



**UNIVERSIDAD DE QUINTANA ROO**

---

---



**“APROVECHAMIENTO DE LOS RESIDUOS  
SÓLIDOS ORGÁNICOS MUNICIPALES  
MEDIANTE COMPOSTEO”.**

TESIS

Para obtener el Grado de:  
INGENIERO AMBIENTAL

PRESENTA

José Noé Negrete Pineda

DIRECTOR DE TESIS

Ing. José Luis Guevara Franco

Chetumal, Quintana Roo, Julio de 2009



UNIVERSIDAD DE QUINTANA ROO



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

LICENCIATURA EN INGENIERIA AMBIENTAL

COMITÉ

DIRECTOR:

Ing. José Luis Guevara Franco

ASESOR:

Biol. Laura Patricia Flores Castillo

ASESOR:

M.C. Juan Antonio Rodríguez Garza

ASESOR SUPLENTE:

M.C. Juan Carlos Ávila Reveles

ASESOR SUPLENTE:

Q.F.B. José Luis González Bucio



## INDICE

Antecedentes	.....	1
Introducción	.....	2
Objetivo general	.....	9
Objetivos específicos	.....	9
<b>1 ÁREA DE ESTUDIO</b>		
1.1 Factores físicos.	.....	10
1.2. Factores biológicos	.....	11
1.3 Factores sociales	.....	12
1.4 Zonas de muestreo	.....	13
<b>2 LOS RESIDUOS SOLIDOS MUNICIPALES (RSM)</b>		
2.1 Marco Legal	.....	17
2.2 Conceptos básicos	.....	18
2.1.1 Residuos sólidos	.....	18
2.1.2 Residuos Sólidos Municipales	.....	19
2.2 Clasificación	.....	19
2.2.2 Clasificación por origen o fuente generadora	.....	19
2.2.3 Clasificación por tipo de residuo	.....	21
2.2.4 Clasificación por tipo de manejo	.....	25
2.3 Tipos de recolección y transporte	.....	27
2.3.1 Diseño básico de cuadrilla para la recolección de los residuos	.....	28
2.4 Alternativas de manejo de los residuos sólidos municipales	.....	30
<b>3 METODOS DE COMPOSTEO</b>		
3.1 Conceptos	.....	42
3.2 Sistemas de composteo	.....	45
3.2.1 Sistemas de composteo aerobios	.....	46
3.2.2 Composteo por métodos anaerobios.	.....	51
<b>4 METODOLOGIA</b>		
4.1 Determinación de la generación de los residuos sólidos	.....	55
4.2 Selección y cuantificación de los Subproductos	.....	65



## **5 RESULTADOS**

5.1 Resultados de la determinación de la generación de los residuos sólidos	70
5.1.1 Resultados del Premuestreo	70
5.1.2 Resultados del muestreo	73
5.1.3 Generación per cápita	75
5.2 Resultados de la caracterización de los subproductos	76
5.3 Fracción biodegradable susceptible a composteo	78

## **6 CONCLUSIONES**

## **7 RECOMENDACIONES**

## **8 BIBLIOGRAFIA**

## **9 ANEXOS**



### LISTA DE CUADROS

Cuadro 1.1	Generación per cápita de residuos sólidos municipales en diferentes países.	.....	3
Cuadro 1.2	Generación per cápita de los residuos sólidos municipales por zona geográfica.	.....	4
Cuadro 1.3	Composición de los Residuos Sólidos Municipales en Diversos Países de América Latina y el Caribe.	.....	5
Cuadro 1.4	Composición de los Residuos Sólidos Municipales por zona geográfica en México.	.....	6
Cuadro 2.1	Código de los termoplásticos más usados.	.....	24
Cuadro 2.2	Residuos peligrosos generados en casas, consultorios, comercios y en centros educativos, de investigación y de salud.	.....	26
Cuadro 2.3	Problemática general de los tiraderos a cielo abierto.	.....	35



## LISTA DE TABLAS

<i>Tabla 5.1</i>	Porcentaje de participación ciudadana registrado en cada una de las zonas de estudio durante el muestreo.	.....	71
<i>Tabla 5.2</i>	Distribución de las personas participantes en el muestreo de acuerdo a la zona de estudio.	.....	72
<i>Tabla 5.3</i>	Generación per cápita obtenida en cada zona de estudio durante el Muestreo.	.....	72
<i>Tabla 5.4</i>	Confiabilidad y riesgo del muestreo obtenidos por zona de estudio durante el muestreo,	.....	73
<i>Tabla 5.5</i>	Principales características de 'las zonas de estudio, durante el muestreo realizado para el estudio de generación en la ciudad de Chetumal, Quintana Roo.	.....	73
<i>Tabla 5.6</i>	Principales características de las zonas de estudio durante el muestreo para el estudio de generación en la ciudad de Chetumal, Quintana Roo.	.....	74
<i>Tabla 5.7</i>	Distribución de los habitantes y casas habitación por zona de estudio.	.....	74
<i>Tabla 5.8</i>	Determinación del porcentaje de la participación ciudadana.	.....	74
<i>Tabla 5.9</i>	Relación del total de habitantes contemplados en el muestreo y del total de habitantes participantes, en base al porcentaje de participación ciudadana.	.....	75
<i>Tabla 5.10</i>	Generación per cápita de residuos sólidos en casas habitación por zonas de estudio y generación per cápita promedio.	.....	75
<i>Tabla 5.11</i>	Caracterización de los residuos sólidos municipales en Chetumal Quintana Roo.	.....	76
<i>Tabla 5.12</i>	Subproductos inorgánicos generados en la ciudad en orden de mayor a menor importancia se muestran a continuación	.....	77
<i>Tabla 5.13.</i>	Generación de subproductos por tonelada y por cantidad generada a día en la ciudad de Chetumal, Quintana Roo.	.....	78
<i>Tabla 5.14.</i>	Subproductos orgánicos generados en la ciudad, en un orden de mayor a menor importancia.	.....	79



## LISTA DE FIGURAS

<b>Figura 1.</b>	Ubicación Geográfica de Chetumal Quintana Roo.	.....	10
<b>Figura 1.2</b>	Relleno sanitario de la ciudad de Chetumal, Quintana Roo, México.	.....	13
<b>Figura 1.3</b>	Plano de la ciudad de la zona popular alta.	.....	14
<b>Figura 1.4</b>	Plano de la ciudad de la zona popular media.	.....	15
<b>Figura 1.5</b>	Plano de la ciudad de la zona popular baja.	.....	16
<b>Figura 2.1</b>	Clasificación general de los residuos sólidos municipales.	.....	22
<b>Figura 2.2</b>	Modelo conceptual de un tiradero al cielo abierto.	.....	34
<b>Figura 2.3</b>	Relleno sanitario en método de trinchera.	.....	38
<b>Figura 2.4</b>	Relleno sanitario en método de área.	.....	39
<b>Figura 2.5</b>	Relleno sanitario en método de rampa.	.....	40
<b>Figura 3.1</b>	Evolución de la temperatura durante el proceso de compostaje.	.....	44
<b>Figura 3.2</b>	Proceso de compostaje aerobio.	.....	47
<b>Figura 3.3</b>	Sistema de composteo de cajón.	.....	48
<b>Figura 3.4</b>	Sistema de recolección para la composta.	.....	50
<b>Figura 3.5</b>	Digestión anaerobia.	.....	51
<b>Figura 3.6</b>	Etapas de la digestión anaerobia.	.....	52
<b>Figura 4.1</b>	Método del cuarteo para la caracterización y obtención de muestras de los residuos sólidos municipales.	.....	66
<b>Figura 4.2</b>	Método del cuarteo, eliminación-selección cruzada de los residuos sólidos.	.....	67



## DEDICATORIA

***Para Nancy, quien es y ha sido siempre mi "fuerza  
De Sheccid".  
Gracias mi amor.***

***Para mis hijos Zahid, Monse y Camila  
Exitos incalculables de mi vida.  
Los amo con todo mi corazón.***

***Para mis padres y hermanos quienes con su  
Ejemplo me enseñaron el buen camino de la vida.  
Los amo.***

***Para Saulo, Jetza, Santiago y Nathalia,  
Que son parte de mi familia.  
Mi más profundo cariño.***

***Para mi Dios, que me ha permitido llegar a esta etapa de mi vida.  
Gracias señor.***





## **AGRADECIMIENTOS**

**A mis maestros, Adriana, Juan y Roberta  
No solo por su apoyo en los momentos difíciles  
De mi carrera, sino por que con sus conocimientos  
Me permitieron forjarme lo que soy.  
Siempre los llevo en mi Corazon.**

**A mi maestro Martin, por que fue mi modelo a seguir  
Cuando tuve la difícil tarea de ser maestro.  
Mi eterna gratitud.**

**A mis maestros José Luis y Laura Patricia, por que  
A parte de todo lo que me enseñaron y ayudaron con el  
Presente trabajo, me permitieron unir nuestras  
Familias con una lazo muy especial .  
Muchas gracias**



## ANTECEDENTES

En la ciudad de Chetumal el manejo de los residuos sólidos se encuentra a cargo de las autoridades municipales. Dichos residuos tienen como depósito final un sitio de disposición final que se encuentra en el poblado de Calderitas ubicado a 10 kilómetros al Noreste de la ciudad de Chetumal. Los residuos sólidos llegan a este depósito sin ningún tipo de tratamiento previo (separación caracterización, entre otros), es decir, no se practica ninguna forma de aprovechamiento, tal como el reciclamiento o reutilización de los Residuos Sólidos Municipales (RSM) por parte de las autoridades que los manejan.

El problema del manejo de los residuos orgánicos que se generan en los hogares, es el volumen y el tiempo que tienen que quedar almacenados de manera provisional hasta que pase el camión recolector por ellos. Esto último ocasiona que la basura orgánica inicié el proceso de descomposición en las bolsas plásticas, cubos y contenedores; lo cual genera malos olores y fauna nociva (moscas, larvas de moscas, cucarachas, roedores, bacterias y una gran cantidad de microorganismos patógenos) que pueden ser vectores de enfermedades infecciosas (cólera, diarrea, infecciones estomacales).

En la búsqueda de técnicas que nos sirvan para disponer de manera más adecuada de fracción biodegradable de los Residuos Sólidos municipales, se puede considerar al composteo como una opción viable, es por ello importante determinar la fracción biodegradable producida en la ciudad de Chetumal.

El composteo nos permite reducir el volumen de los residuos sólidos y con ello un manejo integral de los residuos Sólidos Municipales; el composteo se puede implementar en forma casera para tal efecto, además de conseguir abono orgánico para los jardines y hortalizas. Aunque también puede implementarse para la aplicación de abono orgánico a bajo costo en cultivos agrícolas.



## INTRODUCCIÓN

Históricamente el primer problema planteado por los residuos sólidos ha sido la eliminación de la fracción degradable. Por lo que es en este punto donde se han centrado los mayores esfuerzos, su presencia resulta más aparente y su proximidad molesta a la población que se concentra en los núcleos urbanos (López y Pereira, 1980).

A pesar del avance de la tecnología, nuestra sociedad no ha sido capaz de encontrar una solución real al problema de la eliminación de los residuos y en la mayoría de las ciudades se utiliza el primitivo método de quitarse de la vista el problema, arrojando los residuos en las afueras de las ciudades o bien ocultarlo enterrándolos. Debido a la concentración de la población y al aumento de los residuos, cada día resulta más difícil y más costoso disponer de ellos de manera adecuada.

Este problema ha sido la causa de que se contemplen otras alternativas: la reducción previa de volumen por trituración y compactación, la separación y clasificación de los diferentes materiales para su posterior aprovechamiento por reciclaje y transformarlos para volverlos a usar.

El reciclaje consiste en el aprovechamiento de algunos materiales que aparecen usualmente en los residuos sólidos municipales. Su finalidad es doble: por una parte evita la eliminación de las materias útiles, que resultaría más costoso obtenerlas desde las materias primas que les dieron origen, y por otra reduce los gastos originados por la recolecta, transporte y disposición final, al reducir el volumen de desechos producidos.

Dentro de los procesos de transformación, el más usado para los residuos sólidos orgánicos es el compostaje, para su utilización posterior como abono orgánico en la agricultura. El compostaje consiste en la fermentación de los residuos orgánicos



mediante microorganismos aerobios o anaerobios, así como su degradación ulterior por una gran gama de organismos.

El segundo problema que presentan los residuos sólidos es el de sus posibles efectos sobre el ambiente. Estos a comparación de los residuos líquidos o gaseosos, dan un mal aspecto en el lugar donde se depositan y ni el aire ni el agua los dispersan. Por lo que donde se concentren, si no se toman medidas de control adecuadas, constituirán un foco de contaminación –debido a la producción de gases propios de la descomposición de la materia orgánica y los lixiviados.

Ante esta perspectiva, el aprovechamiento de los residuos sólidos se muestra como una alternativa, a través de la recuperación selectiva de las fracciones contenidas o de su transformación en otras.

La generación per cápita de residuos sólidos municipales en México es una de las más bajas a nivel mundial comparándolo con los países con mayor avance tecnológico, aun comparado con los países del Caribe, en los cuales la generación de residuos sólidos municipales se estima en un promedio regional de 0.92 kg./hab/día (SEMANART, 2001).

Cuadro 1.1 Generación per cápita de residuos sólidos municipales en diferentes países.

PAÍS	GENERACIÓN <i>PER CÁPITA</i> (KG/HAB/DÍA)
E.U.A.	1.970
Canadá	1.900
Finlandia	1.690
Holanda	1.300
Suiza	1.200
Japón	1.120
México	0.853

Fuente: SEMANART, 2001



En México la generación de los residuos sólidos municipales en 1999 era de 0.853 kg/hab/día, la tendencia en el incremento de la generación de RSM puede variar 1% a 3% anual, dependiendo de la localidad (SEMANART, 2001).

Cuadro 1.2. Generación per cápita de los residuos sólidos municipales por zona geográfica.

	POBLACIÓN (1998)	GENERACIÓN PER CÁPITA (KG/HAB/DÍA)	GENERACIÓN DIARIA (TON)	GENERACIÓN ANUAL (TON)
Centro	51 117 711	0.788	40 281	14 702 565
D.F.	8 683 824	1.329	11 541	4 212 465
Norte	19 501 930	0.891	17 376	6 342 240
Sur	12 615 849	0.679	8 328	3 039 721
Frontera Norte	6 347 055	0.956	6 067	2 214 455
<i>Nacional</i>	<i>98 266 369</i>	<i>0.853</i>	<i>83 831</i>	<i>30 598 315</i>

*Zona Centro:* Jalisco, Colima, Michoacán, Aguascalientes, Guanajuato, Querétaro, Hidalgo, Estado de México, Morelos, Tlaxcala, Puebla, Veracruz. *Zona Norte:* Baja California, Baja California Sur, Sonora, Sinaloa, Nayarit, Chihuahua, Durango, Coahuila, Zacatecas, San Luis Potosí, Nuevo León, Tamaulipas. *Zona Sur:* Guerrero, Oaxaca, Tabasco, Chiapas, Campeche, Yucatán, Quintana Roo. *Frontera Norte* (franja de 100 Kms.): Baja California, Sonora, Chihuahua, Tamaulipas, Coahuila, Nuevo León.

Fuente: SEMANART, 2001

En cuanto a la caracterización de los residuos sólidos municipales podemos visualizar que los desechos que se producen en mayor porcentaje en los países de América Latina y el Caribe son los desechos orgánicos como se muestra en el cuadro 1.3.



Cuadro 1.3 Composición de los Residuos Sólidos Municipales en Diversos Países de América Latina y el Caribe (Porcentaje en peso).

País	Materias						Otros
	Papel y Cartón	Metal	Vidrio	Textiles	Plásticos	Orgánicas	
México	20	32	8,2	4,2	6,1	43	27,1
Costa Rica	19	–	2	–	11	58	10
El Salvador	18	0,8	0,8	4,2	6,1	42	27,1
Perú	10	2,1	1,3	1,4	3,2	50	32
Chile	18,8	2,3	1,6	4,3	10,3	49,3	13,4
Guatemala	13,9	1,8	3,2	3,6	8,1	63,3	6,1
Colombia	18,3	1,6	4,6	3,8	14,2	52,3	5,2
Uruguay	8	7	4	–	13	56	12
Bolivia	6,2	2,3	3,5	3,4	4,3	59,5	20,8
Ecuador	10,5	1,6	2,2	–	4,5	71,4	9,8
Paraguay	10,2	1,3	3,5	1,2	4,2	56,6	23
Argentina	20,3	3,9	8,1	5,5	8,2	53,2	0,8
Trinidad y Tobago	20	10	10	7	20	27	6

Fuente: OEA-CIID, 1998

Para las diferentes zonas de México (mismas que se especifican en el cuadro 1.2), se mantiene la predominancia de mayor contenido de desechos orgánicos en los residuos sólidos municipales producidos en 1999, como se muestra en el cuadro 1.4.



Cuadro 1.4 Composición de los Residuos Sólidos Municipales por zona geográfica en México (%)

SUBPRODUCTO	FRONTERA NORTE	NORTE	CENTRO	SUR	D.F.
Cartón	3.973	4.366	1.831	4.844	5.360
Residuos finos	1.369	2.225	3.512	8.075	1.210
Hueso	0.504	0.644	0.269	0.250	0.080
Hule	0.278	0.200	0.087	0.350	0.200
Lata	2.926	1.409	1.700	2.966	1.580
Material ferroso	1.183	1.476	0.286	0.399	1.390
Material no ferroso	0.226	0.652	0.937	1.698	0.060
Papel	12.128	10.555	13.684	8.853	14.580
Pañal desechable	6.552	8.308	6.008	5.723	3.370
Plástico película	4.787	5.120	1.656	1.723	6.240
Plástico rígido	2.897	3.152	1.948	1.228	4.330
Residuos alimenticios	26.972	21.271	38.538	16.344	34.660
Residuos de jardinera	16.091	19.762	7.113	26.975	5.120
Trapo	1.965	2.406	0.807	2.157	0.640
Vidrio de color	2.059	0.934	4.248	0.599	4.000
Vidrio transparente	4.590	5.254	5.051	3.715	6.770
Otros	11.500	12.267	12.326	14.102	10.410
<i>Total</i>	<i>100.000</i>	<i>100.000</i>	<i>100.000</i>	<i>100.000</i>	<i>100.000</i>

Fuente: SEMANART, 2001

Para el estado de Quintana Roo, el cuadro 1.2, maneja una generación per cápita de 0.679 kg/hab/día para el año de 1998, pero no existe un estudio de la ciudad de



Chetumal que nos permita comparar la generación ni la caracterización de los residuos sólidos municipales.

Ante tal carencia, este trabajo nos permitirá conocer la cantidad de basura que se genera en la ciudad y su composición; por lo que ayudará a planear mejores alternativas en el aprovechamiento y control de la misma.

A manera de hipótesis basándose en la proyección antes mencionada, se puede decir que la generación per cápita para el año 2009 será de 0.938 a 1.108 kg/hab/día, y que los desechos orgánicos se encuentran en mayor cantidad en los residuos sólidos municipales generados en la ciudad de Chetumal, Quintana Roo, México.

Actualmente, en la ciudad de Chetumal no se ha desarrollado el uso y aprovechamiento de los residuos sólidos y solamente algunos de los múltiples desechos son reutilizados o reciclados. Esto se debe principalmente a los bajos precios que alcanzan los subproductos en los centros de acopio que existen en la ciudad, lo que provoca que las personas no consideren redituable la separación y clasificación de sus desechos para su venta. Además; existen muy pocos antecedentes que nos permitan establecer la generación y caracterización de los residuos sólidos en la ciudad, por lo que se desconoce ¿Qué? y ¿Cuánto? se desecha de materiales aprovechables en la basura; información que resulta de vital importancia para el análisis costo-beneficio, para establecer infraestructura y proyectos gubernamentales o de la iniciativa privada necesaria para el aprovechamiento de los residuos sólidos municipales.

Cabe señalar que en el “relleno sanitario”, existen aproximadamente 15 personas que se dedican a pepear la basura separando algunos materiales, dentro de los cuales se pueden mencionar a los plásticos tipo PET, cartón, cobre, aluminio y hierro.





Dentro de los productos que alcanzan mayor precio en el mercado, está el cobre con un promedio de 48.00 pesos el kilogramo. Esto ha generado un problema social, debido al incremento en el robo de las tuberías de agua potable de las casas, provocando un mayor perjuicio que beneficio.



### **OBJETIVO GENERAL:**

Determinar la fracción de residuos sólidos orgánicos que pueden ser factibles para realizar composta en Chetumal, Quintana Roo.

### **OBJETIVOS ESPECÍFICOS**

Determinar la generación per cápita (kg/hab/día) de Residuos Sólidos Municipales en la ciudad de Chetumal, Quintana Roo, México

Determinar la caracterización de los Residuos Sólidos Municipales.

Determinar la fracción biodegradable de los Residuos Sólidos Municipales susceptible a la aplicación del composteo.

## 1 Área de estudio

### 1.2 Factores físicos

El presente estudio se realizó en la ciudad de Chetumal, capital del Estado de Quintana Roo, México. Esta se encuentra ubicada en las coordenadas  $18^{\circ} 30'$  latitud norte y  $88^{\circ} 18'$  longitud oeste, Altitud 0.

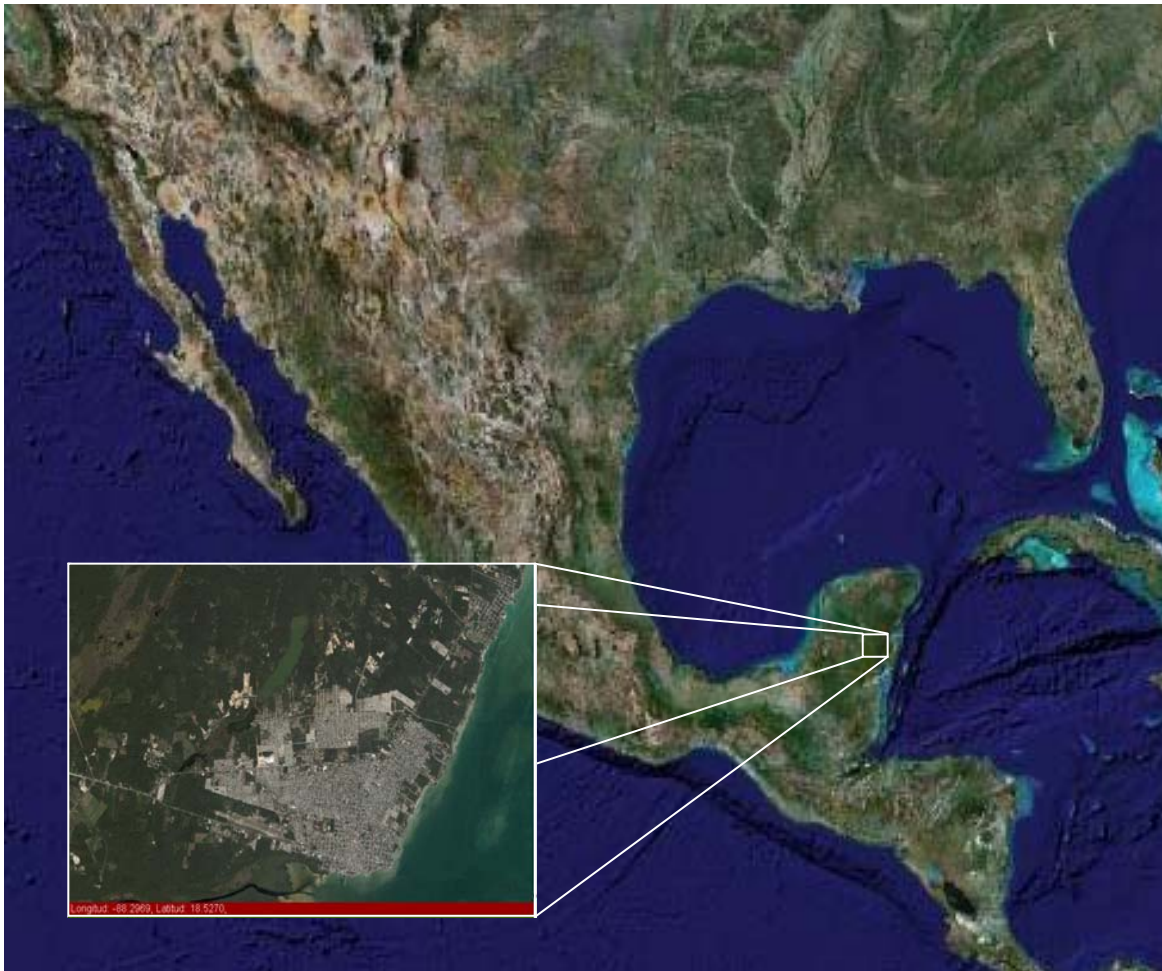


Figura 1. Ubicación Geográfica de Chetumal Quintana Roo. Fuente: Google earth

La ciudad de Chetumal se localiza en una zona plana enmarcada al este y el sureste por la Bahía de Chetumal; la costa es baja y pedregosa, cubierta en su mayor parte por el mangle, hacia el suroeste de la zona urbana se encuentra el cauce del Río Hondo y su desembocadura, aunque no existe urbanización alguna



en esa zona, la mayor parte de la ciudad se extiende hacia el norte y hacia el oeste, su territorio únicamente tiene una diferencia de altura situada a unos 200 metros de la costa, el resto es prácticamente plano, con algunas mínimas ondulaciones, esta zona permite la formación de aguadas y zonas pantanosas durante la época de lluvias. Chetumal no es atravesada por ninguna corriente de agua superficial diferente al Río Hondo. Hacia el norte, la población se encuentra prácticamente con la localidad de Calderitas (Careaga, 1997).

### **Clima**

La ciudad de Chetumal tiene un clima clasificado como *Cálido subhúmedo con lluvias en verano*, que es el que se registra en la totalidad continental del Estado de Quintana Roo; la temperatura media anual que se registra es de 26.4°C, el promedio anual más bajo que se ha llegado a registrar ha sido de 24.4°C en 1965, mientras que el más elevado de 27.8°C en 1997; la precipitación promedio anual es de 1,289.7 mm de lluvia, siendo el menor promedio registrado de 793.5 mm en 1987 y el mayor promedio de 2,186.5 mm en el año de 1954.

Por tanto su clima se caracteriza por sus elevadas temperaturas la mayor parte del año y una elevada humedad, el clima típico de la ciudad registra calor durante la mañana y medio día, para posteriormente registrar lluvias ligeras durante la tarde que baja la temperatura y permiten noches frescas, las estaciones del año casi no tienen registro en Chetumal, sin embargo durante el invierno los frentes fríos que alcanzan la ciudad se caracterizan principalmente por vientos y lluvias que pueden hacer descender la temperatura.

### **1.2 Factores biológicos**

La flora predominante en la ciudad de Chetumal es vegetación secundaria, la concentración más importantes se encuentra al suroeste de la ciudad donde predomina el mangle enano, dentro del cuadro de la ciudad la vegetación se compone de especies de ornato ubicadas principalmente en los camellones, tales



como cocoteros (*Cocos nucifera*), palma chit (*Trinax radiata*), almendros (*Terminalia catappa*), uva de mar (*Coccoloba uvifera*), framboyanes (*Delonix regia*), cedros (*Cedrela odorata*), caobas (*Swietenia macrophila*), laureles (*Rhododendron maximum*), ficus (*Ficus benjamina*), Siricote (*Cordia dodecandra*), entre otras.

### 1.3 Factores sociales

Las características de la ciudad que se tomaron en cuenta para el presente estudio son:

- ⊕ La ciudad de Chetumal tiene una población de 136,825 habitantes según el Censo de Población y Vivienda de 2005 (INEGI 2005).
- ⊕ La ciudad cuenta con 66 colonias en las cuales se distribuye su población.
- ⊕ Todas las colonias cuentan con los servicios básicos.  
El servicio de mayor interés para el estudio es el de recolección de basura y limpieza, el cual se realiza de manera constante solo en las colonias cercanas al centro de la ciudad, pero es muy deficiente en las ubicadas en la periferia y en las de nueva creación.
- ⊕ La ciudad cuenta con un sitio de disposición final diseñado como relleno sanitario ubicado, en las afueras de la misma, el cual a simple vista no cumple con las condiciones adecuadas para su funcionamiento, como se muestra en la figura 1.2.



*Figura 1.2 Relleno sanitario de la ciudad de Chetumal, Quintana Roo. (Fuente: Guevara, 1999).*

Para efectuar el muestreo se determinaron tres zonas que se plantearon en tres niveles en función de la densidad de población.

#### **1.4 Zonas de muestreo**

**Zona I. Zona habitacional popular alta con una densidad de población de 150 - 250 hab/ha.**

El núcleo de esta zona es la colonia solidaridad, se encuentra delimitada al norte con la calle Maxchuchac, al sur la calle Erick Paolo Martínez, al Este la calle 24 de noviembre y al Oeste la calle del magisterio.

La mayoría de las familias son escasos recursos económicos. Aproximadamente el 30% de las casas son construcciones endebles hechas con material de la región.

Esta colonia presenta un constante crecimiento poblacional.

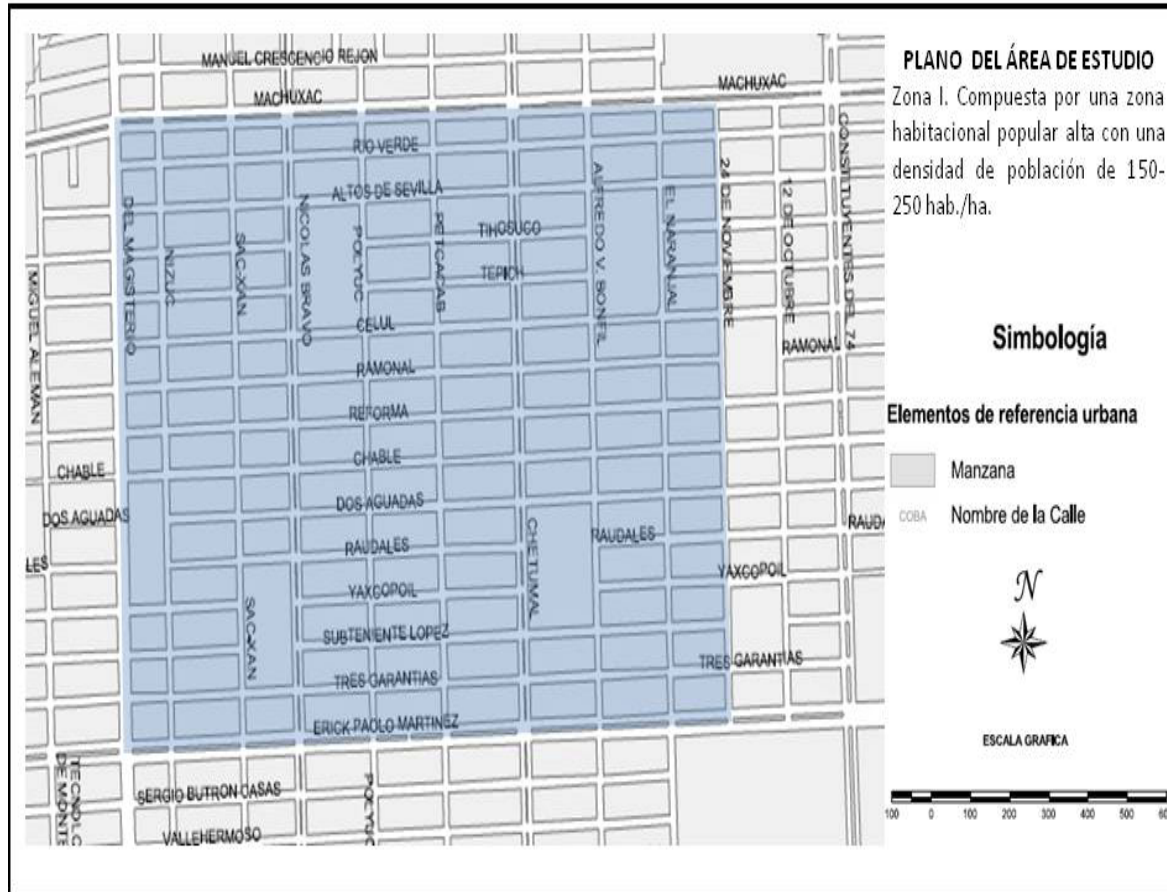


Figura 1.3 Plano de la ciudad de la zona popular alta (Densidad de población 150 a 250 Habitantes por hectárea).

## Zona II. Zona habitacional popular media con una densidad de población de 121-150 hab/ha.

Esta zona abarca el perímetro comprendido entre las Avenidas. Universidad y Centenario y las calles Pucté y Benjamín Hill.

Las colonias que componen a esta zona de estudio son Adolfo López Mateos y Del Bosque.

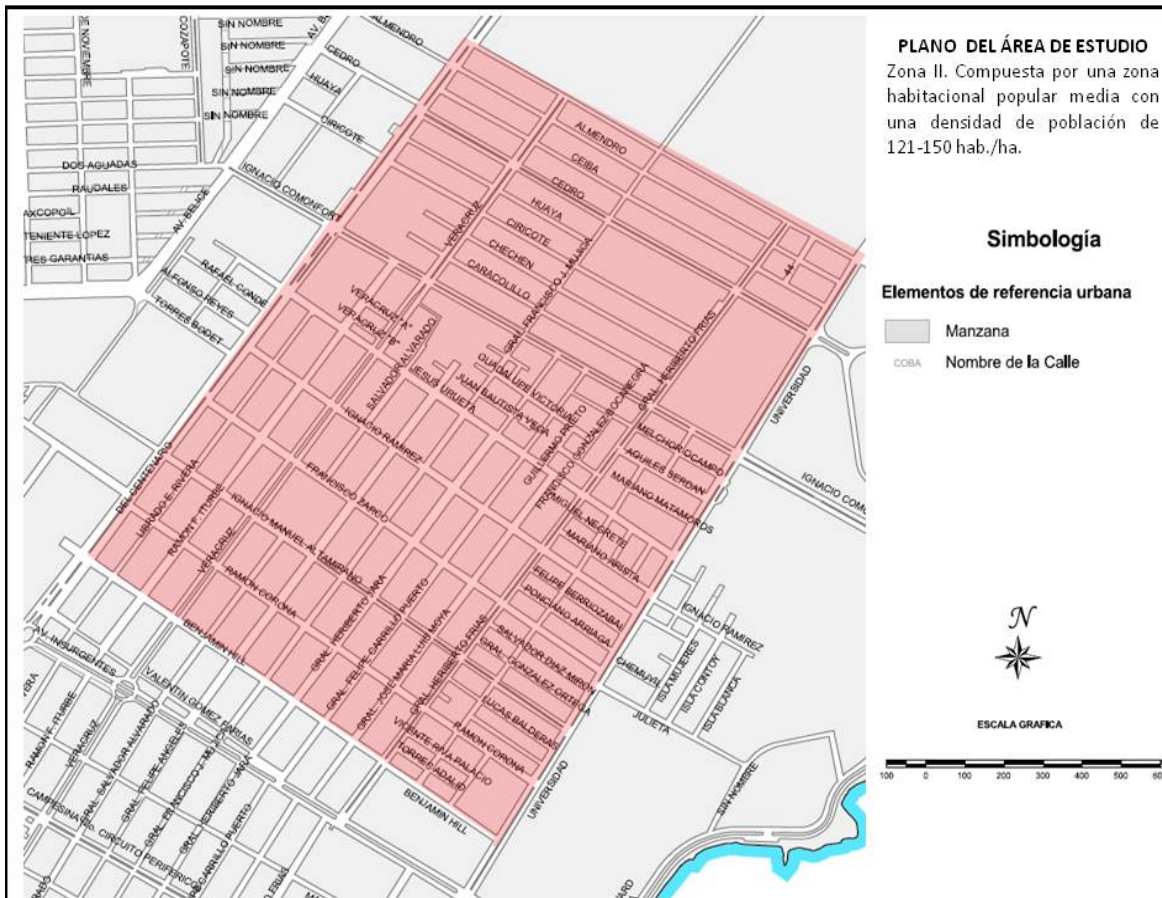


Figura 1.4. Plano de la ciudad de la zona popular media (Densidad de población 121 a 150 Habitantes por hectárea).

### Zona III. Zona habitacional baja con una densidad de población de 81-121 hab/ha.

Esta zona abarca el perímetro comprendido entre las calles Juan José Siordia, San Salvador y las avenidas 4 de marzo y Benito Juárez. Las colonias comprendidas de esta área de estudio son: Josefa Ortiz de Domínguez, Jesús Martínez Ross, Leona Vicario, Justo Sierra Méndez y David Gustavo Gutiérrez Ruíz. La población se encuentra más dispersa.



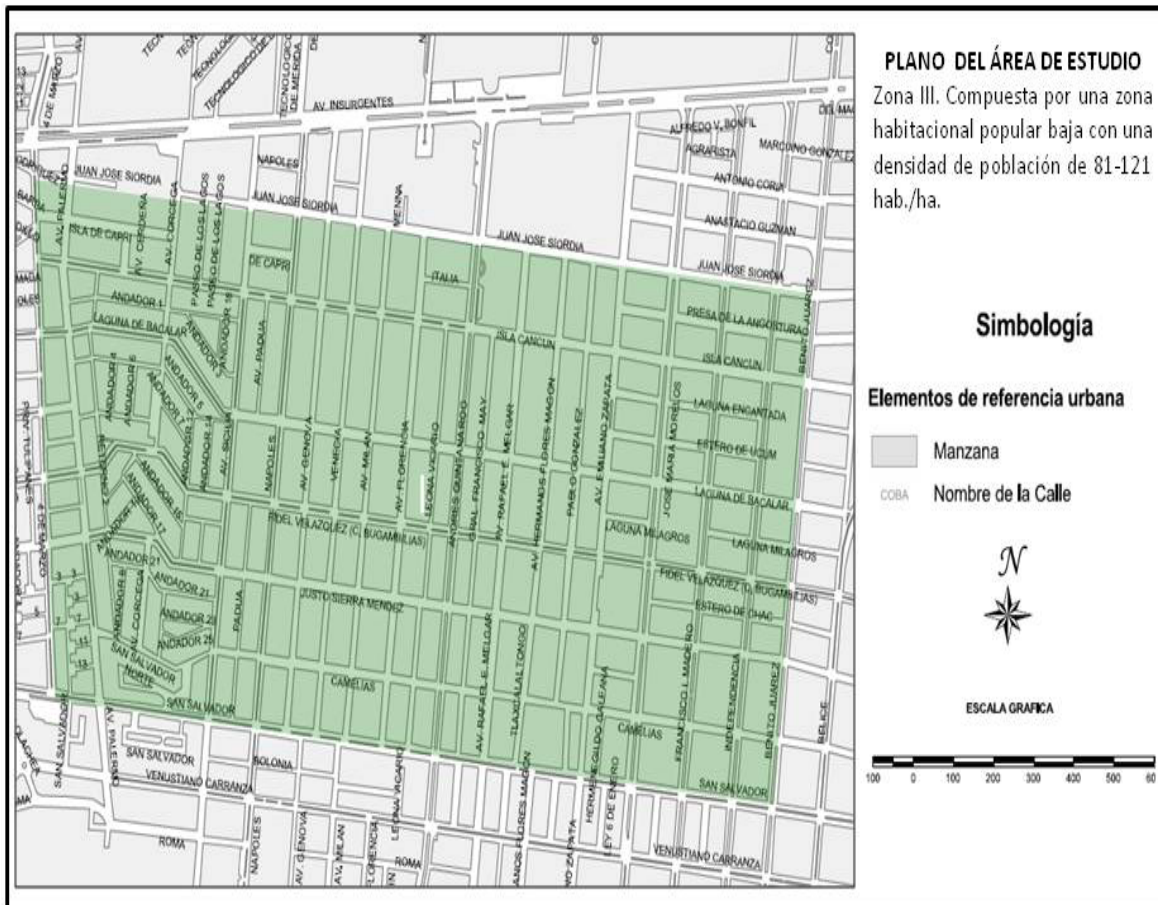


Figura1.5. Plano de la ciudad de la zona popular baja (Densidad de población 81 a 121 Habitantes por hectárea).



## 2 LOS RESIDUOS SOLIDOS MUNICIPALES

### 2.1. Marco legal

En materia de manejo de los residuos sólidos, el artículo 7, en su fracción VI, de la Ley General de Equilibrio Ecológico y Protección al Medio Ambiente (LGEEPA), otorga la facultad a los Estados de:

*“La regulación de los sistemas de recolección, transporte, almacenamiento, manejo, tratamiento y disposición final de los residuos sólidos e industriales que no estén considerados como peligrosos”*

Mientras que el artículo 137 de la mencionada Ley le otorga a los municipios y al Distrito Federal, en su caso, la facultad de autorizar el funcionamiento de los sistemas de recolección, almacenamiento, transporte, alojamiento, reuso, tratamiento y disposición final de residuos sólidos municipales, de acuerdo a las leyes y normas mexicanas en la materia.

A partir de la LGEEPA se derivan una serie de lineamientos determinados en la normatividad vigente (Leyes Federales, Estatales, Normas Oficiales Mexicanas y reglamentos municipales entre otras), que las autoridades municipales deben de seguir, porque de no hacerlo, puede ser sancionado tanto administrativa como económicamente por las autoridades ambientales de los tres órdenes de gobierno dependiendo de las afectaciones que se produzcan.

La Ley General para la Prevención y Gestión Integral de los Residuos (LGPGIR) contempla el desarrollo de diversos instrumentos, uno de los cuales son los denominados “Programas”, que vienen a ser una serie ordenada de actividades y operaciones necesarias para alcanzar los objetivos de la ley, y presentan una visión estratégica de las políticas de las autoridades correspondientes en materia de residuos sólidos. En el caso de la Federación, se contempla la elaboración del *Programa Nacional para la Prevención y Gestión Integral de los Residuos*, para los



Estados de la República mexicana, la elaboración de **Programas en Materia de Residuos** y para los Municipios se establece en el Artículo 10° de la LGPGIR que:

*“Los municipios tienen a su cargo las funciones de manejo integral de los residuos sólidos urbanos, que consisten en la recolección, traslado, tratamiento, y su disposición final conforme a las siguientes facultades:*

- I. Formular, por sí o en coordinación con las entidades federativas, y con la representación de representantes de los distintos sectores sociales, los Programas Municipales para la Prevención y Gestión Integral de los Residuos Sólidos Urbanos, los cuales deberán observar lo dispuesto en el Programa Estatal para la Prevención y Gestión Integral de los Residuos correspondiente”; [...]*

Las normas oficiales mexicanas relacionadas con los residuos sólidos municipales más importantes son:

- NOM-AA-15-1985,
- NOM-AA-19-1985,
- NOM-AA-22-1985,
- NOM-AA-61-1985, y
- NOM-083-SEMANART-2003

A nivel estatal se encuentra la Ley del Equilibrio Ecológico y la Protección al Ambiente del Estado de Quintana Roo.

## **2.2 Conceptos Básicos**

### **2.2.1 Residuos sólidos**

La Ley General del Equilibrio Ecológico y la Protección al Ambiente (LGEEPA), en su artículo tercero, fracción XXXI, define residuo como “cualquier material generado en los procesos de extracción, beneficio, transformación, producción, consumo, utilización, control o tratamiento cuya calidad no permita usarlo nuevamente en el proceso que lo generó”.



Podemos definir a los residuos sólidos como aquel material que no representa una utilidad o un valor económico para el dueño, el dueño se convierte por ende en generador de residuos.

### **2.1.2 Residuos sólidos municipales**

Los residuos sólidos municipales se pueden definir como el material desechado que proviene de actividades que se realizan en casas -habitación, demoliciones y construcciones, así como el asimilable a éstos, generado en establecimientos comerciales, de servicios e instalaciones industriales (NOM-083-SEMARNAT-2003).

## **2.2 Clasificación**

Lo residuos sólidos municipales se pueden clasificar de acuerdo al tipo, la fuente generadora o tipo de manejo; algunos autores realizan algunas otras clasificaciones pero la mayoría de estas se pueden clasificar en los tipos anteriores.

### **2.2.2 Clasificación por origen o fuente generadora**

Esta clasificación de acuerdo a la fuente generadora como: domiciliarios, comerciales, de jardinería, industriales y hospitalarios (<http://www.monografias.com/trabajos61/reciclaje/reciclaje5.shtml>).

#### **Domiciliarios**

Los domiciliarios son los más abundantes, son es todo aquello se genera en las casas que por alguna razón ha perdido valor o utilidad para sus propietarios. Estos residuos son el motivo de estudio de la presente tesis.



## Comerciales

Este tipo de residuo se caracteriza por ser muy abundantes en materiales de cartón, son generados por centros comerciales, mercados, tiendas de abarrotes. Para tal efecto, el **Reglamento para la prestación del servicio público de limpia, recolección, transporte, tratamiento y disposición final de residuos sólidos en el municipio de Othón P. Blanco** en su artículo 62, dispone que *“los usuarios que desechen cajas de cartón deberán desarmarlas con el objeto de que ocupen el menor espacio posible, tratándose de establecimientos comerciales o industriales que desechen cajas de cartón, deberán formar atados que no excedan de veinte kilogramos de peso y depositarlas a un costado de los contenedores que utilicen”*.

## De jardinería

Aunque se genera en algunos hogares en pequeñas cantidades, en su mayoría son generados por la limpieza de las aéreas verdes de la ciudad. Cabe hacer mención que el reglamento antes mencionado, manifiesta en el artículo 78 que *“Los restos de desechos de jardinería deberán ser almacenados en bolsas de plástico que faciliten su manejo. En el caso de las ramas delgadas éstas deberán cortarse en tramo de un metro y amarrarse para su manejo”*.

Es también importante decir que en la ciudad de Chetumal se encuentra en una zona de convergencia intertropical, lo cual la convierte en un área susceptible al embate de los huracanes; en caso de una eventualidad de este tipo los residuos causados por la destrucción de las áreas verdes incrementa el volumen de este tipo de residuos.



## Industriales

La cantidad de residuos que genera una industria es función de la tecnología del proceso productivo, calidad de las materias primas o productos intermedios, propiedades físicas y químicas de las materias auxiliares empleadas, combustibles utilizados y los envases y embalajes del proceso. La ciudad de Chetumal no se caracteriza por tener un desarrollo industrial importante, el parque industrial se compone por constructoras, enlatadoras de chiles, tabacalera, pasteurizadora de leche, madereras y cocinas integrales de PVC.

### 2.2.3 Clasificación por tipo de residuos sólido.

Esta clasificación hace referencia a la naturaleza del residuo, es decir, el material del cual está compuesto.

- Algodón	- Lata
- Cartón	- Loza y cerámica
- Cuero	- Madera
- Residuo fino (todo material que pasa la criba malla # 2.00)	- Material para construcción
- Envase de cartón encerado	- Material Ferroso
- Fibra dura vegetal	- Papel
- fibras sintéticas	- Pañal desechable
- Hueso	- Plástico rígido y de película
- Hule	- Poliuretano
- Polietileno expandido	- Residuos alimenticios
- Residuos de jardinería	- trapo
- vidrio de color	- vidrio transparente
- Otros	

Fuente: NOM-AA-19-1985. Norma Oficial Mexicana. DOF 18 marzo de 1985.

La clasificación anterior se puede diferenciar en dos grandes grupos de residuos: orgánicos e inorgánicos. La clasificación de estos dos grandes grupos es de interés para las autoridades municipales, en el artículo 93 del **Reglamento para la**

prestación del servicio público de limpia, recolección, transporte, tratamiento y disposición final de residuos sólidos en el municipio de Othón P. Blanco, contempla para el tratamiento de los residuos sólidos municipales, *que “...el municipio deberá contar con plantas de separación y composta; mismas que pueden ser operadas por el municipio o por concesionarios”*.

*La planta de composta no existe, por lo que los residuos sólidos son depositados en el relleno sanitario sin tratamiento alguno.*

En cuanto a la separación, la actual administración municipal ha creado un programa de separación de los residuos sólidos municipales, la cual ha tenido una aceptación del 40%, de acuerdo a las declaraciones vertidas de las mismas autoridades municipales en los diferentes medios de comunicación.

La clasificación que se usa en la propaganda del programa de separación de los residuos sólidos municipales se apega a la Norma Oficial Mexicana NOM-AA-19-1985, es decir cae dentro la clasificación por tipo de residuo sólido.

Los residuos sólidos municipales se clasifican de la siguiente manera:



Fig. 2.1 Clasificación general de los residuos sólidos municipales. Fuente: Programa de separación de residuos urbanos del municipio de Othón. P. Blanco, Quintana Roo, México (<http://www.opb.gob.mx/programas/separacion/index.html>).



## **Fracción orgánica**

Los orgánicos son todos aquellos de origen biológico, que en algún momento tuvieron vida; es decir, todo aquello que nace, vive, se reproduce y muere. Generalmente están compuestos de desperdicios de la comida, la cocina y restos de plantas y vegetales (Caso, 1986).

Esta fracción de los residuos sólidos es de suma importancia para el presente estudio, por un lado representan un alto porcentaje (mismo que será determinado como parte de esta tesis), el hecho de utilizarlos para producir composta genera la posibilidad de obtener un producto de fácil comercialización y utilidad para usos agrícolas; por otro lado, utilizarlos para composteo abre la posibilidad de disminuir el volumen de los residuos sólidos municipales, y con ello incrementar el tiempo de vida útil del sitio de disposición final.

## **Fracción inorgánica**

Los residuos sólidos inorgánicos están constituidos por materiales que se caracterizan por su permanencia a través de un largo periodo de tiempo, tales como: vidrio, papel, plástico, metales, etc. (Caso, 1986).








Algunos de estos residuos sólidos pueden reutilizarse y otros más reciclarse, estas dos opciones requieren de establecer programas de educación ambiental dirigidos a la ciudadanía con el objetivo de establecer una separación de los residuos sólidos desde el momento de la generación.

En la ciudad de Chetumal no existe alguna industria para el reciclaje de los materiales que se pueden recuperar de los residuos sólidos municipales, con excepción de la cartonera, donde se recicla papel para convertirlo en láminas de cartón; sin embargo los metales (hierro, cobre, aluminio, estaño, entre otros) y





plásticos son transportados a otros Estados de la república mexicana para su transformación.

CUADRO 2.1 CÓDIGO DE LOS TERMOPLÁSTICOS MÁS USADOS			
CÓDIGO	SIGLAS Y NOMBRE	CARACTERÍSTICAS	USO TÍPICO
	<b>PET</b> <b>Polietileno Tereftalato</b>	Envases muy transparentes, delgados, o de colores, punto al centro del fondo.	Envases para refresco, aceite comestible, agua purificada, alimentos y aderezos, medicinas, agroquímicos, etc.
	<b>PEAD</b> <b>Polietileno de Alta Densidad</b>	Envases opacos, gruesos, de diversos colores rígidos, con una línea a lo largo y fondo del cuerpo.	Envases para cloro, suavizantes, leche, cubetas, envases alimentos, etc.
	<b>PVC</b> <b>Cloruro de Polivinilo</b>	Envases transparentes, semidelgados, con asa y una línea a lo largo del cuerpo y fondo del envase.	Envases para shampoo, agua purificada, etc. También usado para mangueras, juguetes, tapetes, recubrimiento de cables, tubería y perfiles.
	<b>PEBD</b> <b>Polietileno de Baja Densidad</b>	De tipo transparente, aunque se puede pigmentar, de diversos calibres.	Principalmente usado para película y bolsas y también para tubería y otros.
	<b>PP</b> <b>Polipropileno</b>	Plástico opaco, translúcido o pigmentado, empleado para hacer película o bolsas.	Para hacer película o bolsas, envases, jeringas, cordeles, rafia para costales y sacos, etc.
	<b>PS</b> <b>Poliestireno</b>	Existen dos versiones: a) El expansible o espumado y b) El cristal.	a) Unicel o nieve seca y b) Fabricación de cajas, envases y vasos transparentes pero rígidos.
	otros		

FUENTE: <http://www.monografias.com/trabajos7/sein/sein.shtml>



## **2.2.4 Clasificación por tipo de manejo**

Se pueden clasificar los residuos sólidos municipales de acuerdo alguna característica asociada al manejo que debe ser realizado para la disposición final (<http://www.fortunecity.es/expertos/profesor/171/residuos.html>).

### **Residuos peligrosos o tóxicos**

Son residuos que por su naturaleza son inherentemente peligrosos de manejar y/o disponer y pueden causar muerte, enfermedad; o que son peligrosos para la salud o el medio ambiente cuando son manejados en forma inapropiada.

Son aquellos generados en industrias, hospitales, clínicas médicas y veterinarias, laboratorios de productos biológicos, de enseñanza e investigación, etc., que poseen características de corrosividad, reactividad, explosividad, toxicidad al ambiente, inflamabilidad o son biológico-infecciosos.

Se considera a un residuo como peligroso cuando presenta una o más de las características antes citadas, después de haber sido analizadas conforme al criterio denominado CRETIB (C - Corrosivo, R - Reactivo, E - Explosivo, T - Tóxico, I - Inflamable, B - Biológico Infeccioso) establecido en la normatividad oficial. Generalmente este criterio se aplica a desechos industriales como son lodos y líquidos.



Dentro de este tipo se encuentran los siguientes:

<b>CUADRO 2.2</b>	<b>RESIDUOS PELIGROSOS GENERADOS EN CASAS, CONSULTORIOS, COMERCIOS Y EN CENTROS EDUCATIVOS, DE INVESTIGACION Y DE SALUD</b>	
*Baterías de juguetes y linternas *Acumuladores *Medicamentos caducos *Pinturas, lacas y disolventes *Reactivos de fotografía, químicos y biológicos *Artículos de limpieza para pisos, hornos, etc.	*Sustancias desinfectantes *Lámparas de mercurio *Residuos de adhesivos *Residuos con sangre y exudados *Aceites para automóviles *Impermeabilizantes	
<b>FUENTE:</b> SEDESOL, 2001.		

Al respecto, el artículo 39 del **Reglamento para la prestación del servicio público de limpia, recolección, transporte, tratamiento y disposición final de residuos sólidos en el municipio de Othón P. Blanco** (Publicado en el Periódico Oficial del Gobierno del Estado de Quintana Roo el 20 de diciembre de 2005), establece que los usuarios deberán separar en bolsas y marcar el tipo de residuos sólidos de origen doméstico, cuando se trate de lo siguiente:

- I. Pilas;
- II. Excrementos de origen animal;
- III. Basura sanitaria doméstica;
- IV. Solventes;
- V. Aerosoles, medicamentos caducados; y
- VI. Piezas y componentes de artículos eléctricos y electrónicos.

Se puede observar que para la legislación en mención, manifiesta una normatividad para la separación y posterior recolección de los residuos peligrosos, sin embargo el municipio no cuenta con infraestructura para la disposición final de dichos residuos.



Los residuos peligrosos pueden tener un grado de toxicidad de leve a mayor, ejemplo de residuos peligrosos tóxicos son: collares antipulgas, envases de plaguicidas baterías de plomo, pinturas y barnices a base de plomo, pilas secas, desechos químicos de laboratorios, entre otras.

El daño para los humanos es al entrar en contacto directo con este tipo de desechos y capacidad de algunos de ellos de penetrar en el suelo hasta contaminar el manto freático.

### **Residuo inerte**

Este tipo de residuo se caracteriza por ser estable en el tiempo, el cual no producirá efectos ambientales apreciables al interactuar en el medio ambiente.

Son residuos de construcción (<http://coepa.net/guias/reutilizacion-de-residuos-inertes/>), que incluso son empleados como relleno para algunos terrenos bajos, también se les conoce con el nombre de escombros.

### **2.3 Tipos de recolección y transporte.**

El sistema de recolección que se utiliza en la ciudad de Chetumal es la recolección en la acera y contenedores a través de camiones, el cual brinda servicio hasta tres veces a la semana.

La recolección de basuras se realiza generalmente de día en las zonas residenciales y durante la noche en las zonas comerciales de las grandes ciudades, para evitar problemas con el tránsito vehicular.



## **Recolección en masa**

Los residuos se recolectan mezclados sin que exista una selección en el origen ni posterior. Este tipo de recolección permite un reciclaje informal de gran parte de los residuos, ya sea en el lugar de origen o en el propio vertedero, sin que exista un reglamento y con los consiguientes riesgos sanitarios para las personas que los realizan (Bonmatí, 2008). Este tipo de recolección se utiliza en la ciudad de Chetumal.

## **Recolección selectiva**

Este tipo de recolección se realiza con fracciones de los residuos sólidos municipales (latas, vidrio, papel, plásticos, etc.), es decir, existe una separación previa de los mismos (Bonmatí, 2008). Este tipo de recolección es el ideal, pero requiere de que la ciudadanía tenga una educación ambiental para realizarlo de manera adecuada, aunado a una serie de incentivos que se traduzcan en un beneficio para la ciudadanía; como por ejemplo, descuentos en impuestos prediales y permisos para construcción.

### **2.3.1 Diseño básico de cuadrilla para la recolección de los residuos**

El diseño óptimo es una combinación de aspectos económicos y sanitarios, se deben de tomar en cuenta distancias de la zona de recolección hasta la zona de disposición final, sentidos de las vialidades, afluencia vehicular, diseño de rutas críticas, capacidad del camión recolector, número de personas por camión, entre otras.

Los datos básicos para el diseño son los siguientes:



Descripción	Unidad	Nombre
Capacidad de camión	ton	C
Frecuencia de recolección	Veces por semana	f
Número de recolectores	Nº de hombres	a
Rendimiento de recolección	Hombre x minuto / ton	R
Tiempo disponible (jornada de trabajo)	Minutos	Td
Distancia a disposición final	Km	d
Tiempo en sitio de disposición final	min	Ts
Tiempo fuera ruta cíclicos	min	Tfc
Tiempo fuera ruta no cíclicos	min	Tfnc
Velocidades	Km/h Km/min	v

Ecuaciones básicas necesarias:

Para calcular el número de viajes que un camión puede realizar por jornada de trabajo se utiliza la siguiente fórmula:

$$N^{\circ} \text{viajes} = \frac{Td - Tfnc}{T \text{recolección} + T \text{transporte} + T \text{disposición} + Tfc}$$

Para calcular el tiempo de recolección de la cuadrilla:

$$T \text{recolección} = \frac{C \cdot R}{a}$$

El tiempo de transporte del área de recolecta al sitio de disposición:

$$T \text{transporte} = \frac{d}{v}$$

Para estimar la capacidad de recolecta diaria del sistema municipal de limpia:

$$\text{Producción Total de Residuos} = N^{\circ} \text{camiones} \cdot N^{\circ} \text{viajes} \cdot C$$



## 2.4 Alternativas de manejo y tratamiento de los residuos sólidos municipales.

Una vez generados y recolectados existen alternativas ya sea para su manejo o tratamiento las cuales son procedimientos al que se someten los residuos sólidos municipales, mediante el cual se modifican sus características físicas, químicas y/o biológicas para aprovecharlos, estabilizarlos, reducir su volumen o facilitar su manejo y disposición final (<http://www.monografias.com/trabajos61/reciclaje/reciclaje5.shtml>).

Algunos autores realizan toda una serie de clasificación de los sistemas de tratamiento de acuerdo a los procesos físicos, químicos, biológicos, o de acuerdo al propósito del tratamiento (SEDESOL, 2001), en realidad la línea que los separa es tan delgada, que se podría decir que se encuentran intrínsecamente ligados y en casi todas las opciones se mezclan los diferentes procesos, por ejemplo, en la utilización del compostaje de los residuos sólidos, en una primera etapa se utiliza el proceso físico de separación; posteriormente se utiliza un proceso biológico a través de la acción de los microorganismos, sin embargo, los organismos desencadenan un serie de reacciones químicas necesarias para la degradación de la materia orgánica.

Por lo anterior, que para esta tesis se considera una clasificación más generalizada de las alternativas de manejo y tratamiento de los residuos sólidos municipales, las cuales son:

### a) Reuso y reciclado

Esta alternativa tiene dos propósitos, uno el disminuir el volumen de los residuos sólidos, es decir, y por otro lado porque los residuos de este tipo tienen suficiente valor económico como justificar su separación (SEDESOL, 2001). Además al reciclar se disminuye el consumo de materia primas vírgenes y de energía (<http://www.monografias.com/trabajos61/reciclaje/reciclaje5.shtml>).



### **Centros de acopio**

Es un lugar donde se juntan limpios y clasificados diversos materiales inorgánicos, estos lugares compran los materiales que son susceptibles de reciclado como son: plásticos (principalmente PET), cobre, aluminio, hierro, plomo, estaño, vidrio y papel; sirven como un eslabón entre las industrias que reciclan los subproductos y la sociedad que las produce (<http://www.monografias.com/trabajos61/reciclaje/reciclaje5.shtml>)

La obtención de los residuos sólidos municipales aprovechables por esta alternativa se obtiene desde diversas fuentes: una es directamente de la fuente generadora, los pepenadores en los sitios de disposición final, la recolecta en las áreas públicas y la separación de los integrantes de la cuadrilla de los camiones recolectores.

### **Estaciones de transferencia**

Las estaciones de transferencia son depósitos temporales donde se almacena residuos que se reciclarán o simplemente residuos que serán transportados por un vehículo de mayor capacidad, debido a las grandes distancias que tiene que recorrer el camión recolector, se hace incosteable su traslado al sitio de disposición final.

El uso de estaciones de transferencia se ha constituido en una alternativa económica para áreas urbanas donde se generan grandes cantidades de residuos y en que las distancias a los centros de procesos de residuos son importantes. En una estación de transferencia, el residuo es transferido desde camiones recolectores a unidades de transporte de mayor capacidad (transfers). Se puede utilizar vehículos por carreteras, barco o tren (<http://www.fortunecity.es/expertos/profesor/171/residuos.html>).





## **b) Composteo**

El proceso de compostaje o composteo de los residuos sólidos consiste en la descomposición o fermentación natural de la porción orgánica de los residuos, es decir por la acción biológica de los microorganismos presentes, dando origen a un producto denominado composta. Esta es un producto orgánico estabilizado, cuyas propiedades la hacen particularmente útil como mejorador de la estructura y textura de los suelos y en menor grado como fertilizante vegetal.

En el capítulo 3 de esta tesis mencionaríamos más ampliamente esta alternativa de manejo y tratamiento de los residuos sólidos municipales.

## **c) Desinfección**

Es el de tratamiento mediante el cual se estabiliza a los residuos infecto-contagiosos, ya sea por medio de un proceso químico o térmico (Irradiación, radiación y ultravioleta) (<http://www.monografias.com/trabajos10/hospi/hospi.shtml>).

## **d) Incineración**

La incineración se define como un proceso térmico que conduce a la reducción en peso y volumen de los residuos sólidos mediante la combustión controlada en presencia de oxígeno.

El objetivo de la incineración es reducir el volumen de los residuos sólidos urbanos transformándolos en materiales sólidos, gaseosos y líquidos, que pueden ser más manejables para su disposición final. Durante el proceso de incineración los residuos sólidos reciben un tratamiento térmico en presencia de aire transformándose en constituyentes gaseosos, los cuales se liberan a la atmósfera y en un residuo sólido relativamente no combustible. Durante la combustión de los residuos en un incinerador se genera calor, lo que se conoce como “calor de combustión”, el cual puede ser aprovechado como fuente de energía para el mismo proceso o para



otros como el calentamiento de agua o la generación de vapor (SEDESOL, 2001).

La implementación de este proceso es muy costosa (aproximadamente 20 veces más que otra alternativa), además de que se tiene que hacer una inversión extra para que los gases producidos cumplan con las normas mexicanas para emisiones gaseosas.

#### **e) Pirólisis**

La pirólisis se define como un proceso fisicoquímico mediante el cual el material orgánico de los residuos sólidos se descompone por la acción del calor, en una atmósfera deficiente de oxígeno y se transforma en una mezcla líquida de hidrocarburos, gases combustibles, residuos secos de carbón y agua.

La pirólisis tiene como objetivo la disposición sanitaria y ecológica de los residuos sólidos urbanos, disminuyendo su volumen al ser transformados en materiales sólidos, líquidos y gaseosos con potencial de usos como energéticos o materias primas para diversos procesos industriales (SEDESOL, 2001).

Si bien es cierto, esta alternativa de manejo de los residuos sólidos municipales tiene muchas ventajas sobre otras al reducir el peso y volumen de los mismos (SEDESOL, 2001), su implementación es muy costosa.

#### **f) Disposición final: Vertederos al aire libre y rellenos sanitarios**

El confinamiento final de los residuos sólidos municipales, debe de hacerse en un relleno sanitario, el cual debe cumplir con ciertos parámetros que van desde la elección del sitio para su instalación hasta la clausura final del relleno, sin embargo muchos de los rellenos sanitarios, ya sea por una mala

administración o una mala planeación, terminan convirtiéndose en tiraderos o vertederos a cielo abierto.

### Tiraderos o vertederos al aire libre

Los sitios de disposición final de residuos sólidos que no fueron planeados técnicamente, se conocen comúnmente como tiraderos "a cielo abierto". Estos sitios básicamente, son terrenos en donde se depositan y acumulan los residuos sólidos municipales sin ningún control técnico sanitario y operativo, así como la ausencia de obras de infraestructura para minimizar los impactos negativos al ambiente. En muchos casos estos sitios se localizan cerca de los asentamientos humanos; en la ribera de los ríos, arroyos, manglares y otros cuerpos de agua; a un lado de las carreteras, caminos vecinales y/o en terrenos con características inadecuadas, debido a que únicamente se considera la cercanía y la disponibilidad de espacio libre para el depósito de los residuos (SEDESOL, 2001).

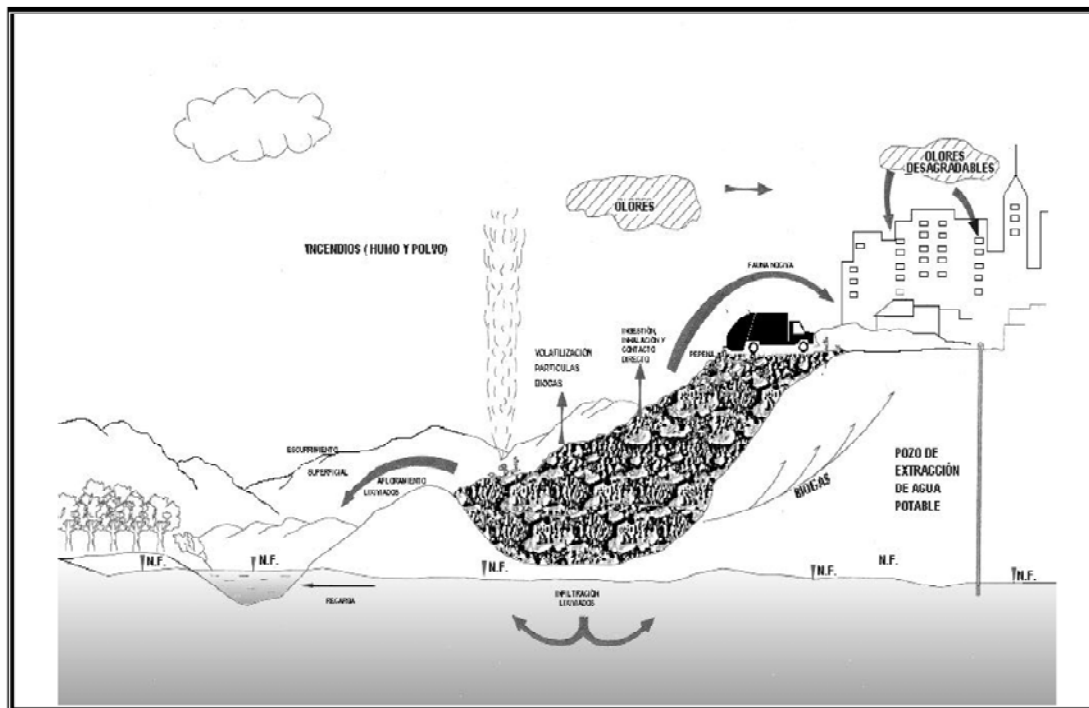


Figura 2.2 Modelo conceptual de un tiradero al cielo abierto. Fuente: SEDESOL, 2001.



Los tiraderos al aire libre únicamente toman en cuenta la distancia, es decir, el único objetivo es alejarlos de las ciudades y los poblados.

Uno de los problemas es que carecen de control en el ingreso de los residuos, es común que cuando estos sitios se llenan algún usuario los incendia generando un problema de contaminación aun mayor.

No es de sorprender pues, que estos tiraderos sean una fuente de contaminación de suelo, aire y agua, así como generación de fauna nociva.

Cuadro 2.3 Problemática general de los tiraderos a cielo abierto.

Principales problemas	Causas
DETERIORO DEL PAISAJE	<ul style="list-style-type: none"><li>● Acumulación de residuos sólidos sin cobertura cerca de carreteras, caminos vecinales, asentamientos humanos y arroyos</li><li>● Incendios, dispersión de materiales ligeros y polvos.</li></ul>
CONTAMINACIÓN DEL AIRE:	<ul style="list-style-type: none"><li>● Olores desagradables propios de la descomposición de los residuos sólidos.</li><li>● Incendios y suspensión de partículas.</li><li>● Generación de gases tóxicos y humos.</li></ul>
CONTAMINACIÓN DE CUERPOS DE AGUA SUPERFICIALES Y SUBTERRÁNEOS:	<ul style="list-style-type: none"><li>● Ubicados de sitios en suelos permeables.</li><li>● Carencia de un sistema de impermeabilización y control de lixiviados</li><li>● Falta de cobertura diaria y final.</li><li>● Cercanía de cuerpos de agua superficial y subterráneo.</li><li>● Carencia de obras de desvío de aguas pluviales.</li></ul>
CONTAMINACIÓN DEL SUELO: .	<ul style="list-style-type: none"><li>● Ubicados de sitios en suelos permeables.</li><li>● Carencia de un sistema de impermeabilización y control de lixiviados</li><li>● Falta de cobertura diaria y final.</li><li>● Cercanía de cuerpos de agua superficial y subterráneo.</li><li>● Carencia de obras de desvío de aguas pluviales.</li><li>● Falta de control de materiales ligeros.</li></ul>
IMPACTO EN LA SALUD	<ul style="list-style-type: none"><li>● Proliferación de fauna nociva</li><li>● Presencia de animales domésticos dentro del sitio</li><li>● Contacto directo con los residuos sólidos</li><li>● Migración y movilidad de contaminantes generados en los sitios de disposición final, a través de suelo, aire y agua.</li></ul>
IMPACTO SOCIAL.	<ul style="list-style-type: none"><li>● Abandono o falta de control de los sitios de disposición final.</li><li>● Existencia de materiales aprovechables.</li></ul>

Fuente: SEDESOL, 2001.



## **Relleno sanitario**

El relleno sanitario es un método de ingeniería recomendado para la disposición final de los residuos sólidos municipales, por medio del cual los residuos se depositan en el suelo, se esparcen y se compactan al menor volumen posible y se cubren con una capa de tierra al término de las operaciones del día (SEDESOL, 2001).

Los sitios para la construcción de un relleno sanitario debe cumplir con las características establecidas en la norma oficial mexicana NOM-083-SEMARNAT-2006, que establece las condiciones que deben de reunir los sitios destinados para el confinamiento final de los residuos sólidos municipales (<http://mx.geocities.com/itovladimir/index.htm>).

Un problema que se presenta con establecimiento del relleno sanitario en nuestro país, existe una deformación en la aplicación del término, dado que frecuentemente se utiliza el concepto de relleno sanitario como sinónimo de depósito de residuos sólidos en general, lo cual frecuentemente propicia una imagen errónea de esta técnica, propiciando el rechazo de la población, cuando se pretende instalar un sistema de esta naturaleza, con el objeto de resolver el problema de los tiraderos a cielo abierto. Únicamente el 27% de las ciudades mexicanas cuenta con un relleno sanitario que cumpla con todas las características.

Existen diferentes métodos para construir un relleno sanitario, Tchobanoglous, 1993 realiza un descripción detallada en su libro titulado “Integrated Solid Waste Management, Engineering Principles and Management Issues”, las cuales se describen a continuación:



### **a) Método de trinchera o celda excavada**

Este método se utiliza normalmente en terrenos planos, en donde existe un buen espesor de material disponible y el nivel freático se encuentra lo suficientemente profundo para evitar la contaminación del acuífero.

Los residuos sólidos son depositados en celdas o trincheras previamente excavadas, en donde el material, producto de la excavación, es utilizado como material de cubierta diaria y final.

El procedimiento consiste en abrir trincheras o celdas a intervalos que sean adecuados para la estabilidad de los taludes y en profundidades de 2 a 3 m, con el apoyo de equipo mecánico; la profundidad de la trinchera o celda estará limitada por la profundidad del nivel de aguas freáticas, la permeabilidad del subsuelo y la dureza del terreno, pudiendo tener en ocasiones hasta 7 m de profundidad.

Los residuos sólidos son depositados en el fondo de la trinchera o celda, se extienden y se compactan con equipo mecánico y posteriormente se cubren con la tierra producto de la excavación, compactándola con el mismo equipo, todo esto en ciclos diarios (SEDESOL, 2001).

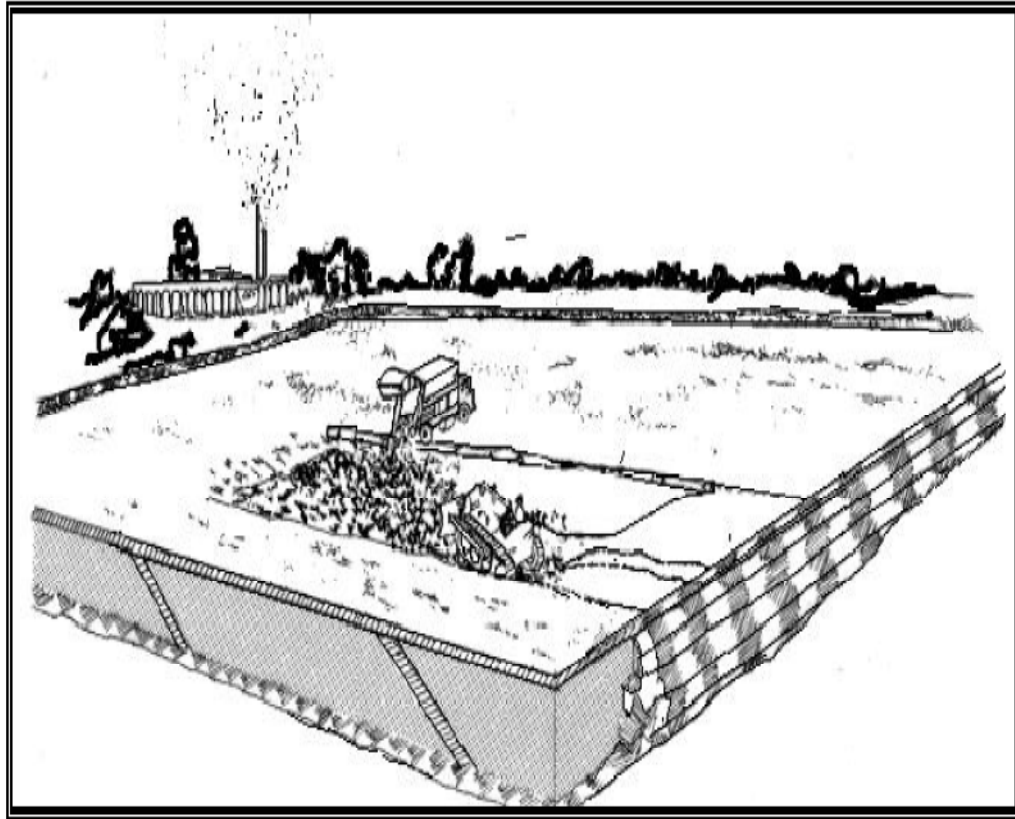


Figura 2.3 Relleno sanitario en método de trinchera. Fuente: SEDESOL, 2001.

### **b) Método de área**

Este método de Área se utiliza cuando en el terreno no es posible excavar una trinchera o celda, o cuando el nivel freático se encuentra muy cerca de la superficie del terreno.

Un punto importante de este método es que el banco de material para la cubierta, deberá estar en áreas adyacentes o lo más cercano posible al sitio de operación.

El método consiste en depositar los residuos sobre el talud inclinado, se compactan en capas inclinadas para formar la celda que después se cubre con tierra.

Las celdas se construyen inicialmente en un extremo del área a rellenar y se avanza hasta terminar en el otro extremo (SEDESOL, 2001).

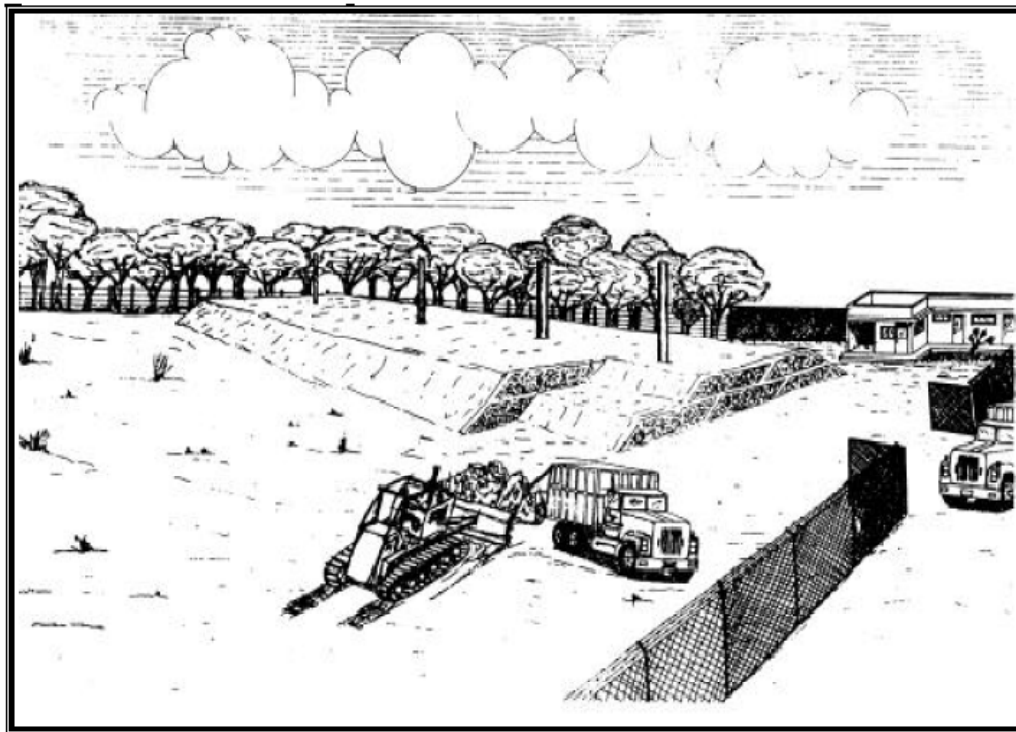


Figura 2.4 Relleno sanitario en método de área. Fuente: SEDESOL, 2001.

### c) Método de rampa

Este método, es considerado como una variante del método de trinchera o de celda excavada y es considerado como el más eficiente ya que permiten ahorrar el transporte del material de cubierta y aumentan la vida útil del relleno.

Los residuos son esparcidos y compactados en pendiente. El material de cubierta es obtenido directamente del frente de trabajo y compactado sobre los residuos sólidos conformados. Frecuentemente, una porción de la excavación se almacena para ser utilizado en un futuro en los trabajos de sello final.



La técnica de depósito y compactado de residuos sólidos a través del método de rampa, varía de acuerdo con la geometría del sitio, las características de disponibilidad de material de cubierta, la geohidrología, el sistema de control de biogás y lixiviados y el acceso al sitio.

Esta técnica puede utilizarse en barrancas, desfiladeros, oquedades, etc., por lo que el control de escurrimientos frecuentemente es un factor crítico en el diseño y operación (SEDESOL, 2001).

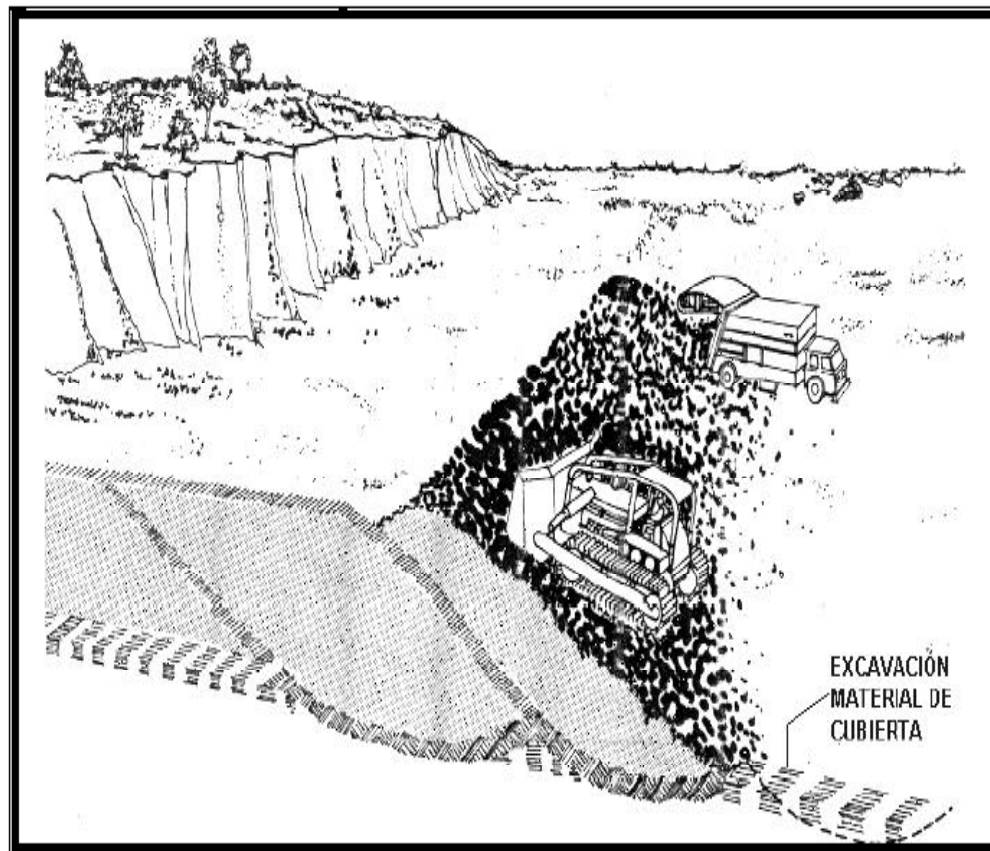


Figura 2.5 Relleno sanitario en método de rampa. Fuente: SEDESOL, 2001.



Para crear métodos de aprovechamiento de los residuos sólidos municipales se deben tomar en cuenta las consideraciones siguientes:

### 1.- Recolección y separación.

Los vehículos usados para estos fines deben de encontrarse limpios, de tal manera que no contaminen los subproductos. Si no se cuenta con vehículos especializados para la recolecta selectiva, debe de establecer una programación de recolecta selectiva, es decir, recolectar algún día de la semana desechos orgánicos y otro día los inorgánicos.

Si la separación no se hace desde el origen, es necesario establecer una primera etapa del proceso, ya sea automatizada o manual para separar los residuos sólidos municipales.

### 2.- Manufactura o transformación

Esta etapa del proceso depende directamente del capital disponible, si solamente se hace una reutilización de residuos sólidos (no implica una transformación) los costos disminuyen considerablemente; en el caso de una transformación de los productos implica un costo considerable, por ejemplo hornos de fundición, tanques de procesos químicos, mezcladoras, etc.

### 3.- Consumo o demanda.

La etapa final del proceso es el consumo de los productos obtenidos, el cual se encuentra intrínsecamente ligado a la demanda que el producto final tenga en el mercado, es decir, si no hay demanda por el producto final, todo el proceso se vuelve incosteable la reutilización o reciclamiento de los subproductos.



### 3 METODOS DE COMPOSTEO

#### 3.1 Conceptos

##### Composta o humus

La composta es un producto que se obtiene a partir de la fermentación o degradación progresiva de la materia orgánica, por acción saprófita de hongos bacteria y otros organismos. La composta es un producto húmico, de color negro, debido al rico contenido de carbono, se puede utilizar como abono por la aportación de oligoelementos al suelo (Caso, 1986).

El proceso de descomposición de la materia orgánica, después de ser degradada por los microorganismos e insectos da como producto el humus, ésta es una manera natural en que se produce la composta (Tchobanogluos *et al*, 1993).

La composta actúa física, química y biológicamente en los suelos incrementa la capacidad de retención del agua, regulando la permeabilidad y el drenaje de los suelos, a la vez que aumenta el intercambio de iones haciendo asimilables para las plantas los nutrientes minerales (Caso, 1986).

Entre las características más importantes de la composta, Deffis Caso menciona las siguientes:

- ⊕ Estructura, da cuerpo a las tierras ligeras y mulle las compactas.
- ⊕ Incrementa la retención de agua, regulando la permeabilidad y el drenaje de los suelos.
- ⊕ Aumenta la capacidad de intercambio catiónico, formando un complejo arcillo-húmico que funciona como regulador nutricional vegetal, haciendo asimilables las sustancias minerales como el potasio y el fósforo.
- ⊕ Revitaliza el suelo al aportar microorganismos útiles; hace las veces de soporte a los microorganismos que viven a sus expensas y los transforman.



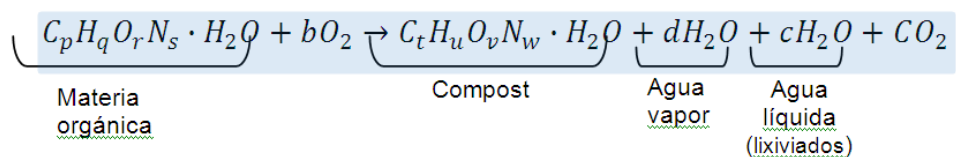
## Agente abultante

El agente abultante es una sustancia que se utiliza para evitar la compactación de los residuos orgánicos durante el proceso de composteo, además prevé al sistema de zonas intersticiales que permite la penetración de oxígeno y favorece un rápido y abundante crecimiento de organismos aerobios necesarios para la degradación de la materia orgánica. Al mismo tiempo aísla a la materia orgánica de organismos indeseados al cubrirlos por completo y evita la propagación de malos olores. También se le conoce como material estructurante (Bonmatí, 2008) Al mismo tiempo el material estructurante proporciona la cantidad de Carbono necesaria para manipular la relación C/N de la composta.

El agente abultante utilizado es muy variado, pudiendo usarse, aserrín, virutas de madera, tierra, cachaza de caña de azúcar, etc., todo depende del material que tengamos a mano. El más usado es el aserrín por ser de bajo costo y fácil adquisición.

## Compostaje

El proceso del compostaje se puede expresar con la siguiente ecuación química:



Se puede observar que no hay productos intermedios (malos olores) que se generan durante la fermentación, tales como amoníaco (NH<sub>3</sub>), ácido sulfhídrico (H<sub>2</sub>S), metano (CH<sub>4</sub>) y ácidos grasos volátiles ya que se volatilizan y el producto final (composta) se caracteriza precisamente por ser un producto estable; sin embargo la presencia de estos compuestos en exceso indican una falta de oxígeno durante el proceso y por consiguiente que el proceso no se realiza de manera adecuada (Bonmatí, 2008).

Agust Bonmatí divide el proceso de compostaje en dos etapas, las cuales, aunque independientes se realizan de manera simultánea; descomposición y maduración.

## Descomposición

En esta etapa las moléculas orgánicas e inorgánicas más sencillas se descomponen rápidamente por acción de los microorganismos y reacciones de oxido-reducción provocando un aumento en la temperatura, que pasa de un rango mesofílico (menor que 50°C) a un rango termofílico (mayor que 50°C).

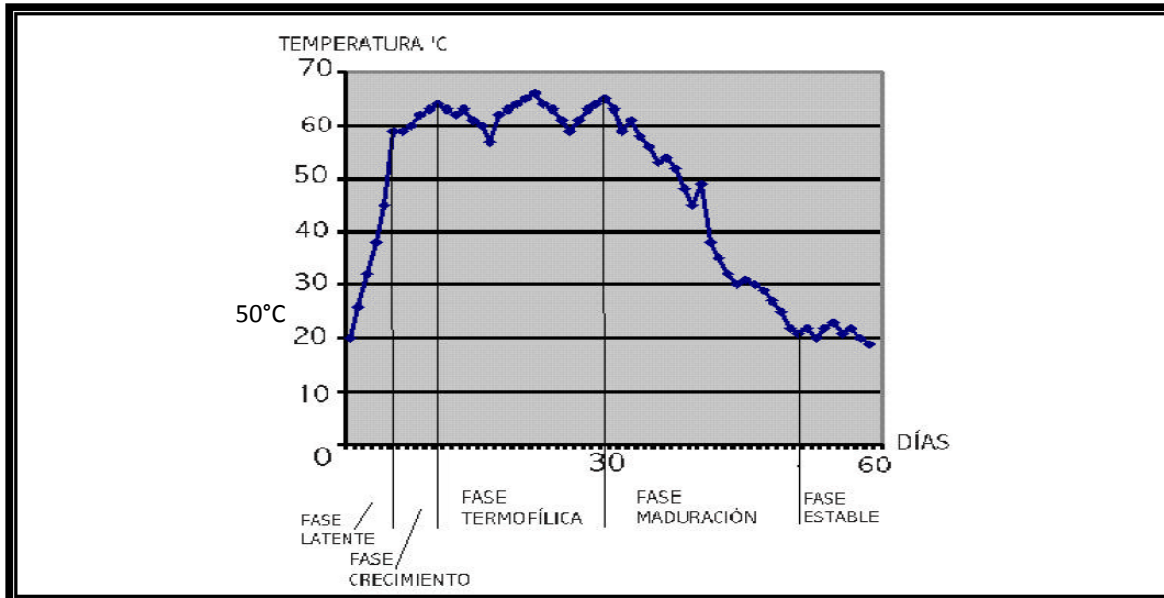


Figura 3.1 Evolución de la temperatura durante el proceso de compostaje. Fuente: SEDESOL, 2001.

Mantener este rango termofílico el mayor tiempo posible (una o dos semanas) asegura la destrucción de organismos patógenos, semillas de malas hierbas y de huevecillos y larvas de insectos.

## Maduración

Durante esta etapa se forman nuevas macromoléculas más estables, tales como ácido fúlvico, ácido húmico y compuestos más lentamente degradables que



continúan su descomposición formando ácidos grasos. Lo que se busca durante la etapa de maduración es la descomposición total de estos ácidos grasos hasta lograr un producto estable, ya que estos ácidos grasos son fitotóxicos.

Los tiempos de producción de la composta varían desde 15 días hasta un año, esto depende básicamente del material composteable con que se cuente (Tchobanogluos *et al*, 1993).

El proceso de curado o maduración de la composta se lleva a cabo en un tiempo de 2 a 8 semanas. En la actualidad no existe una definición universal aceptada para definir este proceso (Tchobanogluos *et al*, 1993).

### **3.2 Sistemas de composteo**

Se pueden encontrar descripciones y distintas clasificaciones de los sistemas de composteo, de acuerdo al nombre del inventor o de sus propietarios, Chargoy, 2002 realiza una descripción de los procesos de composteo más usuales.

Una clasificación más general de los sistemas de composteo es por el tipo de digestión de los residuos sólidos, es decir, de acuerdo a las condiciones de oxígeno existentes, lo cual favorece un crecimiento de bacterias aerobias o anaerobias.

De acuerdo con Deffis Caso (1986), existen dos formas de fabricar composta: por fermentación natural y por fermentación acelerada. La primera consiste en hacer montones de basura orgánica de aproximadamente 2 m de altura y dejarla que se fermente por acción de los organismos que se encuentran en el ambiente. La obtención de composta por este medio dura aproximadamente 3 meses.

En el presente trabajo se analiza un sistema de composteo de bajo costo de fabricación y operación, cuyo objetivo es eliminar la fracción orgánica de los



residuos que se producen en los hogares. Dichos residuos pueden ser utilizados para producir composta para utilizarla en nuestras propias plantas, para producir hortalizas tales como rábanos, cilantro, tomate, y chiles; especies de uso común en la cocina regional o plantas de ornato que no requieren de una gran espacio para su cultivo. Una vez que obtenidos los primeros productos se pueden visualizar de manera contundente los beneficios de separar los residuos orgánicos y fabricar composta en nuestros hogares.

### 3.2.1 Sistemas de composteo aerobios

Los sistemas aerobios se basan en la fermentación acelerada que consiste en crear las condiciones favorables para que los organismos degradadores de la materia orgánica se reproduzcan más rápidamente, esto se logra controlando las condiciones de temperatura, oxígeno disponible, humedad y pH básicamente. La obtención de composta por este proceso se reduce a 15 o 20 días aproximadamente pero se aumenta considerablemente el costo de producción.

En este proceso se deben tomar en cuenta los siguientes aspectos:

- ⊕ Evitar una humedad inferior al 40% y superior al 60%, (Bonmatí, 2008) si el rango es menor se inhibe la acción enzimática y si es mayor el proceso se vuelve anaeróbico provocando malos olores por la producción de ácido sulfhídrico ( $H_2S$ ), metano ( $CH_4$ ) y amoníaco ( $NH_3$ ).
- ⊕ Aportar una cantidad de oxígeno necesaria para que ocurran los procesos oxido-reducción, esto se logra revolviendo la composta periódicamente.
- ⊕ Establecer una relación Carbono-nitrógeno (C/N) entre 25 y 35. Si la relación se mantiene en este rango se facilita el ataque de los microorganismos (Bonmatí, 2008).

Si la relación C/N es mayor a 35 se reduce la velocidad del proceso hasta que se consume el carbono excedente; si la relación C/N es menor

a 25 hay pérdidas elevadas de nitrógeno (en forma de nitrógeno amoniacal) hasta que se alcancen relaciones adecuadas C/N. Para mantener la relación C/N en estos rangos se realiza una mezcla de residuos orgánicos con el material estructurante las relaciones más habituales son 2/1, 1/1 y 1/3 dependiendo del residuo a tratar.

- ✦ Situar el pH entre límites tolerables, es decir acercada a la neutralidad (7), mientras más se aleja de la neutralidad puede limita el crecimiento de microorganismos.
- ✦ Regular la temperatura, dependiendo de la etapa en la se encuentre el proceso de composteo. Los sistemas se suelen cubrir con lonas evitando el exceso de sol y humedad.

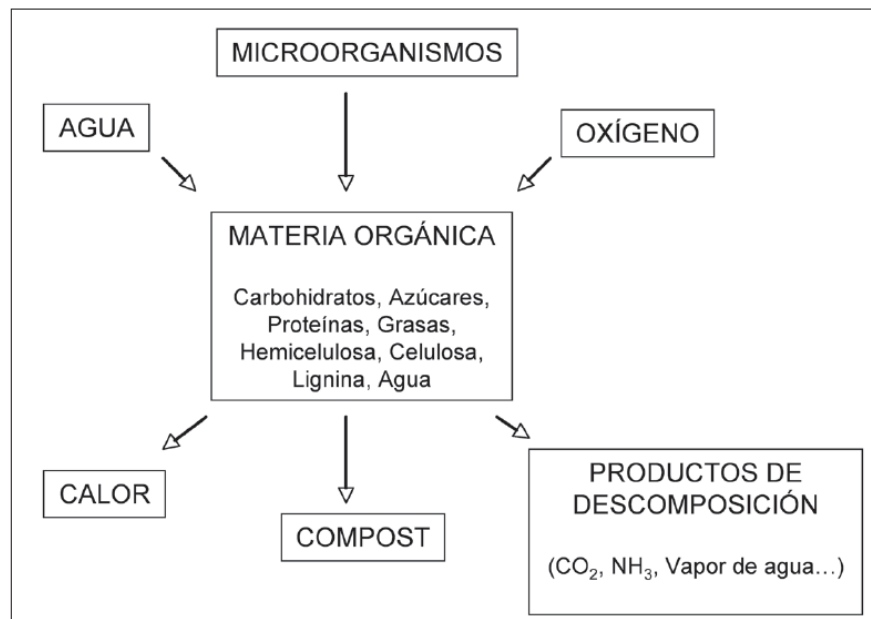


Fig. 3.2 Proceso de compostaje aerobio. Fuente: Bonmati, 2008



## Compostero de cajón

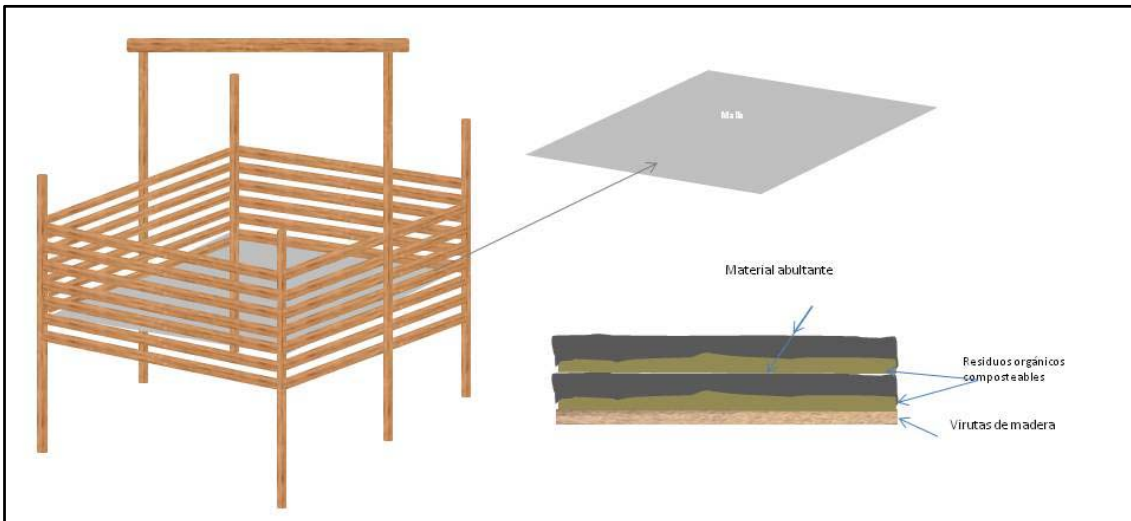


Figura 3.3 Sistema de composteo de cajón,

### Descripción

Este sistema se puede fabricar con materiales de la región, por lo que el costo de fabricación es relativamente bajo; las proporciones varían dependiendo del espacio disponible en el hogar. El fondo de este modelo es de malla, lo cual permite una mayor superficie de contacto entre el material composteable y el oxígeno, a su vez facilita la recolección de la composta.

Se puede agregar un sistema de aeración en el fondo del sistema, pero esto incrementa el costo de operación, y lo que se pretende es presentar un modelo de composteo de bajo costo y fácil operación en los espacios disponibles en el hogar.

Las dimensiones con que se puede construir este modelo son de 60 cm ancho por 60 cm de largo y 45 cm de altura, lo cual lo vuelve muy manejable y tiene una capacidad de 0.162 metros cúbicos, es decir, puede producir suficiente composta como para llenar 10 cubetas de 20 litros.



Este compostero tiene la capacidad de recibir los residuos orgánicos producidos en nuestro hogar hasta por 3 meses, se recomienda tener dos unidades para darle continuidad al sistema.

La base del sistema de cajón tiene una malla fina, se recomienda sea de plástico lo suficientemente fuerte para resistir el peso de la composta y del agente abultante, ya que de usarse mallas de metal estas se oxidarían por acción del ataque de los lixiviados propios de la descomposición.

Además los costados del sistema se forran con tela de mosquitero para evitar que se caigan los residuos orgánicos.

### **Etapas del proceso**

#### **a) Preparación de los residuos orgánicos**

Es importante que los residuos sean picados y homogeneizados previamente para garantizar una composición de la composta más o menos constante, se recomienda hacerlo al momento de generarlos así evitará manipular los residuos cuantos ya hayan iniciado el proceso de descomposición.

#### **b) Llenado del compostero**

El fondo del sistema se rellena con una capa de aproximadamente 2 cm de virutas de madera, mismas que sirven de sustento para los residuos orgánicos; paso seguido se coloca una capa de aproximadamente 2 cm de residuos orgánicos, posteriormente se coloca una capa de agente estructurante (aserrín o tierra). Este ciclo completa una celda en el sistema de composteo.

La periodicidad de estas celdas depende de la cantidad de residuos orgánicos que se generen en nuestro hogar. Generalmente este proceso se realiza cada tres días.

### c) Mezclado

Después de 15 o 20 días es necesario mezclar con una pala de jardín la composta, esto provoca un nuevo aporte de oxígeno a los microorganismos y homogeniza el material.

### d) Maduración

Aproximadamente a los 25 a 30 días empieza a producirse composta, la cual puede ser recolectada por debajo de nuestro compostero (de ahí la importancia de que el fondo del sistema sea de malla), para facilitar esta recolección se puede utilizar una lona formando un ángulo de 45 grados por la parte de abajo del sistema como se muestra en la figura 3.4. Sin embargo esta composta no está lista al 100%, para ello hay que dejar que la composta continúe con el proceso de degradación total de los ácidos grasos volátiles por aproximadamente 10 días más.

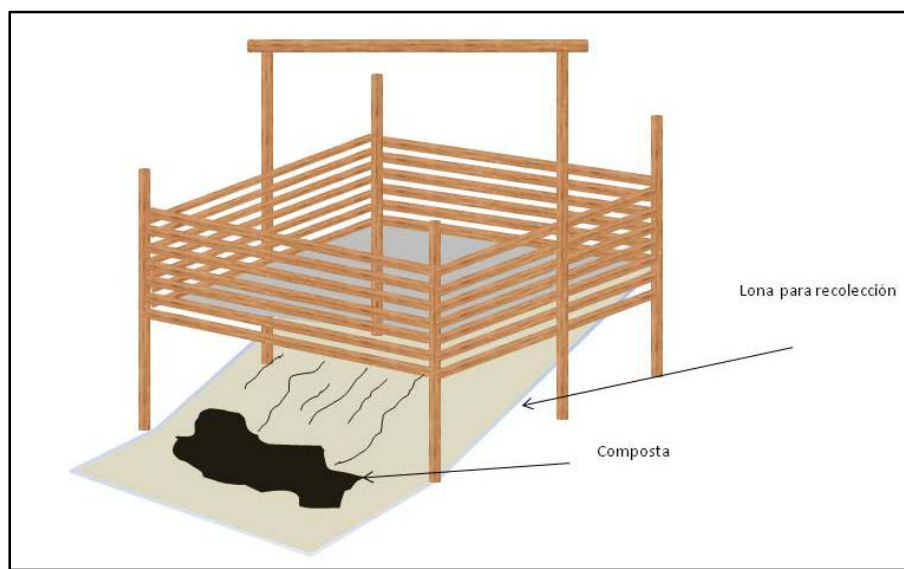


Figura 3.4 Sistema de recolección para la composta

### 3.2.2 Sistemas de composteo anaerobios

Es posible la producción de composta por digestión anaerobia, entendiéndose a esta como “un proceso microbiológico en ausencia total de oxígeno donde la materia orgánica se degrada progresivamente, por una población bacteriana heterogénea, hasta metano, dióxido de carbono y residuo orgánico estabilizado” (Bonmatí, 2008).

La degradación de la materia orgánica por este tipo de sistemas tiene como fin secundario la producción de composta, ya que su principal objetivo es la producción de biogás, este sistema requiere de una mayor inversión por los materiales que se tienen que utilizar en los biodigestores. Además requiere de utilizar grandes volúmenes de residuos, por regla general, cuanto mayor sea la cantidad de materia orgánica utilizada, mayor será la producción de biogás y más rentable económicamente. Esto a la vez lo hace poco viable para establecer un sistema casero como tratamiento de los residuos orgánicos que se producen en nuestro hogar.

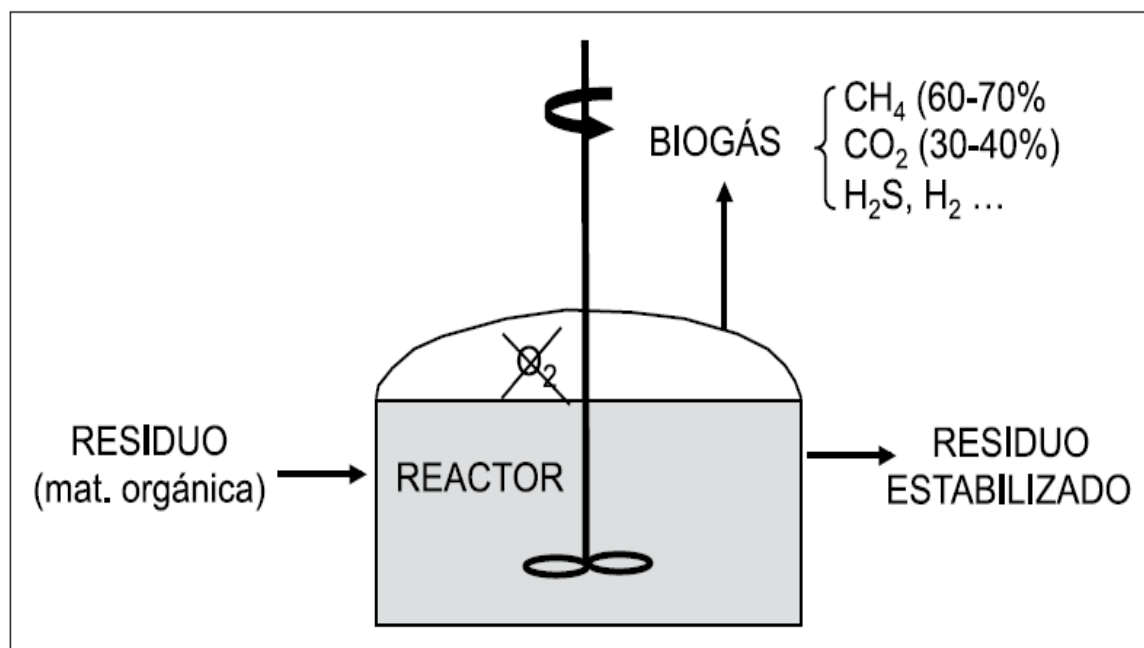


Figura 3.5 Digestión anaerobia. Fuente: Bonmatí, 2008

Este tipo de digestión ocurre de manera espontánea en la naturaleza. Es el responsable del olor característicos de los pantanos (olor a huevo podrido provocado por el ácido sulfhídrico), del gas natural de los yacimientos subterráneos en incluso del gas producido en el estomago de los rumiantes (metano) (Bonmatí, 2008).

### Etapas del proceso

En la digestión anaerobia de los residuos orgánicos, Bonmatí identifica tres etapas completamente diferenciadas: Hidrólisis, acidogénesis y metanogénesis.

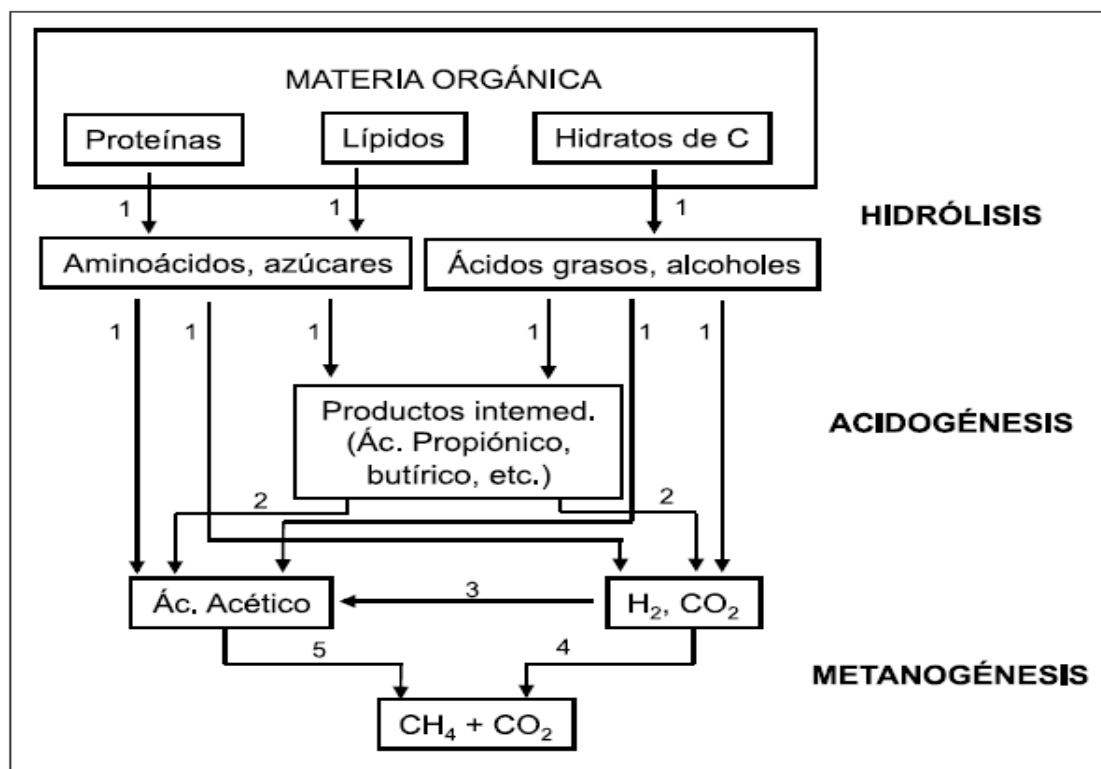


Figura 3.6 Etapas de la digestión anaerobia. Bacterias responsables de la digestión 1) Bacterias hidrolíticas-acidogénicas, 2) Bacterias acetogénicas (productoras de hidrogeno, 3) Bacterias homoacetogénicas (consumidoras de hidrogeno, 4) Bacterias metanogénicas hidrogenófilas, 5) Bacterias metanogénicas acetoclasticas. Fuente: Bonmatí, 2008.



### a) Hidrogénesis

Etapa en la que los polímeros orgánicos complejos son degradadas por un grupo de bacterias facultativas (sobreviven en condiciones aerobias) mediante encima exocelulares: celulasas, lipasas, amilasas, proteasas, etc.

### b) Acidogénesis

La degradación de las sustancias intermedias hasta ácidos grasos de cadenas cortas o volátiles u otros compuestos sencillos como los alcoholes, corre a cargo también de bacterias facultativas. En esta etapa también se forma ácido acético.

### c) Metanogénesis

En esta última etapa se forma el metano, gracias a la actividad de bacterias metanogénicas las cuales son anaerobias estrictas (la presencia de oxígeno inhibe su crecimiento).

El metano en esta etapa se produce a través de dos rutas metabólicas: la acetoclástica, mediante la cual las bacterias producen metano a partir del ácido acético y la hidrogenolítica que lo producen a partir del hidrógeno y del dióxido de carbono.

En este proceso se debe de tomar en cuenta los siguientes factores:

- ⊕ La humedad debe ser mayor a 75% ya que las reacciones metabólicas se desarrollan en medio líquido, al mismo tiempo se asegura una distribución homogénea de nutrientes y microorganismos.
- ⊕ Que el pH tienda a la neutralidad, aunque cada microorganismo tiene un rango de pH óptimo el proceso en general se desarrolla correctamente en un rango tendiente a la neutralidad.
- ⊕ Poder tampón (buffer). El poder tampón se define como la capacidad de un sistema de amortiguar la modificación del pH. La principal sustancia



amortiguadora del pH es el bicarbonato de calcio ( $\text{CaCO}_3$ ), se considera que es suficiente un poder tampón superior a 1.5 gramos de  $\text{CaCO}_3$  por litro.

- ⊕ El potencial de oxido-reducción. Este parámetro es un indicador de la presencia/ausencia de oxígeno. La digestión anaerobia se realiza en un ambiente fuertemente reductor. Los valores óptimos son inferiores a -350 mV aunque el proceso se desarrolla hasta -200 mV.
- ⊕ Nutrientes. Estos dependen de la naturaleza del residuo orgánico que se este tratando, es básico que se encuentren presencia de macronutrientes (K, N, P). La presencia de nitrógeno amoniacal inhibe el crecimiento de bacterias metanogénicas.
- ⊕ Estabilidad, inhibición y toxicidad. Para que la digestión anaerobia se realice de manera adecuada es necesario que los productos que se forman en una etapa, sean degradados en la posterior; una acumulación de ácidos provocaría una inhibición del proceso, asimismo una alta concentración de sustancias tales como: Ácidos grasos volátiles,  $\text{NH}_3$  y  $\text{H}_2\text{S}$ , provocarían inhibición del proceso y toxicidad.
- ⊕ Temperatura. El proceso se puede desarrollar en tres rangos de temperatura: psicrófilo ( $T_{\text{óptima}}=20^\circ\text{C}$ ), mesófilo ( $T_{\text{óptima}}=37^\circ\text{C}$ ) y Termófilo ( $T_{\text{óptima}}=55^\circ\text{C}$ ).
- ⊕ Tiempo de retención. Este parámetro se refiere al tiempo debe permanecer el residuo orgánico dentro del biodigestor hasta alcanzar un estabilidad y cesen las reacciones.
- ⊕ Agitación. La agitación del residuo dentro del reactor permite una mayor área de contacto entre este y los microorganismos. La agitación deber ser suficientemente energética para producir una mezcla homogénea, pero no tan intensa como para romper los agregados bacterianos.



## 4 METODOLOGÍA.

La utilización de las normas oficiales mexicanas fueron la base metodológica para la determinación de:

- ✦ La generación per cápita de los residuos sólidos municipales (por casa habitación y por persona.
- ✦ Caracterizaron de los residuos sólidos municipales y peso de cada uno de los subproductos.
- ✦ Determinación de la fracción biodegradable de los residuos sólidos municipales.

### 4.1 DETERMINACIÓN DE LA GENERACIÓN DE LOS RESIDUOS SÓLIDOS NOM-AA-61-1985. Norma Oficial Mexicana. Protección al Ambiente. Contaminación de Suelo-Residuos Sólidos Municipales-Determinación de Generación.

*Esta norma específica un método para determinar la generación de residuos sólidos municipales a partir de un muestreo estadístico aleatorio.*

Este dato estadístico se debe obtener con base en la generación promedio de residuos sólidos por habitante, medido en kilogramos producidos por habitante por día (Kg/hab-día), a partir de la información se puede obtener de un muestreo estadístico aleatorio en campo, con duración de ocho días para cada uno de los estratos socioeconómicos de la población. A esta etapa se da el nombre de premuestreo.

#### Selección de riesgo “ $\alpha$ ”

Para la elección del riesgo del muestro tomar como base los siguientes factores:

- ✦ Conocimiento de la localidad.





Viabilidad y localización exacta de las zonas donde se aplica el muestreo aleatorio.

✚ Calidad técnica del personal participantes.

Que reciban la instrucción pertinente de las técnicas que se aplican en cada una de las etapas de la determinación de los residuos sólidos municipales.

✚ Factibilidad para realizar el muestreo.

La disponibilidad para que los habitantes de la casa elegida aleatoriamente estén de acuerdo en participar con el proyecto. Se considera un factor de corrección del 30%.

✚ Características de la localidad a muestrear.

Extracto social y número de habitantes por casa.

✚ Exactitud de la báscula por emplear.

Calibrar la báscula para que el error se encuentre de acuerdo a lo permisible, con base en la norma técnica antes referida (para este caso específico 0.02 kg).

### Tamaño de la premuestra “ n ”

- a) A partir del riesgo seleccionado ( $\alpha$ ) adoptar un tamaño de premuestra para cada zona a muestrear, con base en la siguiente tabla:

RIESGO ( $\alpha$ )	TAMAÑO DE PREMUESTRA " "n"
0.05	115
0.10	80
0.20	50

- b) Determinar y ubicar el universo de trabajo, en un plano actualizado de la zona correspondiente al estrato socioeconómico por muestrear.
- c) Contar y numerar en orden progresivo, los elementos del universo de trabajo, para conocer su tamaño.



- d) Con base en el tamaño de la muestra y del universo de trabajo, seleccionar aleatoriamente, los elementos del mismo.
- e) Identificar físicamente los elementos de la muestra en el universo de trabajo, durante el cual se anota con pintura amarilla el número aleatorio correspondiente al elemento, en algún lugar visible de la casa donde se encuentra la habitación.
- f) Realizar el recorrido del universo de trabajo, visitando a los habitantes de las casas seleccionadas para la muestra, con el fin de explicarles la razón del muestreo por realizar, así como para capturar la información general que se indica en la cédula de encuesta de campo y entregar una bolsa de polietileno.
- g) Visitar nuevamente las casas-habitación seleccionadas del universo de trabajo el primer día del periodo en que se realiza el muestreo, aproximadamente a las 7:00 a 10:00 horas, para recoger las bolsas conteniendo los residuos sólidos generados antes de este día. Esto sirve como una "operación de limpieza", para asegurar que el residuo generado después de ella, corresponda a un día.
- h) Simultáneamente con la "operación de limpieza", entregar una nueva bolsa para que se almacenen los residuos generados las siguientes 24 horas; por último, las bolsas ya recogidas conteniendo los residuos se transfieren al sitio donde se realiza la caracterización.

A partir del segundo, hasta el séptimo día del periodo de muestreo, recoger las bolsas conteniendo los residuos generados el día anterior y a su vez entregar una nueva bolsa para almacenar los residuos por generar las siguientes 24 horas.



Anotar en la bolsa conteniendo los residuos generados el número aleatorio correspondiente, con el fin de identificar los elementos de la muestra.

Diariamente, después de recoger los residuos sólidos generados el día anterior, proceder con la caracterización de cada elemento anotando su valor en la cédula de encuesta, en el renglón correspondiente al día en que fue generado.

Recoger al octavo día únicamente las bolsas con los residuos generados el día anterior.

Para obtener el valor de la generación per cápita de residuos sólidos en Kg/hab-día correspondiente a la fecha en que fueron generados dividir el peso de los residuos sólidos entre el número de habitantes de la casa habitación.

$$\text{Generación per capita} = \frac{\text{peso de los desechos generados al día}}{\text{número habitantes de la casa habitación}}$$

### **Evaluación de resultados**

De los siete datos obtenidos de cada casa habitación, durante el periodo del muestreo; calcular el promedio de generación de residuos "per-cápita". De acuerdo con lo anterior, se obtiene una serie de "n" valores promedio, uno por cada casa habitación incluida en la muestra.

Ordenar la información obtenida del punto anterior, de menor a mayor como a continuación se ilustra:

$$X_1 \leq X_2 \leq X_3 \leq \dots \leq X_i \leq \dots \leq X_{n-1} \leq X_n$$

Donde:



$X_i$  = Promedio por casa-habitación, de los valores diarios de la generación de residuos per-cápita, obtenidos durante el periodo de muestreo.

Realizar el análisis de rechazo de observaciones sospechosas, para el cual se emplea el criterio de Dixon, del cual se desprende lo siguiente:

Calcular el valor del estadístico ( $r$ ), para eliminar los datos de acuerdo a las siguientes situaciones:

$$r = \frac{X_n - X_i}{X_n - X_j} \quad \text{Cuando se sospecha del elemento máximo de la premuestra}$$

$$r = \frac{X_j - X_1}{X_i - X_1} \quad \text{Cuando se sospecha del elemento mínimo de la premuestra}$$

Donde:  $X_n$  = Elemento mayor.

$X_1$  = El elemento menor.

$i = n - (j-1)$ .

$j$  = Elemento del muestreo que define el límite inferior del intervalo de sospecha en la cola superior de los datos ya ordenados.

Calcular el valor estadístico permisible ( $r_{1-\alpha/2}$ ) correspondiente al percentil definido por el nivel de confianza establecido y el número de observaciones correspondientes al caso que se trate.

Comparar el valor del estadístico ( $r$ ) con el estadístico permisible ( $r_{1-\alpha/2}$ ) con el fin de rechazar o aceptar la observación sospechosa de acuerdo con el siguiente criterio:

Si  $r > r_{1-\alpha/2}$

Se rechaza la observación sospechosa.

Si  $r < r_{1-\alpha/2}$

Se acepta la observación sospechosa.



Una vez rechazadas o aceptadas las observaciones sospechosas, realizar un análisis estadístico de los "n" valores promedio resultantes para obtener la media de la generación per-cápita diaria de los valores promedio por casa habitación y la desviación estándar de ellos como conjunto de valores, con respecto a la media.

Verificar el tamaño de la premuestra, calculando el tamaño real de la muestra, con base en la desviación estándar de la premuestra, y empleando la distribución "t" de Student.

La determinación del tamaño real de la muestra, se realiza con la siguiente expresión:

$$n_1 = \left( \frac{ts}{E} \right)^2$$

Donde:

$n_1$  = Tamaño real de la muestra.

E = Error muestral en Kg/hab-día, recomendándose emplear un valor comprendido en el siguiente intervalo:  $0.4 \text{ kg hab-día} \leq E \leq 0.07 \text{ kg/hab-día}$

s = Desviación estándar de la premuestra.

t = Percentil de la distribución "t" de Student, correspondiente al nivel de confianza definido por el riesgo empleado en el muestreo.

Sabiendo que (n) es el valor de la premuestra, se puede encontrar las siguientes situaciones: si  $n_1 > n$ , entonces  $n_2 = n_1 - n$ ; por lo tanto  $n_2 > 0$ .

El tamaño de la muestra ( $n_1$ ) resulta ser mayor que el tamaño de la premuestra (n); por lo que se debe obtener en campo las ( $n_2$ ) observaciones faltantes de la misma zona de estudio de donde se obtuvieron las ( $n_1$ ) observaciones de la premuestra, para cumplir con la confiabilidad deseada para el muestreo.



Para este caso se debe realizar un nuevo análisis estadístico, que tome en cuenta tanto a los ( $n_1$ ) elementos de la premuestra, como a los ( $n_2$ ) elementos faltantes para la muestra.

Si  $n = n_1$ , entonces  $n_2 = 0$ .

El tamaño de la muestra ( $n_1$ ) es igual al tamaño de la premuestra ( $n$ ), por lo cual no se requieren más elementos ( $n_2$ ) para considerar válido el muestreo.

Por ello se acepta el análisis estadístico realizado en el punto anterior.

Si  $n_1 < n$ , entonces  $n_2 < 0$ .

En este caso, el tamaño de la premuestra resulta mayor al de la muestra, tomándose dicho valor como el tamaño real de la muestra, por lo que no deben eliminarse los elementos sobrantes de la premuestra, ya que pueden ampliar en un momento dado el nivel de confianza del muestreo. De acuerdo con lo anterior, los estadísticos obtenidos para la premuestra, se consideran válidos también para la muestra, por lo que no hay necesidad de realizar un nuevo análisis estadístico.

Realizar un análisis de confiabilidad, con el fin de poder aceptar o rechazar los estadísticos de la muestra como los parámetros del universo de trabajo, para el nivel de confianza establecido. Esta fase del procedimiento estadístico consiste en realizar una prueba de hipótesis en dos colas, o bien ya sea en la cola izquierda o en la cola derecha de la distribución empleada para este análisis con el fin de definir la media muestral ( $\bar{x}$ ) es igual o diferente de la media población ( $\mu$ ).

Esta fase, consiste en el establecimiento de la hipótesis nula  $H_0$  y de la hipótesis alternativa  $H_1$ .

La hipótesis nula a comprobar o rechazar, es que la media muestral, no difiera de la media poblacional.



$$H_0: \bar{X} = \mu$$

La hipótesis alternativa es lo contrario de la hipótesis nula, es decir:

$$H_1: \bar{X} < \mu$$

En caso de aceptarse la hipótesis nula, se concluye que los estadísticos de la muestra, pueden ser tomados como los parámetros del universo de trabajo.

Si la hipótesis alternativa se acepta, los estadísticos de la muestra no deben ser tomados como los parámetros del universo de trabajo; por lo que es necesario realizar un nuevo muestreo y desechar el analizado.

### **Prueba de la razón de varianza (F)**

Esta prueba se emplea para aceptar o rechazar la siguiente hipótesis:

"La media poblacional estimada para un determinado estrato socioeconómico, es igual a las medias poblacionales estimadas de los demás estratos socioeconómicos en que se subdividió la población muestreada."

Lo anterior es con el fin de poder concluir, que en un momento dado se puede emplear un valor promedio de la generación de residuo per-cápita diario, para todos los estratos socioeconómicos de la población muestreada: sólo en los casos en que la Secretaría de Desarrollo Urbano y Ecología lo considere pertinente, se realizará la prueba de la razón de varianza (F), por lo tanto para un análisis de la información de tipo corriente, no se requiere realizar esta prueba.

La razón (F); se expresa entre dos varianzas poblacionales estimadas independientemente, como sigue:



$$F = \frac{(S_1)^2}{(S_2)^2}$$

Donde el subíndice, indica el número de la muestra y cada  $(s)^2$ , representa la estimación de la varianza poblacional basada en la muestra.

Cuando las dos varianzas poblacionales estimadas sean iguales, la razón (F) debe ser la unidad.

Si (F) no es igual, la diferencia puede ser atribuida al azar (no es significativa), o puede no ser atribuida al azar (es significativa ya sea demasiado grande o demasiado pequeña).

Para tomar tales decisiones, debemos confiar en la distribución del estadístico (F).

De acuerdo con lo anterior, la hipótesis para realizar esta prueba, es que las medias poblacionales normalmente distribuidas, de los estratos socioeconómicos sean iguales.

Cuando combinamos las poblaciones de cada estrato en una única población grande, se espera que la media y la varianza de la población grande ( $\mu, r^2$ ), sean iguales a las de las poblaciones originales de los estratos:

$$\mu = \mu_1 = \mu_2 = \mu_3 : r^2 = r^2_1 = r^2_2 = r^2_3$$

Debe entenderse como "población grande", a la compuesta por las poblaciones de los estratos socioeconómicos muestreados.

La población No. 1, es el universo de trabajo compuesto por el estrato socioeconómico bajo; mientras que la población No.2, corresponde al universo de trabajo definido por el estrato socioeconómico medio, y así sucesivamente con los demás estratos.





El procedimiento seguido para realizar esta prueba, se describe a continuación:

Calcular la varianza entre clases (o entre muestras) con la siguiente expresión:

$$(S_1)^2 = \frac{\sum_{i=1}^m n_i (\bar{x}_i - \bar{x})^2}{m - 1}$$

Donde:

m = Número de muestras.

i = Número de la muestra.

$n_i$  = Tamaño de muestra extraída de la población "i".

$\bar{x}_i$  = Media de los elementos de la muestra "i".

$\bar{x}$  = Media de todos los elementos de la muestra grande.

$\bar{x}_i - \bar{x}$  = Desviación entre la media de la muestra "i" y la media de la muestra grande.

$(\bar{x}_i - \bar{x})^2$  = Cuadrado de la desviación (variación).

Calcular la varianza intra clases (o dentro de las muestras individuales) con la siguiente expresión:

$$(S_1)^2 = \frac{\sum_{i=1}^m \left[ \sum_{j=1}^{n_j} (x_j - x_i)^2 \right]}{r - m}$$

Donde:

i = Número de la muestra.

j = Número del elemento.

$x_j$  = Elementos en la muestra i.

r = Número de elementos de la muestra grande.

Para realizar esta prueba, se emplea la distribución "F" de Fisher.

Sólo en el caso que la diferencia se deba al azar, se trabaja con una generación per cápita promedio, para todos los estratos socioeconómicos analizados.



## **4.2 Selección y cuantificación de los Subproductos**

*NOM-AA-22-1985. Norma Oficial de Mexicana. Protección al ambiente. Contaminación del Suelo-Residuos Sólidos Municipales-Selección y Cuantificación de Subproductos.*

*Para desarrollar este método es necesario aplicar a los residuos sólidos municipales el método del cuarteo, mismo que sirve para obtener los residuos que se utilizan para caracterización de los residuos.*

### **Método del Cuarteo para la obtención de especímenes para su análisis en laboratorio.**

*NOM-AA-15-1985. Norma Oficial Mexicana. Protección al Ambiente. Residuos Sólidos Municipales Muestreo- Método de Cuarteo.*

Aplicar este método para determinar cuánto y qué se produce en los residuos sólidos municipales, el cual se describe a continuación:

Depositar el contenido de las bolsas recolectadas durante el día en el área de estudio en un área de cuatro metros por cuatro metros y revolver con una pala hasta homogeneizarlos; posteriormente dividir en cuatro partes aproximadamente iguales (A, B, C, y D como se muestra en la figura 4.1), de las cuales se eliminan dos partes opuestas (A y C ó B y D). Las partes que se eliminan se utilizan, de acuerdo a la norma oficial mexicana NOM-AA-19, para *determinar* el peso volumétrico *in situ*. Las dos partes que no se desechan se unen y se vuelven a homogenizar para nuevamente separarlos en cuatro partes (A', B', C' y D'), de las cuales se eliminan las dos contrarias ( A' y C' ó B' y D') y así sucesivamente hasta obtener aproximadamente 50 kilogramos, mismos a los que, de acuerdo con la Norma Mexicana NOM-AA-22, se les clasifica en subproductos para su caracterización.

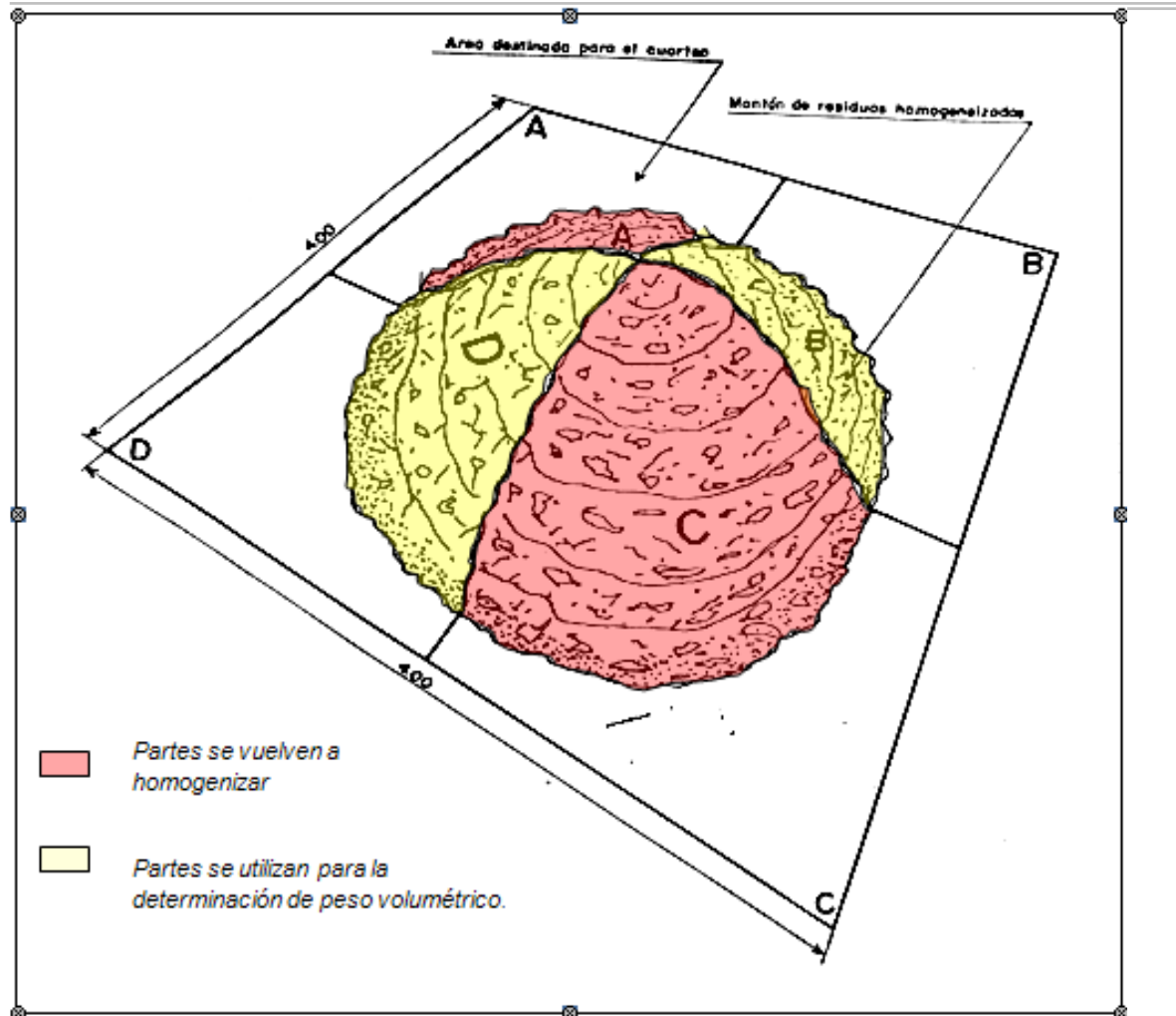


Figura 4.1. Método del cuarteo para la caracterización y obtención de muestras de los residuos sólidos municipales.

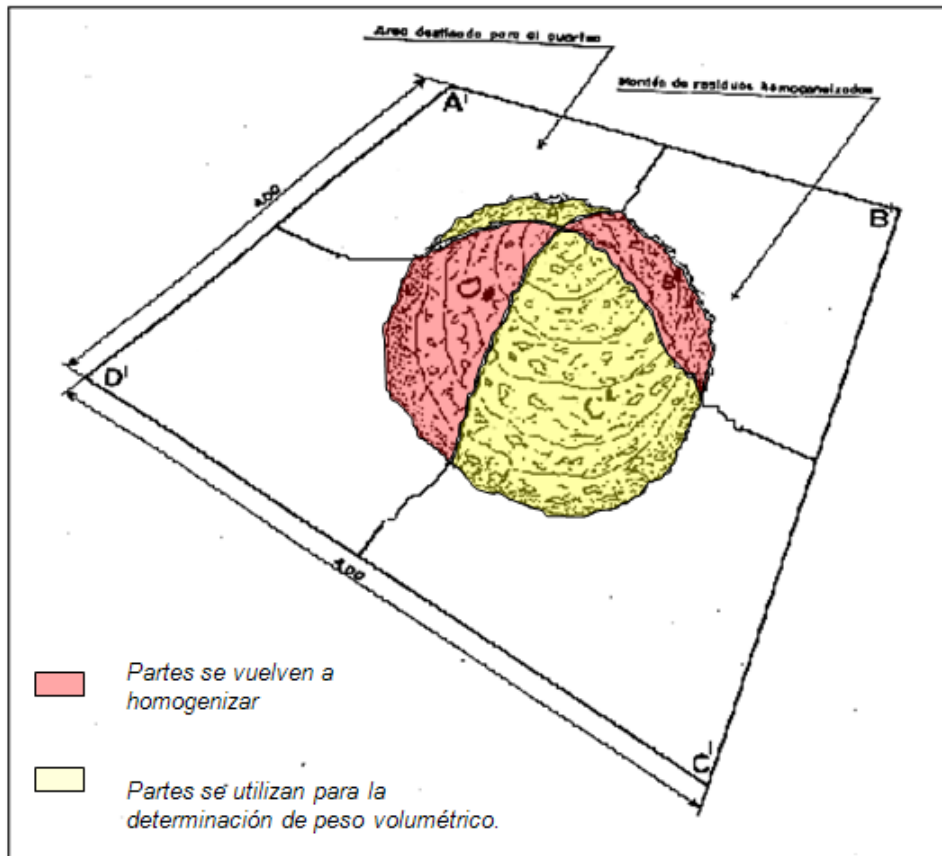


Figura 4.2 Método del cuarteo, eliminación-selección cruzada de los residuos sólidos.

Una vez obtenidas las muestras generadas en el método del cuarteo, se puede proseguir con la metodología para la determinación la generación per cápita, tal y como se describe a continuación:

La metodología para la selección y cuantificación se describe a continuación:

#### a) Selección de los residuos sólidos

Extraer una muestra como se establece en la norma oficial mexicana de protección al ambiente NOM-AA-15-1985 (método del cuarteo), tomar como mínimo 50 Kg; se seleccionan los subproductos depositándolos en bolsas de polietileno hasta agotarlos de acuerdo con la siguiente clasificación:



- Algodón	- Lata
- Cartón	- Loza y cerámica
- Cuero	- Madera
- Residuo fino (todo material que pasa la criba malla 2.00)	- Material para construcción
- Envase de cartón encerado	- Material Ferroso
- Fibra dura vegetal	- Papel
- fibras sintéticas	- Pañal desechable
- Hueso	- Plástico rígido y de película
- Hule	- Poliuretano
- Polietileno expandido	- Residuos alimenticios
- Residuos de jardinería	- trapo
- vidrio de color	- vidrio transparente
- Otros	

### **b) cuantificación de los Residuos Sólidos**

Para esta etapa tomar los subproductos ya clasificados y pesarlos por separado en una balanza granataria.

El porcentaje del peso de cada subproducto se calcula con la siguiente expresión:

$$Ps = \frac{G_1}{G} \times 100$$

Donde: Ps = Porcentaje del subproducto considerado.

G1 = Peso del subproducto considerado en Kg. descontando el peso de la bolsa usada.

G = Peso total de la muestra (mínimo 50 Kg.)



El resultado obtenido al sumar los diferentes porcentajes, debe ser como mínimo el 98 % del peso total de la muestra (G), en caso contrario, se debe de repetir la determinación.

Cabe hacer mención que este mismo método servirá para determinar la fracción biodegradable de los Residuos Sólidos Municipales susceptible a la aplicación del composteo.



## 5. RESULTADOS

### 5.1 Resultado de la determinación de la generación de los residuos sólidos con muestreo aleatorio

#### 5.1.1 Resultados del Premuestreo

El premuestreo se realizó con la finalidad de determinar el tamaño de muestra real que se usó en el presente trabajo para tener un grado de confiabilidad mayor en los resultados del estudio. Las actividades que se realizaron en el premuestreo son:

1 - Censo de casas habitación en cada estrato socioeconómico establecido Este censo se realizó para el estudio de generación pues este, tiene una relación directa entre el número de habitantes por casa y cantidad de basura generada.

El censo consistió en contar el número de casas habitación que existen en las zonas de muestreo, de esta forma mediante el promedio de 5.3 hab/casa resultado del censo para el premuestreo como se muestra en la table 5.1, estos datos nos permitieron calcular el promedio de basura generada por habitante en la ciudad.

2. Sensibilización de las personas de cada estrato, para obtener su participación durante el período de muestreo. Consistió en determinar mediante una table de números aleatorios las casas en las que se efectuó el estudio para visitar a los dueños y solicitarles su colaboración en el estudio explicando el motivo del mismo.

Una vez que las personas aceptaron participar se les tomó los siguientes datos: nombre, dirección y número de habitantes en la casa. Posteriormente se les entregó una bolsa de polietileno en la que depositaron la basura producida durante ese día.



Durante el periodo de premuestreo se entregaron un total de 844 bolsas recolectando 531 muestras, por lo que se obtuvo un 68.84% de participación ciudadana (tabla 5.1):

*Tabla 5. 1 Porcentaje de participación ciudadana registrado en cada una de las zonas de estudio durante el premuestreo.*

Zona	Bolsas entregadas	Muestras recogidas	% Participación ciudadana
I (zona habitacional alta)	252	134	73.02
II (zona habitacional media)	240	163	67.92
III (zona habitacional baja)	352	234	66.48
Total	844	531	68.84

3. Período de premuestreo. Este periodo tuvo una duración de 8 días continuos y consistió en la recolecta de la basura generada diariamente en las casas participantes en el estudio.

El primer día de este periodo no se tomó en cuenta la basura recolectada debido a que esta pudo haberse generado en días anteriores al estudio, en los días posteriores la basura se recolectó y se entregó una bolsa de polietileno para almacenar la basura del siguiente día. La basura recolectada se transportó en camionetas hasta las instalaciones del laboratorio de la Universidad para su análisis.

En el premuestreo se consiguió la participación de 1,114 personas de un total de 208 casas muestreadas en las tres zonas de estudio.





Tabla 5.2 Distribución de las personas participantes en el muestreo de acuerdo a la zona de estudio

Zona	Total de habitantes	Total de casas	Promedio de habitantes/ casa
I (zona habitacional alta)	321	63	5.1
II (zona habitacional media)	305	58	5.3
III (zona habitacional baja)	488	87	5.6
Total	1,114	208	5.3

El análisis estadístico de los datos obtenidos en el muestreo, de acuerdo al criterio de la NOM-AA-61, determinó que la generación per cápita de residuos sólidos promedio generada en la ciudad de Chetumal es de 0.82 Kg/hab/día (tabla 5.3). Este dato debe ser corregido al realizar el tratamiento estadístico para el tamaño real de la muestra, pero nos da un primer acercamiento a la generación per cápita.

Tabla 5.3. Generación percapita obtenida en cada zona de estudio durante el Muestreo.

Zona	Generación percapita(Kg/hab/día)
I	1.043
II	0.840
III	0.578
TOTAL	0.82

Con el criterio de la norma NOM-AA-61, también se obtuvo el tamaño de muestra aplicada para el estudio de generación que represente adecuadamente a la población que existe en la ciudad, la confiabilidad del muestreo y el riesgo del muestreo por zona (tabla 5.4).



Tabla 5.4. Confiabilidad y riesgo obtenidos por zona de estudio durante el premuestreo

	ZONA I	ZONA II	ZONA III
Confiabilidad del muestreo	80%	80%	80%
Riesgo del muestreo	0.20	0.20	0.20

El seleccionar un riesgo de 0.20 para realizar el muestreo se eligió en base a factores tales como: conocimiento de la localidad, calidad técnica del personal participante, factibilidad para realizar el muestreo, características de la localidad a muestrear y exactitud de la báscula utilizada. De esta forma obtenemos que el tamaño de muestra real equivale a 1307 muestras. Los datos para cada zona se presentan en la tabla 5.5.

Tabla 5.5. Principales características de 'las zonas de estudio, durante el premuestreo realizado para el estudio de generación en la ciudad de Chetumal, Quintana Roo.

zona	I	II	III
Estrato socioeconómico	Popular alta	Popular media	Popular baja
Densidad poblacional	150-250 hab/ha	121-150 hab/ha	81-121 hab/ha
Nivel de confianza	90%	90%	90%
Tamaño de premuestra	63	58	87
Tamaño de muestra real	709	476	122

### 5.1.2 Resultado del muestreo.

El muestreo se realizó en base al tamaño de muestra real obtenida durante el premuestreo, en ésta se indica que el número de muestras representativas para la población existente en la ciudad es de 1,307 muestras este número fue rebasado en el muestreo pues se colectaron un total de 1,548 muestras, sin embargo; la distribución de muestras y días de muestreo por zona fueron modificados, pues el muestreo se tuvo que adecuar a los recursos materiales y humanos que se tenían para llevarlo a cabo.



Las condiciones generales en las que se realizó el muestreo incluyendo la distribución por zonas se presentan en la tabla 5.6.

Tabla 5.6 Principales características de las zonas de estudio durante el muestreo para el estudio de generación en la ciudad de Chetumal, Quintana Roo.

zona	I	II	III
Estrato socioeconómico	Popular alta	Popular media	Popular baja
Densidad poblacional	150-250 hab/ha	121-150 hab/ha	81-121 hab/ha
Nivel de confianza	90%	90%	90%
Periodo de muestreo (días)	6	6	6
Tamaño de muestra real	709	746	122
Tamaño de muestra	600	528	420

En el muestreo se contemplo la participación de un total de 1,280 habitantes de 258 casas, su distribución se muestra en la tabla 5.7.

Tabla 5.7. Distribución de los habitantes y casas habitación por zona de estudio.

Zona	Total de habitantes	Total de casas	Promedio hab/casa
I	501	100	5.01
II	434	88	4.93
III	345	70	4.92
Total	1,280	258	4.95

El porcentaje de participación ciudadana en el muestreo fue de 65.33%, pues se entregaron en total de 1548 bolsas y de estas se recogieron 1008 muestras (tabla 5.8).

Tabla 5.8. Determinación del porcentaje de la participación ciudadana.

Zona	Bolsas entregadas	Muestras recogidas	% De participación ciudadana
I	600	366	61%
II	528	368	70%
III	420	247	65%
Total	1,548	1,008	65.3%



El total de habitantes participantes en el muestreo fue de 836 tomando en cuenta el número de habitantes por casas muestreadas y en base a un porcentaje de participación ciudadana de 65.3%. La distribución de la población participante en cada zona se muestra en la tabla 5.9.

Tabla 5.9. Relación del total de habitantes contemplados en el muestreo y del total de habitantes participantes, en base al porcentaje de participación ciudadana.

Zona	Total de habitantes	%De participación ciudadana	Total de habitantes participantes
I	501	61	306
II	434	70	303
III	345	65	224
Total	1280	65.3	836

### 5.1.3 Generación per cápita

La generación per cápita promedio de residuos sólidos, se obtuvo aplicando el criterio de la norma NOM-AA-61-1985, cabe hacer mención que durante el Muestreo solo se colectaron los residuos de casas habitación por lo que los residuos industriales y comerciales no se representan en el estudio (tabla 5.10).

Tabla 5.10. Generación percapita de residuos sólidos en casas habitación por zonas de estudio y generación percapita promedio

	ZONA I	ZONA II	ZONA III	TOTAL
Media Kg./hab/día	0.956	0.674	0.729	0.787
Varianza	0.021	0.0147	0.028	0.022
Desviación estándar	0.149	0.121	0.167	0.147

La media total obtenida en el muestreo fue de **0.787 kg/hab/día**, si consideramos que la población actual de Chetumal es de 136,196 habitantes, nos da, un total de **107,186.6 Kg.** de residuos sólidos generados al día en la ciudad.



Este valor se encuentra por debajo del esperado en la hipótesis (0.938 a 1.108 kg/hab/día).

## 5.2 Resultados de la caracterización de los subproductos

Al realizar la caracterización de subproductos mediante el criterio de la norma NOM-AA-22-1985 (tabla 5.11), se observó que los desechos sólidos municipales se componen de los siguientes subproductos:

Tabla 5.11 Caracterización de los residuos sólidos municipales en Chetumal Quintana Roo.

N°	SUBPRODUCTOS	PESO EN KG	% EN PESO
1	aluminio	0.001	8.66 <sup>-04</sup>
2	cartón	2.48	2.15
3	Cuero y zapatos	1.07	0.92
5	Tetra Pack	0.84	0.73
6	hueso	0.36	0.31
7	lata	1.65	1.43
8	Losa y cerámica	0.18	0.15
9	madera	1.18	1.03
10	Material ferroso	1.63	1.41
11	papel	2.37	2.05
12	Papel sanitario	3.13	2.71
13	Pañal desechable	3.9	3.38
14	Plástico metalizado	0.1	0.08
15	Plástico de película	3.49	3.02
16	Plástico rígido	3.67	3.18
17	poliuretano	0.23	0.20
18	otros	8.77	7.59
19	Residuos alimenticios	22.76	19.72
20	Residuo fino	23.22	20.12
21	Residuos de jardinería	26.15	22.66
22	trapo	2.57	2.22
23	vidrio	5.68	4.92
	Total	115.41	100

Entre los residuos no orgánicos con potencial de reciclaje o reuso encontramos que el vidrio es el de mayor porcentaje con un 4.92%, seguido del plástico rígido de 3.18% y el plástico de película con 3.02% (tabla 5.12). Otros subproductos no



orgánicos generados en un porcentaje considerable son los pañales desechables y el papel sanitario, estos no pueden reciclarse por lo que tienen que ser depositados en un lugar adecuado como el relleno sanitario, mediante su previo tratamiento.

*Tabla 5.12. Subproductos inorgánicos generados en la ciudad en orden de mayor a menor importancia se muestran a continuación*

N°	Subproductos	Peso en kg	% en peso
1	Vidrio	5.68	4.92
2	Pañal desechable	3.9	3.38
3	Plástico rígido	3.67	3.18
4	Plástico de película	3.49	3.02
5	Trapo	2.57	2.22
6	Lata	1.65	1.43
7	Material ferroso	1.63	1.41
8	Cuero y zapatos	1.07	0.92
9	Tetra Pack	0.84	0.73
10	Poliuretano	0.23	0.20
11	Losa cerámica	0.18	0.15

Una vez realizada la caracterización se puede obtener la cantidad de cada subproducto en una tonelada para extrapolar esto a la generación diaria de la ciudad.



Tabla 5.13. Generación de subproductos por tonelada y por cantidad generada a día en la ciudad de Chetumal, Quintana Roo.

Subproducto	Caracterización por tonelada(kg./ton)	Caracterización por día (kg.). Pob. 136,825 hab.
Aluminio	0.01	0.95
Cartón	21	2,029
Cuero y zapatos	9	874
Tetra Pack	7	687
Hueso	3	295
Lata	14	1,348
Losa cerámica	2	147
Madera	10	969
Material ferroso	14	1,336
Papel	20	1,936
Papel sanitario	27	2,564
Pañal desechable	34	3,195
Plástico metalizado	1	81
Plástico de película	30	2,853
Plástico rígido	32	3,003
Poliuretano	2	190
Otros	76	7,179
Residuos alimenticios	197	18,630
Residuo fino	201	19,011
Residuos de jardinería	227	21,409
Trapo	22	2,100
Vidrio	49	4,652

### 5.3 Fracción biodegradable susceptible a composteo

Se puede observar que los residuos producidos en mayor porcentaje son: Residuos de jardinería el cual equivale al 22.66%, Residuo fino (residuo que pasa por la criba M 2.00) con un 20.12%, y Residuos alimenticios con un 19.72%. Por lo tanto podemos decir que los residuos sólidos producidos en mayor porcentaje en la ciudad están representados por desechos de tipo orgánico (tabla 5.14).



Tabla 5.14. Subproductos orgánicos generados en la ciudad, en un orden de mayor a menor importancia

N°	Subproductos	Peso en kg	% en peso
1	Residuos de la jardinería	26.15	22.66
2	Residuo fino	23.22	20.12
3	Residuos alimenticios	22.76	19.72
4	Papel sanitario	3.13	2.71
5	cartón	2.48	2.15
6	papel	2.37	2.05
7	Madera	1.18	1.03
8	hueso	0.36	0.31

Cabe señalar que la fracción biodegradable susceptible a composteo se compone por los residuos de jardinería, Residuo fino y los residuos alimenticios los cuales representan el 62.5% de los desechos que se generan de manera diaria. Si consideramos que de manera diaria se generan 107,186.6 Kg de residuos sólidos de manera diaria en Chetumal, podemos deducir que **66,991.6 kg** corresponden a la fracción orgánica susceptible a composteo. La segunda parte de la hipótesis se confirma al comprobarse que, como se esperaba, los residuos orgánicos resultaron encontrarse en mayor proporción en los residuos sólidos municipales.

Es por demás evidente que, de cada hogar instalase un pequeño sistema de composteo o existir una planta para tal fin, se lograría reducir la generación de los residuos sólidos municipales de 107 toneladas a tan solo 40 toneladas diarias aproximadamente; y con ello los beneficios tanto para las autoridades municipales (aumento del tiempo de vida del sitio de disposición final) como para los ciudadanos, por ejemplo, disposición de abono orgánico para cultivo de hortalizas en los hogares y por qué no la producción de abono orgánico para la venta.





## CONCLUSIONES

1. La generación obtenida es de 0.787 kg/habldía, valor típico, que se encuentra dentro del promedio de generación obtenido para diferentes ciudades del país, como son: Campeche 0.634 kg/habldía; Cancún 1.493 kg/habldía; Mérida 1.275 kg/habldía y Distrito Federal 1.35 kg/habldía.
2. La composición de los residuos también se encuentra dentro del rango de valores reportados para otras ciudades del país, con una gran cantidad de fracción orgánica (62.5%).
3. Al ordenar los residuos sólidos que se producen en Chetumal de mayor a menor peso:  
Poliuretano: 7,179 kg al día; vidrio: 4,652 kg/día; plástico rígido: 3,003 kg/día; plástico de película: 2,853 kg/día; latas y materiales ferrosos: 2,684 kg/día; cartón 2,029 kg/día y papel: 1,936 kg/día.
4. Beneficios de la recuperación y aprovechamiento de subproductos:
  - Reintegración de los subproductos al ciclo productivo, logrando un ahorro de recursos naturales renovables y no renovables.
  - Se evita en parte la explotación de los recursos naturales vírgenes.
  - Se obtiene un ahorro de energía utilizada en el proceso de transformación.
  - Disminución de volumen y costos en el manejo desde la generación, transportación y disposición final.
5. Para que el manejo de los residuos sólidos funcione de manera óptima se deben de tomar en cuenta estos tres factores: separación, recolección, y educación. El servicio de recolección debe realizarse de manera paralela a un programa de sensibilización y educación que promueva la separación de la basura y sus beneficios. Resulta bastante desalentador haber separado la basura y ver como se vuelve a mezclar en el camión recolectora por otra parte, no es viable que la comunidad realice la separación de la basura si el servicio de recolección es deficiente, nulo o inconstante. Un buen servicio de recolección de residuos separados o el establecimiento de centros de acopio para recibir residuos separados resulta una acción infructuosa



cuando no hay una buena participación ciudadana, por cualquiera de los siguientes motivos: apatía o desinterés, ignorancia o poca cultura ambiental.

6. Promover la creación e instalación de microindustrias para el mercado de reciclado, ya que actualmente las condiciones son incipientes en Chetumal.
7. Fomentar la participación ciudadana en actividades de protección ambiental mediante las siguientes acciones:
  - Programa de talleres de reciclado
  - Pláticas de información
  - Propaganda a través de medios masivos de comunicación Establecimiento de incentivos para la separación de basura
  - Establecimiento de centros de acopio escolares
8. La separación de la basura en la fuente misma de su generación debe de considerarse como una prioridad para reducir costos y volúmenes a manejar; permitiendo aprovechar y reciclar subproductos.
9. Implementar programas de separación mediante incentivos y gratificaciones, por ejemplo, descuentos del impuesto predial.
10. Equipamiento del servicio de recolección para residuos separados.



## 7 RECOMENDACIONES

1. Las autoridades municipales deben de planificar un relleno sanitario con todas las características técnicas de diseño y operación marcadas NOM-083-SEMARNAT-2006, basándose en los resultados de la generación del presente trabajo, podrían hacer una proyección para calcular el tiempo de vida del relleno sanitario.
2. Se deben establecer planes de separación de los residuos sólidos acordes con los planes de reciclamiento de los mismos, ya que resulta frustrante para el ciudadano hacer un esfuerzo por separar los residuos y ver que son recolectados por los mismos camiones y que, con seguridad van a parar al mismo sitio de disposición final.
3. En esta tesis se ha demostrado que los residuos sólidos municipales tienen una composición elevada de residuos orgánicos, y como se encuentra dispuesto en los mismos reglamentos municipales, se debe de construir una planta para el composteo de los mismos, en su defecto dar facilidades administrativas para que un concesionario la construya y la maneje. Si esto no fuese posible queda todavía una alternativa, la cual ya fue planteada con antelación en este trabajo, el gobierno municipal debe de crear un programa de educación ambiental para que los propios ciudadanos construyan pequeñas unidades de composteo, con ello eliminaría los residuos orgánicos desde la fuente generadora. El modelo de compostero de cajón presentado en este trabajo es eficaz para el manejo de pequeños volúmenes de desechos orgánicos, a pesar de las pequeñas dimensiones (60 cm x 60 cm x 45 cm), resulta suficiente para el manejo de los residuos generados en un hogar hasta por 3 meses.



## BIBLIOGRAFÍA

AMCRESPAC, 1993, Asociación Mexicana para el control de los residuos sólidos y peligrosos, A.C. Bosquejo Histórico de los residuos sólidos de la Ciudad de México, México, D.F.

Bonmati A., 2008. Gestión y tratamiento de los residuos sólidos urbanos, consultado en:  
[http://www.creaf.uab.es/propies/pilar/LibroRiesgos/09\\_Cap%C3%ADtulo8.pdf](http://www.creaf.uab.es/propies/pilar/LibroRiesgos/09_Cap%C3%ADtulo8.pdf).

Careaga, Lorena 1997. *Quintana Roo: Monografía estatal*. Ciudad de México: Secretaría de Educación Pública. ISBN 968-29-6119-X.

Caso, D. ,1986. La basura es la solución. Editorial concepto, México.

Chargoy, 2002. Tesis: Análisis del contenido de nutrientes en compostas elaborados con residuos orgánicos municipales.

INEGI, 2005 Censo Estatal de Población y Vivienda 1995, INEGI, México.

Kreith, F., 1994, Handbook of Solid Waste Management, McGraw-Hill, México.

Landreth, R., 1996, Municipal Solid Waste, Levís Publishers, USA.

López G. y Pereira M., 1980, Eliminación de Residuos Sólidos Urbanos, Editores Técnicos Asociados, Barcelona, España.

Lund, H., 1993, The McGraw-Hill Recycling Handbook, McGraw-Hill, USA.

Manser y Keeling, 1996, Practica Handbook of Processing and Recyciing Municipal Waste, Levvis Publiserhs, USA.



Monreal, Julio, 1998. Gestión de Residuos Sólidos. OEA-CIID, Presentado en la mesa redonda del Sector de Manejo de Residuos Sólidos en Salvador, Bahía, Brasil, del 27 al 30 de septiembre de 1998.

Norma Oficial Mexicana PROY-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. D.O.F. 10 de octubre de 2003

Rhyner, R.; Schuwartz, L.; Wenger, R.; Kohrell, M., 1995, McGraw Hill, Waste Management and Resource Recovery, México.

SEDESOL, 2001. Manual Técnico Administrativo para el Servicio de Limpia municipal.

SEMARNAT, 2006. Guía para la elaboración de programas municipales para la prevención y gestión integral de los residuos sólidos urbanos.

Tchobanoglous, G.; Theisen; Vigil, S., 1994, Gestión Integral de Residuos Sólidos, Volumen 1 Y li, McGraw-Hill, España.

Tchobanoglous, G.; Theisen; Vigil, S., 1993, Integrated Solid Waste Management Issues, McGraw-Hill, México.



Páginas Web consultadas:

<http://www.monografias.com/trabajos61/reciclaje>

<http://mx.geocities.com/itovladimir/index.htm>

<http://www.ine.gob.mx/ueajei/publicaciones/gacetas/381/volke.html>

<http://www.fortunecity.es/expertos/profesor/171/residuos.html>

<http://www.opb.gob.mx/programas/separacion/index.html>

<http://elprofe.iespana.es/guias.htm>.

<http://www.monografias.com/trabajos61/reciclaje/reciclaje5.shtml>

<http://www.sedesol.gob.mx/archivos/802165/file/documentos/ManualTecnico sobre GeneracionRecoleccion.pdf>

<http://coepa.net/guias/reutilizacion-de-residuos-inertes/>



## ANEXOS

<b>Anexo 1.</b> Compostero de cajón	.....	87
<b>Anexo 2.</b> Preparación de las celdas del compostero	.....	87
<b>Anexo 3.</b> Se cubren los desechos con material abultante	.....	88
<b>Anexo 4.</b> Composta	.....	88
<b>Anexo 5.</b> Envasado de composta para venta	.....	89
<b>Anexo 5.</b> Ubicación de las zonas de muestreo	.....	90



Anexo 1. Compostero de cajón



Anexo 2. Preparación de las celdas del compostero.





Anexo 3. Se cubren los desechos con material abultante



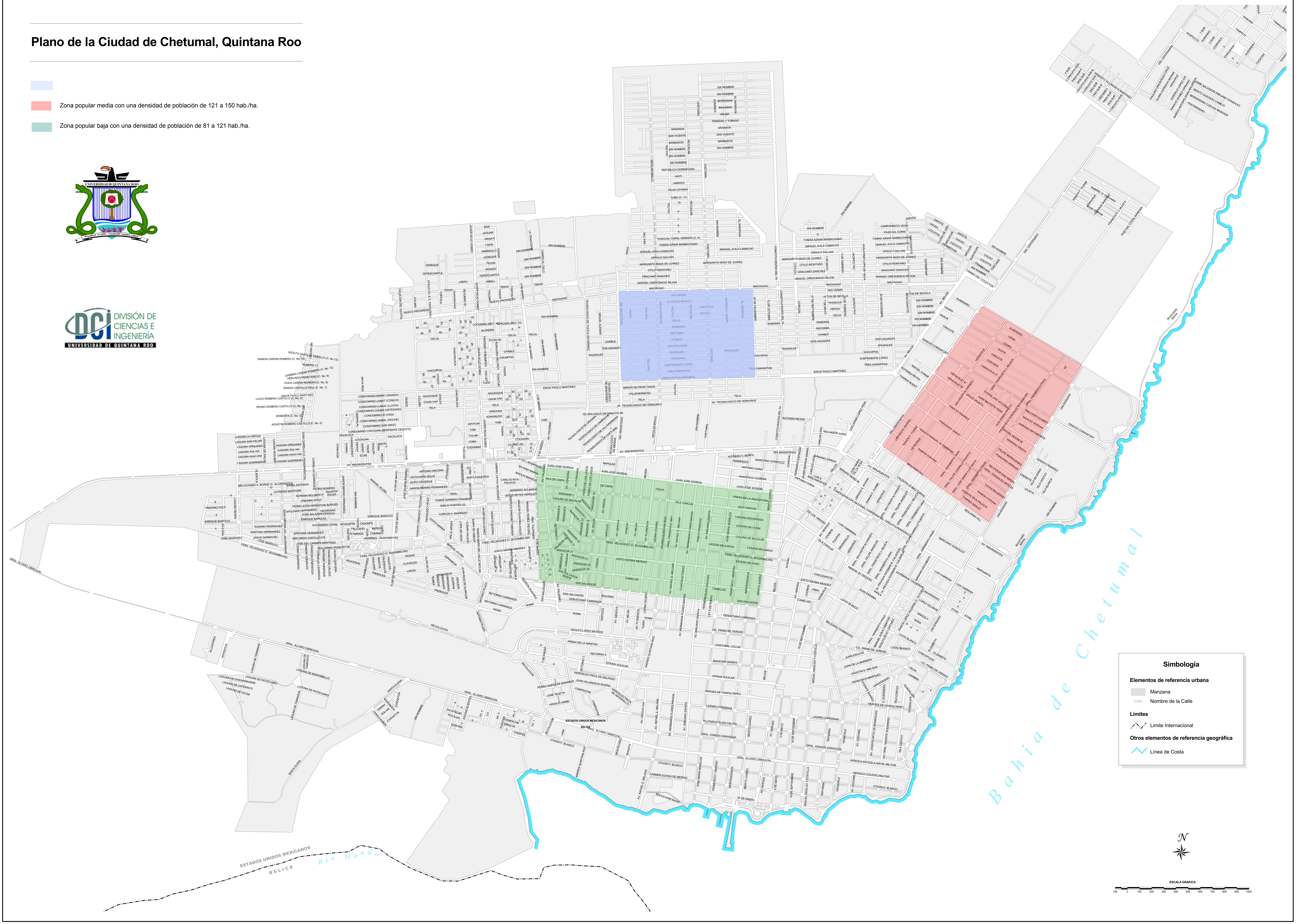
Anexo 4. Composta.



Anexo 5. Composta envasada para su venta

# Plano de la Ciudad de Chetumal, Quintana Roo

- Zona popular media con una densidad de población de 121 a 150 hab./ha.
- Zona popular baja con una densidad de población de 81 a 121 hab./ha.



**Simbología**

**Elementos de referencia urbana**

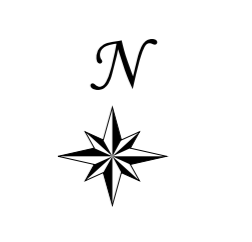
- Manzana
- COBA Nombre de la Calle

**Límites**

- Limite Internacional

**Otros elementos de referencia geográfica**

- Línea de Costa



ESCALA GRÁFICA  
 0 100 200 300 400 500 600 700 800 900 1000