



**Universidad Nacional Autónoma de México**

---

**Facultad de Ingeniería**

**“Propuesta de alternativas de mejora  
en el almacenamiento y recolección de  
residuos sólidos urbanos en Ocotla”**

**T E S I S A**  
Que para obtener el título de  
**Ingeniería Industrial**  
**P R E S E N T A**

**Xochitl Adriana Infante Cos**



**México, D.F.**

**2010**

## **AGRADECIMIENTOS**

**A mis padres**, porque a ellos les debo cada uno de los triunfos y las sonrisas de mi vida. Gracias por tener la paciencia ante mis malos días y por todo el apoyo a lo largo de todos estos años. Los amo.

**A mi hermano**, que más que eso, es mi mejor amigo. Gracias por encaminarme al mundo de los ingenieros y por decir las palabras necesarias en los momentos precisos.

**A mis mejores amigos**, ustedes hicieron que todo este trabajo fuera más sencillo. Gracias por todos los consejos, los buenos y los malos ratos, las tareas, las eternas horas de estudio, las fiestas, las risas y una que otra lágrima. Gracias por ser la mejor familia que pude escoger. Este logro también es suyo, disfrútenlo como tal.

**A mi prima, mi ángel y mi nuevo motor de vida. Para Inn y la familia De Alba Cos.** Para quien empezó este viaje y aunque no lo pudo terminar, estoy segura lo está disfrutando ahora conmigo. Este es uno más de muchos logros que celebraremos juntas. Por lo que fuiste, por lo que eres y lo que siempre serás. Gracias.

**A mis sinodales y maestros**, por todos sus conocimientos, su apoyo, paciencia y tiempo, pero más que nada por su amistad.

**A Dios.** Por darme la vida y salud para cumplir con un sueño.

	<b>Página</b>
<b>Capítulo 1. Introducción</b>	<b>2</b>
1.1 Objetivo	2
1.2 Marco de referencia	2
<b>Capítulo 2. Sistemas ambientales</b>	<b>5</b>
2.1 Sistemas	5
2.2 Sistema de manejo de RSU	7
2.2.1 Generación y almacenamiento in situ y temporal	
2.2.2 Recolección y transporte	
2.2.3 Transferencia, tratamiento y disposición final	
2.3 Sistema de manejo integral	18
2.3.1 Programa de separación de residuos sólidos urbanos	
<b>Capítulo 3. Sistema de almacenamiento temporal, barrido y recolección</b>	<b>22</b>
3.1 Barrido	22
3.2 Recolección domiciliaria	24
3.2.1 Contenedores fijos y móviles (almacenamiento temporal)	
3.2.2 Frecuencia de recolección	
3.2.3. Macro y micro rutas	
<b>Capítulo 4: Caso práctico: Ocotla</b>	<b>34</b>
4.1 Diagnóstico ambiental	35
4.2 Propuestas	41
4.2.1 Reducción de generación de RSU	
4.2.2 Separación domiciliaria	
4.2.3 Composta casera	
4.2.4 Contenedores en vía pública	
4.2.5 Servicio de barrido	
4.3 Propuesta de implantación	52
<b>Capítulo 5: Conclusiones y recomendaciones</b>	<b>54</b>
<b>Referencias</b>	<b>57</b>

## **Capítulo 1. Introducción**

En los últimos años se ha observado un crecimiento en la generación de Residuos Sólidos Urbanos (RSU). En la década de 1950, en México se producían 300 gramos de residuos por habitante diariamente, en el año 2000 cada habitante generaba en promedio 853 gramos (Sancho y Rosiles, 2000). Este aumento es aún más grave en los centros urbanos; en el Distrito Federal, existe una generación de 1.4 kg/hab-día (Partido Verde, 2009).

La Norma Oficial Mexicana NOM-083-SEMARNAT-2003 especifica las características que se requieren en un sitio de disposición final, no obstante en México la mayoría de éstos no cumple con la normatividad establecida (SEDESOL, 2005a). Por otra parte, de acuerdo con el periódico El Universal, en el país existen más de 650 tiraderos de basura a cielo abierto y únicamente alrededor de 200 sitios controlados (El Universal, 2006), por lo que los RSU se convierten en focos de infección y afectan la estética de las zonas donde se tiran.

Finalmente, otro conflicto es que la composición de los residuos se ha modificado en los últimos años. La materia orgánica fácilmente degradable se ha sustituido por elementos inorgánicos cuya descomposición requiere de un largo tiempo (INE, 2007).

Partiendo de la existencia de dicha problemática, en esta tesina se realizó un plan de mejora integral para el manejo de RSU en un asentamiento irregular del pueblo de San Miguel Topilejo. Los asentamientos irregulares surgen como consecuencia del crecimiento desmedido de la población. De acuerdo con Olivares (2009), son grupos de al menos 10 viviendas que se establecen en lugares no destinados a la urbanización y que requieren regularizarse para mejorar las condiciones de vida con servicios básicos. En México existen más de 900 asentamientos irregulares con aproximadamente 200 mil pobladores.

### **1.1 Objetivo**

Elaborar una propuesta de mejora en las etapas de almacenamiento y recolección del Sistema de Manejo de Residuos Sólidos Urbanos (SMRSU) en el asentamiento irregular de Ocotla (Tlalpan, Distrito Federal).

### **1.2 Marco de referencia**

La tesina se elaboró a partir del Programa de Reducción de Impacto Ambiental (PRIA) realizado para la comunidad de Ocotla en un período de 6 meses, de agosto a diciembre de 2009. El PRIA es un proyecto de ingeniería hecho por 12 estudiantes de último semestre de Ingeniería Industrial de la Universidad Nacional Autónoma de México. Éste tuvo como objetivo elaborar propuestas de mejora

ambiental en la comunidad de Ocotla. Se realizó un diagnóstico ambiental y propuestas de mejora en las siguientes áreas: contaminación de aire, agua potable, manejo de agua residual, residuos sólidos urbanos, residuos peligrosos y riesgos ambientales.

Para cumplir con el objetivo del PRIA y de esta tesina se realizaron las siguientes actividades.

- *Seleccionar la zona de estudio.*
- *Investigación teórica sobre las 6 áreas del diagnóstico.*
- *Diseño de encuestas.* Se elaboró una encuesta con la cual se pudiera conocer los hábitos de la comunidad respecto a los 6 aspectos definidos.
- *Realizar una visita preliminar.* Se hizo un recorrido a pie para conocer las características generales del asentamiento. También se aplicó la encuesta diseñada a un grupo de 20 voluntarios de la comunidad.
- *Plantear alternativas de mejora.* De acuerdo a los resultados obtenidos de las encuestas, complementados con datos de estudios anteriores de la zona, se identificaron las alternativas que mejor se adecuaban a las condiciones del asentamiento para cada área del diagnóstico.
- *Presentación de resultados.* En una segunda visita, se expusieron las alternativas sugeridas y se hizo entrega del documento que incluye el diagnóstico y las propuestas elaboradas.

En años anteriores, la Universidad Nacional Autónoma de México en conjunto con la delegación Tlalpan, realizaron dos estudios ambientales en la zona. En el 2002 se elaboró el Programa de Manejo Integral de Contaminantes y el Programa Estratégico de Manejo Ambiental en el año de 2008. Éstos sirvieron como apoyo para este trabajo con datos respecto a la generación y composición. Esto debido a que el muestreo de RSU no forma parte de lo establecido para el estudio realizado en el PRIA.

En la tesina se seleccionan y evalúa la factibilidad y aceptación de varias propuestas de mejora para el SMRSU; no obstante, tanto la implantación como el seguimiento de las mismas queda fuera de los alcances de este trabajo.

Tanto el PRIA como la tesina fueron llevados a cabo con una metodología que incluía un trabajo de escritorio o teórico y otro de campo, que se vio complementado por Vladimir Fernández García (estudiante participante en el PRIA) y su familia (habitantes de Ocotla), quienes actuaron como fuente directa de información.

En esta tesina se investigaron las metodologías existentes para llevar a cabo el manejo de residuos para posteriormente establecer propuestas de mejora para el asentamiento. Los RSU son considerados como contaminantes del ambiente, sin embargo es posible redefinirlos como recursos materiales o energéticos. Partiendo de esta idea surge el término *planes de manejo* de la Dra. Cristina Cortinas el cual consiste en *minimizar la generación y maximizar la valorización o*

*aprovechamiento de residuos sólidos urbanos, bajo criterios de eficiencia ambiental, tecnológica, económica y social (Cortinas, 2003).*

El concepto de *plan de manejo* busca una mejora integral al identificar alternativas que ayuden a las actividades claves que conforman un sistema, dando un beneficio al sistema en general. Desde el año de 2003, con la última modificación en el año de 2007, se comenzó a trabajar bajo estos parámetros en la Ley General para la Prevención y Gestión Integral de los Residuos. Los objetivos de *plan de manejo* se establecen en el artículo vigésimo séptimo de dicha ley, destacando el *promover la prevención de la generación y la valorización de los residuos así como su manejo integral. Esto, a través de medidas que reduzcan los costos de su administración, faciliten y hagan más efectivos, desde la perspectiva ambiental, tecnológica, económica y social, los procedimientos para su manejo* (Diario Oficial de la Federación, 2007).

Bajo esta perspectiva de *manejo integral* se realizó este trabajo, el cual se compone de cinco capítulos: éste, que sirve de introducción, y los cuatro que se describen a continuación.

En el capítulo 2 se presentan las generalidades de los sistemas y los sistemas ambientales. Se muestra la importancia de estudiar el manejo de residuos como un *sistema* debido a la lógica de entradas, procesos y salidas que presenta. Además, se analizan las etapas que componen el Sistema de Manejo de Residuos Sólidos Urbanos (SMRSU).

En el capítulo 3 se hace énfasis de las etapas identificadas como áreas de oportunidad para mejorar el SMRSU en el sitio de estudio: almacenamiento, recolección y transporte de residuos. Se definen las metodologías existentes y las condiciones para las cuales son útiles.

De acuerdo a las características de las alternativas existentes, en el capítulo 4 se evalúan éstas para las condiciones de Ocotla. Se presentan las generalidades de este asentamiento y del manejo actual de residuos sólidos. Se realizan cinco propuestas para el asentamiento y un plan de implantación de las mismas para la mejora integral del sistema.

El último capítulo presenta las conclusiones a las cuales se llegaron después de realizar la tesina, así como recomendaciones para próximos estudios.

## Capítulo 2. Sistemas ambientales

A lo largo de los años, México ha sufrido un proceso intenso de urbanización que ha traído consigo la desmesurada generación de residuos sólidos. Éstos son reflejo de la forma de vida del ser humano y sus hábitos de consumo, los cuales varían en cada sociedad. La *Ley general de equilibrio ecológico y la protección al ambiente* en los artículos 7º, 8º y primordialmente 134º establece la búsqueda de formas de manejar los residuos de tal manera que reduzcan el impacto al hombre y al medio ambiente (DOF, 2008), identificando áreas de oportunidad dentro de las diferentes etapas de manejo.

### 2.1 Sistemas

Un sistema es el conjunto organizado de elementos o partes que interactúan y se relacionan formando un todo unitario y complejo. Las partes no necesariamente son objetos físicos, pueden ser funcionales, conceptuales, económicos, etc. En un sistema se distinguen tres componentes principales: entradas, procesos y salidas (Madrigal, 2009).

Las *entradas* o *entidades* son los elementos que ingresan y son procesados en el sistema, pueden ser recursos materiales, humanos o información. Los *procesos* o *actividades* son las tareas que transforman una entrada en una salida; una entrada puede tener diferentes *salidas* de acuerdo al proceso al cual sea sometido. Se habla de un proceso de caja blanca cuando se tiene conocimiento del funcionamiento interno, en ocasiones el administrador es el que diseña la lógica del mismo. En otros casos se tienen procesos de caja negra en los cuales no se tienen identificados los elementos que lo componen, pero se sabe que ante ciertas entradas se obtienen salidas específicas. Las *salidas* son los resultados que se obtienen del funcionamiento del sistema.

Un sistema opera gracias a las relaciones que vinculan a sus elementos y subsistemas. Estas pueden ser:

- **Simbióticas.** Los sistemas conectados no pueden funcionar separados.
- **Sinérgicas.** Un elemento no es necesario para el funcionamiento del sistema, sin embargo mejora sustancialmente el desempeño.
- **Superfluas.** Algunas relaciones que se repiten, tienen la función de asegurar el funcionamiento del sistema.

Otros factores claves son las variables. Éstos, son los elementos que interactúan en los procesos para el funcionamiento de los sistemas. Los procesos son dinámicos, por lo que el comportamiento de una variable varía de acuerdo al momento y las circunstancias a las cuales sea sometido. Existen tres tipos de variables principalmente (Torres, 2009):

- **De decisión.** Son variables independientes y controlables.
- **De respuesta.** Miden el desempeño del sistema para una variable de decisión dada.
- **De estado.** Indican la situación del sistema en un punto específico del tiempo.

Existen otros factores que complementan y definen el funcionamiento de un sistema, a continuación se mencionan algunos de ellos:

**Atributos.** Presentan al sistema tal y como lo percibimos. Se clasifican en definidores y concomitantes. Los primeros son aquellos sin los cuales sería imposible identificar o definir al sistema; los segundos no afecta el funcionamiento del sistema, simplemente le brinda cualidades.

**Contexto.** El sistema siempre se encuentra alterado por lo que lo rodea, se deben definir los límites en los cuales el sistema opera; también se conoce como límite de interés.

**Parámetros.** Es un caso específico de una variable en el cual el valor se mantiene constante ante una situación específica.

**Operadores.** Son variables que activan a las demás e influyen decisivamente en el proceso ya que actúan como líderes el funcionamiento del sistema.

**Estabilidad.** Se dice que un sistema es estable cuando se mantiene en equilibrio en cuanto a la materia y flujo de información.

El manejo de residuos sólidos urbanos se comporta como un sistema blanco ya que se tienen identificadas las etapas que lo conforman. Éste se compone de diferentes subsistemas en los cuales las salidas de cada uno de ellos se convierten en la entrada del siguiente. De manera global, la entrada del sistema de manejo son los residuos generados, el proceso contiene las etapas de almacenamiento in situ, almacenamiento temporal, recolección y transporte, transferencia y tratamiento; considerados como subsistemas. Finalmente, la salida son los productos reciclados que se puedan obtener y los residuos que llegan al sitio de disposición final.

El sistema de manejo de residuos es un sistema complejo (Torres, 2009). La complejidad de un sistema se da por la combinación de los siguientes dos factores.

- **Interdependencia.** Es qué tanto afecta un comportamiento de uno de los elementos a otro.
- **Variabilidad.** Es el comportamiento o condiciones de funcionamiento de las diferentes variables que actúan en el sistema.

La complejidad del sistema provoca que al modificar alguna de las etapas del mismo, se dé una alteración del todo. Es por ello que se deben identificar y atacar las áreas de oportunidad o procesos clave de mejora de los subsistemas para obtener un cambio significativo.

Actualmente, uno de los conceptos más utilizados a nivel empresarial, tanto en el área de producción, como de procesos y manejo de personal es el de *mejora continua*, el cual se refiere a mejorar de manera sistemática los niveles de calidad y productividad de un proceso (León, 2004). El autor Mauricio León Lefcovich, especialista en calidad, productividad, costos y mejora continua; menciona que ésta última implica tanto la *implantación de un sistema, como el aprendizaje continuo de la organización, el seguimiento de una filosofía de gestión y la participación activa de todo el personal involucrado*.

El objetivo de la mejora de un sistema es encontrar el escenario correcto para las variables de decisión que mejor satisfagan el desempeño de los objetivos (Torres, 2009). Para cumplir con él se deben seguir la siguiente secuencia de actividades:

1. Identificación de problemas y oportunidades
2. Desarrollo de soluciones alternativas
3. Evaluación de soluciones
4. Selección e implantación de las mejores soluciones
5. Seguimiento y revisión de la solución.

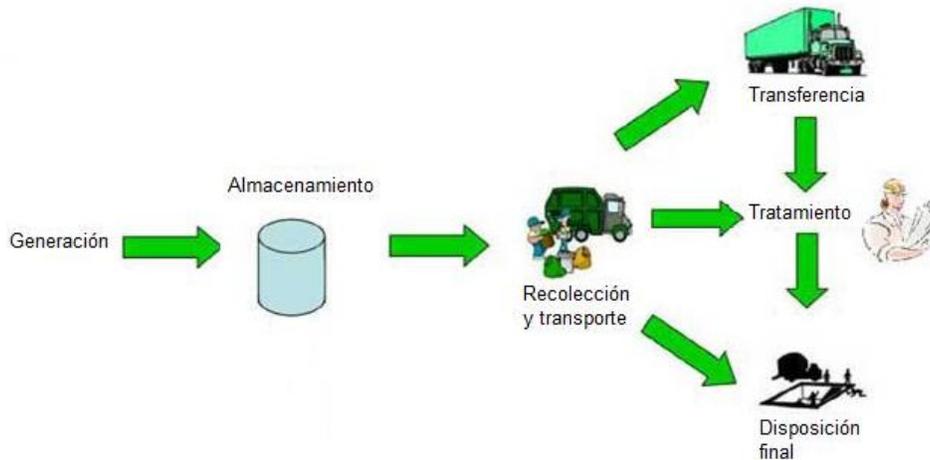
A continuación se presenta el funcionamiento actual del sistema de manejo de RSU, así como alternativas en los diferentes subsistemas que tienen como objetivo la *mejora continua* del sistema para disminuir el impacto de los residuos en el hombre y el medio.

## 2.2 Sistema de manejo de RSU

Los residuos sólidos urbanos, de acuerdo con la Ley General para la Prevención y Gestión Integral de Residuos, se definen como *aquellos generados en las casas habitación, que resultan de la eliminación de los materiales utilizados en las actividades domésticas; de los productos que consumen y de sus envases, embalajes o empaques. Son residuos que provienen de cualquier otra actividad dentro de establecimientos o en la vía pública que genere residuos con características domiciliarias, además de los resultantes de la limpieza de vías y lugares públicos, siempre que no sean considerados por esta Ley como residuos de otra índole* (INE, 2006).

De acuerdo con su composición, los residuos urbanos pueden clasificarse en orgánicos e inorgánicos. Los orgánicos son fácilmente biodegradables. Por otra parte, los inorgánicos son los que por sus características químicas sufren una descomposición natural muy lenta, ejemplo de ellos son los envases de plástico (Semarnat, 2009).

Para poder proponer cambios o alternativas en el manejo de RSU se necesita conocer el sistema completo y su funcionamiento. El Sistema de Manejo de Residuos Sólidos Urbanos (SMRSU) está conformado por las siguientes etapas: generación; almacenamiento; recolección y transporte; transferencia, tratamiento y disposición final (figura 2.1).



Fuente: Entorno Perú, 2002

Figura 2.1 Sistema de manejo de residuos sólidos urbanos

### 2.2.1 Generación, almacenamiento in situ y almacenamiento temporal

Tanto la cantidad como composición de los RSU dependen directamente de la fuente generadora (Rhyner et al, 1995). Los RSU tienen cuatro fuentes u orígenes:

- **Residencial.** Son los generados en las casas; dependen del tamaño del hogar, número de habitantes; si es zona rural o urbana, costumbres, factores socioeconómicos y región geográfica, además de la temporada o estación del año.
- **Comercial.** Resultan de las actividades de compra-venta y de servicios en las comunidades; varían de acuerdo con el número de empleados en los establecimientos, el área de servicio y número de clientes.
- **Institucional.** Son los generados en hospitales, escuelas y oficinas de gobierno y de servicios.
- **Industrial.** Surgen de las oficinas y operaciones de soporte de las industrias y deben diferenciarse de los obtenidos de los procesos de manufactura.

El estudio de la etapa de generación es primordial, ya que de la composición de los residuos depende la planeación eficiente y económica de cada una de las etapas del SMRSU.

Los datos de generación se manejan en unidades per cápita [kg/hab-día]. De acuerdo con cifras de SEMARNAT la generación aumenta en promedio entre un 1

y 3% anualmente. En el año 2000 la generación per cápita de residuos era de 865 gramos y actualmente se generan en promedio 900 gramos (Partido Verde). Para el Distrito Federal se tiene una generación diaria per cápita de 1.4 kg (SMA, 2008).

En la figura 2.2 se muestra la composición promedio de los RSU en México, así como los porcentajes en los cuales se encuentran (Navarrete, 2005).



Fuente: Navarrete, 2005  
 Figura 2.2 Composición de RSU en México (2005)

La siguiente etapa del SMRSU se conoce como almacenamiento y consiste en la colocación de RSU en contenedores desde el momento de su generación hasta la recolección de los mismos. Se distinguen dos tipos de almacenamiento: in situ (en el lugar que se generan) y temporal (intermedio al in situ y la recolección). El buen almacenamiento es indispensable para evitar que la basura se convierta en una fuente de infecciones y enfermedades, de contaminación ambiental y proliferación de insectos o animales (Rendón, 2007).

La selección del tipo de contenedor depende de la composición y del volumen de RSU que se generan en cada sitio. Un sistema eficiente de almacenamiento debe tener las siguientes características:

- Capacidad requerida
- Material resistente a agentes externos (lluvia, animales, humedad, entre otros)
- Sencillo de limpiar
- Diseño ergonómico
- Contenedores cerrados para protegerlos de los agentes externos
- Sistema de separación de los materiales de acuerdo a su origen: orgánico, inorgánico o sanitario

En la figura 2.3 se muestran ejemplos de contenedores utilizados en diferentes sectores.

Parques y jardinería	 <p>Almacenamiento in situ</p>
Industria médica	 <p>Almacenamiento temporal</p>
Área municipal	 <p>Almacenamiento in situ y temporal</p>
Residuos hoteleros	 <p>Almacenamiento in situ</p>

Fuente: Consumibles industriales, <http://consumiblesindustriales.com/index.html>

Figura 2.3 Contenedores de RSU

El escenario ideal para el almacenamiento sería (Domínguez, 2006):  
*separación de residuos,*  
*capacidad suficiente de contenedores y*  
*mantenimiento oportuno a los contenedores y al área de almacenamiento.*

### 2.2.2 Recolección y transporte

La etapa siguiente del sistema se conforma por la recolección y transporte de residuos, los cuales tienen como objetivos primordiales el *proteger la salud pública* y *el medio ambiente al menor costo* (Sedesol, 1997). El proceso está compuesto

por la recolección de RSU y su transporte desde el lugar de generación hasta el lugar en el cual se depositan, incluyendo el procedimiento de descarga.

En esta etapa se requiere de transportes compactadores. La selección del tipo de vehículo se realiza con base en la viabilidad de acceso a la zona, la capacidad de RSU a recolectar, el nivel de compactación deseada y presupuesto disponible. Para ello se utilizan cuatro tipos de transportes:

- Vehículos compactadores con carga frontal
- Vehículos compactadores con carga lateral
- Vehículos compactadores con carga trasera
- Equipos no convencionales

Existe una amplia gama en cuanto a diseño de camiones. En la figura 2.4 se presentan ejemplos de los modelos manejados por una de las marcas líderes en México, Parkingmex, la cual maneja diferentes tipos de carga de acuerdo a las necesidades de la comunidad a la que se le da el servicio. Estos transportes ofrecen un servicio adecuado ya que están diseñados especialmente para estas funciones. Normalmente se utilizan en zonas urbanas debido al elevado costo.

Camión con carga trasera		
Camión con carga frontal		
Camión con carga lateral		

Fuente: [http://www.quiminet.com/ar6/ar\\_%25E0SD%25C7%25EE%25F5%2516%250C.htm](http://www.quiminet.com/ar6/ar_%25E0SD%25C7%25EE%25F5%2516%250C.htm)

Figura 2.4 Tipos de camiones recolectores

La descripción detallada de esta etapa se continúa en el siguiente capítulo ya que es el área en la que existen mayores oportunidades de mejora para el SMRSU del asentamiento irregular de Ocotla.

### 2.2.3 Transferencia, tratamiento y disposición final

En comunidades donde existe una alta generación de residuos y el sitio de disposición final se encuentra lejano (como es el caso del D.F.), las estaciones de transferencia resultan una alternativa económica ya que reducen el número de viajes realizados al sitio de disposición final.

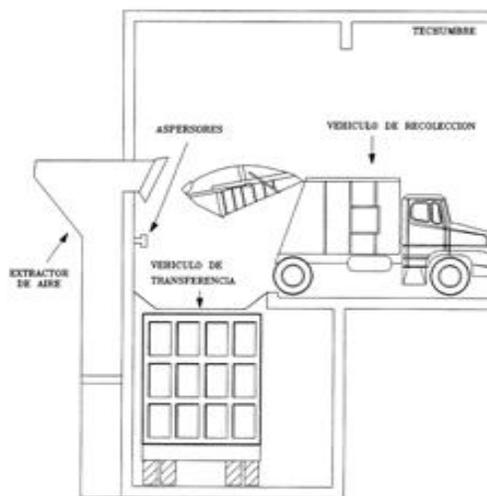
La transferencia es un elemento clave en la reducción de costos de transporte en las distancias largas entre los puntos de recolección de la basura y los centros de tratamiento. En una comunidad, es posible definir un lugar específico en el que se depositen los residuos funcionando como punto de transferencia, reduciendo así los recorridos. Cuando se tenga un volumen de RSU elevado, se puede considerar la construcción de un lugar especializado al que se le conoce como estación de transferencia (INE, 2007).

**Estaciones de transferencia.** Son instalaciones en donde se trasladan los RSU de un vehículo a otro con mayor capacidad. Las estaciones deben ubicarse lo más cerca posible al centro de gravedad de las zonas de recolección para disminuir las distancias recorridas por los vehículos. El centroide se calcula con ayuda de modelos matemáticos, al dividir la zona de estudio en figuras geométricas, estimando el centro de gravedad y dándole un peso específico a las siguientes variables:

- Población
- Generación
- Vialidades
- Pendientes

Las estaciones de transferencia se clasifican de acuerdo con el método de descarga en:

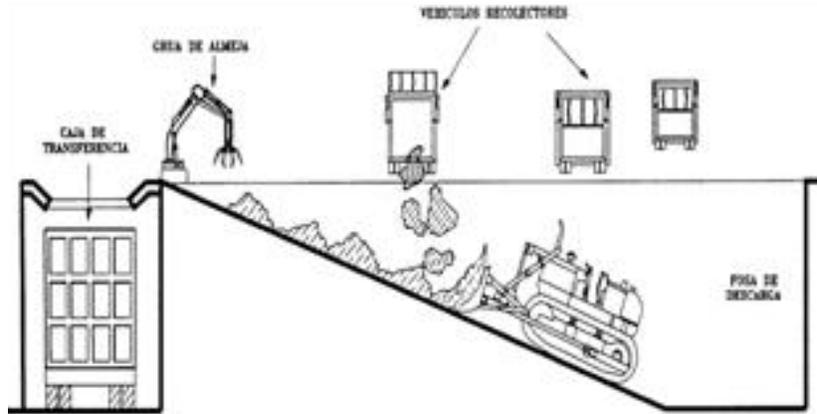
- **Descarga directa.** Los residuos se descargan directamente al vehículo que los llevará al sitio de disposición final (figura 2.5).



Fuente: INE, 2007

Figura 2.5 Descarga directa

- **Descarga indirecta.** Los residuos se colocan en una fosa de almacenamiento y posteriormente con equipos auxiliares se depositan en los vehículos que los conducirán al sitio de disposición final (figura 2.6).

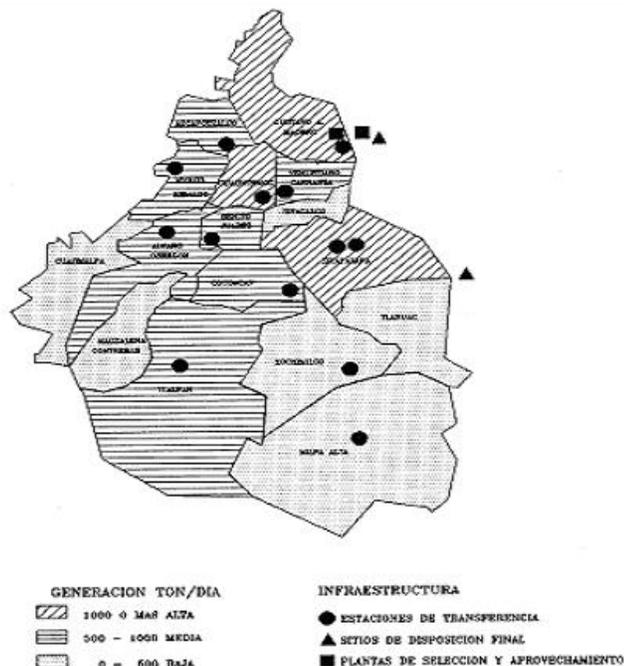


Fuente: INE, 2007

Figura 2.6 Descarga indirecta

- **Combinación de descarga directa-indirecta.** Poseen una rampa para transferencia directa y una fosa de descarga para cuando no hay disponible vehículos de transferencia o existen muchos camiones recolectores en espera de descargar.

El Distrito Federal contaba hasta el año de 2007 con 13 estaciones de transferencia distribuidas en las diferentes delegaciones (ver figura 2.7).



Fuente: INE, 2007

Figura 2.7 Estaciones de transferencia en el DF

Para comunidades pequeñas o con baja generación no son necesarias las estaciones, sin embargo es posible designar puntos de transferencia que faciliten el sistema de recolección.

Las etapas de tratamiento y disposición conforman la parte final de los residuos, en la cual pasan por un proceso determinado para reutilizarse o se depositan en un área establecida. Ambas actividades tienen la finalidad de reducir los efectos al ambiente y la salud de los RSU.

Un tratamiento es aquel que *procura obtener beneficios sanitarios o económicos, reduciendo o eliminando sus efectos nocivos al hombre y al medio ambiente* (Navarrete, 2005). Cada uno de los tratamientos se enfoca en determinados tipos de residuos a tratar, a continuación se presenta una tabla en la que de acuerdo a material se define el tratamiento (tabla 2.1).

Tabla 2.1 Tipos de tratamientos de acuerdo a los RSU aprovechables

Tipo de Residuos	Tipo de Tratamiento	Proceso	Tipo de tratador
<b>Residuos de comida y jardín</b>	Biológicos y térmicos	a) Compostaje b) Biometanización c) Gasificación	a) Taller b) Micro y macro empresa c) Micro y macro empresa
<b>Hule y neumáticos</b>	Físicos y térmicos	a) Separación, trituración y termólisis b) Criogenación c) Vulcanización	a) Micro y macro empresa b) Micro y macro empresa c) Taller
<b>Metales</b>	Físicos y térmicos	Separación, fundición y modelaje	Taller, micro y macro empresa
<b>Papel y cartón</b>	Físicos, químicos y fisicoquímicos	Disolución, blanqueo, secado y laminación	Taller, micro y macro empresa
<b>Plástico</b>	Físicos, químicos y fisicoquímicos	Separación, trituración, lavado, secado, extrusión, laminación, granulación y moldeamiento	Micro y macro empresa
<b>Multicapas</b>	Físicos, químicos y fisicoquímicos	Trituración, lavado, separación, recuperación de pulpa, laminación	Micro y macro empresa
<b>Textiles</b>	Físicos, químicos y térmicos	a) Separación, lavado y desinfección, deshilachado, moldeado b) Separación, lavado y desinfección, deshilachado, teñido, hilado y enrollado c) Incineración	a) Taller, micro y macro empresa b) Taller, micro y macro empresa c) Taller, micro y macro empresa
<b>Vidrio</b>	Térmicos	Separación, trituración, lavado, fundición y moldeado	Taller, micro y macro empresa
<b>Madera</b>	Térmicos	Separación, trituración, compactación y moldeado	Taller, micro y macro empresa

Fuente: Domínguez, 2006

De acuerdo a las características del asentamiento a estudiar en esta tesina, el tratamiento que resulta más factible es el del compostaje. Es por ello que a continuación se describen las características y metodología para la obtención de composta.

**Compostaje.** La elaboración de composta requiere residuos verdes (cenizas de madera quemada, estiércol de animales herbívoros, frutas y verduras), residuos cafés (aserrín, hojas perennes, hojas secas, pasto cortado y seco), agua y aire. Para mejorar la composición de la composta se sugiere utilizar materia orgánica variada. Es necesario disponer de una mezcla de compuestos de alta y baja relación carbono-nitrógeno (C/N) la cual depende de las características de los productos de origen animal o vegetal (tabla 2.2).

Tabla 2.2 Relación C/N

Material	C/N	Material	C/N
Orina	0.8/1	Restos de comida	15-20/1
Sangre	3.0/1	Estiércol de caballo	25,0/1
Gallinaza	15.0/1	Follaje o poda	50-100/1
Estiércol de vaca	18.0/1	Paja	60-100/1
Mezcla de pastos	19.0/1	Papel	350/1
Pasto verde	20.0/1	Aserrín	500/1

Fuente: Cruz, 2008

Existen ciertos residuos orgánicos que no son apropiados para la composta, en la tabla 2.3 se muestran y los motivos por los cuales no deben incluirse en la composta.

Tabla 2.3 Materiales que no son apropiados para composta

Material	Observaciones
Carne, huesos, pescado	Emiten olores y atraen roedores.
Comida cocina y granos	Pueden contener aceites y grasas que atraen roedores
Excrementos de animales carnívoros	Pueden contener organismos peligrosos para la salud
Aceites y grasas	Se pudren y huelen mal cuando se descomponen.
Malezas y plantas persistentes	Incluso malezas que tengan semillas
Material inorgánico	Vidrios, latas, metales, plásticos.
Plantas enfermas	Pueden contener organismos peligrosos.
Productos lácteos	Queso, mayonesa, aderezo, leche, yoghurt, crema, etc.

Fuente: Cruz, 2008

Metodología para la elaboración de composta:

- Separar los desperdicios provenientes de la cocina.
- Agregar de manera intercalada y por capas de 10 cm los materiales verdes y cafés hasta llenar el contenedor. Se recomienda utilizar un tubo perforado al centro de la composta, el cual actúa como respirador.

- Humedecer uniforme y continuamente, cuidando la ventilación. De manera ocasional revolver la mezcla.
- Cubrir el bote con un plástico o tapa, para conservar el calor.
- Al llenar el contenedor, dejar reposar durante tres meses.

Se requieren considerar los siguientes aspectos:

- **Composición y preparación de la materia entrante.** Trituración y separación de materiales no deseables
- **Aireación de la masa.** Se realiza por medio de respiraderos o revolver ocasionalmente
- **Temperatura.** Aquella que favorece la acción microbiana y destruye los patógenos
- **Humedad.** Debe estar entre 50 y 60% durante el proceso, se agrega agua hasta que no haya escurrimientos o tenga una apariencia de tierra húmeda
- **Relación carbón-nitrógeno (C/N).** Si es alta, los microorganismos requieren mucho tiempo para oxidar el exceso de carbón y si es baja ocurre una pérdida de nitrógeno en forma de amoníaco. Estudios concuerdan en que la relación óptima del C/N es 25/1 para iniciar el proceso.

La disposición final es la última etapa del SMRSU y depende del tipo de residuo que se vaya a disponer. Existe un grupo muy pequeño de residuos que pueden disponerse por inyección en pozos profundos, descargas en océanos e incluso los residuos gaseosos se disponen en la atmósfera. Sin embargo, en México, los sitios más utilizados (Navarrete, 2005) son los *tiraderos a cielo abierto*. En el país existen 12 rellenos sanitarios, no obstante un artículo del periódico La Jornada reporta que el 65% de la basura del país se encuentra en *tiraderos al aire libre* (La Jornada, 2004).

El método económicamente adecuado en México para la disposición de RSU es el relleno sanitario el cual es un área diseñada y seleccionada con la finalidad de minimizar el impacto ambiental. Los RSU son depositados en el área confinada, distribuidos en celdas compactadas y cubiertas al término de cada día de trabajo. Esta práctica trae consigo beneficios ambientales y también socioeconómicos, ya que genera empleos y fomenta la participación de los habitantes en la solución integral de los problemas ambientales y sanitarios (Navarrete, 2005).

A continuación se muestra una tabla de ciertas características (tabla 2.4) en los tiraderos y un relleno sanitario.

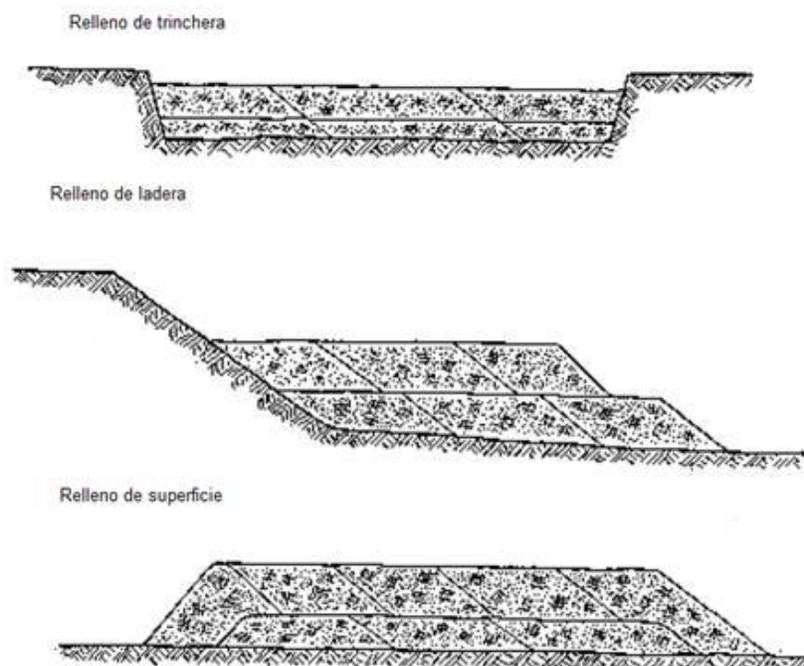
Tabla 2.4 Características de las prácticas de disposición final

Característica	Tiradero a cielo abierto	Relleno sanitario
Control	No	Si
Diseño	No	Si
Información del residuo	No	Si
Límite físicos definidos	No	Si
Impermeabilización y recubrimiento	No	Si
Existencia de protección	No	Si

Fuente: Navarrete, 2005

De acuerdo con las características del terreno, se pueden construir diferentes tipos de rellenos (figura 2.8):

- **Relleno de trinchera o zanja.** Se excava el suelo y ahí se depositan los residuos.
- **Relleno de ladera.** Se aprovechan las depresiones naturales para colocar los RSU.
- **Relleno de superficie.** Los residuos son cubiertos por tierra de la misma área.



Fuente: CEPIS, 2009

Figura 2.8 Tipos de rellenos sanitarios

### 2.3 Sistema de manejo integral

En el SMRSU tradicional existen procesos de tratamiento que pretenden reducir el impacto de los residuos sobre el ambiente, sin embargo para poder establecer una mejora integral, es decir visto desde todos los aspectos que lo rodean, se deben incluir la prevención y el control de los residuos en *fuentes*. De aquí que se considera importante incluir la *Ley de las 3R*, propuesta por Greenpeace (2009), en el sistema. Esta *Ley* incluye los conceptos de:

- **Reducir.** Disminuir el volumen de residuos generados al no consumir productos de usar y tirar
- **Reciclar.** Fabricar nuevos productos utilizando materiales de otros viejos
- **Reutilizar.** Volver a usar objetos con el fin de producir menos basura y gastar lo menos posible de recursos para la fabricación de nuevos productos.

En la figura 2.9 se describen las etapas de un Sistema de Manejo Integral de Residuos Sólidos Urbanos (SMIRSU) que comprende, además de las etapas del sistema tradicional (figura 2.1), las 3R mencionadas anteriormente.

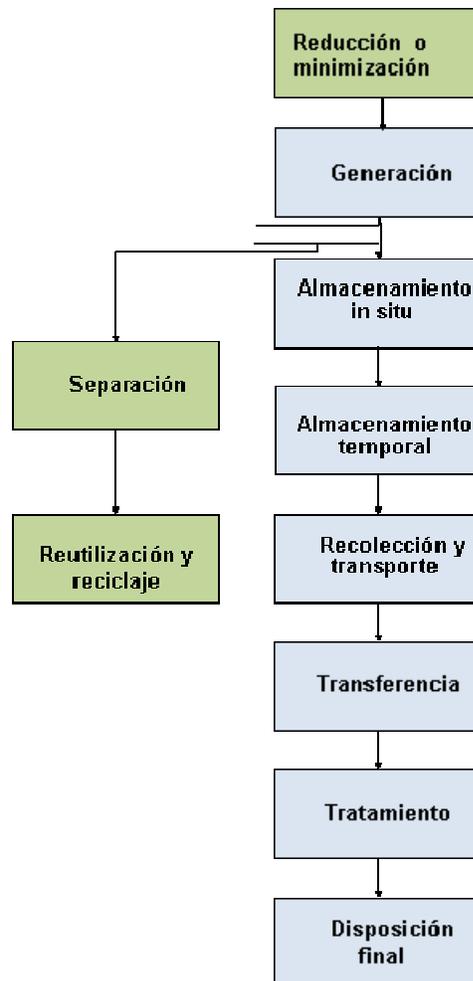


Figura 2.9 Sistema de Manejo Integral de RSU

En el diagrama (figura 2.9) se muestra la etapa de generación, en la que es posible reducir o minimizar la cantidad de residuos, o bien incluir un proceso de separación que origina un camino alternativo en el que los residuos se reutilizan o reciclan.

Se habla de un *sistema integral* ya que se analizan cada una de las etapas para plantear objetivos que mejoren el sistema total. El SMIRSU, tiene los siguientes objetivos:

- Minimización de la generación de residuos
- Maximización de la reutilización y reciclaje de residuos
- Minimizar la cantidad de RSU que deben recolectarse, transferirse y disponerse
- Promover el tratamiento y disposición ambientalmente adecuados de los residuos.

En México, en el año de 1998, surge la sociedad *Manejo integral de residuos sólidos S.A. de C.V.* la cual tiene como objetivo ser una promotora de los servicios de empresas líder a nivel nacional en el manejo, transporte, tratamiento y disposición de residuos peligrosos y no peligrosos. Esta asociación ofrece servicios de asesoría ambiental en materia de residuos, así como en la optimación y disminución de la generación de los mismos. Actualmente la empresa se encuentra creando distintas alianzas con industrias para poder mejorar los SMIRSU (MIR, 2009).

### 2.3.1 Programas de separación de residuos sólidos urbanos

Consiste en distinguir y separar tres principales grupos de residuos: orgánicos, inorgánicos y sanitarios (Semarnat, 2009):

- **Materiales orgánicos.** Son aquellos que se desintegran de manera natural rápidamente y son de origen animal o vegetal, como cáscaras de frutas, verduras, cascarones, sobrantes de comida, pasto, hojas, flores, ramas, etcétera.
- **Materiales inorgánicos.** Sufren una descomposición natural muy lenta. Ejemplo de ellos son: bolsas, empaques y envases de plástico, vidrio, papel, cartón y metales, textiles, entre otros.
- **Residuos sanitarios.** Deben ser almacenados de manera independiente ya que estuvieron involucrados en la higiene personal o fluidos corporales. Entre ellos se encuentran el papel sanitario, toallas sanitarias, condones, pañales, algodón, etcétera.

Cuando se lleva a cabo el proceso de separación, el manejo de RSU se modifica considerablemente ya que muchos residuos pueden entrar en un ciclo de reutilización y no llegan a las etapas de recolección y transporte, transferencia, tratamiento y disposición final (figura 2.10).

Actualmente se cuenta con la *Ley de Residuos Sólidos del Distrito Federal*, la cual entró en vigor el primero de octubre de 2004, publicada en la Gaceta Oficial del Distrito Federal el 22 de abril de 2003. En ésta, se estipula como obligatoria la separación de basura en orgánica e inorgánica (Gaceta Oficial del Distrito Federal, 2005). Para poder cumplir con esta *Ley*, es necesario tener un contenedor cerrado para cada uno de los residuos y consideran los siguientes lineamientos:

- *que la Secretaría de Obras y Servicios y las delegaciones instrumentarán los sistemas de depósito y recolección separada de los residuos sólidos*
- *que todo generador de basura debe separarlos en orgánicos e inorgánicos y entregarlos al servicio de limpia.*

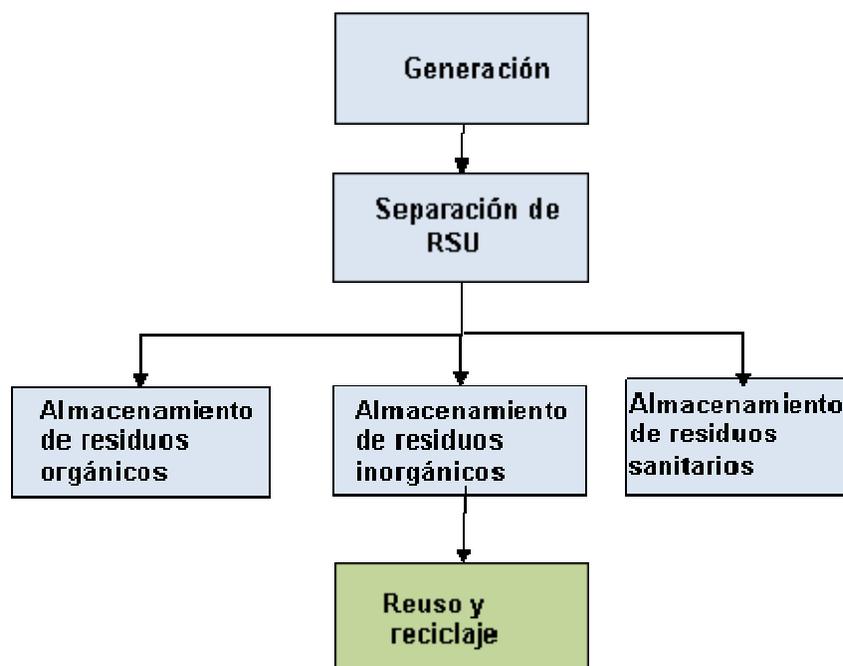


Figura 2.10 Manejo de RSU con separación

El uso adecuado de contenedores de basura, a pesar de parecer insignificante, se considera como una *herramienta que puede llegar a combatir el problema del manejo de la basura* (Maquinariapro, 2009). El propósito es alcanzar la evolución del sistema de manejo actual a otro sistema considerado *integral* que mejore el proceso en cada una de sus etapas. Este sistema considerará:

- reducir los residuos en la fuente de generación,
- separar in situ para reciclar y reutilizar los residuos,
- estudiar y designar el método correcto de recolección y el vehículo adecuado de transporte,
- evaluar si se requieren puntos de transferencia que faciliten el transporte,
- elegir el tratamiento idóneo para los residuos previamente separados,
- designar el sitio de disposición final en caso de no haberse podido reutilizar.

En este capítulo se hizo referencia a la definición e importancia de cada una de las etapas de Sistema de Manejo de Residuos Sólidos Urbanos además de presentar las alternativas para mejorarlo y convertirlo en uno *integral*. En su mayoría, la información se centró en datos de México y en algunos casos, como las estaciones de transferencia, al Distrito Federal. El análisis para la mejora de sistemas logró detectar los puntos clave para sugerir alternativas; en el siguiente se detallan las etapas de almacenamiento temporal y recolección de RSU, ya que será sobre ellas que se realicen propuestas de mejora al SMRSU.

### **Capítulo 3.**

#### **Sistema de almacenamiento temporal, barrido y recolección**

La Constitución Política de los Estados Unidos Mexicanos en el artículo 115° otorga la responsabilidad a los municipios de las funciones y servicios públicos, en los que se incluyen la limpia, recolección, traslado, tratamiento y disposición final de residuos (CPEUM, 1999). En la mayoría de los casos, existe un organismo gubernamental destinado a estas tareas, aunque es posible que se contrate a una empresa externa especializada que preste sus servicios, sin que el gobierno se deslinde de la responsabilidad.

El objetivo del sistema de manejo de RSU es el proteger la salud y el medio ambiente al menor costo, es por ello que se considera como un proceso susceptible a la mejora continua, es decir se pueden cumplir con los mismos objetivos de maneras diferentes y sin perder la eficiencia. En este capítulo se presentan alternativas en cuanto a la selección de la metodología de barrido y del equipo, frecuencia y rutas de recolección.

El método de recolección se define por la cantidad de residuos generados y las características sociales, geográficas y económicas de cada zona; éste requiere de planeación para brindar de manera efectiva su servicio al mayor número de personas, en el menor tiempo posible. Este proceso se encuentra conformado por el barrido público y la recolección domiciliaria. El barrido tiene como objetivo mantener limpias las áreas públicas como vialidades, plazas, parques, jardines y zonas recreativas. La segunda cubre las fuentes de generación de RSU y los transporta a los puntos de transferencia o disposición final.

El sistema de recolección ocupa de dos tercios a tres cuartos de la importancia económica dentro de todo el sistema de manejo de RSU. Un sistema adecuado debe ser capaz de (Rhyner et al, 1995):

- proveer un nivel de servicio de recolección que satisfaga los requerimientos políticos, sociales y de salud básicos
- cumplir con estos servicios al menor costo posible
- lograr establecer alianzas o un trabajo en equipo entre el sector público y privado
- ser flexible para poder someterse a cambios de mejora
- acoplarse a las políticas de reducción y manejo de residuos sólidos eficientes.

#### **3.1 Barrido**

Un sistema de barrido eficiente cumple las siguientes condiciones:

- capacita al personal sobre las características de los componentes de los RSU

- dota al prestador del servicio de equipo extra para la separación (contenedores extras, escoba y recogedor) además de equipo de seguridad (guantes, cubrebocas y uniforme)
- de acuerdo al volumen de RSU define el equipo de barrido (manual o mecánico)
- apoyo de los miembros de la comunidad
- determina las rutas de barrido.

Por la extensión de las zonas que deben ser barridas, el tipo de superficie del que se trate, el tipo de actividad que ahí se realice y el presupuesto disponible, el barrido se puede clasificar en:

**Manual.** Los trabajadores deben contar con un contenedor móvil, un recogedor y una escoba (figura 3.1). Con este equipo se tiene acceso a cualquier tipo de área: pavimento, empedrado, adoquín, pasto o terracería. Por seguridad, es necesario portar vestimenta de colores llamativos, calzado cómodo y, en caso de requerirlo, protección auditiva. La actividad se puede realizar individualmente o por equipos/brigadas. Esta opción de barrido se plantea como una alternativa viable para comunidades pequeñas como es el caso de un asentamiento irregular, debido al volumen de RSU generado.



Fuente: [http://www.flickr.com/photos/t23\\_ox/541419755/](http://www.flickr.com/photos/t23_ox/541419755/)

Figura 3.1 Barrido manual

**Mecánico.** Se utilizan barredoras o aspiradoras mecánicas para áreas grandes y con fácil acceso vehicular (PROMIR, 2002). Implica una fuerte inversión en barredoras por lo que se utiliza mayormente en comunidades grandes (ver figura 3.2).



Fuente: <http://www.flickr.com/photos/joseantonioalmarza/500069617/>

Figura 3.2 Barredora

Para elegir el tipo de barrido, se consideran las características del lugar como la accesibilidad al área, alumbrado, tráfico de vehículos y de peatones. El personal encargado debe realizar esta actividad de manera rutinaria (horario y ruta establecida) para que el proceso cumpla con su objetivo.

### 3.2 Recolección domiciliaria

Se puede llevar a cabo con 4 diferentes metodologías: esquina o parada fija, acera, contenedores fijos o móviles e inter-domiciliaria. Para definir qué tipo de método se va a utilizar es necesario evaluar 3 criterios: nivel de acceso o características de la comunidad y hábitos de la población; grado de tecnificación de los equipos utilizados y nivel de demanda o volumen de RSU generados.

- **Características de la comunidad y hábitos de la población.** Se refiere tanto a la accesibilidad en vehículos que se tiene a los municipios como al estilo de vida que llevan las personas del mismo. De esto depende considerar a la población como un recurso activo o pasivo en el proceso. Otra característica elemental es el número de habitantes en la comunidad; se considera como una comunidad pequeña a aquella que cuente con 2500 habitantes o menos y a una comunidad mayor, la que supere este nivel.
- **Equipamiento utilizado.** Identificar el equipo de transporte disponible ya sean mecanizados, semi-mecanizados o manuales. Los primeros dos son transportes especializados para la recolección y se utilizan mayormente en áreas urbanizadas con fácil acceso. Los manuales son transportes no convencionales para zonas rurales con difícil acceso.
- **Volumen de residuos generados en la comunidad.**

A continuación se presentan las cuatro metodologías, su funcionamiento y características que se adecúan al comportamiento de cada comunidad.

**Esquina o parada fija.** El camión se detiene en un punto fijo y los habitantes acuden hacia el transporte a depositar su basura. Resulta económico y con amplia cobertura en poco tiempo, sin embargo requiere de la colaboración de los usuarios (ver figura 3.3).



Fuente: <http://www.slideshare.net/enriquebio2/mtodos-de-recoleccion-y-aspectos-a-considerar>  
 Figura 3.3 Método de recolección de esquina o parada fija

Este método es útil en pequeñas y grandes comunidades, sin embargo varía el tipo de transporte utilizado. En comunidades pequeñas es factible utilizar el método de parada fija con carretas jaladas a mano, triciclos motorizados o camiones de volteo o volquetes (figuras 3.4 y 3.5). Éstos últimos tienen capacidades entre los 3 y 12 m<sup>3</sup> que incluso pueden tener diferentes utilidades.

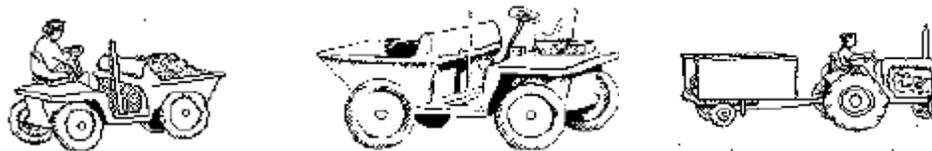


Figura 3.4 Vehículos motorizados

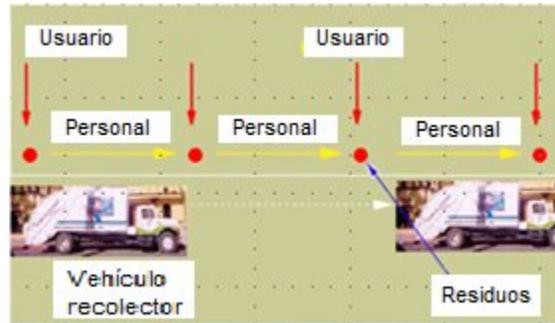


Fuente: [http://images.quebarato.com.br/photos/big/9/3/FE993\\_1.jpg](http://images.quebarato.com.br/photos/big/9/3/FE993_1.jpg)  
 Figura 3.5 Camión de volteo

En comunidades grandes o mayores a 2500 personas se utilizan camiones recolectores con compactación de carga trasera (figura 2.4). Debido a las dimensiones del vehículo se deben planear las rutas en horarios de bajo tránsito vehicular.

**Acera.** El transporte de recolección recorre a baja velocidad las calles y los habitantes sacan los RSU unos momentos antes del paso del camión (figura 3.6). En algunos lugares se cuenta con contenedores fijos elevados o móviles a nivel de piso (figura 3.7) en los cuales se depositan los residuos de los usuarios. Esta

metodología depende del servicio de recolección, ya que en caso de ser deficiente, los residuos se acumulan y suelen atraer animales.



Fuente: <http://www.slideshare.net/enriquebio2/mtodos-de-recoleccion-y-aspectos-a-considerar>

Figura 3.6 Método de recolección de acera

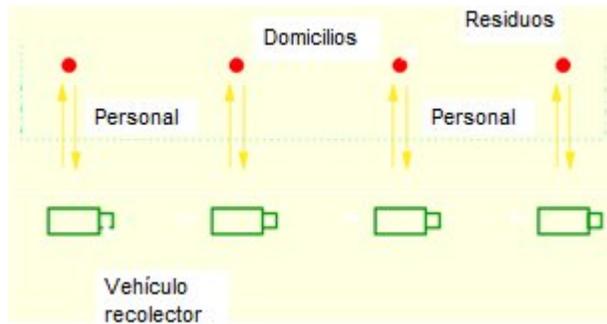


Fuente: PROMIR, 2002

Figura 3.7 Contenedores para recolección de acera

Es un método factible para pequeñas y grandes poblaciones ya que la capacidad de los contenedores varía. La importancia radica en la frecuencia y efectividad de la recolección para evitar la acumulación de los RSU que traería como resultado una alternativa impráctica.

**Inter-domiciliaria.** El personal del transporte de recolección acude casa por casa a recoger los RSU. De esta manera el papel del usuario se reduce al mínimo, sin embargo es necesario establecer una cuota fija para los trabajadores. En ocasiones puede resultar molesto para los habitantes, que el personal de recolección tenga acceso a sus hogares (figura 3.8).



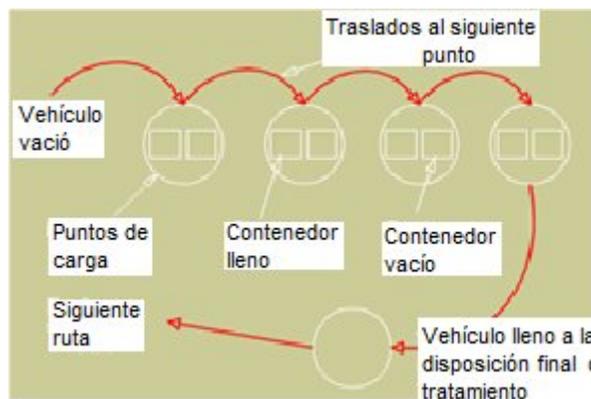
Fuente: <http://www.slideshare.net/enriquebio2/mtodos-de-recoleccion-y-aspectos-a-considerar>

Figura 3.8 Método de recolección: inter-domiciliaria

Debido a que el personal de limpieza acude casa por casa, no es adecuado para comunidades grandes ya que implicaría un tiempo alto de recolección.

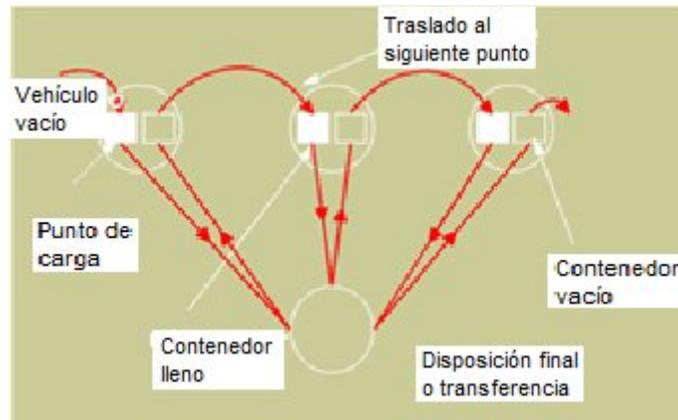
### 3.2.1 Contenedores fijos y móviles (almacenamiento temporal)

Consiste en colocar recipientes que almacenen los RSU de una comunidad. Deben de estar ubicados en lugares con fácil acceso al vehículo recolector. Tiene flexibilidad en cuanto a capacidades; sin embargo requiere de equipo especial para el vaciado de los contenedores (figuras 3.8 y 3.9). Los contenedores fijos oscilan entre 1 y 7 m<sup>3</sup> y los móviles llegan a ser superiores a los 10 m<sup>3</sup>. El vaciado de los RSU puede ser mecanizado, semi-mecanizado o manual dependiendo del volumen que se maneje.



Fuente: <http://www.slideshare.net/enriquebio2/mtodos-de-recoleccion-y-aspectos-a-considerar>

Figura 3.8 Método de recolección de contenedor fijo



Fuente: <http://www.slideshare.net/enriquebio2/mtodos-de-recoleccion-y-aspectos-a-considerar>

Figura 3.9 Método de recolección de contenedor móvil

En poblaciones pequeñas se tiene un sistema manual de vaciado. Para comunidades mayores, se requiere de un vehículo especializado ya que son volúmenes grandes que se acumulan en un período corto de tiempo. De acuerdo al tipo de contenedor utilizado se elige el vehículo recolector. En la tabla 3.1 se manejan los volúmenes de ciertos contenedores y el equipo que requieren para su correcta utilización.

Tabla 3.1 Capacidades de contenedores

Vehículo	Tipo de contenedor	Capacidades [m <sup>3</sup> ]
Camión montacargas	Con compactador estacionario	4.5-9
	De caja abierta	9-38
Camión subir-bajar	Con compactador estacionario	11-30
	Con compactador propio	15-30
Tractor	Con remolque abierto	11-30
	Contenedor cerrado con compactación	15-30

Fuente: PROMIR, 2002

### 3.2.2 Frecuencia de recolección

Los vehículos representan una etapa esencial en el manejo de residuos, ya que requieren de una inversión económica y de personal para poder utilizarse. En el capítulo anterior se describieron los vehículos comunes para la recolección de residuos, sin embargo en esta sección se presentan temas relacionados con el manejo de los mismos el cual incluye la frecuencia de uso y los recorridos o rutas en los cuales operan.

El objetivo de establecer rutas es el minimizar el tiempo y maximizar la distancia cubierta por los vehículos y personal de recolección. Para ello es necesario tomar

en cuenta las características de la población a la que se le brinda el servicio. Una vez identificado el tipo y volumen de residuos generados, así como la disposición de los usuarios para participar en el proceso, es posible establecer la frecuencia de recolección.

La frecuencia se define esencialmente por la cantidad y composición de residuos generados en cada zona. Esto debido a que los RSU tienen diferentes tiempos de descomposición de acuerdo al material del que están elaborados. Es por ello que el definir la frecuencia es de vital importancia para evitar que el almacenar los RSU no se conviertan en un foco infeccioso y brinde una mala imagen a la comunidad. Tomando en cuenta estos criterios, se pueden definir diferentes períodos de recolección.

**Recolección diaria.** Es una metodología que brinda una buena imagen ante al cliente, sin embargo implica un alto costo por los recorridos y de operación de los vehículos. En México, se pretende que se recorran las rutas en su totalidad diariamente, excepto los domingos. Es por esto, que los lunes se recogen los residuos de sábado y domingo, aumentando el volumen en un 100% al habitual.

**Recolección cada tercer día.** Se lleva a cabo un día sí y el siguiente no, a excepción de los domingos. La ventaja que ofrece es que los camiones se llenan en menor tiempo, por lo que disminuye la relación de costo por tonelada-kilómetro. Además la carga extra que se tiene los lunes en la recolección diaria, se reparte. No obstante, puede generar un descontento en los habitantes por la acumulación de residuos y posible generación de moscas y malos olores.

**Recolección dos veces por semana.** El camión realiza el servicio cada dos/tres días. La ventaja de llenar el camión en menor tiempo aumenta, sin embargo la acumulación de los residuos puede orillar a que se originen tiraderos clandestinos por la falta de servicio. Esta metodología suele utilizarse en áreas que tiene un bajo nivel de generación.

**Recolección una vez por semana.** No es recomendado por la acumulación y descomposición de los residuos. En caso de que existiera un programa de separación de RSU, podría resultar factible la reducción en costos del sistema de recolección (Sedesol, 1997).

### 3.2.3 Macro y micro rutas

El seleccionar la metodología adecuada para la recolección de RSU debe ser complementado con el diseño de las rutas a cubrir por el vehículo elegido. Para ello se realiza un estudio minucioso de las vialidades así como la generación de RSU de la zona. Éste se realiza en dos etapas que se describen a continuación y se conocen como macro rutas y micro rutas.

**Macro ruta.** Es la primera etapa en el diseño de rutas, en la que se divide la zona en sectores y se asigna un equipo de recolección para aprovechar al máximo la capacidad del vehículo. En caso de ser un área extensa, se pueden hacer subsectores para cubrir con las necesidades de los usuarios (Sedesol, 1997).

La información requerida para dividir una zona en macro rutas es:

- Generación per cápita de RSU de la zona
- Mapa actualizado del área de estudio
- Fuentes no domiciliarias de residuos que se contemplan dentro del servicio de recolección
- Densidad de población y tipo de basura de la ciudad
- Fronteras naturales (ferrocarriles, ríos, carreteras o calles muy transitadas)
- Tiempo y distancia empleados para el viaje desde su recolección hasta la disposición.

En esta etapa, es de vital importancia minimizar los gastos referentes al número de vehículos utilizados y el costo de operación del servicio de recolección. Para ello se utilizan herramientas de programación lineal que minimizan costos tomando en cuenta restricciones específicas de los factores que influyen en el servicio como: distancias de recorrido, frecuencia de recolección, personal de recolección, número de vehículos disponibles y precios de adquisición de nuevos vehículos, entre otros (Sedesol, 1997).

Una vez definidas las macro rutas, se procede al diseño de micro rutas.

**Micro ruta.** Se refiere al recorrido específico que tiene que realizar el camión de acuerdo con la frecuencia y la zona a la cual haya sido asignado.

El diseño mejora de las mismas debe considerar los siguientes aspectos (PROMIR, 2002):

- Cuantificar la distancia designada a cada ruta existente
- Identificar las vialidades (sentidos) en cada una de las calles
- Estudiar la viabilidad y factibilidad de acceso de las calles (baches, pavimentación, pendientes, tránsito)
- Identificar los predios vacíos dentro de la ruta
- Recorrido en tránsito o longitud de tramos improductivos
- Número de vueltas a la derecha
- Número de vueltas a la izquierda (el menor número posible)
- Número de vueltas redondas o recorridos cíclicos (reducir al máximo).
- Planear que el último contenedor a ser recolectado de la ruta esté situado lo más cercano al sitio de disposición final
- En áreas de colina, comenzar siempre en la parte alta y continuar hacia las áreas bajas para evitar que el vehículo cargado requiera ir cuesta arriba
- Cumplir con las políticas y regularizaciones relativas al punto y frecuencia de recolección

- La ruta debe ser recorrida lo más temprano posible para no afectar la vialidad con el paso del vehículo recolector
- Evaluación de rutas preliminares y realizar pruebas sucesivas que verifiquen su funcionamiento.

El establecimiento de micro rutas se realiza también para el proceso de barrido. Una vez designado el tipo de barrido (manual o mecánico) se define la frecuencia que en su mayoría es cada dos o tres veces por semana. En lugares con extrema movilización, se puede realizar dos o tres veces al día. Para el diseño de las rutas de barrido, es necesario ubicar las calles y avenidas principales así como la distancia que existe hasta el lugar de depósito.

Para evaluar la eficiencia de micro rutas existe un método llamado análisis por cuadrillas en el que se designa a un cierto número de personas y vehículos por sección y posteriormente se da seguimiento al proceso que éstos realizan. Se elaboran mediciones en cuanto a tiempos efectivos del camión y del personal. De esta manera se establecen indicadores que brinden mayor información del servicio de recolección.

Las variables que se cuantifican son (ver tabla 3.2):

*Capacidad de camión.* Se asigna a cada camión la carga que deberán cubrir en esa microruta.

*Número de recolección.* De acuerdo con el tipo de camión y de método de recolección se establece el personal de la cuadrilla.

*Rendimiento de recolección.* Se deberá evaluar estadísticamente la relación entre toneladas recolectadas y personal involucrado.

*Distancia a disposición final.* Se refiere a los kilómetros existentes desde el punto final de la microruta hasta el sitio de transferencia o disposición final.

*Velocidad.* Velocidad promedio de traslado de los camiones considerando tiempo de parada para recolección.

*Tiempo disponible.* Horas de la jornada de trabajo.

*Tiempo de recolección.* Tiempo que el camión está detenido (recolección de parada fija) o tiempo durante el cual el camión recibe carga (método de acera).

*Tiempo de transporte.* Es la distancia de la microruta entre la velocidad promedio.

*Tiempo en sitio.* Tiempo de espera y descarga en sitio de transferencia o disposición final (incluye pesado y lavado del vehículo).

*Tiempo fuera rutas cíclicas.* Tiempos muertos que se podrían evitar seleccionando el horario y el método de recolección más adecuados para un área específica. No se recomiendan las rutas cíclicas porque este tiempo aumenta.

*Tiempo fuera rutas no cíclicas.* Tiempo muerto inevitable dentro de la recolección debido a imponderables y maniobras necesarias del camión de recolección.

*Tiempo disponible neto.* Es el tiempo disponible menos el tiempo fuera de rutas no cíclicas.

*Tiempo de ciclo.* Es la suma del tiempo de recolección, el de transporte, el de disposición y el tiempo fuera de rutas cíclicas.

Tabla 3.2 Variables a considerar en el cálculo de indicadores

Variable	Unidad	Nombre
Capacidad del camión	Ton	C
Número de recolección	No. de trabajadores	A
Tiempo disponible (jornada de trabajo)	Min	Td
Rendimiento de recolección	Trabajadores*min/Ton	R
Distancia a disposición final	Km	D
Velocidad	km/hr ó km/min	V
Tiempo disponible neto	Min	TD
Tiempo en sitio de disposición final	Min	Ts
Tiempo fuera rutas cíclicas	Min	Tfc
Tiempo fuera rutas no cíclicas	Min	Tfnc

Fuente: Navarrete, 2005

Conociendo estas variables, se pueden establecer los siguientes indicadores que aportan información sobre el servicio de recolección:

$$No.viajes = \frac{TD}{T_{ciclo}} = \frac{Td - T_{fnc}}{T_{recoleccion} + T_{transporte} + T_{disposicion} + T_{fc}} \quad (ec.3.2)$$

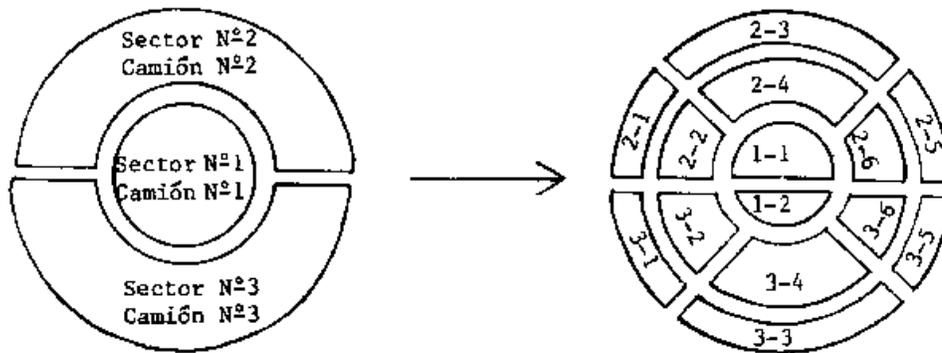
$$T_{recoleccion} = \frac{C * R}{A} \quad (ec. 3.3)$$

$$T_{transporte} = \frac{d}{v} \quad (ec. 3.4)$$

$$T_{disposicion} = Ts \quad (ec. 3.5)$$

$$No.camiones = \frac{Produccion.total.residuos}{No.viajes * C} \quad (ec. 3.6)$$

Una vez descritos los procesos de diseño de micro y macro rutas, en la figura 3.11 se observa el proceso completo. El área se divide en primera instancia en tres sectores y a cada uno de ellos es asignado un vehículo de recolección (macro ruta). Posteriormente a cada sector se le asignan micro rutas que recorre el camión para aprovechar su capacidad al máximo.



Fuente: Sánchez, 1996  
 Figura 3.11 Macro y micro rutas

En el caso de una comunidad pequeña, como lo es un asentamiento irregular, al tener una baja generación se puede considerar a toda la zona como una micro ruta. Las mejoras se enfocan en los recorridos de los camiones y el evaluar si el servicio está cubriendo las necesidades de los miembros de la comunidad.

En este capítulo se mostraron las alternativas en cuanto a la etapa de recolección y transporte y con ello, se finaliza la sección teórica del trabajo. En el siguiente capítulo se retoman los conceptos y herramientas expuestas hasta el momento para realizar un diagnóstico y generar alternativas que existen para mejorar el manejo de RSU en un asentamiento irregular en Topilejo: Ocotla.

## Capítulo 4. Caso práctico: Ocotla

En este capítulo se presenta el trabajo realizado en el asentamiento irregular de *Ocotla*, su diagnóstico ambiental y las propuestas de mejora para el manejo de residuos sólidos urbanos (RSU).

En esta tesina se eligió realizar el estudio en Ocotla, debido a que posee las características típicas de un asentamiento irregular el cual carece de los servicios básicos de una zona urbana. Por ello el lugar resultó un área de oportunidad para realizar mejoras en los servicios no establecidos. Previo al proyecto del PRIA, se habían realizado investigaciones de asentamientos cercanos a la zona por lo que los datos de campo pudieron ser complementados. Finalmente, en el equipo de trabajo se encontraba un miembro de la comunidad de Ocotla, con lo que se tuvo una fuente directa y confiable de la información.

Ocotla es un asentamiento irregular de la delegación Tlalpan. Se ubica dentro del pueblo de San Miguel Topilejo, a la altura del kilómetro 29 de la carretera federal a Cuernavaca. Posee una superficie de 148,263 m<sup>2</sup> (figura 4.1), a una altitud de 2,840 msnm; colinda al norte con un predio particular, al sur con San Miguel Tehuisco, al este con Ayometitla y al oeste con Ocotla Chico. De acuerdo con datos de la delegación de Tlalpan, Ocotla está conformado por 317 lotes, 122 familias y 450 habitantes.



Fuente: Google Maps

Figura 4.1 Asentamiento irregular: Ocotla (2008)

Ocotla cuenta con una población heterogénea respecto a su economía, aspectos sociales y educativos. En general sus actividades son de tipo urbanas, pero existen predios en los que se cultivan diferentes plantas para consumo propio y poseen animales de granja: vacas, caballos, gallinas y guajolotes.

#### 4.1 Diagnóstico ambiental

El Programa de Reducción de Impacto Ambiental (PRIA) fue un proyecto realizado por 12 estudiantes del último semestre de Ingeniería Industrial de la Facultad de Ingeniería de la Universidad Nacional Autónoma de México (UNAM). El PRIA tuvo como objetivo proponer alternativas de mejora para minimizar el impacto ambiental en el asentamiento irregular de Ocotla. Para ello, se dividió el sistema en seis grandes áreas:

- Contaminación atmosférica
- Agua potable
- Agua residual
- Residuos sólidos urbanos
- Residuos peligrosos
- Riesgos ambientales

La elaboración del diagnóstico requirió que el equipo de trabajo hiciera una investigación previa de cada una de las áreas de estudio. Posteriormente se diseñó un formato de encuesta con el cual se pudiesen cuantificar las variables necesarias para elaborar las propuestas de mejora en cada área.

Las encuestas se aplicaron el mismo día que se realizó la visita de inspección del asentamiento a un grupo de 20 voluntarios. Al no ser un número representativo de encuestas para un análisis estadístico, los datos se complementaron con información de estudios ambientales de la zona realizados en años anteriores.

En el año de 2002 se realizó el Programa de Manejo Integral de Contaminantes (PMIC) que fue un estudio para los asentamientos irregulares ubicados en la zona de Topilejo, dentro de los cuales se encuentra Ocotla. Y en el año 2008, el Programa Estratégico de Manejo Ambiental específico para el asentamiento irregular de Ayometitla, el cual colinda con Ocotla y presenta características muy similares a éste.

Durante el recorrido por Ocotla, se identificaron las generalidades y problemáticas existentes. Se observaron tres pozos de absorción sobre las calles principales, los cuales resultan insuficientes en épocas de lluvias intensas de acuerdo a comentarios de los habitantes. Esto provoca encharcamientos que se ven favorecidos por la irregularidad en el suelo de las calles, dificultando el acceso a las mismas. Algunas personas aprovechan el agua de lluvia, sin embargo los sistemas de captación utilizados suelen ser improvisados, por lo que su eficiencia no es la idónea. Sin embargo, la problemática más importante identificada fue

referente a la disposición del agua residual. En su mayoría, la gente cree que cuenta con fosas sépticas, sin embargo para que una fosa séptica funcione como tal debe ser vaciada y este tiempo se determina de acuerdo a la capacidad de la misma. El volumen de la fosa se establece de acuerdo al número de personas que la utilizan. De acuerdo con fabricantes de fosas sépticas, si se tiene una capacidad de 1,000 lts y un uso frecuente, se requiere su vaciado una vez al año (Rotoplastic, 2009). Esta información nos permite saber que en realidad lo que se tienen son hoyos negros, siendo muy probable que esto haya ocasionado que los contaminantes se hayan infiltrado al manto acuífero.

A continuación se presenta la situación actual del Sistema de Manejo de Residuos Sólidos Urbanos en Ocotla en cada una de las etapas.

**Generación.** Para estimar la generación per cápita (kg/hab-día), se obtuvieron los datos existentes (en diferentes fuentes de información) de la zona.

El INEGI, con información de la Secretaría de Desarrollo Social, elaboró un informe de la generación per cápita de RSU a nivel nacional y por zonas del país. En éste se registra que el promedio de generación al 2006 en México era de 0.921 (kg/hab-día). Al analizar la generación por áreas del país al mismo año se tiene un reporte de 0.783 (kg/hab-día) en la zona norte, 0.706 (kg/hab-día) en la zona sur y 0.892 (kg/hab-día) en la zona centro. Estos datos indican un panorama general en cuanto a la generación de RSU de México, no obstante para fines de esta tesina, sólo se promediaron los siguientes valores por su afinidad y cercanía del asentamiento irregular de Ocotla (INEGI, 2008).

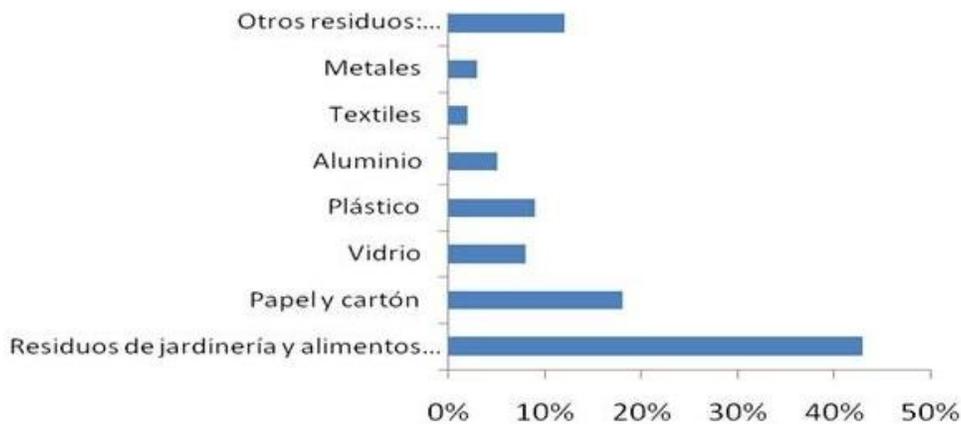
1. La Secretaría del Medio Ambiente reporta en el 2004 una generación de 1.4 (kg/hab-día) para la Ciudad de México (SMA, 2008)
2. La Delegación de Tlalpan registra una recolección de 700 (ton/día) lo que corresponde a una generación per cápita de 1.16 (kg/hab-día) para una población de 607,545 habitantes (INEGI, 2005)
3. El Programa de Manejo de Contaminantes de Topilejo estimó que la generación per cápita era de 0.88 (kg/hab-día) para el asentamiento de Ocotla (PMIC, 2002)
4. Las encuestas del PRIA arrojaron una generación per cápita promedio en Ocotla de 0.73 (kg/hab-día).

En la tabla 4.1 se muestran los datos utilizados para obtener el valor de generación promedio per cápita del diagnóstico de RSU, el cual resultó ser de 1.04 (kg/hab-día).

Tabla 4.1 Generación per cápita en Ocotla

Fuente de información	Generación (kg/hab-día)
Ciudad de México, 2004	1.4
Delegación Tlalpan, 2005	1.16
PMIC, 2002	0.88
Encuesta PRIA, 2009	0.73
<b>Valor promedio</b>	<b>1.04</b>

A partir de las observaciones de la visita de campo y los resultados arrojados por las encuestas, se concluyó que los hábitos de consumo de los pobladores de Ocotla son de tipo urbano: el 60% de los habitantes realizan sus compras en centros comerciales de la Ciudad de México, por lo que la composición de los residuos del asentamiento resulta similar a ésta (figura 4.2).



Fuente: Secretaría de Obras y Servicios, 2009

Figura 4.2 Composición de RSU en Ocotla

**Almacenamiento.** La situación con respecto al almacenamiento domiciliario (almacenamiento in situ) es deficiente; existe una gran variedad de recipientes que son empleados como contenedores de los RSU sin que la mayoría hayan sido fabricados para este fin (figura 4.3). Entre los recipientes usados en el asentamiento los que predominan son las bolsas de plástico, ya que estas son proporcionadas por todo tipo de comercios para el almacenamiento y transporte de mercancía.

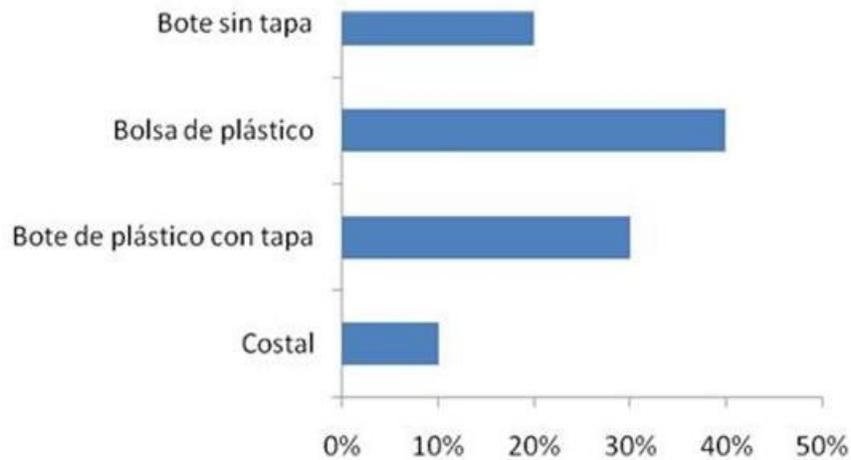


Figura 4.3 Tipos de contenedores de RSU en Ocotla

Durante el recorrido en Ocotla no se observó ningún tipo de contenedor para el almacenamiento de RSU en la vía pública, por lo que calles y terrenos baldíos son comúnmente utilizados para el depósito de la basura (figura 4.4).



Figura 4.4 Basura depositada en calles y terrenos baldíos

**Recolección y transporte.** Ocotla cuenta con dos opciones para la recolección de sus residuos.

1. Servicio de recolección de parada fija. Un camión de la Delegación acude a la comunidad dos veces por semana (miércoles y domingos), realiza un recorrido que comienza a las 8:00 am con una duración aproximada de 31 minutos y lleva una cuadrilla (un chofer y dos ayudantes). El camión utilizado es de carga trasera con una capacidad de 2.5 a 3 toneladas, éste posee un sistema de separación el cual no es utilizado durante su servicio.



Figura 4.5 Camión recolector de la delegación

La ruta actual de ida y regreso del vehículo de recolección se encuentra trazada de color rojo en el siguiente mapa; con unos cuadros azules se ubican los lugares en los cuales el camión realiza las paradas (figura 4.6).

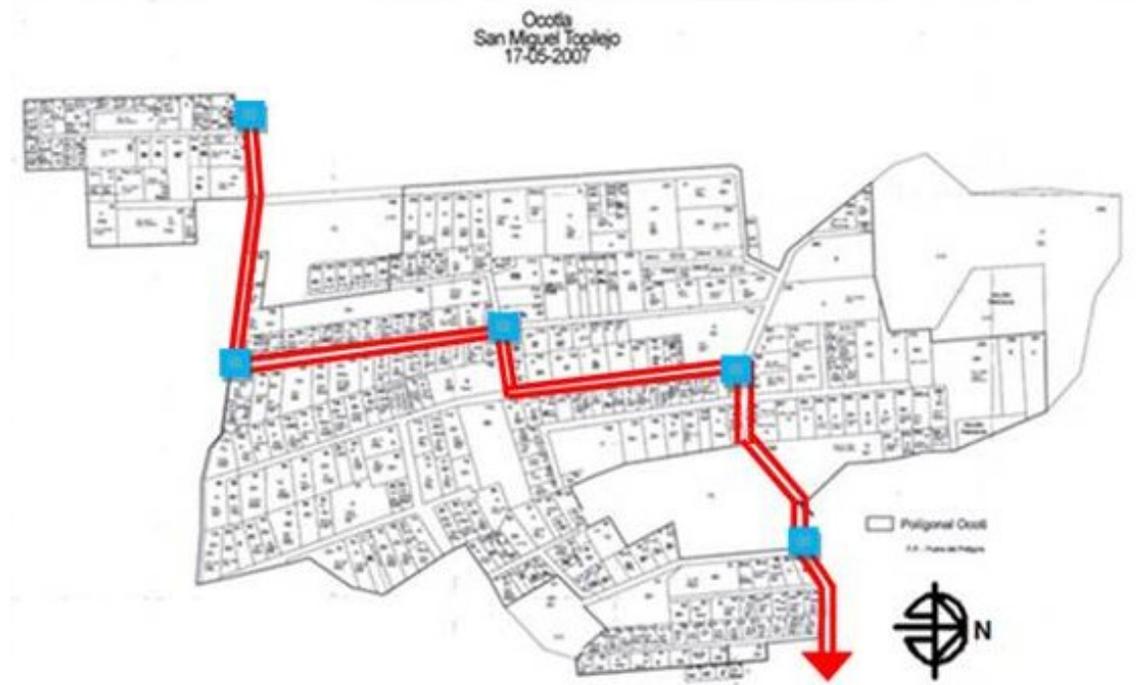


Figura 4.6 Ruta y paradas de recolección en Ocotla

2. Existe una segunda opción para el desalojo de RSU. A 1200m del asentamiento en el entronque del camino de acceso a Ocotla con la carretera federal a Cuernavaca, se localizan varios contenedores de metal en los que es posible depositar los residuos (ver figura 4.7).



Figura 4.7 Contenedores fijos sobre la carretera federal a Cuernavaca

Con los resultados de las encuestas, se encontró que el 60% de la comunidad utiliza el camión de recolección y el 35% recurre a los contenedores de la carretera federal. Sin embargo, existe un 5% (1 persona) que manifestó abiertamente depositar los residuos en un terreno baldío (figura 4.8).

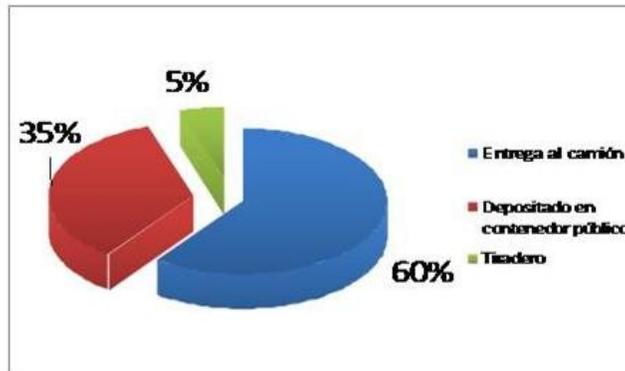


Figura 4.8 Tipo de recolección

**Transferencia y disposición final.** De acuerdo con el volumen generado en la zona la construcción de una estación de transferencia en la zona no resulta viable. Actualmente los residuos de Ocotla se conducen a la estación de transferencia de la delegación Tlalpan ubicada en el kilómetro 5.5 de la carretera Picacho-Ajusco y posteriormente al relleno sanitario de Bordo Poniente.

**Tratamiento.** El 60% de los habitantes de Ocotla dijo realizar la separación de residuos en orgánicos e inorgánicos, sin embargo el camión recolector no le da el seguimiento a la separación domiciliar. De los habitantes que separan los residuos, algunos lo hacen para utilizar la materia orgánica para sus plantas o como alimento de animales.

## 4.2 Propuestas

A partir de este diagnóstico, a continuación se definen y describen las cinco propuestas que se plantean para Ocotla, de acuerdo con las características propias del asentamiento y sus habitantes:

- Reducción de generación de RSU
- Separación domiciliaria
- Composta casera
- Contenedores en vía pública
- Servicio de barrido

### 4.2.1 Reducción de generación de RSU

El problema que existe por la alta generación de residuos no sólo requiere medidas correctivas, también se puede prevenir. La reducción de residuos es una manera de hacerlo y consiste en llevar a cabo compras inteligentes y responsables, las cuales cumplen con las siguientes consideraciones (UIA, 2009):

- Antes de comprar un producto evaluar si es realmente necesario
- Evitar todo aquello que de una u otra forma genere desperdicios innecesarios
- Al realizar la compra, evitar los empaques excesivos y elegir los que son retornables o de material reciclable: vidrio, cartón, aluminio.

La propuesta consiste en informar a los habitantes sobre la importancia y los beneficios que produce un consumo responsable. En México desde el año 2008, existe una guía llamada *Páginas Verdes*, en la cual se encuentran todos los productos que hacen que los hogares sean más ecológicos. La guía contiene un directorio con las empresas y organizaciones que cuentan con productos y servicios de diversas categorías que cumplen con el ideal de un desarrollo sustentable (Páginas Verdes, 2009). Debido a que ésta es una empresa mexicana sin fines de lucro, su funcionamiento se logra gracias al apoyo de patrocinadores y a las empresas que se anuncian en el directorio. Éste puede ser consultado vía electrónica en la página [www.laspaginasverdes.com](http://www.laspaginasverdes.com) o adquirirse en forma impresa con un donativo de \$90.00. Al ser ésta una herramienta de consulta, se puede considerar el adquirir uno o dos ejemplares, los cuales quedarían a disposición de los habitantes. Estos ejemplares, además de brindar la información sobre los productos que reducen la generación de residuos, contienen artículos en los que se ofrecen consejos prácticos y sencillos para un mejor manejo y aprovechamiento de residuos.

#### 4.2.2 Separación domiciliaria

La propuesta consiste en implementar la separación domiciliaria en la totalidad de los hogares del asentamiento. Se requieren dos contenedores destinados a cada uno de los residuos (orgánicos e inorgánicos). El diseño de contenedores domiciliarios y cálculo de la cantidad de materiales a separar se obtuvieron a partir de los siguientes datos basados en los resultados de las encuestas.

El número promedio de habitantes por vivienda es de 6 personas con una generación de 1.04 (kg/hab-día), por lo tanto por vivienda la cantidad de RSU será de 6.24 (kg/día). Del total, el 43% corresponde a materia orgánica (residuos de cocina y jardín) y el 57% a materia inorgánica (papel, cartón, vidrio, aluminio, metales).

**Cálculo de la capacidad de contenedores domiciliarios.** Se necesita conocer el peso volumétrico de los residuos. Con base en la investigación realizada en el Programa de Manejo Integral de Contaminantes en Topilejo en el 2002, se tienen los siguientes datos:

$$\text{materia orgánica} = 291 \text{ (kg/m}^3\text{)}$$

$$\text{materia inorgánica} = 148 \text{ (kg/m}^3\text{)}$$

Considerando que se dispondrá de contenedores públicos cerca de la vivienda, el tiempo de almacenamiento en el domicilio será de máximo tres días. Por lo tanto la generación de residuos domiciliarios en tres días será de 18.72 kg. Con esta información se puede obtener el volumen necesario de los contenedores para cada tipo de materia.

$$\begin{aligned} \text{Residuos orgánicos:} & \quad (18.72 \text{ kg})(0.43) = 8.04 \text{ kg} \\ & \quad (8.04 \text{ kg}) / (291 \text{ kg/m}^3) = 0.027 \text{ m}^3 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{Residuos inorgánicos:} & \quad (18.72 \text{ kg})(0.57) = 10.67 \text{ kg} \\ & \quad (10.67 \text{ kg}) / (148 \text{ kg/m}^3) = 0.072 \text{ m}^3 \end{aligned}$$

Se recomienda tener dos contenedores con tapa, de polietileno de alta densidad (PAD), de diferentes colores de acuerdo a la preferencia de los usuarios. La capacidad de los contenedores será de 30 litros para residuos orgánicos y 70 litros para inorgánicos, con un costo promedio unitario de \$70.00 dependiendo del tamaño (figura 4.9). Se sugiere que los dos contenedores tengan tapa ya que, en caso de no tener espacio suficiente dentro del hogar, éstos se pueden colocar a la intemperie.



Fuente: Grupo JPR de México S.A de C.V  
 Figura 4.9 Contenedores domiciliarios

Para que esta actividad alcance el objetivo, es necesario que la recolección domiciliar se realice también de manera separada. El camión que actualmente brinda el servicio, cuenta con el mecanismo de almacenamiento con separación, por lo que no es necesaria la inversión en un nuevo equipo. Únicamente se debe capacitar al personal de recolección para dar seguimiento a este proceso, de esta manera los RSU tienen la posibilidad de reciclarse y ser tratados de manera más sencilla.

Las encuestas arrojaron un dato el cual indica que el 65% de los habitantes utilizan parte de los residuos orgánicos como alimento para animales. Estas personas requieren un contenedor domiciliario para materia orgánica más pequeño que el propuesto, ya que el aprovechamiento que se les da actualmente a los residuos, disminuye el volumen para recolección. Para ello, se requiere conocer la composición de la materia orgánica (tabla 4.2).

Tabla 4.2 Composición de materia orgánica

Tipo	Porcentaje del total de residuos	Porcentaje de los residuos orgánicos
Fibra dura vegetal	0.69%	1.58%
Hueso	0.27%	0.62%
Residuos de alimentos	37.7%	86.57%
Residuos de jardín	3.18%	7.30%
Finos	1.71%	3.93%
	<b>43.55%</b>	<b>100.00%</b>

Fuente: JICA, 1999

En Ocotla, los animales domésticos que predominan son los perros, gatos y en menor grado los cerdos. Es necesario considerar que de los residuos de alimentos, únicamente el 80% se puede re aprovechar (JICA). En las casas que sólo hay perros se reutilizan residuos de alimentos, por lo que se aprovecha el 23.70% de los residuos orgánicos generados. Otras familias cuentan con perros, gatos y cerdos, éstas pueden reutilizar hueso y residuos de alimento, reduciendo el volumen generado en un 69.87%.

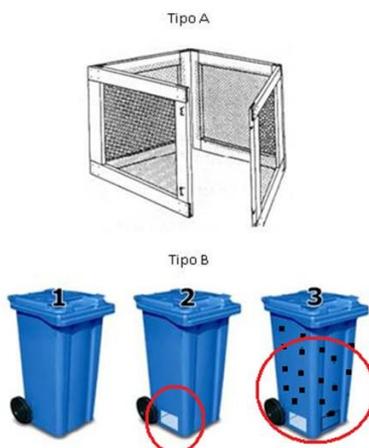
De esta manera la capacidad del contenedor de materia orgánica se reduce a 20 lt para el primer caso descrito y a 10 lt para el segundo. Esta es una alternativa que actualmente funciona en Ocotla, por lo que no es necesario modificarla. La recomendación sería promoverla para que el aprovechamiento se realice en todas las casas que cuenten con animales.

#### 4.2.3 Composta casera

Del diagnóstico de Ocotla, se sabe que el 43% de los residuos generados son materia orgánica, por lo que pueden utilizarse como composta. Los residuos, al someterse a este proceso, dejan de formar parte del volumen a recoger. La importancia de esta propuesta para la tesina es el hecho de reducir el volumen de residuos que pasan a la etapa de recolección y transporte del SMRSU. Por la relevancia que representa esta propuesta en el asentamiento, se está desarrollando una tesina enfocada en la composta. En este apartado únicamente se presenta la metodología en cuanto a la selección del contenedor compostero y la inversión que ésta representa.

La composta se puede hacer en contenedores de diversos materiales, en este apartado se presentan dos opciones con costos.

- Contenedor de madera y tela de alambre (figura 4.10, tipo A) con bisagras totalmente desarmable de 30x30x30 cm. Es sencillo y económico, requiere una inversión de \$200.00, contando únicamente el material. La tapa es opcional dependiendo del clima y la cantidad de lluvia en la zona.
- Contenedor de plástico de alta densidad. Es necesario realizar entre 24 a 48 hoyos de 1 cm de diámetro con lo que se obtiene una buena aireación, ubicar ventanas para verificar el estado de la composta y una pequeña puerta en la parte inferior (figura 4.10, tipo B). De acuerdo al volumen de composta a realizar, será la inversión a realizar ya que ésta depende de la capacidad del bote de plástico. Para un bote de 20 litros, el costo es de \$240.00.



Fuente: Gómez, 2006

Figura 4.10 Contenedores composteros

Una de las preguntas que se consideraron en las encuestas realizadas en Ocotla, se refería a la disposición de la población a recibir asesoría para composteo. El resultado fue favorable ya que el 75% de los entrevistados se mostró interesado en la capacitación, por lo cual la alternativa resulta factible.

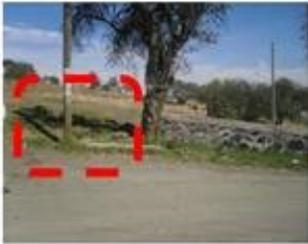
#### 4.2.4 Contenedores en vía pública

Las encuestas indican que el 35% de los habitantes llevan los residuos a los contenedores públicos ubicados a más de un kilómetro del asentamiento. Esto debido a que no tienen la oportunidad de entregarlo directamente al vehículo de recolección. La situación se presenta cuando los usuarios no se encuentran en su domicilio en el momento en que el camión hace la recolección.

Lo anterior provoca que los contenedores públicos ubicados en las afueras del asentamiento sobrepasen su capacidad, fomenten la proliferación de fauna nociva en la zona y afecten el paisaje. Esto en el mejor de los casos, en otras ocasiones los residuos terminan en terrenos baldíos, dando lugar a tiraderos clandestinos. La propuesta consiste en cambiar el servicio de recolección actual a una *de contenedores* en la que se coloquen contenedores públicos tanto para residuos orgánicos como inorgánicos. Los contenedores se situarían en los puntos en los que actualmente el vehículo realiza las paradas de recolección. Esta consideración se tiene debido a que esta ruta es a la que se tiene fácil acceso por la pavimentación de las calles (figura 4.11). Los sitios en los cuales se ha designado la colocación de contenedores han sido recorridos y se ha verificado que exista el espacio suficiente para su colocación (figura 4.12). Únicamente en el caso del sitio 3 se reubicó el punto ya que el espacio era reducido y afectaba la vialidad de la calle. La recolección se realizaría también de manera separada, para darle el seguimiento a la separación domiciliaria propuesta.



Figura 4.11 Mapa para recolección con contenedores

Punto 1		
Punto 2		

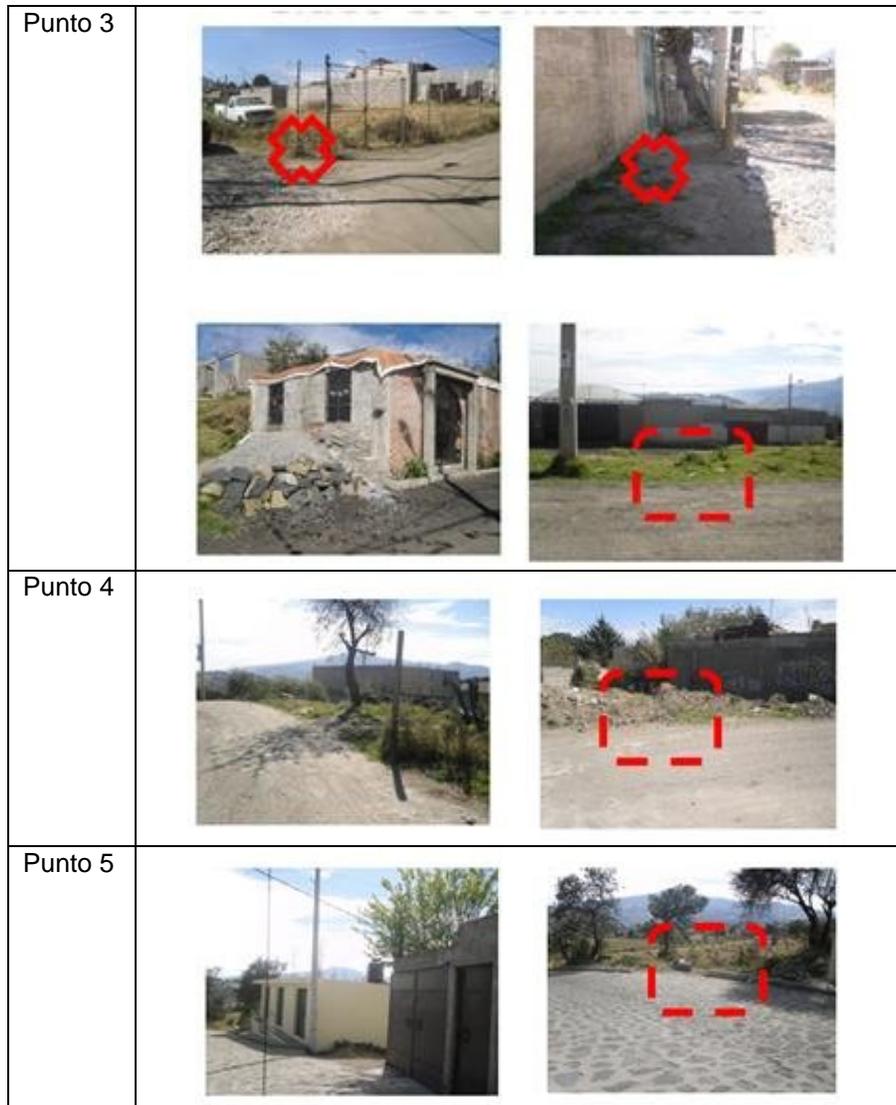


Figura 4.12 Puntos para contenedores móviles en Ocotla

Para el cálculo de la capacidad de dichos contenedores se toma en cuenta la generación per cápita de 1.04 (kg/hab-día) y una población de 450 habitantes, obteniendo una generación de 468 (kg/día) de RSU en Ocotla. El vehículo de recolección pasa dos veces por semana, por lo tanto se considera un tiempo de almacenamiento para estos contenedores de 3 días.

Siguiendo la misma metodología que en el apartado 4.2.1, serán necesarios cinco contenedores de 414 litros con un costo de \$1,000.00 cada uno para residuos orgánicos y cinco contenedores de 1,082 litros con un costo de \$2,500.00 para residuos inorgánicos (figura 4.13).



Fuente: Grupo JPR de México S.A de C.V  
Figura 4.13 Contenedores públicos

Existen dos alternativas mencionadas anteriormente mediante las cuales la capacidad del contenedor de materia orgánica se puede reducir. La primera consiste en la elaboración de composta y la segunda se refiere al uso de residuos orgánicos como alimento para animales. No obstante, el contenedor que se sugiere funciona para el peor escenario que sería cuando nadie realizara aprovechamiento de residuos.

Es importante mencionar que Ocotla es una de las microrutas que recorre el vehículo que brinda el servicio de recolección de RSU. Es por ello que el costo de operación de este servicio (costos de inversión, depreciación, impuestos, seguros, mantenimiento y personal) forma parte de un costo total del funcionamiento del proceso de recolección de la delegación Tlalpan, La propuesta tiene como objetivo el mejorar el servicio y con ella se reduce el tiempo del recorrido y en consecuencia el costo de la microruta.

#### 4.2.5 Servicio de barrido

La etapa de recolección se conforma por el barrido y la recolección domiciliaria de RSU. En el diagnóstico se observó el tipo y la ruta de recolección domiciliaria utilizada en Ocotla (figura 4.9). Sin embargo, en el asentamiento existen tiraderos clandestinos a lo largo de una de las principales calles, *La Virgen*, ya que sobre ésta se encuentra un lote en el que hay una porqueriza (figura 4.14). Esto en parte se debe a que no existe un servicio de barrido ni de limpieza de áreas públicas.



Figura 4.14 Tiraderos abiertos

Considerando el volumen generado y la accesibilidad a las calles del asentamiento, se recomienda un servicio de barrido manual. Se identificaron los predios habitados y se trazó la ruta del vehículo recolector. Posteriormente se señalaron las áreas en las que hay una mayor densidad de población y se encuentran alejadas de la ruta de recolección (figura 4.15).



Figura 4.15 Mapa con densidad de población en Ocotla

En la figura 4.15 se observan cinco zonas en las que se muestra una concentración media de predios habitados y que en consecuencia requieren del servicio de barrido. Conforme a estas zonas se definieron las rutas de barrido. Las distancias en el asentamiento no son muy grandes, sin embargo, los encharcamientos y la falta de pavimentación, hacen que el recorrido implique un

esfuerzo mayor. La planeación en cuanto a las rutas se realizó tomando en cuenta las condiciones actuales del suelo del asentamiento. Éste se compone de tres suelos diferentes: empedrado, pavimento y terracería (figura 4.16).

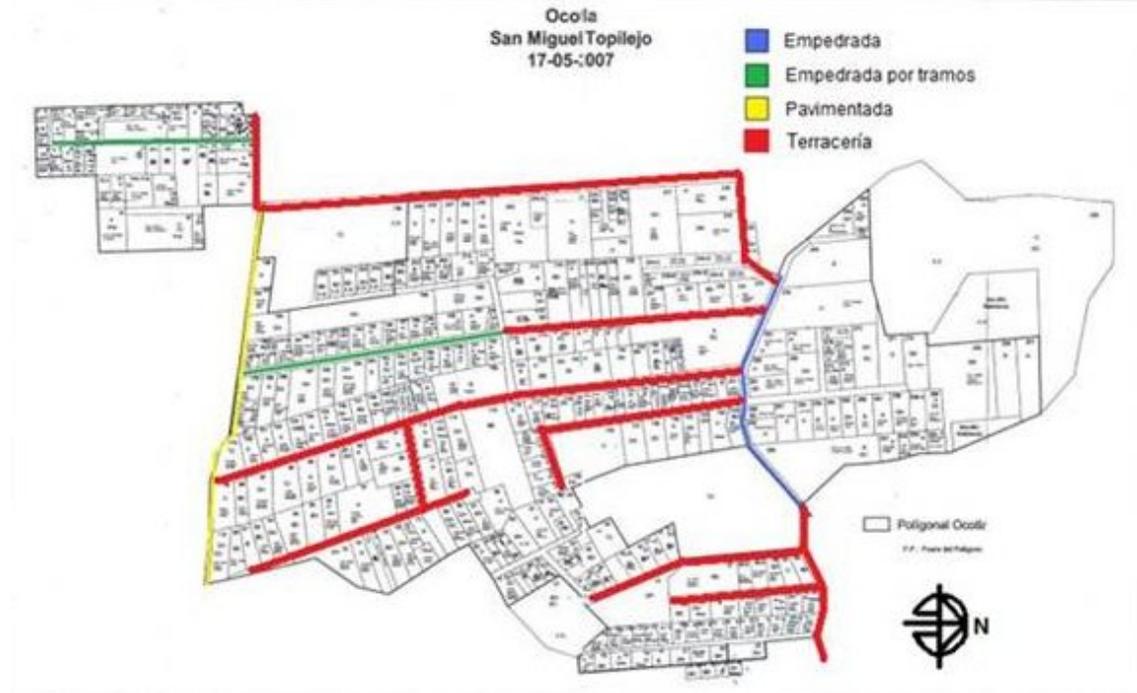


Figura 4.16 Situación de las calles en Ocotla

La situación ideal es llegar a la homogeneización de suelos, por lo que se cotizaron las alternativas de empedrado, pavimento y concreto ecológico para cubrir con un área de 19,557 m<sup>2</sup> de calles con los que cuenta el asentamiento.

**Empedrado.** Es una alternativa que permite la filtración del agua al subsuelo y tiene un costo de \$122.14 el metro cuadrado (FISE, 2008). Si se utilizara esta técnica en todas las calles de Ocotla el costo total asciende a:

$$(19,557\text{m}^2)(122.14 \text{ \$/m}^2) = \$ 2,388,692$$

**Pavimento.** Esta metodología no permite la filtración del agua al subsuelo; pavimentar un metro cuadrado tiene un precio entre \$90.10 y \$220.00 dependiendo el tipo de pavimento (DOP, 2009); suponiendo que se utiliza un costo intermedio para que el pavimento sea de calidad media y dure:

$$(19,557\text{m}^2)(155.05 \text{ \$/m}^2) = \$ 3,032,312$$

**Ecocreto o concreto ecológico** Este tipo de pavimento sí permite la recarga del acuífero, lo cual lo hace una opción factible para Ocotla; sin embargo sus costos son más elevados que el empedrado. Cada metro cuadrado de Ecocreto cuesta \$374.70 (Concreto Ecológico de México, 2009); que resultaría un total de:

$$(19,557\text{m}^2)(374.70 \text{ \$/m}^2) = \$7,328,007$$

El empedrado es la opción idónea para el asentamiento ya que permite la filtración del agua al subsuelo, además de resultar económicamente factible. El ecocreto es buena opción también pero su costo lo hace una alternativa no viable. El empedrado tiene también la ventaja de mantener el estilo que se tiene en el asentamiento, facilita el acceso pero no fomenta el uso de vehículos. Es necesario que alguna de estas alternativas se lleve a cabo, ya que también representan un factor contaminante de aire debido a la erosión del suelo. No obstante para la propuesta de barrido manual, éste puede llevarse a cabo en los tres tipos de suelo que presenta el asentamiento.

El asentamiento se conforma aproximadamente por 4,800 metros de calle. De este total se pretende tener una cobertura del 70% por la accesibilidad que presentan las calles. Por lo tanto, el servicio de barrido cubre una distancia de 3350 m aproximados la cual se divide en dos rutas de 1700 metros respectivamente. De acuerdo con la Organización Panamericana de Salud (OPS), el rendimiento de un barrendero por día oscila entre 1 y 2 km diarios por lo tanto la división resulta correcta, La Ruta 1 se recorrería los días lunes, miércoles y viernes; la Ruta 2 sería atendida los días martes, miércoles y sábado.

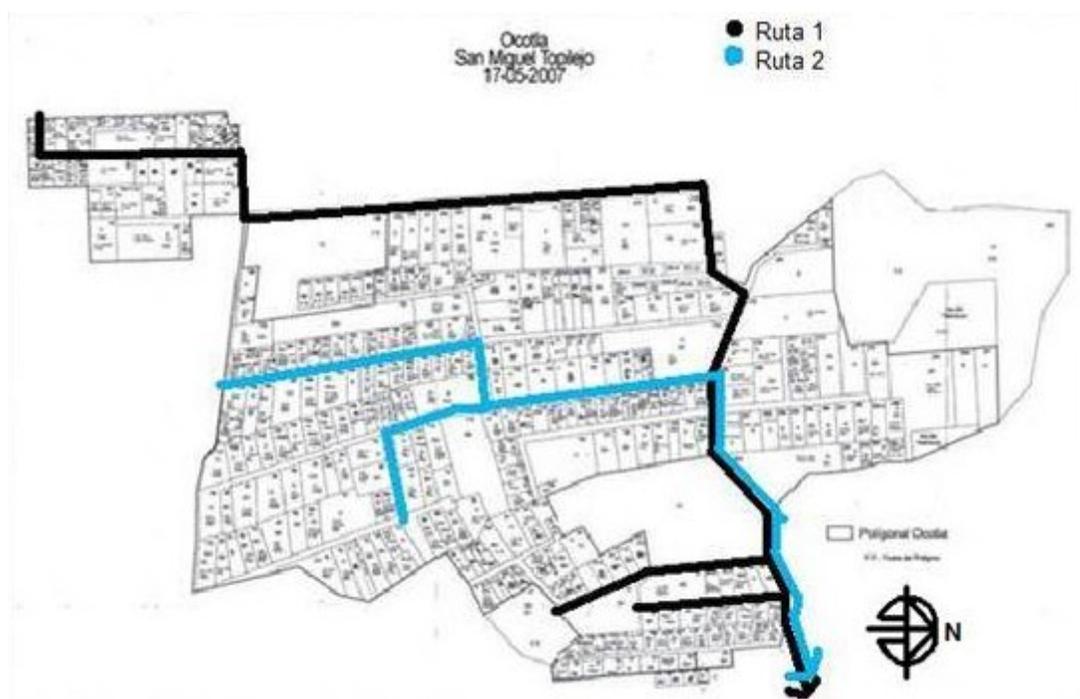


Figura 4.17 Mapa de rutas de barrido

En la figura 4.17 se muestran las rutas de barrido, las cuales se designaron considerando dos situaciones primordialmente. El primero consiste en tratar de abarcar la mayor parte de las áreas habitadas, que se detectaron con la figura 4.15. El segundo se enfoca en el cubrir las calles principales del asentamiento en el cual existe un mayor tránsito de personas.

Para obtener el costo de este servicio se cuenta con la información de la tabla 4.3, en la cual se muestra el sueldo mensual de un barrendero.

Tabla 4.3 Sueldo mensual por persona

Sueldo	\$2200
Propina sugerida	\$1000
Total	\$3200

Fuente: INE, 2007

De acuerdo a estos datos, un barrendero tiene un costo de \$3,200 que al dividirlo entre los 165 lotes habitados en Ocotla, se obtiene un donativo mensual de \$20.00. En las encuestas se incluyó una pregunta que se refiere a la disposición de los habitantes para pagar una propina por un servicio de barrido. La respuesta resultó ser positiva ya que un 95% aprobó la colaboración para la prestación del servicio.

Estas son las propuestas que se elaboran para el asentamiento de Ocotla en Topilejo. Cada una de ellas tiene un objetivo concreto, no obstante la recolección juega un papel importante en la culminación del funcionamiento de las mismas. La situación ideal sería el implementar el total de las alternativas, sin embargo, éstas pueden definirse por prioridades de acuerdo al presupuesto disponible, u otras limitaciones.

#### 4.3 Propuesta de implantación

Anteriormente se presentaron las cinco propuestas de mejora en el SMRSU del asentamiento de Ocotla. Para cada una de ellas se evaluó la factibilidad en cuanto a aceptación de la comunidad y espacio requerido para su implementación.

Las tres primeras propuestas de la tesina requieren un estudio para cada casa. La reducción de residuos, depende del compromiso de las familias de realizar compras inteligentes. Para la separación domiciliar se deben analizar los hábitos de las personas para calcular el volumen necesario para los contenedores. En el apartado anterior, se hizo un estimado de capacidad basada en la composición de los residuos de una zona urbana y tomando un promedio de 6 personas por vivienda. Sin embargo, éstas son variables de decisión que se deben definir para cada situación. Finalmente, el volumen y la frecuencia de elaboración de composta dependen del tiempo disponible y el uso que se le dé conforme a las necesidades de cada vivienda.

Todas las propuestas aportan un beneficio al sistema de manejo de residuos, sin embargo es necesario definir cómo va a ser la implantación de las mismas. El servicio de barrido manual es la propuestas que resulta más urgente de poner en práctica al ser económicamente factible y aceptada por la comunidad. Con ella será posible mejorar la estética del asentamiento, dando un beneficio

generalizado. La cuota que se solicita para este trabajo es un donativo mínimo mensual por parte de los lotes habitados. El barrido manual permite tener acceso a cada sección del asentamiento, sin importar la variedad de suelos que existe.

El cambio de metodología de recolección es la propuesta con mayor importancia al convertir al usuario en un elemento pasivo dentro de la misma, además de dar continuidad a la separación domiciliaria recomendada. Actualmente, en Ocotla no se cuenta con ningún contenedor sobre las vialidades, por lo que los tiraderos a cielo abierto resultan frecuentes. Al cambiar a un método de contenedores, los habitantes disponen de ellos en todo momento en el punto donde acostumbra detenerse el camión recolector y pueden depositar sus residuos cuando ellos lo deseen. El camión cuenta con el equipo para la recolección separada, por lo que la inversión únicamente radica en los contenedores, la cual tiene un monto estimado de \$17,500. El costo de este servicio asciende a \$145.00 por familia, no obstante existe la posibilidad de que los contenedores sean una donación por parte de la delegación.

Una de las limitantes a las cuales se enfrentó el estudio para las propuestas recolección fue la heterogeneidad de suelos que existe (empedrado, terracería y pavimentado). De acuerdo a los datos presentados anteriormente, el empedrado además de resultar económico, tiene una ventaja estética que va de acuerdo a las condiciones de vida en Ocotla. La recomendación consiste en una mejora inmediata en cuanto a la accesibilidad a la zona con lo que será posible el diseñar nuevas rutas de recolección y barrido. Esto permitirá dar el servicio de limpia a la totalidad del asentamiento.

Durante la presentación de resultados en la segunda visita, se observó interés en los habitantes por la mejora de las condiciones del asentamiento. Es por ello, que a la mesa directiva se le entregó el reporte del estudio realizado para poder dar seguimiento las propuestas de cada aspecto analizado (agua potable, aprovechamiento de agua residual, contaminación de aire, manejo de residuos sólidos urbanos y peligrosos y riesgos ambientales). Estos estudios se realizan una vez que se ha analizado la opción de erradicar el asentamiento irregular, sin embargo en el caso de no ser posible esta alternativa, se puede buscar el disminuir su impacto al ambiente, recordando que estas zonas funcionan bajo el ideal del crecimiento cero.

Se debe recordar que cualquier proyecto de ingeniería requiere de supervisión y seguimiento de las actividades sugeridas. En Ocotla el seguimiento se requiere en los siguientes aspectos:

- Limpieza de contenedores y sus alrededores
- Suficiencia en la capacidad sugerida de los contenedores
- Eficiencia del servicio de barrido
- Satisfacción de los habitantes.

## Capítulo 5. Conclusiones y recomendaciones

Para mejorar el Sistema de Manejo de Residuos Sólidos Urbanos (SMRSU) - compuesto por las siguientes etapas: generación, almacenamiento in situ, almacenamiento temporal, recolección y transporte, transferencia, tratamiento y disposición final- han surgido etapas alternas como son la reducción en la generación, separación, reuso, reciclaje y valorización de residuos.

Existen asentamientos que no se pueden reacomodar en lugares adecuados para habitar, es por ello que para éstos se realizan estudios que reduzcan el impacto ambiental. En esta tesina se elaboraron cinco propuestas de mejora del SMRSU de Ocotla encaminadas hacia la reducción, la separación in situ, el almacenamiento temporal, el tratamiento de residuos orgánicos (reciclaje por composteo) y la recolección.

- *Reducción en la generación de residuos.* Promueve compras inteligentes que reduzcan la generación de RSU.
- *Separación domiciliaria.* Propone dos contenedores en cada domicilio, para la separación de residuos orgánicos e inorgánicos. Representa el inicio de las actividades que permiten el aprovechamiento de los residuos. Los contenedores con tapa sugeridos tienen un costo aproximado de \$70.00 cada uno.
- *Composteo.* Es un método de aprovechamiento de material orgánico, con el cual se reduce el volumen de residuos a recolectar, además de obtenerse abono orgánico.
- *Recolección con contenedores.* Se cambia la metodología de parada fija a contenedores en cinco puntos del asentamiento; en cada punto dos contenedores (uno para orgánicos y otro para inorgánicos) con un costo unitario aproximado de \$1,000 y \$2,500, respectivamente. Esta recolección da continuidad a la separación domiciliaria propuesta; reduce la proliferación de tiraderos clandestinos y el horario de recolección no interfiere con los hábitos de los usuarios.
- *Servicio de barrido manual.* Ofrece el servicio de limpia manual para calles y áreas públicas, con lo cual se mejora la estética del asentamiento y elimina los brotes de tiraderos clandestinos. El costo del servicio es de \$3,200, que se cubre con un donativo mensual de \$20 por lote habitado.

Las conclusiones y recomendaciones alcanzadas durante este trabajo se pueden agrupar en los siguientes rubros.

Enfoque sistémico e integral. El estudio del manejo de residuos sólidos urbanos (RSU) debe hacerse desde el punto de vista sistémico, para identificar claramente los elementos que lo componen (etapas) y las actividades a modificar (áreas de oportunidad) para obtener una mayor repercusión positiva en todo el sistema.

La presente tesina muestra el diagnóstico en cuanto al manejo de residuos sólidos urbanos en Ocotla, que formó parte del Programa de Reducción de Impacto Ambiental (PRIA), en el cual se realizó un estudio ambiental integral que abarcó las siguientes áreas: agua residual, agua potable, contaminación del aire, manejo de residuos sólidos urbanos (RSU), residuos peligrosos y riesgos ambientales. El realizar el estudio tomando en cuenta los diferentes factores que caracterizan el asentamiento, hace que las propuestas de mejora brinden beneficios integrales.

Trabajo de escritorio o teórico. Es indispensable partir de la teoría para seleccionar adecuadamente las metodologías disponibles que resulten factibles de acuerdo a las características del lugar en el que se desean implantar. Previo a un trabajo de campo, se requieren los conceptos que permiten identificar aspectos en los cuáles enfocarse durante las visitas al lugar a estudiar.

El caso práctico de esta tesina se elaboró en un asentamiento irregular de la delegación Tlalpan, no obstante la metodología utilizada para su realización resulta útil para diagnósticos ambientales de cualquier zona.

Trabajo de campo. En la universidad, los estudios se enfocan en investigación y resolución de problemas teóricos, siendo pocas las actividades prácticas que se tienen. La importancia de los proyectos de ingeniería es lograr concretar los conceptos aprendidos en acciones para problemas reales. Los proyectos aportan alternativas de soluciones a la sociedad, además de servir como apoyo para el desarrollo de investigaciones posteriores. El PRIA actuó como base para el desarrollo de ésta y dos tesinas más en la obtención del título de Ingeniería Industrial. La primera evalúa la factibilidad del uso de la energía solar en un asentamiento y la segunda se enfoca en el compostaje.

Los casos prácticos requieren visitas a los lugares en los que se realiza el estudio. En el PRIA se realizaron dos visitas al asentamiento; para fines de esta tesina fue necesaria una tercera. Ésta tuvo como finalidad verificar que las alternativas propuestas en la recolección y barrido de RSU fueran viables al comparar el espacio requerido y el disponible para su implantación.

Trabajo en equipo. El trabajar bajo esta premisa permitió cubrir seis áreas de estudio para cumplir con el objetivo del PRIA. La metodología propicia debates en los que se cuestionan las alternativas de mejora, de tal manera que se elija la mejor propuesta en cada etapa.

Vínculo de la UNAM con la sociedad. La delegación Tlalpan, patrocinó a la UNAM en años anteriores (PMIC en el 2002 y PEMA en el 2008) con la realización de estudios ambientales de la zona de San Miguel Topilejo. Este apoyo ayudó a la

elaboración del PRIA en el año 2009 al complementar los datos de campo obtenidos. De aquí la importancia que la UNAM fomente y mantenga relaciones con las Delegaciones y autoridades, para realizar investigaciones que funcionan como un servicio a la comunidad.

Factores sociales. Como parte del esquema para la regularización, se requiere de un diagnóstico ambiental de la zona. De ahí radica la importancia de estudios como el realizado en esta tesina y en el PRIA.

El equipo de trabajo se vio favorecido al contar con una persona del asentamiento, siendo éste un factor clave para lograr el vínculo con los habitantes. La familia Fernández García apoyó el PRIA y a la tesina con la convocatoria de los interesados de la comunidad para asistir a las visitas y al recibir el documento generado para consulta de los habitantes de Ocotla.

Estudiar el diagnóstico de Ocotla por áreas facilitó la comprensión, ofreciendo resultados concretos que llamaron la atención de los habitantes. El contacto con la gente y poder ofrecerles soluciones reales a situaciones actuales, fue una gran motivación y un logro personal.

Difusión de resultados y seguimiento. El documento generado con el PRIA se encuentra a disposición de los habitantes de Ocotla, desde diciembre de 2009. Si se deseara implantar las propuestas, se deberá elaborar un plan de seguimiento.

Finalmente debemos recordar que la labor del ingeniero es buscar alternativas de mejora en todo tipo de procesos y darles un seguimiento. Por lo que, ante la rapidez de cambio en la que nos encontramos, debemos ser proactivos y estar al día en el surgimiento y aplicaciones de nuevas alternativas y tecnologías.

**Aguirre, R. (2002)**, *Programa de Manejo Integral de Residuos, Quintana Roo: PROMIR*, Facultad de Ingeniería, Universidad Nacional Autónoma de México.

**Ayuntamiento de Mérida (2009)**, *Yucatán Reglamento de limpia y manejo de residuos sólidos no peligrosos del municipio de Mérida*, [página web en línea], México, Ayuntamiento de Mérida, [consultado 10-09-09], disponible en internet: [http://www.yucatan.gob.mx/gobierno/orden\\_juridico/Yucatan/Reglamentos/nr306rf1.pdf](http://www.yucatan.gob.mx/gobierno/orden_juridico/Yucatan/Reglamentos/nr306rf1.pdf)

**Buenrostro, Otoniel (2003)**, *La Gestión de los residuos sólidos municipales en la cuenca del Lago de Cuitzeo, México* [página web en línea], México, disponible en internet: [http://www.atmosfera.unam.mx/editorial/contaminacion/acervo/vol\\_19\\_4/1.pdf](http://www.atmosfera.unam.mx/editorial/contaminacion/acervo/vol_19_4/1.pdf)

**Buenrostro, Otoniel (2006)**, *La producción de residuos sólidos municipales y sus impactos ambientales*, [página web en línea], Ciencia y desarrollo, CONACYT, México, disponible en internet: <http://www.ciudadtijuana.com/zonacreativa/2008/junio/30cienciaresiduos.html>

**Casa de la naturaleza (2009)**, *Residuos*, [página web en línea], Casa de la naturaleza Excom, Ayuntamiento Castro Urdiales: Consejería de medio ambiente, España, [consultado 27-12-09], disponible en internet: <http://www.castrourdiales.net/ayuntamiento/WEBMEDIOAMBIENTE/residuos.htm>

**CEPIS (2009)**, *El servicio de limpieza pública* [página web en línea], Centro Panamericano de Ingeniería Sanitaria y Ciencias del Ambiente, disponible en internet: [http://www.cepis.org.pe/curso\\_mrsm/e/fulltext/pequena.pdf](http://www.cepis.org.pe/curso_mrsm/e/fulltext/pequena.pdf)

**Ciudadanos en red (2009)**, *Alarmante aumento de generación per cápita de residuos sólidos en México* [página web en línea], México, Ciudadanos en red: boletín temático, disponible en internet: <http://ciudadanosenred.com.mx/?cve=1230>

**Conciencia animal (2006)**, *3R La ley de las tres erres (Reducir, reciclar y reutilizar)* [página web en línea], Chile, Conciencia animal, disponible en internet: <http://www.conciencia-animal.cl/paginas/temas/temas.php?d=311>

**Concreto Ecológico de México (2009)**, *Ecocreto*, [página web en línea], México, [consultado 18-10-09], disponible en internet: <http://www.ecocreto.com.mx/>

**CPEUM (1999)** *Constitución Política de los Estados Unidos Mexicanos*, México, reformado mediante el decreto publicado en el Diario Oficial de la Federación el 23 de diciembre de 1999.

**Cruz, Katy (2008)**, *Manejo y tratamiento de residuos orgánicos e inorgánicos en viviendas sustentables*, [página web en línea], México D.F, Facultad de Ingeniería UNAM, 2008, disponible en internet: <http://dibi.unam.mx/>

**Cortinas, Cristina (2003)**, *Marco Legal de Residuos Sólidos en México*, [página web en línea], México, Portal [www.cristinacortinas.com](http://www.cristinacortinas.com), disponible en internet:<http://www.slideshare.net/enriquebio2/marco-legal-y-de-residuos-slidos-en-mxico>

**DOF (2008)**, *Ley general del equilibrio ecológico y protección al ambiente* [página web en línea], México, Diario Oficial de la Federación, disponible en internet: <http://www.diputados.gob.mx/LeyesBiblio/pdf/148.pdf>

**DOF (2007)**, *Ley General para la Prevención y Gestión Integral de los Residuos* [página web en línea], México, Diario Oficial de la Federación, disponible en internet: <http://www.diputados.gob.mx/LeyesBiblio/pdf/263.pdf>

**Domínguez, Jessica (2006)**, *Sistema de manejo integral de residuos sólidos municipales para pequeñas localidades*. Tesis para obtener el título de Maestra en Ingeniería. Posgrado de Ingeniería. Universidad Nacional Autónoma de México.

**DOP (2009)**, *Costos por metro cuadrado*, [página web en línea], México, Departamento de costos y presupuestos de la Dirección de Obras Públicas del estado de Jalisco, [consultado 20-10-09], disponible en internet: <http://transparencia.tonalá.gob.mx/bloque1/Costos%20por%20metro%20cuadrado.pdf>

**Eambiental (2009)**, *Residuos*, [página web en línea], México, Fondo para la Comunicación y la educación ambiental A.C., [consultado 20-12-09], disponible en internet: [http://www.eambiental.org/index.php?option=com\\_content&task=view&id=954&Itemid=289](http://www.eambiental.org/index.php?option=com_content&task=view&id=954&Itemid=289)

**Ecomarca (2009)**, *Residuos orgánicos e inorgánicos*, [página web en línea], Argentina, Mantra: energía de la nueva conciencia, [consultado 16-12-09], disponible en internet: <http://www.mantra.com.ar/contecologia/organicos/einorganicos.html>

**El Universal (2006)**, *México, inadecuado manejo de la basura amenaza a varios estados del país*, [página web en línea], México, El Universal en línea, disponible en internet: <http://www.es.irc.nl/page/35510>

**Entorno Perú (2002)**, *Residuos sólidos*, [página web en línea], Perú, Tu medio ambiente, disponible en internet: <http://entornoperu.tripod.com/residuos.htm>

**FISE (2008)**, *Obras Públicas*, [página web en línea], México, Ayuntamiento Constitucional de Atoyac, Jalisco, disponible en internet: <http://www.atoyac.jalisco.gob.mx/obraspub/obraspExtracto.html>

**Gaceta Oficial del Distrito Federal (2005)**, *Nota informativa: Ley de residuos sólidos en el Distrito Federal* [página web en línea], México, Centro de Estudios de la Finanza Públicas, disponible en internet: <http://www.cefp.gob.mx/notas/notacefp0262005.pdf>

**Gómez, Uriel (2006)**, *Elaboración de composta a partir de residuos orgánicos generados en el consorcio minero Benito Juárez y su aprovechamiento en la reforestación de terrenos*, Tesis para obtener el título de Ingeniero de Minas y Metalurgista, Facultad de Ingeniería, Universidad Nacional Autónoma de México.

**Greenpeace (2009)**, *Reciclaje, las tres R*, [página web en línea], México, Greenpeace, [consultado 13-01-10], disponible en internet: <http://archivo.greenpeace.org/ninos/educarecicla.htm>

**Herrera, Raúl (2004)**, *Cómo y por qué separar la basura. Una solución al problema de los residuos sólidos en la Ciudad de México*, [página web en línea], 2ª edición, México, Secretaría del Medio Ambiente, disponible en internet: <http://www.sma.df.gob.mx/rsolidos/02/03clave.pdf>

**Hurtado, Margarita (2004)**, *Optimización de la recolección de basura mediante el Enfoque Sistémico*, [página web en línea], España, Universidad de Navarra, disponible en internet: <http://www.tecnun.es/Tesis/orden/organizacion/orga23.htm>

**IGEOGRAF (2009)**, *Calidad de una pluma de lixiviado generada en un vertedero municipal*, [página web en línea], México, Instituto de Geografía de la Universidad Nacional Autónoma de México, [consultado el 14-03-10], disponible en internet: <http://www.igeograf.unam.mx/aih/pdf/T1/T1-39.pdf>

**INE (2007)**, *Estaciones de transferencia de residuos sólidos en áreas urbanas*, Cuaderno de trabajo 5, Instituto Nacional de Ecología SEMARNAP y Asociación Mexicana para el control de los residuos sólidos y peligrosos, A.C

**INE (2006)**, *Manual de compostaje municipal*, [página web en línea], México, Instituto Nacional de Ecología, disponible en internet: <http://www2.ine.gob.mx/publicaciones/libros/499/introd.html>

**INEGI (2005)**, *Cuéntame, información por entidad*, [página web en línea], México, Instituto Nacional de Estadística y Geografía: Censo de población y vivienda 2005, disponible en internet: <http://cuentame.inegi.gob.mx/monografias/informacion/df/poblacion/default.aspx?tema=me&e=09>

**INEGI (2008)**, *Generación per cápita diaria y anual de residuos sólidos urbanos por zona geográfica, 1998 a 2006*, [página web en línea], México, Instituto Nacional de Estadística y Geografía, disponible en internet: <http://www.inegi.org.mx/est/contenidos/espanol/soc/sis/sisept/default.aspx?t=mamb126&s=est&c=6123>

**JICA (1999)**, *Estudio sobre el manejo de residuos sólidos para la ciudad de México de los Estados Unidos Mexicanos*, Resumen ejecutivo, Agencia de Cooperación Internacional del Japón y Gobierno del Distrito Federal, Kokusai Kogyo Co.

**La Jornada (2004)**, *En tiraderos al aire libre, 65% de la basura del país*, [página web en línea], México, La Jornada, disponible en internet: <http://www.jornada.unam.mx/2004/08/10/04081002.pdf>

**León, Mauricio (2004)**, *¿Por qué es necesario aplicar la mejora continua?*, [página web en línea], México, UNAM: publica tu obra, disponible en internet: <http://www.tuobra.unam.mx/obrasPDF/publicadas/040709174903.html>

**LGRSDF (2003)**, *Ley General de Residuos Sólidos del Distrito Federal*, [página web en línea], México, Gobierno del Distrito Federal, disponible en internet: [http://www.provecino.org.mx/pdfs/leyes/Ley\\_Residuos\\_Solidos\\_DF.pdf](http://www.provecino.org.mx/pdfs/leyes/Ley_Residuos_Solidos_DF.pdf)

**Navarrete, María (2005)**, *Disposición final de residuos sólidos municipales*, Tesis para obtener el título de Ingeniería Civil. Facultad de Ingeniería. Universidad Nacional Autónoma de México.

**Notimex (2009)**, *Atoran trámite en el manejo de la basura en México*, [página web en línea], México, Terra Noticias y Reforma, disponible en internet: <http://www.terra.com.mx/noticias/articulo/876618/Atoran+tramites+el+manejo+de+la+basura+en+Mexico.htm>

**Madrigal, Sonia (2009)**, *Teoría general de sistemas*, [página web en línea], México, UNAM: publica tu obra, [consultado 12-01-10], disponible en internet: <http://www.tuobra.unam.mx/obrasPDF/publicadas/010820192601.html>

**Maquinariapro, (2009)**, *Importancia de los contenedores de basura*, [página web en línea], México, Construcción de maquinaria, [consultado 30-12-09], disponible en internet: <http://www.maquinariapro.com/construccion/contenedores-de-basura.html>

**Megabolsa (2009)**, *Optimización de sistemas*, [página web en línea], México, Megabolsa: tu red financiera, [consultado 13-01-10], disponible en internet: <http://www.megabolsa.com/biblioteca/optimi.htm>

**MIR (2009)**, *Manejo integral de residuos S.A. de C.V.*, [página web en línea], México, Fundación Manejo Integral de Residuos S.A. de C.V., [consultado 15-01-10], disponible en internet: <http://www.mir-mexico.com/>

**Olivares, Edmundo (2009)**, *Regularización de asentamientos humanos*, [página web en línea], México, El punto crítico, disponible en internet: <http://puntocriticometro.blogspot.com/2009/11/regularizacion-de-asentamientos-humanos.html>

**Páginas Verdes (2009)**, *Directorio de productos y servicios sustentables*, [página web en línea], México, Las Páginas Verdes, disponible en internet: [www.laspaginasverdes.com](http://www.laspaginasverdes.com)

**Partido Verde (2009)**, *El papel del consumo y de las fallas del mercado en la generación de residuos*, [página web en línea], México, Partido Verde Ecologista de México, disponible en internet: <http://www.partidoverde.org.mx/haciab1.htm>

**PEMA (2008)**, *Programa Estratégico de Manejo Ambiental*. Reporte del proyecto elaborado para la Delegación de Tlalpan por la Coordinación de Estudios de Posgrado de la Facultad de Ingeniería de la UNAM, México.

**PMIC (2002)**, *Programa de Manejo Integral de Contaminantes*, Reporte del proyecto elaborado para la Delegación de Tlalpan por la Coordinación de Estudios de Posgrado de la Facultad de Ingeniería de la UNAM.

**Rendón, Gilberto (2007)**, *La basura* [página web en línea], México, Universidad de Colima, disponible en internet: [http://sepiensa.org.mx/contenidos/f\\_basura/basu\\_2.htm](http://sepiensa.org.mx/contenidos/f_basura/basu_2.htm)

**REMEXMAR (2007)**, *Red Mexicana de Manejo Ambiental de Residuos*, [página web en línea], México, SEMARNAT, disponible en internet: <http://www.semarnat.gob.mx/gestionambiental/remexmar/Pages/remexmar.aspx>

**Rhyner, Charles; Schwartz, Leander; Wenger, Robert; Kohrell, Mary; (1995)**, *Waste Management and Resource Recovery*. Lewis Publisher. USA.

**Rotoplastic (2009)**, *Productos de polietileno: estanques, fosas sépticas y plantas de tratamiento*, [página web en línea] México, disponible en internet: <http://www.rotoplastic.cl/faqs.htm>.

**Sancho J. y Rosiles G. (2000)**, *Situación actual del manejo integral de los residuos sólido en México*, México, Informe técnico de la Secretaría de Desarrollo Social.

**Secretaría de Obras y Servicios (2009)**, *Manejo de residuos sólidos*, [página web en línea], México, Gobierno del Distrito Federal, disponible en internet: [http://www.obras.df.gob.mx/servicios\\_urbanos/residuos/rec\\_trans\\_sel\\_final.html](http://www.obras.df.gob.mx/servicios_urbanos/residuos/rec_trans_sel_final.html)

**Sedesol (2004)**, *Generación de residuos sólidos municipales per cápita y por composición*, [página web en línea], Secretaría de Desarrollo Social, México, disponible en internet: [http://app1.semarnat.gob.mx/dgeia/informe\\_resumen/08\\_residuos/cap8.html](http://app1.semarnat.gob.mx/dgeia/informe_resumen/08_residuos/cap8.html).

**Sedesol (2005a)**, *El manejo de los residuos sólidos urbanos y de manejo especial*, Secretaría de Desarrollo Social y Subsecretaría del Desarrollo Urbano y Ordenación del Territorio, México, 2005.

**Sedesol (2005b)**, *Residuos sólidos*, [página web en línea], México, Secretaría de Desarrollo Social: Dirección General de Equipamiento e Infraestructura en Zonas Urbano-Marginadas, disponible en internet [http://ceidas.org/documentos/Centro\\_Doc/Indicadores\\_Basicos\\_Capitulo4\\_Residuos\\_municipales.pdf](http://ceidas.org/documentos/Centro_Doc/Indicadores_Basicos_Capitulo4_Residuos_municipales.pdf)

**Semarnat (2005)**, *Generación de residuos sólidos municipales*, [página web en línea], México, Subsecretaría de Gestión para la Protección Ambiental. Dirección General de Gestión Integral de Materiales y Actividades Riesgosas, disponible en internet: [app1.semarnat.gob.mx/dgeia/...residuos/cap8.html](http://app1.semarnat.gob.mx/dgeia/...residuos/cap8.html)

**Semarnat (2009)**, *Hagamos la tarea, separemos los residuos*, [página web en línea], México, Secretaría del Medio Ambiente y Recursos Naturales, disponible en internet: <http://www.semarnat.gob.mx/estados/durango/noticias/eventos/Documentos/hagamos%20la%20tarea%20separemos%20los%20residuos.pdf>

**SMA (2007)**, *Y tú, ¿separas la basura? ¿qué tanto sabes de este tema?*, [página web en línea], México, Secretaría del medio ambiente, disponible en internet: <http://www.sma.df.gob.mx/intranet/privados/smablog/index.php?entry=entry071115-170213>

**SMA (2008)**, *Programa de capacitación para promotores de la separación de residuos sólidos en el Distrito Federal: Juntos pero no revueltos*, [página web en línea], México, Secretaría del medio ambiente, disponible en internet: <http://www.sma.df.gob.mx/rsolidos/02/04clave.pdf>

**Torres, Ricardo (2009)**, *Simulación de sistemas de manufactura y servicios*, Apuntes del semestre 2010-1, Facultad de Ingeniería, Universidad Nacional Autónoma de México.

**UIA (2009)**, *Programa de medio ambiente*, [página web en línea], México, Universidad Iberoamericana, disponible en internet: <http://www.uia.mx/web/site/tpl-Nivel2.php?menu=mgBuscador&seccion=maSolidos>

**Valdivia, Javier (2008)**, *Proyecto no viable el incinerador de basura dice experto*, [página web en línea], México, El Sol del Centro de Aguascalientes, disponible en Internet: <http://www.oem.com.mx/elsoldelcentro/notas/n932905.htm>

**Williams, Paul (2005)**, *Waste Treatment and Disposal*, John Wiley & Sons, Ltd. England.