



**UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA
DE MÉXICO**

FACULTAD DE QUIMICA

LA COMPOSTA COMO UN NUEVO MATERIAL PARA LA
CONSTRUCCIÓN

T E S I S

QUE PARA OBTENER EL TÍTULO DE:
QUÍMICO FARMACÉUTICO BIÓLOGO

P R E S E N T A:
FRANCISCO JOSÉ REYNOSO ARREOLA



MÉXICO, D.F.

AÑO 2007



Universidad Nacional
Autónoma de México



UNAM – Dirección General de Bibliotecas
Tesis Digitales
Restricciones de uso

DERECHOS RESERVADOS ©
PROHIBIDA SU REPRODUCCIÓN TOTAL O PARCIAL

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

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

Jurado asignado:

Presidente	Prof. María de la Mercedes Margarita Meijueiro Morosini
Vocal	Prof. Agustín Reyo Herrera
Secretario	Prof. Ana María Martínez Vázquez
1er. Suplente	Prof. Maricarmen Quirasco Baruch
2º. Suplente	Prof. María Elena Bravo Gómez

Sitio en donde se desarrolló el tema:

INSTITUTO DE INVESTIGACIONES EN MATERIALES

Nombre del asesor del tema:

ANA MARÍA MARTÍNEZ VÁZQUEZ

Nombre del sustentante:

FRANCISCO JOSÉ REYNOSO ARREOLA

*De mi familia y mis amigos:
a los que estuvieron, a los que están y a los que vendrán.*

A la UNAM, por tanto con tan poco.

AGRADECIMIENTOS

Quiero agradecer a toda la gente que estuvo implicada en este proyecto de alguna u otra manera: a mis jefes de la DGOSE: **Ana de Gortari**, **Claudia Navarrete** y **Miguel Vázquez** por haberme dado la oportunidad de participar en el programa de La Universidad en tu Comunidad. Sin ellos no hubiera sido posible la concepción de este proyecto. A mi amiga **Ana Martínez**, por haberme aceptado en su grupo de trabajo y haber creído en mi proyecto como tema de tesis. Al Biólogo **Javier Montoya** de la Coordinación de Áreas Verdes Investigador Faustino Miranda, por haberme proporcionado la composta necesaria para desarrollar este proyecto. Al artesano **Rubén Tula** y su familia por haberme ayudado en la fabricación de los adobes, en un sábado de boda familiar y haberme invitado al jolgorio sin conocerme. Al Ingeniero **Humberto Montoya** por haberme facilitado las instalaciones del laboratorio de materiales Miguel Madinaveitia Jürgenson, en la Facultad de Ingeniería, para estudiar las propiedades de los adobes fabricados. A mi **madre** por haberme permitido (a regañadientes) hacer composta en su cocina. Sé que muy en el fondo te gustó mi experimento. A mi **padre** por haberme ayudado a encajar el proyecto y haber contestado todas mis dudas de ingeniería. Gracias a tu vasto conocimiento y a tus contactos tomé las decisiones más importantes de este proyecto. A mi **hermana** por haber contestado todas mis dudas de arquitectura y creer en el adobe como un material vigente para la construcción. A **Ileana**, por sus sugerencias y compañía en mis peores días; por haber creído en mí en mis días más azules. Te amo. A **Marco Vinicio** por contestar a todas mis dudas sin importar cuál fuera el tema. Eres un ser iluminado y tu gentileza sólo me provoca desearte lo mejor. A **Job**, por las disertaciones políticas, culturales, sociales, económicas, científicas y hasta tecnológicas, que hicieron mi tiempo en el Instituto algo más educativo. A **Blanca**, que llegó tarde a mi vida, pero aún así logramos formar una rápida amistad. Gracias por los chicles que distraían mi apetito. A **Xam** y al **Jon**, trabajar con ustedes en la playa nunca será un trabajo, siempre será diversión. Si usted no encontró su nombre en esta pequeña lista y le gustaría ser incluido, siéntase libre de colocar su nombre sobre la pequeña línea que a continuación se enseña_____.

Su curiosidad me indica que existe un lazo entre nosotros dos, que debe ser mencionado, pero que por cuestión de tiempo, falta de espacio o flojera, no incluí.

ÍNDICE

PRÓLOGO	3
RESUMEN	4
1. INTRODUCCIÓN	6
1.1. ¿BASURA o RESIDUOS SÓLIDOS?	6
EN MÉXICO PRODUCIMOS BASURA	6
1.2. LOS RESIDUOS SÓLIDOS URBANOS (RSU)	8
1.3. GENERACIÓN <i>PER CÁPITA</i> Y COMPOSICIÓN DE LOS RSU	8
¿CUÁNTA BASURA PRODUCIMOS LOS MEXICANOS EN NUESTRAS CASAS?	8
¿QUÉ ENCONTRAMOS EN LA BOLSA DE BASURA DE NUESTRAS CASAS?	10
¿CUÁLES SON Y QUÉ SE HACE CON LOS RESIDUOS SÓLIDOS?	13
• <i>Los metales</i>	13
• <i>Los plásticos</i>	15
• <i>El vidrio</i>	19
• <i>El papel y el cartón</i>	21
• <i>Los cartones plastificados</i>	22
• <i>Comida y restos de jardinería</i>	23
1.4. GESTIÓN INTEGRAL DE LOS RSU EN MÉXICO	26
¿LA BASURA TERMINA EN NUESTRA BOLSA DE BASURA?	26
¿QUÉ LE PASA AL 94% DE LOS RESIDUOS GENERADOS?	36
1.5. TRATAMIENTO DE LOS RSU ORGÁNICOS	37
1.6. EL COMPOSTEO	37
1.7. LA COMPOSTA COMO MATERIAL DE CONSTRUCCIÓN	42
1.8. CONSTRUCCIÓN CON ADOBES	44
2. ANTECEDENTES	53
2.1. FABRICACIÓN DE COMPOSTA	55
2.2. FABRICACIÓN DE ADOBES	61
3. OBJETIVOS	64
4. METODOLOGÍA	65
4.1. BIO-REACTORES DE BOTELLA DE PET	65
4.2. FABRICACIÓN DE ADOBES	70
4.3. MEDIDA DE LA RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN	73
5. RESULTADOS	75
5.1. MONITOREO DE LA TEMPERATURA DEL COMPOSTEO	75

5.2. LA COMPOSTA	79
5.3. LA FABRICACIÓN DE ADOBES	84
5.4. RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN	86
6. CONCLUSIONES	90
6.1. FABRICACIÓN DE COMPOSTA	90
6.2. FABRICACIÓN DE ADOBES	91
7. PROPUESTAS	93
7.1. FABRICACIÓN DE COMPOSTA	93
7.2. FABRICACIÓN DE ADOBES	94
8. BIBLIOGRAFÍA	97
EPÍLOGO	105
COMPOST YOURSELF!	105

PRÓLOGO

En su raíz, en su fondo último, el ecologismo no es sino una manifestación del sentimiento que nos lleva a venerar al mundo natural, al gran todo, y así participar en y con sus creaciones. Expresa nuestra sed de totalidad y nuestra ansia de participación. Ciertamente, en este movimiento aparecen también rasgos inquietantes que recuerdan a las ideologías totalitarias o que hacen pensar en los fundamentalismos reaccionarios. Me refiero sobre todo al dualismo, gnóstico o maniqueo, de una visión que ve en la naturaleza a una potencia, casi una divinidad, perpetuamente fecunda y bienhechora; frente a ella, la despiadada y destructora civilización moderna. Resurrección del mito de Gea, nuestra madre, y su esposo, el tiránico Urano. Pero Gea, madre de los titanes y los cíclopes, es simultáneamente creadora y destructora. Los antiguos se defendían de sus excesos con plegarias y sacrificios; nosotros con la ciencia y la técnica. La veneración, lo sabían los antiguos, no excluye al sano temor... Ahora bien, lo que deseo subrayar es lo siguiente: el ecologismo, a pesar de sus ocasionales extravíos, nos muestra que es posible recobrar la facultad de venerar. Esta facultad es la única que puede abrirnos las puertas de la fraternidad con los hombres y la naturaleza. Sin fraternidad, la democracia se extravía en el nihilismo de la relatividad, antesala de la vida anónima de las sociedades modernas, trampa de la nada.

Octavio Paz

Itinerario. Seix Barral. Barcelona 1994. 9º volumen de las *Obras Completas* de Octavio Paz. Fondo de Cultura Económica. México 1995, pp. 17-66.

RESUMEN

Este proyecto de tesis surge del servicio social comunitario del que escribe, el cual se llevó a cabo en el municipio de Chilchota, Michoacán. El trabajo consistió, entre otras cosas, en determinar el origen de la contaminación del río Duero que nace en sus tierras.

Durante la primera visita y con ayuda de planos cartográficos, se encontró que una de las fuentes de contaminación era el basurero municipal porque se localizaba en una de las zonas de recarga del río y no contaba con material para la retención de los lixiviados. Allí quedó claro que, antes que las botellas y bolsas de plástico, las latas, los cartones, los papeles y otros residuos, la basura orgánica es la que más impacta sobre el río. Los residuos inorgánicos generan mal aspecto visual por su persistencia en el ambiente, pero los orgánicos, al ser biodegradables, atraen microorganismos capaces de causar infecciones, especialmente cuando el basurero se encuentra cerca del poblado. Al ser un sitio de disposición final al aire libre, permite, además, que los animales que se consumen en el municipio merodeen por sus alrededores en busca de alimento, provocando así que las infecciones (o contaminantes) se introduzcan en la cadena alimenticia hasta llegar a nosotros.

Este proyecto de tesis se divide en dos partes:

1. elaborar una propuesta de composteo como una forma de manejar la fracción orgánica de los residuos sólidos, para con esto disminuir su permanencia en el ambiente;
2. buscar un valor agregado para la composta, especialmente en aquellos municipios que no se dedican al campo y no les interesa utilizarlo para abonar la tierra. Considerando la abundancia de la arcilla en nuestro País y el gran

número de tabiqueras existentes, se consideró como posible aplicación de la composta su utilización en la industria de la construcción en la fabricación de adobes.

En resumen, se sabe que:

1. con cierto tipo de desechos se puede hacer composta de manera más o menos sencilla;
2. los adobes están hechos de arcilla y paja;
3. la composta es el conjunto de los desechos vegetales.
4. Por lo tanto, se sustituirá la paja de los adobes por la composta que también es una fibra vegetal, para con esto obtener materiales para la construcción.

A continuación se presenta la metodología para hacer composta en el hogar. Además, con la composta fabricada en la Coordinación de Áreas Verdes Invernadero Faustino Miranda, en Ciudad Universitaria, se fabricaron adobes. La arcilla utilizada para su fabricación fue la del sitio de experimentación, que fue Huejotzingo, Puebla. En el trabajo se muestra como con los desechos se puede convertir en composta, y con la composta se puede fabricar adobes con propiedades interesantes.

1. INTRODUCCIÓN



1.1. ¿BASURA o RESIDUOS SÓLIDOS?

En México producimos basura

A través de los años se ha utilizado el término de *basura* para describir cualquier *desecho sólido* que producimos como consecuencia de nuestras actividades, ya sean domésticas, industriales, comerciales o de servicios. Sin embargo, sólo es correcto utilizar este término cuando todos los desechos generados en una población se encuentran mezclados. Éstos pueden ser envases de plástico, botellas de vidrio, embalajes de papel o cartón, comida, restos de jardinería, materiales de construcción y otros desperdicios que, si se separan y se agrupan de acuerdo a su composición, se les denomina *residuos sólidos*, pero mezclados forman lo que llamamos basura.

La generación de basura se da cuando se elimina lo que se cree ya no tienen ningún valor. Por ejemplo, los celulares, los televisores, las radiograbadoras, las computadoras, las calculadoras y las cámaras fotográficas, por decir algunos, no son basura porque podrían ser usados nuevamente en forma total o parcial, pero son eliminados porque el avance tecnológico nos invita a sustituir viejos modelos por unos nuevos que en principio nos brindan mayor satisfacción. En países en vías de desarrollo, estos productos se venden usados, lo que resulta menos problemático para el ambiente ya que pasan de dueño en dueño, pero en los países desarrollados, donde los habitantes tienen un poder adquisitivo mucho más elevado, estos productos quedan en desuso cuando todavía son totalmente utilizables. Así, cuando se tiran y se mezclan con otros residuos y productos, forman una parte importante y muy contaminante de la basura.

Con el fin de aplicar los principios de valorización, responsabilidad compartida y manejo integral de residuos, la Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales (SEMARNAT) ha formulado una clasificación básica y general de los residuos, que permite fomentar la prevención de su generación, la valorización y el desarrollo de los sistemas de gestión integral. Esta clasificación se basa en las diferentes cualidades y cantidades de los residuos generados, y por el tipo de generador. Se encuentran en la Ley General para la Prevención y Gestión Integral de los Residuos (LGPGIR) (SEMARNAT, 1988). Un resumen de la ley se muestra en la tabla 1. Considerando que los RSU los generamos todas las personas físicas sin excepción alguna, este proyecto se enfocará en ellos.

Tabla 1. Tipos de residuos y sus generadores

Clasificación de Residuos	Tipos de generadores
<p><i>Residuos peligrosos</i></p> <p>Son aquellos que poseen alguna de las características CRETIB (corrosividad, reactividad, explosividad, toxicidad, inflamabilidad o agentes biológico-infecciosos) que les confieran peligrosidad, así como envases, recipientes, embalajes y suelos que hayan sido contaminados al ser transferidos a otro sitio, de conformidad con lo que se establece en esta Ley.</p>	<p><i>Microgeneradores</i></p> <p>Establecimiento industrial, comercial o de servicios que genere una cantidad de hasta cuatrocientos kilogramos de residuos peligrosos al año.</p>
<p><i>Residuos sólidos urbanos (RSU)</i></p> <p>Son aquellos generados en casa habitación derivados de actividades domésticas, los generados en establecimientos o la vía pública con características domiciliarias, y los resultantes de la limpieza de vías o lugares públicos, siempre que no sean específicamente clasificados de otra forma por la ley.</p>	<p><i>Generadores pequeños:</i></p> <p>Persona física o moral que genere una cantidad igual o mayor a cuatrocientos kilogramos y menor a diez toneladas en peso bruto total de residuos al año.</p>
<p><i>Residuos de manejo especial</i></p> <p>Son aquellos generados en los procesos productivos que no reúnen las características para ser considerados como peligrosos o como residuos sólidos urbanos, o que son producidos por grandes generadores de residuos sólidos urbanos, los cuales son definidos de manera específica por la misma ley, entre los que podrían destacarse: los residuos tecnológicos y los de la industria de la construcción, por mencionar algunos.</p>	<p><i>Grandes generadores</i></p> <p>Persona física o moral que genere una cantidad igual o superior a diez toneladas en peso bruto total de residuos al año.</p>

1.2. LOS RESIDUOS SÓLIDOS URBANOS (RSU)

El artículo 18 de la misma ley, estipula que los residuos sólidos urbanos podrán subclasificarse en orgánicos e inorgánicos con objeto de facilitar su separación primaria (o la que se lleva a cabo en casa), de conformidad con los Programas Estatales y Municipales para la Prevención y la Gestión Integral de los Residuos, así como los ordenamientos legales.

Los residuos orgánicos se degradan generando gases que pueden convertirse en energía eléctrica o en calor, y además pueden tener nutrientes fácilmente aprovechables como abonos o incluso como alimento para animales. Los residuos orgánicos forman alrededor del 51% de la basura generada. Esto varía de comunidad en comunidad según su grado de urbanización y estilo de vida rural (SEMARNAT, 2001).

El otro grupo lo componen los residuos inorgánicos, que no son biodegradables pero sí son en su gran mayoría aprovechables, ya sea mediante la reutilización o el reciclaje. Entre estos residuos se encuentran en mayor cantidad el papel y cartón, les sigue el vidrio, después el plástico y finalmente los metales como el aluminio y el hierro.

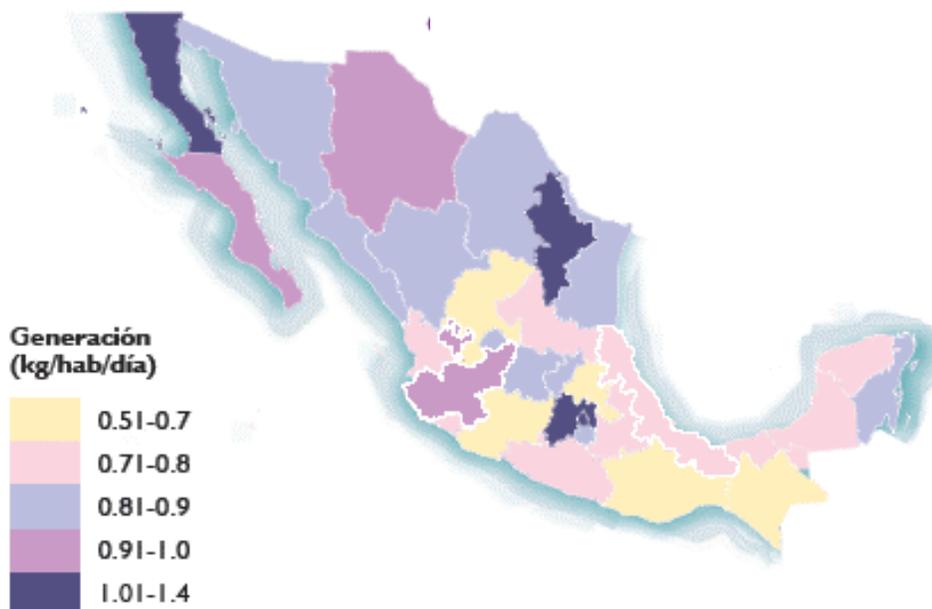
1.3. GENERACIÓN *PER CÁPITA* Y COMPOSICIÓN DE LOS RSU

¿Cuánta basura producimos los mexicanos en nuestras casas?

Según la Secretaría de Desarrollo Social (SEDESOL), de 1997 a 2004, la generación de basura *per cápita* en la República Mexicana se incrementó en promedio cuatro kilogramos al año, alcanzando la cifra de 328 kilogramos anuales por habitante (SEDESOL, 2005). Lo anterior significa que la producción *per cápita* al día de los

mexicanos, para el 2004, fue de 0,927 kilogramos por habitante. Sin embargo, la población mexicana no es homogénea y, por ende, la generación de RSU varía entre los diferentes estados y regiones. Los habitantes de los estados más urbanizados, como son el Distrito Federal, Nuevo León, Estado de México y Baja California, generaron en el año 2004 más de un kilogramo de residuos diarios por persona, en contraste con lo que generaron en promedio los habitantes de estados menos urbanizados como Oaxaca, Chiapas, Hidalgo, Zacatecas y Tlaxcala, cuya generación *per cápita* diaria no rebasó los 0,700 kilogramos (ver figura 1).

Figura 1. Generación de RSU *per cápita* por entidad federativa en el 2004.
Fuente: SEDESOL, 2005.



Sin embargo, aún los estados que producen menos basura, generan grandes cantidades de RSU que deben tratarse, confinarse o utilizarse.

¿Qué encontramos en la bolsa de basura de nuestras casas?

Si buscamos dentro de la bolsa de basura de nuestra casa, lo más probable es que encontremos cada uno de los residuos sólidos que se enlistan en la tabla 2, principalmente restos de comida, plásticos y papeles; sin embargo, hay que hacer notar que la composición de los RSU depende de los niveles y patrones de consumo, así como de las prácticas de manejo y la minimización de residuos.

La tabla 2 muestra la producción total de RSU generada año con año en el País a partir de 1995. Algunos totales no coinciden con la suma de los parciales debido al redondeo de las cifras, ya que a partir de 1997 las cifras reportadas se han ajustado con base en estudios de generación *per cápita* llevados a cabo en pequeñas comunidades, donde se encontró que la generación es alrededor de 300 gramos inferior a las reportadas en años anteriores. En esta misma tabla se encuentra también la producción anual de cada uno de los RSU generados. Se observa un aumento gradual a lo largo de 10 años, incluso hasta en un 50% como en el caso de los plásticos, provocando así un aumento en la producción total anual de RSU.

Tabla 2. Producción total anual de los diferentes residuos sólidos para el 2005.
Fuente: INEGI. Con base en SEDESOL. DGOT. Subdirección de Asistencia Técnica a Organismos Operadores Urbanos Regionales.

Tipo de residuo (Miles de toneladas)	1995	2000	2001	2002	2003	2004	2005
Total	30 510	30 733	31 489	32 174	32 916	34 603	35 383
Textiles	455	458	469	479	495	520	531
Metales	885	891	913	933	1 048	1 160	1 185
Aluminio	488	492	504	515	587	606	619
Ferrosos	246	247	253	259	283	329	336
Otros ferrosos ^a	151	152	156	159	178	225	230
Plásticos	1 336	1 346	1 379	1 409	2 013	2 116	2 162
Vidrios	1 800	1 813	1 858	1 898	2 158	2 210	2 261
Papel y cartón	4 293	4 324	4 430	4 527	4 909	5 160	5 276
Otro tipo de basura	5 754	5 796	5 939	6 068	5 703	5 996	6 015
Basura de comida, de jardines y materiales orgánicos similares	15 987	16 104	16 500	16 859	16 590	17 441	17 953
^a Incluye cobre, plomo, estaño y níquel.							

El rubro *otro tipo de basura* incluye residuos que se componen de varios materiales como es el caso de los pañales o los envases de cartón plastificado. En este grupo se encuentran también los residuos finos, que no son más que pequeñas porciones de los otros residuos sólidos pero que por su tamaño imposibilitan su separación para su consecuente tratamiento. Residuos como las colillas de los cigarrillos, popotes y chicles también se encuentran catalogados aquí. Un último residuo que se engloba en este grupo y que casi no percibimos es el polvo que se barre diariamente en todas las casas.

De 1995 al año 2005 no se han observado cambios importantes en la proporción relativa de los residuos generados por los habitantes en las casas. En las figuras 2 y 3 se muestran los datos de la tabla 2 expresados en porcentajes, para ilustrar con más claridad la composición de la basura de los hogares mexicanos.

Figura 2. Porcentaje de los diferentes tipos de residuos generados en 1995. (SEDESOL, 2005)

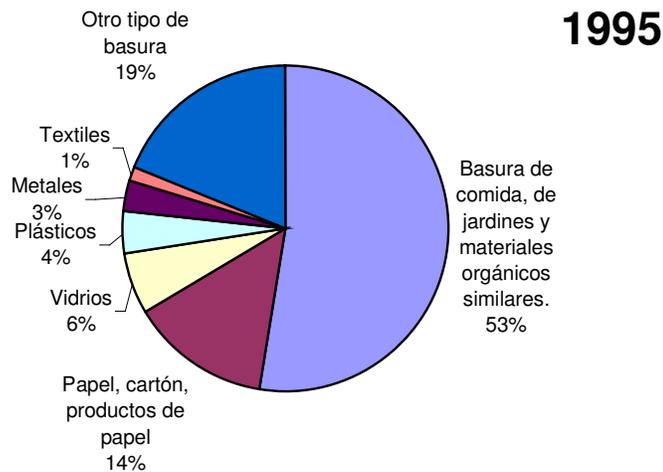
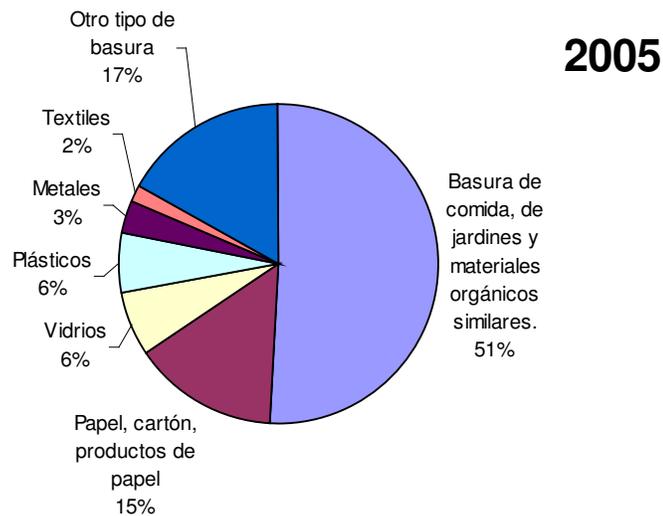


Figura 3. Porcentaje de los diferentes tipos de residuos generados en el 2005. (SEDESOL, 2005)



Tres datos en específico reflejan claramente la incipiente industrialización del País:

1. la disminución de los residuos orgánicos en un 2%, debido a que muchos alimentos se venden ahora empaquetados y en dosis únicas;
2. el aumento en un 50% de los plásticos desechados;
3. la duplicación de los textiles como parte de los residuos, que se traduce en un mayor poder adquisitivo de la población mexicana.

A pesar de este proceso de industrialización, el mayor componente de los RSU es la materia orgánica.

¿Cuáles son y qué se hace con los residuos sólidos?

- *Los metales*

Alrededor del 3% de la basura que se genera el país corresponde a los residuos hechos de diferentes metales. Aunque generalmente son las latas las que se encuentran más fácilmente en la bolsa de basura de la casa, también existen otros residuos hechos de metal que son menos comunes como las corcholatas, las tapas de algunos envases, las llaves y, muy raramente, las ollas de cocina. Se recolectan para su reciclado las latas de bebida y las latas de alimento, fabricadas con aluminio y acero, respectivamente.



Latas de aluminio recicladas

Económica y energéticamente, el reciclado de metales es el único que tiene sentido. Los metales se obtienen de la reducción de la forma oxidada del elemento que se encuentra en forma mineral; este proceso requiere energía que no se gasta otra vez cuando la forma metálica del elemento se recicla. Considérese la reducción del aluminio a partir de sus óxidos minerales. Por definición, las entalpías de estos procesos son iguales al valor negativo de las entalpías de formación de los óxidos (Strauss, 1990):



$$\Delta H^\circ = -\Delta H_f^\circ(Al_2O_3)$$

$$\Delta H^\circ = +1676 \text{ kJ/mol de \u00f3xido}$$

$$\Delta H^\circ = +31 \text{ kJ/gramo de metal}$$

Esto quiere decir que se necesitan 1676kJ para reducir un mol de \u00f3xido de aluminio a aluminio elemental, que es el que se utiliza en la industria. Un mol de este \u00f3xido contiene 54 gramos de aluminio, de manera que se gastan 31kJ para obtener cada gramo del metal. Todo este gasto energ\u00e9tico se ahorra con el reciclaje de las latas. Sin embargo, hay que recordar que en cualquier tipo de reciclaje tambi\u00e9n se gasta energ\u00eda para juntar y limpiar los envases. Por lo tanto, es muy importante inculcar en la poblaci\u00f3n el h\u00e1bito de separaci\u00f3n de la basura para generar residuos limpios. Una poblaci\u00f3n que genera y recolecta sus residuos limpios, aunque ella misma haya hecho el gasto energ\u00e9tico para lograrlo, est\u00e1 consciente que al separar los residuos facilita la gesti\u00f3n integral de los RSU y que al limpiarlos brinda un mejor ambiente de trabajo a todas aquellas personas implicadas en la recolecci\u00f3n de basura. Estas dos acciones, separar y limpiar, agilizan el sistema de aseo urbano (SAU), lo que se traduce en una menor emisi\u00f3n de gases invernadero, evitando as\u00ed el calentamiento global. Lo anterior ejemplifica sutilmente que la contaminaci\u00f3n y la degradaci\u00f3n del ambiente muchas veces est\u00e1 dado por el proceso de producci\u00f3n, u otros procesos alternos como su recolecci\u00f3n, y no tanto por el producto fabricado.

- *Los plásticos*

La química industrial se vio triunfante en el siglo XX con el desarrollo de los plásticos, los cuales son polímeros orgánicos compuestos, es decir, cadenas muy largas de monómeros que se repiten una y otra vez. Este material compone un 6% del peso de la bolsa de basura (SEDESOL, 2005).



Recolección de bolsas y envases de plástico para su reciclaje

Guillet definió a los polímeros *biodegradables* como aquellos capaces de ser químicamente transformados, por la acción de enzimas biológicas o microorganismos, en otros productos capaces de transformarse, a su vez, por una consecuente biodegradación (Guillet, 1995). Al mismo tiempo, Nayak los divide en tres amplios grupos basándose en la naturaleza de las materias primas y en su proceso de manufacturación (Nayak, 1999):

- polímeros naturales biodegradables;
- polímeros sintéticos biodegradables; y
- polímeros naturales biodegradables modificados.

Stevens, por otro lado, definió a los polímeros *degradables* como aquellos capaces de sufrir un cambio sustancial en su composición química bajo condiciones ambientales específicas (Stevens, 2002), como la radiación, la temperatura y el pH.

A continuación se presenta la tabla 3, en la cual se enlistan todos los plásticos utilizados para el embalaje de los productos que se consumen diariamente, de manera que cada uno de ellos se puede encontrar en nuestra bolsa de basura.

Tabla 3. Código de identificación de plásticos.
 El código de Identificación es adoptado en México el 25 de Noviembre de 1999
 en la NMX-E-232-SCFI-1999 basado en la identificación de Europa y países de América

NOMBRE	No.	SIGLAS	ORIGEN
Polietileno tereftalato	1	PET	Botellas de refrescos, recipientes de alimentos
Polietileno de alta densidad	2	PEAD	Botellas de leche o de detergente, bolsas
Policloruro de vinilo	3	PVC	Recipientes de alimentos y tuberías
Polietileno de baja densidad	4	PEBD	Bolsas y envoltorios
Polipropileno	5	PP	Cajas, maletas, tapas y etiquetas
Poliestireno	6	PS	Vasos y platos de espuma, empaquetado

Los seis plásticos enlistados en la tabla anterior tienen por unidad estructural al etileno (- CH₂ -) y dependiendo de los sustituyentes cambian sus propiedades y también su nombre (Baird, 2001).

El polímero más simple es el *polietileno* (ver figura 4), cuyas moléculas están constituidas, únicamente, por miles de unidades de etileno (de ahí su nombre), entrelazadas entre sí:

Figura 4. Molécula del polietileno.

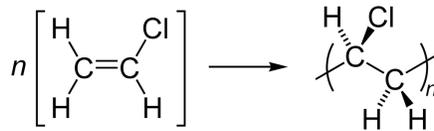


Dependiendo de las condiciones del proceso, se puede obtener polietileno de baja densidad (PEBD) cuando las presiones van de mil a tres mil atmósferas, o polietileno de alta densidad (PEAD) si la presión va de una a doscientas atmósferas (Albright, 1974). El papel de la presión en este proceso es disgregar las moléculas a

través de toda la película fabricada. Es por esto que a falta de presión las moléculas se acercan más las unas a las otras dando lugar a un polímero mucho más denso.

Después, si por cada molécula de etileno encontramos un átomo de cloro en lugar de un hidrógeno, se obtiene el famoso cloruro de polivinilo o PVC (ver figura 5).

Figura 5. Molécula del PVC



Si el sustituyente es un grupo metilo en lugar de un cloro, se obtiene el polipropileno (PP), y si es un anillo de benceno se obtiene el poliestireno (PS).

Figura 6. Molécula del PP

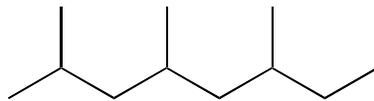
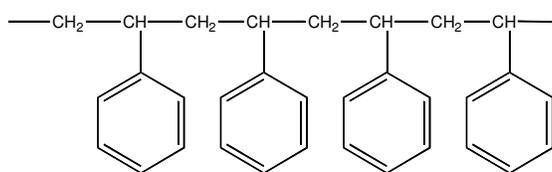
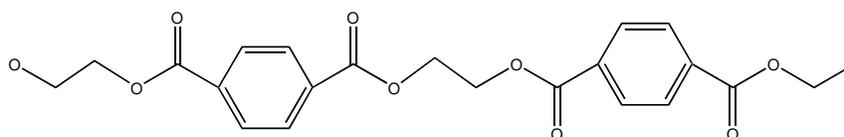


Figura 7. Molécula del PS



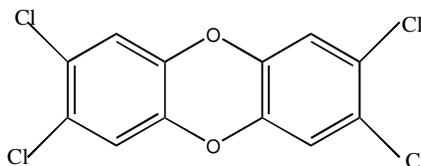
El otro plástico que habitualmente se encuentra en las casas es el PET, cuya estructura corresponde a una cadena corta de dos unidades de $-CH_2-$ alternando con una molécula orgánica: el ácido terftálico (ver figura 8).

Figura 8. Molécula del PET



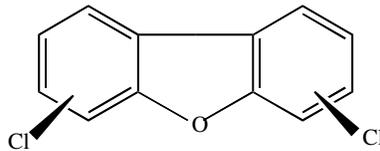
Cualquier plástico enterrado en un vertedero ocupa mucho espacio y no se sabe cuánto tarda en degradarse. Por otro lado, si se incineran, todos originan emisiones de dióxido de carbono (CO_2) lo que tampoco es deseable debido a la generación de gases invernadero relacionados con el cambio climático. Por otro lado, el PVC cuando se incinera emite, además, otros contaminantes atmosféricos muy peligrosos para la salud y el medio ambiente: las dioxinas (ver figura 9) y los furanos¹ (ver figura 10). Estas sustancias tóxicas son generadas de manera indirecta en la producción y combustión de productos organoclorados.

Figura 9. Molécula del 2, 3, 7, 8 tetracloro-dibenzo-*p*-dioxina o TCDD. La más estudiada y la más tóxica. Considerada como cancerígena por la IARC de la OMS.



¹ Un grupo de 75 y 135 compuestos, respectivamente. Se acumulan en el tejido graso de los animales entrando a la cadena alimentaria. La EPA los considera como posibles cancerígenos. Son sustancias muy tóxicas y de efecto residual a largo plazo. La excreción de sólo la mitad de la dioxina ingerida demanda siete años. Los investigadores lo asocian en el hombre adulto con problemas reproductivos, hormonales y deficiencias del sistema inmunológico (Mc Gregor *et al.*, 1998).

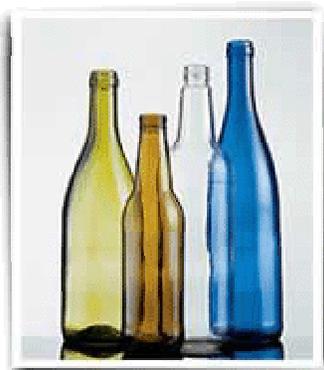
Figura 10. Molécula del policloro-dibenzofurano (PCDF)



Hay que tener en cuenta que a partir del petróleo se fabrican todos los plásticos excepto el PVC, que se obtiene a partir de la polimerización del cloruro de vinilo, el cual a su vez utiliza como materias primas la sal común y el etileno. Por ello, al consumir plásticos, además de colaborar con el agotamiento de un recurso no renovable, se potencia la enorme contaminación que origina la obtención y transporte del petróleo y su transformación en plástico.

- *El vidrio*

Es uno de los materiales más antiguos utilizado por el hombre a través de la historia. Las piezas más antiguas se encontraron en Egipto y son de al menos nueve mil años de antigüedad. Hoy en día, este material compone el 6% en peso de nuestra bolsa de basura (SEDESOL, 2005).



Diferentes tipos de botellas de vidrio que se recolectan para su reciclaje

Existe un gran conocimiento respecto a los diferentes materiales con los cuales se puede hacer vidrio, sin embargo, no hay todavía una teoría que explique su viscosidad y su estructura atómica. Morey define al vidrio como “una sustancia inorgánica, análoga al estado líquido, que durante su enfriamiento adquirió tal viscosidad hasta quedar rígido.” Por otro lado, la Sociedad Americana de Pruebas y Materiales (ASTM por sus siglas en inglés) lo definió como “un producto inorgánico de fusión que se ha enfriado hasta adquirir un estado rígido sin cristalizarse.”

En 1932, Zachariasen propuso que los átomos en un vidrio forman una red tridimensional extendida que, aunque carece de simetría, contiene una cantidad de energía comparable a la correspondiente de la red molecular de un cristal (Kirk, Othmer, 1964). Para que un óxido pueda formar un vidrio, el autor postuló lo siguiente:

1. Cada átomo de oxígeno debe estar ligado a no más de dos cationes.
2. El número de átomos de oxígeno alrededor de cada catión debe ser pequeño, entre tres y cuatro.
3. El oxígeno poliédrico debe compartir esquinas, no caras ni orillas, para poder formar una red tridimensional.
4. Por lo menos tres esquinas deben estar compartidas.

El trabajo realizado por Warren y otros, quienes usaron difracción por rayos X para estudiar la estructura del vidrio, apoyó el concepto de Zachariasen. La combinación de ambos estudios condujo a la *teoría de la red aleatoria* de la estructura del vidrio.

Para obtener vidrio es necesaria la fusión de una mezcla de materias primas. Se utilizan principalmente cuatro sustancias diferentes:

1. Arena de sílice para obtener SiO_2 como base.
2. Carbonato de sodio (Na_2CO_3) para obtener Na_2O como fundente.

3. Rocas calizas (CaCO_3) calcinadas para obtener CaO .
4. Feldespatos ($\text{R}_2\text{O} \cdot \text{Al}_2\text{O}_3 \cdot 6\text{SiO}_2$) para obtener aluminosilicatos (Al_2O_3 y SiO_2).

Primero se obtiene una mezcla homogénea al fusionar estas materias primas a 1500°C . Luego se enfría la mezcla a 1300°C para distribuirla a su sistema de proceso correspondiente. Cuando la temperatura de la mezcla ha descendido entre 800 y 1100°C se le da la forma al artículo que se produce, mediante alguna de las técnicas empleadas en la actualidad, como puede ser mediante la aplicación de presión o soplado. Una vez que la temperatura de la mezcla desciende a los 500°C se le da el acabado final al producto y finalmente se empaqueta cuando la temperatura se ha igualado a la del ambiente.

Su dureza y estabilidad han favorecido que el vidrio se utilice ampliamente; es resistente a la corrosión y a la oxidación, e impermeable para los gases. Los envases de vidrio tienen la ventaja de que se pueden reciclar al 100%, pero no hay que olvidar que en su reciclaje, aunque en menos medida que si no se hiciera, también se gasta energía y se contamina. Hay que recordar que esta contaminación se debe principalmente a la emisión de gases invernadero, los cuales provienen de la quema de combustibles fósiles para la obtención de energía. Es decir, cualquier gasto de energía en cualquier proceso de producción, que se lleve a cabo en un país que utilice los combustibles fósiles como fuente de energía, genera contaminación.

- *El papel y el cartón*

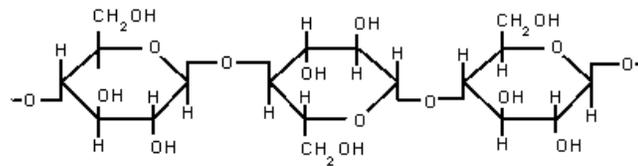
Son innumerables los objetos de consumo que se empaquetan con papel o cartón, de forma que estos materiales representan el 15% de la bolsa de basura (SEDESOL, 2005), es decir, que en peso son el segundo material que más se desecha.



Recolección de cartón y papel para su reciclaje.

Estos materiales están hechos de celulosa, una cadena lineal de glucosas unidas mediante enlaces β -1,4-o-glucosídico (ver figura 11). Este polisacárido es una larga cadena polimérica de peso molecular variable cuya fórmula empírica es $(C_6H_{10}O_5)_n$, donde n nunca es menor a 200.

Figura 11. Estructura molecular de la celulosa a partir de glucosa



La estructura lineal de la celulosa permite que se establezcan múltiples puentes de hidrógeno entre los grupos hidroxilo de distintas cadenas yuxtapuestas de glucosa, dándole las propiedades de fibra que la hacen insoluble en agua. Esta fibra es el componente mayoritario de las paredes celulares de las plantas y constituye, hoy en día, el polímero renovable más abundante en todo el mundo (Watanabe *et al.*, 2006).

Aunque son de fácil reciclaje, la reutilización del papel impreso es limitado porque la tinta utilizada es difícil de remover mediante técnicas convencionales como la dispersión, el lavado y la flotación (Lee *et al.*, 2006). Por otro lado, muchos de los procedimientos químicos que se utilizan para la remoción de tinta utilizan grandes cantidades de reactivos como carbonato de sodio, hidróxido de sodio, silicato de sodio, peróxido de hidrógeno, hipocloritos, agentes quelantes y surfactantes (Marques, 2003;

Woodward, 1994) que contaminan el agua y, por lo tanto, dan lugar a sistemas de tratamiento de aguas muy costosos (Jeffries, 1994).

- *Los cartones plastificados*

Este tipo de residuo no figura individualmente en la tabla 2, ya que se compone de distintos materiales; son envases fabricados con finas capas de celulosa, aluminio y polietileno. Se utilizan para el envasado de numerosos líquidos como refrescos, jugos, agua, vinos, salsas y productos lácteos entre otros, ya que conservan bien los alimentos, tienen escaso peso y una forma que facilita su almacenaje y transporte. Para su elaboración se requieren materias primas no renovables muy impactantes para el ambiente: el aluminio y el petróleo.



Envases de cartón plastificado compactados para su recolección

El gran inconveniente de estos residuos es que casi no se reciclan sus materias primas debido a la dificultad para separar del papel, el plástico y el aluminio. Este tipo de residuo tampoco es reutilizable porque su limpieza destruye el envase.

- *Comida y restos de jardinería*

En México, poco más de la mitad de los residuos generados son de naturaleza orgánica. Éstos se ven aumentados en las comunidades rurales y disminuidos en las

localidades urbanas (SEDESOL, 2005). La fracción orgánica se comprende principalmente de los restos de comida, tanto animales como vegetales, y, a veces, de los del jardín.



Recolecta de las hojas de los árboles para producir composta

La principal característica de los residuos orgánicos es su susceptibilidad a la degradación, lo cual implica una pérdida de propiedades mediante la acción microbiológica, hidrolítica y oxidativa (Davis, 2006).

Todos los alimentos que componen los residuos orgánicos se producen en el campo. Cuando estos no llegan a las ciudades para ser consumidos, se incorporan al suelo y se degradan de forma natural debido a un estado activo de desintegración a la actividad microbiológica de los microorganismos que están en el suelo. Estos residuos se encuentran en la naturaleza como la capa más externa del suelo y son la fuente de nutrientes para los microorganismos: carbono para la obtención de energía y nitrógeno para la producción de proteínas, además de ser la fuente más importante de fósforo y azufre. Esta búsqueda de nutrientes por parte de los microorganismos es responsable de la degradación de la materia orgánica. El contenido de la materia orgánica del suelo es pequeño: del 3 al 5% (Buckman, 1991).

El exceso de residuos orgánicos en presencia de humedad crea el ambiente perfecto para la proliferación de microorganismos, pues encuentran en este medio

todos, o casi todos, los nutrientes necesarios para su crecimiento y el agua necesaria para que dentro y fuera de su célula se lleven a cabo todas las reacciones biológicas necesarias. Esto es un peligro para la salud, puesto que muchos de los microorganismos que encontramos en el ambiente son patógenos, sobretodo cuando se excede la carga microbiana que resiste el organismo humano.

Actualmente, a nivel mundial, existen tres formas principales para disponer de los residuos sólidos orgánicos (alimentos y restos de jardinería) en las poblaciones urbanas (Agency, 2002):

1. incineración con recuperación de energía;
2. composteo; y
3. tecnologías emergentes como la digestión anaeróbica, la gasificación y la termólisis.

En México se ha utilizado principalmente el composteo. Esta técnica consiste en la descomposición controlada de los residuos orgánicos. Aunque es una técnica milenaria, su aplicación se vio truncada debido a la mecanización de las actividades humanas hasta hace pocos años, en los que ha habido una preocupación seria por los residuos que generamos. Por otro lado, la incineración en el País esta destinada únicamente para los residuos peligrosos o biológico-infecciosos y se lleva a cabo solamente por el sector privado.

Con todo esto podemos ver que los RSU (ver tabla 2 en la página 10) son una mezcla interesante de productos, pero que para reutilizarse o reciclarse, primero tienen que separarse. El costo de separar la basura sería altísimo sin la participación de la población, por lo que es importante tener este tipo de programas que promueven que

el primer paso en el procesamiento de la basura, esto es, la separación, se lleve a cabo en los lugares por la población civil. Este es un claro ejemplo de lo mucho que puede hacer la gente para tener un bien global a partir de un sacrificio personal mínimo, como lo es el de separar y limpiar la basura al momento de generarla.

1.4. GESTIÓN INTEGRAL DE LOS RSU EN MÉXICO

¿La basura termina en nuestra bolsa de basura?

Según la Secretaría de Desarrollo Social, la generación de residuos sólidos aumentó de 300 gramos por habitante al día, en la década de los cincuenta, a 927 gramos en promedio en el año 2004. Se estimó también, para ese mismo año, una generación nacional mayor de 100 mil toneladas diarias (SEDESOL, 2005). La basura se transformó de mayoritariamente orgánica a elementos de descomposición más lenta y que requieren de procesos físicos, biológicos o químicos complementarios para procesarse.

Tabla 4. Fuente: SEDESOL, Dirección de Residuos Sólidos, 2004

Generación nacional de desechos sólidos municipales e industriales no peligrosos.							
Año	1995	1996	1997	1998	1999	2000	2004
Gramos / habitante / día	828	832	837	841	850	860	927

La tabla 4 muestra cómo año con año se ve aumentada la generación de los RSU. Este aumento a su vez muestra el proceso de industrialización que está viviendo el País, ya que la producción de residuos se ve incrementada en los países desarrollados. Por ejemplo, en el 2003, la producción *per cápita* anual mexicana fue de

320 kilogramos, mientras que en Estados Unidos fue de 740 kilogramos (OECD, 2007), es decir, casi 2 kilogramos de basura al día. La cantidad de recipientes y de empaques que se utilizan en el mundo industrializado es mucho mayor que los de países en desarrollo, lo que se refleja en estos datos. Sin embargo, el problema ambiental no radica tanto en el aumento de la generación de los residuos sino en el tratamiento de los mismos.

Una vez generados los RSU se almacenan temporalmente dentro de la fuente de generación. Esto con el propósito de mantenerlos dentro de la casa-habitación para que no ocasionen riesgos a la salud pública o al ambiente, hasta que son entregados al sistema de recolección de la localidad.

El almacenamiento es la etapa del ciclo de vida de los RSU que menos atención técnica profesional ha recibido. Son pocas, si no es que nulas, las ciudades en donde se tienen buenas prácticas de almacenamiento en las diferentes fuentes de generación de los RSU.

Los recipientes de almacenamiento deben estar diseñados de acuerdo con:

- a) las características de los residuos;
- b) su producción en un periodo determinado;
- c) su peso volumétrico;
- d) la frecuencia establecida que proporciona el servicio.

Por ejemplo, en la vía pública el equipamiento es prácticamente nulo, y cuando existe la recolección de los RSU no se lleva a cabo con la regularidad para la que fueron diseñados sus recipientes. Esta situación ha provocado que los lugares para coleccionar la basura se conviertan en tiraderos, con la consecuente proliferación de fauna nociva, malos olores y afectación al paisaje.

Generalmente, en México todas las zonas de almacenamiento son deficientes y desorganizadas, especialmente en las fuentes donde se genera un gran volumen de residuos (mercados, tiendas de autoservicio, centros de abasto). Generalmente las zonas de almacenamiento de cada una de estas fuentes acaban por convertirse en un riesgo para la salud y para el ambiente, ya que por lo regular se generan más residuos de los que pueden ser recolectados, atrayendo así a todos los microorganismos causante de enfermedades y fauna nociva.

Es importante adaptar las medidas de gestión integral de RSU de los países desarrollados en donde la participación ciudadana es total, con el objeto de facilitar su posterior tratamiento. La generación de RSU limpios y separados en la fuente de origen agiliza todo el sistema de aseo urbano (SAU), desde su recolección hasta su posterior tratamiento.

La función principal de los sistemas de recolección es recorrer las áreas donde se ubican las fuentes de generación para recolectar los RSU y luego transportarlos a los sistemas de transferencia, de tratamiento o de disposición final. Esta es una de las acciones que más se relacionan con la disminución de riesgos a la salud, ya que minimiza el tiempo que los RSU permanecen en la fuente de generación, evitando así el contacto de la población con los posibles patógenos. De ahí su importancia en todo lo que es la gestión integral de los RSU.

Prácticamente, la totalidad de los municipios del País y las delegaciones del Distrito Federal proporcionan y administran el servicio de recolección. Sin embargo, en algunas ciudades existen también recolectores privados bajo concesión municipal, que prestan el servicio de recolección a fuentes de generación de todo tipo. Algunas

ciudades que reciben este tipo de servicio son: Puebla², Tuxtla Gutiérrez³, Guadalajara, Mérida⁴, Acapulco⁵ y Coacalco en el Estado de México⁶.

Para la fase de recolección es necesario contar con vehículos de recolección, los cuales están constituidos por el chasis cabina y por la caja. Esta última puede contener una serie de mecanismos de compactación o no, como los camiones de volteo. Los equipos más utilizados son los camiones compactadores con capacidad de 10 a 15m³, con los cuales se recolectan de seis a ocho toneladas de basura por viaje.

Durante la recolección de los RSU se lleva a cabo la prepepena. Esta tarea consiste en separar los productos valiosos que son factibles de comercializar sin ningún tipo de problemas, como lo son: el cartón, papel periódico y papel limpio, botellas enteras de todo tipo, metales y latas de aluminio principalmente.

La cobertura nacional promedio de la recolección de los RSU se estima en 78%. Para las zonas metropolitanas se ha calculado en 95%; para ciudades medias entre el 70 y 85% y para las pequeñas entre el 50 y 70%⁷.

La recolección depende de factores como la generación por zona o sector, la concentración urbana, el grado de dificultad de la ruta, así como, las condiciones climáticas y topográficas de la localidad. En promedio cada jornalero (personal destinado a actividades exclusivas de recolección), recolecta entre dos y cuatro toneladas por turno.

² <http://www.gmd.com.mx/esp/partes/proyectos/operacion/puebla.html>

³ http://www.turismotuxtla.com.mx/Notas_Tuxtla/RESPONSABLE_Y_AMBIENTALISTA.html

⁴ [http://www.yucatan.com.mx/noticia.asp?cx=14\\$0900000000\\$3405048&f=20061022](http://www.yucatan.com.mx/noticia.asp?cx=14$0900000000$3405048&f=20061022)

⁵ http://www.suracapulco.com.mx/nota.php?id_notas=7869

⁶ <http://www.jornada.unam.mx/2006/07/31/039n1est.php>

⁷ <http://www.ine.gob.mx/ueajei/publicaciones/libros/133/sistemas.htmlz>

Los RSU que han sido recolectados pueden o no llevarse a un sitio de tratamiento, el cual se dedica al aprovechamiento de la basura. Tal como lo muestra la tabla 5, existen tres procesos principales para el tratamiento de los RSU antes de ser dispuestos de manera final: a) el composteo de los residuos orgánicos (comida y plantas), b) el reciclaje de los residuos inorgánicos y c) la incineración de ambos. Recordemos que para los residuos orgánicos existe también el uso de las tecnologías emergentes, pero que debido a sus altos costos de inversión su uso se ha visto limitado a aquellos países con altos ingresos económicos. En México, ninguno de los tratamientos de los residuos orgánicos ha tenido el resultado esperado por falta de mercado, altos costos de operación y mala calidad del producto terminado.

La tabla 5 muestra la forma en que algunos países tratan sus RSU. Las cantidades se expresan en porcentajes del total generado. En la tabla se observa que, por ejemplo, Estados Unidos confina el 73 % de los RSU, mientras que sólo incinera el 14%, utiliza para hacer composta el 1% y recicla el 12%. Si comparamos los valores de la tabla observamos que Japón es el país donde se lleva a cabo la mayor cantidad de reciclaje de los RSU, y que en Francia es donde más se utilizan para el composteo. En la misma tabla se ve que Suecia es de los que más RSU incinera. En México, se recicla el 6 % y lo demás se confina en sitios de disposición final (tiraderos a cielo abierto y relleno sanitarios).

Tabla 5. Cifras expresadas en porcentaje del total generado. (Sancho y Cervera, 1999)

Tendencias mundiales de diferentes tratamientos				
País	Disposición Final	Incineración	Composteo	Reciclaje
EEUU	73	14	1	12
Japón	27	25	2	46
Alemania	52	30	3	15
Francia	48	40	10	2

Suecia	40	52	5	3
México	94	-----	-----	6

a) La incineración

En cuanto al proceso de incineración de RSU, solamente se ha construido una planta en el Distrito Federal, que después se quiso transformar para el tratamiento de los residuos peligrosos biológico infecciosos (RPBI) y en la actualidad está cerrada (SEDESOL, 2005). La incineración es una forma de tratamiento de los RSU muy utilizada en los países que no tienen el espacio suficiente para disponer sus residuos, ya que éstos al incinerarse cambian de residuos sólidos a residuos gaseosos que pueden liberarse a la atmósfera. Veamos el caso de los Estado Unidos. Este país tiene los recursos suficientes para desarrollar y adquirir cualquier tipo de tecnología, pero como también cuenta con mucho territorio donde confinar sus residuos, prefiere disponerlos en un relleno sanitario que es más económico de manejar que una incineradora.

Otra gran ventaja de las plantas incineradoras RSU es la obtención de energía, pero su gran inconveniente es que si no existen los controles suficientes para la optimización de la combustión, se generan gases que, al liberarse, contribuyen al calentamiento global

b) El composteo

La primera planta de composta que se construyó y se puso en operación dentro del país, fue en la ciudad de Toluca, Estado de México. Abrió sus puertas en 1969 y ese mismo año fue cerrada. Tres años después, se construyó y se puso en operación una planta de reciclaje-composta en la ciudad de Guadalajara, con capacidad de 500 toneladas por día; actualmente está cerrada. Se construyó una igual en la Ciudad de Monterrey en 1973; actualmente está cerrada. Existe además otra planta cerrada en la

Ciudad de Oaxaca. En la ciudad de Acapulco, Guerrero, se compró otra pero nunca se instaló; y está en rehabilitación una más en la ciudad de Mérida, Yucatán (SEDESOL, 2005).

Francia, por otro lado, es pionero en la producción de composta. Quizás esto se deba en parte a la industria vinícola existente en el país, ya que el uso de la composta se ha destinado principalmente como abono al mejoramiento de los suelos. Otro país que también genera gran cantidad de composta a partir de sus RSU generados es Suecia. Este país es famoso por su industria maderera, de manera que tal vez sea esta la razón por la cual figura como segundo lugar en la producción de composta: para fertilizar sus bosques.

El tema del composteo se tratará posteriormente con más profundidad, debido a que es uno de los fundamentos de esta tesis.

c) El reciclaje

En la tabla 5 se observa que sólo el 6% del total de los RSU generados en México se destinan al reciclaje. Esto indica que en el país no se tratan los residuos sólidos, sólo se confinan. Hoy, las únicas plantas de aprovechamiento de residuos que funcionan en el país están en el D.F. (San Juan de Aragón, Bordo Poniente y Santa Catarina) y tienen una capacidad total de 6 500 toneladas por día, de las 100 mil producidas diariamente en todo el País.

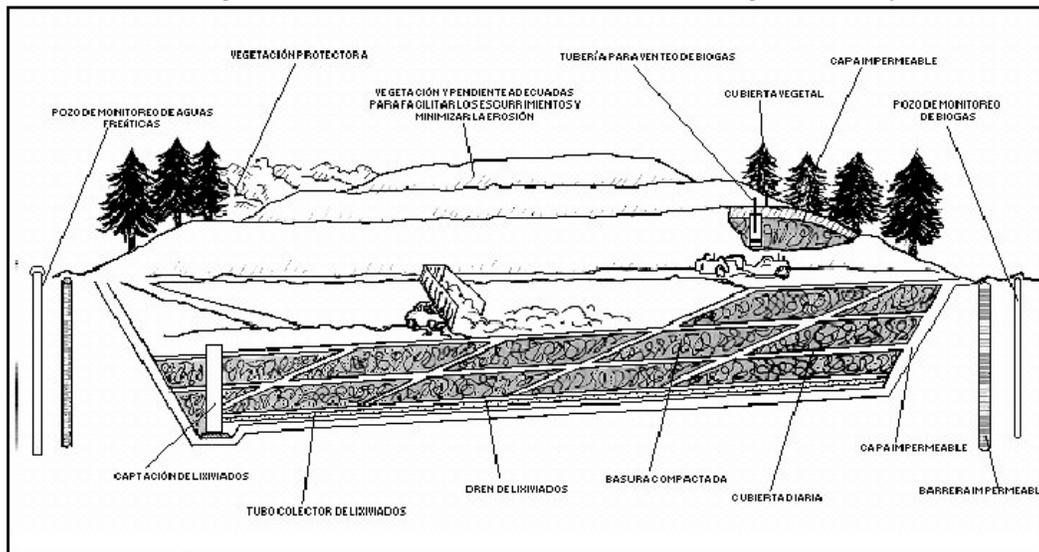
En este aspecto, vale la pena mencionar el caso de Japón. Siendo éste un país muy pequeño, no tiene el espacio suficiente para confinar sus residuos ni para hacer composta⁸, de manera que le quedan la incineración y el reciclaje. Su porcentaje de RSU incinerados pareciera ser algo elevada aunque no es mayor que la de los países europeos. Es la misma falta de territorio del país asiático la que los ha privado al mismo tiempo de recursos naturales, por lo que Japón ha tenido que reciclar sus residuos.

⁸ Las plantas de composta también requieren de mucho espacio para poder operar.

Aproximadamente, la mitad de los RSU generados en el país se disponen en tiraderos a cielo abierto o en rellenos no controlados (SEDESOL, Subsecretaría de Desarrollo Urbano y Vivienda, 1999), métodos que no cumplen con los requisitos técnicos para lograr una adecuada disposición de los RSU. El otro 50 por ciento de los residuos termina en rellenos sanitarios, donde se disponen de manera adecuada.

En el pasado se entendía por relleno sanitario cualquier sitio en el cual los residuos eran depositados en el suelo y cubiertos con material de cobertura al final de cada día de operación. En la actualidad, el relleno sanitario se refiere a la obra de ingeniería para la disposición de RSU, diseñada y operada para minimizar los impactos a la salud pública y al ambiente. Actualmente, el relleno sanitario moderno cuenta con elementos de control lo suficientemente seguros y modernos. Su éxito radica en el adecuado diseño de los controles más importantes de un relleno sanitario: la recuperación del biogás y de los lixiviados (ver figura 12).

Figura 12. Imagen de un relleno sanitario
Fuente: Browning-Ferris Industries, Mobius Curriculum, Understanding the Waste Cycle, 1991.



Como se observa en la figura 12, la forma de un relleno sanitario es la de una pirámide truncada invertida. Este es un requerimiento muy importante ya que permite que los lixiviados se escurran hasta llegar al fondo del relleno sanitario. Los lixiviados no salen de este espacio, ya que se coloca una capa de material impermeable en el fondo del relleno sanitario. A esta capa se le conoce como geomembrana, la cual consiste la mayoría de las veces en un manto de polietileno sobre una cama de arcilla. La geomembrana se coloca en el fondo del relleno sanitario que lleva una pendiente para permitir que todos los lixiviados se recolecten en un solo punto, tal como se observa en la esquina inferior izquierda de la figura anterior. Los lixiviados recolectados son tratados posteriormente para desecharlos al cauce de un río. Así como esta medida es importante para evitar que los lixiviados se salgan del sitio de disposición final sin haber sido tratados con anterioridad, también es importante que exista una medida que impida la introducción de los escurrimientos de agua. Es por esto que se coloca una barrera impermeable alrededor de todo el relleno sanitario, la cual se observa en el extremo derecho de la figura en cuestión. Cuando toda la basura recolectada en el día llega al relleno sanitario, se compacta y se cubre de material de cobertura. Esto es lo que constituye una celda. Así, cada jornada de trabajo corresponde a una celda, que son todos los residuos sólidos recolectados en un día, compactados y cubiertos por material de cobertura. Cada una de estas celdas tiene las paredes inclinadas a fin de permitir los escurrimientos, en caso de lluvia, hasta el pozo recolector de lixiviados. Una capa vegetal, preferentemente de árboles, alrededor del relleno sanitario ayuda a aminorar los escurrimientos.

De la misma manera, pero en dirección contraria, o sea, hacia arriba pues los gases tienden a subir, se recolecta el biogás en un solo punto. Éste es uno de los controles más caros y peligrosos debido a la explosividad del metano contenido en el

biogás. El biogás recolectado debe quemarse con el propósito de contribuir menos con el aporte de gases invernadero.

A nivel mundial, el relleno sanitario ha sido el método más aceptado para la disposición de los RSU debido a sus bajos costos de operación. Sin embargo, actualmente, se plantea la necesidad de implantar sistemas alternos que absorban los volúmenes crecientes de residuos, desplazando el uso del relleno sanitario. Se han implementado sistemas de prevención de generación de residuos, de reciclaje y de procesamiento y, aún así, ha permanecido el relleno sanitario como un componente imprescindible de los sistemas de manejo de RSU, ya que siempre habrá que hacer algo con aquellos residuos que no pueden ser reciclados o transformados.

Por otro lado, los sitios de disposición final no controlados representan un riesgo para la salud y el ambiente por cuatro razones principales:

- i) La falta de material de cobertura que permite la presencia de animales que son consumidos por los seres humanos. Hay que recordar que muchos municipios son ganaderos y de pocos recursos: los diferentes animales merodean libremente por todo el campo en busca de alimento en un basurero que no cuenta con bardas o mallas que aíslen el sitio.
- ii) La producción incontrolada de biogás que contribuye al fenómeno de calentamiento de la tierra y que, en ocasiones, se quema provocando que la demás basura se incendie.
- iii) Los lixiviados generados por el agua de lluvia y por el agua resultante de los procesos de degradación microbiana de los residuos, que alcanzan los mantos freáticos (Loizidou, 1993).
- iv) La presencia de pepenadores para la separación de los materiales reciclables, los cuales trabajan muy por debajo de las leyes laborales establecidas en el país.

Por todo lo anterior, la SEMARNAT prohíbe el funcionamiento de sitios de disposición final que no cuenten con los mínimos requerimientos para salvaguardar la salud y el equilibrio ecológico ambiental (SEMARNAT, 2003). La NOM-083-SEMARNAT-2003 establece todos los requisitos para la clausura de los sitios de disposición final no controlados y establece, al mismo tiempo 1) las condiciones que deben reunir estos sitios y 2) el plazo para su entrada en vigor, que fue el año 2006. De manera que, hoy, todos los municipios deben contar, al menos, con los estudios topográficos para la instalación de su relleno sanitario.

¿Qué le pasa al 94% de los residuos generados?

(Haciendo alusión a la tabla 5)

El 94% de los RSU generados en México, como se muestra en la tabla 5, son confinados, ya sea en un relleno sanitario o en un tiradero a cielo abierto. Estos RSU pasan por cuatro etapas típicas hasta su estabilización (Christensen, 1989). La primera fase, oxidativa, se caracteriza por una degradación aeróbica. En la siguiente etapa, cuando el oxígeno que se encuentra dentro del sitio de disposición se ha agotado, se lleva a cabo una fermentación ácida, durante la cual se producen ácidos grasos volátiles (VFAs, por sus siglas en inglés) y alcoholes. La tercera, la metanogénica, se caracteriza por la producción de metano y es la etapa que más dura en un sitio de disposición microbiológicamente activo. La producción de metano provoca una expansión del sitio de disposición final causando una serie de agrietamientos en él, que permiten la entrada de aire fresco. Es entonces cuando se terminan los sustratos de los cuales se produce el metano, que se lleva a cabo la cuarta y última etapa de degradación oxidativa, provocada por el oxígeno presente en el aire recién introducido. Cada una de las cuatro etapas se ve fuertemente

influenciada por el grado de compactación, la composición de los RSU, la humedad, y la temperatura (Jonsson *et al.*, 2003).

1.5. TRATAMIENTO DE LOS RSU ORGÁNICOS

Considerando que los residuos orgánicos:

1. componen el 51% de los RSU que se generan en el País, de manera que basta un solo tratamiento para deshacerse de la mitad de los RSU;
2. son susceptibles a la degradación microbiana, lo que hace factible la generación de focos de infección debido a la presencia de microorganismos patógenos;
3. sirven como alimento para el ganado que merodea por los alrededores del sitio de disposición final y que después son consumidos por los habitantes del municipio; y
4. son los principales contaminantes a corto plazo al generar biogás y lixiviados;

en esta tesis buscaremos alternativas para su disposición final, evitando alteraciones al medio ambiente.

Dado que en México el composteo ha sido y es una práctica común, en este trabajo se realizará el estudio más profundo del proceso de composteo.

1.6. EL COMPOSTEO

Indiscriminadamente se ha utilizado el término de composteo para denominar algunos procesos de degradación, ya sean aeróbicos o anaeróbicos. Sin embargo, estrictamente, el composteo es un proceso de descomposición biológica oxidativa, es decir, una descomposición de los constituyentes orgánicos de los materiales de desecho en presencia de oxígeno y organismos vivos (Farías *et al.* 1999).

Cuando el *composteo* se lleva a cabo en ausencia de oxígeno (Moldes *et al.*, 2006) se le denomina digestión anaeróbica (Bohn *et al.*, 2006). En este proceso se produce biogás, que es una mezcla de metano (CH₄) y dióxido de carbono (CO₂) principalmente, además de amoníaco (NH₃) y otros gases y ácidos orgánicos. La digestión anaeróbica tiene algunas ventajas sobre el *composteo aeróbico*: se requiere menos mano de obra porque no es necesario voltear la mezcla de residuos para brindar aireación y produce gases (biogás) que pueden utilizarse para producir energía y con eso contribuir menos al efecto invernadero. No obstante, la digestión anaeróbica es un proceso mucho más lento que puede llevar hasta un par de años y requiere además de procesos tecnológicos mucho más costosos para capturar y aprovechar el biogás. En esta tesis se trabajará con el composteo aeróbico que dura menos de medio año y cuyos requerimientos tecnológicos son menores.

El proceso de composteo se lleva a cabo bajo condiciones controladas sobre sustratos sólidos orgánicos heterogéneos, originando un producto que representa grandes beneficios cuando es adicionado al suelo (Lampkin, 1994), si es lo suficientemente estable como para permitir su almacenamiento y utilización sin efectos nocivos (Díaz *et al.*, 1993). La composta no está lista para utilizarse (en agricultura) si no se ha dejado reposar unos meses para transformar el amonio, el ácido acético y

otros productos intermedios de la descomposición, en compuestos inocuos para la germinación y el crecimiento de las raíces de las plantas, o en compuestos que no inhiban el crecimiento vegetal (Trautmann, 1997).

Ya que el composteo es un proceso exclusivamente biológico puede afirmarse entonces que depende de todos los factores que influyen directa o indirectamente en el metabolismo de los organismos empleados; así, los aspectos más importantes que deben considerarse para llevar a cabo un buen composteo son (Farías *et al.*, 1999):

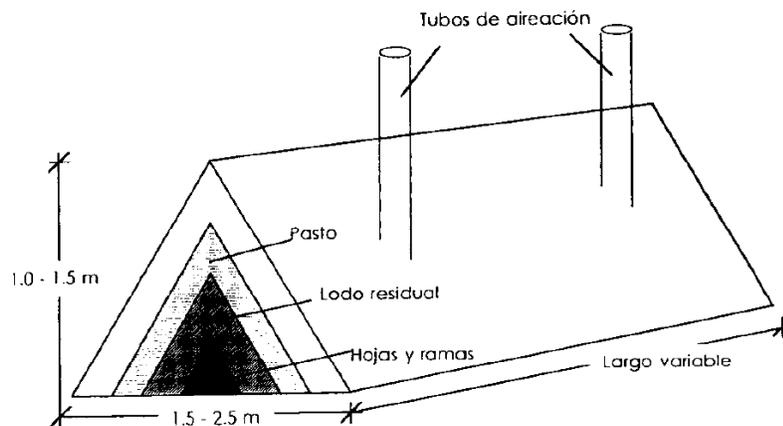
- A. El tipo sustrato
- B. La cantidad de aireación
- C. La temperatura generada
- D. La humedad
- E. El pH
- F. La relación Carbono:Nitrógeno del sustrato

La mayoría de los sistemas de composteo consiste en la descomposición mediante microorganismos, ya sean bacterias u hongos. A este tipo de composteo se le conoce como *directo* (Farías *et al.*, 1999). Existe también otro sistema de composteo que se lleva a cabo con invertebrados, especialmente con las lombrices de tierra *Eisenia foetida*. A este tipo de composteo se le conoce como *indirecto*. En ambos sistemas, un composteo exitoso depende de qué tan favorables son las condiciones bajo las que están sometidos los microorganismos o los invertebrados, para permitir su actividad biológica y el crecimiento de las colonias.

Ya que la actividad biológica tiene por subproducto la generación de calor, la temperatura de los sistemas de composteo se puede elevar si se les aplica la adecuada aireación, humedad y aporte de nutrientes para el rápido desarrollo de los

organismos. Por ejemplo, la temperatura de una pila de composta industrial (ver figura 13) a la intemperie, si es lo suficientemente grande para retener el calor (15 metros de largo por 2 metros de ancho), puede alcanzar los 55°C dentro de los primeros días después de haber mezclado los residuos orgánicos, incluso si la temperatura ambiente es bajo cero. A este tipo de composta se le conoce como *termofílica*. Sin embargo, los sistemas de composteo indirecto no son termofílicos porque las lombrices no sobreviven a esas temperaturas. Este aumento en la temperatura se evita en los composteos indirectos gracias al propio diseño del sistema.

Figura 13. Una pila de composteo



No obstante, el composteo directo también puede ocurrir a temperaturas mucho más bajas, pero el proceso será más largo. Por ejemplo, una pila de hojas de otoño se descompondrá gradualmente durante un año o dos sin aumentar su temperatura, ya sea porque el nivel de nitrógeno o la humedad son insuficientes o porque la pila es demasiado pequeña para aislar su propio calor generado. Cuando el composteo no es termofílico, la descomposición es gracias a los microorganismos *mesofílicos*.

En este proyecto se intentará llevar a cabo un composteo termofílico con el fin de ahorrar tiempo. Si el composteo es termofílico, significa que en él intervendrán bacterias y hongos. Este tipo de composteo presenta un comportamiento peculiar con respecto a la variación de la temperatura del sistema, el cual se puede dividir por orden de aparición en cuatro etapas diferentes (Lampkin, 1994):

1. Mesofílica. Los microorganismos mesofílicos se empiezan a multiplicar empezando a generar calor.
2. Termofílica. Es la etapa donde se llega a la temperatura máxima. Los microorganismos mesofílicos se ven disminuidos por el aumento de la temperatura y estos son sucedidos por los termofílicos, cuyo metabolismo se ve favorecido a altas temperaturas.
3. Enfriamiento. Los nutrientes fácilmente aprovechables se ven agotados y los microorganismos se ven en la necesidad de cambiar toda la maquinaria enzimática, para buscar otros nutrientes más difíciles de asimilar.
4. Estabilidad y madurez. La primera se refiere a la resistencia de la materia orgánica contenida en la composta para seguirse degradando. La segunda es la inocuidad de la composta para el crecimiento vegetal. Algunos autores lo relacionan con el proceso de humificación (Tognetti, 2006).

El composteo también se puede llevar a cabo dentro de la casa. En lugar de que el proceso se lleve a cabo en pilas de residuos, como aquellas industriales o comerciales, el composteo se puede realizar en cajas pequeñas. En contraste, las pilas al intemperie pueden procesar varias toneladas de residuos orgánicos mientras que en casa apenas un par de kilogramos de comida por semana (Trautmann, 1997). Existe también el composteo en contenedores o recipientes llamados bio-reactores. Cuando estos son a gran escala, se utilizan para la producción de composta a nivel comercial e industrial, mientras que los bio-reactores a micro escala, como el fabricado

en este proyecto, se usan generalmente para desarrollar estudios experimentales. La composta fabricada en estos últimos es de uso personal.

¿Para qué sirve el producto obtenido en el composteo? El uso principal de la composta es como abono orgánico y su influencia sobre la fertilidad de los suelos se ha demostrado aunque su composición química, el aporte de nutrimentos a los cultivos y su efecto en el suelo varían según su procedencia, edad, manejo y contenido de humedad (Romero, 2000). Durante la Revolución Verde en México, la fertilización al suelo se concentraba en aplicar fertilizantes químicos de nitrógeno y fósforo, marginando a los abonos orgánicos que fueron la base y sustento de la agricultura por siglos (Arredondo, 1996). Los abonos naturales (estiércol, compostas y residuos de cosecha) tienen grandes ventajas sobre los fertilizantes sintéticos. La composta, por ejemplo, aumenta la porosidad del suelo, permite que el agua y el aire circulen mejor, que las raíces crezcan robustas y que las plantas se enfermen menos, lo que no se logra fácilmente con abonos sintéticos (Lesur, 1998).

En la actualidad, la estructura del suelo es el principal factor que condiciona la fertilidad y productividad de los suelos agrícolas; someter el terreno a un intenso laboreo y compresión mecánica tiende a deteriorar la estructura (Dimas *et al.*, 2001). Los abonos orgánicos se han recomendado en aquellas tierras sometidas a cultivo intenso para mantener y mejorar la estructura del suelo, aumentar la capacidad de retención de humedad y facilitar la disponibilidad de nutrimentos para las plantas (Castellanos, 1982).

Sin embargo, ¿qué sucede en aquellas regiones que cuentan con suelos fértiles y que no tienen la necesidad de fertilizar? Entre las múltiples razones que han originado que prácticamente se deseché el uso de la composta en México está la falta de mercado. El uso de la composta se ha restringido a la agricultura, como mejorador

de suelos (Sauri, 2002), por lo que esta tesis pretende dar otra opción para que se lleve a cabo el composteo, y que esto reditúe en beneficio para las comunidades.

1.7. LA COMPOSTA COMO MATERIAL DE CONSTRUCCIÓN

México es un país rico en minerales. Reflejo de ello es la existencia de una de las compañías de cemento más grande del mundo, CEMEX. El cemento se obtiene de la trituración de una mezcla de diferentes minerales, principalmente cal (CaO) y sílica (SiO_2). El primero se obtiene de la calcinación del carbonato de calcio (CaCO_3), que se extrae directo de las minas, y el segundo de las arcillas, que se componen de aluminosilicatos ($\text{Al}_2\text{O}_3 \cdot \text{SiO}_2$). A esta mezcla también se le agregan óxidos de aluminio y hierro como fundentes. Durante el proceso de calentamiento de la mezcla se llevan a cabo diversas reacciones químicas, las cuales producen unos nódulos que se llaman clinkers, los cuales se componen principalmente de silicatos y aluminatos de calcio. Cuando el clinker se pulveriza con un poco de yeso (sulfato de calcio), alrededor del 2%, el producto obtenido es el cemento Pórtland (Kirk, Othmer, 1964). El cemento en presencia de agua se mezcla con arena y grava para formar el concreto, que es un material de construcción mucho más resistente. Sin embargo, es posible utilizar solamente la arcilla como material de construcción y es más barato ya que no necesita someterse a ningún proceso industrial. La arcilla se encuentra a unos centímetros bajo el suelo y es su componente más fino; se obtiene gracias a la erosión milenaria de las rocas feldespáticas, que están compuestas de minerales de aluminio, silicio y un metal alcalinotérreo, es decir, de los aluminosilicatos (Pineda Piñón, 2005). Con la arcilla es posible obtener dos unidades estructurales diferentes:

1. el ladrillo, que se compone únicamente de arcilla y se cuece en un horno por casi un día para darle rigidez a la unidad de construcción; y

2. el adobe, que no se cuece y, por lo tanto, debe de llevar fibras orgánicas (paja) para aumentar la capacidad a la flexión de la unidad de construcción.

La disponibilidad de la materia prima y la sencillez de fabricación de estas piezas, ha permitido que la arquitectura de tierra seca permanezca vigente, especialmente en países en vías de desarrollo. Es por esto que, considerando que los adobes llevan materia orgánica, se estudiará la posibilidad de sustituir a ésta por composta.

Hay que tomar en cuenta, como se dijo anteriormente, que el proceso de composteo, al acelerar la descomposición de los residuos sólidos orgánicos, disminuye la permanencia de estos residuos en nuestro entorno, de manera que el composteo es, ante todo, una medida necesaria para el control, la disminución y la eliminación de fuentes de infecciones y enfermedades, especialmente en comunidades pequeñas y marginadas donde, casi siempre, la disposición final de los RSU es en tiraderos a cielo abierto y sin control.

Si se logra que en México se utilice la composta como una medida para el control de los RSU orgánicos y si también encontramos que la composta, además de ser un mejorador de suelos, es un posible material para la para la construcción, habremos aumentado el valor útil de la composta.

A continuación se presenta un breve estudio de las bondades de la construcción con adobes, que en este caso aplica para nuestro proyecto.

1.8. CONSTRUCCIÓN CON ADOBES

- 1 Tenía entonces toda la tierra una sola lengua y unas mismas palabras.*
2 Aconteció que cuando salieron de oriente hallaron una llanura en la tierra de Sinar y se establecieron allí.
3 Un día se dijeron unos a otros: «Vamos, hagamos ladrillo y cozámoslo con fuego». Así el ladrillo les sirvió en lugar de piedra, y el asfalto en lugar de mezcla.
4 Después dijeron: «Vamos, edifiquémonos una ciudad y una torre cuya cúspide llegue al cielo, y hagámonos un nombre, por si fuéramos esparcidos sobre la faz de toda la tierra».

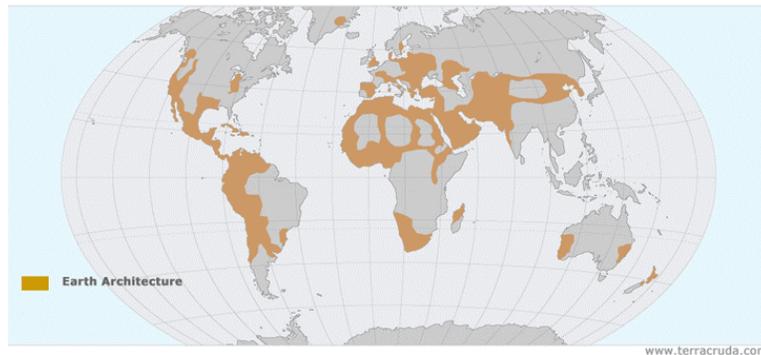
La torre de Babel
Génesis 11

El adobe es uno de los primeros materiales de construcción utilizados por el hombre. La palabra adobe se deriva del árabe: *At-tub*, que significa ladrillo de tierra (Moropoulou *et al.*, 2003). La técnica de fabricación consiste, rústicamente, en utilizar el lodo que se forma del suelo y dejarlo secar. No resulta difícil pensar que después de cada temporada de lluvias, y cada que volvían a descender los niveles del río, nuestros antepasados utilizaran el fango que quedaba por las orillas de la rivera para formar pequeñas unidades de construcción capaces de unirse entre sí para formar pequeñas edificaciones que pudieran protegerlos del ambiente.

Los adobes se fabrican con arcilla a la que se le agrega paja, zacate, estiércol, hojas de pino, crines o pelos de otros animales. La arcilla y el residuo orgánico que se utilice sirven para brindar rigidez y estructura, respectivamente, al producto fabricado.

La disponibilidad del material para la producción de adobes en diferentes zonas del globo (ver figura 14 el mapa de distribución de abundancia de arcilla), su bajo costo de fabricación y sus notables propiedades de aislamiento térmico (conductividad térmica de entre 0,5 a 0,7 W/m°C comparado con 1,4 a 1,6 W/m°C del ladrillo cocido y el concreto (Holman, 1989; Karlekar, 1990), hacen del adobe un material ventajoso para la edificación.

Figura 14. Mapa de la difusión de construcciones hechas de arcilla, debido a la abundancia del recurso en el mismo sitio (Blondet *et al.*, 2005).



Como cualquier otro material de construcción, el adobe también tiene sus desventajas, entre las cuales podemos encontrar 1) una pobre resistencia a la compresión (alrededor de 60 kg/cm^2) que impide construir edificaciones altas y 2) una alta capacidad de absorción (Pineda Piñón, 2005) que puede provocar que el adobe se disuelva hasta obtener sus materias primas en los lugares donde abunda el agua. A todo lo anterior, hay que sumarle los otros factores ambientales que afectan, por igual, a todos los materiales de construcción y de decoración (Moropoulou *et al.*, 2003), que son:

- Los terremotos
- El viento
- La irradiación solar
- Los cambios de temperatura
- Las emisiones provenientes del tráfico y de la industria⁹

La presencia de agua, ya sea la humedad ambiental o las lluvias, combinada con cambios extremos de temperatura en periodos cortos de tiempo, hacen que los materiales de construcción se expandan y contraigan sucesivamente, provocando el

⁹ En el caso de los monumentos históricos y arqueológicos, existe también la deterioración generada por la aplicación de materiales de conservación y restauración inadecuados.

deterioro de la piedra, el ladrillo y el adobe. Este último es el más vulnerable al agua, ya que puede colapsarse y dar origen a la arcilla de la que provino.

Por todo lo anterior, la industria de la construcción impulsó la búsqueda y la fabricación de nuevos y mejores materiales, los cuales favorecieron el desuso del adobe a finales del siglo XIX. Bastó la crisis energética del petróleo de 1973, donde una reducción del 7% de la producción de éste cuadruplicó su precio, para que se creara un interés renovado en la construcción a partir de materiales hechos de tierra, ya que los adobes ahorran energía (petróleo) en dos importantes aspectos:

1. en su fabricación (menos de 0,2 MJ/kg (Gupta, 2000)), y
2. en la energía necesaria para enfriar o calentar el interior del edificio.

Este último punto, que parece poco importante y pocas veces se considera en el diseño de la construcción de un edificio, aventaja al adobe sobre otros materiales. Según un equipo de investigadores del Centro de Investigaciones del Noroeste, en La Paz, Baja California Sur, el gasto para mantener una casa de 144m³, con muros externos de concreto, a 26°C por un periodo de 15 años¹⁰, puede ascender a los 630 mil pesos mexicanos. Por otro lado, este gasto, bajo las mismas especificaciones, puede descender hasta los 114 mil pesos mexicanos cuando los muros externos se construyen con adobe. Dicho en otras palabras, cuesta 5,5 veces más mantener una casa de concreto a una temperatura agradable¹¹ que una de adobe (Porta Gándara, et al., 2002).

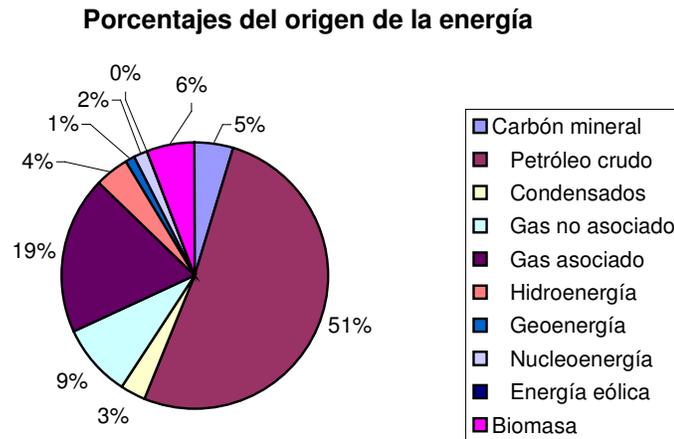
Esta ventaja del adobe resulta muy interesante para esta tesis, que pretende abordar un tema ambiental. Si nos percatamos de que el 93% de la energía generada

¹⁰ Período de financiamiento para la clase obrera.

¹¹ No obstante, el concepto básico de confort es cuestionable, pues algunas sociedades toleran mejor las altas temperaturas y humedades, que otras (Mallick, 1996).

en México, 6 049.372 Petajoules¹² (SENER, 2005), se logra a través de la quema de combustibles fósiles y de biomasa (Figura 15), la utilización de los adobes en las construcciones es, entonces, un verdadero logro ecológico. Es decir, al utilizar adobe en las casas se necesita menos energía para aclimatarlas, o lo que es igual, se quema menos combustible y así se contribuye menos al calentamiento global.

Figura 15. Porcentajes de las fuentes de energía (SENER, 2005).
La lista empieza con el 5% del carbón y va en orden con las manecillas del reloj.



Otra ventaja ambiental del adobe es que la arcilla con la que se fabrican se reintegra mucho más fácil al ambiente y sin producir efectos nocivos en el entorno, pues permite la proliferación de la vegetación, mientras que el calcio de los minerales del cemento, cuando se reintegra al ambiente, inhibe el crecimiento vegetal de muchas especies. Además, cuando el adobe termina su tiempo de vida, se puede *reciclar* gracias a la facilidad con la que se recuperan sus materias primas, sin la necesidad de aplicarle técnicas específicas como en el caso de otros materiales de la construcción

¹² Petajoule: Equivale a 1(E+15) joules. Joule es la cantidad de energía que se utiliza para mover un kilogramo masa a lo largo de un metro, aplicando una aceleración de 1 metro por segundo cuadrado.

(ITEC, 1998). La recuperación de estos materiales y su consecuente reutilización le confieren al proceso de construcción con adobe la propiedad de sustentable.

El concepto de sustentable tiene una interpretación económica: un negocio, por ejemplo, es sustentable cuando puede explotarse a través de incontable años. Siendo esto cierto, podemos aseverar entonces que la explotación de una mina es conceptualmente insostenible ya que eventualmente habrá un agotamiento del recurso. En contraste, la madera puede ser una materia prima sosteniblemente explotada si se iguala la cantidad del producto extraído con la de la biomasa nueva generada (Peris Mora, 2007). De esta manera, la construcción de edificios puede ser sustentable si permitimos que los materiales utilizados en éste se reincorporen a su ciclo cuando se tire el edificio al que pertenecieron. En este sentido, el uso del adobe como material para la construcción permite decir que este proceso es sostenible.

Actualmente, el adobe todavía sobrevive como material de construcción en diferentes regiones del planeta: desde los desiertos del norte de México hasta las cordilleras andinas del Perú, y desde la región norsahariana hasta las grandes extensiones áridas de la China.

Contrario a lo que se piensa, las construcciones hechas con adobe pueden resistir en pie por siglos, cuando se construyen en ambientes adecuados con baja precipitación pluvial, o bien cuando se recubren con materiales como yeso y pintura que los protegen de la humedad. De esta forma, hoy todavía existen algunos vestigios arquitectónicos que fueron construidos hace cientos o miles de años. La utilización del adobe como material de construcción se extiende más allá de la arquitectura vernácula. La maleabilidad de la composición *arcilla-materia vegetal* ha permitido la construcción de verdaderas joyas arquitectónicas. Algunos edificios de adobe se encuentran muy deteriorados, como Paquimé, en México, pero otros se encuentran

extremadamente conservados, como el templo de Horus en Egipto. Por otro lado, existen ciudades o casas antiguísimas de adobe que se siguen habitando, como Timbuktú en Malí y la casa de William Shakespeare en Inglaterra. A continuación se presenta una serie de construcciones alrededor del mundo, que dejan de manifiesto la nobleza del adobe como material de construcción.



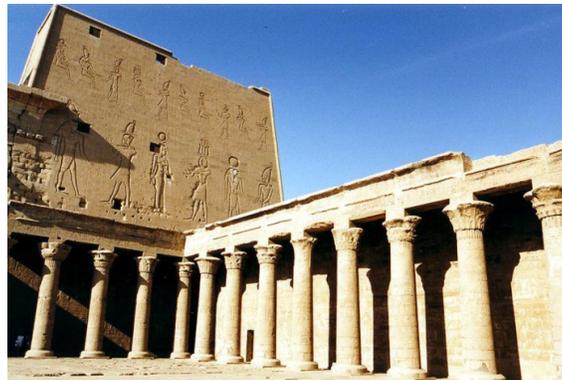
Sitio arqueológico de Paquimé en el municipio de Casas Grandes en el estado de Chihuahua, México. En el año de 1998 fue declarada como Patrimonio Cultural de la Humanidad por la UNESCO.



Sitio arqueológico de Chan Chan en el departamento costero de Trujillo, Perú. Es la ciudad de barro más grande de todo el continente americano aunque sólo se conserva un palacio de los 10 que existieron. La imagen de la derecha muestra el potencial artístico de la arcilla.



Timbuktu fue fundado alrededor del 1100 DC por los nómadas Touareg. Un siglo más tarde, el Imperio Malí se la quitó a los Touareg y rápidamente se convirtió en un centro para el comercio norte-sur. La mezquita Djingereyber en Timbuktu, Malí, fue construida por el sultán Mansa Musa a finales del siglo XIII en el estilo tradicional saheliano de lodo-seco.



Templo de Horus en Idfu, Egipto, a las orillas del Río Nilo. Gran parte de su construcción estuvo enterrada por arena, salvándolo del intemperie y los cristianos.



Ziggurat de Ur, Antigua Mesopotamia. Su núcleo es de adobe y la coraza de ladrillos. Los primeros ziggurats datan del tercer milenio antes de cristo y los últimos vestigios del siglo VI AC.



Casa de William Shakespeare en Stratford-upon-Avon en Inglaterra. Después de aproximadamente 500 años esta casa funciona como museo y es visitada todas las semanas.



Edificación moderna de adobe en Galicia, España.

Considerando que, según las Naciones Unidas, alrededor del 30% de la población todavía vive en casa de *tierra no cocida* (Alva, 2004), creemos que la utilización de la composta como materia prima para la fabricación de adobes puede conducirse exitosamente con la tecnología adecuada, especialmente en aquellas regiones donde se cumplen los requisitos siguientes:

1. material disponible y
2. poca incidencia sísmica

En este trabajo se presenta un estudio sobre el uso de la composta como material para la construcción.

2. ANTECEDENTES



La realización de este proyecto de tesis surge de mi participación en “LA UNIVERSIDAD EN TU COMUNIDAD”, uno de los tantos proyectos de impacto social que están a cargo de la Dirección General de Orientación y Servicios Educativos (DGOSE) de la UNAM. Éste proyecto es una opción para aquellos estudiantes de licenciatura que buscan realizar su servicio social de manera comunitaria, por lo que su objetivo general es acercar a los universitarios a las regiones y poblaciones más desprovistas del País para que pongan en práctica sus conocimientos y ejecuten sus propuestas, en beneficio de la sociedad.

Para otoño del 2005, “La Universidad en tu Comunidad” se proyecta al municipio de Chilchota, Michoacán, debido a la necesidad del presidente municipal, Ingeniero Domingo Santiago Gregorio, por encontrar una solución viable a la contaminación del río Duero, que nace dentro de los dominios de la municipalidad. Esta necesidad se da como resultado de la disposición de la Comisión Nacional del Agua de entregar las aguas de los ríos, de un municipio a otro, con niveles de contaminantes permisibles. En este caso, los municipios río abajo de Tangancícuaro y Zamora, altamente agrícolas y reconocidos por su producción de fresas, no estaban de acuerdo con la calidad del agua del Río Duero y podían actuar legalmente si no se corregía el problema. Es entonces, cuando el ingeniero Santiago recurre a la DGOSE, en busca de ayuda.

Se realizó una visita al municipio y durante la primera inspección se encontró que las posibles razones por las cuales el río estaba en malas condiciones eran las siguientes:

1. la presencia de mujeres que lavan en el río;
2. la inexistencia en algunas zonas del municipio o la insuficiencia de la capacidad, de las plantas de tratamiento de agua;
3. el inadecuado manejo del rastro municipal; y
4. la filtración de los lixiviados del basurero municipal por no contar con geomembranas y encontrarse en la zona de recarga hidrológica.

Mi participación en este proyecto estuvo ligada únicamente al manejo de los residuos sólidos, o a la minimización de la producción de lixiviados, y se dividió en dos etapas:

1. el diseño del sistema de la gestión integral de los residuos sólidos urbanos; y
2. la clausura del basurero municipal con el estudio previo de la implementación de un relleno sanitario.

De la segunda etapa del proyecto se desprende un estudio de los RSU generados en Chilchota. En él se encuentran los datos necesarios para conocer el potencial del municipio como fabricante de composta, a partir de los RSU orgánicos generados. La idea de utilizar la composta como material para la construcción o la del adobe como una manera de confinar los RSU orgánicos, surge de la cercanía de las tabiquerías al basurero municipal.

Los antecedentes aquí citados se dividen en dos breves escritos:

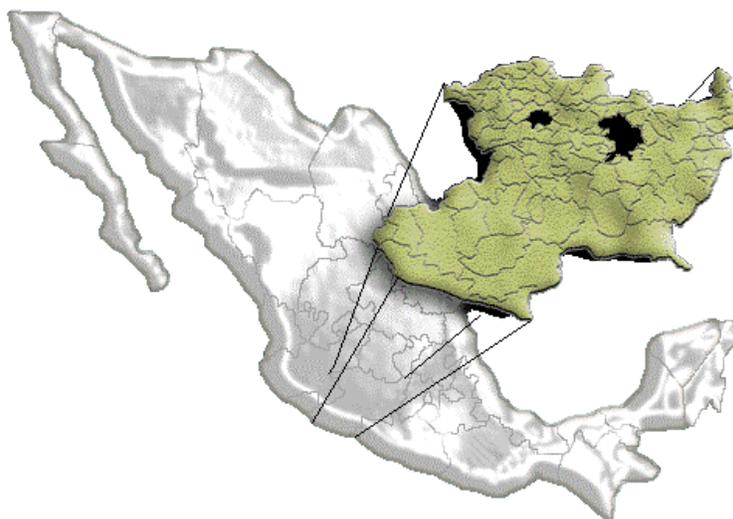
1. un pequeño estudio físico-geográfico del municipio, donde realicé mi servicio social, que incluye los resultados que obtuve respecto a la cantidad de composta que se puede fabricar en él; y
2. otro estudio físico-geográfico del municipio donde se fabricaron los adobes que fue en Huejotzingo, Puebla.

2.1. FABRICACIÓN DE COMPOSTA

Sitio de experimentación propuesto para la fabricación de composta: Chilchota, Michoacán.

- **Localización:** el Municipio de Chilchota se localiza al noroeste del Estado de Michoacán, en las coordenadas 19°51' de latitud norte y 101°87' de longitud oeste, a una altura de 1,770 metros sobre el nivel del mar. Limita al norte con Tangancícuaro y Purépero, al este con Zacapu y Cherán, al sur con Charapan y Paracho y al oeste con Tangancícuaro. Su distancia a la capital del Estado es de 120 kms (ver figura 16) (Municipal 2000).

Figura 16. División política del Estado de Michoacán de Ocampo. En negro, a la izquierda, el municipio de Chilchota. A la derecha, el municipio de Morelia.



- **Extensión:** 305,13 km² que representan el 0,51 % de la superficie del Estado.
- **Orografía:** constituido por el sistema volcánico transversal; cerros Viejo, Cobre y San Ignacio.
- **Hidrografía:** los ríos Duero y Rito.
- **Clima:** templado, con lluvias en verano. Tiene una precipitación pluvial anual de mil milímetros y con temperaturas que oscilan de 2,5 a 38,0°C.

- **Principales ecosistemas:** predomina el bosque mixto con especies de pino y encino. Su fauna se conforma con cacomixtle, zorrillo, mapache, liebre, tlacuache y coyote.
- **Recursos naturales:** la superficie forestal maderable está formada de pino y encino. El resto por varias especies de arbustos.
- **Características y uso del suelo:** estos datan del periodo cenozoico y corresponden principalmente a los del tipo podzólico. El uso del suelo es primordialmente ganadero y en menor proporción forestal. Los suelos de tipo podzólico se caracterizan por su color aparentemente blanquecino, con una cubierta superior de detritus orgánicos y un lecho de color café que reposa sobre el material base. Esta superficie tiene muy poca utilidad agrícola por su poca fertilidad y es por esto que su uso radica en el aprovechamiento para la ganadería.

El municipio de Chilchota, Michoacán, cuenta con un sitio de disposición final de residuos sólidos oficial, cuyas coordenadas en UTM son: 13Q 0803303mE y 2199761mN a 1899msnm. Tiene una superficie, de propiedad comunal, de 12 682 m², en forma de polígono irregular. Funciona desde hace 15 años y su vida útil terminará en el 2007. Según la NOM-083-SEMARNAT-2003 se ubica en la categoría "C"¹, ya que en él se tiran diariamente un promedio de 18 toneladas de basura. No cumple con las normas de un sitio de disposición final pues está a cielo abierto y no tiene material impermeable para contener los escurrimientos que se producen especialmente en temporada de lluvias, por lo que se están contaminando los mantos freáticos que alimentan los manantiales que brotan en los poblados del valle en todo lo largo del Río

¹ Existen cuatro categorías (A, B, C y D) de sitio de disposición final de acuerdo al tonelaje que recibe diariamente. La categoría "C" es para todos los sitios de disposición final que confinan entre 10 y 50 toneladas. La categoría "A" es para aquellos que confinan más de 100 toneladas al día (SEMARNAT, 2003).

Duero. Finalmente, en el basurero existe fauna nociva (roedores, insectos) y constantemente se está quemando la basura.

En el municipio existen, además, sitios de disposición final no oficiales, mejor conocidos como tiraderos, en las 21 comunidades en las que se divide, incluyendo la cabecera municipal. Estos tiraderos tienen características parecidas. Tienen tamaño similar, la composición de los residuos es la misma y el lugar donde se encuentran es el mismo (barrancos, lotes baldíos y la periferia de las comunidades). El área que tienen estos sitios oscila entre 20 y 30m² y la mayoría tienen más de cinco años en funcionamiento. Es negativo el impacto que se genera en estos lugares, dada su incidencia directa en la salud de la población y en los diferentes elementos del ambiente (aire, agua y suelo), incluyendo los problemas de queja pública y del deterioro de la estética.

El H. Ayuntamiento de Chilchota busca solucionar el problema de la disposición de la basura con un proyecto que proporcione un lugar adecuado para el establecimiento de un relleno sanitario cumpliendo con la normatividad vigente

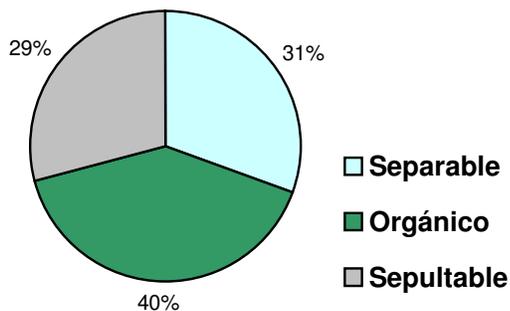
Según la NOM-083-SEMARNAT-2003, antes de la implementación del relleno sanitario se debe llevar a cabo un estudio cualitativo y cuantitativo de los residuos generados en el sitio. El municipio de Chilchota, Michoacán, cuenta con una generación *per cápita* de basura de 0,71kg/día (García, 2006) y una población de 30 711 habitantes (CONAPO, 2000), lo que nos da una producción total de residuos de 21,8 toneladas al día, las cuales se generan por localidad de acuerdo a lo mostrado en la tabla 6. En la misma tabla se observa que la cabecera municipal es la que más RSU genera, debido a la concentración de comercios y servicios.

Tabla 6. Generación de residuos por comunidad (Reynoso, 2006)

No.	Localidad	Habitantes	Basura Generada Kg/día	Ton al día
1	Acachuen	1,896	1,346.2	1.346
2	Carapan	5,237	3,718.3	3.718
3	Chilchota Cab.	6,920	4,913.2	4.913
4	El Pedregal	96	68.2	0.068
5	Huecato	652	462.9	0.463
6	Huancito	2,685	1,906.4	1.906
7	Ichán	3,368	2,391.3	2.391
8	La Cofradía	326	231.5	0.231
9	Las Ánimas	4	2.8	0.003
10	Morelos	356	252.8	0.253
11	Nogales	1,483	1,052.9	1.053
12	Rancho Santa Cruz	143	101.5	0.102
13	Rancho Seco	64	45.4	0.045
14	S/N	38	27.0	0.027
15	S/N	109	77.4	0.077
16	San Juan Carapan	11	7.8	0.008
17	Santo Tomás	1,180	837.8	0.838
18	Tacuro	1,507	1,070.0	1.070
19	Tanaquillo	1,203	854.1	0.854
20	Uren	1,217	864.1	0.864
21	Zopoco	2,216	1,573.4	1.573
Total		30,711	21,804.8	21.805

Cualitativamente, de acuerdo a la NMX-AA-22-1985, y utilizando el criterio **SOS** del Estado de Michoacán, los residuos sólidos de la municipalidad se caracterizaron en 31% **S**eparables, 40% **O**rgánicos y 29% **S**epultables, como muestra la figura 17 (Reynoso, 2006). El criterio **SOS** utilizado en el estado de Michoacán está enfocado en separar los productos con un valor útil (separables y orgánicos) de los que no lo tienen (sepultables). Los residuos separables son todos los RSU inorgánicos que pueden reutilizarse o someterse al reciclaje; los residuos orgánicos, como ya se dijo con anterioridad, son los que se descomponen por acción microbiológica; y los residuos sepultables son aquellos que no pueden reutilizarse, reciclarse o que no pueden convertirse en composta, como los cartones plastificados y los desechos sanitarios (pañales, toallas sanitarias). El 40% de residuos orgánicos generados en Chilchota son los que nos interesan en esta tesis, pues pueden convertirse en composta si el municipio contara con la infraestructura necesaria.

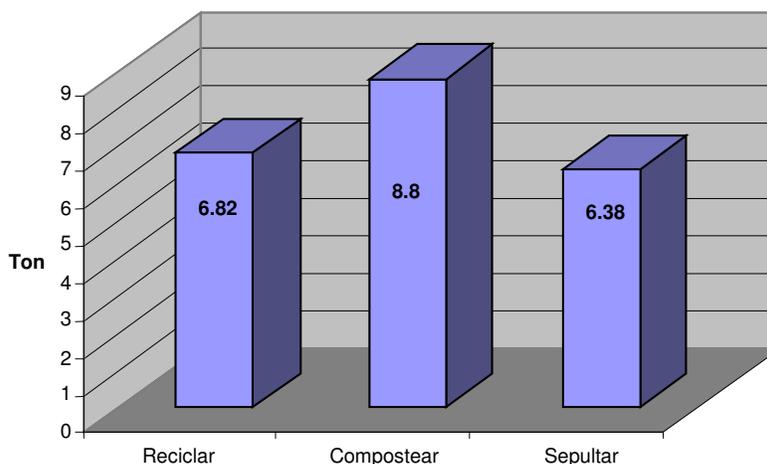
Figura 17. Clasificación porcentual de los residuos SOS



Tomando en cuenta la producción total de RSU del municipio (21, 8 toneladas), los porcentajes **SOS** de la figura 17 corresponden a 6,82 toneladas de **Separables**, 8,8 toneladas de **Orgánicos** y 6,38 toneladas de **Sepultables**. Esto quiere decir que para alargar el tiempo de vida del relleno sanitario hasta su máximo, habría que reciclar (o reutilizar) 6,82 toneladas de basura y fabricar 8,8 toneladas de composta a partir de los residuos orgánicos. Por supuesto que estas son las cifras más optimistas, pero con estas tres cifras el municipio de Chilchota puede proyectar el relleno sanitario, ya que sabe que al menos debe confinar 6,38 toneladas de residuos **Sepultables**, que no pueden ser recicladas ni convertidas en composta. La figura 18 muestra de manera más esquemática esta situación optimista.

¿Cuál es la situación del municipio de Chilchota? El día de hoy, el municipio de Chilchota confinó las casi 22 toneladas que se generan en su territorio, siendo que 13 de ellas (más de la mitad) son totalmente útiles fuera del sitio de disposición final. O sea, que si siguen con este esquema cuando implementan el relleno sanitario, el tiempo de vida de su sitio de disposición final se verá disminuido a la mitad del tiempo de vida posible.

Figura 18. Las toneladas óptimas de RSU destinadas a diferentes procesos, para alargar el tiempo de vida del relleno sanitario de Chilchota, Michoacán (Reynoso, 2006).



Aunque el municipio no haya fabricado un solo kilogramo de composta hasta el día de hoy creemos que este proceso es totalmente posible, pues muchos otros países han demostrado su viabilidad como medida para el tratamiento de los RSU orgánicos a nivel gubernamental, como lo demuestran los siguientes documentos:

- Canadá (Mkhabela y Warman, 2005)
- Cuba (Körner, Saborit-Sánchez *et al.*, 2007)
- Egipto (M. M. El-Halwagi, 1988)
- España (Canet y Pomares, 1995)
- Ghana (Danso, Drechsel *et al.*, 2006)
- Grecia (Manios, 2004)
- Israel (Hadas, Agassi *et al.*, 2004)
- Malí (Soumaré, Tack *et al.*, 2003)
- El Reino Unido (Slater y Frederickson, 2001)

En pocas palabras, la intención de este proyecto es promover el uso del composteo, ya que es 1) una medida para la disminución, prevención y control de las fuentes de infección para el hombre, y de contaminación de los mantos freáticos; y 2)

es una manera de reducir los residuos que se mandan a confinar, alargando así, la vida útil de los rellenos sanitarios. Además, 3) se puede concluir que se deja de producir biogás con sólo monitorear la composta porque al hacer composta se agotan los recursos con los cuales se forma biogás, cuyo monitoreo es mucho más costoso que el de la inversión de una planta de composteo. El uso de esta técnica como medida para manejar los RSU es totalmente posible si además se logra ampliar el mercado del producto obtenido más allá de la agricultura, especialmente en una región donde no se siembra de manera comercial o que no tiene la necesidad de fertilizar sus tierras. Es por esto que proponemos la composta como material para la construcción en un municipio que tiene por actividad económica la fabricación de adobes y ladrillos, como se presenta a continuación para el municipio de Huejotzingo.

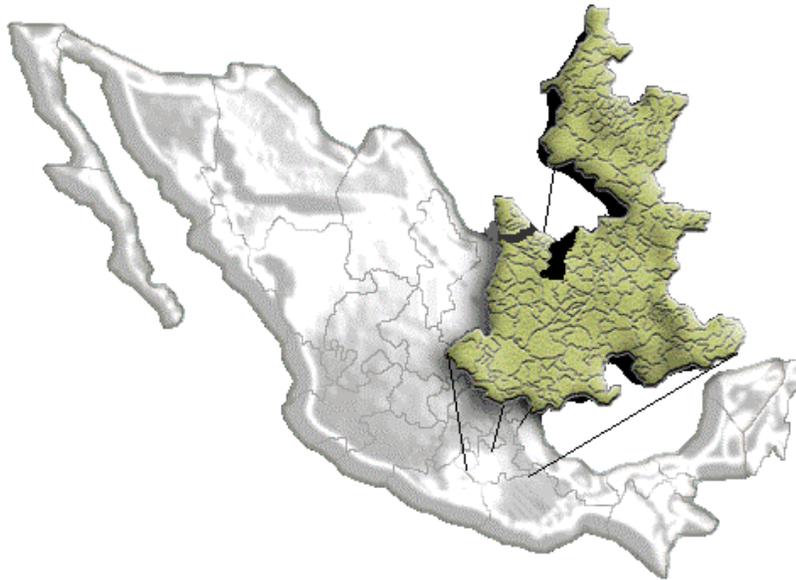
2.2. FABRICACIÓN DE ADOBES

Sitio de experimentación para la fabricación de adobes: Huejotzingo, Puebla.

- **Localización.** El municipio de Huejotzingo se localiza en la parte del centro oeste del estado de Puebla. Sus coordenadas geográficas son: los paralelos 19° 13' 32" y 19° 06'36" de latitud norte y los meridianos 98° 20'18" y 98° 39'00" de longitud occidental (ver figura 19) (Municipal, 1999).
- **Extensión.** Tiene una superficie de 188.81 kilómetros cuadrados que lo ubica en el lugar 67 con respecto a los demás municipios del estado.
- **Orografía.** La configuración orográfica del municipio está determinada por su ubicación con respecto a la Sierra Nevada. Son notables en la zona de la cabellera del volcán Iztaccíhuatl los fenómenos de denudación, donde gran número de rocas se desgajan con gran violencia.

- **Hidrografía.** El municipio pertenece a la parte occidental de la cuenca alta del Atoyac, una de las cuencas más importantes del estado, que tiene su nacimiento cerca del límite de los estados de México y Puebla, en la vertiente oriental de la sierra Nevada.

Figura 19. División política del Estado de Puebla. En negro, a la izquierda, el municipio de Huejotzingo de Nieva. A la derecha, el municipio de Puebla de los Ángeles.



- **Clima.** Se identifican tres climas:
 - Clima templado subhúmedo con lluvias en verano.* Es el clima predominante sobre todo en la zona correspondiente al Valle.
 - Clima semifrío subhúmedo con lluvias en verano.* Se presenta en las faldas inferiores de la sierra, al poniente.
 - Clima frío.* Se identifica en las partes más altas del Volcán Iztaccíhuatl.
- **Principales ecosistemas.** El municipio presenta las siguientes características vegetales: las zonas más elevadas del volcán Iztaccíhuatl, presentan nieves perpetuas y alrededor de éstas áreas, pradera de alta montaña; las faldas inferiores de la Sierra Nevada están cubiertas por bosques de pino, pino-encino y oyamel, asociados en ocasiones a vegetación secundaria arbustiva, y

muestran una tendencia a disminuir por la deforestación sistemática para usar la madera o para incorporar nuevas zonas de cultivo.

- **Recursos naturales.** El recurso predominante en el municipio es lo forestal y debido a esta actividad el recurso se encuentra en decadencia.
- **Minería.** El principal material con que cuenta es arcilla.

Figura 20. Tabiquera de la familia Tula en el municipio de Huejotzingo, Puebla. Los prismas de arcilla se dejan secar antes de cocerse para formar el tabique.



3. OBJETIVOS



1. Determinar los mínimos requerimientos para obtener composta a partir de residuos orgánicos caseros.
2. Comprobar que el bio-reactor hecho con material casero para la producción de composta es una herramienta válida para la divulgación de su fabricación.
3. Analizar las condiciones de los RSU para observar si se puede hacer un composteo termofílico con los microorganismos existentes a nuestro alcance, como los encontrados en la tierra del jardín. Esto con el fin de obtener una forma más eficiente ya que es más rápido que el composteo mesofílico.
4. Analizar la pérdida de peso y disminución de volumen de los RSU que se someten al proceso de composteo, para verificarlo y cuantificarlo con el fin de comprobar la idea de que el composteo disminuye el volumen de los RSU y, por lo tanto, aumenta de manera indirecta el tiempo de vida media de los rellenos sanitarios.
5. Estudiar la posibilidad de fabricar adobes a partir de composta y arcilla.

4. METODOLOGÍA



4.1. BIO-REACTORES DE BOTELLA DE PET

Los bio-reactores de botella de PET han sido diseñados para el estudio del proceso de composteo más que como modelo de disposición de residuos sólidos orgánicos. Son pequeños y se construyen prácticamente sin costo, lo que permite que los estudiantes interesados en este proceso puedan diseñar y llevar a cabo una investigación personalizada, comparando los efectos de diferentes variables como el porcentaje de humedad y la relación carbono:nitrógeno sobre la temperatura generada, y la calidad de la composta obtenida.

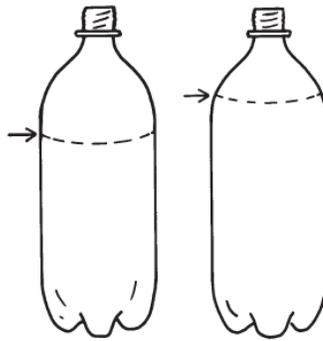
MATERIALES

- 2 botellas de PET, de 2 litros y dentados en la base
- 1 plato o círculo de poliestireno del diámetro de la botella de PET
- 1 taladro o un clavo para hacer agujeros
- Cinta plateada
- 1 cuchillo o tijeras
- Material de aislamiento como hule-espuma, fibra de vidrio o periódico
- 1 pedazo de media de nylon lo suficientemente largo para cubrir los agujeros y así evitar moscas
- 1 termómetro de al menos 20 cm de largo
- Residuos orgánicos de la cocina o del jardín
- Residuos ricos en celulosa como trozos (1cm) de madera, corteza de árbol, aserrín, cartón, etcétera.

- Manguera de látex para ventilación (Opcional. Ver paso 8 en la construcción del bio-reactor.)

CONSTRUCCIÓN

1. Cortar, con un cuchillo o unas tijeras, una de las botellas de PET justo por arriba del hombro y la otra justo por debajo de éste. Con las piezas grandes de ambas botellas se tienen la base y la tapa de nuestro bio-reactor.



Obtención de la base y de la tapa del bio-reactor.

2. Colocar ajustadamente el plato o círculo de poliestireno dentro de la botella a la altura de los dientes de la base (4-5cm). Este aditamento es el soporte de la composta dentro de nuestro bio-reactor, por lo tanto deberá estar agujerado para permitir la aireación. Debajo de este soporte debe haber el suficiente espacio para la recolección de lixiviados y la entrada de aire. Por debajo de esta altura hay que hacer agujeros a los lados de la botella, ya sea con un clavo caliente o un taladro.
3. Hay que evitar hacer agujeros en la base de la botella a menos que se tenga previsto recolectar los lixiviados generados durante el proceso.

4. Escoger el material para hacer la composta. En general, es deseable que el agua represente entre 50 y 60% del peso total de la mezcla y que tenga aproximadamente 30 veces más carbono que nitrógeno (C:N de 30:1). Se puede estimar la humedad de manera inexacta usando la *regla del pulgar* : sumergir el dedo dentro de la composta y sentir que la textura de la mezcla es tan húmeda como una esponja exprimida; o calcularse por diferencia de peso.

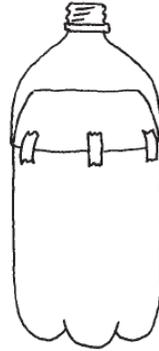
Dentro de los residuos ricos en carbono se encuentran las virutas y los trozos de madera, los recortes de periódico y las hojas secas. Entre los residuos ricos en nitrógeno están el pasto verde y las sobras de alimentos incluyendo las del café. Las compostas con más variedad de residuos tienen más probabilidades de alcanzar temperaturas altas en un bio-reactor de botella de PET, que aquellas homogéneas debido a un aporte de nutrientes más rico.

En este proyecto se utilizarán los restos tal y como salen de la cocina para facilitar el proceso.

5. Llenar sin comprimir el bio-reactor. Hay que recordar que se necesita que el aire sea capaz de difundirse a través de los poros de la composta. Hay que mantener la mezcla ligera y *esponjada* sin empaquetarla.

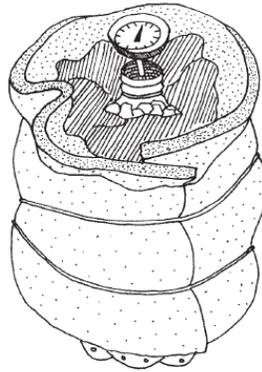


6. Colocar la tapa de nuestro bio-reactor sobre su base. Utilizar pequeños pedazos de cinta plateada para que no se caiga.



Sujeción del bio-reactor.

7. Cubrir la boquilla con un pedazo de media de nylon y sujetarla con una liga. Para evitar malos olores, se puede horadar la tapa de la botella y colocar una manguera en el agujero de manera que los gases escapen fuera de la ventana donde se lleve a cabo el experimento.
8. Para evitar moscas se pueden cubrir todos los agujeros con un pedazo de media de nylon.
9. Cubrir el bio-reactor con periódico procurando no tapar los agujeros de ventilación. (Como los bio-reactores de botella de PET son más pequeños que las pilas de composta industriales, es aconsejable aislarlos para que retengan el calor generado durante la descomposición.)



Aislamiento del bio-reactor con papel periódico.

10. Monitorear el proceso mediante la medición de temperatura al menos una vez al día. El termómetro se introduce por la boquilla de la tapa. Es importante el monitoreo durante los primeros días ya que estos pequeños sistemas pueden alcanzar su pico de máxima temperatura dentro de las primeras 24 horas. Se puede utilizar un termómetro digital con registro de la máxima y la mínima temperatura para llevar un mejor control. El monitoreo de la temperatura de la composta es para permitir el crecimiento de unos u otros microorganismos, es decir, permitir el crecimiento de las bacterias mesofílicas o termofílicas, según la finalidad del proceso.

11. Los bio-reactores de botella de PET generalmente alcanzan temperaturas de 40-45°C. Si las condiciones no son favorables, no habrá un aumento apreciable en la temperatura.

NOTA 1. Se puede observar al final del composteo (4 meses) que el volumen de la composta disminuye a la mitad o más, y que los residuos utilizados ya no son reconocibles.

NOTA 2. La apariencia de la composta se asemeja a la de la tierra mojada, tanto en color como en olor.

4.2. FABRICACIÓN DE ADOBES

Los adobes se utilizan ampliamente en las zonas rurales de Latinoamérica, África y Asia. Éstos son prismas de tierra secados al sol con unas dimensiones alrededor de 50 X 25 X 12 cm (Moropoulou, Polikreti *et al.*, 2003). Gracias a su fácil preparación, los dueños de las construcciones pueden fabricar sus propios adobes con la metodología abajo citada.

Para esta parte del trabajo, el sitio de experimentación fue Huejotzingo, Puebla. El municipio poblano conserva más o menos las mismas características sociales y económicas que la mayoría de los municipios mexicanos de bajos recursos. Huejotzingo posee múltiples tabiqueras a través de toda la carretera que lo atraviesa, facilitando así, el desempeño de este proyecto.

Como esta tesis aborda un tema social, toda la metodología desarrollada aquí se llevó a cabo conservando lo mejor posible, los hábitos y las costumbres del mexicano. Es por esto que los adobes que se estudiaron fueron fabricados *in situ* por el artesano Rubén Tula.

MATERIALES

- Arcilla del sitio de fabricación (Huejotzingo, Puebla)
- 2 costales de composta fabricada en Ciudad Universitaria
- Agua
- Cubetas
- 1 carretilla
- 1 criba para cernir
- 1 pala
- 1 paleta

- 1 marco con espacio para ocho adobes de 22,5 X 11,3 X 5 cm.
- 1 rasero

FABRICACIÓN



1. Cribar la composta sobre una carretilla para darle la mejor textura posible quitándole las ramas y residuos de corteza, los cuales se colocan en una cubeta. Según el artesano, de no hacerlo, estos desperdicios impiden la agregación adecuada de las materias primas.

2. Colocar en otra carretilla las proporciones de arcilla y composta indicadas en el cuadro y combinarlas hasta dar origen a una pre-mezcla de un solo color.

Tabla 7. Mezclas de fabricación

ADOBE	COMPOSICIÓN composta:arcilla
RT	0 : 100 %
2	75 : 25 %
3	50 : 50 %
4	25 : 75 %



3. Amasar muy bien en presencia de agua hasta darle una consistencia pastosa a la mezcla de fabricación.

4. El marco con espacio para ocho adobes se coloca en el suelo no sin antes haberlo espolvoreado con polvo o ceniza.

5. Se agrega la mezcla dentro del marco y extenderla sobre cada uno de los huecos hasta llenarlos, apretando poco a poco, para evitar que queden espacios vacíos.



6. Enrasar y quitar el exceso de mezcla con un rasero hasta dejar una apariencia lisa y húmeda.

7. Dejar reposar unos segundos para después levantar la gradilla suavemente hasta dejar libres cada uno de los ocho adobes.

8. Dejar secar los adobes formados al aire por lo menos durante una semana.

9. Recoger los adobes no sin antes haberlos puesto algunos días sobre su costado para permitir la mayor pérdida de agua posible.



4.3. MEDIDA DE LA RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN

Los resultados de las pruebas de resistencia a la compresión se emplean fundamentalmente para determinar que el material de construcción suministrado cumple con los requerimientos de la resistencia especificada en la norma aplicable.

MATERIAL

- 3 adobes de cada una de las cinco diferentes composiciones
- Mortero de azufre para cabeceo

EQUIPO

- Máquina Universal Amsler
- Molde de cabeceo del bloque

DESARROLLO

1. Escoger los especímenes que tengan las caras lo más planas y paralelas posible.
2. Rellenar las depresiones que lleguen a tener los bloques con cemento Pórtland y dejarlos fraguar por lo menos 24 horas.
3. Después se cabecean los especímenes en las dos caras mayores para que queden lo más lisas posible. Las muestras se dejan intactas por lo menos medio día antes de probarlos.
4. Ensayar los bloques aplicando una carga en dirección de su espesor y con una velocidad constante de 12 ton/min, que es la estándar.
5. Calcular la resistencia a la compresión de cada espécimen con la fórmula siguiente:

$$R = P / A$$

donde:

R = resistencia a la compresión en kg/cm^2 .

P = carga máxima indicada en la máquina en kg.

A = promedio de las áreas de soporte superior e inferior del espécimen en cm^2 .

6. Obtener la resistencia a la compresión promedio de cada uno de los 4 lotes de diferente composición fabricados.

5. RESULTADOS



5.1. MONITOREO DE LA TEMPERATURA DEL COMPOSTEO

El propósito del estudio de la fabricación de la composta casera es conocer el proceso de manera que entendamos los obstáculos que se pueden presentar, para después transmitir este conocimiento a las comunidades. Por esto mismo, los parámetros necesarios para el proceso son mínimos y fáciles de medir: la lectura de la temperatura del proceso y el peso final del producto.

El día 19 de octubre del 2006 se recolectó la fracción orgánica de los residuos de la cocina, como material para la fabricación de composta. Esta materia se juntó con restos verdes frescos de jardinería para proporcionar cierta cantidad de nitrógeno a la mezcla de reacción.

Dentro de los residuos de la cocina tenemos hojas de lechuga, cáscaras de papaya, limón, lima y aguacate (incluyendo la semilla), pan, pasta y los residuos del café; los restos de jardinería comprenden material verde, hojas y pasto recién cortado, y algunas cortezas y ramas aunque ya se sabe que toman más tiempo en descomponerse. Ambos residuos se juntaron en una bolsa para homogenizar la mezcla.

Figura 21. Residuos orgánicos recolectados y mezclados



Al mismo tiempo se fabricaron dos bio-reactores:

- **BR1**
- **BR2**

El BR1 se construyó exactamente como se especifica en la metodología, mientras que el BR2 se horadó a través de toda su superficie para brindar mayor aireación, con la esperanza de que su mezcla de reacción alcanzara un pico de temperatura más alto que el otro, ya que tendría mayor aporte de oxígeno y, por lo tanto, un mejor crecimiento bacteriano. En ambos se colocó la cantidad necesaria de residuos orgánicos para llenar el bio-reactor, la cual resultó pesar 500 gramos. Se decidió, además, agregar como iniciador del proceso, la cantidad suficiente de tierra de jardín como para dejar cubiertos todos los residuos (220 gramos).

Una vez cerrado el bio-reactor se tomó la primera lectura, dando inicio al monitoreo del composteo, que duró aproximadamente un mes. La primera temperatura en registrarse siempre fue la del ambiente, aprovechando que el termómetro ya registraba una lectura estable. Después, se tomaron lecturas en distintos lugares de cada uno de los bio-reactores para registrar la temperatura más elevada, la cual, especialmente al inicio del proceso (de 0 a 2 días), siempre se ubicó en la superficie de la mezcla; esto probablemente por la mayor concentración de oxígeno en la superficie. Hay que recordar que la lectura de la temperatura es un parámetro más para el estudio de la estabilización de la composta. Aunque a los 27 días ya no hay variación en la temperatura, esto no implica que la composta esté lista (madura) para usarse, como se verá más adelante.

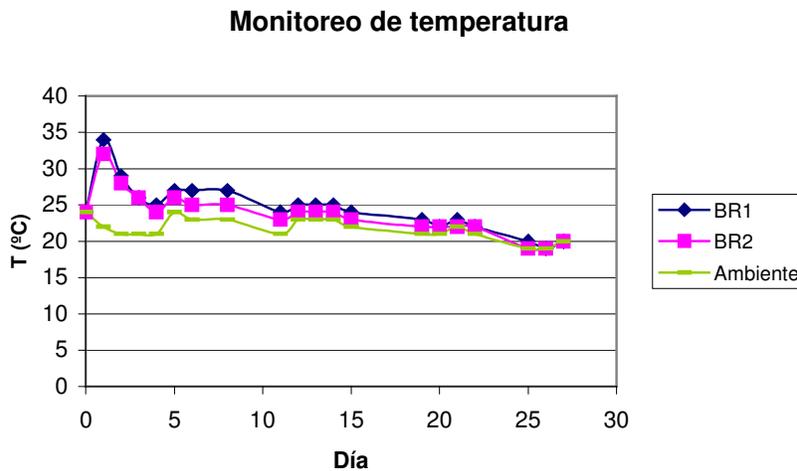
Ambos bio-reactores se guardaron durante el monitoreo en una caja de cartón llena de papel periódico como aislante para disminuir la transferencia de energía calorífica del sistema hacia el ambiente.

A continuación se presenta la tabla donde se registran los valores de temperatura. Para visualizar esto con más claridad, se presenta una gráfica con los datos (ver figura 22).

Tabla 8. Monitoreo de la temperatura del proceso (en °C).

Día	0	0.5	1	2	2.5	3	4	5	6	8	11	12	13	14	15	19	20	21	22	25	26	27
BR1	24	31	34	29	26	26	25	27	27	27	24	25	25	25	24	23	22	23	22	20	19	20
BR2	24	31	32	28	26	26	24	26	25	25	23	24	24	24	23	22	22	22	22	19	19	20
Amb.	24	26	22	21	21	21	21	24	23	23	21	23	23	23	22	21	21	22	21	19	19	20

Figura 22. Lecturas tomadas alrededor de las 19:00 horas, ya con el sol oculto.



Lo primero que resalta en los datos de la tabla 8, de manera más general, es el aumento en la temperatura de los bio-reactores durante los primeros días del composteo. Este aumento en la temperatura llegó a su máximo, en ambos bio-reactores, a las 24 horas de haber comenzado el proceso.

El máximo valor que se presenta en la figura anterior, al inicio del proceso, indica que es un composteo termofílico. Se observan tres etapas diferentes que se distinguen claramente entre sí. Primero, del día cero al día cuatro, la etapa termofílica

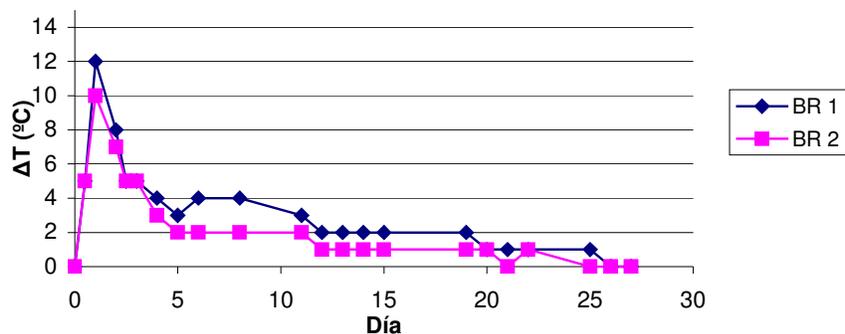
donde se encuentra el máximo valor de temperatura de los dos sistemas. Se observa que a pesar de que la temperatura ambiental está descendiendo, la de los dos bio-reactores está aumentando y se mantienen independientes de la temperatura ambiental hasta el día cinco, cuando las temperaturas de los sistemas se empiezan a regir por la temperatura del ambiente. Es decir, en esta segunda etapa que duró hasta el día 20, las temperaturas de los bio-reactores tuvieron la influencia de la temperatura ambiente. A esta etapa se le conoce como etapa mesofílica. Por último, se encontró una etapa final de estabilización en la que las temperaturas de ambos sistemas se igualaron con la del ambiente alcanzando el equilibrio térmico.

Si se grafica la diferencia de temperaturas de ambos sistemas, se puede entender mejor lo que sucedió, porque así sólo se toma en cuenta el aumento de la temperatura con respecto a la ambiental, debido a la reacción que se lleva a cabo. Estos datos se observan en la tabla 9 y en la figura 23.

Tabla 9. Aumento neto de la temperatura de los BR's

Día	0	0.5	1	2	2.5	3	4	5	6	8	11	12	13	14	15	19	20	21	22	25	26	27
BR1	0	5	12	8	5	5	4	3	4	4	3	2	2	2	2	2	1	1	1	1	0	0
BR2	0	5	10	7	5	5	3	2	2	2	2	1	1	1	1	1	1	0	1	0	0	0

Figura 23. Diferencia de temperatura con respecto a la ambiente



En la figura 23 queda claro que el bio-reactor horadado (BR2) no alcanzó las temperaturas más altas, como habíamos esperado, y que por esto mismo se estabiliza su temperatura antes que la del BR1. Se tiene entonces que un exceso de aireación, en lugar de aumentar la temperatura debido a un mayor aporte de oxígeno, más bien enfría la mezcla de reacción.

5.2. LA COMPOSTA

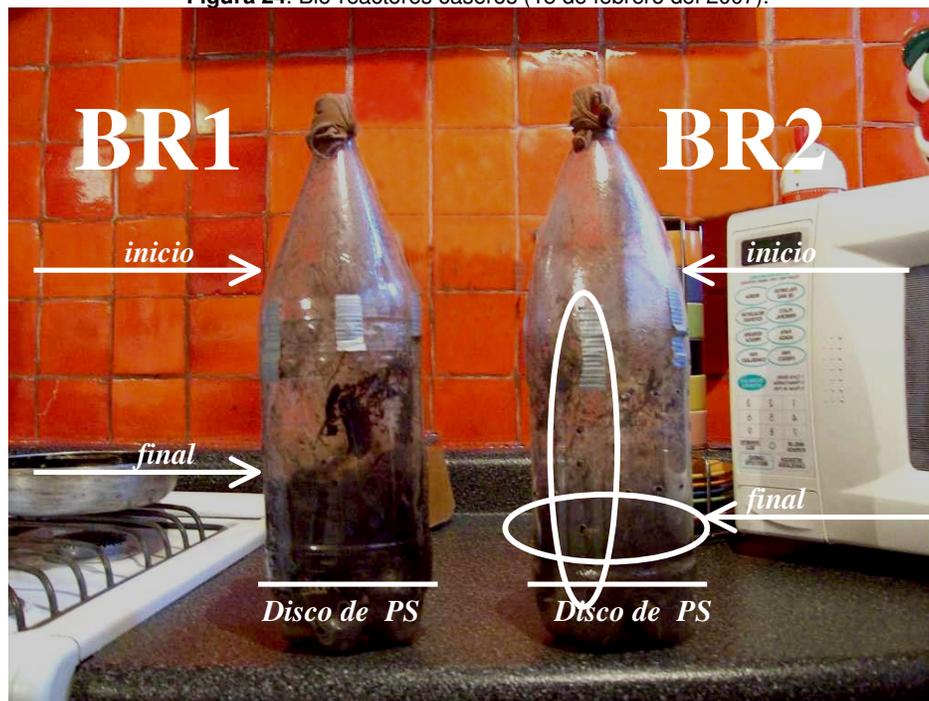
Una vez terminado el monitoreo de la temperatura del proceso se dejó fermentar por más tiempo la composta fabricada en los dos bio-reactores, para obtener un producto más estable y maduro, ya que aunque las temperaturas estaban estabilizadas aún se lograban descifrar los residuos con los que se compuso la mezcla de reacción, especialmente las cáscaras, la semilla del aguacate, las ramas y las cortezas.

Durante el monitoreo de la temperatura, nunca se tuvo la necesidad de agregar agua para mantener la humedad porque los mismos sistemas ya tenían un exceso, el cual facilitó la producción de los lixiviados. Este subproducto del proceso, recolectado en la base de los bio-reactores, se limpió por primera vez hasta el día 11 del monitoreo y se encontró que el BR1 tenía aproximadamente el doble de volumen de lixiviados que el BR2. Lo anterior tal vez se explique por la diferencia en la cantidad de agujeros que tenían los bio-reactores, es decir, que el BR2 al contar con más orificios para la aireación (y además en contacto directo con la mezcla de reacción), tenía al mismo tiempo más posibilidad de perder agua por evaporación. El BR2 nunca volvió a formar lixiviados, mientras que los del BR1 se recolectaban lentamente de tal forma que nunca se juntó una cantidad suficiente ya que acabaron por evaporarse.

Cuando las temperaturas de los sistemas se igualaron con la del ambiente, los dos bio-reactores se convirtieron en criaderos de moscas de fruta, dejando en claro

que la composta todavía no estaba madura. Nos interesaba perder el exceso de humedad persistente que favoreció la presencia de estos insectos. Los microorganismos y pequeños animales necesarios para la descomposición de los residuos orgánicos nunca deben llegar a ser una plaga. Ya que los bio-reactores estuvieron siempre cerrados con la malla de nylon, las moscas de fruta que se presentaron al final del composteo casero seguramente se debieron a la implantación de los huevecillos sobre los residuos orgánicos cuando se estaban recolectando. Para evitar la propagación de insectos en un composteo hay que evitar, entonces, que los mismos residuos recolectados en el bote de basura, para su utilización en el proceso, estén en contacto con ellos. Para esto sería necesario impedir que los insectos se posaran sobre los residuos, desde que están sobre la mesa a la hora de la comida hasta que se introducen dentro del bio-reactor, incluyendo su estadía en el bote de basura. Habría que colocar los residuos en un bote con tapa y cubrir todos los agujeros del bio-reactor con una malla de nylon.

Figura 24. Bio-reactores caseros (15 de febrero del 2007).



La figura 24 muestra, después de 120 días de haber iniciado el proceso, los dos bio-reactores. Podemos ver cómo el volumen de la mezcla de reacción se vio disminuido. Las flechas superiores, en ambos lados, muestran el nivel al que estaban los residuos orgánicos cuando se empezó el proceso de composteo. Las flechas inferiores, por otro lado, indican el nivel al cual se redujo el producto obtenido. Esperamos que por disminución de volumen (debido en gran parte a la pérdida de agua), el peso final de nuestra mezcla también se vea reducido. A continuación se encuentran las imágenes de los productos obtenidos:

Figura 25. Composta del BR1 después de 120 días



- **BR1**

PESO FINAL: 320g

Características:

- Suave
- Húmedo
- Negro
- No desaparecieron las moscas a pesar de que se guardó la composta en una bolsa.

Figura 26. Composta del BR2 después de 120 días



- **BR2**

PESO FINAL: 170g

Características:

- Duro
- Seco
- Café
- No presentó moscas.

También se observó que la composta del BR1 parece tener cerca del doble del volumen de la composta del BR2, probablemente por su contenido de agua:

Tabla 10. Pesos de los componentes y los productos obtenidos en gramos

	BR1	BR2
Residuos orgánicos	500	500
Iniciador	220	220
Peso inicial de la mezcla de reacción	720	720
Peso final de la composta	320	170
$\frac{\text{peso_inicial} - \text{peso_final}}{\text{peso_inicial}} \times 100\%$	55,6	76,4

Pérdida de peso

Primero, el peso de ambos productos se reduce por una pérdida de humedad y gases (ver tabla 10). Cómo decidir, entonces, ¿cuál de los dos productos es mejor? Aunque la composta del BR1 parece un producto más sano por su apariencia y su olor a humedad, el producto más interesante para esta tesis es la del BR2. En este bio-reactor se obtuvo una reducción de peso del 76,4% comparada con la del otro sistema que fue del 55,6%. Dicho en otras palabras, esto significa que si sometemos todos nuestros residuos orgánicos a un proceso de composteo, podemos disminuir hasta en tres cuartas partes su peso total. Esto a su vez se traduce en menos espacio para confinarlos, de manera que nuestros rellenos sanitarios tendrían un tiempo de vida media mayor. Por lo tanto, esto puede ser otra utilidad de la composta que no es la de mejorador del suelo.

El bio-reactor casero es una forma extremadamente sencilla de utilizar una botella de refresco para fabricar composta. Sería interesante llevar a cabo el composteo casero bajo diferentes condiciones para optimizar el proceso. Por ejemplo:

- Comparar la producción de composta con y sin *iniciador*, que es la tierra de jardín. Lo más probable es que sin iniciador se tarde mucho más tiempo en formarse la composta, ya que la carga microbiota autóctona de cualquier residuo de comida es mucho más pequeña que la de la tierra.
- Cambiar el tamaño de partícula de los residuos sólidos. Los residuos de tamaño de partícula más pequeño tienen mayor superficie de contacto, por lo tanto, los microorganismos tendrán más superficie de donde obtener sus nutrientes. De manera que, brindando mejores condiciones de desarrollo, se le facilita a los microorganismos la degradación de los residuos orgánicos y así se obtendrá composta más rápido.
- Relacionar la cantidad de agujeros con el aumento o la disminución de la temperatura.
- Hacer diferentes tipos de composta según los residuos utilizados en su fabricación: una hecha solamente de residuos de jardín y otra sólo con residuos de cocina.
- Sería interesante de la misma manera el estudio de la degradación de diferentes residuos sólidos como el papel, el plástico, el vidrio o el metal, mediante el proceso de composteo.

5.3. LA FABRICACIÓN DE ADOBES

Ya que la composta casera fabricada no es la suficiente como para fabricar la cantidad de adobes necesarios en nuestra experimentación, se acudió a la Coordinación de Áreas Verdes Invernadero Faustino Miranda de Ciudad Universitaria (CU). Aquí, la composta fabricada se produce en grandes cantidades y se fabrica a partir de los residuos de jardinería de todos los espacios verdes en CU.

Los diferentes lotes de adobes utilizados en este proyecto se fabricaron de manera tradicional. El grupo de adobes RT (por Rubén Tula, el artesano que fabricó los adobes) es nuestro control, ya que es el único lote que no contiene composta y se compone en su totalidad de la arcilla del sitio. Esto va a permitir comparar aquellos adobes que en su composición llevan composta con los que no la tienen, para determinar si existe mejoría o no en alguna de sus propiedades como material para la construcción.

También se hicieron *adobes* fabricados con un 100% de composta, aunque ya se sabía que éstos no serían útiles en la construcción. El producto obtenido es extremadamente poroso y puede conservar su forma; se dice *puede*, porque sólo dos *adobes* de esta composición lograron conservarse hasta el final del proceso de fabricación y es por esto que no figura esta composición en la metodología experimental de la resistencia a la compresión.

Muchas de las pruebas que se realizan con los materiales de construcción van en función de su masa, por lo que se midió el peso promedio de cada uno de los grupos de adobe fabricados. En la tabla 11 se muestran los pesos promedio de cada uno de los lotes de adobes fabricados. En ella se ve claramente que el peso de los

adobes disminuye con la disminución porcentual de la arcilla. Por ejemplo, considerando los pesos promedios establecidos en la tabla, se tiene que el lote de adobes 2, con un 75% de composta en su composición, pesa 830 gramos menos que el lote de adobe control, que está fabricado únicamente con arcilla. El lote de adobes 3, con un 50% de composta en su composición, también tiene un peso promedio muy por debajo al del control (782 gramos menos). Ambos lotes, el 2 y el 3, tienen pesos promedios muy similares, mientras que el lote 4 está 500 gramos por debajo del control. Con esto, se espera que la resistencia a la compresión de los lotes de adobes 2 y 3 sean muy similares, y que la resistencia del lote de adobes 4 se encuentre en medio de la del control y la de los dos lotes anteriores.

Tabla 11. Peso promedio de los adobes en kilogramos.

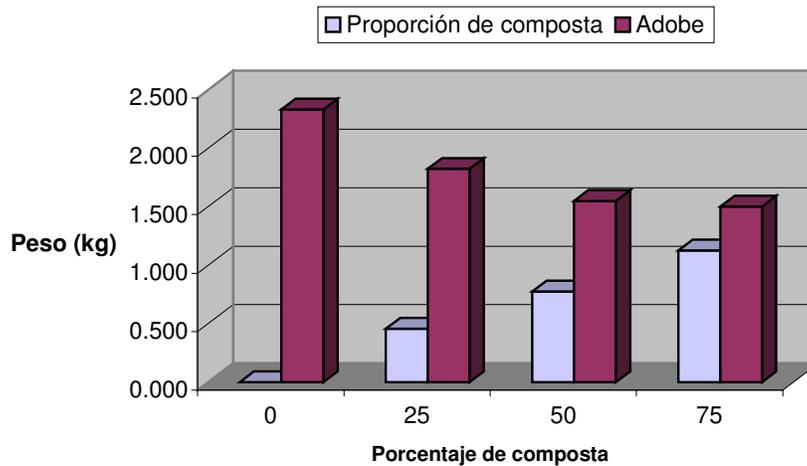
LOTE DE ADOBES	COMPOSICIÓN composta:arcilla	LECTURAS DE PESO	PESO PROMEDIO	D. EST.
RT	0 : 100	2,370	2,330	0,053
		2,351		
		2,270		
2	75 : 25	1,413	1,500	0,079
		1,520		
		1,568		
3	50 : 50	1,530	1,548	0,042
		1,518		
		1,596		
4	25 : 75	1,826	1,824	0,053
		1,770		
		1,875		

La desviación estándar, aquí calculada, es una medida de dispersión que nos indica qué tanto se apartan los datos obtenidos de su media. En este caso, las desviaciones estándar de los pesos promedios, al ser pequeñas, nos permiten afirmar que las mediciones individuales son parecidas.

La figura 27 explica de manera más clara cómo conforme aumenta el porcentaje de composta se ve disminuido el peso total del adobe. Esto se debe a que la

composta es un material menos denso, de manera que, al momento de fabricación de los adobes, se generan muchos espacios creando un producto más liviano.

Figura 27. Disminución del peso promedio de los adobes por la adición de composta.



5.4. RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN

La medida de la resistencia a la compresión fue realizada en el Laboratorio de Materiales “Miguel Madinaveitia Jürgenson”, de la Facultad de Ingeniería, en Ciudad Universitaria. La prueba se realizó con muestras ciegas, es decir, los operadores de la máquina universal Amsler no sabían la composición de cada lote de adobes.

La resistencia a la compresión se puede definir como la máxima resistencia medida a la carga axial, de un espécimen de cualquier material de construcción. La prueba se realiza a una velocidad constante¹ y termina cuando el espécimen ha llegado a su punto de ruptura, es decir, cuando el espécimen ha dejado de ser funcional estructuralmente. Generalmente se expresa en kilogramos por centímetro cuadrado (kg/cm^2), de manera que la resistencia a la compresión está dada por la

¹ La velocidad debe ser la suficiente para que la prueba no tarde más de dos minutos en realizarse (NMX-C-036-ONNCCE-2004).

fuerza en kilogramos que soporta el área del espécimen estudiado. Se trata de la característica más importante de un material de construcción ya que de ella depende que aguante el peso de la edificación.

Los resultados obtenidos son los de la carga máxima empleada por la máquina universal Amsler para destruir los especímenes y se expresan en toneladas sobre área. Por lo tanto, es necesario conocer el área sobre el cual soportan la carga axial de los adobes, el cual se obtiene de la multiplicación del largo por el ancho del espécimen, que es de 22,5 X 11,3 cm, respectivamente. Esta multiplicación nos da un área de 254,25cm². Los resultados y sus valores promedio se registran en la tabla 12.

Tabla 12. Tabla de resultados.
Resistencias a la compresión basadas en un área de 22,5 X 11,3 cm. = 254,25 cm².

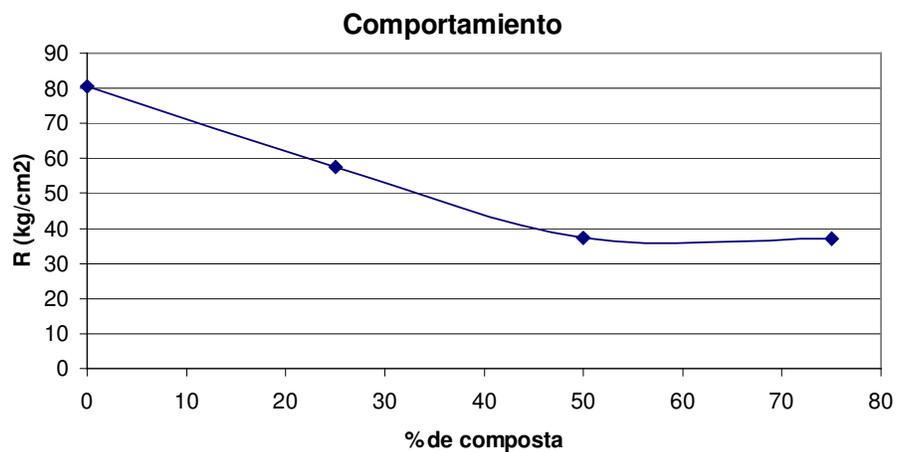
ADOBE	CARGA MÁXIMA	RESISTENCIA (kg/cm ²)	RESISTENCIA PROMEDIO (kg/cm ²)
RT 0% composta	A. 18,8 ton/área	73,943	80,498
	B. 19,3 ton/área	75,910	
	C. 23,3 ton/área	91,642	
2 75% composta	A. 10,7 ton/área	42,085	37,103
	B. 9,4 ton/área	36,971	
	C. 8,2 ton/área	32,252	
3 50% composta	A. 8,7 ton/área	34,218	37,234
	B. 11,2 ton/área	44,051	
	C. 8,5 ton/área	33,432	
4 25% composta	A. 13,0 ton/área	51,131	57,424
	B. 13,0 ton/área	51,131	
	C. 17,8 (BOOM)	70,010	

Antes que nada, queda muy claro en la tabla de resultados 12 que, lamentablemente, la composta es un atenuante de la resistencia a la compresión de los adobes. En el caso de los lotes 2 y 3, esta propiedad se ve disminuida en más de

la mitad. Sin embargo, en la misma tabla se observa que el lote de adobes 4 es casi 20 kg/cm^2 más resistente que el resto de los lotes de adobes fabricados con composta.

Analizando detenidamente los datos de la tabla de resultados nos damos cuenta que la disminución de la resistencia a la compresión obtenida en este experimento no se comporta de manera lineal. Para entender un poco mejor esta situación, basta con graficar los datos de la tabla anterior.

Figura 28. Comportamiento de la resistencia a la compresión



La figura 28 muestra cómo la resistencia a la compresión de los adobes se ve disminuida con el aumento porcentual de la composta. Sin embargo, no se puede decir que este comportamiento sea lineal, pues una vez que la mezcla del adobe se compone en un 50% de composta, la resistencia a la compresión está dada evidentemente por este material y ya no por la arcilla.

En resumen, la composta es un atenuante de la resistencia a la compresión del adobe; pero ¿cuál es el valor mínimo de la resistencia a la compresión que debe tener

un adobe? En México existe la norma² que establece el método para la determinación de la resistencia a la compresión, pero no especifica los valores mínimos con los que deben contar los diferentes materiales de la construcción.

Sin embargo, hoy en día existen construcciones de hace casi 500 años como el Monasterio de San Francisco en Quito, Ecuador, que posee en sus muros originales unidades de construcción con resistencias a la compresión más bajas que las obtenidas en este proyecto. Un estudio encontró en el edificio adobes con una resistencia a la compresión de 5,1 kg/cm² y ladrillos (adobes cocidos) expuestos al intemperie, de 14,3 kg/cm² (Moropoulou, *et al.*, 2003). Evidentemente, estas resistencias no son las mismas que cuando se construyó el Monasterio; estas resistencias a la compresión se han visto disminuidas debido al desgaste provocado por el clima y el peso de un edificio tan grande, como lo es un monasterio. Nuestros adobes hechos con composta no están exentos de este desgaste, por lo que al cabo de los años también menguarán su cualidades a menos que se tomen en cuenta las siguientes consideraciones:

1. debido a que la porosidad de la composta provoca una disminución de la resistencia a la compresión, los adobes fabricados con ella no se pueden utilizar como basamento ni como muros de resistencia. Los basamentos del Monasterio, por ejemplo, son piedras con resistencias a la compresión que van de los 133,6 a los 256 kg/cm²; y
2. debido a su alta capacidad de absorción, tampoco pueden utilizarse en los muros exteriores, a menos que éstos se cubran con pintura o con yeso a manera de impermeabilizantes.

² NMX-C-036-ONNCCE-2004. INDUSTRIA DE LA CONSTRUCCION-BLOQUES, TABIQUES O LADRILLOS, TABICONES Y ADOQUINES-RESISTENCIA A LA COMPRESION-METODO DE PRUEBA.

6. CONCLUSIONES



6.1. FABRICACIÓN DE COMPOSTA

6.1.1. De acuerdo a lo obtenido en este proyecto, basta juntar los residuos de la cocina y mezclarlos con un poco de tierra dentro de una botella de PET y esperar al menos cuatro meses para obtener composta. Se encontró que, después de este tiempo de composteo, la transformación de los residuos sólidos orgánicos en otro producto irreconocible es indudable, ya que en la composta no se observan rastros de la mezcla original.

6.1.2. La fabricación de bio-reactores de botella de PET es un excelente instrumento de enseñanza. Las personas con poco bagaje científico pueden conocer de manera sencilla qué es la composta y el tiempo que toma en descomponerse, ya que el proceso se restringe a un espacio totalmente visible, que es la botella de PET.

6.1.3. Los microorganismos que habitan en la tierra del jardín fueron capaces de llevar a cabo un composteo termofílico.

6.1.4. Se observó que el composteo no es únicamente un proceso de fabricación de un abono natural; esta técnica es una herramienta válida para disminuir el volumen de los residuos orgánicos en más del 75% de su peso, alargando así, el tiempo de vida media de nuestros sitios de disposición final y evitando daños a la salud.

6.1.5. En los últimos años se ha hablado mucho de las tres R's: Reducir, Reutilizar y Reciclar. El proceso de composteo nos permite lograr cada una de estas tres R's con nuestros residuos orgánicos. Cuando hacemos composta, la materia orgánica es reciclada y, a la vez reutilizada, si se utiliza como mejorador de suelos. Sin embargo no hay que dejar de lado su potencial en otros procesos como en el de la remoción de contaminantes (Sauri, 2002) y como materia prima para la fabricación de materiales de construcción. El estudio realizado en esta investigación nos indica que el composteo permite, además, la reducción de los residuos sólidos a confinar, lo cual es también un gran éxito.

6.2. FABRICACIÓN DE ADOBES

6.2.1. La composta es un atenuante de la resistencia a la compresión en los adobes fabricados, debido al aumento de la porosidad que ésta genera en la mezcla.

6.2.2. Nuestro diseño experimental tiene dos grandes fallas respecto al objeto de estudio:

1. Primero, no haber utilizado otro adobe como control. Lo que se utilizó en este caso fue un prisma compuesto únicamente de arcilla, siendo que los adobes llevan paja y/o estiércol, generalmente, es decir, materia orgánica.
2. Luego, las dimensiones del objeto de estudio (5,5 X 11,3 X 22,5 cm) corresponden a las de los tabiques y no a las de los adobes, que tienen mucho más volumen. La utilidad de los adobes está dada en gran medida por su área y masa.
3. En este trabajo no se cocieron los adobes para obtener ladrillos, ya que para encender el horno del artesano es necesario llenarlo.

6.2.3. Es importante no limitar la utilidad de esta mezcla composta:arcilla a la fabricación de adobes; su bajo peso específico y su mayor capacidad de absorción pueden ser cualidades favorables dentro de otros procesos y productos. Por ejemplo, se podría utilizar esta mezcla como material de adhesión y no de construcción, es decir como mortero. En las restauraciones se ha visto que el cemento Pórtland utilizado, como mortero, ha dañado las estructuras debido a su rigidez; entonces, con lo cual se deduce que esta mezcla haría un mortero más noble al ser más poroso. Para este fin, habría que realizar el experimento correspondiente.

6.2.4. Se dice que la madurez de la composta depende del uso que se le va a dar. En este caso la composta podría ser un material para la construcción, por lo que habría que esterilizarla si no está lo suficientemente madura, ya que puede funcionar como fuente de nutrientes para los microorganismos (bacterias y hongos). Esto se puede lograr agregando cal (CaO) a la pila o al bio-reactor, una vez que el producto está lo suficientemente degradado como para mezclarse con la arcilla.

7. PROPUESTAS



7.1. FABRICACIÓN DE COMPOSTA

7.1.1. ¿La madurez de la composta afecta en su desempeño como materia prima para la fabricación de materiales de construcción? Los primeros dos indicios de la madurez de la composta son:

- A. Primero, la disminución de la temperatura o la terminación de la etapa termofílica sin volver a elevar la temperatura cuando se revuelve la mezcla.
- B. Segundo, la transformación física de la mezcla cuando se ha reducido en más de la mitad, no se reconocen los residuos originales y tiene un olor agradable a tierra.

Sin embargo, la composta no está lista para utilizarse (en agricultura) si no se ha dejado reposar unos meses para transformar el amonio, el ácido acético y otros productos intermedarios de la descomposición en compuestos inocuos para la germinación y las raíces de las plantas o en compuestos que no inhiban el crecimiento vegetal (Trautmann, 1997). Entonces, ¿qué tanto afecta, por ejemplo, el ácido acético, al bajar el pH, si se había dicho que el cambio de éste puede modificar el tamaño de partícula de una sustancia?

7.2. FABRICACIÓN DE ADOBES

7.2.1. Es posible aumentar la hidrofobia y la resistencia a la compresión de los adobes fabricados con composta mediante la adición de otros componentes químicos. Pineda Piñón *et. al.*, por ejemplo, pudieron disminuir de un 80 a un 10%¹ la absorción del agua y aumentar de 12 a 22 kg/cm² la resistencia mediante la adición de 0,33% de una amina catiónica más 3,0% de asfalto emulsificado, respectivamente.

Selwitz, por otro lado, ha propuesto un efectivo procedimiento para reforzar muros hechos de adobe en vestigios arqueológicos. La técnica consiste en consolidar el adobe con silicato de etilo, cubrirlo posteriormente con un barro modificado que funciona como sellador para las grietas y finalmente aplicarle un siloxano hidrofóbico (Selwitz, 1995). El problema, ahora, son los costos.

7.2.2. Un suelo arenoso tiene partículas y poros grandes mientras que un suelo arcilloso, como con el que se fabricaron nuestros adobes, tiene poros mucho más pequeños. Sorprendentemente, estos pequeñísimos poros en conjunto hacen que la arcilla tenga un volumen total de poro mayor que en los suelos arenosos (Trautmann, 1997). Entonces, el problema de nuestros adobes fabricados no es tanto su porcentaje de porosidad sino el tamaño de los poros.

Por lo tanto, sería indispensable que, para la continuación de este proyecto, se estudie el tamaño de poro de la mezcla como un factor que influye en la resistencia a la compresión de los adobes. Existen diferentes técnicas experimentales, y aquí se proponen algunas, para modificar el tamaño de poro de nuestro material:

¹ Porcentajes en peso.

1. OCUPAR estos grandes poros con otro material, que armonice con la mezcla. No puede ser, por ejemplo, un material igual o más poroso o con la misma o mayor capacidad de absorción de agua.
2. REDUCIR estos espacios aplicando una fuerza dentro del proceso de fabricación o delimitando el espacio de fabricación. Por ejemplo, que el marco con ocho espacios que se utiliza en el proceso sea, a la vez, una prensa.
3. REDUCIR el tamaño de partícula de la composta.
 - Mecánicamente. Por ejemplo, con un sistema de rodillos.
 - Químicamente. Por ejemplo, cambiando el pH de la mezcla se forman agregados de arcilla de diferente tamaño (Pineda Piñón, 2005).

7.2.3. Por otro lado, aunque se sabe que el aumento en la capacidad de absorción del adobe va en función de la cantidad de poros (Moropoulou, *et al.*, 2003), no sabemos cuál de los dos afecta más en el comportamiento del adobe. Consecuentemente, sería bueno para la continuación de este proyecto que las pruebas de resistencia se realizaran con peso constante y con diferentes porcentajes de humedad para conocer el comportamiento *resistencia a la compresión versus porcentaje de humedad* con adobes de diferente volumen de poro.

Sería interesante también estudiar el proceso de desecación de las muestras. La pérdida de humedad durante el proceso de fabricación de los adobes puede ser un factor importante, tomando en cuenta que se lleva a cabo mediante condiciones imprevisibles: la radiación solar y los vientos. El clima, al ser muy inconstante, puede generar mucha variabilidad en la fabricación de un lote a otro.

7.2.4. Si ninguna de las propuestas anteriormente citadas fuera viable, siempre quedará la opción de fabricar adobes con composiciones menores al 25% de composta hasta conseguir adobes con resistencias más competitivas.

7.2.5. Si se fabricaran adobes con porcentajes menores al 25% de composta, sería interesante estudiar la posibilidad de cocerlos para formar ladrillos. Probablemente en concentraciones mucho más pequeñas, del 1 al 5%, por ejemplo, podríamos disminuir el tiempo de cocido debido a la incineración de la materia orgánica.

7.2.6. Por último, el trabajo realizado también hace cuestionarnos cómo funcionarían las cenizas de los residuos orgánicos incinerados, como materia prima para la fabricación de materiales de construcción. Esto se puede investigar en trabajos futuros.

8. BIBLIOGRAFÍA



- Agency, E. E. (2002). Biodegradable municipal waste management in Europe.
- Albright, L. F. (1974). Processes for Major Addition-Type Plastics and their Monomers. USA, Mac-Graw Hill.
- Alva, B. A. (2004). "The conservation of earthen architecture." The Getty Conservation Institute Newsletter.
- Arredondo, C. (1996). Aplicación de estiércol bovino como complemento a la fertilización química del maíz de temporal. Memorias del XXVII Congreso Nacional de la Ciencia del Suelo, Cd. Obregón, Sonora, México.
- Baird, C. (2001). Química Ambiental. Barcelona, España, Editorial Reverté.
- Blondet, M., J. Vargas, et al. (2005). "Reflexiones sobre la normatividad para la construcción sismorresistente de edificaciones de adobe." PUCP: 1-10.
- Bohn, I., L. Björnsson, et al. (2006). "The energy balance in farm scale anaerobic digestion of crop residues at 11-37 °C." Process Biochemistry **42**: 57-64.
- Buckman, H. O. (1991). Naturaleza y Propiedades de los Suelos. México, D. F., Editorial Limusa.
- Canet, R., Pomares, F. (1995). "Changes in physical, chemical and physico-chemical parameters during the composting of municipal solid wastes in two plants in Valencia." Bioresource Technology **51**(2-3): 259-264.
- Castellanos, J. Z. (1982). La importancia de las condiciones físicas del suelo y su mejoramiento mediante la aplicación de estiércoles. Seminarios Técnicos 7(8): 32. Instituto Nacional de Investigaciones Forestales y Agropecuarias-Secretaría de Agricultura y Recursos Hidráulicos. Torreón, Coahuila.

- Castillo, S., Ansart, F., et al. (2002). "Advances in recovering of spent lithium battery compounds." Journal of Power Sources **112**: 247-254.
- Christensen, T. H., Kjeldsen, P. (1989). Basic biochemical processes in landfills. Sanitary Landfilling: Process, Technology and Environmental Impact. London: 29-49.
- CONAPO (2000). XII Censo General de Población y Vivienda 2000, Consejo Nacional de Población.
- Contestaible, M., Panero, S., et al. (1999). "A laboratory scale lithium battery recycling process." Journal of Power Sources **83**: 75-78.
- Danso, G., Drechsel, P., et al. (2006). "Estimating the demand for municipal waste compost via farmers' willingness-to-pay in Ghana •." Waste Management **26**(12): 1400-1409.
- David, J. (1995). "Nickel-cadmium recycling evolution in Europe." Journal of Power Sources **57**: 71-73.
- Davis, G. (2006). "The characterization of two different degradable polyethylene (PE) sacks." Materials Characterization **57**: 314-320.
- Díaz, L. F., Savage, G. M., et al. (1993). Composting and recycling municipal solid waste. USA, Lewis Publishers.
- Dimas, J., Díaz, A., et al. (2001). "Abonos Orgánicos y su Efecto en Propiedades Físicas y Químicas del Suelo y Rendimiento del Maíz." Terra **19**: 293-299.
- Directive, E. C. (1998). Directive 98/83/EC of 3 November 1998 on the quality of water intended for human consumption: 32-54.
- Farías, D. M., Ballesteros, M. I., et al. (1999). "Variación de Parámetros Fisicoquímica Durante un Proceso de Compostaje." Revista Colombiana de Química **28**: 75-86.
- Galán, B., San Román, F., et al. (1998). "Viability of the separation of Cd from highly concentrated Ni-Cd mixtures by non-dispersive solvent extraction." Chemical Engineering Journal **70**: 237-243.

- Guillet, J. (1995). Plastics and the environment. Degradable polymers: principles and applications. London, Chapman and Hall.
- Gupta, T. N. (2000). "Materials for the Human Habitat." 21st century Materials Challenges, MRS Bulletin.
- Hadas, A., Agassi, M., et al. (2004). "Mulching with composted municipal solid wastes in the Central Negev, Israel: II. Effect on available nitrogen and phosphorus and on organic matter in soil." Soil and Tillage Research **78**(1): 115-128.
- Hanewald, R. H., Munson, W. A., et al. (1992). "Processing EAF dusts and other nickel-cadmium waste materials pyrometallurgically at INMETCO." Miner. Metall. Process. **9**: 169-173.
- Hellström, L., Persson, B., et al. (2007). "Cadmium exposure pathways in a population living near a battery plant." Science of the Total Environment **373**: 447-455.
- Holman, J. P. (1989). Heat transfer, SI edition. New York, Mc Graw Hill.
- ITEC (1998). Proyecto LIFE: Minimización y Gestión de Residuos de la Construcción, Programa LIFE. Dirección General de Medio Ambiente, DGXI EU.
- Jeffries, T.W., Klungness, L.H., Sykes, M.H., Rutledge, C.K.R., 1994. Comparison of enzyme enhanced with conventional deinking of xerographic and laser printed waste papers. Tappi J. **77**: 173-179.
- Jonsson, S., J. Ejlertsson, et al. (2003). "Behaviour of mono and diesters of o-phthalic acid in leachates released during digestion of municipal solid waste under landfill conditions." Advances in Environmental Research **7**: 429-440.
- Karlekar, B. V. (1990). Heat transfer. New York, Mc Graw Hill.
- Kondás, J., Jandová, J., et al. (2006). "Processing of spent Li/MnO₂ batteries to obtain Li₂CO₃." Hydrometallurgy **84**: 247-249.
- Körner, I., Saborit-Sánchez. I., et al. (2007). "Proposal for the integration of decentralised composting of the organic fraction of municipal solid waste into the waste management system of Cuba." Waste Management.
- Lampkin, N. (1994). "Organic Farming." Farming Press.

- Lee, C. K., Darah, I., et al. (2006). "Enzymatic deinking of laser printed office waste papers: Some governing parameters on deinking efficiency." Bioresource Technology.
- Lesur, L. (1998). Manual del Manejo de la Basura. Una Guía Paso a Paso. México, D. F., Editorial Trillas.
- Loizidou, M. y Kapetanios E. G. (1993). "Effect of leachate from landfills on underground water quality." Sci. Total Environ **128**: 69-81.
- López, T. y Martínez A. (1995). El Mundo Mágico del Vidrio. México, D. F., Fondo de Cultura Económica.
- M. M. El-Halwagi, S. R. T., Sorour, M. H., Abulnour, A. G. y Mitry, N. R. (1988). "Assessment of the performance of municipal solid wastes composting facilities under Egyptian conditions." Resources, Conservation and Recycling **12**(97-109).
- Mallick, F. (1996). "Thermal comfort and building design in tropical climates." Energy and Buildings **23**: 161-167.
- Manios, T. (2004). "The composting potential of different organic solid wastes: experience from the island of Crete." Environment International **29**(8): 1079-1089.
- Marques, S., Pala, H., Alves, L., Amaral-Collaco, M.T., Gama, F.M., Girio, F.M., 2003. Characterization and application of glycanases secreted by *Aspergillus terreus* CCMI 498 and *Trichoderma viride* CCMI 84 for enzymatic deinking of mixed office waste papers. Biotechnology. **100**: 200-219.
- Mc Gregor, D., Partensky, C., et al. (1998). "An IARC evaluation of polychlorinated dibenzo-p-dioxins and polychlorinated dibenzofurans as risk factors in human carcinogenesis." Environmental Health Perspectives **106-2**: 760-775.
- Mkhabela, M. S. y Warman P. R. (2005). "The influence of municipal solid waste compost on yield, soil phosphorus availability and uptake by two vegetable

- crops grown in a Pugwash sandy loam soil in Nova Scotia." Agriculture, Ecosystems & Environment **106**(1): 57-67.
- Moldes, A., Cendón, Y., et al. (2006). "Evaluation of municipal solid waste compost as a plant growing media component by applying mixture design." Bioresource Technology.
- Moropoulou, A., Polikreti, K., et al. (2003). "San Francisco Monastery, Quito, Ecuador: characterisation of building materials, damage, assessment and conservation considerations." Journal of Cultural Heritage **4**: 101-108.
- Moshtev, R. y Johnson, B. (2000). "State of the art of commercial Li ion batteries." Journal of Power Sources **91**: 86-91.
- Municipal, C. E. d. D. (2000). Enciclopedia de los Municipios de Michoacán. Morelia, Gobierno del Estado de Michoacán.
- Municipal, C. N. d. D. (1999). Enciclopedia de los Municipios de México. Puebla, Gobierno del Estado de Puebla.
- Nayak, P. (1999). "Biodegradable polymers: opprotunities and challenges." Rev Macromol Chem Phys **39**(3): 481-505.
- Nogueira, C. A. y Delmas, F. (1999). "New flowsheet for the recovery of cadmium, cobalt and nickel from spent Ni-Cd batteries by solvent extraction." Hydrometallurgy **52**: 267-287.
- Nogueira, C. A. y Margarido F. (2003). "Leaching behaviour of electrode materials of spent nickel-cadmium batteries in sulphuric acid media." Hydrometallurgy **72**: 111-118.
- Organisation for Economic Co-operation and Development (2007). OECD Factbook 2007: Economic, Environmental and Social Statistics. Environment - Emissions and waste - Municipal waste
- Peris Mora, E. (2007). "Life cycle, sustainability and the transcendent quality of building materials." Building and Environment **42**: 1329-1334.

- Pineda Piñón, J., et al. (2005). "Enhancement of mechanical and hydrophobic properties of Adobes for Building Industry by the addition of polymeric agents." Building and Environment **42**: 877-883.
- Porta Gándara, M. A., Rubio, E., et al. (2002). "Economic feasibility of passive ambient comfort in Baja California dwellings." Building and Environment **37**: 993-1001.
- Primo, E. y Carrasco J. M. (1979). Química Agrícola. Madrid, España, Editorial Alhambra.
- Ramachandra Reddy, B., Neela Priya, D., et al. (2005). "Solvent extraction and separation of Cd(II), Ni(II) and Co(II) from chloride leach liquors of spent Ni-Cd batteries using commercial organo-phosphorus extractants." Hydrometallurgy **77**: 253-261.
- Rao, K. J. (2002). Structural Chemistry of Glass. Oxford, UK, Elsevier.
- Reynoso, F. (2006). Informe del Servicio Social. La UNAM en tu Comunidad. Facultad de Química. México, DF, Dirección General de Orientación y Servicios Educativos: 10.
- Romero, L. et al. (2000). "Producción de papa y biomasa microbiana en suelo con abonos orgánicos y minerales." Agrociencia **34**: 261-269.
- Salinas, J. (2006). Causa inconformidad concesión a empresa para recolección de basura en Coacalco. La Jornada. Coacalco, Mex.: 1.
- Sancho y Cervera, J. y Rosiles, G. (1999). Situación Actual del Manejo Integral de los Residuos Sólidos en México. SEDESOL. México, D.F.
- Sauri, M. R. y Castillo, E. R. (2002). Utilización de la Composta en Procesos para la Remoción de Contaminantes. Ingeniería. **6-3**: 55-60.
- SEDESOL Manual Técnico sobre Generación, Recolección y Transferencia de Residuos Sólidos Municipales. México, SEDESOL.
- SEDESOL (2005). Dirección General de Equipamiento e Infraestructura en Zonas Urbano-Marginadas. México, SEDESOL.

- Selwitz, C. (1995). Saving the Fort Selden ruins: the use of a composite blend of chemicals to stabilize fragil historic adobe, James & James Publishers.
- SEMARNAT (1988). Ley General para la Prevención y Gestión Integral de los Residuos.
- SEMARNAT (2003). NOM-083-SEMARNAT-2003. Especificaciones de protección ambiental para la selección del sitio, diseño, construcción, operación, monitoreo, clausura y obras complementarias de un sitio de disposición final de residuos sólidos municipales.
- SENER (2005). Balance Nacional de Energía. Oferta interna bruta de energía primaria por origen, 1995 a 2004. México, Secretaría de Energía.
- Shelby, J. E. (1997). Glass Melting. Introduction to Glass Science and Technology. Cambridge, UK, The Royal Society of Chemistry. **Capítulo 3**.
- Shelby, J. E. (1997). Introduction. Introduction to Glass Science and Technology. Cambridge, UK, The Royal Society of Chemistry. **Capítulo 1**.
- Slater, R. A. y Frederickson, J. (2001). "Composting municipal waste in the UK: some lessons from Europe." Resources, Conservation and Recycling **32**(3-4): 359-374.
- Soumaré, M., F., Tack, M. G., et al. (2003). "Effects of a municipal solid waste compost and mineral fertilization on plant growth in two tropical agricultural soils of Mali." Bioresource Technology **86**(1): 15-20.
- Stevens, E. S. (2002). Green plastics: an introduction to the new science of biodegradable plastics. Princeton University Press. Princetown.
- Strauss, W. y Mainwaring, S. J. (1990). Contaminación del aire. Causas, efectos y soluciones. México, DF, Editorial Trillas.
- Tognetti, C., Mazzarino, M.J., Laos, F. (2006) "Improving the quality of municipal organic waste compost." Bioresource Technology **98**: 1067-1076.
- Trautmann, N. M. y Krasny, M. E. (1997). Composting in the Classroom: Scientific Inquiry for High School Students, Cornell University.

- Trzcinka-Ochocka, M., Jakubowski, M., et al. (2004). "The effects of environmental cadmium exposure on kidney function: the possible influence of age." Environmental Research **95**: 143-150.
- Velázquez, D. (2007). Entregan tres empresas sus propuestas de reciclaje de basura al Comité de Licitación. El Sur. Periódico de Guerrero. Chilpancingo, Guerrero.
- Watanabe, A., Morita, S., et al. (2006). "Drying process of microcrystalline cellulose studied by attenuated total reflection IR spectroscopy with two-dimensional correlation spectroscopy and principal component analysis." Journal of Molecular Structure(799): 102-110.
- WHO (1992). Cadmium. Environmental health criteria. Geneva, Switzerland, World Health Organization.
- WHO (2004). Guidelines for drinking-water quality. Third edition. Volume 1. Recommendations. Geneva, Switzerland, World Health Organization.
- Woodward, J.L., Stephan, M., Koran, L.J., Saddler, J.N., 1994. Enzymatic separation of high quality unlinked pulp fibers from recycled newspaper. Biotechnology. **12**: 905-908.

EPÍLOGO

COMPOST YOURSELF!

Esta es la letra de una canción escrita por Lee Hays, miembro de The Weavers, una banda folk que tocó durante la década de 1940 y 1950 y fueron censurados durante el gobierno de McCarthy por sus ideas anti-Americanistas.

If I should die before I wake,
All my bones and sinew take;
Put me in the compost pile,
And decompose me for a while.

Wind, water, rain will have their way,
Returning me to common clay!
All that I am will feed the trees,
and little fishes in the seas.

On radishes and corn you munch--
You might be having me for lunch!
And then excrete me with a grin--
Chortling, "There goes Lee again!!"