



UNIVERSIDAD DE QUINTANA ROO

DIVISIÓN DE CIENCIAS E INGENIERÍAS

**ANÁLISIS DEL CONTENIDO DE NUTRIMENTOS EN
COMPOSTAS ELABORADAS CON RESIDUOS SÓLIDOS
ORGÁNICOS MUNICIPALES**

TESIS

Para obtener el Grado de
INGENIERO AMBIENTAL

PRESENTA

Mónica Ariadna Chargoy Rosas

DIRECTOR DE TESIS

Biol. Laura Patricia Flores Castillo

Chetumal, Quintana Roo 2002

Ø43782



UNIVERSIDAD DE QUINTANA ROO

Tesis elaborada bajo la supervisión del comité de asesoría y aprobada como requisito parcial, para obtener el grado de:

INGENIERO AMBIENTAL

COMITÉ

DIRECTOR:

A handwritten signature in black ink, appearing to read "Laura Patricia Flores Castillo".

Biol. Laura Patricia Flores Castillo

ASESOR:

A handwritten signature in black ink, appearing to read "Dr. Celestino I. Chargoy Zamora".

Dr. Celestino I. Chargoy Zamora

ASESOR:

A handwritten signature in black ink, appearing to read "Ing. José Luis Guevara Franco".

Ing. José Luis Guevara Franco

Chetumal, Quintana Roo, Febrero de 2002

DEDICATORIA

*Para Fernando, mi esposo y el amor de mi vida
Eres todo mi mundo.*

*Para mi mamá Gloria
Por todo el apoyo y el amor,
porque siempre estuviste ahí
Te quiero mamá*

*Para mi papá
El ejemplo, el apoyo, el cariño
Sin ti, esto no hubiera sido posible.
Te quiero.*

*Para mis hermanos
Claudia, Citlali, Pedro, Talía y Luis.
Por su compañía, por los juegos,
Por todos esos momentos compartidos
Porque son el amor incondicional
Los quiero hermanos*

*Para mi otra mamá
Dina, porque a pesar de las dificultades
me cuidó y me enseñó el valor
de mantener una familia unida
Gracias*

*Para mi nueva familia:
Doña Pilar, Mami,
Porque me han recibido con tanto amor
Y tanto apoyo*

*Para mis abuelos
Nila (†) y Nabor, porque de ellos aprendí
Mis lecciones tempranas sobre aprovechar
Los recursos. Gracias amores*

*Para mi Dios, que me dio a todos mis seres amados
Y una vida maravillosa.*

AGRADECIMIENTOS

A mis maestros

Los buenos, por enseñarme como hacer las cosas

A los malos, por enseñarme como no hacer las cosas

A mis maestros y asesores de tesis:

La Maestra Laura Patricia y el Maestro José Luis

Por guiarme, apoyarme y darme tanta tarea

para terminar esta tesis

A mi otro asesor de tesis

Dr. Celestino Chargoy

Porque sin tu orientación hubiese sido

Muy difícil. Papá.

A mi esposo Fer, que me ayudo en la difícil

tarea de separar los residuos de mercado

no hay prueba de amor más grande

Te amo cielo.

A Marisol, Juan, Mike y

A todas aquellas personas que directa o indirectamente

colaboraron con mi formación y con esta tesis

A todos ellos mi eterna gratitud

CONTENIDO

	Página
DEDICATORIA.....	I
AGRADECIMIENTOS.....	II
LISTA DE CUADROS.....	VI
LISTA DE FIGURAS.....	VII
1. RESUMEN.....	1
2. INTRODUCCIÓN.....	2
3.OBJETIVOS.....	3
3.1. <i>Objetivo General.....</i>	<i>3</i>
3.2. <i>Objetivos Específicos.....</i>	<i>3</i>
4.ANTECEDENTES.....	4
4.1 BASURA: ORIGEN, MANEJO Y DISPOSICIÓN FINAL.....	4
4.1.1 <i>Fuentes, tipos y composición de los Residuos Sólidos Municipales.....</i>	<i>4</i>
4.1.2 <i>Problemas que ocasiona la basura.....</i>	<i>7</i>
4.1.3 <i>Alternativas en el tratamiento de los residuos sólidos.....</i>	<i>8</i>
4.1.3.1. <i>Incineración.....</i>	<i>8</i>
4.1.3.2. <i>Separación y reciclaje.....</i>	<i>9</i>
4.1.3.3. <i>Composteo.....</i>	<i>9</i>
4.1.4. <i>La Ciudad de Chetumal.....</i>	<i>10</i>
4.2. CONTENIDO DE METALES EN RESIDUOS ORGÁNICOS.....	11
4.2.1. <i>Generalidades.....</i>	<i>11</i>
4.2.2. <i>Disponibilidad.....</i>	<i>11</i>
4.2.3. <i>Los metales como problema.....</i>	<i>12</i>
4.2.4. <i>Los metales como beneficio.....</i>	<i>12</i>
4.3. COMPOSTEO: PRINCIPIOS BÁSICOS.....	13
4.3.1. <i>Definición y generalidades.....</i>	<i>13</i>
4.3.2 <i>Biología.....</i>	<i>14</i>
4.3.3 <i>Bioquímica.....</i>	<i>15</i>
4.3.4 <i>Factores ambientales y operacionales.....</i>	<i>16</i>
4.3.4.1. <i>Tamaño de la partícula.....</i>	<i>17</i>

4.3.4.2. Factores ambientales	17
4.3.4.2.1. <i>Temperatura</i>	18
4.3.4.2.2. <i>Nivel de potencial de hidrógeno (pH)</i>	19
4.3.4.2.3. <i>Aireación</i>	19
4.3.4.2.4. <i>Contenido de humedad</i>	20
4.3.4.3. Aditivos	20
4.3.4.3.1. <i>Vermicomposteo</i>	20
4.3.5. <i>Materiales</i>	21
4.3.5.1. <i>Residuos domésticos orgánicos</i>	21
4.3.5.2. <i>Residuos de jardín</i>	22
4.3.6. <i>Monitoreo del proceso</i>	22
4.3.6.1 <i>Ascenso y descenso de temperatura</i>	22
4.4. PROCESOS DE COMPOSTEO	23
4.4.1. PROCESOS "ABIERTOS" (NO REACTOR).....	23
4.4.1.1.- <i>Proceso Windrow</i>	23
4.4.1.2.- <i>Proceso de Pila Estática</i>	23
4.4.2. PROCESOS EN REACTOR	24
4.4.2.1.- <i>Proceso de Tambor Giratorio</i>	24
4.4.2.2.- <i>Proceso de arcones agitados</i>	24
4.4.2.3.- <i>Proceso de arcones de cama estática</i>	24
4.4.3. PROCESOS NO REACTOR, CAMA DE SÓLIDOS AGITADA.....	25
4.4.3.1.- <i>Proceso Bangalore (Indore)</i>	25
4.4.3.2.- <i>Proceso V.A.M. (van Manen)</i>	25
4.4.3.3.- <i>Proceso de Windrow moderno</i>	25
4.4.4. PROCESOS NO REACTOR, CAMA DE SÓLIDOS ESTÁTICA.....	26
4.4.4.1.- <i>Proceso de pila estática aireada</i>	26
4.4.4.2.- <i>Proceso Brikollari (Caspari, Enladrillado)</i>	26
4.4.5. PROCESOS DE FLUJO VERTICAL CAMA DE SÓLIDOS AGITADA.....	26
4.4.5.1.- <i>Proceso Earp - Thomas</i>	26
4.4.6. PROCESOS DE FLUJO VERTICAL CAMA EMPACADA.....	27
4.4.6.1.- <i>Proceso Beccari</i>	27
4.4.6.2.- <i>Proceso Triga (Halbert-Triga)</i>	27
4.4.7. PROCESOS DE FLUJO HORIZONTAL, TAMBORES ROTATORIOS.....	27
4.4.7.1.- <i>Proceso Bioestabilizador Dano</i>	27
4.4.8. PROCESOS DE FLUJO HORIZONTAL, ARCONES AGITADOS, O CANALES ABIERTOS.....	28
4.4.8.1.- <i>Proceso Fairfield-Hardy</i>	28
4.4.8.2.- <i>Proceso Metro</i>	28
4.5. ANÁLISIS DE COMPOSTAS.....	29
4.6. FERTILIDAD EN LOS SUELOS TROPICALES.....	36
5. MATERIALES Y MÉTODOS.....	38
6. RESULTADOS.....	40

7. DISCUSIÓN.....	44
8. CONCLUSIONES.....	50
LITERATURA CITADA	53
PAGINAS DE INTERNET CONSULTADAS	55
ANEXO	56

LISTA DE CUADROS

Página

Cuadro 1.- Cantidad y composición de Residuos sólidos Municipales.	5
Cuadro 2.- Fuentes de Residuos Sólidos en una Comunidad.....	6
Cuadro 3.- Aplicación de residuos al suelo – límites seguros de concentración de metales.	12
Cuadro 4.- Organismos más comunes en la producción de composta.	14
Cuadro 5.- Composición de la materia orgánica.	16
Cuadro 6.- Características fisicoquímicas iniciales y finales durante el periodo de estabilización. ...	29
Cuadro 7.- Características fisicoquímicas iniciales y finales durante el periodo de maduración.	30
Cuadro 8.-Valores típicos de contenido de humedad y CHON.....	31
Cuadro 9.-Rangos de composición química en compostes maduros.	31
Cuadro 10.-Composición de varios compostes.	32
Cuadro 11.-Contenido total de metales traza en algunos compostes municipales del Reino Unido... 32	32
Cuadro 12.-Especificaciones para Compostas en Varios Estados de los E.U.	33
Cuadro 13.-Características de Diferentes tipos de composta.....	33
Cuadro 14.-Concentración total de metales en compostas.	34
Cuadro 15.-Concentración total de metales en compostas.	34
Cuadro 16.-Concentración máxima de metales en compostas y suelo.....	35
Cuadro 17. Temperaturas registradas para cada pila de composteo.	40
Cuadro 18.- Resultados de la reducción de volumen de las compostas.	42
Cuadro 19.- Resultados del análisis de las compostas de residuos de jardinería.	42
Cuadro 20.- Resultados del análisis de las compostas de residuos de mercado.....	43
Cuadro 1a.- Comparación de los valores de Nutrientes para las compostas de residuos de mercado. 56	56
Cuadro 2a.- Comparación de los valores de Nutrientes para las compostas de residuos de jardinería.57	57
Cuadro 3a.- Comparación de los valores de Nutrientes entre las compostas de residuos de jardinería y las compostas de residuos de mercado.	58

LISTA DE FIGURAS

	Página
Figura 1.- Esquema del proceso de composteo.	13
Figura 2.- Diseño de los contenedores para la composta.....	38
Figura 3.- Variación de Temperatura entre Compostas de Jardinería	59
Figura 4.- Variación de Temperatura entre Compostas de Mercado	60
Figura 5.- Variación de Temperatura Ambiental y Compostas de Jardinería.....	61
Figura 6.- Variación de Temperatura Ambiental y Compostas de Mercado	62
Figura 7.- Variación de Temperatura Ambiental y Compostas de Mercado	63
Figura 8.- Variación de Temperatura entre composta de mercado y composta de jardinería..	64
Figura 9.- Variación de Temperatura Ambiental y Temperatura de los Composteros	65
Figura 10.- Colecta de basura en la ciudad.....	66
Figura 11.- Descarga de residuos en el sitio de disposición final de la ciudad.	67
Figura 12.- Muestra de la fauna en el sitio de disposición final.....	68
Figura 13.- Pepenadoras.	69
Figura 14.- Panorámica del sitio de disposición final.....	70
Figura 15.- Ubicación de los contenedores en el área de composteo de la UQROO.	71
Figura 16.- Material de la composta de residuos de Mercado.	72
Figura 17.- Volteo de las pilas de composta.....	73
Figura 18.- Composta de jardinería.	74

1. RESUMEN

Comúnmente el tratamiento contemporáneo que se le da a los residuos sólidos, o basura como se les conoce mejor, significa pérdida de recursos y contaminación; el manejo de tales desechos puede en cambio, generar ingresos, empleos, abatir o mitigar la contaminación y proporcionar alternativas al uso exhaustivo de los recursos naturales.

La creación de composta se ha planteado en un principio como una alternativa ecológica, económica y relativamente sencilla al uso de fertilizantes químicos; y en los últimos años ha adquirido una gran importancia como método para reducir el volumen de Residuos Sólidos Municipales y consecuentemente los problemas que se relacionan con estos. En este estudio se analiza la tasa de reducción de volumen de los residuos orgánicos, utilizando la forma más simple de hacer composta. Aunque el proceso de composteo requiere de cierto control en parámetros como temperatura, humedad y pH, en un hogar no se cuenta con la herramienta o elementos necesarios para medir dichos parámetros, por lo que se eligió llevar un proceso con el tipo de control que se llevaría en cualquier hogar o parcela y a pequeña escala.

Los resultados obtenidos indican que las compostas elaboradas de residuos orgánicos de mercado contienen mayor cantidad de nutrimentos en comparación con las elaboradas a partir de residuos de jardinería, sin embargo la diferencia no es muy considerable y los resultados dependen en gran medida del tipo de materia orgánica que se utiliza en cada composta. La tasa de reducción es del 80% en volumen para las compostas de residuos de jardinería y de 93.75% en volumen y 98.2% en peso para compostas de residuos de mercado. Estos resultados sugieren la ventaja que representaría para las autoridades municipales aprovechar el manejo separado que le dan a los residuos de jardinería para hacer composta utilizable en los jardines, viveros y camellones de la ciudad y al mismo tiempo prolongar la vida útil del sitio de disposición final.

2. INTRODUCCIÓN

En las ciudades uno de los principales problemas es el manejo y disposición de los residuos sólidos, ya que en la mayoría de los casos su destino final son tiraderos a cielo abierto y debido a la acumulación y descomposición de los mismos se generan problemas de contaminación, de salud y mal aspecto.

En la Ciudad de Chetumal la disposición final de los residuos sólidos es responsabilidad del Municipio. La Dirección de Servicios Públicos Municipales maneja y transporta los residuos generados en los mercados, hogares y negocios separadamente de los residuos de jardinería; este manejo puede verse como positivo pero resulta ser un ejercicio inútil puesto que su disposición final se da en el mismo lugar, es decir se llevan por separado al mismo sitio, al basurero de la ciudad que se localiza a 10 Km. a partir de la desviación de la carretera a Calderitas (Calzada del Centenario). Dicho lugar se diseñó originalmente como un relleno sanitario, sin embargo la falta de presupuesto y planeación terminó por convertir este lugar en un basurero a cielo abierto. Actualmente genera problemas como son: contaminación del aire por el mal olor y los gases producto de la descomposición; contaminación visual por el mal aspecto de dicho tiradero, contaminación del subsuelo y manto freático por lixiviación, así como problemas de salud puesto que constituye un foco de infección por la proliferación de bacterias, moscas, cucarachas y ratas entre otros animales nocivos (Ruiz Ramírez 1998).

- En otro contexto, uno de los principales insumos utilizados en la agricultura para aumentar la productividad de los cultivos son los fertilizantes. Su mala utilización debida al desconocimiento de la cantidad necesaria de aplicación de acuerdo al cultivo o tipo y contenido nutrimental del suelo, provoca, por un lado, que la planta no pueda asimilar los nutrimentos proporcionados y, por el otro lado, los excesos tienden a ser transportados por las escorrentías provocadas por las lluvias lo que conduce a problemas de contaminación en los cuerpos de agua cercanos tanto superficiales como subterráneos por medio de procesos tales como arrastre y lixiviación; todo esto debe añadirse a un incremento en los costos de producción. Ambas situaciones son problemas que se contemplan por separado, pero pueden ser fuentes de ingresos económicos y de saneamiento ambiental, si se pueden vincular.

La información sobre el contenido y forma en que se pueden encontrar los nutrimentos en un producto de composteo dependiendo del tipo de materia orgánica utilizada, así como la tasa de reducción dependiendo del material utilizado, ayudará a reforzar y ampliar el creciente conocimiento e interés que hay sobre las ventajas y beneficios de la producción y uso de compostas.

3.OBJETIVOS

3.1. Objetivo General

Contribuir con información para que mediante el composteo de residuos orgánicos municipales, se solucione de manera parcial el problema de manejo y disposición final de los residuos sólidos en la Ciudad, explorando las perspectivas de la utilización del producto de composteo como abono orgánico económico y de calidad.

3.2. Objetivos Específicos

1. Obtener la tasa de reducción de residuos mediante la relación cantidad de materia prima - composta producida
2. Determinar el contenido y forma de nutrientes en las compostas de residuos de jardinería y vegetales
3. Explorar las perspectivas del uso del producto de composteo como abono orgánico, dependiendo de la materia utilizada.

4. ANTECEDENTES

4.1 BASURA: ORIGEN, MANEJO Y DISPOSICIÓN FINAL

De acuerdo a la Ley General del Equilibrio Ecológico y la Protección al Ambiente en su Art. 3º Fracc. XXXI, se entiende por Residuo: “**Cualquier material** generado en los procesos de extracción, beneficio, transformación, producción, consumo, utilización, control o tratamiento cuya calidad no permita usarlo nuevamente en el proceso que lo generó”. La basura, por otra parte, es concebida como todos los **desechos mezclados** que se producen como consecuencia de las actividades humanas, ya sean domésticas, industriales, comerciales o de servicios, así como los objetos de los que nos deshacemos porque dejaron de prestarnos utilidad.

Los residuos sólidos incluyen a todos los materiales sólidos o semisólidos que no se consideran de suficiente valor como para retenerlos. El manejo de esos materiales es la preocupación fundamental de todas las actividades relacionadas con el manejo de los residuos sólidos, independientemente si la planeación es en el ámbito local, regional, estatal o federal. Por esta razón es importante saber tanto sea posible sobre los Residuos Sólidos Municipales. (Tchobanoglous *et al.* 1993).

Díaz *et al.* (1993) se refieren a los Residuos Sólidos Municipales (RSM) como los residuos sólidos generados por una comunidad (municipalidad) y pueden clasificarse de diferentes maneras.

4.1.1 Fuentes, tipos y composición de los Residuos Sólidos Municipales

La forma de vida característica de nuestro tiempo, da lugar a la producción y acumulación de basura. Gran cantidad de productos de uso diario, llega a nuestros hogares, escuelas o lugares de trabajo. Existe una gran variedad de estos productos entre los cuales podemos encontrar latas, empaques, envolturas, botellas, objetos de vidrio etc. (Cuadro 1)

Cuadro 1.- Cantidad y composición de Residuos sólidos Municipales.
(porcentaje peso húmedo).

Material	India urbana	Manila, Filipinas	Asunción, Paraguay	Lima, Perú	Ciudad de México, México
Putrescibles	75.0	48.8	60.8	34.3	56.4
Papel	2.0	17.0	12.2	24.3	16.7
Metales	0.1	1.5	2.3	3.4	5.7
Vidrio	0.2	5.3	4.6	1.7	3.7
Plástico, hule, piel	1.0	6.5	4.4	2.9	5.8
Textiles	3.0	3.7	2.5	1.7	6.0
Cerámica, polvo, piedras	19.0	17.2	13.2	31.7	5.7
Peso/capita/día (lb)	0.91	0.88	1.41	2.12	1.50
Material	Caracas, Venezuela	Asentamiento Sasha, Ibadan Nigeria	Berkeley, CA E.U.		Broward Co. Florida E.U.
Putrescibles	40.4	76.0	39.0		39.8
Papel	34.9	6.6	40.1		37.8
Metales	6.0	2.5	3.0		5.6
Vidrio	6.6	0.6	7.6		6.7
Plástico, hule, piel	7.8	4.0	6.3		9.0
Textiles	2.0	1.4	1.7		--
Cerámica, polvo, piedras	2.3	8.9	2.3		1.1
Peso/capita/día (lb)	2.07	0.37	3.10		3.86

(Fuente: Díaz *et al.* 1993).

El incremento de la población y el consumo exagerado de objetos innecesarios desechados casi siempre en un periodo corto, acarrea la demanda cada vez mayor de bienes de consumo, muchos de los cuales se presentan envueltos en papel, plástico o cartón; a esto se suma la abundante propaganda y publicidad impresa en papel y repartida en la vía pública y que, casi siempre, es arrojada a la calle.

(<http://www.ciceana.org.mx/ayudar/BASURA/introduccion.htm>)

Independientemente del grado de desarrollo de los países, los RSM generados en áreas metropolitanas densamente pobladas, difiere de alguna manera de los generados en los suburbios y considerablemente de los generados en comunidades pequeñas y áreas rurales. La diferencia reside, principalmente, en el cambio de concentración de papel y productos de papel (Díaz *et al.* 1993).

Cuadro 2.- Fuentes de Residuos Sólidos en una Comunidad.

Fuente	Instalaciones, actividades o lugares donde son generados los residuos	Tipo de residuo sólido
Residencial	Casas solas y conjuntos habitacionales multifamiliares, departamentos, etc.	Residuos de comida, papel, cartón, plásticos, textiles, cuero, residuos de jardinería, madera, vidrio, latas, aluminio, otros metales, cenizas, hojas, residuos especiales (blancos, artículos electrónicos, baterías, aceites y llantas, etc.) residuos peligrosos domésticos
Comercial	Tiendas, restaurantes, mercados, oficinas, hoteles, moteles, estaciones de servicio, talleres mecánicos, papelerías, etc.	Papel, cartón, plásticos, madera, residuos de comida, vidrio, metal, residuos especiales (ver arriba), residuos peligrosos, etc.,
Institucional	Escuelas, hospitales, prisiones, centros de gobierno, etc.	Como los comerciales
Construcción y demolición	Sitios nuevos de construcción, sitios de reparación / renovación de caminos, pavimento roto, etc.	Madera, acero, concreto, polvo, etc.
Servicios Municipales (excluyendo instalaciones de tratamiento)	Limpieza de calles, arreglo de paisaje, limpieza de cuencas, parques y playas, otras áreas recreativas	Residuos especiales, desechos, barrido de calles, poda de árboles, lodos de cuencas, residuos en general de parques, playas y áreas recreativas
Lugares de plantas de tratamiento, incineradores	Agua, agua residual, y procesos de tratamiento industriales	Residuos de plantas de tratamiento, principalmente compuestos por lodos residuales.
Residuos Sólidos Municipales Industrial	Todos los de arriba Construcción, fabricación, manufactura ligera y pesada, refineras, plantas químicas, plantas de poder, demolición, etc.	Todos los de arriba Residuos de procesos industriales, material de desecho, etc. Residuos no industriales incluyendo residuos de comida, cenizas, residuos de demolición y construcción, residuos especiales, residuos peligrosos
Agricultura	Cosechas de campo y surco, viñedos, huertos, granjas, etc.	Residuos de alimentos echados a perder, residuos agrícolas, residuos peligrosos.

(Fuente: Tchobanoglous *et al.* 1993)

4.1.2 Problemas que ocasiona la basura

El manejo de los desechos sólidos se resume a un ciclo que comienza con su generación y acumulación temporal, continuando con su recolección, transporte y transferencia y termina con la disposición final de los mismos. Es a partir de esta acumulación cuando comienzan los verdaderos problemas ecológicos, ya que los basureros se convierten en focos permanentes de contaminación.

Existen varias formas de acumulación, una de ellas es la de los tiraderos a cielo abierto, zonas donde simplemente se acumulan los desechos sin recibir ningún tipo de tratamiento. Otro medio de disposición final es el enterramiento controlado, que consiste en disponer la basura en un área relativamente pequeña, dentro de algún sitio elegido para este fin, extenderla, comprimirla y cuando llegue a una altura de dos metros, se cubre con tierra traída de alguna obra de excavación (Ruiz Ramírez 1998).

Los basureros causan problemas ambientales que afectan el suelo, el agua y el aire: la capa vegetal originaria de la zona desaparece, hay una erosión del suelo, contamina a la atmósfera con materiales inertes y microorganismos. Con el tiempo, alguna parte de ellos se irá descomponiendo y darán lugar a nuevos componentes químicos que contaminan el medio, y ocasionan que el suelo pierda muchas de sus propiedades originales, como su textura, porosidad, permeabilidad, intercambio catiónico, concentración de macro y micro nutrientes. Los nuevos componentes son principalmente el biogás y los lixiviados. En la elaboración de biogás intervienen hongos y bacterias aeróbicas cuyos subproductos finales son el bióxido de carbono, el amoníaco y el agua (Andrade *et al.* 1997).

En una primer etapa en presencia de agua y enzimas bacterianas extracelulares se forman compuestos solubles de bajo peso molecular. En una segunda etapa, llamada metanogénica debido a que produce una cantidad considerable de metano, además de bióxido de carbono, se da por la acción del calor producido durante la fermentación que alcanza los 70° C, donde se rompe la molécula de ácido acético y, en presencia de agua, da lugar a la formación de metano y bióxido de carbono. Otros gases son producidos en las biogás como lo son el etano, el propano, el ácido sulfhídrico, el nitrógeno y los óxidos nitrosos, y todos estos compuestos son altamente tóxicos para la vegetación y otros organismos.

Los lixiviados, pueden definirse como líquidos que al percolarse por las capas del suelo u otro material sólido permeable, van disolviéndolo en su totalidad o a algunos de sus componentes. Los lixiviados pueden presentar un movimiento horizontal, o sea que se desplazarán a lo largo del terreno, contaminando y dañando así el suelo y vegetación tanto del terreno como de zonas aledañas. También puede ocurrir un movimiento vertical, que penetre el subsuelo y en muchas ocasiones, alcance los mantos freáticos y acuíferos, lo que causa gigantescos problemas de contaminación del agua subterránea (Andrade *et al.* 1997).

Los lixiviados por lo general acidifican el pH del agua y propicia la presencia de una gran cantidad de sales, lo que se refleja en una alta conductividad, en ausencia de oxígeno y en alto contenido de metales pesados, como el cadmio, cromo, cobre, hierro, plomo y zinc cuyas concentraciones pueden rebasar los límites de toxicidad establecidos por las normas de calidad del agua.

4.1.3 Alternativas en el tratamiento de los residuos sólidos

4.1.3.1. Incineración

La incineración de la basura debe de llevarse a cabo de forma controlada en hornos especiales ya que el procedimiento de quemar los desechos acumulados en los tiraderos, además de peligroso produce emisión de gases tóxicos como monóxidos de carbono, metales pesados, partículas y otros materiales tóxicos y humos contaminantes de la atmósfera. El producto de la incineración, que consiste en cenizas inertes, es usualmente depositado en rellenos sanitarios.

Aunque la incineración es un proceso costoso, ofrece diversas ventajas.

- No es necesario clasificar, o moler la basura previamente.
- El volumen de la basura se reduce a 1/10 del original, y su peso 30%, por lo tanto, los residuos requieren de un espacio menor.
- Ocasionalmente se requiere de algún combustible por la humedad de los residuos.
- La incineración transforma la basura tóxica en un material no peligroso. Los residuos inertes, inodoros y fáciles de manejar y mediante procedimientos especiales pueden ser convertidos en nuevos productos (Castillo *et al.* 1990).

4.1.3.2. Separación y reciclaje

La separación de los componentes de los residuos sólidos incluyendo papel, cartón, latas de aluminio, vidrio y contenedores de plástico desde la fuente de generación es uno de los medios más efectivos y positivos para alcanzar la recuperación y reuso de materiales (Tchobanoglous *et al.* 1993), por simple lógica, la separación es el primer paso para cualquier tratamiento alternativo de los residuos, y sobre todo para el reciclaje.

Se entiende por reciclaje la serie de procesos que transforman un producto usado en un material al que se puede dar un nuevo empleo. Este proceso tiene como objetivo principal la reducción de la cantidad de basura; otro, el de utilizar los residuos reciclados como materia prima y como energía, disminuyendo así el consumo de materias primas vírgenes y el de combustibles no renovables como el petróleo.

Los productos de mayor demanda para ser reciclados se clasifican en celulósicos como papeles y cartones; fibras textiles de algodón, seda y lino; vidrio, plásticos y metales, principalmente aluminio y hierro. El más solicitado es el papel.

4.1.3.3. Composteo

Composteo es la descomposición biológica de residuos consistentes de sustancias orgánicas de origen de animal o vegetal bajo condiciones controladas.

La composta es un producto de color negro, rico en humos y calcio, útil como fertilizante orgánico. Se obtiene a partir de la fermentación de residuos orgánicos y transforma éstos, mediante una acción microbiana controlada, en el compuesto bioquímicamente inactivo que llamamos composte o composta.

El composteo requiere de una selección previa de la basura: debe eliminarse todo material que no tenga origen orgánico, y de ser posible, todos los organismos patógenos.

La composta puede utilizarse como un excelente abono en parques y jardines; como base de semilleros; como fertilizante en campos agrícolas; para la recuperación de los suelos erosionados por cultivo inadecuado o destruidos por pastoreo o por corte excesivo de madera (Ruiz Figueroa 1998).

4.1.4. La Ciudad de Chetumal

A partir de 1992 se creó el esquema-método de relleno sanitario de la ciudad de Chetumal, en el Km 10 de la carretera a Calderitas (Calzada del Centenario), con una superficie de 15 hectáreas. El trabajo inicial consistió en un camino de acceso (pavimentado), limpieza, trazo y nivelación del terreno, impermeabilización, captadores de biogás (gas metano), cerca perimetral, dren y sistema para el control de lixiviados, pozos de monitoreo y caseta de vigilancia. En ese entonces se detectó la existencia de un solo módulo habilitado, la cantidad de residuos recuperados no era significativa para solucionar en parte la descarga total de basura, el drenaje de lixiviados se encontraba siempre obstruido, no funciona puesto que no existe un tratamiento adecuado por falta de equipo, los materiales de baja calidad provocaron la inutilidad del sistema, y el "relleno" se convirtió en una masa de tierra y basura cuya altura se encuentra muy elevada con respecto al nivel del suelo (Ruiz Ramírez 1998).

El servicio de limpieza, recoja y transporte de basura está a cargo de la Dirección de Servicios Municipales. De la basura generada en la ciudad de Chetumal se calcula que hay una captación de alrededor del 70%, al relleno sanitario llegan diario 270 toneladas de residuos sólidos mixtos que generan los habitantes de la ciudad, de la recolección y transportación se ocupan 70 personas y 23 camiones diariamente. (Comunicación personal, Lic. Gustavo García Bradley, Director de Servicios Públicos Municipales). De acuerdo con un estudio de caracterización de residuos sólidos domiciliarios en la ciudad de Chetumal, la producción per cápita de residuos sólidos es de 0.79 kg/día, generándose un total de 34,488.120 toneladas al año, de estas el 62.5% corresponden a residuos sólidos orgánicos que pueden ser reciclados por medio del composteo, el 13.27% corresponde a material inorgánico (vidrio, plástico rígido, plástico de película, papel y cartón) que es factible de reciclaje (Guevara *et al.* 1998).

Actualmente el "relleno sanitario" de la Ciudad de Chetumal es un tiradero a cielo abierto, un módulo funcionó como relleno por un tiempo, ahora no solo se corre el riesgo de incendios con la cantidad de basura ahí acumulada, sino que además representa un foco de infección para las personas que ahí laboran con el incremento en número de fauna nociva que son portadores de enfermedades transmisibles a la población; además de la proliferación de bacterias y hongos por la materia orgánica en descomposición depositada en la superficie (Ruiz Ramírez 1998).

4.2. CONTENIDO DE METALES EN RESIDUOS ORGÁNICOS

4.2.1. Generalidades

Residuos de animales y plantas han sido aplicados a las tierras de cultivo por cientos de años tanto para deshacerse de los residuos como para incrementar la fertilidad del suelo. Mientras que todos los residuos orgánicos contienen metales, los lodos activados están enriquecidos con metales. El uso de tales residuos orgánicos en el suelo debe guiarse por principios agronómicos sólidos. Los metales pueden ser benéficos y son de hecho necesarios para un adecuado crecimiento de las plantas; sin embargo, montos excesivos de los metales en el suelo pueden ser tóxicos. El termino "metales pesados" se entiende generalmente para referirse a metales como el cadmio, cromo, cobre, plomo, níquel y zinc; pero también incluye hierro, manganeso y otros metales (Lewis *et al.* 1987).

De los metales que pueden estar presentes, los que con mayor probabilidad pueden ser tóxicos para las plantas son el cobre, níquel, zinc y posiblemente el boro. Otros metales como el cadmio, plomo o mercurio pueden estar también presentes pero sus concentraciones no son en general lo suficientemente altas para tener un efecto adverso sobre el crecimiento de las plantas. El problema es, no obstante, que pueden acumularse en los tejidos vegetales para dar concentraciones que podrían ser perjudiciales para la salud de los hombres o los animales que consuman los cultivos (Dalzell *et al.* 1991).

4.2.2. Disponibilidad

Se sabe que la disponibilidad para las plantas de los metales en los suelos depende en gran medida de la reacción del suelo (pH). En suelos ácidos la mayor parte de los metales tóxicos están muy disponibles. En suelos naturalmente alcalinos o que se han alcalinizado por la mejora del drenaje o la adición de alguna forma de cal, la disponibilidad de los metales pesados esta fuertemente reducida. Existen también otros factores importantes y estos incluyen el contenido de materia orgánica del suelo, el tipo de materia orgánica, la presencia de otros elementos, la temperatura del suelo y las especies de plantas cultivadas.

4.2.3. Los metales como problema

La investigación ha demostrado que los metales como el cadmio y plomo pueden ser tóxicos para los humanos y los animales, mientras que el cobre, níquel y zinc pueden ser tóxicos para las plantas (fitotóxicos). El cadmio es el metal de mayor preocupación para los humanos porque es absorbido del suelo por las plantas que pueden ser consumidas tanto por humanos como por animales. El plomo en este sentido no causa tanta preocupación porque no es absorbido de forma apreciable por las plantas y debe ser consumido directamente por ingestión del suelo o plantas a las cuales se adhiere el lodo. La fitotoxicidad del cobre, níquel y zinc en lodos aplicados como fertilizantes en suelos ha sido reportada a menudo (Lewis *et al.* 1987).

4.2.4. Los metales como beneficio

Por otro lado, el cobre, cromo, níquel y zinc son conocidos como elementos traza esenciales para el crecimiento de plantas y animales. Por ejemplo: el zinc, cobre, manganeso y hierro son suplementos alimenticios minerales que se encuentran comúnmente en forma de pastillas. En la dieta humana, la deficiencia de zinc se considera la segunda más importante después de la de hierro. El cromo, selenio, y molibdeno también son esenciales para un crecimiento y desarrollo normales. En la nutrición de las plantas se ha identificado al boro, cobre, hierro, manganeso, molibdeno, y zinc como micro nutrientes esenciales (Lewis *et al.* 1987).

El siguiente Cuadro muestra la adición máxima segura de metales para el suelo, estos límites incluyen factores de seguridad y están diseñados para proteger incluso a la gente que cultiva vegetales en suelo fertilizado con diversos residuos tratados (Lewis *et al.* 1987).

Cuadro 3.- Aplicación de residuos al suelo – límites seguros de concentración de metales.

Metal	Concentración	
	mg/kg	Aplicación kg/ha
Cadmio	25	5
Cromo	1000	----
Cobre	1000	125
Plomo	1000	500
Mercurio	10	---
Níquel	200	50
Zinc	2500	250

(Fuente: Lewis, *et al.* 1987)

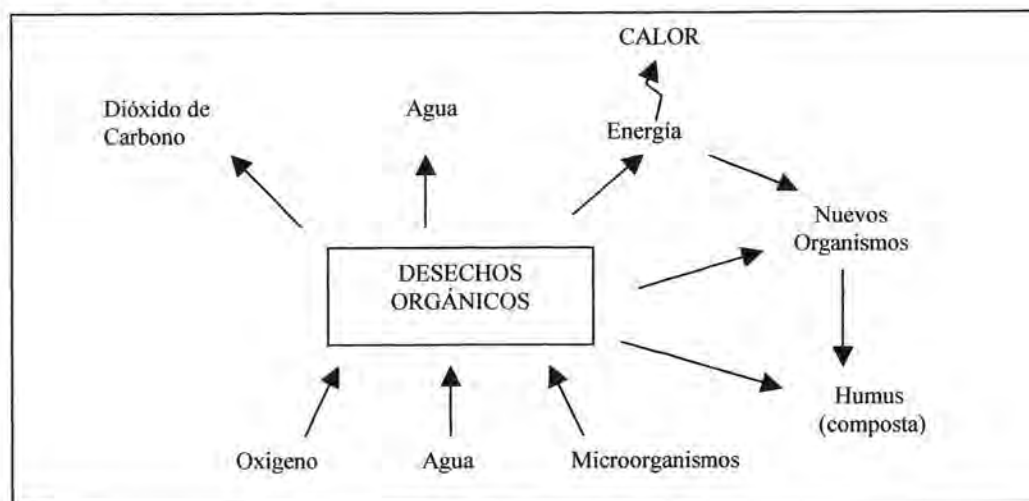
4.3. COMPOSTEO: PRINCIPIOS BÁSICOS

4.3.1. Definición y generalidades

Composteo es la descomposición biológica de residuos consistentes de sustancias orgánicas de origen de animal o vegetal bajo condiciones controladas a un estado suficientemente estable para un almacenamiento y utilización posterior. El requerimiento “bajo condiciones controladas”, distingue el composteo de la descomposición ordinaria que se lleva a cabo en la naturaleza, por ejemplo en un basurero a cielo abierto. Un problema con la especificación “condiciones controladas” es que aplicando un control mínimo se justifica la designación de composta (Haug 1993).

En la Figura 1 se muestra un esquema del proceso de composteo. Los microorganismos utilizan la humedad, oxígeno del aire y alimento del material orgánico, emitiendo dióxido de carbono, agua y energía; se reproducen y finalmente mueren. Parte de la energía liberada se usa para el crecimiento y movimiento, el resto es liberada en forma de calor. Como resultado, una pila de material en compostaje pasa a través de una fase de calentamiento, un pico de temperatura, una fase de enfriamiento y una fase de maduración.

Figura 1.- Esquema del proceso de composteo.



(Fuente: Dalzell, *et al*, 1991)

4.3.2 Biología

La mayoría de los organismos activos en el proceso de composteo son microorganismos, es decir el composteo es un proceso microbiano constantemente cambiante producido por las actividades de una sucesión de varios grupos de microorganismos, cada uno de los cuales es apropiado para un medio de duración relativamente limitada (Dalzell *et al.* 1991). Los grupos de microbios activos más comunes en el proceso de composteo son las bacterias y los hongos, y algunos protozoarios, en el Cuadro 4 se enlistan los principales organismos implicados en el proceso de composteo.

Cuadro 4.- Organismos más comunes en la producción de composta.

Tipos de organismos	
Microflora (plantas muy pequeñas)	Bacterias, Actinomicetos Hongos, mohos, levaduras
Microfauna (animales microscópicos)	Protozoos
Macroflora (plantas más grandes)	Hongos (champiñones y setas)
Macrofauna (pequeños animales del suelo)	Ácaros, Hormigas, Termitas Miriópodos, Ciempiés Arañas, Escarabajos, Gusanos

(Fuente: Dalzell *et al.* 1991)

Hay muchas especies diferentes dentro de cada grupo. Las bacterias y los hongos se caracterizan por la aparición sucesiva de sus formas mesofílicas y termofílicas. Algunos de los microorganismos pueden vivir y trabajar bajo condiciones frías por debajo de 20°C (psicrófilos), otros prefieren temperaturas más normales de 20-40°C (mesófilos), mientras que unos pocos pueden existir en condiciones muy calientes de 40-75°C (termófilos). En el proceso de composteo las bacterias filamentosas y los actinomicetos son los más importantes. Los actinomicetos son más evidentes en las últimas etapas de composteo, su aparición y proliferación son paralelas a la desaparición de la celulosa y lignina, el color blanco o gris típico de estos microorganismos es claramente visible a unos 10 cm por debajo de la superficie de la masa de la composta (Dalzell *et al.* 1991).

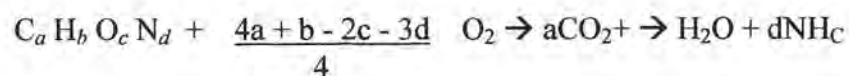
Las bacterias fijadoras de nitrógeno que pueden estar presentes fijan montos relativamente insignificantes de nitrógeno atmosférico, en parte por la lentitud del proceso de fijación de nitrógeno, pero también a causa de la abundancia de nitrógeno fijo disponible en los residuos (Haug 1993).

4.3.3 Bioquímica

La formación de composta es un proceso bioquímico natural, pero extremadamente complejo en el cual material celulósico (polisacáridos), proteínas (fuentes de nitrógeno, fósforo y sulfuro), y grasas y carbohidratos (fuentes de energía) son descompuestos y transformados a un material parecido al humus (Cuadro 5). La vasta e inmensamente diversa población de fungi, protozoos y bacterias iniciando el proceso crecen, se reproducen y mueren según las condiciones ambientales de los materiales en composteo van cambiando (Naylor *et al.* 1987).

El composteo es tanto un proceso de síntesis como de descomposición. La pared celular de los microorganismos que atacan a la materia orgánica es una barrera importante para el movimiento de materiales del exterior de la célula al interior, y viceversa. Algunos compuestos orgánicos, tales como los azúcares, son de forma simple y fácilmente solubles en agua. Pueden ser rápidamente absorbidos por los microorganismos, suministrando energía y elaborándose polímeros a partir de ellos. La lignina es un material leñoso, que es altamente resistente, y solo se descompone después de un periodo muy largo de tiempo (Dalzell *et al.* 1991).

Aunque el composteo puede ser anaerobio, los microorganismos aerobios predominaran si el oxígeno está presente. De acuerdo con Peavy *et al.* (1986), el monto de oxígeno requerido para una estabilización aerobia completa de los residuos sólidos municipales, puede ser estimado usando la siguiente ecuación:



Los microorganismos aerobios convierten mas de la energía química en calor lo cual eleva la temperatura de la biomasa en un monto que depende de la tasa de conversión de energía y la tasa de enfriamiento (Willson *et al.* 1983).

Cuadro 5.- Composición de la materia orgánica.

Fracción	% en peso seco
Azúcar, almidones, aminoácidos, urea, sales amoniacales (solubles en agua caliente/fria)	2 a 30
Grasas, aceites, ceras (solubles en eter/alcohol)	1 a 15
Proteínas	5 a 40
Hemicelulosas	10 a 30
Celulosa	15 a 60
Lignina	5 a 30
Material mineral (ceniza)	5 a 30

(Fuente: Dalzell *et al.* 1991)

4.3.4 Factores ambientales y operacionales

Los microorganismos son los principales agentes en el proceso de composteo, se asume que los factores que afectan su proliferación y actividad son los que van a determinar la tasa y extensión del composteo.

La base de un proceso de composteo exitoso es el control de varios parámetros fundamentales: oxígeno, humedad, y relación carbono nitrógeno (C:N) y el monitoreo de otros como pH y temperatura (Hitchens *et al.* s/f). Un punto importante es que la disponibilidad de nutrientes está relacionada con la estructura enzimática de cada microorganismo. Por lo tanto, ciertos grupos de microorganismos tienen un complejo enzimático que les permite atacar, degradar, y utilizar la materia orgánica como se encuentre en un residuo fresco, mientras otros pueden utilizar solo los productos de descomposición (intermedios) como una fuente de nutrientes (Haug 1993).

El significado de este hecho es que la descomposición y, por lo tanto, el composteo de un residuo es el resultado de las actividades de una sucesión dinámica de diferentes grupos de microorganismos en la cual un grupo, por así decir, prepara el camino para su grupo sucesor.

Con respecto a las necesidades nutricionales de los microbios activos en el composteo, la relación C:N del residuo a ser composteado es el factor más importante que requiere atención, ya que casi sin excepción todos los otros nutrientes se encuentran presentes en los residuos orgánicos típicos en adecuadas cantidades y proporciones. Diversos estudios han demostrado que los valores obtenidos en composteo de escala pequeña en el cual los análisis de carbono y nitrógeno no son factibles, puede asumirse que la proporción C:N se aproxima a los niveles propios si la proporción del residuo verde (en color) o fresco (de comida) a un residuo seco o no verde es volumétricamente de 1 a 4 (Haug 1993).

4.3.4.1. Tamaño de la partícula

Generalmente se requiere de alguna reducción del material utilizado, pero cuando no se cuenta con maquinaria para hacerlo a veces es suficiente con revolver y voltear el material para doblar, romper y macerar la materia, principalmente con residuos altamente orgánicos y húmedos como los generados en la preparación de alimentos. Picar y moler algunos de los residuos orgánicos puede acelerar la tasa de descomposición durante el composteo incrementando el área superficial para el ataque microbial. Sin embargo, moler el exceso, puede llevar a la compactación y a condiciones anaerobias (Wilson *et al.* 1983).

En la práctica de composteo, el tamaño óptimo de partícula varía con la naturaleza física del material residual. Si la estructura del material es rígida y no es fácilmente compactable, el tamaño de la partícula debe estar en el rango de .5 a 3 pulgadas. Con material fresco, de plantas verdes, el tamaño mínimo no debe ser menor de 2 pulgadas, mientras que el tamaño máximo de partícula debe ser cuando mucho de 6 pulgadas, dependiendo de la capacidad de descomposición del material (Haug 1993).

4.3.4.2. Factores ambientales

Los principales factores ambientales a considerarse en un proceso de composteo son temperatura, pH, aireación, humedad, y sustrato.

4.3.4.2.1. Temperatura

Al igual que el pH, la temperatura es un indicador de la actividad microbial existente en la masa en descomposición (Hitchens *et al.* s/f). A medida que el proceso de composteo avanza, la actividad microbial se incrementa y la temperatura incrementa rápidamente del rango mesofílico al termofílico, que comienza por los 40°C. La descomposición de los materiales orgánicos es mas rápida en el rango termofílico (Wilson *et al.* 1983).

Al comienzo del procedimiento, el material se encuentra a temperatura ambiente. En la primera etapa hay un calentamiento gradual, los microorganismos presentes en el material se multiplican rápidamente y la temperatura se eleva. Durante este periodo se descomponen todos los compuestos muy atacables tales como azúcares, almidones y grasas. Cuando la temperatura alcanza 60°C, la actividad de los hongos cesa, y la descomposición es llevada a cabo por los actinomicetos y las cepas de bacterias que forman esporas. La velocidad de descomposición se modera, y se alcanza el máximo de temperatura. Cuando el material en compostaje ha pasado a través del máximo de temperatura, la pila alcanza la estabilidad en que se han descompuesto los materiales fácilmente alterables y se ha satisfecho la mayor parte del alto nivel de demanda de oxígeno (Dalzell *et al.* 1991).

Cuando se enfría, las pajas y tallos son descompuestos por los hongos principalmente, los actinomicetos ayudan también durante este periodo. Al final del periodo de enfriamiento desaparece la mayoría del suministro de alimento, comienza la competición entre los organismos. El proceso entra ahora en la etapa de madurez en la que la magnitud de la descomposición es baja y el desprendimiento de calor es pequeño. El tiempo total que pasa desde la construcción de la pila hasta la madurez dependerá de la naturaleza de los materiales orgánicos, de las condiciones de aireación y humedad en la pila, y de las condiciones ambientales (Dalzell *et al.* 1991).

La distribución de la temperatura en una masa de composta es afectada por condiciones climáticas y por el método de aireación. En una pila, los niveles de temperatura mas altos se alcanzan en el centro de la masa. Los niveles más bajos se alcanzan en los extremos de la pila, estos gradientes de temperatura promueven un flujo natural de aire (Haug 1993).

4.3.4.2.2. Nivel de potencial de hidrógeno (pH)

Como en una digestión anaerobia, el nivel de pH óptimo generalmente cubre un rango muy reducido (ejem. 6.5 a 7.5), el rango en el composteo es tan amplio que las dificultades debidas a un nivel de pH excesivamente alto o bajo raramente son encontradas. Durante el composteo, el nivel de pH normalmente cae de algún modo durante las primeras etapas del proceso (por ejem. baja a 5.0) a causa de la formación de ácido orgánico. El ácido sirve como un sustrato para las subsecuentes poblaciones microbianas. Después el pH empieza a subir, y puede alcanzar niveles tan altos como 8.5. Debido a esto no es necesario equilibrar el pH de la composta mediante la adición de hidróxido de calcio, y si es posible se debe evitar esto, puesto que puede conllevar a una pérdida de nitrógeno amoniacal en las últimas etapas del composteo (Haug 1993).

4.3.4.2.3. Aireación

Para una descomposición microbiana exitosa, debe haber suficiente oxígeno para soportar la dominancia de los microorganismos aerobios. Sin la cantidad adecuada de oxígeno, pueden ocurrir condiciones anaerobias, conduciendo a problemas de olor y un producto final de baja calidad (Hitchens *et al.* s/f).

Aunque de algún modo la descomposición aeróbica durante el composteo incrementa la pérdida de nitrógeno, también implica una tasa más rápida de degradación, la retención de altos niveles de temperatura, y la ausencia de olores putrefactos. Sería pretencioso decir que todos los olores son inobjetables para todos los individuos, porque si hay presencia de olores, principalmente el de tierra húmeda al voltear la composta (Haug 1993).

La aireación se logra por el movimiento natural del aire hacia el interior de la pila de composta, mediante el volteo periódico del material, o insuflando aire en la pila usando un ventilador. El movimiento natural del aire sigue el "efecto chimenea" en el que las corrientes de convección cálidas se elevan a través y hacia fuera de la pila (Dalzell *et al.* 1991). La tasa requerida para mantener el proceso aeróbico está determinada por la naturaleza y estructura de los residuos y el método de aireación; de acuerdo con Wilson *et al.* (1983), un flujo continuo de oxígeno debe estar disponible para asegurar un composteo aerobio / termófilo.

4.3.4.2.4. Contenido de humedad

La presencia de agua es necesaria para el proceso de composteo, sin embargo el balance de agua-sólidos es un parámetro delicado que puede tener un impacto importante que puede tener impacto en la actividad aerobia (Hitchens *et al.* s/f). Sin embargo cuando el contenido de humedad es demasiado alto los espacios entre las partículas del material se saturan de agua, impidiendo el movimiento de aire dentro de la pila.

En otras palabras, el contenido de humedad máximo permisible es una función de la fuerza estructural de las partículas que componen el material de composteo. Se refiere al grado de resistencia de las partículas individuales a la compresión, por ejemplo la extensión a la cual mantienen sus formas originales después de haber sido mojados o comprimidos. Obviamente, a mayor fuerza estructural, mayor será el contenido de humedad permitido. Para residuos como pedazos de madera, pasto, hojas, etc., el contenido de humedad permisible es de hasta 75 a 80%. En la discusión sobre contenido de humedad, debe ponerse especial atención a los niveles más bajos en los cuales la humedad se vuelve limitante (Haug 1993). En la practica un contenido de humedad por debajo del 40% permitirá una descomposición aerobia pero lenta, y un contenido de humedad por arriba del 60% puede conducir a condiciones anaerobias (Wilson *et al.* 1983).

4.3.4.3. Aditivos

Si se añaden suplementos químicos, herbáceos o bacterianos a la pila de composta, aumenta la velocidad de descomposición (Dalzell *et al.* 1991). Con unas pocas excepciones, la abundancia y variedad de los microbios propios de los residuos son suficientes para compostear los residuos. La eficacia de la adición de un inoculo no ha sido demostrada inequívocamente y científicamente (Haug 1993).

4.3.4.3.1. Vermicomposteo

El vermicomposteo es un proceso de biooxidación y estabilización de material orgánica que, en contraste con el composteo, involucra la acción conjunta de lombrices de tierra y microorganismos y no involucra una etapa termofílica. La aplicación de composteo y

vermicomposteo a menudo ha sido infructuosa debido al mito de que ambos son “procesos naturales” y necesitan poco manejo. Para un composteo y vermicomposteo exitoso se requiere de adecuados sistemas de proceso y criterios de control. Mas aún, las investigaciones en vermicomposteo no se han desarrollado al mismo nivel que para el composteo; es necesario saber y entender mejor todo el proceso en orden de hacerlo más eficiente (Domínguez *et al.* 1997).

4.3.5. Materiales

En los trópicos y subtrópicos es necesario aportar grandes cantidades de materia orgánica a los suelos para suministrar nutrientes a las plantas, ayudar a la retención de agua y para mantener en buen estado la estructura del suelo. Se requieren aportes frecuentes de composta, debido a que la velocidad de oxidación de la materia orgánica es alta dadas las altas temperaturas del suelo (Dalzell *et al.* 1991).

Frecuentemente es ventajoso combinar dos o más fuentes de desperdicios para facilitar la preparación y mejorar la calidad del composte (Wilson *et al.* 1983). Los principales materiales composteables provienen de residuos orgánicos de diferentes orígenes tales como domésticos, de huerto, cultivos, ganado, bosque, ríos mares, industria y basuras de pueblo y ciudad (Dalzell *et al.* 1991).

4.3.5.1. Residuos domésticos orgánicos

Los residuos domésticos incluyen materiales de la preparación de las comidas como las cáscaras de vegetales y las hojas que no se comen, cáscaras de frutas, de huevo, hojas de té y restos de café en grano. Los restos de carne, huesos, etc., pueden originar problemas debido a la atracción de moscas y gusanos, a menos que se pongan en el centro caliente de una pila de composta activa. También se puede utilizar papel y cartón, algunas tiras de lana y algodón, así como el polvo que se recoge al barrer y cenizas (Dalzell *et al.* 1991).

4.3.5.2. Residuos de jardín

Los residuos de jardín incluyen restos de cultivos de huerta, flores muertas, tallos, pasto podado, hojas, hierbas y cenizas secas. Aproximadamente el 70% de los residuos de jardinería consiste en pasto podado, las hojas comprimidas hacen un 25%, y el 5% restante consiste en tallos y otros materiales; estos porcentajes son promedios y las tasas de colección pueden variar a lo largo del año (Haug 1993).

4.3.6. Monitoreo del proceso

4.3.6.1 Ascenso y descenso de temperatura

Normalmente, la temperatura del material comienza a elevarse pronto después de establecer las condiciones de composteo, por ejemplo, después de que el material ha sido puesto en una pila o en una unidad de reacción. El ascenso inicial en la temperatura es gradual; inmediatamente después, si las condiciones son apropiadas, la temperatura se eleva casi exponencialmente con el tiempo hasta que empieza a “formar una meseta” a aproximadamente 150 o 160°F (65.56 a 71.1°C). Dependiendo del sistema usado y la naturaleza del residuo, el periodo de temperatura alta (“meseta”) persiste por 1 a 3 semanas y entonces empieza a declinar gradualmente hasta que alcanza la temperatura ambiente. Si las condiciones son menos que satisfactorias, la meseta de alta temperatura puede durar más de 3 semanas, aunque los niveles pueden ser más bajos, por ejemplo de 130 a 140°F (54.4 a 60°C) (Haug 1993).

El aumento en la temperatura es debido a dos factores, el calor generado por la población microbiana y el aislamiento contra la pérdida de calor proporcionada por la masa de composta. Esto último implica que a menor cantidad de masa crítica, el calor se perderá rápidamente a medida que se genera y el material permanecerá a temperatura ambiente. Cuando el material degradable ha sido composteado, y solo queda material refractario, la actividad bacteriana disminuye y, correspondientemente también la temperatura desciende. Puede asumirse que para el momento en que la temperatura ha descendido a la temperatura ambiente o unos grados más, los componentes más inestables en los residuos han sido estabilizados, y por lo tanto el material composteado es suficientemente adecuado para almacenarlo o utilizarlo (Dalzell *et al.* 1991).

4.4. PROCESOS DE COMPOSTEO

Existen una gran cantidad de sistemas de composteo identificados por los nombres de sus inventores o de sus propietarios. Se han utilizado diversos métodos para categorizar los sistemas de composteo, tal vez la distinción más básica es entre los sistemas en los que el material en composteo está contenido en un reactor y aquellos en los que no. Los sistemas que usan reactor son conocidos con los términos de “mecánicos”, “cerrados” o “en-recipiente”, mientras que los que no usan reactor se conocen como sistemas “abiertos” (Haug 1993).

En general, los sistemas son clasificados ya sea por el método de preparación de los residuos o por el método de digestión. Algunas veces se usa ambos esquemas de clasificación en la descripción. En la mayoría de los sistemas, los residuos son preparados para la digestión triturándolos en algún tipo de molino. La digestión se lleva a cabo en hileras sobre el piso, trincheras, pozos, celdas, tanques, torres de múltiples etapas, cilindros, depósitos, etc. (<http://www.cepis.ops-oms.org/acrobat/composti.pdf>). A continuación se presenta la descripción de algunos de estos sistemas:

4.4.1. PROCESOS “ABIERTOS” (NO REACTOR)

Los procesos o sistemas no reactor se dividen entre los que mantienen una cama de sólidos agitada y aquellos que emplean una cama estática (Haug, 1993).

4.4.1.1.-Proceso Windrow

El sistema windrow es el ejemplo más popular de un sistema no reactor, de cama de sólidos agitada. Diferentes materiales compuestos en filas y girados periódicamente, usualmente por equipo mecánico. La altura, ancho y forma de los windrows (filas ventiladas) varía dependiendo de la naturaleza del material de origen y el tipo de equipo usado para el volteo (Haug 1993).

4.4.1.2.-Proceso de Pila Estática

El proceso de pila estática aireada, es el ejemplo principal de un sistema no reactor, de cama de sólidos estática. En este proceso, el substrato (como lodos activados) es mezclado con un

agente abultante, como astillas de madera, y formado en una gran pila. El agente abultante provee estabilidad estructural al material y mantiene los vacíos de aire sin la necesidad de agitación periódica (Haug 1993).

4.4.2. PROCESOS EN REACTOR

Los procesos en reactor se clasifican primero de acuerdo a la manera en que los sólidos fluyen, ya sea en reactores de flujo vertical o reactores de flujo horizontal. El flujo horizontal incluye algunos tipos de reactores en los cuales existe una inclinación ligera de la horizontal para permitir el flujo de los sólidos (Haug 1993).

4.4.2.1.-Proceso de Tambor Giratorio

Existen al menos tres tipos de tambores giratorios dependiendo del patrón de flujo de los sólidos dentro del reactor. El modo más común de operación es dividir el tambor en cierto número de celdas en serie; el producto se descarga de la última celda. En forma consecutiva cada celda descarga en la siguiente, el material de alimentación se introduce en la primer celda una vez que esta se ha vaciado (Haug 1993).

4.4.2.2.-Proceso de arcones agitados

En estos reactores de flujo horizontal, se utiliza tanto aireación forzada como agitación mecánica de los sólidos, lo que permite una flexibilidad operacional considerable. Los reactores son comúnmente descubiertos en la parte de arriba y pueden estar dentro de un edificio para mejorar la operación en cualquier tipo de clima y control de problemas (Haug 1993).

4.4.2.3.-Proceso de arcones de cama estática

Este tipo de sistema ha sido aplicado a diversos materiales incluyendo lodo, estiércol y fracciones de RSM. El contenedor es esencialmente un tapón de flujo, un reactor tubular o túnel con una sección transversal rectangular. Un diseño utiliza un plato de empuje con movimiento hacia delante y hacia atrás que es situado al extremo de alimentación del túnel. Cuando el plato es retirado, la carga diaria de materiales mezclados es agregada a la zona vacía creada, cuando la cámara está llena, el plato de empuje es hidráulicamente movido hacia delante, empujando el

nuevo material hacia el reactor y simultáneamente expulsando composta “verde” en el otro extremo del reactor (Haug 1993).

4.4.3. PROCESOS NO REACTOR, CAMA DE SÓLIDOS AGITADA.

4.4.3.1.-Proceso Bangalore (Indore)

Usa trincheras en el suelo, de 2 ó 3 pies de profundidad. El material es colocado en capas alternadas de residuos, estiércol, tierra, paja, etc. No utiliza la molienda. Los volteos son hechos a mano tan frecuentemente como es posible. El tiempo de retención es de 120 a 180 días. El uso de este método es común en la India. (<http://www.cepis.ops-oms.org/acrobat/composti.pdf>).

4.4.3.2.- Proceso V.A.M. (van Manen)

El sistema se encuentra en operación en Wyster, Holanda y se inició en 1932. La instalación es operada por la firma N. V. Vuilafvoer Maatschappij (V.A.M.) cuyo mayor accionista es el Ministerio de Agricultura, sin fines lucrativos, teniendo por fin la recuperación de un área de dunas para fines agrícolas. Recibe anualmente 200,000 toneladas de basura, llegando la mayor parte por ferrocarril, distribuidas por las ciudades que disponen su basura en vagones especiales totalmente cerrados. La basura es dispuesta en lechos de aproximadamente 1 km de extensión y 10 m de altura, permaneciendo en maduración por un año aproximadamente. Durante el proceso de descomposición, el lixiviado obtenido es esparcido sobre los lechos. El material resultante es posteriormente molido en molinos de martillo, tamizado y vendido como humus. Actualmente el molino de martillo ha sido sustituido por otro equipo donde el material es comprimido en movimiento giratorio contra una placa perforada por medio de un brazo articulado (<http://www.cepis.ops-oms.org/acrobat/composti.pdf>).

4.4.3.3.-Proceso de Windrow moderno

En el proceso windrow, los residuos son dispuestos en pilas que son arregladas en largas filas paralelas o “windrows”. En sistemas más grandes y más “high tech”, las filas son volteadas a intervalos regulares por equipo móvil especializado. Este sistema ha sido usado exitosamente para el composteo de una amplia variedad de residuos orgánicos, incluyendo estiércol, lodos

residuales, y hojas y residuos de jardinería. La ventilación es por medio de un efecto de chimenea natural o aireación forzada. (Haug 1993).

4.4.4. PROCESOS NO REACTOR, CAMA DE SÓLIDOS ESTÁTICA.

4.4.4.1.-Proceso de pila estática aireada

Pilas abiertas son construidas de una mezcla de lodos residuales y un agente abultante. El oxígeno es administrado por medio de aireación forzada. El agente abultante, usualmente astillas de madera, es barrido de la composta y usado nuevamente para mezclarse con más lodo. El sistema de la pila estática es ampliamente usado en los Estados Unidos para el composteo de lodos residuales (Haug 1993).

4.4.4.2.-Proceso Brikollari (Caspari, Enladrillado)

Los desperdicios o bioresiduos son comprimidos en bloques y apilados con espacio de aire entre ellos. El periodo de calentamiento dura de 5 a 6 semanas y la curación de 4 a 12 semanas. La aireación es por difusión natural y flujo de aire entre las pilas. El curado sigue después del composteo inicial y los bloques comprimidos pueden ser tierra posteriormente. Puede añadirse lodo a la mezcla para tener hasta un 53% de contenido de humedad (Haug 1993).

4.4.5. PROCESOS DE FLUJO VERTICAL CAMA DE SÓLIDOS AGITADA.

4.4.5.1.-Proceso Earp - Thomas

Tipo silo con ocho compartimentos dispuestos verticalmente. Los residuos colocados en el interior son movidos hacia abajo del compartimento en compartimento con introducción de aire a través del silo. Usa un inóculo patentado. La digestión dura de 2 a 3 días y luego es seguida por la formación de hileras para la maduración.

Su uso es frecuente en Alemania, Suiza, Italia, Grecia. (<http://www.cepis.ops-oms.org/acrobat/composti.pdf>).

4.4.6. PROCESOS DE FLUJO VERTICAL CAMA EMPACADA.

4.4.6.1.-Proceso Beccari

La fermentación es inicialmente aerobia, en compartimentos cerrados. Enseguida se provoca una ventilación forzada para estimular el crecimiento de bacterias aerobias. Los compartimentos pueden ser de dimensiones bastante variadas, habiendo reactores de 20 a 200 m³ de capacidad. El tiempo de tratamiento es de 45 días (<http://www.cepis.ops-oms.org/acrobat/composti.pdf>).

4.4.6.2.-Proceso Triga (Halbert-Triga)

Un puente rodante retira la basura de un foso de recepción y alimenta un tamiz rotatorio de malla gruesa. El material tamizado es llevado por una banda transportadora a un molino. El material ferroso es previamente retirado por un extractor magnético. El producto molido es transportado al digestor formado de cuatro silos verticales. Los silos son cargados por la parte superior, permaneciendo el material dos días en su interior, efectuándose la descarga por una rosca sin fin. Una banda transportadora lleva el material de nuevo a la parte superior de otro digestor, y así sucesivamente. La parte superior de los silos posee un ventilador para la aireación del material en su interior. De los silos el material pasa a un extractor magnético y de allí a un tamiz vibratorio (<http://www.cepis.ops-oms.org/acrobat/composti.pdf>).

4.4.7. PROCESOS DE FLUJO HORIZONTAL, TAMBORES ROTATORIOS.

4.4.7.1.-Proceso Bioestabilizador Dano

Cilindro rotatorio con ligera inclinación respecto a la horizontal, diámetro de 9 a 12 pies, con una longitud superior a los 150 pies. Sin molienda. La digestión de 1 a 5 días es seguida por la formación de hileras para la maduración. Con aireación forzada dentro de los cilindros. El uso de este método predomina en Europa (<http://www.cepis.ops-oms.org/acrobat/composti.pdf>).

4.4.8. PROCESOS DE FLUJO HORIZONTAL, ARCONES AGITADOS, O CANALES ABIERTOS.

4.4.8.1.-Proceso Fairfield-Hardy

El equipo principal es un digestor en forma circular vertical, el cual es alimentado por la parte central superior. Un brazo que gira en el interior del digestor agita los residuos por medio de helicoidales verticales fijados al brazo con dirección hacia abajo. El material es homogeneizado para facilitar la aireación, siendo trasladado lentamente hacia el tubo de salida en el centro del fondo del tambor. La aireación es forzada de abajo hacia arriba en el interior del digestor. La composta es retirada del tambor después de cinco días de maduración.

Instalaciones con este sistema existen en Brasil, Puerto Rico, Estados Unidos (<http://www.cepis.ops-oms.org/acrobat/composti.pdf>).

4.4.8.2.- Proceso Metro

Sistema utilizado en Largo, en el Estado Florida, en los Estados Unidos, en una planta inaugurada en 1953, con capacidad de 50 ton/ día. También en Houston, Texas, y en otras plantas inauguradas en 1967 con capacidad de 360 ton/ día en Gainesville, Florida. Las dos últimas plantas poseen separación y recuperación de materiales, dos etapas de reducción de tamaño por medio de molinos de martillo y sistema de adición de lodos de desagüe (<http://www.cepis.ops-oms.org/acrobat/composti.pdf>).

4.5. ANÁLISIS DE COMPOSTAS

Sauri *et al.*(1992) presentaron resultados de la aplicación de composteo a los desechos sólidos municipales de la ciudad de Mérida y proporcionan diversos valores de cenizas, nitrógeno, fósforo y carbono para compostas realizadas en primavera, verano y otoño en las etapas de estabilización (Cuadro 6) y maduración (Cuadro 7), entre sus conclusiones mencionan que el proceso se realiza satisfactoriamente para el tipo de desecho estudiado, en el clima de la región y con un mínimo de tecnología, así mismo indican que el procedimiento es adecuado para tratar los desechos producidos en las poblaciones pequeñas y medianas, aunque es necesaria la supervisión de la calidad del producto final antes de aplicarlo como mejorador del suelo.

Cuadro 6.- Características fisicoquímicas iniciales y finales durante el periodo de estabilización.

Etapa	Pila	T amb °C	T de la Pila °C	Humedad %	pH	Sólidos Volátiles	Cenizas %	Nitrógeno %	Fósforo %	Carbono %	
Otoño/89	Inicio	1	30.0	70.8	73.5	6.6	80.2	19.8	1.37	--	44.5
		2	30.0	68.2	72.0	6.3	86.7	13.3	1.12	--	48.2
	Final	1	28.0	30.8	26.0	7.9	60.9	39.1	2.49	--	32.9
		2	28.0	31.4	35.6	7.8	60.9	39.1	2.45	--	33.8
Prim/90	Inicio	1	38.0	64.4	46.5	6.5	67.7	32.3	1.59	0.38	37.6
		2	37.0	60.0	63.2	6.7	80.0	20.0	1.59	0.26	44.6
		3	37.0	39.4	55.2	6.2	83.0	17.0	1.07	0.12	46.1
	Final	1	34.0	49.8	55.0	8.3	54.1	45.9	2.07	0.29	30.1
		2	34.0	48.2	53.6	8.5	58.3	41.7	1.71	0.54	32.4
		3	34.0	45.8	58.6	8.2	56.5	43.5	1.03	0.31	31.4
Ver/90	Inicio	1	31.5	37.3*	70.2	--	83.3	16.7	1.52	--	46.3
		2	25.0	37.3*	70.2	--	83.3	16.7	1.52	--	46.3
	Final	1	31.5	26.4*	10.5	8.2	62.4	37.6	2.01	0.27	34.7
		2	25.0	26.3*	10.8	8.2	68.6	31.4	2.02	0.27	38.1

* Promedio del fondo de la pila
(Fuente: Sauri *et al.* 1992)

Cuadro 7.- Características fisicoquímicas iniciales y finales durante el periodo de maduración.

Etapa	Pila	Tiempo de maduración	Humedad %	pH	Sólidos Volátiles	Cenizas %	Nitrógeno %	Fósforo %	Carbono %
Otoño/89	1	1 mes	26.0	7.9	60.9	39.1	2.49	---	32.9
		2 meses	33.5	8.0	53.1	46.9	2.16	---	39.5
		3 meses	19.3	7.7	58.0	42.0	2.09	---	32.2
	2	1 mes	35.6	7.8	60.9	39.1	2.45	---	33.8
		2 meses	40.7	7.7	47.4	52.6	2.00	---	26.3
		3 meses	29.6	7.0	43.4	56.6	2.19	---	24.1
Prim/90	1	1 mes	55.0	8.3	54.1	45.9	2.07	0.29	30.1
		2 meses	10.6	7.1	56.6	43.4	1.29	0.57	31.4
		3 meses	53.8	7.8	34.2	65.8	3.07	0.43	19.0
	2	1 mes	53.6	8.5	58.3	41.7	1.71	0.54	32.4
		2 meses	9.6	7.6	55.2	44.8	1.97	0.30	30.7
		3 meses	39.1	7.7	34.2	65.8	1.59	1.06	19.0
	3	1 mes	58.6	8.2	56.5	43.5	1.03	0.31	31.4
		2 meses	8.9	7.5	55.4	44.6	1.21	0.70	30.8
		3 meses	34.2	7.3	34.9	65.1	1.85	0.94	19.4
Ver/ 90	1	1 mes	10.5	8.2	62.4	37.7	2.01	0.27	34.7
		2 meses	32.1	8.5	67.8	32.2	2.14	0.83	37.7
		3 meses	42.4	8.0	40.2	59.8	2.20	0.46	22.3
	2	1 mes	10.8	8.1	68.6	31.4	2.02	0.26	38.1
		2 meses	30.2	8.3	71.7	28.3	1.89	0.31	39.8
		3 meses	41.8	8.0	40.7	59.3	2.07	0.37	22.6

(Fuente: Sauri *et al.* 1992.)

Por otra parte Estrada y Gutiérrez (1992), realizaron un análisis comparativo entre la composición de los residuos sólidos y sus características físico-químicas, proporcionando los valores típicos que se muestran en el Cuadro 8. Con estos estudios emitieron algunas recomendaciones para definir estrategias de implementación considerando la vocación de los residuos; para los residuos alimenticios sugieren el compostaje como método de tratamiento más común en el ámbito mundial, resaltando como única problemática el cómo separar los residuos orgánicos a fin de ser aprovechados.

Cuadro 8.-Valores típicos de contenido de humedad y CHON.

Residuo	Humedad %	Carbono %	Hidrógeno %	Oxígeno %	Nitrógeno %
Residuo alimenticio	70	48.00	6.40	37.60	2.60
Residuo de jardinería	60	47.80	6.00	38.00	3.40

(Fuente: Estrada y Gutiérrez 1992.)

Dalzell *et al.*(1991) indican que las compostas elaboradas con desechos municipales, basuras y tierras cloacales o lodos de aguas negras tienen composiciones que muestran niveles de materia orgánica y de nutrientes bajos pero alto contenido en cenizas (materia mineral) y calcio; mientras que los desechos agrícolas y de jardinería producen composta con un contenido en materia orgánica mucho mayor y con mayores niveles de nutrientes. Los análisis presentados son sobre peso seco (Cuadro 9). En el Cuadro 10 se muestran los contenidos en nutrientes más importantes de varias compostas, expresado en peso fresco. El Cuadro 11 muestra datos sobre el contenido de metales traza en varias compostas municipales del Reino Unido, dos de las compostas estaban basados en basura y dos en mezclas de basura y lodo de aguas negras.

Cuadro 9.-Rangos de composición química en compostes maduros.

Sustancia	Rango de composición % peso sobre peso seco	
Materia orgánica	25 a 80	
Carbono	8 a 50	
Nitrógeno	0,4 a 3,5	
Fósforo	0,1 a 1,6	
Potasio	0,4 a 1,6	
Calcio	6,0 a 1,1	
Cenizas	75 a 20	
	Composte municipal	Composte agrícola / jardinería

(Fuente: Dalzell *et al.* 1991)

Cuadro 10.-Composición de varios compostes.
(expresada como porcentaje sobre peso fresco)

Compostes hechos de:	Composición		
	%N	%P	%K
Composte de jardinería	0,4-3,5	0,3-1,0	0,2-0,3
Composte municipal	0,4-1,6	0,1-0,4	0,2-0,6

(Fuente: Dalzell *et al.* 1991)

Cuadro 11.-Contenido total de metales traza en algunos compostes municipales del Reino Unido.
(expresados en mg/kg sobre peso seco).

Metal traza	Contenido	
	Rango	Valor medio
Cromo (Cr)	100 – 280	170
Cobre (Cu)	280 – 1100	610
Manganeso (Mn)	385 – 1600	800
Molibdeno (Mo)	20 – 35	25
Níquel (Ni)	90 – 180	140
Zinc (Zn)	465 -	1350

(Fuente: Dalzell *et al.* 1991)

Por otra parte, Díaz *et al.* (1993) proporcionan diversas tablas con las especificaciones que deben cumplir las compostas en algunos Estados de la Unión Americana, dependiendo del tipo de uso que se pretenda para las mismas (Cuadro 12). También presenta las características de compostas elaboradas con diferentes tipos de materiales (Cuadro 13) y datos de las características de compostas de residuos de jardinería y lodos residuales de un estudio hecho en Pórtland Oregon, E.U. (Cuadro 14).

Cuadro 12.-Especificaciones para Compostas en Varios Estados de los E.U.
(partes por millón)

Estado: Material ^a	Florida RJ/ES	Florida LR/RSM	Florida LR/RSM	Florida LR/RSM	Massachussets LR/RSM/RJ	Massachussets LR/RSM/RJ	Minnessota	NuevaYork LR/RSM	Pennsylvania LR/RSM
Uso ^b 1/	U 2/	U	L 2	L4	U	L 1	U	U	L 3
Criterio									
Mercurio	---	---	---	---	10	10	5	10	10
Cadmio	15	15	100	>100	2	25	10	10	25
	--	--	--	--	10	10	--	--	--
Molibdeno									
Níquel	50	50	500	>500	200	200	100	200	200
Plomo	500	500	1500	>1500	300	1000	500	250	1000
Cromo	--	--	--	--	1000	1000	1000	1000	1000
Cobre	450	450	3000	>3000	1000	1000	500	1000	1000
Boro	--	--	--	--	300	300	--	--	--
Zinc	900	900	10000	>10000	2500	2500	1000	2500	2500

^a RJ = Residuos de Jardinería; ES = Estiércol; LR = Lodo Residual; RSM = Residuos Sólidos Municipales

^b 1/ uso: U = Distribución no restricta, L = distribución limitada: (1) Cosechas no relacionadas con la cadena alimenticia; (2) agencias comerciales, agrícolas, institucionales, o gubernamentales; (3) distribución al público; (4) rellenos sanitarios. 2/ no sujeta a pruebas; se asume que la composta alcanza los límites de metales pesados.

(Fuente: Díaz *et al.* 1993)

Cuadro 13.-Características de Diferentes tipos de composta.

	Unidad ^a	Residuos de Jardinería	Papel de Desecho ^b	Residuos de Comida ^c	Residuos Sólidos Municipales Mezclados
Aluminio	Ppm	600			
Boro	Ppm	0.5-81	24.4	3.8	
Cadmio	Ppm	0.8	1.2	0-0.8	1.4-6.0
Calcio	Ppm	875	2800	2511-38400	
Cromo	Ppm	23	27.1	6.6-23.8	16.220
Cobalto	Ppm		7.0	1.8-17.2	
Cobre	Ppm	2-6	61.6	8.7-24.8	46.5-630
Hierro	Ppm	144-412	2945	922	
Nitrógeno	%	0.7	0.53	0.95	
Plomo	Ppm	72	82.4	7.5-23.8	82.4-913
Magnesio	Ppm	11-920	3100	1050-9000	
Manganeso	Ppm	36	64.2	21-181.6	
Molibdeno	Ppm		16.3	9.2	
Níquel	Ppm	22	18.4	2.1-2.9	8.3-110
Fósforo	Ppm	4-280	640	1300-4600	
Potasio	Ppm	184-3600	3100	5800-8900	
Sodio	Ppm	39-753			
Zinc	Ppm	19-160	142	24.7-110.2	266-1650

^a base sobre peso seco; ^b calculado; ^c datos disponibles limitados complementados por valores calculados.

(Fuente: Díaz *et al.* 1993)

Cuadro 14.-Concentración total de metales en compostas.
(Digestión ácida en ppm)

Component e	RSM	Lodos Residuales		Residuos de Jardinería	
	(a)	(b)	(a)	(a)	(a)
Cianuro	0.49			0.15	0.08
Mercurio	3.70			0.05	0.08
Arsénico	1.10			4.80	5.20
Cadmio	4.80	26.23	19.60	0.80	0.80
Cromo	56	288.47	543	24.20	21.60
Níquel	32.80	126.02	148	21	22.70
Plomo	913	384.01	423	72.90	71.50
Magnesio	5800		2300	2500	2600
Calcio	76000		9900	10500	10300
Sodio	4700		300	200	200
Hierro	13200		13700	13500	15000
Aluminio	5400		11300	7800	7000
Manganeso	340		338	396	3390
Cobre	190	485.12	560	25	42
Zinc	1010	1368.02	1400	160	160

(a) Una muestra; (b) promedio de 10 muestras
(Fuente: Díaz *et al.* 1993)

Naylor *et al.* (1987), ilustran algunos ejemplos de que no solo los lodos residuales contienen “metales pesados”, y muestra la concentración de algunos de estos metales en diferentes materiales orgánicos (Cuadro 15).

Cuadro 15.-Concentración total de metales en compostas.
(Digestión ácida en ppm)

Metal	RSM			
	Lodos Residuales			
	Compost a de Estiércol (a)	Lodos	Turba	Suelo con estiérco I
Cadmio	0.3	10	0.5	<1.8
Cromo	6	500	3	20
Cobre	13	800	3	43
Plomo	18	500	24	25
Mercurio	0.1	6	0.1	---
Níquel	14	80	4	28
Zinc	59	1700	16	80

(Fuente: Naylor *et al.* 1987)

Por su parte Manser *et al.* (1996), menciona que dependiendo del uso final del producto, se sugieren algunos criterios como guía para el control de la calidad de las compostas (Cuadro 16). Una composta con altos niveles de metales puede ser usada en diversas aplicaciones sin que exceda la concentración final de metales recomendada.

Cuadro 16.-Concentración máxima de metales en compostas y suelo.
(Digestión ácida en ppm)

Metal	Máx. en composta		Máx.. en suelo	
	(lb/ton)	(mg/kg)	(lb/ton)	(mg/kg)
Zn (zinc)	3	1500	0.6	300
Pb (plomo)	2	1000	0.2	100
Cu (cobre)	1	500	0.2	100
Cr (cromo)	0.4	200	---	---
Ni (níquel)	0.2	100	0.1	50
Hg (mercurio)	0.01	5	---	---
Cd (cadmio)	0.01	5	0.0006	3

(Fuente: Manser *et al.* 1996)

4.6. FERTILIDAD EN LOS SUELOS TROPICALES

El Estado de Quintana Roo forma parte de la Península de Yucatán que se sustenta en una enorme plataforma calcárea (Hernández *et al.* 1995), esta plataforma constituye la gran mayoría de los suelos y se conoce con el nombre local de *saskab*, debido a su conformación geológica, los suelos son inmaduros, con excepción de los que se hallan en las colinas y que son de color rojo intenso, poco profundos, poco evolucionados y muy alterados, por ello su fertilidad es baja. En las partes superiores de los promontorios, los suelos se deslavan fácilmente y su material se deposita en las depresiones inmediatas formando un proceso de erosión-acumulación en el cual están involucrados los siguientes suelos en las zonas de deslave: rendzinas, luvisoles, nitosoles y planosoles (suelos *tzekel* y *kankab*), en tanto que en las arenas de acumulación se ubican las rendzinas gleicas, los fluvisoles y los vertisoles (suelos *a'kalche*). Hacia la parte colindante con Campeche y Yucatán, la menor humedad favorece la desecación del suelo, pero acelera su oxidación dando por resultado una acumulación de hidróxidos de hierro y de aluminio que forma nódulos, costras y láminas (que imprimen una coloración rojiza al suelo). Todo lo anterior acentúa el grado de lavado de las bases y con ello la disminución de la fertilidad, al encontrarse el fósforo y el nitrógeno en formas no asimilables por las plantas (Colmenero *et al.* 1990).

Se ha estimado que las contribuciones de nutrientes de la biomasa sobre la superficie de los bosques tropicales son de aproximadamente 50-80% de la fertilidad total del sistema (Kleinman *et al.* 1994). La materia orgánica del suelo generalmente declina durante el periodo de cosecha, tal declinamiento en los niveles de materia orgánica conduce a una reducción de la capacidad de intercambio catiónico, aumento en la acidez, disminución de los niveles de nitrógeno y fósforo, degradación de la estructura del suelo, reducción de la porosidad y aireación, y disminución en la capacidad de infiltración del agua. (Kleinman *et al.* 1994).

En la actualidad los agricultores restablecen de manera parcial y mantienen la fertilidad del suelo aplicando fertilizantes inorgánicos comerciales, de un alto costo, los cuales no agregan humus al suelo y si no se complementan con fertilizantes orgánicos hacen que el suelo se compacte y sea menos adecuado para el desarrollo del cultivo. Además al disminuir su porosidad, los fertilizantes inorgánicos también reducen el contenido de oxígeno del suelo e impiden que el fertilizante aplicado sea captado de manera eficiente (Ewel 1986).

De acuerdo con Figueroa (1983) los sistemas agrícolas de roza, tumba y quema que son extensivamente usados en el Sur del país (zonas tropicales) la quema del material acumulado durante el periodo de descanso de los terrenos constituye un desperdicio grande de materiales orgánicos susceptibles de utilización. De la misma manera no hay intentos de hacer compostas con las malas hierbas de los cultivos tropicales. Un buen uso de los residuos vegetales lo constituye el uso de coberturas vegetales combinado con métodos de labranza mínima, a fin de conservar e incrementar el contenido de materia orgánica del suelo y la humedad del mismo.

Los fertilizantes son la solución normal para las deficiencias de estos nutrimentos, pero los químicos industriales están más allá del alcance económico de la mayoría de los pequeños propietarios en el trópico húmedo. La mayoría del nitrógeno en los ecosistemas tropicales terrestres, tanto agrícolas como naturales, se encuentra en la materia orgánica del suelo y no en la biomasa, mientras que la cantidad de fósforo en un suelo sin fertilizar es determinada principalmente por el material madre. El fósforo es extremadamente inmóvil, de modo que solo una pequeña parte se pierde por lixiviado; mucho del fósforo que disponible para las plantas en los trópicos está en la materia orgánica del suelo, y normalmente aporta arriba del 50% del fósforo total en los horizontes superficiales de los suelos tropicales y puede representar del 60 - 80% del fósforo total del suelo en oxisoles altamente húmedos.

Manser *et al.*(1996), menciona que la composta como fuente de material húmico efectivamente fomenta la estructura del suelo, aireación, permeabilidad, etc., lo cual es vital para la producción de cosechas. En un suelo pobremente estructurado, la habilidad de las plantas para absorber los nutrientes puede caer considerablemente; el humus, al mejorar la estructura del suelo, incrementa la habilidad del mismo a resistir la erosión del viento y el agua. La materia orgánica del suelo tiene un efecto directo en la fertilidad de este a través de la provisión de nutrientes como el nitrógeno, fósforo y azufre, y la disponibilidad del fósforo es mejorada; por otra parte la composta tiene el potencial de estimular la actividad de fijación del nitrógeno.

5. MATERIALES Y MÉTODOS

Se elaboraron 6 contenedores de 1x1x0.5 metros hechos de palos de madera, la base de estos composteros se estableció a una altura de 20 cm sobre el suelo con el fin de garantizar las condiciones aeróbicas (Figura 2).

Figura 2.- Diseño de los contenedores para la composta.



Se elaboraron dos compostas de tipo aeróbico y dos replicas para cada composta, poniendo el material orgánico dentro de los contenedores. El material para las compostas de residuos de jardinería (pasto, hojas y ramas pequeñas principalmente) se obtuvieron de las actividades de poda y mantenimiento de las áreas verdes en las instalaciones de la Universidad de Quintana Roo Campus Chetumal, estos composteros se identificaron como C1, C2 y C3 respectivamente.

La composta de mercado 1 (CM1) se componía de una mezcla de material orgánico diverso obtenido de la separación de residuos que fueron solicitados a la Dirección de Servicios Públicos Municipales, dichos residuos fueron colectados del mercado “Lázaro Cárdenas” de la

ciudad de Chetumal, las compostas de mercado 2 y 3 (CM 2 y 3) se elaboraron con residuos de frutas, verduras y vegetales en estado de descomposición que fueron obtenidos directamente de los propietarios de puestos de frutas y verduras del mismo mercado. Una vez obtenida la materia prima se dividió en cada uno de los composteros dispuestos en el Área del Taller de Ingenierías en las instalaciones de la Universidad de Quintana Roo.

Los residuos de jardinería se dispusieron de modo que llenaran completamente los composteros, es decir que su medición se hizo en volumen, de modo que en cada contenedor había 0.5 m^3 de residuos de jardinería al inicio del trabajo. En lo que se refiere a las compostas de mercado, se pesaron los residuos antes de llenar los composteros, de modo que en el CM1 había 160 Kg de residuos orgánicos diversos y ocuparon un volumen de 0.5 m^3 , y en el CM2 y CM3 había 130 kg de verduras diversas que ocuparon un volumen de 0.45 m^3 .

Una vez dispuesto el material en los contenedores se llevó a cabo un control de la temperatura de las pilas, esto se hacía de Lunes a Viernes alrededor de las 5 pm y se tomaban tres mediciones en diferentes puntos en la pila de composteo, se calculaba un promedio que se reporto como la temperatura media de cada pila. También se llevo a cabo un mezclado del material de las compostas con un trinche y una pala con el fin de asegurar las condiciones aeróbicas, así como para homogeneizar la humedad del material; este mezclado se realizaba una vez cada semana.

Los análisis del producto final de las compostas se llevaron a cabo con el apoyo del personal del laboratorio de análisis fisicoquímicos del INIFAP Campus Chetumal. El tipo de análisis para las muestras fue el que se lleva a cabo para análisis para planta, para el análisis de nutrientes las muestras se prepararon por vía húmeda mediante ataque nitro perclórico. Para el nitrógeno total se realizó el análisis con microKeljdahl, para micro nutrientes (Fe, Cu, Mn, Mg, K, Ca, Na) se utilizó un espectrofotómetro de absorción atómica, para fósforo aprovechable se utilizó el método Olsen.

6. RESULTADOS

En el Cuadro 17 se muestran los resultados del control de temperatura diario para cada compostero; también se muestran la temperatura ambiental y los días en que se llevaron a cabo estas mediciones, las temperaturas mas altas resaltan en negritas, mientras que las mas bajas resaltan en cursiva. Las Figuras 3 a 9 en el Anexo muestran de forma mas clara las variaciones de temperatura entre las compostas y de las compostas en comparación con la temperatura ambiental.

Cuadro 17. Temperaturas registradas para cada pila de composteo.

Mes	Día	Temp. Amb. °C	T °C			T °C		
			Composta de Mercado			Composta de jardinería		
			1	2	3	C1	C2	C3
Marzo	15	26.6*	34.25	S/d	S/d	S/d	S/d	S/d
	16	26.6*	33.25	S/d	S/d	S/d	S/d	S/d
	17	26.6*	30.50	S/d	S/d	S/d	S/d	S/d
	18	26.6*	33.88	S/d	S/d	S/d	S/d	S/d
	19	26.6*	32.00	S/d	S/d	S/d	S/d	S/d
	22	26.6*	34.00	S/d	S/d	S/d	S/d	S/d
	23	26.6*	32.00	S/d	S/d	S/d	S/d	S/d
	24	26.6*	29.25	S/d	S/d	S/d	S/d	S/d
	25	26.6*	31.38	S/d	S/d	S/d	S/d	S/d
	26	26.6*	31.25	S/d	S/d	S/d	S/d	S/d
	29	26.6*	31.67	S/d	S/d	S/d	S/d	S/d
	30	26.6*	31.50	S/d	S/d	S/d	S/d	S/d
	31	26.6*	29.38	S/d	S/d	S/d	S/d	S/d
Abril	1	27.2*	30.00	S/d	S/d	S/d	S/d	S/d
Septiembre	2	S/d	S/d	30.33	32.13	28.75	29.00	31.25
	3	S/d	S/d	33.63	31.75	33.50	32.00	33.25
	6	31.00	S/d	32.38	30.75	29.25	31.00	30.00
	7	30.00	S/d	34.67	33.25	30.75	32.50	36.00
	8	30.00	S/d	32.88	31.25	30.00	31.25	33.25
	9	31.00	S/d	29.00	28.50	28.33	30.33	32.67
	10	31.00	S/d	30.00	30.00	29.75	33.63	34.67
	13	30.00	S/d	31.00	29.50	31.88	32.38	36.00
	14	30.00	S/d	30.00	28.50	34.88	34.67	35.00
	15	33.50	S/d	29.00	29.00	31.88	32.88	33.75
	16	35.00	S/d	30.50	28.50	32.00	31.88	32.50
20	34.00	S/d	30.67	31.38	31.00	31.00	30.33	

Mes	Día	Temp. Amb. °C	T °C			T °C		
			Composta de Mercado			Composta de jardinería		
	24	31.50	S/d	30.13	30.38	29.50	30.75	31.00
	25	30.00	S/d	28.00	29.38	29.38	29.88	30.13
	27	28.00	S/d	S/d	S/d	29.25	29.38	31.00
	29	27.00	S/d	S/d	S/d	28.50	30.00	31.88
	30	29.00	S/d	S/d	S/d	30.38	30.63	31.50
Octubre	1	29.00	S/d	S/d	S/d	31.50	31.33	31.83
	5	30.00	S/d	S/d	S/d	30.50	29.88	31.75
	6	31.00	S/d	S/d	S/d	30.75	30.88	32.13
	7	30.00	S/d	S/d	S/d	30.75	31.38	31.75
	8	29.00	S/d	S/d	S/d	29.13	30.38	30.75
	11	27.00	S/d	S/d	S/d	29.00	28.63	28.50
	12	27.00	S/d	S/d	S/d	29.00	28.63	29.00
	13	28.50	S/d	S/d	S/d	30.50	29.50	29.38
	14	29.00	S/d	S/d	S/d	30.67	30.00	29.83
	18	28.50	S/d	S/d	S/d	30.13	30.00	30.00
	19	27.00	S/d	S/d	S/d	28.00	28.00	28.00
	20	29.00	S/d	S/d	S/d	30.00	29.88	30.13
	21	27.00	S/d	S/d	S/d	29.75	29.38	28.88
	25	25.00	S/d	S/d	S/d	27.00	26.17	26.00
	27	24.00	S/d	S/d	S/d	26.00	25.83	25.00
	28	26.00	S/d	S/d	S/d	28.17	27.83	27.17
	29	25.50	S/d	S/d	S/d	28.17	27.83	27.00
Noviembre	4	23.00	S/d	S/d	S/d	25.33	25.00	25.00
	8	24.00	S/d	S/d	S/d	26.00	26.00	26.00
	10	24.00	S/d	S/d	S/d	26.00	26.00	26.00
	16	23.00	S/d	S/d	S/d	25.50	25.00	26.00
	17	21.00	S/d	S/d	S/d	24.50	24.75	25.00
	18	21.00	S/d	S/d	S/d	24.00	24.00	24.00
	19	22.50	S/d	S/d	S/d	25.00	23.75	24.00
	22	22.00	S/d	S/d	S/d	26.00	25.00	25.50
	24	23.00	S/d	S/d	S/d	25.50	26.00	25.50
	25	22.00	S/d	S/d	S/d	25.00	25.00	25.00
	26	21.00	S/d	S/d	S/d	24.25	24.00	24.00
	29	22.00	S/d	S/d	S/d	24.00	24.00	24.00
	30	21.50	S/d	S/d	S/d	24.00	24.00	24.00
Diciembre	1	24.00	S/d	S/d	S/d	21.00	21.00	21.00
	2	22.00	S/d	S/d	S/d	24.75	25.00	24.50
	6	23.00	S/d	S/d	S/d	26.33	26.00	26.00
	8	25.00	S/d	S/d	S/d	26.00	26.00	26.00

*Esta temperatura es el promedio mensual reportado por la CNA para el mes correspondiente.

Referente a la reducción de volumen de las compostas el Cuadro 18 muestra el volumen inicial y final, así como el peso y el porcentaje de reducción de la materia prima hasta el producto final.

Cuadro 18.- Resultados de la reducción de volumen de las compostas.

Compostero	Volumen inicial (m ³)	Volumen final (m ³)	Peso inicial (Kg)	Peso final (Kg)	% de reducción	
					Volumen	Peso
C1	0.5	0.1	S/d	S/d	80	S/d
C2	0.5	0.1	S/d	S/d	80	S/d
C3	0.5	0.1	S/d	S/d	80	S/d
CM1	0.5	0.05	160	5	90	96.8
CM2	0.45	0.01	130	0.5	97.5	99.6

En los análisis del contenido de nutrientes de las compostas elaboradas con residuos de jardinería y marcadas como C1, C2 y C3, se obtuvieron los siguientes resultados:

Cuadro 19.- Resultados del análisis de las compostas de residuos de jardinería.

ANÁLISIS	C1	C2	C3
% M.S.	25.03	24.67	21.61
% M.O.	26.74	26.58	27.52
% N	1.95	1.69	2.08
% P	0.19	0.21	0.23
% K	0.13	0.10	0.12
% Ca	3.80	4.83	2.94
% Mg	0.30	0.41	0.33
% Na	0.10	0.10	0.9
% C.O.	15.51	15.42	15.96
C/N	8:1	9:1	8:1
Cu ⁺⁺ (ppm)	32	31	26
Fe ⁺⁺ (ppm)	2926	3098	1312
Mn ⁺⁺ (ppm)	105	105	96
Zn ⁺⁺ (ppm)	451	473	452

Los resultados de los análisis de nutrientes en las compostas de residuos de mercado compuestos principalmente de vegetales y hortalizas, se presentan en el siguiente Cuadro.

Cuadro 20.- Resultados del análisis de las compostas de residuos de mercado.

ANÁLISIS	CM1	CM2
% M.S.	S/d	91.53
% M.O.	S/d	21.26
% N	1.93	2.71
% P	0.70	0.96
% K	3.07	0.30
% Ca	1.79	7.00
% Mg	0.18	0.40
% Na	1.12	0.19
% C.O.	S/d	12.33
C/N	S/d	4:1
Cu++ (ppm)	1200	64
Fe++ (ppm)	28120	10700
Mn++(ppm)	1360	154
Zn++(ppm)	1040	472

7. DISCUSIÓN

El mes de marzo presentó días con temperatura ambiental arriba de los 26⁰C en promedio, con máximas de 30.30⁰C y mínimas de 21.60⁰C, y la precipitación pluvial fue baja, por otro lado los meses de septiembre a diciembre tuvieron variaciones de temperatura ambiental con máximas de 35 ⁰C y mínimas de 21⁰C y con precipitaciones regulares. Estas variaciones tanto en la temperatura como en las precipitaciones influyeron en las temperaturas del material en composteo, aunado a esto, el volumen de la pila resulto no ser suficiente como para permitir acumulación de calor, por lo que se obtuvo un proceso largo que no alcanzó las temperaturas que se suponen óptimas para el proceso de composteo.

En el mismo Cuadro 17 puede observarse que la temperatura de las compostas de residuos de mercado solo se registró durante un mes aproximadamente, ya que por la misma composición de estos residuos la actividad microbiana fue mucho mayor y más evidente; aunado esto a temperaturas ambientales altas, se obtuvo como resultado un proceso corto con temperaturas internas más homogéneas y menos variables en comparación con las temperaturas registradas en las otras pilas de composta.

En las Figuras 3 a 9 del Anexo se observa el comportamiento de las temperaturas de cada pila de composteo, así como la comparación de estas temperaturas entre composteros y la relación con la temperatura ambiental. Como puede observarse en estas graficas, al inicio del proceso no es evidente una relación directa entre la temperatura de las compostas y la temperatura ambiental, sin embargo aproximadamente después de dos semanas se nota que las temperaturas registradas en las pilas de composta de residuos de jardinería se comportan en un patrón similar al de la temperatura ambiental, permaneciendo la temperatura de las pilas aproximadamente entre 1⁰C y 2⁰C por arriba de la temperatura ambiental (Figura 5). También se puede notar que después de 3 ó 4 días de constante incremento en la temperatura de las pilas, se registra un leve descenso en la misma, esta disminución de temperatura coincide con los días siguientes en los que se realizó el volteo y mezclado del material de las pilas; esta situación se observa de manera más notable en el 4º punto de derecha a izquierda de la Figura 5, correspondiente al 1 de diciembre.

Esta variación también puede observarse en la temperatura de la composta de mercado 2 (Figura 6), aunque la relación con la temperatura ambiental es menos evidente, e incluso la

temperatura de la composta en un principio es más alta que la temperatura ambiental, a partir de la segunda semana se registró un descenso en la temperatura de la pila con respecto a la temperatura ambiental. Con relación a la composta de mercado 1 (CM1), no se tienen los datos exactos de la temperatura registrada en los días en que se tomó la temperatura de la pila, por lo que en la Figura 7 se establece la comparación de la temperatura de la pila con respecto a la temperatura media, mínima y máxima promedio registradas por la CNA para el mes de marzo del año 1999 (año en que se llevaron a cabo los trabajos de composteo).

Otro factor que influyó en las temperaturas bajas registradas fue la reducción en el volumen del material de composteo. Una vez iniciado el proceso de descomposición, se detectó una reducción del tamaño de las pilas, el porcentaje de reducción en volumen y peso para cada compostero se muestra en el Cuadro 18. En el caso de los composteros que contenían residuos de jardinería, en aproximadamente una semana el volumen que originalmente era de 0.5m^3 se redujo a 0.40m^3 , es decir tuvo una reducción en volumen de un 25% haciéndose cada vez mayor al paso de los días, de modo que al final del proceso se obtuvo un volumen de 0.1m^3 , lo que equivale al 80% del volumen total. En los composteros con residuos de mercado, la reducción en el volumen se dio a los 3 ó 4 días de haber colocado los residuos en los contenedores, esta reducción fue de aproximadamente un 50% y fue incrementándose conforme pasaba el tiempo hasta llegar a una reducción en la Composta de Mercado 1 del 90% en peso y de 96.8% en volumen, mientras que para la CM2 se obtuvo una reducción de 97.5% en peso y de 99.6% en volumen. Esto se debió a que los residuos de mercado, frutas y verduras principalmente, contienen un alto contenido de humedad en comparación con los residuos de jardinería, y al ir perdiendo esta humedad por medio de lixiviado y evaporación los residuos se iban comprimiendo y reduciendo en volumen y peso.

Para entender las variaciones en el contenido de nutrientes de cada composta, es necesario primero conocer cuál era la naturaleza de los residuos en cada compostero:

La composta de mercado 1 (CM1) se componía de una mezcla de material orgánico diverso obtenido de la separación de residuos que fueron solicitados a la Dirección de Servicios Públicos Municipales de Othón P. Blanco, quien proporcionó un camión con residuos recolectados en el Mercado "Lázaro Cárdenas" de la Ciudad de Chetumal. Estos residuos contenían material orgánico e inorgánico mezclados y hubo que seleccionar y separar la materia

orgánica, como resultado se obtuvo una mezcla que contenía residuos vegetales diversos en combinación con algunos trozos de papel y cartón, el peso total de dichos residuos fue de aproximadamente 160 Kg. Esta fue la composta que se elaboró durante el mes de Marzo; en este mismo mes se intentó elaborar una segunda composta con 150 kg de jitomate en estado de descomposición, sin embargo el jitomate se deshidrató en menos de 1 semana dejando solamente una capa de menos de 1 cm que fue agregada al material del CM1.

La otra composta de residuos de mercado (CM2) se elaboró en el mes de septiembre con residuos vegetales obtenidos directamente de los propietarios de las fruterías y verdulerías del mismo mercado donde se obtuvieron los residuos utilizados en la Composta de Mercado 1 (Mercado "Lázaro Cárdenas"). Estos residuos consistieron en 130 kg de frutas y verduras diversas, predominando vegetales verdes.

Respecto a las compostas de residuos de jardinería, el origen y composición era el mismo: las tres se elaboraron con pasto y hojas que se obtuvieron de las actividades de poda y mantenimiento de las áreas verdes en las instalaciones de la Universidad de Quintana Roo Campus Chetumal.

Con relación al contenido de nutrientes de las compostas, la comparación entre los valores obtenidos y los reportados por otros autores se puede observar en los Cuadros 1a y 2a del Anexo; el análisis de esta comparación se describe a continuación.

Comparando los resultados de los análisis para las compostas de mercado (Cuadro 20), tenemos que los valores de porcentaje de nitrógeno (% N) para las CM1 y CM2 se encuentran dentro del rango de los valores reportados por Sauri *et al.* para compostas de desechos sólidos municipales (Cuadros 6 y 7), lo mismo que el valor reportado por Estrada *et al.* (Cuadro 8) y Dalzell *et al.* en porcentaje sobre peso seco (Cuadro 9), pero se encuentran por encima de los valores reportados por el mismo Dalzell *et al.* en el Cuadro 10 en porcentaje sobre peso fresco, y por Díaz *et al.* (Cuadro 13). Respecto a los valores de porcentaje de fósforo (% P) para ambas compostas de residuos de mercado, se encuentran dentro del rango de los valores del reporte de Sauri *et al.* (Cuadro 6 y Cuadro 7), lo mismo que los valores reportados por Dalzell *et al.* (Cuadro 9); sin embargo los datos obtenidos se encuentran por encima del rango reportado por Dalzell *et al.* en % sobre peso fresco (Cuadro 10) y del rango reportado por Díaz *et al.* (Cuadro 13).

Los valores de % N y % P en los residuos de jardinería son muy aproximados entre sí. El % de N se encuentra por debajo del valor presentado por Estrada *et al.* (Cuadro 8) y dentro del rango reportado por Dalzell *et al.* (Cuadros 9 y 10), pero por encima del valor presentado en el Cuadro 13 reportado por Díaz *et al.* Respecto al % P el valor obtenido se encuentra dentro del rango reportado por Dalzell *et al.* (Cuadro 9) pero por debajo del rango reportado por el mismo autor en el Cuadro 10 y por encima del rango presentado en el Cuadro 13 reportado por Díaz *et al.*

En lo referente al contenido de potasio (% K), los resultados obtenidos en las compostas de jardinería (0.13, 0.10 y 0.12 para C1, C2 y C3 respectivamente) se encuentran por debajo de los valores reportados por Dalzell *et al.* (Cuadros 9 y 10) pero están dentro del rango de los valores presentados por Díaz *et al.* en el Cuadro 13. Por otro lado el porcentaje de potasio en la CM2 (0.30) también se encuentra por debajo del rango reportado por Dalzell *et al.* (Cuadro 9) y del rango reportado por Díaz *et al.* (Cuadro 13), pero dentro del rango presentado por Dalzell *et al.* en el Cuadro 10. Respecto al valor de % K para CM1 de 3.07 se encontró que es alto en comparación con los otros valores reportados por los diferentes autores citados, esto puede explicarse por la composición del material del compostero, el cual contenía una alta proporción de jitomate (tomate rojo).

En lo referente al contenido de calcio (% Ca) obtenido en las compostas de residuos de mercado (1.79 para CM1 y 7.00 para CM2) el valor de CM1 se encuentra dentro del rango reportado por Dalzell *et al.* (Cuadro 9) y Díaz *et al.* (Cuadro 13), pero se encuentra por debajo del valor presentado también por Díaz *et al.* (Cuadro 14) en análisis de concentración total de metales en digestión ácida; por otro lado para CM2 el valor de % Ca de CM2 es mayor que los presentados por Dalzell *et al.* (Cuadro 9) y Díaz *et al.* (Cuadro 13), pero se encuentra por debajo del valor presentado también por Díaz *et al.* en el Cuadro 14. Para las compostas de residuos de jardinería (3.80 para C1, 4.83 para C2 y 2.94 para C3), el valor de % Ca obtenido en cada composta también se encuentra dentro del rango de composición química en % de peso sobre peso seco reportado por Dalzell *et al.* en el Cuadro 9, pero está por arriba de los valores reportados por Díaz *et al.* (Cuadros 13 y 14).

El %Mg para las compostas de residuos de mercado CM1 y CM2 se encuentran dentro del rango de valores reportados por Díaz *et al.* en los cuadros 13 y 14. Para las compostas de residuos

de jardinería sin embargo, los valores obtenidos en las tres compostas son mas altos que el rango reportado por Díaz *et al.* en el Cuadro 13 y Cuadro 14 para este tipo de compostas.

Para el % Na de las compostas de residuos de mercado CM1 y CM2 se obtuvo que el valor de CM2 se encuentra debajo del valor reportado por Díaz *et al.* (Cuadro 14), pero el valor de CM1 esta por encima de este mismo dato. En las compostas de residuos de jardinería el % de Na obtenido fue mayor en los tres casos comparado con los valores reportados por Díaz *et al.* en los Cuadros 13 y 14.

El contenido de cobre (% Cu) obtenido para la Composta de Mercado 1 (CM1) es mayor que el rango reportado por Dalzell *et al.* (Cuadro 11), Díaz *et al.* (Cuadros 12, 13 y 14) y Manser *et al.* (Cuadro 16); mientras que el valor del % Cu de CM2 se encuentran por debajo de estos mismos datos con excepción del rango reportado por Díaz *et al.* en el Cuadro 13. En lo que se refiere a compostas de jardinería, los valores obtenidos están por encima del rango reportado por Díaz *et al.* en el Cuadro 13 y dentro del rango reportado por el mismo autor en el Cuadro 14, sin embargo estos valores están muy por debajo de los reportados por el mismo autor en el Cuadro 12 y por Manser *et al.* (Cuadro 16).

Referente al contenido de Hierro (Fe^{++} ppm) el valor obtenido en la CM1 se encuentra por arriba de los valores reportados por Díaz *et al.* en los Cuadros 13 y 14, mientras que el valor de CM2 esta por encima del valor reportado por Díaz *et al.* en el Cuadro 13 y por debajo del valor reportado por el mismo autor en el Cuadro 14. Para las compostas de residuos de jardinería, para las tres compostas los datos obtenidos están por encima del rango reportado por Díaz *et al.* en el Cuadro 13 y por debajo del rango presentado por el mismo autor en el Cuadro 14.

El contenido de manganeso (Mn) obtenido para CM1, esta dentro del rango reportado por Dalzell *et al.* (Cuadro 11) y por encima de los valores reportados por Díaz *et al.* en los cuadros 13 y 14; por otro lado el contenido de Mn para CM2 esta dentro del rango reportado por Díaz *et al.* (Cuadro 13) y por debajo de los valores reportados por Dalzell *et al.* (Cuadro 11) y Díaz *et al.* (Cuadro 14). Para las compostas de residuos de jardinería, los resultados de contenido de Mn obtenidos para las tres compostas estuvieron por encima del valor reportado por Díaz *et al.* (Cuadro 13) y por debajo del rango presentado por el mismo autor en el Cuadro 14.

El contenido de zinc(Zn) obtenido para la CM1, se encuentra por encima del rango reportado por Díaz *et al.* en los Cuadros 13 y 14, dentro del rango reportado por Dalzell *et al.*

(Cuadro 11) y Díaz *et al.* (Cuadro 12) y por debajo del valor presentado por Manser *et al.* (Cuadro 16); mientras que para CM2 el contenido de Zn esta por encima del rango reportado por Díaz *et al.* en el Cuadro 13, dentro del rango reportado por Dalzell *et al.* (Cuadro 11) y por debajo del rango reportado por Díaz *et al.* (Cuadros 12 y 13) y el valor presentado por Manser *et al.* (Cuadro 16) mismo rango. Respecto al contenido de este mismo elemento en las compostas de jardinería, en las tres compostas el contenido de Zinc se encuentra por arriba del rango presentado por Díaz *et al.* (Cuadros 13 y 14) y por debajo de los valores reportados por Manser *et al.* (Cuadro 16) y Díaz *et al.* (Cuadro 12).

Después de comparar todos los valores de nutrientes entre las compostas elaboradas y los resultados reportados por diferentes autores, se puede observar que la mayoría de los datos son mas o menos homogéneos y que las variaciones en el contenido de nutrientes depende principalmente del tipo de material con el cual se elabore la composta.

Haciendo una comparación entre el contenido de nutrientes de las compostas de residuos de mercado y las compostas de residuos de jardinería, tenemos que ambas contienen cantidades similares de nitrógeno; en cuanto al contenido de fósforo las de residuos de jardinería contienen menos cantidad de este elemento lo mismo que el potasio, sin embargo en el porcentaje de calcio en las compostas de residuos el contenido fue mas alto, lo mismo que en el contenido de magnesio; el contenido de sodio fue menor en las compostas de residuos de jardinería, lo mismo que el cobre, hierro, manganeso y zinc. El cuadro 3a del Anexo muestra la comparación entre los valores de nutrientes obtenido para los diferentes composteros.

8. CONCLUSIONES

1.- La producción de composta es una alternativa viable para solucionar de manera parcial el problema de la basura, principalmente desde el punto de vista ambiental.

2.Utilizando los residuos de mercados para la producción de composta, el producto obtenido representa aproximadamente el 0.4% en peso al 2.5% en volumen de la materia prima empleada, esto significa una reducción de mas del 90% en peso y de aproximadamente un 99% en volumen, mientras que la composta de residuos de jardinería representa el 20% de la materia prima, es decir existe una reducción del 80% en volumen.

3. El sitio de disposición final de Chetumal recibe cerca de 270 toneladas diarias de residuos, de los cuales el 62.5% (aproximadamente 168.75 toneladas) corresponde a residuos sólidos orgánicos que pueden ser reducidos por medio del composteo. De llevarse a cabo, el composteo de los residuos orgánicos coadyuvaría a prolongar la vida útil del relleno sanitario en mas del 50% del tiempo programado, además proporcionaría material de cobertura y tierra de abono para los viveros, parques y jardines municipales.

4. Lo anterior sugiere que un proyecto de producción de composta a partir de los residuos sólidos orgánicos es favorable para aprovechar un recurso que actualmente no se utiliza, evitando además la disposición final de estos residuos, que por su alto contenido de humedad generan mayor cantidad de líquidos percolados y ocupan espacio acortando el tiempo de vida de los rellenos sanitarios.

5. La variación de temperatura observada en las pilas durante el proceso es un indicativo de la actividad bioquímica que tiene lugar en la masa en composteo. En todas las pilas, se observa que las temperaturas tienden a incrementarse durante los primeros a los 5-7 días de iniciado el proceso, sin embargo ninguna de ellas registró temperaturas mayores a 36°C, dicha temperatura no se puede considerar como optima para el proceso, lo que significa que hay una alta probabilidad de presencia de organismos patógenos.

6. En las gráficas correspondientes a la variación de la temperatura (Anexo, Figuras 3 a 9) se observan disminuciones bruscas cada cierto intervalo. Estas disminuciones se dan precisamente los días correspondientes al volteo de la pila, y se debe a que el material del interior de la pila entraba en contacto con la temperatura ambiental que siempre era mas baja; posteriormente la pila recupera sus características (temperatura alta).

7. Con el objetivo de incrementar las temperaturas en las pilas de composteo y obtener un proceso mas adecuado, con temperaturas más altas que garanticen la destrucción de patógenos, se recomienda trabajar con composteros de mayor capacidad volumétrica (Cuando menos 1 m^3).

8. La frecuencia óptima de volteos que se recomienda para el tipo de composteros utilizados en esta investigación es de 2 a 3 semanas, considerando que el diseño de los composteros permite una buena aireación sobre las pilas y que la acumulación de calor tiene una relación directa con el tamaño de las mismas.

9. Se determinó que el tiempo mínimo necesario para la producción de composta es de 30 días para compostas de residuos de mercado con alto contenido de humedad y de 60 días para compostas de residuos de jardinería con material más leñoso y menor contenido de humedad. Sin embargo estos tiempos pueden variar dependiendo del tamaño de la pila de composta.

10. Se sugiere, en orden de tener un proceso sin problemas por exceso o falta de humedad, combinar ambos tipos de residuos, sobretodo para la elaboración de compostas con volúmenes pequeños, como sucedería en un hogar.

11. En cuestión de costos, la producción de composta es mucho más económica por kilo que los fertilizantes más comunes, puesto que el costo por costal de fertilizante de 50 kg varia desde \$125.00 (Urea o 46-0-0) hasta \$175.00 (Nitrógeno y Fósforo 18-18-0), resultando el costo por kilogramo de fertilizante de \$2.5 a \$3.5. Comparado esto con el costo por kilo de maíz que se vende desde \$1.00 a \$2.80 resulta que por kilogramo el fertilizante es mas caro que el producto

final. La composta por otro lado, elaborada mediante el proceso más simple como el presentado en este trabajo, no representa gastos mas que los de la elaboración de los composteros (clavos, martillo) y de supervisión, y conlleva la ventaja de que se obtiene un producto que no adiciona solo uno o dos elementos al suelo y a las plantas.

12. Los resultados obtenidos sugieren que la de la producción de composta con los residuos de mercados y de jardinería es una opción económica y ambiental como solución parcial al problema de la basura y como abono orgánico. Las características de la composta mejoran la estructura del suelo y los nutrientes se encuentran de forma más disponible para las plantas, a diferencia de los fertilizantes químicos cuyo costo es elevado y en ocasiones causan la mineralización del suelo.

LITERATURA CITADA

- ☞ Andrade Victoria, Homero Sánchez. 1997. *Educación Ambiental Ecología*. México: Editorial Trillas.
- ☞ Castillo, Héctor B., E. M. Gutiérrez, R. López de Juembeltz. 1990. *La sociedad de la basura, "Los residuos sólidos peligrosos: ¿un riesgo sin solución?"*, "El impacto de los desechos sólidos sobre el medio". México: Ciencias 20, edición de octubre. Pp.25-41
- ☞ Colmenero R. Luz del C., J. De Jesús A. Palma G. y Armando Ferreira N. 1990. *Medio ambiente y desarrollo en Quintana Roo*. México: Cante, A. C.
- ☞ Dalzell, H.W., A.J. Biddlestone, K.R. Gray & K. Thurairajan. 1991. *Manejo del suelo: Producción y uso del composte en ambientes tropicales y subtropicales*. Boletín de suelos de la FAO 56. Roma: Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación.
- ☞ Diaz, L. F., G.M. Savage, L. L. Eggerth & C. G. Golueke. 1993. *Composting and Recycling Municipal Solid Waste*. E. U. : Lewis Publishers.
- ☞ Estrada N. R. y M. P. Gutiérrez R. 1992. *Relación entre la composición de los R. S. y sus características físico-químicas*. En: *VIII Congreso Nacional 1992, Acciones Para un Ambiente Limpio, Memorias*. México: XIV Comité Ejecutivo Nacional de la Sociedad Mexicana de Ingeniería Sanitaria y Ambiental.
- ☞ Ewel, John J. 1986. *Designing agricultural ecosystems for the humid tropics*. USA: Annual Reviews Inc.
- ☞ Figueroa, B. 1983. *Experiencias con el uso de residuos orgánicos en la agricultura de México*. En: *El reciclaje de materias orgánicas en la agricultura de América Latina*. Boletín de suelos de la FAO 51. Roma: Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación.
- ☞ Guevara F. J. L., L. P. Flores C., y M. Valdez H. 1998. *Generación de residuos sólidos domiciliarios en Chetumal, Quintana Roo*. En: *IV Congreso nacional de Ciencias Ambientales*. México:
- ☞ Haug Roger T. 1993. *The practical handbook of compost engineering*. USA: Lewis Publishers.
- ☞ Hernández X. E., S. Levy T. y Eduardo Bello. 1995. *La roza-tumba-quema en Yucatán*. En: *La milpa en Yucatán, un sistema de producción agrícola tradicional*. México: Colegio de Postgraduados.

- 📖 Hitchens, L. & R. M. Kashmanian. S/F. *Composting: Programs, Process, and Product*. En: *Municipal Solid Wastes: Problems and Solutions*.
- 📖 Kleinman P.J.A., D. Pimentel & R.B. Bryant. 1994. *The ecological sustainability of slash-and-burn agriculture*. USA: Elsevier Science B.V.
- 📖 Manser, A. G. R. & A.A. Keeling. 1996. *Practical Handbook of Processing and Recycling Municipal Waste*. E. U.: Lewis Publishers.
- 📖 Naylor, Lewis M. & Geoffrey A. Kutter. 1987. *Metals in organic wastes: Problems or Benefits*. En: *Compost Facts*. E. U.: International Process Systems, Inc.
- 📖 Naylor, Lewis M. & Geoffrey A. Kutter. 1987. *Compost: a living fertilizer*. En: *Compost Facts*. E. U.: International Process Systems, Inc.
- 📖 Peavy, H. S., D. R. Rowe & G. Tchobanoglous. 1986. *Environmental Engineering*. E.U. : McGraw-Hill.
- 📖 Sauri Riancho, M. R., E. R. Castillo B., M. A. Comas B., J. I. Peniche A. 1992. *Aplicación del composteo a los desechos sólidos municipales en la Ciudad de Mérida*. En: *VIII Congreso Nacional 1992, Acciones Para un Ambiente Limpio. Memorias*. México: XIV Comité Ejecutivo Nacional de la Sociedad Mexicana de Ingeniería Sanitaria y Ambiental.
- 📖 Ruiz Figueroa, José Feliciano. 1991. *Agricultura Bio-intensiva Sostenible en el Minifundio Mexicano. Una alternativa para la producción de alimentos y el manejo ecológico del suelo*. Chapingo, México: Universidad Autónoma Chapingo.
- 📖 Ruiz Ramírez Jennifer. 1998. *propuesta: Relleno sanitario y separación de basura en Chetumal*. Dirección General de Desarrollo Urbano y Ecología. Municipio. Othón P. Blanco. Chetumal, Q. Roo. Sin publicar.
- 📖 Tchobanoglous, G., H. Theisen, S. A. Vigil.. 1993. *Integrated Solid Waste Management*. U.S.A.: McGraw-Hill
- 📖 Van der Hoek V. H. & J. Oosthoek. 1984. *Composting odour emission and odour control by biofiltration*. En: *Composting of agricultural and other wastes*. Londres: Elsevier Applied Science Publishers.
- 📖 Willson, G. B., J.F. Parr & L. J. Sikora. 1983. *Experiences with organic waste composting in Developing Countries*. En: *El reciclaje de materias orgánicas en la agricultura de América Latina. Boletín de suelos de la FAO #51*. Roma: Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación.

PAGINAS DE INTERNET CONSULTADAS

@ <http://www.can.gob.mx>

@ <http://www.compostingcouncil.org/FGCU.html>

@ <http://www.ciceana.org.mx/ayudar/BASURA/introduccion.htm>

@ <http://www.cepis.ops-oms.org/acrobat/composti.pdf>

@ <http://www.oldgrowth.org/compost>

ANEXO

Cuadro 1a.- Comparación de los valores de Nutrientes para las compostas de residuos de mercado.

Autor / # Cuadro	CM1 20	CM2 20	Sauri, <i>et al</i> 6 / 7	Estrada, <i>et al</i> 8	Dalzell, <i>et al</i> 9	Dalzell, <i>et al</i> 10	Dalzell, <i>et al</i> 11	Díaz, <i>et al</i> 12	Díaz, <i>et al</i> 13	Díaz, <i>et al</i> 14	Manser, <i>et al</i> 16
Elemento											
%N	1.93	2.71	1.03-3.07	2.60	0.4-3.5	0.4-1.6	--	--	0.95	--	--
%P	0.70	0.96	0.12-1.06	--	0.1-1.6	0.1-0.4	--	--	0.13-0.46	--	--
%K	3.07	0.30	--	--	0.4-1.6	0.2-0.6	--	--	0.58-0.89	--	--
% Ca	1.79	7.0	--	--	6.0-1.1	--	--	--	0.251-3.84	7.6	--
%Mg	0.18	0.40	--	--	--	--	--	--	0.10-0.90	0.58	--
%Na	1.12	0.19	--	--	--	--	--	--	--	0.47	--
Cu (ppm)	1200	64	--	--	--	--	280-1100	450-1000	8.7-24.8	190	500
Fe (ppm)	28120	10700	--	--	--	--	--	--	922	13200	--
Mn (ppm)	1360	154	--	--	--	--	385-1600	--	21-181.6	340	--
Zn (ppm)	1040	472	--	--	--	--	456-1350	900-10000	24.7-110.2	1010	1500

Cuadro 2a.- Comparación de los valores de Nutrientes para las compostas de residuos de jardinería.

Autor / # Cuadro	C1 19	C2 19	C3 19	Estrada, <i>et al</i> 8	Dalzell, <i>et al</i> 9	Dalzell, <i>et al</i> 10	Díaz, <i>et al</i> 12	Díaz, <i>et al</i> 13	Díaz, <i>et al</i> 14	Manser, <i>et al</i> 16
Elemento										
%N	1.95	1.69	2.08	340	0.4-3.5	0.4-3.5	--	0.7	--	--
%P	0.19	0.21	0.23	--	0.1-1.6	0.3-1.0	--	0.0004-0.28	--	--
%K	0.13	0.10	0.12	--	0.4-1.6	0.2-0.3	--	0.0184-0.36	--	--
% Ca	3.80	4.83	2.94	--	6.0-1.1	--	--	0.0875	1.03-1.05	--
%Mg	0.30	0.41	0.33	--	--	--	--	0.0011-0.092	0.26	--
%Na	0.10	0.10	0.9	--	--	--	--	0.0039-0.0733	0.02	--
Cu (ppm)	32	31	26	--	--	--	450-1000	2-6	25-42	500
Fe (ppm)	2926	3098	1312	--	--	--	--	144-412	13500-1500	--
Mn (ppm)	105	105	96	--	--	--	--	36	396-3390	--
Zn (ppm)	451	473	452	--	--	--	900-10000	19-160	160	1500

Cuadro 3a.- Comparación de los valores de Nutrientes entre las compostas de residuos de jardinería y las compostas de residuos de mercado.

Autor /	CM1	CM2	C1	C2	C3
# Cuadro	20	20	19	19	19
Elemento					
%N	1.93	2.71	1.95	1.69	2.08
%P	0.70	0.96	0.19	0.21	0.23
%K	3.07	0.30	0.13	0.10	0.12
% Ca	1.79	7.0	3.80	4.83	2.94
%Mg	0.18	0.40	0.30	0.41	0.33
%Na	1.12	0.19	0.10	0.10	0.9
Cu (ppm)	1200	64	32	31	26
Fe (ppm)	28120	10700	2926	3098	1312
Mn (ppm)	1360	154	105	105	96
Zn (ppm)	1040	472	451	473	452

Figura 3.- Variación de Temperatura entre Compostas de Jardinería

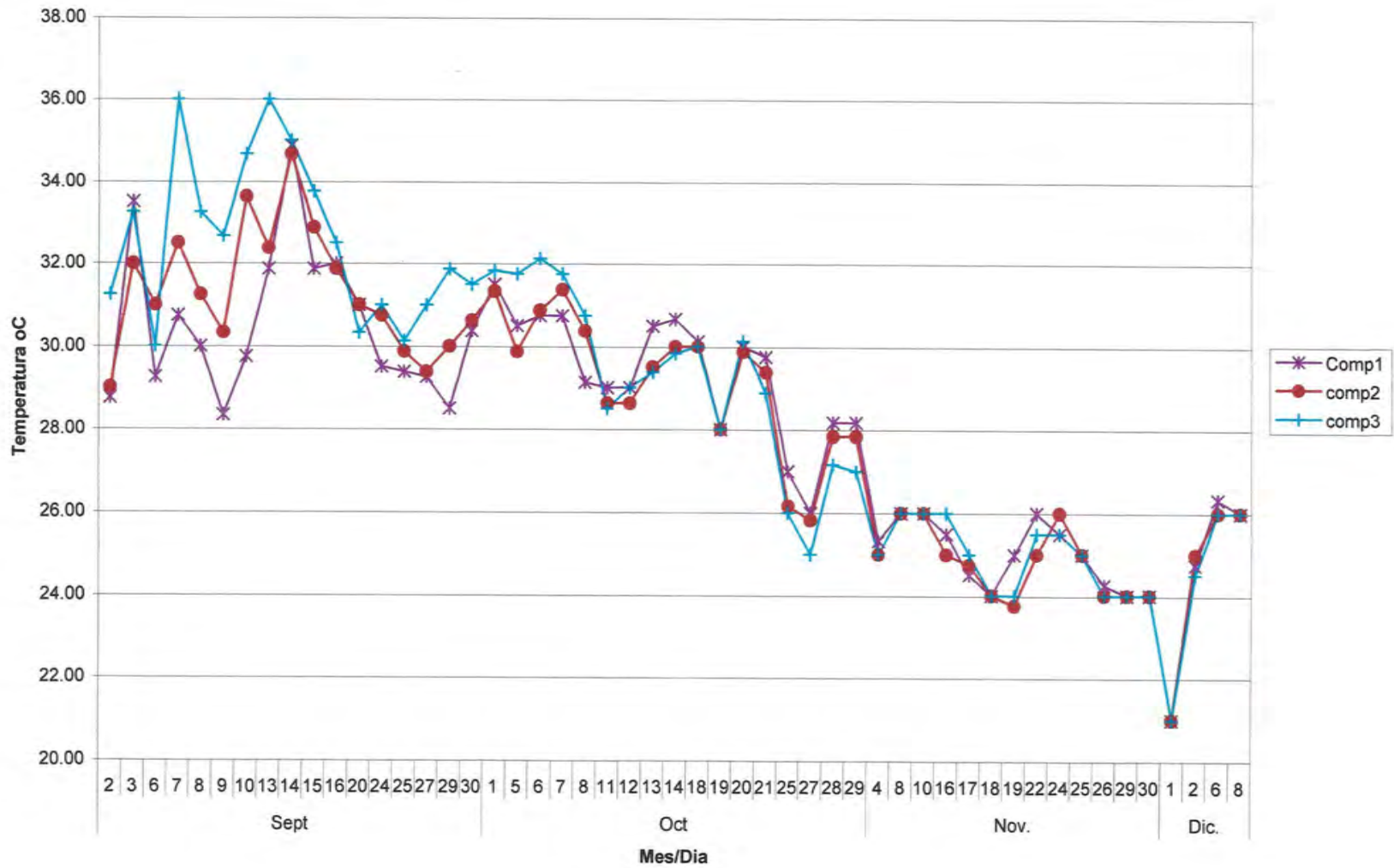


Figura 4.- Variación de Temperatura entre Compostas de Mercado

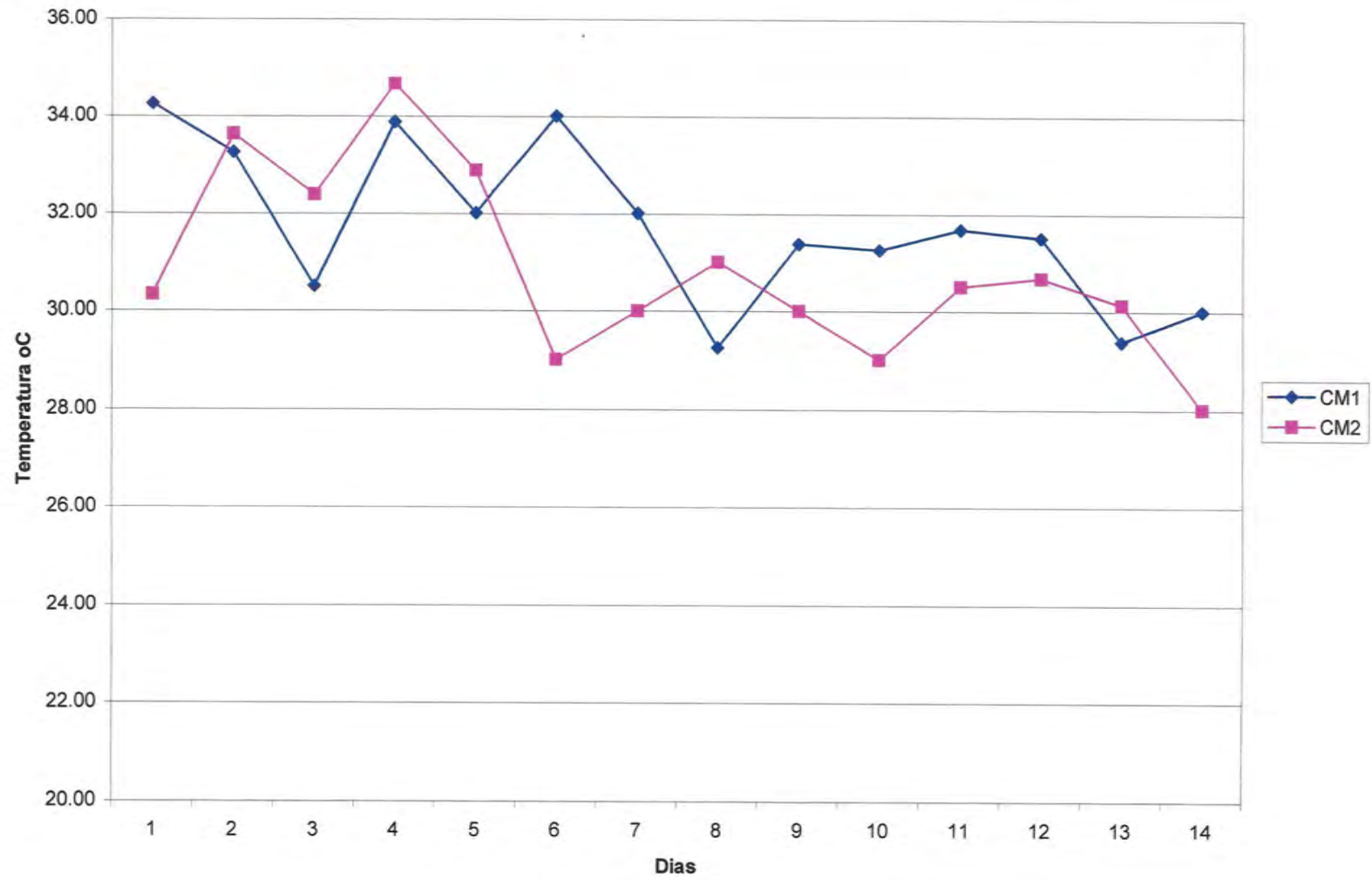


Figura 5.- Variación de Temperatura Ambiental y Compostas de Jardinería

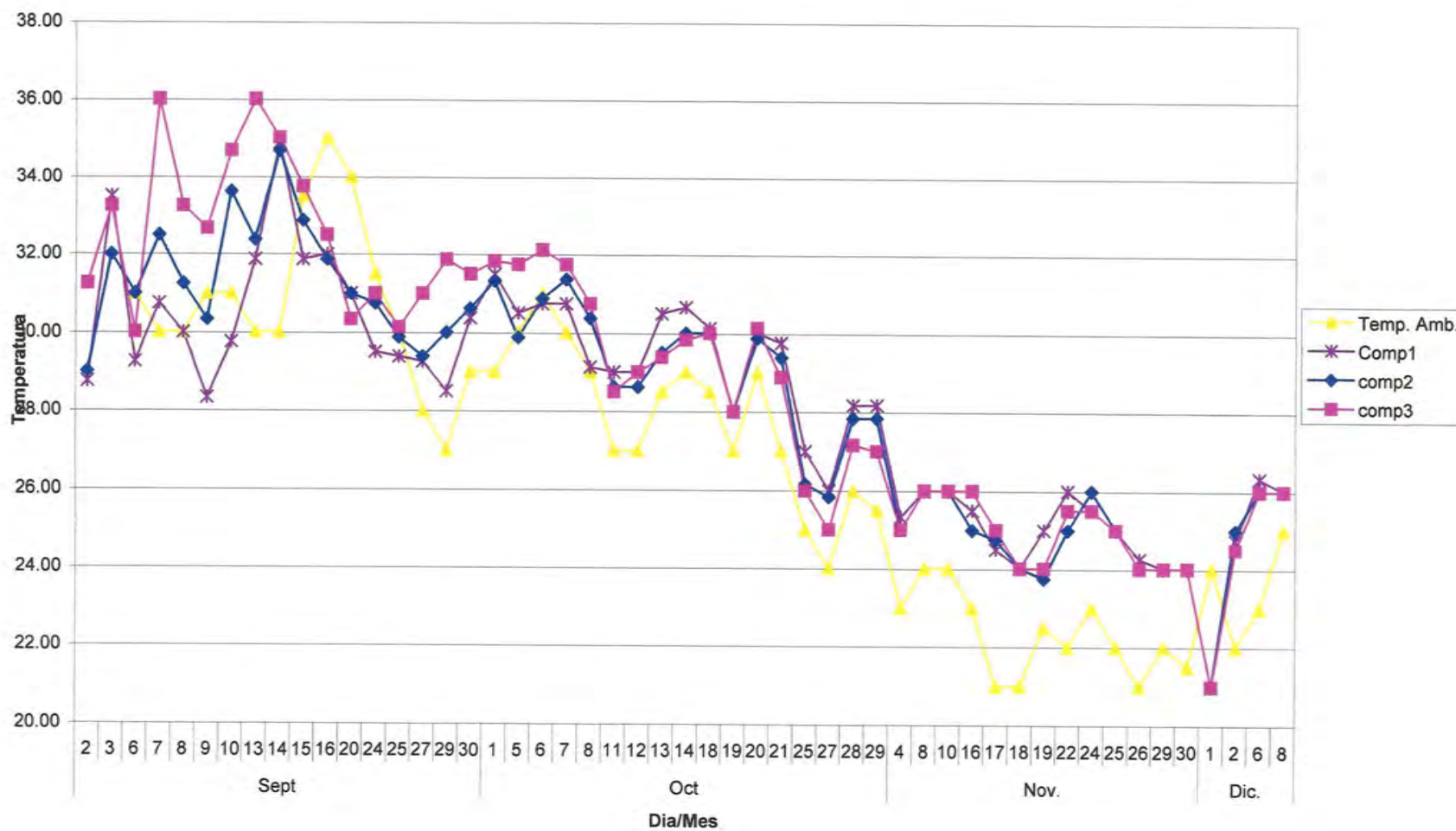


Figura 6.- Variación de Temperatura Ambiental y Compostas de Mercado
(mes de Septiembre)

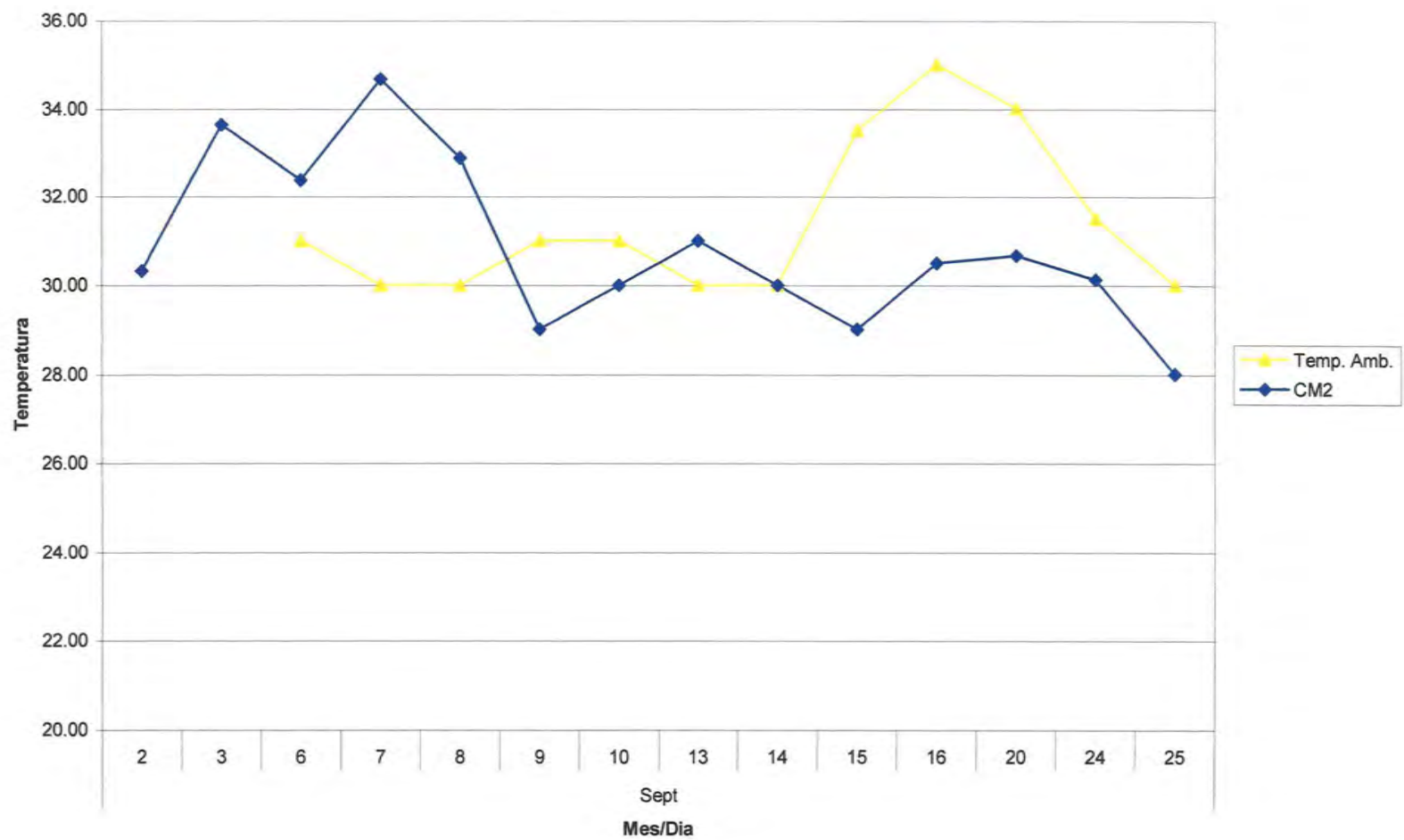


Figura 7.- Variación de Temperatura Ambiental y Compostas de Mercado
(mes de Marzo)

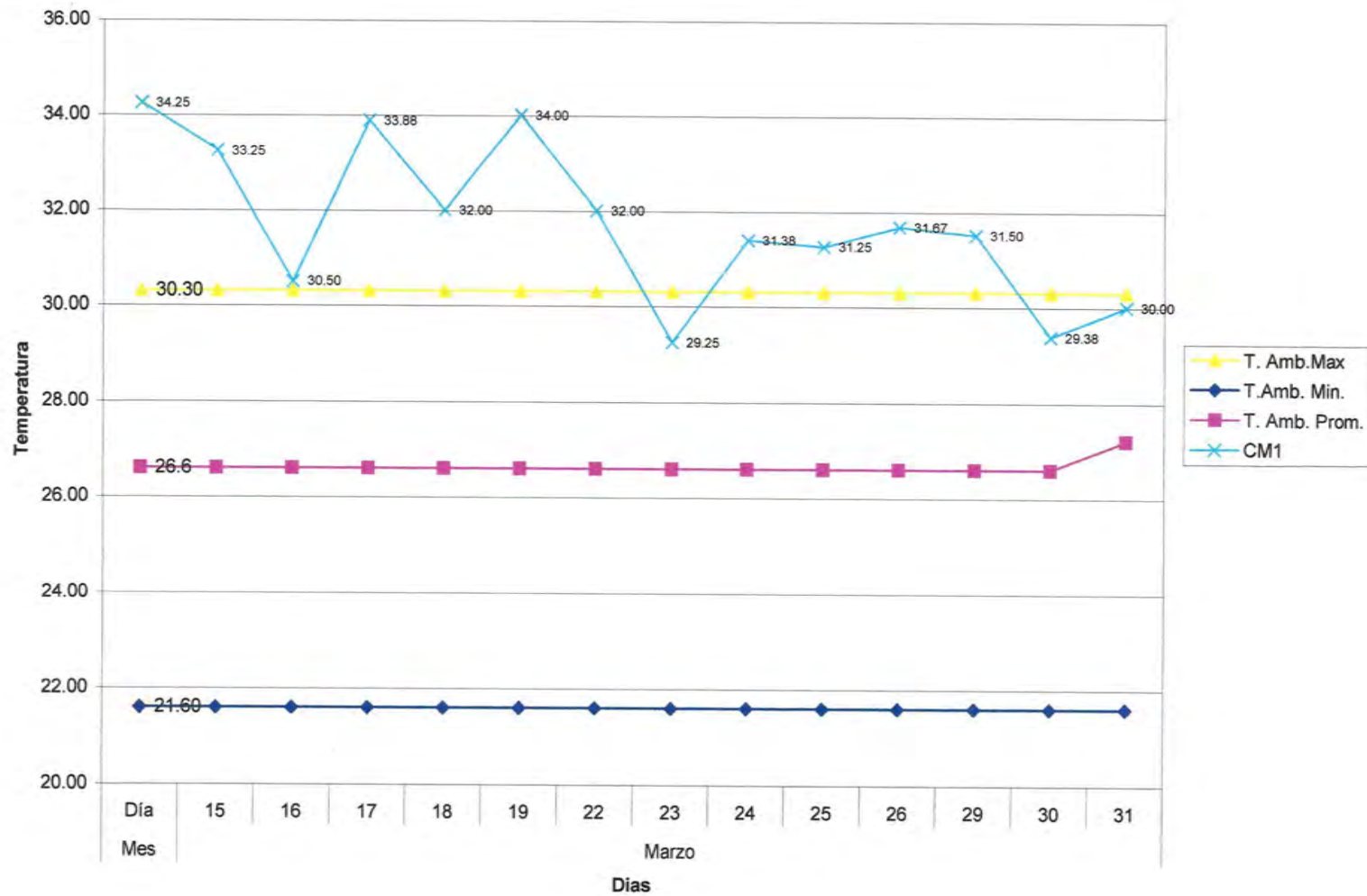


Figura 8.- Variación de Temperatura entre composta de mercado y composta de jardinería

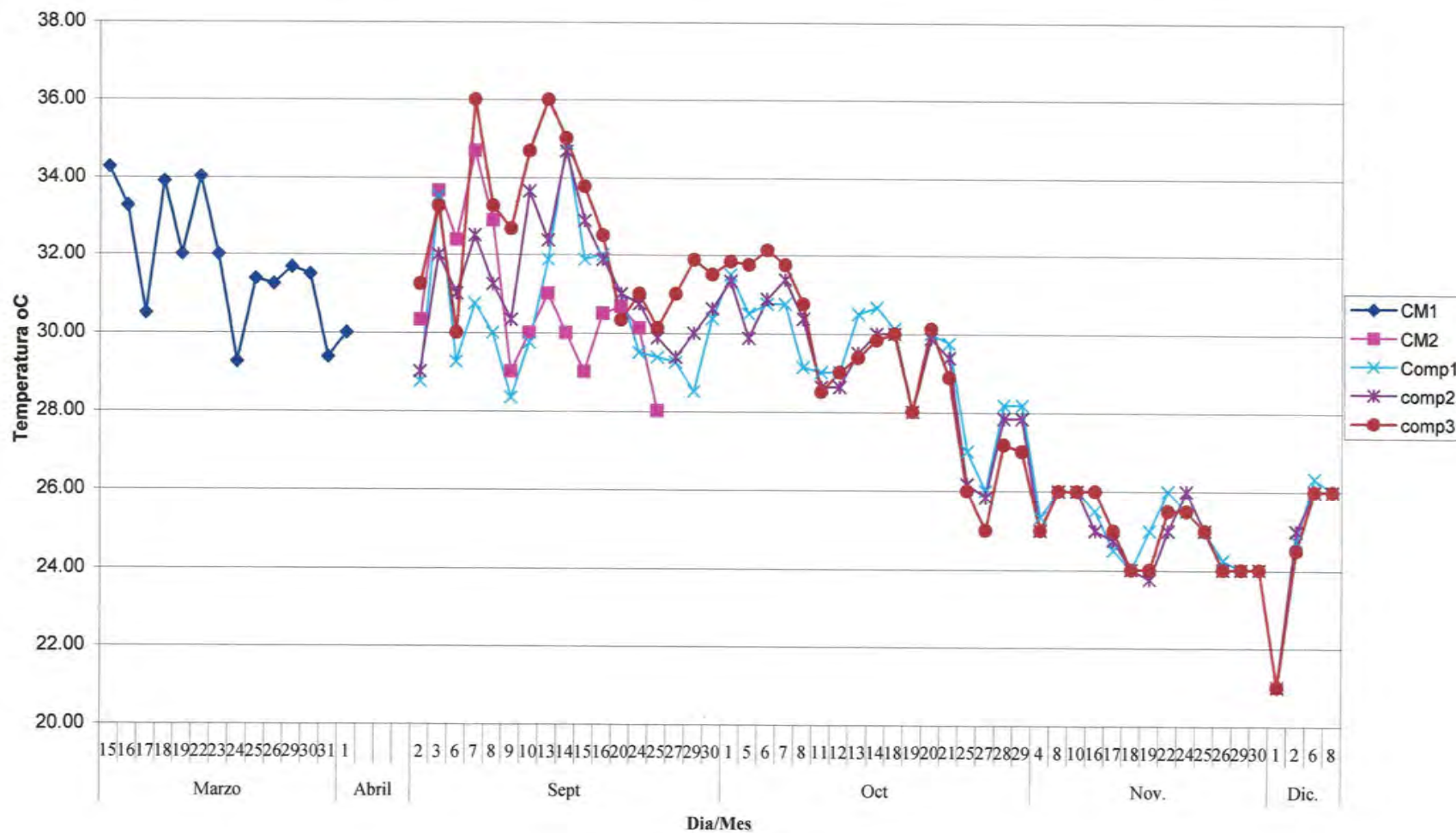


Figura 9.- Variación de Temperatura Ambiental y Temperatura de los Composteros

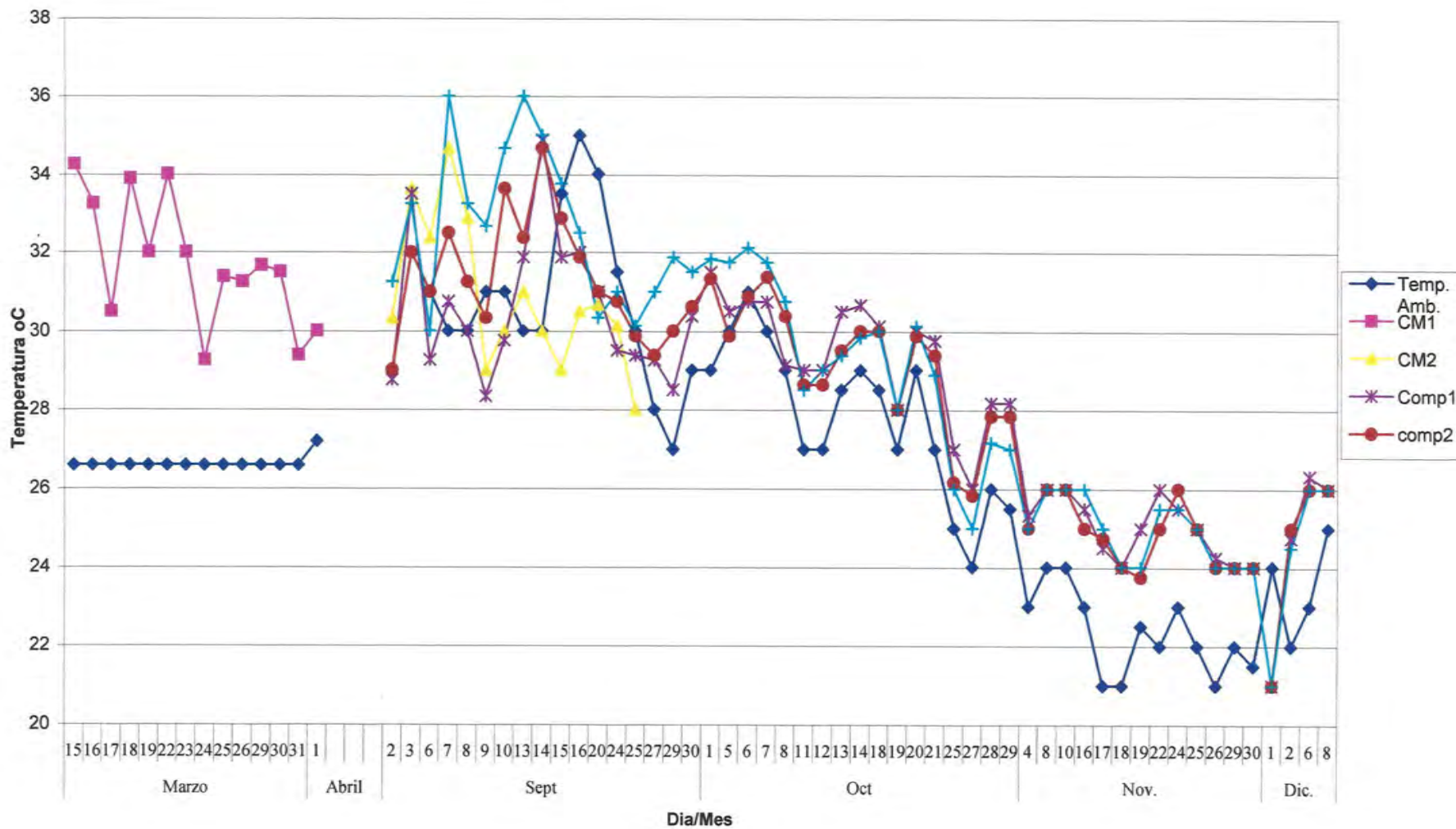


Figura 10.- Colecta de basura en la ciudad.



Figura 11.- Descarga de residuos en el sitio de disposición final de la ciudad.



Figura 12.- Muestra de la fauna en el sitio de disposición final.



Figura 13.- Pepenadoras.



Figura 14.- Panorámica del sitio de disposición final.



Figura 15.- Ubicación de los contenedores en el área de composteo de la UQROO.



Figura 16.- Material de la composta de residuos de Mercado.

En esta foto se puede observar el termómetro con el que se tomo la temperatura.



Figura 17.- Volteo de las pilas de composta.



Figura 18.- Composta de jardinería.

Nótese que el volumen es poco, además se pueden observar algunas zonas donde ya se ve material negro, que es parte del producto final.

