

Esta metodología se dividió en los siguientes apartados: Colecta de material y transporte, procesamiento de material, instalación del experimento, toma de

datos y ajuste, manejo del material al término del proceso y manejo de resultados.

6.1. Colecta de material y transporte:

La colecta del material orgánico se realizó en el mercado Central de Abasto del Estado de Puebla, (ubicado a un costado de la autopista Puebla-Orizaba, entre Av. San Pablo y Av. Del. Conde) ya que la disponibilidad del material es grande, las áreas de colecta en el mercado fueron básicamente, zonas de contenedores y la subasta que es una área dentro del mercado que se caracteriza por expender hortalizas. El muestreo de material se realizó en dos días ya que se colectó lo necesario para el llenado de la pila, la cual midió 1m de alto, 2.8 m de largo y 1.8 m de ancho dando un volumen aproximado de 5 m³., (fotografía 1)

El material se transportó a las instalaciones de la Universidad Tecnológica de Puebla (UTP), donde fue procesado.



Fotografía 1. Colecta de los materiales, que se realizó en la zona de la subasta de la central de abastos, utilizando para su transporte una camioneta oficial de 1.5 toneladas de capacidad.

6.2. Procesamiento de material:

La composición en general del material orgánico, consistió en restos de frutas y hortalizas, que son, por su contenido de humedad las principales generadoras de lixiviados en los basureros a cielo abierto o en los rellenos sanitarios (fotografía 2).

Fue muy importante medir el porcentaje de humedad de los desechos orgánicos a compostear ya que de ella depende la actividad biológica. (Noriega *et al.*, 1998). El procedimiento para conocer la humedad fue el siguiente: se pesaron 500 g de desechos orgánicos a utilizar en el proceso de compostaje y se introdujeron a una mufla a 120°C por 24 horas, pasado ese tiempo se pesó nuevamente, obteniéndose como resultado un 90% de humedad. (Pulido, 1989).

Una vez colectado el material se procesó del siguiente modo: 1.- se cortó en pedazos de 5 a 8 cm para mantener la porosidad y aumentar su superficie de contacto (Tchobanoglous *et al.*, 1994). 2.- se mezcló con olote de maíz que sirvió de agente mejorador de la porosidad del material y con esto garantizar que el flujo de aire fuese homogéneo (Ramírez *et al.*, 1994). La proporción entre el material orgánico y el olote fue de 3:2 respectivamente, en volumen correspondió a 2.2 m³ de olote y 3.3 m³ de material orgánico que suman 5.5 m³ de material total a compostear (Tchobanoglous *et al.*, 1994). El mezclado se llevó a cabo de manera mecánica hasta lograr una homogeneización y con ello garantizar un flujo adecuado de aire (Rioch, 1990). (fotografías 3 y 4).



Fotografía 2. Represente la composición macroscópica de los materiales orgánicos.

6.3. Instalación del experimento:

En la UTP existe un zona experimental, adecuada para la realización de la instalación del prototipo, las condiciones necesarias se cumplieron al contar con una zona techada que impidió cambiar la humedad de los materiales en caso de lluvia o de días muy soleados, una capa de concreto para controlar la migración de lixiviados a suelo y subsuelo, además de tener registros para el almacenamiento y control de lixiviados, estos registros se convirtieron en pozos de muestreo para el monitoreo de las características físico-químicas de los lixiviados. (fotografía 5, 6 y 7).



Fotografía 3. Olote de maíz utilizado como agente mejorador de la porosidad de la materia orgánica.



Fotografía 4. Homogeneización a pala de la materia orgánica y el olote.



Fotografía 5. Área de experimentación techada, y pozos de muestreo de lixiviados.



Fotografías 6 y 7. Detalle de los registros colectores de lixiviados. A la derecha se observa un garrafón que permite tener mayor control de los mismos para su cuantificación y análisis.

Considerando como referencia al documento publicado por el Instituto Mexicano de tecnología del Agua (IMTA) (Ramírez *et al.*, 1994), sobre los criterios de diseño para un sistema de composteo de lodos residuales el cual reporta que para 1 m. de longitud de la tubería el área perforada óptima es de 9.2 cm^2 . (Ramírez *et al.*, 1994). Recordemos que la pila tiene 2.80 m de largo por lo que se tomó como referencia para obtener la longitud de la tubería que será en este caso de 2.72 m. y por tanto el área perforada debe ser de **25.024 cm^2** .

Para poder establecer la distancia entre cada agujero se utilizó una ecuación de primer grado (ec. 1) donde la incógnita (**X**) será la distancia entre cada perforación, contamos con una longitud total del tubo difusor de aire de 2.72 m. de los cuales, 17 cm. son los valores que suman las áreas de las perforaciones y 17 son los espacios de un área de perforación a otra. Despejando **X** obtenemos que la distancia entre cada perforación es de 15 cm.

$$17 X + 17 = 272 \quad \text{ec. 1}$$

$$X = \frac{272 - 17}{17} = 15$$

Donde:

17 = espacios de un área de perforación a otra.

272 = longitud total del difusor, en cm.

X = distancia entre cada perforación en los tubos difusores, en cm.

La preparación de los sopladores es un elemento de los más importantes en el prototipo propuesto, estos fueron de PVC con diámetro de 2 pulgadas (Ramírez *et al.*, 1994), se cortaron piezas de los siguientes tamaños, dos de 2.27 m, dos de 0.45 m. A las piezas de 2.27 m se les realizaron 25 perforaciones de 1 cm² arregladas en tres bolillo, con una distancia entre ellas de 15 cm se unieron a través de dos codos de 90° formando dos L, las L se unieron con una T y la T con el motor soplador, que tiene una potencia de inyección de aire de 400 m³/hora, la parte libre de las L se les instaló un tapón. (fotografías 8 y 9).



Fotografía 8. Soplador de 400 m³/hr, que se conectó con la tubería.



Fotografía 9. Tubería perforada en "tres bolillo", éste sistema sirvió para inyectar el aire a la pila con el material a tratar.

La instalación del prototipo; primero se ubicaron los sopladores, estos estuvieron en contacto con el suelo, se agregó grava hasta cubrirlos, teniendo cuidado de que las perforaciones tuvieran libre paso (aproximadamente 0.15 m), se tapó la grava y los sopladores con malla plástica de mosquitero con luz de 1 mm, la función fue separar a la grava de la siguiente capa, además de mantener a las perforaciones libres de posibles obstrucciones, la última capa que se colocó fue de aserrín, aproximadamente 5 cm y ésta se colocó para evitar el contacto directo del material orgánico con el sistema de aireación. En seguida se procedió a ir vaciando poco a poco la materia orgánica e ir colocando los termopares de manera estratégica y por último, se agregó una capa de paja de pasto, para evitar que las moscas se acercaran a la pila y atenuar los olores. (fotografías 10, 11, 12, 13 y 14).

Los termopares antes de colocarlos en sus respectivas posiciones en la pila, se calibraron de la siguiente manera: usando un cristalizador se mezclaron 6 litros de agua y hielo en proporción 2:1 usando un agitador magnético. En el recipiente, se colocaron horizontalmente en la superficie los 5 termopares que ya estaban conectados a la computadora y un termómetro certificado. Se registró la lectura del termómetro y de los 5 termopares al fundirse el hielo. Se dejó elevar la temperatura hasta el equilibrio térmico ambiental, entonces se realizó una segunda lectura. Cabe mencionar que la lectura de los termopares se registró en la computadora en °C, desde el inicio del proceso hasta su final.



Fotografía 10. Colocación de una cama de grava con grosor aproximado de 15 cm, con el fin de proteger las perforaciones de los tubos, y además ayuda a que los lixiviados que se formen puedan salir libremente.



Fotografía 11. El sistema se cubre con una tela de plástico, para mantener a las perforaciones de los tubos libres de posibles obstrucciones.



Fotografía 12. Se agregó una capa de aserrín , para evitar el contacto directo del material orgánico con el sistema de aireación.



Fotografía 13. Llenado de la pila, con el material orgánico.



Fotografía 14. El experimento ya instalado.
Como se puede ver se colocó una capa de paja de pasto, para evitar moscas y atenuar olores.

Una vez calibrados se instalaron los 4 termopares a juicio del experimentador, se tomo como referencia para la altura de cada uno la capa de aserrín, enseguida se colocó el primer termopar a una distancia de 20 cm. en dirección a una de las esquinas de la pila; el segundo fue colocado en contraesquina pero a una distancia de 30 cm.; el tercero se colocó más cercano al centro, con una distancia de 60 cm.; el cuarto se colocó en el lado opuesto del tercero, pero a una distancia de 85 cm. y por último el quinto termopar se colocó al ambiente.

A los 7 días el volumen de la composta descendió $1/3$, a los 15 días se fue a un $1/2$ y a los 25 días llegó a $2/3$, por lo que los termopares tercero y cuarto se introdujeron a una distancia de la superficie de 10 cm. aproximadamente.

(fotografía 15)



Fotografía 15. Instalación de los termopares antes del llenado de la pila, para monitorear la temperatura.

6.4. Toma de datos y ajuste.

Los termopares detectaron la lectura de temperaturas diariamente cada hora durante todo el proceso, y se tomaron como base para verificar en forma indirecta los procesos bioquímicos predominantes.

Se efectuó el ajuste de los tiempos de aireación, dependiendo del comportamiento de las temperaturas del material, no permitiendo que la temperatura fuera más allá de los 70°C. Los casuales lixiviados, se reintegraron a la pila del material.

6.5. Manejo del material al término del proceso.

Se reposó al aire libre durante 30 días (Geoffrey and Kuter, 1995), para que el material terminara de estabilizarse, se tamizó con una malla de 0.25 cm². para separar de la composta el olote de maíz junto con el pasto, y se efectuaron las pruebas físicas y químicas de color, aroma, materia orgánica, nitrógeno, fósforo potasio, humedad, los análisis de conductividad eléctrica y pH se realizaron después de un mes por razones de operación, esto significa falta de equipos funcionales y calibrados. El producto obtenido se guardó en bolsas de plástico color negro en un lugar fresco y seco. (Rioch, 1990).

6.6. Análisis físicos y químicos.

Se efectuó el análisis físico de la composta madura de la siguiente manera, se observó el color y se determinó el aroma al final del curado, de acuerdo con la tabla de criterios que reporta Rioch, 1994. La conductividad eléctrica con un conductímetro (CONDUCTRONIC PC 18). La humedad por el método gravimétrico. El pH se midió con un potenciómetro (CONDUCTRONIC PC 18) tanto en la composta como en los lixiviados generados en el proceso. (Pulido, 1989).

Se realizó la caracterización química de la composta en la Universidad Autónoma de Chapingo (UACH), en el laboratorio de suelos, para los tres macronutrientes principales en la fertilización de los suelos (Worthen and Aldrich., 1980): nitrógeno método semimicro-Kjeldahl; fósforo método Olsen; potasio Flamometría y para materia orgánica método Walkley and Back. (Jackson, 1970). Ver apéndice 1.

7. ANÁLISIS DE RESULTADOS.

La temperatura de la biopila se midió cada hora. Los datos de los cuatro termopares se promediaron, para obtener un dato por día. (tabla 1)

Tabla 1. Valores de la temperatura promedio determinados cada día durante el proceso.

día	Temperatura promedio por día en °C	Día	Temperatura promedio por día en °C	día	Temperatura promedio por día en °C	día	Temperatura promedio por día en °C
1	18	9	68	17	64	25	50
2	50	10	68	18	65	26	40
3	65	11	66	19	65	27	42
4	70	12	67	20	63	28	36
5	71	13	65	21	62	29	25
6	69	14	65	22	60	30	18
7	68	15	65	23	58	31	16
8	69	16	64	24	55	32	17

Los promedios se reportaron así, porque los datos registrados día a día durante todo el proceso de composteo eran homogéneos, por lo que se considera que no existió pérdida de información.

Tiempos de aireación.

En la fase mesofílica no hubo inyección de aire ya que comenzaban a multiplicarse los hongos y bacterias, y por ende la temperatura comenzó a elevarse, proporcionando condiciones ideales para los organismos.

Cuando la temperatura rebasó los 60°C (fase termofílica) se comenzaron a hacer pruebas de 10 minutos de aireación cada hora y se estuvieron monitoreando los cambios de temperatura. Este monitoreo se realizó durante 10 horas y se pudo

observar que la temperatura no cambiaba bruscamente, ya que ésta bajaba ligeramente 1 grado y continuaba su ascenso. Dichas observaciones dieron la pauta para proponer inyectar por 30 minutos el aire, tanto por la mañana, dejando pasar 12 horas y por la noche. El día 5º se alcanzó la máxima temperatura y después se mantuvo aproximadamente a 64 °C hasta terminar el proceso de composteo. Cuando la temperatura comenzó a descender se apagó el flujo de aire y se dejó estabilizar el producto final.

La tabla 1 muestra la dinámica de transformación del material orgánico colocado en el sistema de aireación forzada. Existe una equivalencia entre las temperaturas de la biopila y el proceso bioquímico predominante, en el caso particular se describirán las siguientes etapas:

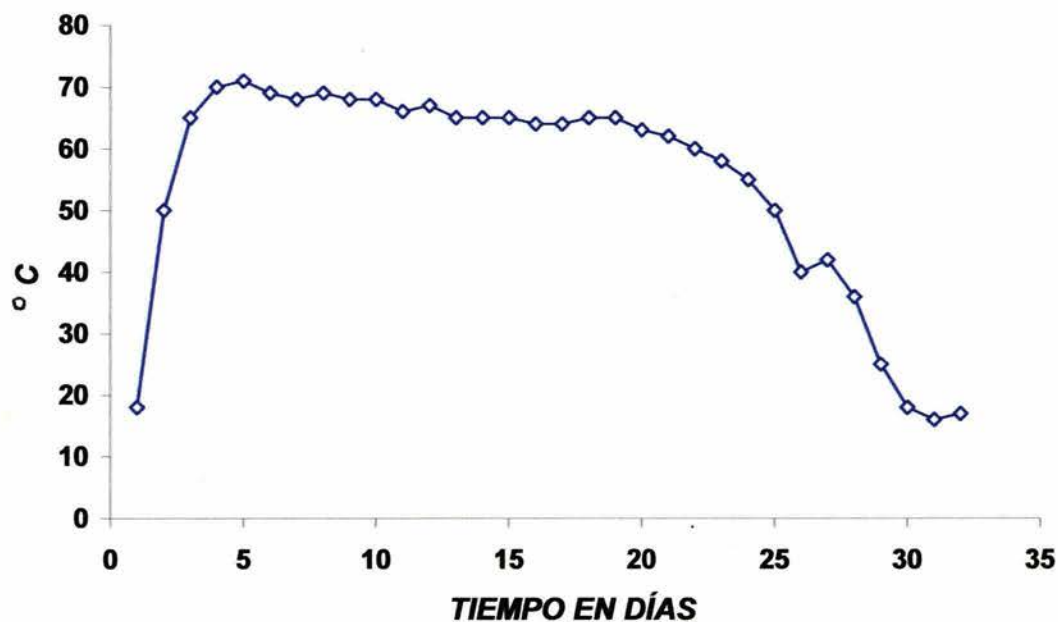


Figura 1. Curva de tiempo contra temperatura, que muestra la dinámica del volumen de aproximadamente 5.0 m³ de material composteándose.

Fase mesofílica.

La figura 1 muestra que se alcanzó una temperatura de 20 °C a las primeras 25 horas de instalado el experimento, al segundo día alcanzó la temperatura cercana a los 50 °C. Lo anterior indica que las bacterias y los hongos mesofílicos predominantes se iban aclimatando al nuevo medio y comenzaban a multiplicarse, ya que es conocido que son los responsables del aumento de temperatura.

Fase termofílica.

En la fase termofílica se alcanzaron temperaturas altas, las cuales fueron de 50 °C como se observa a los 2 días, hasta los 70 °C al 5º día, por lo que a partir de las temperaturas antes mencionadas hasta los próximos 22 días se mantuvo un promedio de 64 °C (figura 1). Con respecto a la humedad, en ésta fase se encuentra dentro del rango de 50-60%, datos óptimos para el metabolismo microbiano, y que junto con la inyección adecuada de aire, los microorganismos aerobios y facultativos se alimentan de la materia orgánica y por ende desarrollan tejido celular a partir de nitrógeno, fósforo, algo de carbono y otros nutrientes necesarios para su metabolismo, por lo que de acuerdo a todo lo citado anteriormente la velocidad de degradación fue la máxima y en buenas condiciones.

Gran parte del carbono sirve como fuente de energía para los organismos. Así mismo por las altas temperaturas que se producen, se eliminan gérmenes patógenos, larvas y semillas. En esta fase las bacterias termofílicas provocan la aparición de hongos termofílicos que hacen su presencia después de 5 a 10 días y tienen la función también de degradar los materiales orgánicos pero especializándose en los de alto peso molecular como la celulosa y la lignina.

Período de maduración.

Este inicia cuando la temperatura comienza a disminuir, por lo que en la gráfica se registró que a los 40 °C marca el inicio de tal período y logra estabilizarse al ambiente a los 28 días. Este es un período de fermentación lenta, los microorganismos termofílicos disminuyen su actividad y aparecen los basidiomicetos que degradan la lignina y los actinomicetos que descomponen la celulosa.

Después del día 27 las temperaturas de degradación, tendieron a la ambiental, demostrando la disminución en los procesos de degradación y con esto la estabilización bioquímica del material orgánico.

La descripción del proceso de transformación bioquímica aeróbica-facultativa anterior, corresponde a un proceso de transformación típico: esto significa que tiene una fase mesofílica, una termofílica y una fase final que corresponde con la disminución drástica de la temperatura.

El material se dejó reposar 30 días para cubrir el período de curado y terminar la estabilización, después se tamizó con una malla de 0.25 cm² de luz para eliminar el pasto y el olote, éste último se separó de la composta porque se podía utilizar en un nuevo experimento ya que salió un poco desgastado.

Para poder decir cual fue el aroma y el color final que señala, que la composta llegó a un buen término, es importante mencionar los puntos que Rioch., 1990 manejó para llegar a tal conclusión. Menciona que cuando se presenta un color VERDE-CAFÉ hay una fermentación normal al inicio de la etapa; cuando pasa a AMARILLO es un estado intermedio de la primera etapa y requiere más tiempo de fermentación; después pasa a CAFÉ CLARO indicando que necesita más fermentación; enseguida pasa a CAFÉ OBSCURO y finaliza con un CAFÉ-NEGRO indicativo de que el proceso se ha terminado. Ahora bien refiriéndose al aroma comenta que, en la primera etapa prevalece un olor a MOHO y al pasar a la segunda etapa el olor cambia a TIERRA RECIEN ARADA, debiéndose esto al desarrollo de los actinomicetos (microorganismos importantes en la formación de humus). Al terminar la segunda etapa la pila debe tener un aroma LEÑOSO. (tabla 4).

En conclusión se dice que se estuvo al pendiente con los cambios en el aroma y en el color, por lo que el aroma final fue a leñoso y el color café-negro, indicadores ambos de una buena calidad de composta.

A continuación se comparan los resultados obtenidos de la composta (tabla 2) con los datos para estiércoles más utilizados en los cultivos (tabla 3).

Determinación	Composta
Materia orgánica (%)	50.34
Nitrógeno total (%)	2.3
Fósforo total (%)	0.62
Potasio total (%)	3.62

Con relación al porcentaje de materia orgánica, la composta duplica la cantidad respecto al estiércol vacuno y de gallinaza, con el consecuente mayor efecto benéfico a las propiedades biológicas, físicas y químicas del suelo en el caso de ser aplicada. Así mismo el tener un mayor porcentaje de materia orgánica que los estiércoles, a la composta le asegura tener un mayor efecto en el aumento de la conductividad hidráulica del suelo, aumento de la resistencia a la erosión, mejoramiento de la estructura, incrementa la capacidad de retención de humedad, la disponibilidad de micronutrientes y por supuesto la fertilidad del suelo.

Determinación	vacuno	gallinaza	porcino	Caprino
Materia orgánica (%)	25-30	25-30		
Nitrógeno total (%)	1.0-3	2.5-5.0	3.0-5.0	3.0-4.5
Fósforo total (%)	0.2-1.0	1.0-3.5	0.5-1.0	0.4-0.8
Potasio total (%)	1.0-4.0	1.5-4.0	1.0-2.0	2.0-3.0

Si se analiza la composición y concentración de nitrógeno, fósforo y potasio de la composta comparada con cualquiera de los estiércoles, se considera que en

cualquier caso es competitiva y por lo tanto el impacto en la productividad de los cultivos es aproximadamente igual.

Análisis de los resultados de % de humedad, pH y conductividad eléctrica de la composta.

% de humedad.

Se obtuvo un resultado del 14 %. Rioch., 1990, comenta que hay un rango de 15 a 20 % para almacenarla, ya que si no se logra este nivel de humedad, la descomposición continuará y la composta entrará en una etapa de mineralización, lo deseable es evitarlo y producir una composta con un determinado contenido de humedad y un buen contenido de materia orgánica. Una vez preparada para su almacenamiento, conviene mantenerla a la sombra en bolsas de color oscuro y así el producto final puede almacenarse por un año o más.

Característica	Valor
Aroma	Leñoso
Color	Café-negro
% de humedad	14
pH	10
Conductividad eléctrica	38.3 dS/m

pH.

Se realizaron dos determinaciones del valor del pH, la primera fue a los lixiviados generados en el proceso de biotransformación. En los primeros tres días se generaron aproximadamente 3.2 litros y estos se devolvieron a la pila por medio de una bomba peristáltica y a partir del cuarto día ya no se salieron lixiviados. El valor de pH de estos fue de 9; la segunda se realizó en la composta estabilizada el valor fue de 10. En seguida se presenta la dinámica del pH según Tchobanoglous *et al.*, 1994, en un proceso de composteo típico, comenta que el control del pH es un parámetro importante para evaluar el ambiente microbiano y la estabilización de residuos. El valor del pH, como la temperatura, del compost varía con el tiempo durante el proceso del compostaje. El pH inicial de la fracción orgánica está normalmente entre 5 y 7. El pH del material fermentado variará según el tiempo. En los primeros días de compostaje, el pH cae a 5 ó menos. Durante esta etapa la masa orgánica está a temperatura ambiente, comienza la reproducción de organismos mesofílicos, y sube rápidamente la temperatura. Entre los productos de ésta etapa inicial están los ácidos orgánicos simples, que causan la caída del pH. Después de aproximadamente tres días, la temperatura llega a la etapa termofílica y el pH empieza a subir hasta aproximadamente 8 ó 8.5 para el resto del proceso aerobio. El pH cae ligeramente durante la etapa de enfriamiento y llega a un valor en el rango de 7 a 8 en el compost final.

Para el caso de los lixiviados se propone la siguiente hipótesis, partiendo de que el material orgánico del que se partió tenía una relación C:N en un rango de 25-35:1, estos materiales con tanto nitrógeno; que seguramente proviene del alto contenido de proteínas y ácidos nucleicos, degradan de la siguiente forma, las proteínas contenidas en el material madre, que fue frutas y verduras; (Pelczar *et al.*, 1982) contienen alguna concentración de proteína que se degrada produciendo péptidos y luego aminoácidos que se transforman a ácido pirúvico con la consecuente liberación de amoníaco NH_3 . El amoníaco tiene reacción básica ya que en presencia de agua produce amonio e hidroxilo, este último es el responsable de que los lixiviados tengan reacción básica. Comenta Cracogna (2000), que en la producción de azúcar se libera un residuo que es la cachaza, este material tiene una relación C/N baja y aseguran que por esta razón se libera nitrógeno en forma de amoníaco en grandes concentraciones. Los hechos anteriores muy probablemente sean los responsables de la reacción básica de los lixiviados.

El valor de pH de la composta estabilizada tiene una serie de inconvenientes ya que se realizó la determinación después de un mes del período de curado, por que los potenciómetros estaban en reparación, sin embargo el valor de 10 corresponde al proceso ya que como es obvio es alcalino, en general en todos los procesos de la naturaleza existe un concepto que se llama equilibrio y si los lixiviados eran de pH alcalino el sustrato de donde provenían también debían serlo. El producto final debe ser tratado para poder integrarse a suelos, ya que aplicar la composta con este valor de pH a largo plazo eliminaría la fertilidad de

estos; el tratamiento consiste aplicar la cantidad equivalente de yeso $\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$, que es una posibilidad para neutralizar o por lo menos dejar el valor del pH de la composta entre 6.5-7.5.

Conductividad eléctrica

La conductividad eléctrica en la composta estabilizada fue de 38.3 dS/m, este valor representa en forma indirecta la concentración de las sales y es un sinónimo de la riqueza de nutrientes solubles, por lo tanto este material es un excelente fuente de nutrientes para las plantas. En el caso de agregar la composta a algún suelo se recomendaría que se le diera seguimiento sobre todo a la conductividad eléctrica del extracto de saturación de suelo, para controlar los problemas de infertilidad si fuera el caso. (tabla 4)



Fotografía 16. Composta obtenida, al final del proceso.

Costos del prototipo y sus posibles aplicaciones.

El costo de construcción y arranque del prototipo, fue de \$47,750.00 (tabla 5), la infraestructura se puede reutilizar en próximos experimentos.

Posibles aplicaciones del Prototipo en campo:

- Desechos de la industria alimentaria, residuos de las enlatadoras, rastros, etc.
- Manejo y control de los lodos generados en las plantas de aguas residuales,
- Manejo integral de desechos orgánicos producidos en mercados.
- Composteo de abonos orgánicos.
- Composteo de desechos de cultivos
- Residuos de jardinería.

Las aplicaciones anteriores se podrían llevar al cabo con las reservas de ajusta al prototipo, de acuerdo a las características de cada material orgánico. Aunque la principal aspiración de esta investigación es ser la base para lograr la instalación de una planta composteadora.

8.-CONCLUSIONES.

- El proceso de transformación bioquímica aeróbica-facultativa, de aireación forzada, corresponde a un proceso de transformación típico; esto significa que tiene una fase mesofílica, una termofílica y una fase final que corresponde con la disminución drástica de la temperatura.
- El tiempo total de estabilización fue de 28 días. De acuerdo a los datos de temperatura el proceso predominante fue la degradación aeróbica-facultativa termofílica de hongos y bacterias.
- El olor y color que resultaron café-oscuro y aroma leñoso respectivamente, denotan una muy buena calidad de la composta, desde el punto de vista de su valor como fertilizante orgánico.
- Las condiciones del diseño de ingeniería fueron nuevamente corroborados como óptimos, para este proceso.
- De acuerdo al análisis de la concentración de nitrógeno, fósforo y potasio de la composta, éstos se compararon con los estiércoles, y se considera que en cualquier caso es competitiva y por lo tanto el impacto en la productividad de los cultivos es semejante.

- Al respecto del porcentaje de materia orgánica, la composta duplica la cantidad respecto al estiércol vacuno y de gallinaza, lo que asegura tener un mayor efecto en la permeabilidad del suelo, aumenta la resistencia a la erosión, mejora la estructura, aumenta la capacidad de retención de humedad, aumenta la disponibilidad de nutrientes y por supuesto la fertilidad del suelo.

- Al respecto de los valores de pH, en caso de aplicar la composta a suelo se debe neutralizar y monitorear su desempeño. Para el caso de la conductividad eléctrica, también debe monitorearse su reacción.

9.-IMPACTO SOCIAL.

- El impacto social, se reducirán los problemas de salud que generan los rellenos sanitarios y los basureros a cielo abierto, al tener una alternativa de manejo de la parte orgánica.

- Acompañado de un programa de manejo de residuos, reduciría en un 80 % el impacto ambiental que provocan los residuos sólidos orgánicos municipales.

- La aplicación de la composta en los campos de cultivo mejoraría la fertilidad de los suelos, con el consecuente aumento en la productividad de los cultivos y la disminución de la erosión.

10.-BIBLIOGRAFIA.

- 1) Aguilera, H. N. 1989. Tratado de Edafología de México., Tomo 1., Laboratorio de Investigación de Edafología. Departamento de Biología. Facultad de Ciencias de la UNAM., México D.F.
- 2) Alvarez, S. J. y Cerrato F. R., 1994. Los microorganismos del suelo en la estructura y función de los agroecosistemas, Cuaderno 25 de Edafología, Instituto de recursos naturales, Edafología, Colegio de postgraduados, Montecillos, México.
- 3) Bertoldi de M., Ferranti, M. P., Hermite, L. P. and Zucconi. 1986. Compost: production, quality and ase. Elsevier Applied Science. London and New York.
- 4) Brunner, D. R., and Keller, D. J. 1972. Sanitary Landfill Design and Operation, Publication SW65ts, U.S., Environmental Protection agency, Washington, DC.
- 5) Burges and Raw F. 1971. Biología del suelo, Editorial Omega, Barcelona, España
- 6) Castellanos, J. Z. 1982. Estudios sobre la producción, utilización y características de los estiércoles en la comarca Lagunera. En Castellanos J.Z. y J.L. Reyes (eds), Memorias del Primer Ciclo Internacional de

- Conferencias sobre la Utilización del Estiércol en la Agricultura. Ingenieros Agrónomos del Tecnológico de Monterrey, A.C. Torreón, Coah., México.
- 7) Cracogna, M. F., Fogar, M. N., Iglesias, M. C. 2000. Actividad amonificante de la cachaza en el compostado. Universidad Nacional del Nordeste., Comunicaciones Científicas y Tecnológicas., Argentina.
 - 8) Deffis, C. A. 1993. La basura es la solución, Editorial CONCEPTO, México, D.F.
 - 9) Díaz, L. F., Golveke, C. G. and Sarage, G. M. 1986. Energy balance in compost production and use. EASP, London.
 - 10) Donahue, R. L., Miller, R. W. and Shickluna, J. C. 1977. Soils an Introducción to Soils and Plant Growth (Animal Manures p.289). Fourth Ed., Prentice – Hall, Inc., Englewood Cliffs, New Jersey 07632.
 - 11) El Naga, S. A., El Shinnawai, M. M., El Shimi, S. A., Badawi, M. A. 1997. Changes in the physico-chemical properties of biological wastes during compost processing under aerobic conditions. Egyptian-Journal of Soil Science. 37:1, 1-16; 19 ref.
 - 12) FAO. 1991. Manejo del suelo: Producción y uso del composte en ambientes tropicales y subtropicales. Boletín de suelos 56. Dirección de Fomento de Tierras y Agua, Roma.

- 13) Fassbender, H. W., Borsemisza, E. 1985. Química de suelos, con énfasis en suelos de América Latina, Servicio Editorial IICA., San José, Costa Rica.
- 14) Gasser, J. K. R. 1984. Composting of agricultural and other waster, El seviev science publishers, London.
- 15) Geoffrey, A., Kuter, Chair. 1995. Biosolids Composting, Water Environment, Federation, 601 Wythe Street, Alexandria, VA 22314, USA.
- 16) Gratez, A. H. 1992. Suelos y fertilización, Editorial Trillas, S.A. de C.V., México.
- 17) Haug, T. R. 1993. The Practical Hand book of Compost Engincering., Lewis Publishers, The United States of America.
- 18) Jackson, L. M. 1970. Análisis químico de suelos., Editorial, Omega, Barcelona.
- 19) Jackson, M. J., Line, M. A. 1997. Windrow composting of a pulp and paper mill sludge: process performance and assessment of product quality, Compost Science and Utilization, 5:3, 6-14; 26 ref.
- 20) Klibansky, M., Leon, M. A., Eng, F., Brizuela, M. A., Leon, M., Altuna, B., Gonzalez, L. 1997. Evaluation af a commercial inoculant with regard to the

- Kinetics of making compost from sugar industry byproducts., Revista ICIDCA Sobre los Derivados de la Caña de Azúcar. 27:1, 41-47; 13 ref.
- 21) Ko Byong G. U., Jeong, Y. G., Jung, K. Y., So Kyu, H., Ha HoSung. 1997. Selection of alternative bulking agent on composting of livestock manure. RDA Journal of Agro Environment Science, 39:1, 37-42; 12 ref.
- 22) Márquez de Cantu M. J. 1988. Probabilidad y Estadística, para ciencias químico-biológicas, Universidad Nacional Autónoma de México, México, D.F.
- 23) Mc Guckin, R. L., Eiteman, M. A. 1997. Enhancement of food waste compost structure with synthetic bulking agents. ASAE Annual International Meeting, Minneapolis, Minnesota, USA, Paper American Society of Agricultural Engineers, No. 976051, 13 pp.; 18 ref.
- 24) Monroy, H. O. y Viniegra, G. G. 1981. Biotecnología para el aprovechamiento de los desperdicios orgánicos, AGT., Editor, México, México D.F.
- 25) Noriega, A. G., Vidal, B. J., Aguilar, B. G., Hernández, S. C., Bustillos, S.L. 1998. Compostaje: Una opción de utilización de los residuos urbanos. UACH., PRONAIAS, Chapingo, México.

ESTA TESIS NO SALE
DE LA BIBLIOTECA

- 26) Noriega, A. G., Vidal, B. J., Torres, C. L. 1999. Producción de abonos a partir de estiércoles utilizando lombriz de tierra. UACH, Chapingo, México.
- 27) Ortega, T. E. 1978. Química de suelos. Universidad Autónoma de Chapingo, (UACH). Chapingo, México.
- 28) Pelczar, M. J., Reid, D.R., Chan, E.C. 1982. Microbiology, 2ª edición, Mc Graw-Hill Book Co., USA.
- 29) Pérez, H. L., Morales, J. R. 2001. Residuos Sólidos Municipales, Avance Tecnológico y Sociedad, No. 20, pp.37-43.
- 30) Pulido, J. 1989. Introducción a la edafología. Manual de campo y laboratorio. Suelos. UACH, México.
- 31) Ramírez, C. E., Cardoso, V. L., Mijaylova, N. P., López, A.S., Sandoval, L. 1994. Criterios de diseño para un sistema de composteo de lodos residuales, Ingeniería Ambiental, No. 25, Año 7, Revista de la Sociedad Mexicana de Ingeniería Sanitaria y Ambiental, A.C., México.
- 32) Richards, L. A. 1990. Diagnóstico y rehabilitación de suelos salinos y sódicos. 6º. Ed., Departamento de Agricultura de Estados Unidos de América. Limusa, MéxicoD.F.

- 33) Rioch, S. 1990. Biointensive Composting, Ecology Action of the Midpeninsuls, 5798 Ridgewood Road, Willits, California, USA., No. 23.
- 34) Sánchez, M., Bernal, M. P., Roig, A., Cegarra, J., García, D., Van Cleemput, O., Hofman, G. 1996. The effectiveness of the Rutgers system and the addition of bulking agent in reducing N-losses during composting., Progress in nitrogen cycling studies: Proceeding of the 8th Nitrogen Workshop held at the University of Ghent, 5-8 , 133-139; 17 ref.
- 35) Sesay, A. A., Lasaridi, K., Stentiford, E., Budd, T. 1997. Controlled composting of paper pulp sludge using the aerated static pile method., Compost Science and Utilization., 5:1, 82-96; 45 ref.
- 36) Tchobanoglous, G., Theisen, H., Viigil, S. 1994. Gestión integral de residuos sólidos. Vol I y II. Editorial Mc Graw- Hill/Interamericana de España, S.A.
- 37) Trejo, V. R. 1994. Procesamiento de la basura urbana, Primera Edición, ditorial Trillas, S.A. de C.V., México.
- 38) Villarroel A., J. M., 1979. Respuesta del maíz y frijol a la aplicación de gallinaza, estiércol vacuno, zinc, manganeso y hierro en suelos de Ciudad Serdán, Puebla, bajo condiciones de campo e invernadero. Centro de Edafología, Colegio de Postgraduados, Chapingo, Méx.

- 39) Worthen, L. E., Aldrich, R. S. 1980. Suelos Agrícolas su conservación y fertilización, Unión Tipográfica, Editorial Hispano-Americana, S.A. de C.V., México, D.F.

- 40) Zucconi, F., Monaco, H., Bertoldi, M. 1987. Biological evaluation of compost maturity, *Bio Cycle*, 22 (4): 27-29.

Costos del prototipo, construcción y arranque.

Centro de composteo.

Piso:	\$9,000.00
Registros:	\$800.00
Muro de contención:	\$7,000.00
Estructura y techo de lámina de asbesto:	\$12,000.00
Total:	\$28,800.00

Arranque del prototipo.

Bomba (soplador de 400 m ³ /h):	\$4,500.00
Tubería:	\$200.00
Grava:	\$300.00
Aserrín:	\$150.00
Olote:	\$500.00
Termopares (5 termopares, 2 fuentes de poder, 70 m de cable del número 10)	\$4,300.00
Gastos varios (alambre, cinta adhesiva, herramienta, etc.):	\$1,000.00
Total:	\$10,950.00
Una computadora	\$8,000.00
Operación: de ½ hora dos veces al día de luz, 220 vols.	
GASTO TOTAL DEL EXPERIMENTO:	\$47,750.00.

Apéndice 1.

Determinación de las propiedades físicas y químicas de la composta.

Determinación	Método
Aroma	Criterios que reporta Rioch, 1999.
Color	Criterios que reporta Rioch, 1999.
Conductividad eléctrico	Conductonic PC 18. Richards, 1990 Relación 1:20 acuoso
pH	Conductonic PC 18. Jackson, 1964 Relación 1:10 acuoso
% de humedad	Método gravimétrico. Púlido, 1989.
Nitrógeno	Método semimicro-kjeldahl. Jackson, 1970.
Fósforo	Método Olsen. Jackson, 1970.
Potasio	Flamometría. Jackson, 1970.
Materia orgánica	Método Walkley y Black. Jackson, 1970.

FE DE ERRATAS.

1.- EL ÍNDICE DE FOTOGRAFÍAS, TABLAS Y FÍGURAS QUE ESTÀ EN LA PÀGINA 2, DEBE IR EN LA PÀGINA 3

2.- EN LA PÀGINA 4 QUE SE REFIERE A LOS COSTOS DEL CENTRO DE COMPOSTEO, DEBE SER \$47,750.00