



UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DEL ESTADO DE HIDALGO
INSTITUTO DE CIENCIAS BÁSICAS E INGENIERÍA
CENTRO DE INVESTIGACIONES QUÍMICAS

**"GESTIÓN INTEGRAL DE RESIDUOS SÓLIDOS URBANOS
EN LOS MUNICIPIOS DE ACTOPAN, SAN SALVADOR Y EL ARENAL
DEL ESTADO DE HIDALGO."**

TESIS

QUE PARA OBTENER EL GRADO DE DOCTOR EN QUÍMICA

PRESENTA

M. en C. GABRIELA SÁNCHEZ OLGUÍN

Directores:

**Dr. ALBERTO JOSÉ GORDILLO MARTÍNEZ
Dr. FRANCISCO NIETO GARCÍA**



Marzo 2007

AGRADECIMIENTOS

A la **Universidad Autónoma del Estado de Hidalgo**, porque a través de la oferta académica en su haber, tuve la gran oportunidad de lograr esta meta académica.

Al **Consejo Nacional de Ciencias y Tecnología**, por su valioso apoyo en este proyecto y su esmerado esfuerzo por la formación de investigadores mexicanos.

A mi asesor de tesis, **Dr. Alberto José Gordillo Martínez**, quien con su valiosa experiencia, guió este proyecto con el mayor entusiasmo e interés y de la mejor manera. Además que, junto con los demás catedráticos del programa de Doctorado en Química y a quienes también expreso mis agradecimientos, me brindaron los conocimientos requeridos para la culminación de esta etapa de grado académico.

A mis examinadores, **Dr. Alejandro Barradas, Dr. Roberto Villagómez y la Dra. Susana Rojas**, quienes guiaron en parte mi proyecto bajo sus atinadas observaciones y sugerencias.

A mis amados padres, **Mati y Roberto**, quienes han sido mi camino a seguir y quienes me han brindado su infinito apoyo y confianza. Por lo que he logrado alcanzar las metas que me he propuesto y seguir con el deseo de buscar aquellas cosas que van haciendo de mi, una mejor persona en todos los sentidos.

A mis queridas hermanas, **Lumi y Maree**, con quienes he formado una mancuerna de apoyo, compañía, entusiasmo y crecimiento, de la que cada logro se multiplica y sirve de empuje para seguir adelante.

A mi adorable pequeña sobrina, **Renata**, quien muchas veces fue mi compañía en mis horas de trabajo, donde en forma de juego, trabajó conmigo haciendo esas horas más fáciles y divertidas.

A mis amigos de toda la vida, **Martha y Rafael**, quienes me han brindado su cariño incondicional en todo momento y que disfrutan al igual que yo, las cosas buenas que vivimos.

A Rene Cabrera, Verónica Soto, Julieta Rojas, Pedro Ochoa, Lupita Galindo, Rubén Moreno, Hugo Galindo, Silvia López y Enrique Molina, quienes demostraron a lo largo de esta importante etapa académica su interés y aportaron valiosas ideas para la realización de este proyecto.

Al Ing. Rodrigo López y el M. en C. Sergio Ballesteros quienes a través de CIATEQ A. C. me ofrecieron la oportunidad de realizar algunos proyectos afines que en conjunto complementan parte de esta investigación.

A **Javier y Lourdes Martínez Paulín,** Directores de la empresa Ecosistemas Industriales, S. A. de C. V., así como a **Arledt Méndez,** Jefe de Gestión de Calidad, **Lourdes Maqueda,** Supervisora de Laboratorio y **Graciela Mendoza y Leticia Várela,** Analistas Técnicas, por las facilidades y apoyo que me han otorgado para el uso de las instalaciones del laboratorio de la empresa.

Finalmente agradezco a las siguientes personas de los ayuntamientos y población de los municipios de la zona en estudio, por su valioso e incondicional apoyo en la realización de esta investigación.

Teódulo Quintín Pérez Portillo, Presidente Municipal del Municipio de Actopan

Gastón Pérez Acosta, Presidente Municipal del Municipio de San Salvador

Arturo Hernández Oropeza, Presidente Municipal del Municipio de El Arenal

Enrique Molina, propietario del sistema de composteo. Coordinación por parte de los ayuntamientos:

Ing. Alfredo Zamora, Tec. Jesús Ortega, Prof. Samuel Mendoza, Araceli Camargo, Estela Salazar Hernández, Prof. Ángel López y Eunice Serrano.

Colaboradores en la cuantificación de subproductos:

Heriberto Cortez, Enrique Várela Mendoza, Ma. del Carmen, Juana y Antonia Hernández Portillo, Marta e Isabel Ángeles Portillo, Diana Larios Hernández, Basilio Aspétia Jiménez y Antonio Zamora Hernández

RESUMEN	8
ABSTRACT	10
1. INTRODUCCIÓN	12
2. OBJETIVOS	16
■ Objetivo General	16
■ Objetivos Específicos	16
■ Hipótesis	16
3. JUSTIFICACIÓN	17
■ Situación Nacional	17
■ Situación Estatal	25
■ Pautas a seguir para lograr una gestión integral de residuos sólidos	31
4. MARCO TEÓRICO	34
Generalidades	34
■ Gestión integral de los residuos sólidos	37
<i>Generación de los residuos sólidos</i>	39
o Naturaleza	39
o Problemática	41
o Cantidad	41
o Composición	45
<i>Manipulación de los residuos sólidos</i>	46
o Minimización	47
o Manipulación y separación en origen	47
o Almacenamiento en origen	47
o Procesamiento	48
■ Trituración de residuos de comida	49
■ Separación	49
■ Compactación	49
■ Incineración	50
■ Composteo	50
<i>Recolección de los residuos sólidos</i>	50
o Almacenamiento	50
o Transporte	51
o Sistema de transferencia	52
<i>Tratamiento y transformación de residuos sólidos</i>	52
o Físicos	52
■ Reducción	52
■ Separación mecánica	54
o Químicos	55
■ Incineración	56
■ Pirólisis	58
■ Gasificación	58
o Biológicos	58
■ Aerobio	58
■ Anaerobio	62

o	Relleno sanitario de operación mecánica	65
o	Relleno sanitario manual.....	66
o	Control de subproductos de Rellenos Sanitarios	67
■	Lixiviados	68
■	Biogás	69
o	Clausura	69
■	Normatividad	70
	<i>Ley General para la Prevención y Gestión Integral de los Residuos.</i>	70
	<i>Ley del Equilibrio Ecológico y Protección al Ambiente del Estado de Hidalgo</i>	71
	<i>Reglamento del Equilibrio Ecológico y Protección al Ambiente del Estado de Hidalgo.....</i>	73
	<i>Normas Mexicanas y Normas Oficiales Mexicanas.....</i>	76
	<i>Ley de Residuos Sólidos para el Distrito Federal</i>	77
■	Educación ambiental.....	78
■	Directrices mundiales en gestión integral de residuos sólidos urbanos	80
5.	METODOLOGÍA	94
■	Selección de zona de estudio.....	94
	<i>Selección de municipios aledaños a la capital del estado de Hidalgo</i>	94
	<i>Identificación de las ventajas y/o desventajas de elección de distintos municipios aledaños a la capital del estado de Hidalgo.....</i>	94
■	Características generales de la zona de estudio.....	94
■	Síntesis geográfica de la zona de estudio	94
	<i>Localización y superficie</i>	94
	<i>Climatología</i>	94
	<i>Fisiografía</i>	94
	<i>Hidrología.....</i>	94
	<i>Fauna</i>	94
■	Identificación de la situación socio-económica y cultural y de gestión en residuos sólidos de la zona de estudio y de cada uno de los municipios seleccionados.....	94
	<i>Descripción de la situación socio-económica y cultural, así como de gestión de residuos sólidos actual de la zona de estudio.....</i>	94
	<i>Descripción de aspectos geográficos socio-económicos y culturales de cada municipio</i>	94
	<i>Descripción de la actual administración en gestión de residuos sólidos de cada municipio.....</i>	94
	<i>Manipulación de los RSU en los domicilios de la zona de estudio.....</i>	96
■	Evaluación de la composición de residuos sólidos de los municipios seleccionados.....	97
■	Evaluación de la práctica de composteo, como procesamiento doméstico de RSU de la zona en estudio.....	104
	<i>Localización y descripción del composteo.....</i>	104
	<i>Descripción física de la composta</i>	104
	<i>Determinación de las propiedades químicas de la composta.....</i>	104
6.	RESULTADOS	105
■	Selección de zona de estudio.....	105

<i>Selección de municipios aledaños a la capital del estado de Hidalgo</i>	105
<i>Identificación de las ventajas y/o desventajas de elección de distintos municipios aledaños a la capital del estado de Hidalgo</i>	105
■ Características generales de los municipios seleccionados.....	108
■ Síntesis geográfica de los municipios seleccionados	109
<i>Localización y superficie</i>	109
<i>Climatología</i>	109
<i>Fisiografía</i>	110
o Suelos.....	110
o Vegetación.....	111
o Posibilidades de uso agrícola de la tierra	111
o Posibilidades de uso pecuario de la tierra	112
o Posibilidades de uso forestal de la tierra.....	112
o Agricultura	112
<i>Hidrología</i>	112
<i>Fauna</i>	113
■ Identificación de la situación socio-económica y cultural y de gestión en residuos sólidos de la zona de estudio y de cada uno de los municipios seleccionados.....	113
<i>Descripción de la situación socio-económica y cultural, así como de gestión de residuos sólidos actual de la zona de estudio</i>	113
<i>Descripción de aspectos geográficos, socioeconómicos y culturales, así como de gestión actual de residuos en cada municipio</i>	114
ACTÓPAN	114
o Aspectos geográficos, socioeconómicos y culturales	114
o Manejo de Residuos Sólidos por el Ayuntamiento de Actopan	116
SAN SALVADOR	119
o Aspectos geográficos, socioeconómicos y culturales	119
o Manejo de Residuos Sólidos por el Ayuntamiento de San Salvador	119
EL ARENAL	121
o Aspectos geográficos, socioeconómicos y culturales	121
o Manejo de Residuos Sólidos por el Ayuntamiento de El Arenal.	122
<i>Manipulación de los RSU en los domicilios de la zona de estudio</i>	125
■ Evaluación de la composición de residuos sólidos de los municipios seleccionados.....	127
<i>Composición de RSU en los municipios de la zona de estudio</i> .	129
o ACTOPAN.....	129
o SAN SALVADOR	129
o EL ARENAL.....	130
o ZONA DE ESTUDIO	134
<i>Regionalización de la gestión integral de residuos sólidos urbanos</i>	138
<i>Transición de la composición de RSU</i>	139
■ Evaluación de la práctica de composteo como procesamiento doméstico de RSU de la zona en estudio	142

<i>Localización y descripción del composteo.....</i>	142
<i>Descripción física de la composta</i>	143
<i>Determinación de las propiedades químicas de la composta</i>	143
7. DISCUSIÓN.....	144
■ Evaluación de la composición de los RSU	145
Evaluación del manejo actual de los residuos sólidos urbanos...	149
■ Propuesta de gestión integral de residuos sólidos urbanos en los municipios seleccionados.....	151
<i>Administración de manejo de residuos sólidos.....</i>	154
<i>Método 3R's</i>	154
<i>Reciclaje.....</i>	155
<i>Recuperación dePET</i>	156
<i>Composteo</i>	158
<i>Sistemas de separación y tratamiento de residuos sólidos.....</i>	163
<i>Relleno sanitario seco.....</i>	166
■ Programa y facilidades para el proyecto	167
8. CONCLUSIONES.....	169
BIBLIOGRAFÍA.....	172
APÉNDICE.....	175
LISTA DE TABLAS	175
LISTA DE FIGURAS	175
ANEXO	177

RESUMEN

La presente investigación se llevó a cabo para presentar un plan de Gestión Integral de Residuos Sólidos Urbanos (GIRSU) en una zona semi-rural del estado de Hidalgo, que permita una transición de gestión tradicional a una de tipo integral. Dentro de las actividades que se realizaron se conformó un punto de partida básicamente con la identificación de la condición actual del manejo de los residuos de la zona en estudio, así como de la composición de los mismos, además de las características socioeconómicas y culturales de la población. Los municipios en estudio son Actopan, San Salvador y El Arenal ubicados en el estado de Hidalgo

Como antecedente se tiene que esta Entidad se encuentra ubicada en la parte central de la República Mexicana, cuenta con una superficie aproximada de 20,000 km², dividida en 84 municipios y tiene una población de 2,235,591 habitantes que generan aproximadamente 1,802 ton/día de residuos sólidos urbanos (RSU). La infraestructura de manejo de RSU en la entidad dispone de cuatro rellenos sanitarios localizados en los municipios de Pachuca de Soto, Tula de Allende, Tepeji del Río y Huichapan, mientras que en el resto de tiraderos a cielo abierto.

La zona de estudio muestra una gestión tradicional en el manejo de sus residuos sólidos, ya que la disposición de los residuos se realiza en basureros a cielo abierto, la recuperación de materiales aprovechables, se hace por parte de personas de muy bajos recursos económicos y en condiciones antihigiénicas, además comúnmente se practica la incineración de residuos a falta del servicio de limpia en muchas de las localidades. Esta situación coloca al estado de Hidalgo en una posición no muy favorable en el manejo y aprovechamiento de los residuos sólidos urbanos frente a otros estados de México, por lo que la misma, puede ser punto de partida para la planificación de la gestión integral de los residuos sólidos urbanos en esta zona.

Aunado a lo anterior se determinó la composición de los residuos sólidos urbanos de la zona en estudio de la que se cita la composición grupal de los materiales más representativos de los RSU presentes en la zona de estudio: residuos de fermentación rápida con 24.4%, residuo fino con 14.6%, pañal desechable con 12.0%, plásticos con 11.5 %, papel y cartón con 11.4 %, otros con 9.8%, metales con 4.6% y triviales con 11.7%. En contraparte, la composición de los RSU en volumen corresponde a plásticos con 45.6%, papel y cartón con 20%, pañal desechable con 5.8%, otros con 5.1%, metales con 5%, residuos de fermentación rápida con 3.8%, residuos finos con 2.2%, fibra dura vegetal con 2.0% y triviales con 10.5%.

La evaluación de los resultados de esta investigación denota dos cuestiones importantes. Por un lado la factibilidad de aplicar un plan de gestión regionalizada debido a que los municipios presentan características similares en el aspecto socioeconómico y cultural, así como en el manejo y composición de sus residuos sólidos. También se logró determinar que existe una

transformación de la composición de los residuos sólidos urbanos a través del tiempo y que los datos disponibles de hace una década, ya son obsoletos.

Se presenta una propuesta enfocada en aspectos administrativos, de educación y tecnológicos. Iniciando la jerarquización del manejo de residuos sólidos urbanos con su minimización y promoviendo su valorización con el reciclaje y transformación. La educación ambiental resulta de gran importancia y actualmente en Actopan existen programas interesantes aplicados en algunos planteles educativos, los cuales se pueden extender en el resto de la zona de estudio. En el caso particular de los residuos de fermentación rápida se propone su composteo a nivel domicilio y/o municipal y la aplicación de la composta como reparador de suelos; además la compactación de plásticos ya que estos han surgido como nuevos protagonistas de donde se puede aprovechar el reciclaje del PET para su transformación en otros productos.

Se realizó un análisis físico-químico de una composta desarrollada con residuos alimenticios de la zona en estudio. La determinación de éstas propiedades arrojó el siguiente resultado: pH de 6.47, Humedad de 41.33%, Cenizas de 61.33%, Materia Orgánica de 38.67%, Carbono Orgánico de 22.43%, Nitrógeno Total de 0,97%, Fósforo Total de 0.24% y una relación C/N de 24.44.

El interés de los ayuntamientos y de los ciudadanos mostrado a lo largo de esta investigación, promete un camino favorable para lograr la transición de la gestión de residuos sólidos urbanos, lo que significará ubicarlos a la par de administraciones a nivel nacional y mundial.

ABSTRACT

The current research was realized to present an integral management plan of urban solid wastes in a semirural zone of the Hidalgo state, which lets a transition from traditional to integral management. A couple of basis issue, were conformed, basically both the identification of the present management of study field wastes and its composition. Another important aspects are the identification of social, economical and cultural characteristics of population. The municipalities at study are Actopan, San Salvador and El Arenal, from Hidalgo state.

As background, entity is laid in the central part of the Mexican Republic, it has an área of 20,000 km² approximately, divided by 84 municipalities and has a population of 2,235,591 residents whom generate 1,802 ton/day of urban solid wastes (USW) approximately. The USW handling facilities in the entity summarize four landfills found in Pachuca de Soto, Tula de Allende, Tepeji del Río and Huichapan municipalities. The rest of them count with open rubbish lands.

The study field shows a traditional management of its solid wastes, because deposition of residuals is done over open rubbish lands, recovery of recycle materials is done by persons whom have very low economical resources and work in not hygienic conditions, besides is used to incinerate the residuals because the short cleaning service in many towns. This situation lays Hidalgo state in a non favorable position about the management and advantage of urban solid wastes against other states of México, therefore this can be the base for planning of integral management of urban solid wastes from study field.

Besides previous fact, composition of USW was determined at the study field where the main materials as a group of solid wastes are described. About weight composition: fast fermentation residual with 24.4%, fine residual with 14.6%, nappy with 12.0%, plastics with 11.5 %, paper and cardboard with 11.4 %, others with 9.8%, metals with 4.6% and not relevant with 11.7%. Otherwise, the volume composition of USW was: plastics with 45.6%, paper and cardboard with 20%, nappy with 5.8%, others with 5.1%, metals with 5%, fast fermentation residual with 3.8%, fine residual with 2.2%, hard vegetal fiber with 2.0% and not relevant with 10.5%.

The results evaluation from this research shows two important issues. Feasibility to apply a regional management plan due to the similar characteristics of municipalities about social, economical and cultural aspects, so as, management and composition of solid wastes. Also it was reached to determine that exists a composition transformation of urban solid wastes through time and available data from ten years ago, are not representative for current time.

It is offered a proposal focused in management, educational and technological aspects. Beginning priority issue about management of urban solid wastes with its minimization and promoting its valorization by mean of recycle and

transformation. Environmental education results on great importance and nowadays in Actopan exist several interesting programs applied on some educative schools, which can be extended to the rest of study field. In particular case of fast fermentation wastes it is proposed its either domestic or municipal composting and application of compost as soil repairer; besides plastics compacting due to these have emerged as new protagonists which can be taking in advantage for the PET recycle to its transformation in another products.

A physical and chemical analysis was made to a compost gotten from food wastes of field study. Results were: pH of 6.47, Humidity of 41.33%, Ashes of 61.33%, Organic matter of 38.67%, Organic carbon of 22.43%, Total Nitrogen Total of 0,97%, Total Phosphorus of 0.24% and C/N ratio of 24.44.

Interest showed by councils and citizens through this research, assure a favorable way to reach transition of urban solid wastes management, which will mean to lay them in the same national and worldwide level of administrative issues.

1. INTRODUCCIÓN

En el presente trabajo se aborda la problemática del manejo actual de los Residuos Sólidos Urbanos (RSU) en una zona semiurbana-rural en el estado de Hidalgo, México. La investigación constituye un estudio integral de residuos sólidos municipales de: Actopan, El Arenal y San Salvador.

Para tal investigación se realizó una evaluación de la composición y peso volumétrico de los RSU en los municipios citados, utilizando la normatividad mexicana para su clasificación. Los resultados acerca de los principales componentes que conforman la panorámica actual y aunados a los cambios de conducta de consumo en los ciudadanos de los municipios en estudio, nos da sin duda, una idea de su proyección a niveles estatales, nacionales e internacionales; sumado a la hipótesis, de considerar a los plásticos un nuevo protagonista dentro de la propiedad de los RSU, que en consecuencia reduce la proporción de otros componentes con una nueva visión en el origen, composición y tipos. Este conocimiento es crítico para una gestión integral, entendida esta como el aumento del empleo de los plásticos y un bajo aprovechamiento de los mismos. La compactación de alta densidad se vislumbra como una solución potencial para reducir los problemas de espacio causado por los plásticos y como una alternativa de manejo preliminar a su posible transformación.

Se presenta también en este trabajo, la condición actual del manejo de los residuos sólidos en los municipios antes mencionados, así como las características sociales, económicas, geográficas y culturales de los mismos.

El manejo de RSU esta conformado por una parte administrativa y operacional que es desarrollada por los ayuntamientos y otra parte doméstica que en su ejecución refleja los hábitos de los ciudadanos en éste ámbito; pues de manera preliminar, se vislumbra una marcada gestión tradicional en el manejo de sus residuos sólidos, ya que la disposición de éstos se realiza en vertederos a cielo abierto y la recuperación de materiales aprovechables se hace de forma típica por personas de muy bajos recursos económicos, en condiciones antihigiénicas y comúnmente se practica la quema de los plásticos y material constituido a base de celulosa, sin dejar de destacar la falta del servicio de limpia en muchas de las localidades. Esta situación coloca al estado de Hidalgo en una posición no muy favorable en el manejo y aprovechamiento de los residuos sólidos urbanos frente a otros estados de México, por lo que la misma es punto de partida para la planificación de la Gestión Integral de los Residuos Sólidos Urbanos (GIRSU) en esta zona geográfica del país.

Los resultados de la evaluación de la composición de RSU así como la descripción del panorama actual sobre su manejo en la zona de estudio, darán la pauta para proponer la transición de una gestión tradicional a una gestión integral de residuos sólidos.

La presente investigación aporta integralmente información básica en las diferentes fases del manejo y tratamiento de los RSU, bajo una recopilación de las diferentes actividades de manipulación de estos residuos que el generador puede realizar y las tecnologías de tratamiento, transformación, y de disposición final que pueden ser utilizadas por los ayuntamientos.

Además se expone la situación nacional e internacional en gestión integral de residuos sólidos urbanos, lo que dará pauta a tomar mejores decisiones para analizar las ventajas, desventajas y condiciones de viabilidad que presenta la zona en estudio.

Las decisiones que adopte cada ayuntamiento para la gestión integral de residuos sólidos deben estar orientadas obligadamente en términos normativos tanto oficiales como de educación ambiental, que también se encuentran en éste documento.

Es digno de mención que para poder estructurar y construir esta propuesta de estudio, se recurrió a la consulta de literatura afín de la última década, ya que ante un cambio de hábitos de consumo en este periodo, se espera una transformación de la composición de RSU especialmente en el incremento de plásticos, por lo tanto información innovadora al respecto. Además, se asistió y participó en foros nacionales e internacionales; se solicitó asesoría a autores de libros sobre estos tópicos; se consultaron tesis nacionales e internacionales, además de artículos de investigación en la red, bancos nacionales e internacionales de información documental científica; se recurrió a organismos de competencia gubernamental y ONG, instituciones educativas y de investigación, empresas privadas y asociaciones civiles en el rubro del medio ambiente en lo general y en particular, sobre temas de los RSU.

Es importante también mencionar que esta investigación generó y/o apoyo productos académicos e institucionales. A lo largo del programa de doctorado se asistió y participó en diversos foros nacionales e internacionales donde además de obtener información valiosísima para este proyecto, se compartió parte de los resultados de esta investigación. A continuación se describe cada una de las participaciones en los diferentes foros:

- Convocatoria a empresas privadas e instituciones educativas para soluciones técnicas sobre el manejo de residuos sólidos. Ayuntamiento del municipio de El Arenal, Hidalgo.

Se asistió a un foro que se realizó en el municipio de El Arenal en el año 2003, donde estuvieron presentes además de los principales funcionarios de éste municipio, los presidentes municipales de distintos ayuntamientos, tales como San Salvador, Actopan, Santiago de Anaya entre otros. En este foro se convocó a empresas privadas e instituciones educativas para dar propuestas de solución técnica al problema del manejo de residuos sólidos en estas regiones.

En esta reunión destacó la presencia académicos de la Universidad Nacional Autónoma de México que, mencionaron contar con una planta piloto de

selección de subproductos de residuos sólidos en sus instalaciones y que se encontraba operando exitosamente en dicha institución. Ofrecieron cotizar la instalación de una planta de selección común para los municipios interesados, así como se les brindó una invitación para obtener referencia sobre un proyecto en marcha para el municipio de Zimapán. Además la empresa ECOFENIX, que radica en el estado de Puebla ofreció sus servicios promoviendo tecnología para rellenos sanitarios secos conformados por balas plastificadas de residuos sólidos, que resultan beneficiosas para reducir y/o eliminar emisiones a la atmósfera, así como los lixiviados.

Este foro deja ver el interés que tienen algunos municipios por resolver los problemas de manejo de residuos sólidos en sus entornos, cabe recalcar que los municipios considerados en la zona de estudio formaron parte de este foro.

➤ 1ª Y 2ª Feria Ambiental Hidalgo

El Consejo Estatal de Ecología del estado de Hidalgo organizó la 1ª. Y 2ª Feria Ambiental Hidalgo en el año 2002 Y 2003 respectivamente. Estos eventos contaron entre otros programas, con diversos paneles de conferencias a los cuales se asistió y dentro de los cuales se dio un panorama sobre el manejo actual de los residuos sólidos en estados del centro del país, donde se incluyó al estado de Hidalgo. Se hace una breve descripción de la situación estatal expuesta de este foro en el apartado de justificación de ésta investigación.

➤ Audiencia pública para la instalación de un Confinamiento de Residuos Peligrosos en el municipio de Chapantongo, Hidalgo.

Como parte del Estudio de Impacto Ambiental que requieren este tipo de infraestructura, el Consejo Estatal de Ecología y la SEMARNAT, convocaron a la audiencia pública en el auditorio del municipio de Chapantongo del estado de Hidalgo, con motivo del proyecto de la instalación de un confinamiento de residuos peligrosos en este lugar. La ciudadanía en su mayoría no estaba de acuerdo con dicho proyecto, aunque cabe mencionar, que hubo la posibilidad de que la empresa que ganó la licitación no dio la adecuada difusión del proyecto, por lo que los asistentes que expresaron su negativa, mostraron una fehaciente ignorancia al respecto. Además se dejó sentir una manipulación por parte de grupos políticos que indicaban a los participantes lo que debían decir.

Lo anterior marca la importancia que tiene la sociedad, o bien, los aspectos socioeconómicos, políticos y culturales de una sociedad, para que un proyecto se pueda llevar a cabo. Estos aspectos se pueden considerar parte medular de una gestión integral.

➤ XII Congreso Internacional Ambiental de CONIECO y 10º Seminario de Ahorro de Energía, Cogeneración y Energía Renovable de CONAE.

El World Trade Center de la Cd. de México albergó en el mes de septiembre del 2004 un par de exposiciones organizadas por CONIECO y CONAE llamadas Enviro-Pro TECOMEX 2004 y T&D POWER MEX 2004.

Se asistió a estos foros, donde convergieron profesionales del medio ambiente para tocar temas prioritarios sobre tecnología de manejo de residuos sólidos, reciclaje, rellenos sanitarios además de tratamiento de aguas entre otros. También estuvo formado por pabellones internacionales donde diversas empresas expusieron su oferta tecnológica: equipos para el manejo de residuos y reciclaje de desperdicios; ingeniería y mantenimiento de plantas; energías alternativas y competitivas. Además de recabar información de las tecnologías mencionadas en los diversos pabellones se pudo rescatar de las conferencias, algunas experiencias exitosas en el manejo de los residuos sólidos de varios estados de la República que se enfocan en el programa de "México Limpio". Dichas experiencias se citan brevemente en el apartado de situación nacional de la justificación de esta investigación.

- IV Congreso Internacional y X Nacional de Ciencias Ambientales, Chetumal Quintana Roo, 2005

La Universidad de Quintana Roo, en junio del 2005, convocó a este foro para exponer temas relevantes sobre Gestión, Normatividad y Derecho Ambiental; Química Ambiental, Manejo de los Recursos Naturales y Educación Ambiental. En este foro se participó con la conferencia "Análisis de la composición de los residuos sólidos urbanos de los municipios de Actopan, San Salvador y El Arenal del estado de Hidalgo". Este trabajo forma parte de la presente tesis doctoral y además se publicó, como parte de dicho foro, en la Revista Internacional de Contaminación Ambiental Vol. 21 Suplemento 1, 2005; pág. 877-894. Dicho trabajo es de gran satisfacción personal, ya que se expuso parte de los resultados de este trabajo de investigación en un este espacio tan importante a nivel nacional e internacional que brindó la Universidad de Quintana Roo, en Chetumal Quintana Roo.

- Elaboración de un Catálogo de Tecnologías de Manejo y Transformación de Residuos Sólidos Urbanos. CIATEQ, A. C.

Este documento se emitió en marzo del 2005 y fue solicitado por SEMARNAT a CIATEQ A. C, para dirigirlo a todos los ayuntamientos del país, para dar a conocer las opciones que podrían aplicar en los distintos municipios para la solución del manejo de residuos sólidos urbanos. Actualmente colaboro con algunos proyectos en cuestión del cuidado del medio ambiente con CIATEQ, como consultor ambiental externo.

- Publicación de artículo en la revista Tecno Ambiente de España.

Se logró la publicación del artículo "Evaluación de la composición de los RSU en una zona semiurbana del estado de Hidalgo, México", en Tecno Ambiente, revista profesional de tecnología y equipamiento de ingeniería ambiental en Barcelona España. No. 166, Año XVI, página 39. Con esta publicación, realizada en octubre del 2006, cubro uno de los requisitos para la obtención del grado de doctorado. Cabe mencionar que está por confirmarse una publicación adicional en la misma Revista.

2. OBJETIVOS

■ Objetivo General

Promover una metodología que permita planificar la gestión de los residuos sólidos municipales del estado de Hidalgo para la ejecución de manera controlada de un proceso administrativo y operacional que facilite la reducción, reciclaje y reuso mediante la transformación de los residuos sólidos de poblaciones cercanas a la capital del Estado, y que contribuya al desarrollo sustentable y a la protección y conservación del medio ambiente.

■ Objetivos Específicos

Revisar la literatura de los últimos diez años en materia de residuos sólidos en el estado de Hidalgo.

Clasificar y caracterizar los residuos sólidos urbanos de los municipios: El Arenal, Actopan y San Salvador con una población aproximada a los 100,000 habitantes.

Proponer una estructura para el manejo de residuos sólidos que incluya el implementar un relleno sanitario, procesos alternativos de tratamiento de residuos para facilitar la reducción, reciclaje hasta el reuso de los mismos.

Fortalecer la supervisión de las áreas administrativa, técnica, de operación, de regulación y mantenimiento de los sistemas de manejo de residuos sólidos

Contribuir al desarrollo sustentable y a la protección y conservación del medio ambiente en el estado de Hidalgo

■ Hipótesis

Existe una conversión en la composición de los residuos sólidos urbanos, donde los plásticos ganan terreno ante los residuos orgánicos.

Se puede lograr ya que no existe, un manejo integral de residuos sólidos urbanos incluyendo educación ambiental en los programas municipales.

Existe viabilidad para aplicar tecnología para el reciclaje y transformación de los residuos sólidos en el estado de Hidalgo.

3. JUSTIFICACIÓN

Dentro de la problemática ambiental, el uso irracional de los recursos naturales y la generación de desechos sólidos representan elementos de gran importancia. Por otro lado, es conocido que los sistemas de disposición de RSU no controlados son foco de contaminación y enfermedades (Jaramillo 1999). A nivel mundial, se trabaja en la búsqueda de soluciones para lograr un manejo de residuos sólidos con un bajo impacto ambiental. Se deberán de incluir dentro de este esquema variables económicas, sociales y ambientales (Conesa 1997). Dentro de este contexto surge la visión del llamado manejo integral de los residuos sólidos provenientes de actividades ciudadanas, conocidos como Residuos Sólidos Urbanos (RSU). El manejo integral de este tipo de desechos deberá incluir aspectos relativos a sus tasas de generación, manipulación, recolección, transporte, transformación y disposición final. El programa de manejo deberá comprender las mejores soluciones técnicas, a un costo rentable y gozar de una aceptación social (Corbitt 1989).

■ Situación Nacional

La problemática que enfrenta nuestro país en materia de residuos sólidos, es de gran impacto social, económico y de salud ya que incluye la insuficiencia de recursos económicos y humanos así como el déficit en estructuras funcionales de operación, falta de comprensión de la problemática con un enfoque integral; ausencia de programas de educación y capacitación ambiental, amén de la escasez en infraestructura y tecnología adecuada entre otros factores. (Sancho, J., et al/(2000); Jaramillo, J. (1999)).

En México, el manejo de los RSU se realiza a nivel municipal de una forma denominada tradicional, sin que en este nivel se tenga la mejor infraestructura financiera, legal, física, técnica amén de recursos humanos. Por tal razón se considera que el manejo tradicional de RSU en México no resulta óptimo y requiere de una pronta incorporación de actividades prioritarias como minimización y reciclado (Calvo, Szantó y Muñoz 1998). Recientemente se promulga una ley a nivel federal para el manejo integral de los RSU que establece que los municipios deben instituir sistemas integrales de manejo en sus territorios (DOF, 2003). La capacidad de los municipios para responder ante estas nuevas obligaciones legales se ve minimizada por la gran heterogeneidad en cuanto a extensión, dispersión de sus poblaciones y capacidad económica.

Sancho, J. y Rosiles, G., (2000) presentan un panorama general sobre el manejo actual de los residuos sólidos en México, desde su apego a la normatividad nacional, su generación, almacenamiento, barrido mecánico, recolección y estaciones de transferencia y disposición final. También más adelante da a conocer el Proyecto Piloto de Residuos Sólidos en su primera y segunda parte.

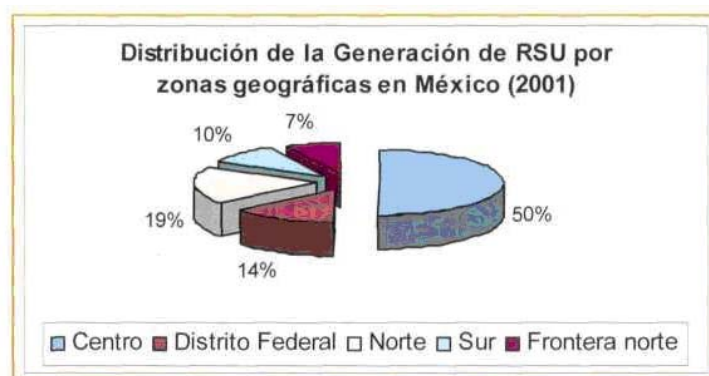
En particular, desde una perspectiva general, conviene destacar que la mayoría de los municipios del país no cumplieron con el plazo fijado (año 2000) para la entrada en vigor de la NOM-083-ECOL-1996, la cual constituye la norma principal en materia de residuos sólidos. La generación de estos residuos aumentó de 300 gramos diarios por habitante en la década de los cincuenta, a 865 gramos en el 2000, lo que implica un incremento de 188% en este lapso de tiempo.

La generación nacional de residuos sólidos es de 84,200 toneladas por día, lo que ubica al país dentro de los 10 primeros generadores mundiales de residuos sólidos. Actualmente se estima que se recolecta únicamente el 83% del total de los residuos generados, mismos que representan 69,800 toneladas, quedando dispersas diariamente 14,400 toneladas. Del total generado, solo poco más del 53% se deposita en sitios controlados, esto es, 44,600 toneladas por día, lo que quiere decir que 39,600 toneladas, se disponen diariamente a cielo abierto en tiraderos no controlados o en tiraderos clandestinos. En el país se estima que hay 2,500 tiraderos clandestinos, pero muchas veces se utilizan bosques, calles, cañadas y cuerpos de agua.

La generación de residuos sólidos varía de 0.68 a 1.33 kg/hab/día. Los valores inferiores corresponden a zonas en su mayoría semirurales o rurales, mientras que los valores superiores, representan la generación para zonas metropolitanas como el Distrito Federal. La tendencia de incremento de generación se estima que puede variar de 1 a 3% anual dependiendo de la localidad

La SEDESOL (2002), ha proporcionado una distribución porcentual de la generación de los residuos sólidos en el 2001 de las diferentes zonas del país (**figura 3.1**), donde la zona centro predomina en un 50%, siguiéndola, la zona norte con un 19%, la zona del Distrito Federal con un 14%, la zona sur con un 10% y la frontera norte con un 7%. La generación nacional de residuos sólidos es de 84,200 toneladas por día, lo que quiere decir que la generación se va dando de la siguiente manera: 42,100 ton/día en la zona centro, 15,998 ton/día en la zona norte, 11,788 ton/día en la zona del D. F., 8,420 ton/día en la zona sur y en la frontera norte de 5,894 ton/día.

Figura 3.1.- Distribución en México de la Generación de RSU en el 2001 por zonas geográficas



De igual manera, SEMARNAT (2002) ha proporcionado una relación de la composición en peso de los residuos sólidos municipales del país por zona geográfica en el 2001, donde respecto a la zona centro, se tiene que predominan los residuos alimenticios con un 45%, seguido por residuos finos con un 10%, pañal desechable con un 9%, papel, cartón y residuos de jardinería con 7% cada uno de ellos, 5% para el vidrio transparente, otros con un 3%, 2% en aluminio, 2% en PET, 1% en lata y finalmente 0.5% para plástico rígido, plástico de película, poliuretano, y poliestireno expandido respectivamente (**tabla 3.1**).

Tabla 3.1.- Composición en porcentaje en peso de RSU en la Zona Centro de México (2001).

Tipo de RSU	P (MXZC01) %
Papel	7.0
Cartón	7.0
Residuos de jardinería	7.0
Residuos alimenticios	45.0
Vidrio transparente	5.0
Aluminio	2.0
Lata	1.0
Pañal desechable	9.0
Plástico rígido	0.5
Plástico de película	0.5
Poliuretano	0.5
Poliestireno expandido	0.5
PET	2.0
Residuos fino	10.0
otros	3.0

Debido a cambios en el patrón de consumo, la composición de los residuos sólidos en México se ha modificado: antes era mayoritariamente orgánica, pero ahora incluye una alta proporción de plásticos y productos de lenta descomposición, provocando un mayor deterioro ecológico. La participación de la iniciativa privada ha sido limitada, debido a problemas en la formalización y operación de los contratos de prestación de servicios y a la claridad en la interpretación del marco normativo, que provoca incertidumbre en estas empresas sobre el cumplimiento de los compromisos contractuales en los cambios de administración municipal.

Las actividades de almacenamiento de los residuos sólidos urbanos en México cuentan, en algunas ciudades con la disposición de contenedores en establecimientos comerciales, mercados e industrias, en otras, los contenedores se distribuyen en la vía pública. Estas prácticas no han resultado como se ha deseado ya que se carece de infraestructura para recolectar los residuos con la frecuencia requerida y los equipos de limpieza y mantenimiento necesarios.

Dentro de los hogares es común el uso de bolsas de polietileno para la deposición de los residuos sólidos domésticos y constituyen un problema de operación en los procesos de recolección, transporte y disposición final, ya que el residuo no permanece dentro de ellas por mucho tiempo.

El barrido mecánico se realiza en vías principales y secundarias pavimentadas, pero la deficiencia de mantenimiento de equipo provoca problemas en bandas y rodillos de las barredoras. Por otro lado se tiene la actividad manual que se realiza en plazas principales y zonas turísticas.

Se estima que el servicio de recolección a nivel nacional es del 83%. Esta actividad se realiza con camiones compactadores de alrededor de 8 ton. de capacidad y con la colaboración de el chofer, macheteros y pepenadores. Se considera que el 25% de la flotilla de camiones se encuentra en buen estado, el 50% en regulares condiciones y el resto en muy malas condiciones de operación.

La mayoría de los municipios recurren a la pre-pepena de materiales como el aluminio, vidrio y cartón.

En las zonas metropolitanas, más del 75% de los residuos recolectados pasan por estaciones de transferencia. Las cajas de transferencia varían de 40 a 70 m³. Se puede contar con estaciones de transferencia en Querétaro, Qro., Cd. Juárez, Chih., Tepatitlán, Jal., San Luís Potosí, SLP, Cd. del Carmen, Camp., Guadalupe, NL, y el D. F.

Se cuenta con 51 rellenos sanitarios en ciudades medias y zonas metropolitanas y 14 en localidades pequeñas de todo el país con operación de forma satisfecha

Algunos municipios que cuentan con rellenos sanitarios con eficientes sistemas de administración y operación son los siguientes: Aguascalientes, Ags., Tijuana, B. C, Piedras Negras, Coah., Sabinas, Coah., Saltillo, Coah., Armería, Col., Cd. Juárez, Chih., Chihuahua, Chih., Ojinaga, Chih., Durango, Dgo., Bordo Poniente, D. F., Tlalnepantla, Mex., Cuautla-Oaxtepec, Mor., ZM de Monterrey, N. L., Linares, N. L., Puebla, Pue., Cancún (Benito Juárez), Q. Roo., Tequixquiapan, Qro., Querétaro, Qro., San Juan Del Río, Qro., San Luís Potosí, S. L. P., Culiacán, Sin., Los Mochis, Sin., Puerto Peñasco, Son., Agua Prieta, Son., Hermosillo, Son., Nogales, Son., Cd. Victoria, Tam., Matamoros, Tam., Nuevo Laredo, Tam., Río Bravo, Tam., Calpulalpan, Tlax., Acuamanala Miguel Hidalgo, Tlax., Santa Ana Chiautempan, Tlax., Tlaxcala (Regional), Tlax., Orizaba, Ver., Mérida, Yuc.

En localidades rurales y semiurbanas de menos de 20,000 habitantes, se han construido rellenos sanitarios de operación manual. Este tipo de obras se debe complementar con acciones de capacitación y educación ambiental, así como de estrategias de reducción en la fuente, sobre todo dirigidas a los residuos orgánicos los cuales pueden ser transformados en composta a nivel domiciliario. Es necesario fomentar este tipo de rellenos y estrategias, debido a

que la mayoría de los municipios del país se encuentran en este rango de población.

Los procesos de incineración y composteo no han tenido resultados óptimos por lo que se han abandonado. Solamente Nuevo León y el Distrito Federal siguen intentando poder aprovechar el biogás como fuente de energía. En Nuevo León, Mty., se ubica la única planta de conversión de biogás en energía eléctrica en América Latina (Huacuz Villamar J., 2004).

Se estima que los materiales que se recuperan en México, son del 6 al 10% de los residuos que se generan, por medio de la pre-pepena y pepena en los tiraderos a cielo abierto.

La operación de los servicios de limpia pública municipal se lleva a cabo por la Dirección de Obras y Servicios Públicos, pero los constantes cambios administrativos, no permiten contar con personal capacitado permanente. A la fecha 38 ciudades han optado por la concesión de éstos servicios a la iniciativa privada.

Tampico, Cd. Madero y Altamira, Tams., han tenido la necesidad de formar organismos intermunicipales para que sea viable la operación y administración del relleno sanitario regional y las estaciones de transferencia.

En Monterrey, se ha creado un organismo descentralizado llamado Sistema Metropolitano de Procesamiento de Desechos Sólidos, que se encarga exclusivamente de las actividades de disposición final, dejando las de recolección y transferencia a los ayuntamientos.

Los recursos económicos en México para las obras y servicios en este aspecto, son limitados. Solo algunos municipios han realizado convenios para el cobro del servicio con comercios e industrias que pagan en la tesorería municipal.

En 1986 se financió un Proyecto Piloto de Residuos Sólidos, que consistió en definir los objetivos y políticas del sector y desarrollar la capacidad institucional para mejorar la administración y operación mediante proyectos demostrativos. Se adquirieron camiones recolectores; se construyeron obras civiles para estaciones de transferencia y rellenos sanitarios; se mejoraron talleres de reparación y mantenimiento; se logró el incremento de cobertura de recolección del 60 al 90%. El proyecto concluyó en 1995.

En 1995, un segundo proyecto contribuyó al control y prevención de la contaminación ambiental mediante la recolección, almacenamiento, transporte, tratamiento y disposición final de los residuos sólidos municipales. En éste proyecto se obtuvieron los siguientes logros:

- Elaboración del Diagnóstico del Sistema de Limpia al Municipio de San Pedro Garza García, N. L.
- Asesoría para la construcción del relleno sanitario, el cual se contempló como un proyecto regional, ya que se involucraron también a los Municipios de Villa de Álvarez, Cómala y Coquimatlán, Col.

- Asistencia técnica para la clausura del anterior relleno sanitario, específicamente en lo referente a la cubierta final y los pozos de venteo. Asimismo se dieron las recomendaciones necesarias para: la construcción de la siguiente etapa del relleno sanitario, la operación de la estación de transferencia y la adquisición de equipo al municipio de Durango, Dgo.
- Asesoría para la puesta en operación del relleno sanitario del municipio de Tapachula, Chis.
- Asesoría para la construcción y operación del relleno sanitario de la ciudad de Orizaba, Ver.
- Asistencia para la puesta en operación del relleno sanitario. Para 1999 se realizaron dos talleres especializados sobre disposición final y sobre el fortalecimiento institucional. Además se realizó un seminario ejecutivo para presidentes municipales para difundir, actualizar e incentivarlos a participar en los proyectos de residuos sólidos.

El proyecto más reciente es la campaña "México Limpio", que promueve la nueva Ley de Residuos Sólidos en el Distrito Federal (GODF, 2003), que obliga a separar la basura en residuos orgánicos e inorgánicos, con el fin de facilitar el reciclaje, además de la producción de composta y la disminución de basura. El objetivo es el de separar en bolsas o recipientes diferentes, los residuos orgánicos y los inorgánicos. Específicamente el de concentrar los residuos de alimentos y de jardinería en bolsas verdes y los residuos reciclables, textiles, sanitarios y de manejo especial en bolsas grises. La recolección se dará por separado.

En los países desarrollados últimamente se han incorporado alternativas de tratamiento con tecnología de punta teniendo control en la minimización de residuos y el aprovechamiento material y/o energético de los mismos, por lo que es importante su difusión para la sostenibilidad del medio ambiente y conservación de los recursos naturales (Barradas, A., 1999). Por lo que mediante una evaluación de las tecnologías aplicadas en el mundo, se ha propuesto la separación en la fuente y la recogida selectiva como el mejor camino para aplicar la gestión integral en países en desarrollo. Así, en un programa piloto en la conurbación Minatitlán-Cosoleacaque, en el sur de México, la población ha demostrado su capacidad de participar en los sistemas de recogida selectiva, separando en la fuente los residuos y generando mano de obra formal para el servicio de limpieza pública.

La UNAM, piensa poner en marcha el proyecto BIRSMA, Biotecnología Integral para Residuos Sólidos Municipales y Agroindustriales (Palacios Mayorga, S., 2004).

Ante las limitaciones económicas y de vida útil de los rellenos sanitarios, aunadas a las fuertes inversiones para su modernización, el proyecto BIRSMA tiene el propósito de convertir los residuos sólidos en un recurso, promoviendo la investigación científica para reducir el costo económico del manejo de los residuos sólidos. Para lo cual considera construir una planta de tratamiento y composteo para los residuos sólidos urbanos, así como contar con áreas de

confinamiento temporal de residuos sólidos inorgánicos. Alternativamente se contará con laboratorio, invernadero, biodigestores e incinerador.

Se pretende promover la educación ambiental en escuelas, personal de limpia, industrias y comercios. Esto con el fin de inculcar la importancia de la separación para facilitar el reciclaje, ya que México recicla solo el 2% de los residuos sólidos generados, destinando el 5% a la incineración, el 2% al composteo y el 91% en el suelo.

Desde hace siete años Mérida empezó a tomar más en serio la gestión de residuos sólidos urbanos (Fuentes Alcocer, M., 2004) y construyó el relleno sanitario más seguro del país, eliminando la contaminación del acuífero que sirve de abastecimiento de agua a la población. Este relleno sanitario tiene una vida útil de 15 años y ha recibido 1.5 millones de toneladas de residuos sólidos. Está provisto de una doble geomembrana. Seguidamente se dedicó a la reordenación de los servicios de recolección alcanzando el 100% de cobertura de recolección.

Actualmente ha instalado una planta de separación y reciclaje de materiales inorgánicos (10,000 ton/mes) y una planta de composta (6,000 ton/mes), ésta última no está en operación ya que todavía no cuenta con patios de maduración de composta, pero proyecta poder procesar 2,000 ton/mes. En cuanto a la planta de separación solo se procesan 5,000 ton de residuos sólidos por mes, ya que no llegan exclusivamente materiales inorgánicos a la planta, aún así, recuperan el 31% de plástico, 24% de vidrio y 12% de plástico rígido.

Se han puesto en operación programas para la reducción de volumen de residuos sólidos, el aprovechamiento del reciclaje y la reducción de consumo de energía.

El costo por unidad de residuo procesado es bajo y la relación costo beneficio es favorable.

Hace diez años se hizo el esfuerzo de fomentar la separación de residuos llevada a cabo por la población pero se fue rechazando con el tiempo al no haber congruencia con las medidas que tomaba el ayuntamiento. Sin embargo, ahora se trata de imitar la estrategia de separación utilizada en España, donde los envases ligeros (metálicos, plástico, tetrapacks) se depositan en bolsas amarillas y los demás residuos en otra bolsa, además cuenta con contenedores en vía pública para papel, cartón, vidrio y pilas. En Mérida se utilizan bolsas de tres colores, donde se depositan residuos orgánicos, inorgánicos y sanitarios.

Existen algunos programas en Mérida que se pueden citar: El programa "Mérida, un voto de limpieza", ha tenido poca penetración en la sociedad. El programa de "Escuela limpia", dirigida a la comunidad escolar brinda capacitación para el manejo y separación de residuos sólidos. El programa "Comisaría limpia" promueve la separación, reducción y reciclaje en

comunidades suburbanas y ha tenido mayor aceptación que en la ciudad. Próximamente se promoverá el "Taller escuela de reciclaje"

Al igual que Mérida, los municipios de Ecatepec, Metepec, y Veracruz, han instalado plantas de procesamiento de residuos sólidos, donde incluyen tecnologías de separación, trituración y compactación.

Hermosillo Sonora contempló en su programa de desarrollo 2001 - 2004, el mejoramiento integral de recolección de basura y la participación y desarrollo de su factor humano (Del Río Sánchez, M. D., 2004).

Una de sus tareas fue la modernización de recolección, tanto en su transporte (radiocomunicación), como el rediseño de rutas, involucrando al sindicato para mejorar el servicio.

De igual manera, abrió talleres de cultura, se valió de la consulta ciudadana para la evaluación del servicio, se dignificaron las áreas de trabajo, el servicio se volvió amable y constante, y se premió a las mejores tripulaciones.

En el año 2003 obtuvo la certificación ISO en el servicio de limpia y espera seguir cosechando certificaciones en los servicios públicos que ahora son una prioridad.

Aguascalientes ha obtenido la certificación de "Ciudad Limpia" por la Procuraduría Federal de Protección al Ambiente, PROFEPA (López Guzmán E., 2004).

A pesar de los logros obtenidos, la tendencia no es muy favorable, de seguir en esta situación, se puede adquirir un perfil crítico. Los impactos ambientales y en la salud humana debido al inadecuado manejo y disposición de los residuos sólidos, han llevado a establecer estrategias nacionales las cuales incluyen la definición de un marco normativo que permitirá un control más eficiente de la contaminación al ambiente, el desarrollo de políticas para reducir su generación, estimular el reciclado y reutilización de materiales, el fortalecimiento a las instituciones involucradas con el manejo y operación de los residuos; y la búsqueda de esquemas de financiamiento adecuados a las capacidades de pago de los municipios.

• Situación Estatal

La problemática más común dentro de la Entidad en materia de residuos sólidos, es la generación permanente de los mismos, la incipiente cultura ambiental, la resistencia social a la construcción de rellenos, la insuficiente infraestructura sanitaria y los raquícos recursos para la instalación de dicha infraestructura. El estado está conformado por 84 municipios con 4,596 localidades y con una población de 2,235,591 habitantes. De los 84 municipios, sólo el 49% de ellos tiene una incidencia regulatoria: cuatro de ellos cuentan con rellenos sanitarios (Pachuca, Tula, Tepeji y Huichapan), donde se confina el 30% de los residuos que se generan en el estado, además en otros 37 municipios se llevan controles a partir de visitas de inspección, dictaminación de fumigación, control de incendios, y procurar que cubran con tierra sus vertederos. Los vertederos con éstas características son conocidos como controlados. Se tienen 43 tiraderos a cielo abierto oficiales y aproximadamente 260 tiraderos clandestinos, se considera la operación de por lo menos 3 de estos últimos por municipio. La composición se estima con 52% de materia orgánica y 48% de materia inorgánica, dicha proporción podrá variar en función del desarrollo económico regional y la densidad poblacional y status social (COEDE, 2003).

En la Entidad se estima la generación de 6,640 ton/día de residuos sólidos, de los cuales 4,465 corresponden a residuos mineros generados en los distritos: Pachuca-Real del Monte, Zimapán y Molango; 1,802 ton/día de residuos sólidos municipales (700-800 gr. per cápita); 370 ton de residuos industriales y 3.0 ton de biológico infecciosos. Para su disposición final se cuenta con una superficie de 89.41 ha. de tiraderos de basura a cielo abierto y de 20.40 ha. de rellenos sanitarios. Situación que no coloca a Hidalgo dentro de los estados con un eficiente sistema de administración y operación de la gestión integral de residuos sólidos municipales (COEDE, 2003).

La infraestructura refleja la problemática en este ámbito, ya que son pocos los casos que se pueden citar en el estado de Hidalgo, donde se apliquen actividades como reciclaje o transformación (COEDE, 2002).

En el caso particular del municipio de Huasca, se está separando basura en una planta de valorización, se cuenta con un reciclador ecológico en Emiliano Zapata, y además se tienen dos centros de acopio de plásticos en Metztitlán, a partir de que ésta Vega se decretara como Reserva de la Biosfera. En este lugar se utilizan muchos recipientes de insecticidas o de pesticidas que se encuentran por doquier. Otra importante organización, es el centro de acopio regional de la presa Endhó creado por el Comité Ecológico Tula-Tepetitlán que acopia plástico de cuatro municipios, además de una importante cantidad de plástico proveniente de la Zona Metropolitana, alrededor de 800 toneladas cada que abren las compuertas del emisor poniente, con destino a la presa, lo que causa un foco altamente insalubre que afecta la población establecida ahí. Adicionalmente se cuenta en la Entidad con siete industrias que reciclan algún tipo de residuo y se suman a la tarea para el tratamiento de estos. De manera específica se puede mencionar que Cementos Mexicanos y Cooperativa Cruz

Azul ha convocado a licitaciones para el aprovechamiento de llantas como agregados en asfaltos mejorados y producción de artículos de hule; además como combustible derivado de residuos (CDR), para alimentar sus hornos cementeros (Fuentes Alcocer, M., 2004).

La Administración Gubernamental del período 2002-2006 del estado de Hidalgo, se dio a la tarea de establecer un plan de acción que contiene un programa de trabajo sobre medio ambiente, que se enfrenta a los siguientes retos:

- Diagnóstico estatal en materia de residuos sólidos.
- Manejo Integral de Residuos Sólidos Municipales a través de rellenos sanitarios regionales.
- Promoción y regulación de centros de acopio en cada municipio.
- Regularización de las empresas generadoras.
- Evaluación y dictaminación del 100% de sitios propuestos para rellenos sanitarios.
- Fortalecimiento del Marco Jurídico en materia de residuos.

De lo anterior se ha obtenido los siguientes logros:

- Planificación de acciones de Gobierno en la materia.
- Gestión municipal, obteniendo respuesta del 30% para la realización de estudios de preinversión.
- Promoción en los 84 municipios del estado, dos centros de acopio de plástico.
- 51 empresas regularizadas. S Evaluación de 58 sitios propuestos de los cuales, cuatro están en operación y uno más en proceso de construcción.
- Doce municipios cuentan con reglamento de ecología decretado, 38 más están bajo revisión jurídica

Lo expuesto anteriormente, resulta de un intercambio de experiencias y del fortalecimiento de las instituciones mediante educación ambiental e incentivo de industrias de reciclaje. Además se vislumbran otras áreas de oportunidad como impulsar la investigación, programas de saneamiento, y la participación social, así como dirigir los presupuestos municipales hacia la atención y construcción de infraestructura sanitaria.

Diversos organismos estatales se dan a la tarea de promover o vigilar acciones que conlleven a un mejoramiento en el medio ambiente, tal como es el caso del Consejo Estatal de Ecología (COEDE, 2003a), que respecto a la problemática de los residuos sólidos, convocó a la realización, como parte del Programa nacional de desarrollo Urbano 2001-2006, de un Plan Maestro para el Manejo Integral de Residuos Sólidos Municipales financiado a través del Proyecto Regional de Gestión de Residuos Sólidos con recursos provenientes de la Agencia Alemana KFW. Dicha ejecución se realizaría por consultoría externa, la cual debería determinar las condiciones actuales del servicio (situación sin proyecto), las condiciones para optimizarla y las alternativas técnica, económica, ambiental y socialmente viables para su fortalecimiento, incluyendo la propuesta de infraestructura necesaria y su equipamiento, para proporcionar el servicio integral de aseo urbano con la mayor cobertura viable, conteniendo la dinámica de tendencia cambiante en función de las exigencias del

comportamiento poblacional. Lo anterior para lograr elevar los niveles de calidad del servicio de limpia pública municipal, como parte integral de un desarrollo regional, acorde con las exigencias de modernización de las ciudades y del desarrollo social de su población. Específicamente, para contar con los elementos necesarios y así determinar las acciones que se deben realizar en el fortalecimiento institucional de los organismos y entidades responsables de la planeación, organización, operación, mantenimiento, administración y la capacitación del personal del Sistema de Limpia Pública Municipal; mejorar la capacidad de almacenamiento de los residuos sólidos en las diversas fuentes de generación, cuantificando y analizando los recipientes para su manejo adecuado en su almacenamiento temporal; mejorar la calidad del servicio de barrido mecánico y manual, del servicio de recolección de los residuos sólidos, y en caso necesario, un sistema de transferencia; se propondrán las acciones para construcción de un relleno sanitario y clausura del sitio actual en caso necesario, incluyendo un análisis de tratamiento y/o reciclaje de subproductos. Por último, reducir al mínimo los efectos que provoca el ineficiente manejo de residuos sólidos, particularmente en la contaminación del aire y del suelo, así como cuidar que no se afecte la imagen urbana de la ciudad.

Una entidad como Hidalgo, conjunta una serie de industrias y actividades que generan residuos sólidos y que en su mayoría se desconoce las tasas de generación y recuperación, tipos, periodos, orígenes, calidad, entre otras estadísticas. Ante este panorama estatal, es imprescindible realizar estudios que nos permita contar con inventarios para poder adoptar acciones en pro del medio ambiente.

Tradicionalmente los residuos sólidos urbanos, particularmente en los municipios de El Arenal, Actopan y San Salvador, como en muchos otros, son depositados en predios sin uso (laderas, barrancas, baldíos) siendo un factor directo de contaminación ambiental y de deterioro de la calidad de vida de las poblaciones. Esta problemática se ve incrementada por la generación y depósito en tiraderos a cielo abierto, además de las prácticas tradicionales domiciliarias, sin olvidar los residuos de: hospitales, rastros, antirráticos, industriales peligrosos y no peligrosos, es de mención que éstos últimos se tiran sin ningún control de entrada y manejo; aunado a la carencia de infraestructura sanitaria (Rellenos Sanitarios) e incluso, la imposibilidad técnica para su desarrollo, amén de olvidar factores limitantes como son la topografía, la existencia de agua freática de superficie-manantiales, por mencionar algunos.

Históricamente y a la fecha, el manejo de la basura bajo la responsabilidad de los ayuntamientos presenta un control deficiente, siendo los tiraderos municipales lugares donde prolifera la fauna nociva, focos de contaminación ambiental y detonadores de problemática social, política, de salud y educación. Por lo que esta situación requiere la necesidad de conjugar una atención integral hacia una solución de fondo, lo cual demanda un compromiso institucional, sensibilización y participación de todos los sectores de la sociedad.

Todo plan de gestión, en este caso sobre el manejo de RSU, viene soportado por determinadas características de la región en el aspecto geográfico, socio-económico y cultural. A continuación se describe el perfil que presenta el estado de Hidalgo (INEGI, 1992, 2000 y 2003).

El estado de Hidalgo forma parte de la parte central de México ubicándose en las siguientes coordenadas: al norte 21°24', al sur 19° 36', al este 98°57' al oeste 99° 53', contando con el 1.1% de la superficie del país y colindando al norte con los estados de Santiago de Querétaro, San Luis Potosí y Veracruz, al este con Veracruz y Puebla, Al sur con Puebla, Tlaxcala y México y al oeste con México y Santiago de Querétaro. Pachuca de Soto es la capital del estado y está circundada por los municipios de Mineral del Chico al norte, Mineral del Monte y Mineral de la Reforma al este, Zapotlán de Juárez y Zempoala al sur, y San Agustín Tlaxiaca al oeste.

La región en donde se establece hoy el estado de Hidalgo quedaba comprendida dentro del área mesoamericana (GEOCITIES). Por su localización geográfica, el territorio fue paso obligado de las numerosas migraciones que, procedentes del norte del país, llegaron para establecerse especialmente en el valle de México. Los toltecas llegaron a Xochicoatlán, en el actual municipio de Molango, a principios del siglo VII, para dispersarse por diferentes lugares, un grupo hacia Huejutla y el más numeroso hacia Tollancingo, hoy Tulancingo, para de ahí volver al occidente y fundar la que durante varios siglos habría de ser su capital Tollan, hoy Tula. Los pueblos de cultura tolteca fueron con el tiempo invadidos por los chichimecas que tuvieron como señorío principal, dentro de Hidalgo, a Metztitlán. Los aztecas llegaron a Tula y se establecieron en Mixquiahuala en el siglo XII y fundaron, años más tarde, Tizayuca. En Hidalgo edificaron Tepehuacán y conquistaron Patlachihuacán, hoy Pachuca; Ahuitzotl llevó su conquista hasta Huejutla y en corto tiempo la región hidalguense pasó a formar parte del imperio azteca. El estado fue libre y soberano por decreto el 16 de enero de 1869.

Geográficamente se distinguen tres zonas climáticas bien definidas en el estado de Hidalgo

1. Zona de climas cálidos y semicálidos de la Huasteca Hidalguense
2. Zona de climas templados de la Sierra Madre Oriental y Eje Neovolcánico
3. Zona de climas secos y semisecos de la Sierra Madre Oriental y Eje Neovolcánico

En menor proporción aparece en pequeñas áreas el clima semifrío, que se desarrolla en las partes más altas del estado.

La mayoría del territorio cuenta con un clima seco templado en la llanura; seco semicálido en la parte central y suroeste; frío en la montaña. Se registran temperaturas que van desde los 12 a los 18°C en promedio anual, aunque se han registrado temperaturas extremas de -0.2 a 28°C, en las principales

cabeceras, registrándose también una precipitación total anual de 346.9 a 2210.5 mm.

En el estado de Hidalgo las corrientes son escasas. Esto se debe primordialmente al clima y topografía. Así el estado se encuentra comprendido casi en su totalidad dentro de la región hidrológica "Río Panuco" (No. 26), con una superficie de 19,783.6 km². Contando con 6 cuencas hidrológicas, 19 corrientes de agua y 10 cuerpos de agua. Comprende las cuencas de los ríos Tula y San Juan del Río, que son afluentes del río Moctezuma, y las cuencas Metztlán y Amajac, que originan el río Amajac. Entre las principales corrientes pluviales destacan los ríos Tula, Amajac y Metztlán. Sus principales lagunas son las de Metztlán, Zupitlán, San Antonio, Pueblilla y Carrillos, disponiendo además de presas, bordos, jagüeyes y abrevaderos). Además los ríos Extóraz, Bajo Amajac, Tempoal, Moctezuma, Tampaón y Panuco. Las principales áreas de explotación acuífera se localizan sobre todo en la parte que comprende Tepeji de Ocampo, Valle del Mezquital, Ixmiquilpan, Actopan, Tulancingo, Tecozautla, Pachuca, Tizayuca y Apan. Los acuíferos en explotación están contenidos en sedimentos terciarios continentales y piroclásticos, basálticos y andesíticos. La principal fuente de aguas subterráneas se ubica en los acuíferos del Valle del Mezquital, cuya recarga se incrementó notablemente al iniciarse el riego con agua superficial de aguas negras lo que implica un serio riesgo de contaminación de los acuíferos con detergentes y compuestos nitrogenados, debido a su alta transmisibilidad. En el estado, hay varios manantiales de aguas termales, entre los que destacan de acuerdo a su temperatura los de Pathe (95°C), Zacualtipán (55°C), Vito (46°C), Tula, Ajacuba y Tolantongo (44°C), Dios Padre (38°C), Taxhido y Tezontepec (37°C), Amajac (36°C), Pathecito y Zindejé (35°C).

Los límites del estado de Hidalgo encierran áreas que corresponden a tres provincias fisiográficas del país: La Sierra Madre Oriental, El Eje Neovolcánico y La Llanura Costera del Golfo del Norte.

Las características litológicas y estructurales de las rocas que afloran en estas provincias, indican que hubo diferentes eventos geológicos de tipo orogénico, que asociados al volcanismo y al relleno de cuencas oceánicas, dieron el carácter estructural a esta entidad.

Por lo que dentro de su edafología se pueden encontrar suelos Feozem hístico, Regosol calcáneo y Vertisol pélico en mayor proporción.

Las características anteriores permiten a la entidad enfocarse en dos actividades potenciales para el uso de la tierra: la agrícola y la pecuaria.

Las actividades de agricultura (42.49% sup.) se centran en la producción de frijol, chile, maíz, alfalfa y trigo para forraje y comestibles. En cuanto a la vegetación existen: pastizales (8.92 % sup.) que se utilizan como forraje, como la estrella africana, pangóla, zacatón, zacate navajita y uña de gato; bosques (25.09% sup.) con ocote rojo, encino hoja ancha, mirra, oyamel y encino manzanilla para la explotación de madera; selva (4.83% sup.) con guácima, palo de rosa, chaca, pinolillo y chalahuite para uso de forraje, madera y

sombra; matorrales (18.46% sup.) como el garambullo, palma, ingrillo, barreta y membrillo para su uso como forraje y fibras.

Las actividades ganaderas, avícolas y de colmenas, manejan una población (cabezas) bovina de 397,021 y 172,349 para carne y leche respectivamente; 409,421 de ganado porcino; 795,784 de ganado ovino; 298,485 de ganado caprino; las aves gallináceas representan 9,157,032 y 2,140,937 para carne y huevo respectivamente; 182,311 guajolotes y 25,406 colmenas. Las actividades de ganadería se desarrollan en una superficie de 805,026 ha., que se distribuyen en praderas, agostaderos y matorrales.

El estado de Hidalgo por su diversidad climática, favorece la explotación de diversas especies acuáticas, ya sea a través de la pesca y/o la acuicultura. Lo anterior, permite la explotación de especies como la trucha arcoiris, carpa, bagre, tilapia, peces de ornato y gusano de fango. Por otra parte esta variedad en climas favorece el desarrollo de otras especies con un alto valor comercial a nivel local como lo son: el charal, la lobina, la acamaya, el ajolote y el acocil entre otras.

El manejo de esta diversidad de especies, tanto a nivel comercial como de autoconsumo, genera una producción anual promedio de 4,000 toneladas de productos pesqueros. De la producción que se genera en la entidad, el 85% se consume en la entidad y el 15% restante se canaliza a mercados como el Distrito Federal, Edo. de México y Puebla. Asimismo, de la producción global estatal, el 60% se destina al autoconsumo y el 40% es comercializado.

Cabe mencionar que Hidalgo cuenta con áreas naturales protegidas de control federal como parques nacionales, donde se puede mencionar el de Los Mármoles, el de Tula y El Chico, así como reserva de la biosfera como la Barranca de Metztitlán. Dentro de la competencia estatal se tiene una Zona de Protección a la Flora con el Sistema Nacional de Riego No. 8 y la Zona de protección a la Flora y Fauna con la Cuenca del Valle de México, los Terrenos de San Francisco y el Valle del Mezquital.

En cuanto a las comunicaciones, el estado se encuentra bien comunicado, principalmente en el sur y centro; así mismo está atravesado por la carretera México-Nuevo Laredo, que atraviesa la entidad de sur a norte, une Pachuca, Actopan, Ixmiquilpan, Zimapán y Jacala, y continúa hasta Tamazunchale, San Luís Potosí; de ella derivan diversas carreteras que conectan con la autopista México-Querétaro y la que comunica con Pachuca a Ciudad Sahagún y Apan.

Otros aspectos importantes de la Entidad muestran que el 15% de personas mayores de 15 años son analfabetas. Y en el área de salud, se encuentran en operación 733 unidades médicas públicas del sector salud donde se han registrado como causa de muerte algunas enfermedades: Insuficiencia renal (211), Enfermedades pulmonares obstructivas crónicas (209), Bronquitis crónica y las no especificadas, enfisema y asma (179), enfermedades infecciosas intestinales (96, 4.4%).

▪ Pautas a seguir para lograr una gestión integral de residuos sólidos

Ante este panorama Wehenpohl, G. (2003), recomienda identificar áreas de interés dentro de la metodología de la gestión de residuos sólidos urbanos, para futuras investigaciones realizadas por las universidades para obtener resultados independientes.

- Generación y composición: Considerar estrato social, tipo de urbanización, costumbres, oferta de productos en el mercado, clima, etc.
- Recolección: Transporte y centros de acopio.
- Reciclaje: Materiales que pueden ser sustituidos parcial o totalmente por materiales reciclados y su mercado.
- Tratamientos: Identificar tecnologías que están llegando a México como la pirólisis, la compactación de alta densidad, encapsulamiento de pacas en plástico, tratamiento mecánico-biológico, transformación de biogás, etc.
- Disposición final: Monitoreo después de la clausura de rellenos sanitarios (consecuencias y beneficios energéticos).
- Aspectos financieros: Conocimiento de costos del ciclo de gestión de residuos sólidos para la generación de tasas aplicables a los generadores.
- Aspectos sociales: Participación de la sociedad educada y capacitada además evitar la actividad del pepenaje.

Cualquier actividad que modifique el entorno de su condición original, genera un impacto ambiental, situación que conlleva al deterioro y explotación descontrolada de los recursos naturales y que afecta directamente a quien a su vez genera dicho desequilibrio ecológico: el hombre.

El estado de Hidalgo tiene la necesidad de incluir entre otros, o modificar en su caso, el control de sus sistemas de descargas de efluentes, emisiones a la atmósfera y disposición de residuos sólidos de manera integral, a través del adecuado diseño de estos sistemas considerando así un posible ahorro y aprovechamiento de subproductos en actividades secundarias. Por lo que se deben contemplar las siguientes soluciones:

- Elevar el nivel administrativo de la gestión ambiental.
- Minimizar el impacto ambiental en la: atmósfera, suelo y cuerpos de agua mediante propuestas donde se eliminen o minimicen contaminantes sólidos.
 - ❖ Promover la conservación de suelos mediante el manejo integral de los residuos sólidos.
 - ❖ Promover la calidad de las aguas superficiales y subterráneas.
 - ❖ Promover la calidad del sistema de captación y suministro de agua que puedan contaminarse con los lixiviados de los residuos sólidos.
 - ❖ Promover el control de emisiones a la atmósfera que puedan ser factores de contaminación.
- Concientizar el cuidado y preservación de los recursos naturales mediante proyectos de educación ambiental sobre todo dirigida a grupos

clave (niños y adolescentes). Enfrentarnos a los problemas ambientales puede resultar titánico, sobre todo, si no se tiene la conciencia del deterioro que sufre nuestro medio ambiente, aunado a la falta de recursos económicos, técnicos, legales, etc., para la implementación de nuevos sistemas que minimicen el desequilibrio ambiental. La marcada escasez de recursos naturales, es el móvil que nos motiva a acelerar la aplicación de alternativas adecuadas para lograr los siguientes efectos:

- ❖ Organizar y cumplir con la normativa ambiental.
- ❖ Conservación de suelos fértiles y renovación de suelos.
- ❖ Cuidado de la atmósfera.
- ❖ Conservación de cuerpos de agua.
- ❖ Reutilización de agua y residuos sólidos.
- ❖ Ahorro de costos.
- ❖ Evitar multas y penas legales por clausuras de obras o actividades proyectadas.
- ❖ Elevar la calidad de vida.

Con la visión anterior, se hace énfasis en particular a la gestión integral de residuos sólidos urbanos en el estado de Hidalgo, ya que es hoy por hoy, un problema notorio en nuestra Entidad, donde de manera general no se aplican técnicas que minimicen los impactos al medio ambiente, tal situación se puede ver con la existencia de solo cuatro rellenos sanitarios. Ahora bien, no hay que olvidar que tenemos más de cuatro mil registros poblacionales según INEGI los cuales no cuentan con vertederos, lo que conlleva a la contaminación de suelos y aguas, generando problemas de salud pública, estética, paisajismo, etc.

La cifra de rellenos sanitarios en Hidalgo contra la de tiraderos a cielo abierto nos revela que no se cuenta con sistemas de manejo de residuos sólidos suficientes de acuerdo a la población, sumado a la deficiente administración y operación de los mismos. De los sistemas no controlados, se destaca principalmente que son foco de contaminación y enfermedades; adicionado a la gran pérdida económica por no contar con un sistema de recuperación, reciclaje y reuso de materiales como: papel, pañales, textiles/telas, plásticos rígido y flexible, residuos alimenticios, madera, residuo de patio y jardinería, polvos, así como férricos y no férricos, aluminio, vidrio, ladrillo, residuos voluminosos y blancos que son atractivos para su comercialización. Los residuos de fermentación rápida y los plásticos juegan un papel importante, ya que los primeros, pueden ser sometidos a composteo para su disposición como abono en cultivos, o bien sometidos a digestión anaeróbica para la obtención de biogás útil para procesos de calentamiento, mientras que los plásticos, en forma compactada, pueden utilizarse como rellenos de suelos y de cierta forma permanecer almacenados previa transformación.

La construcción de un vertedero de residuos sólidos, su manejo y clausura, conllevarán a ciertas acciones que tendrán un impacto sobre el ambiente, por lo que se requiere conformar el estudio de impacto ambiental en conjunto con su diseño.

Inevitablemente se verá impactado el medio natural como la atmósfera, tierra y suelo, así como el agua, flora, fauna y paisaje. En lo que se refiere al medio

socioeconómico habrá un cambio en el uso del territorio abandonada la explotación, los aspectos culturales, la infraestructura, la calidad de vida, salud y bienestar, por último con la posible recuperación y reuso de algunos residuos se obtendrá un beneficio económico, la generación de empleos y aumento en la población de la zona entre otros.

Es importante prevenir eventos que impacten nuestro entorno, ya sea por el propio problema de contaminación o bien, al tratar de resolverlo, por lo que resulta necesario estar apegados estrictamente a la normatividad nacional y local para no incurrir en un delito contra el medio ambiente.

4. MARCO TEÓRICO

■ Generalidades

Gestión Integral de Residuos Sólidos (GIRS) es una metodología (Tchobanoglous, 1994), donde se manipulan los residuos sólidos para su reducción, reciclado, transformación y vertido, así como el control sistemático y determinado de los elementos funcionales como su generación, manipulación, recolección, separación, procesamiento y transformación, transferencia, transporte, vertido y recuperación de suelo postclausura del vertedero.

Al conjunto de procedimientos operativos y gráficos diseñados para la identificación, valoración de los efectos ambientales de un proyecto y las alternativas que para él se contemplan, incluyendo la selección de la mejor alternativa desde el punto de vista de sus efectos ambientales, se le conoce como método de evaluación de impacto ambiental (Conesa, 1997).

Los residuos sólidos (Tchobanoglous, 1994), son considerados, dentro una gran variedad de materiales sólidos, también algunos líquidos, los que se tiran o rechazan por estar gastados, ser inútiles, sin valor, o estar en exceso. Estos pueden ser domésticos, industriales, agrícolas, comerciales, urbanos (incluyen todos los residuos generados de viviendas residenciales, edificios de apartamentos, establecimientos comerciales y de negocios, instalaciones institucionales, actividades de construcción y demolición, servicios municipales y lugares de plantas de tratamiento), residuos voluminosos y de construcción.

Un método de ingeniería para la eliminación de residuos sólidos en la tierra son los vertederos controlados o rellenos sanitarios, de una forma tal que se protege la salud pública y el medio ambiente. El residuo se esparce en capas finas, compactándolo al volumen práctico más pequeño, y tapándolo con tierra y otro material apto, al final de cada día laboral. Estos en calidad, pueden ir desde tiraderos a cielo abierto totalmente sin control, hasta rellenos sanitarios con procedimientos de selección y recuperación de materiales útiles de residuos sólidos para su reciclaje, o bien la obtención de energía mediante la conversión de residuos sólidos en calor producido en la incineración o procesos biológicos anaeróbicos de los mismos.

Los vertederos se pueden clasificar como vertederos para residuos sólidos urbanos no seleccionados, vertederos para residuos sólidos triturados, vertederos para constituyentes individuales de residuos llamados también monovertederos, vertederos para maximizar la producción de gas, vertederos como unidades de tratamiento integral y vertederos en zonas húmedas.

La clasificación general de los residuos sólidos genera las siguientes categorías: papel impreso, otros papeles, pañales, textiles/telas, películas de plástico, plástico rígido, residuo alimenticio, madera, residuo de patio, polvos, así como fierro, aluminio, no fierro, vidrio, ladrillo, residuos voluminosos, etc. Sus características se determinan por los siguientes parámetros: humedad,

cenizas y valor calórico, que indicarán su uso como combustible, producto reciclado o bien, la mejor alternativa de disposición final de estos.

Para la determinación de la composición de residuos sólidos (Corbitt, 1989), se utilizará el método de cuarteo y en cuanto a la recolección de las muestras, puede tomarse periódicamente de la carga de los camiones tomados al azar y de por lo menos 5 áreas geográficas bajo climas extremos, o bien de manera más directa de la recolección de residuos de contenedores colocados en los exteriores de las casas habitación, lo cual nos permite obtener la cantidad per cápita generada, y correlacionarlo, de acuerdo al nivel económico y tamaño de residencia.

La transformación de los residuos sólidos (Tchobanoglous, 1994), puede lograrse mediante una adecuada separación y procesamiento, sometiendo a éstos a una reducción de tamaño, separación por tamaño y densidad, separación magnética y compactación. También es importante contar con instalaciones y equipo para la adecuada manipulación, transporte y almacenamiento de los mismos, así como para su recuperación.

Existen técnicas de conversión para la recuperación de los residuos sólidos entre las que se encuentran: incineración, pirólisis, gasificación, composteo y digestión anaeróbica. Por otro lado, los materiales reciclables pueden ser: latas de aluminio, papel y cartón, plásticos, vidrio, metales féreos y no féreos, residuos de jardín, residuos alimenticios, residuos de construcción, madera, aceite residual, neumáticos usados, baterías acidas de plomo, pilas domésticas, etc.

La recuperación del suelo es un reto a lograr para el uso del terreno posterior a la clausura del vertedero. Se puede considerar la revegetación del vertedero y utilizarlo para campos deportivos. Es importantísimo estimar los riesgos que pueden generarse posteriormente a la clausura como la generación del metano y posibles hundimientos.

Las características del suelo son la base y alimento de la vegetación que esta presente en cada región (SEMARNAP, 2000). Cada tipo de planta responde favorablemente si satisface su selectividad nutritiva, de manera que eligen determinados nutrientes que requieren en determinado tiempo de desarrollo y cantidad, y en qué condiciones climáticas.

Las plantas obtienen de la atmósfera el 92-98% de peso seco de elementos, como el carbono, el oxígeno, el hidrógeno y el nitrógeno, los cuales son vitales y constitutivos.

Los elementos que provienen del suelo constituyen aprox. del 2-8% del peso seco de las plantas y que se representan por 12 elementos vitales; dos no constitutivos: potasio y cloro, y diez constitutivos; fósforo, boro, calcio, magnesio, azufre, hierro, manganeso, molibdeno, cobre y zinc.

Oligoelementos complementarios: cuatro no constitutivos como litio, sodio, rubidio, cesio y catorce constitutivos como flúor, silicio, selenio, cobalto, yodo, estroncio, bario, aluminio, vanadio, estaño, níquel, cromo, berilio y bromo.

Los elementos nutritivos para las plantas brindan los siguientes beneficios a las mismas:

Nitrógeno. El nitrógeno es necesario para formar clorofila, proteínas, hormonas y vitaminas para la formación y el crecimiento de la planta. Las leguminosas lo aprovechan mejor y/o aumentan la cantidad de nitrógeno en el suelo.

Fósforo. Este es importante para la formación de granos y semillas. La deficiencia de fósforo provoca menor valor nutritivo en granos o no germinan o no brotan bien. No forman buenas raíces o la suficiente cantidad de ellas. El fósforo procura tallos fuertes. Es poco soluble por lo que es difícil aprovecharse, se puede volver soluble con materia orgánica. El fósforo es más soluble también cuando el suelo es neutro o poco ácido.

Potasio. El potasio es necesario para la formación de proteínas, transportación de alimentos hasta las hojas o frutos. Ayuda a las plantas a combatir enfermedades y forman almidones y azúcares. Poco soluble para el aprovechamiento de las plantas.

Calcio y magnesio. Estos son deficientes en suelos muy ácidos.

Azufre. El azufre ayuda a la formación de proteínas y vitaminas; su deficiencia se denota en suelos con poca materia orgánica.

- **Gestión integral de los residuos sólidos**

La Gestión Integral de Residuos Sólidos Urbanos (GIRSU), es una selección y aplicación de técnicas, tecnologías y programas de gestión idóneas para lograr metas y objetivos específicos de manejo de residuos, donde se gestiona su reducción, reutilización, reciclado, transformación y vertido. También contempla la administración de los elementos funcionales como su generación, manipulación, recolección, separación, procesamiento y transformación, transferencia, transporte, vertido y recuperación de suelo postclausura del vertedero (Tchobanoglous, G. 1994).

La combinación de los elementos de gestión que involucra los factores sociales, políticos y técnicos, es lo que da lugar a la gestión integral de residuos sólidos.

Por otro lado la GIRSU, puede ser un sistema orientado al mercado, flexible y capaz de manejar todos los tipos de residuos sólidos, comprende una serie de acciones que, en su conjunto, lo componen y le dan forma con la finalidad de establecer un sistema ad hoc a cada localidad, donde el objetivo es la maximización del aprovechamiento de los recursos y la prevención o reducción de los impactos adversos al ambiente, que pudieran derivar de dicho manejo. Todo esto bajo un esquema de que las acciones a utilizar sean técnica y económicamente viables, ambientalmente sustentables y socialmente aceptables. Con el fin de lograr un manejo sustentable de residuos, por medio de la reducción de gases invernadero, disminución de tasas de residuos que llegan a rellenos sanitarios y maximización del aprovechamiento de los recursos, (Cortinas Nava., C, 2004).

Un panorama general de la GIRSU se puede observar en el mapa mental de la **figura 4.1**.

El control de un sistema de manejo integral de residuos sólidos, cuenta de una herramienta que ha sido de suma utilidad. Es el Inventario de Ciclo de Vida (ICV) (White, *et al*, 2000), el cual comienza en el momento que un material se convierte en residuo (pierde su valor comercial), y termina cuando deja de convertirse en residuo y se convierte en un producto útil en energía aprovechable o en material inerte en el relleno sanitario.

Las "entradas" en un sistema de manejo de residuos sólidos, son los residuos sólidos municipales, la energía y otras materias primas. Las "salidas" del sistema son productos útiles "revalorizados" (reutilizados, reciclados, derivados a composta o incinerados con recuperación de energía), emisiones al aire o agua, y materiales inertes que se disponen en los rellenos sanitarios.

Los resultados de los modelos de ICV en el caso de los residuos sólidos se expresan como: consumo neto de energía, emisiones al aire, emisiones al agua, volumen de rellenos sanitarios, materiales recuperados, cantidad de composta, tasa de recuperación de materiales y tasa de desviación de materiales que estaban destinados a rellenos sanitarios.

La utilidad del ICV en el manejo integral de residuos sólidos, se centra en la evaluación de la eficiencia ambiental que contribuirá a determinar la combinación óptima de manejo integrado que puede proporcionar una lista de consumo de energía, emisiones al aire, agua y suelo y también predecirá las cantidades de productos útiles que se generan de los residuos, tales como composta, materiales secundarios y energía útil.

El mejor sistema para cualquier región dependerá de las necesidades y prioridades locales.

A continuación se describen los elementos funcionales de una GIRSU:

Generación de los residuos sólidos

Es la acción de producir residuos a través del desarrollo de procesos productivos o de consumo. En esta etapa, el residuo tiene nulo valor, y se encuentra en una actividad poco controlable.

- Naturaleza

El origen de los residuos sólidos (Tchobanoglous, G., 1994), se relaciona con el uso de suelo y su localización. De esta manera los residuos sólidos pueden ser urbanos, industriales y agrícolas

Los residuos sólidos urbanos (RSU), son aquellos de índole doméstico y comercial, donde se incluyen los de manejo especial y los residuos peligrosos, los de índole institucional, de la construcción y demolición, de los servicios municipales y plantas de tratamiento de agua.

Los residuos domésticos provienen de las viviendas, donde se desechan residuos de comida, papel, cartón, plásticos, textiles, cuero, residuos de jardín, madera, vidrio, latas de hojalata, aluminio, otros metales y cenizas. También pueden provenir del comercio, donde desechan papel, cartón, plásticos, madera, residuos de comida. Los residuos de manejo especial son los provenientes de las viviendas y el comercio, de servicios de salud, los cosméticos y los alimentos no aptos para el consumo humano generados por establecimientos comerciales, de servicios o industriales, los generados por actividades agrícolas, forestales y pecuarias, los residuos de demolición, mantenimiento y construcción, los de laboratorios industriales o de investigación y los residuos tecnológicos provenientes de la industria informática, fabricantes de productos eléctricos y vehículos automotores. Dentro de los cuales se consideran los materiales voluminosos, electrodomésticos, de línea blanca (de los cuales se puede recuperar Cu, Al, etc.), pilas, aceites y neumáticos. Dentro de los residuos peligrosos, con propiedades CRETIB (Corrosivos, Reactivos, Explosivos, Tóxicos, Inflamables y Biológico infecciosos), están considerados la lejía, líquidos de limpieza, insecticidas y la gasolina.

Los residuos institucionales que desechan en escuelas y hospitales o centros gubernamentales, son muy similares de los comerciales.

Los residuos de construcción y demolición como la madera, acero, hormigón, etc., se desechan de lugares en construcción o reparación, renovación de carreteras o del derrumbe de edificios.

Los residuos municipales provienen de la limpieza de calles, paisajismo, limpieza de cuencas, parques y playas, donde se encuentran residuos especiales, basura, recortes de árboles y plantas, residuos de cuencas, residuos de parques y playas.

Las plantas de tratamiento de agua, producen fango en sus procesos.

Se consideran residuos sólidos agrícolas, los generados en los criaderos y cultivos, como el estiércol y residuos de comida.

Los residuos sólidos industriales resultan de los procesos de producción, y materiales de chatarra.

Tanto los residuos agrícolas como los industriales no se consideran dentro del rubro de los residuos sólidos urbanos.

Los residuos sólidos pueden ser orgánicos e inorgánicos, los primeros, con propiedades que facilitan la combustión.

Dada la diferencia de los residuos sólidos, es importante mencionar algunos parámetros físicos, químicos y biológicos que son importantes en el momento de desarrollar y diseñar sistemas de gestión integral de residuos sólidos.

Las propiedades físicas se dan por el peso específico, contenido de humedad, tamaño de partícula, distribución del tamaño, capacidad de campo y porosidad en compactación.

Las propiedades químicas se dan por el análisis físico (% en peso), punto de fusión de las cenizas, análisis elemental (C, H, O, N, S, ceniza, halógenos) y contenido energético.

Los componentes orgánicos pueden convertirse biológicamente en gases y sólidos orgánicos e inorgánicos por lo tanto se recomienda verificar la solubilidad, hemicelulosa, celulosa, grasas y aceites, lignina, lignocelulosa, proteínas.

La biodegradabilidad de los componentes de residuos orgánicos se puede determinar con el contenido en sólidos volátiles y alternativamente por el contenido de lignina.

Los residuos sólidos que se descomponen rápidamente son putrefactibles. La descomposición de los residuos sólidos genera malos olores y la reproducción de moscas, condición que influye en el diseño y operación de los sistemas de recolección.

- Problemática

Los problemas de la gestión de residuos sólidos se presentan por la cantidad y naturaleza diversa de los residuos sólidos, el desarrollo de zonas urbanas, la limitación de fondos y tecnologías, así como de energía y materias primas (Tchobanoglous, G. 1994).

Barradas, A. (1999), considera que las repercusiones que los residuos sólidos urbanos provocan son considerables, ya que producen contaminación de aire, suelo y agua, causa el desperdicio de recursos, crea la necesidad de espacios para su deposición, así mismo, presentan riesgos sanitarios provocando enfermedades o lesiones. De manera igualmente importante se inicia una crisis de energía y encarecimiento de materias primas.

La falta de recursos económicos, hace que el la gestión integral de residuos sólidos urbanos no se pueda llevar a cabo de manera apropiada.

En consecuencia se requiere eficacia, orden y uniformidad de datos en el manejo de los residuos sólidos urbanos. Afortunadamente, aunque bajo esta crisis, la recuperación de desechos ha entrado en auge.

- Cantidad

La cantidad de residuos sólidos generados, afirma Tchobanoglous (1994), varía de acuerdo a la situación geográfica, por lo que cada región debe realizar las estimaciones pertinentes tomando en cuenta las normas especificadas para ello.

Es importante considerar la generación de residuos sólidos per cápita para conocer la cantidad de residuos sólidos domésticos en cada población.

Para estimar la cantidad de artículos voluminosos, electrodomésticos de consumo y bienes de línea blanca, se puede determinar el número de viviendas y el número de artículos por vivienda, así como su vida útil.

En cuanto a las pilas domésticas, se pueden considerar 10 pilas/hab.año, así, 0.4 baterías/hab.año, además 3 l de aceite usado/hab.año.

Finalmente para los neumáticos de automóviles, se considera un valor de 0.8 neumáticos/hab.año.

La cantidad de residuos recolectados y generados varía desde el 4 hasta el 15%. Esta diferencia se justifica con la cantidad de residuos fermentados, quemados en chimeneas domésticas, los arrojados en alcantarillas, los donados a agencias de caridad, los vendidos a mercadillos, los entregados a estaciones de recolección selectiva y centros de reciclaje y los reciclados directamente.

La variación de estas cantidades se da diariamente, semanalmente, mensualmente y estacionalmente. La información de tasas máximas y mínimas de generación de residuos sólidos, se puede utilizar para la selección de equipamiento y tamaño de las unidades de gestión de residuos sólidos.

Se puede observar la tasa más grande en viviendas individuales y establecimientos pequeños de comercio, con especial aumento en temporada navideña y durante los días de limpieza de la casa en primavera. Mientras se incrementa el tamaño de la fuente de residuos, disminuye la variación en el día, la semana y el mes de generación máxima.

La localización geográfica y los distintos climas pueden influir en la generación de residuos, así en las zonas más cálidas los residuos de jardín se recolectan en cantidades más grandes y en periodos más largos.

La cosecha de temporal o permanente de vegetales o frutas también causa variaciones en las tasas de generación en el transcurso del año.

De igual manera el uso de trituradoras domésticas causa una alta variación en las tasas de generación, ya que no están distribuidas uniformemente en el país, y además la cantidad de sólidos que pasan a ser propios del tratamiento de aguas después de la trituración, no se reflejan totalmente, ya que no se toman en cuenta los sólidos solubilizados en el proceso de transporte en las instalaciones de tratamiento.

Los valores más realistas para estimar el efecto de trituradoras domésticas irían del 0.036 al 0.054 kg/cápita.día.

Por otro lado la frecuencia de recolección todavía no da resultados concretos sobre su influencia sobre la generación de residuos, ya que aunque la frecuencia varíe, la generación es la misma pero la cantidad recolectada será distinta, ya que en el intervalo se podrían almacenar residuos reciclables.

Finalmente, el área de servicio también puede influir en la generación de residuos, donde cuenta el status económico, el tamaño del terreno, la cantidad de vegetación y la frecuencia de mantenimiento.

La generación total de residuos urbanos en USA en 1990, es de un poco más de tonelada per cápita por año. (Tchobanoglous, G., 1994), (**tabla 4.1**).

Tabla 4.1.- Tasa de generación de residuos en USA (1990)

Tasa de generación de residuos, kg/cápita.año		
Residuo	Estados Unidos	
	Rango	Típico
RSU	658-1361	1009
Residuos industriales	227-794	340
Residuos agrícolas	113-1361	--
Total	1134-3516	

Los datos publicados antes de 1990, generalmente no reflejan la cantidad de residuos generados, sino la de los recolectados. Se excluyen la de los reciclados, los triturados domésticamente, los quemados en chimeneas domésticas, los fermentados y los almacenados temporalmente.

La tasa de generación de residuos por categoría en USA, 1990, (**tabla 4.2**), arroja 633 kg/cápita.año para residuos domésticos y comerciales, 51 kg/cápita.año para los especiales, 1 kg/cápita.año para peligrosos, 35 kg/cápita.año para institucionales, 143 kg/cápita.año de construcción y demolición, 97 kg/cápita.año de servicios municipales y 61 kg/cápita.año de fangos de plantas de tratamiento.

La distribución de los residuos sólidos urbanos en USA, en 1990 (**tabla 4.2**), se comportó posicionando a los residuos domésticos y comerciales en un 62%, a los especiales en un 5%, los institucionales en un 3.4 %, los de construcción y demolición en un 14%, los de servicios municipales en un 10.5% y los fangos de plantas de tratamiento de aguas en un 6%.

Tabla 4.2.- Total estimado de las cantidades de residuos generadas per cápita en USA (1990).

Cantidades estimadas para las categorías de RSU en USA, 1990						
Categoría de Residuo	Distribución de RSU,		Tasa de generación de residuos			
	porcentaje del total		kg/cápita.año		kg/cápita.día	
	Rango	Típico	Rango	Típico	Rango	Típico
Doméstico y comercial excluyendo residuos esp. Y peligrosos	50 - 75	62.0	510 - 770	633	1.4 - 2.1	1.73
Especiales	3 - 12	5.0	30 - 82	51	0.1 - 0.2	0.14
Peligrosos	0.01 - 1.0	0.1	0.07 - 14	1	0.0002 - 0.040	0.003
Institucional	3 - 5	3.4	29 - 50	35	0.09 - 0.14	0.10
Construcción y demolición	8 - 20	14.0	82 - 204	143	0.23 - 0.54	0.39
Servicios municipales						
Limpieza de las calles	2 - 6	3.8	20 - 61	39	0.05 - 0.18	0.10
Arboles y paisajismo	2 - 5	3.0	20 - 50	31	0.05 - 0.14	0.09
Parques y zonas de recreo	1.5 - 3	3.0	14 - 30	20	0.04 - 0.09	0.03
Sumideros	0.5 - 1.2	0.7	5 - 14	7	0.01 - 0.04	0.02
Fangos de plantas de tratamiento	3 - 8	6.0	31 - 82	61	0.09 - 0.23	0.17
Total		100		989.5		2.79

La distribución por zonas de los residuos sólidos urbanos en México en el 2001 (**figura 3.1**) (Sedesol, 2002), concentra su mayor generación en la zona centro con un 50%, en el resto del territorio nacional, se puede observar un 19% en la zona norte, 14% en el Distrito Federal, 10% en la zona sur y 7% en la frontera norte. Los estados que conforman cada zona se da como sigue:

Zona centro: Aguascalientes, Colima, Guanajuato, Hidalgo, Jalisco, México, Michoacán, Morelos, Puebla, Querétaro, Tlaxcala y Veracruz.

Zona norte: Baja California, Baja California Sur, Chihuahua, Coahuila, Durango, Nayarit, Nuevo León, San Luis Potosí, Sinaloa, Sonora, Tamaulipas y Zacatecas.

Zona sur: Campeche, Chiapas, Guerrero, Oaxaca, Quintana Roo, Tabasco y Yucatán.

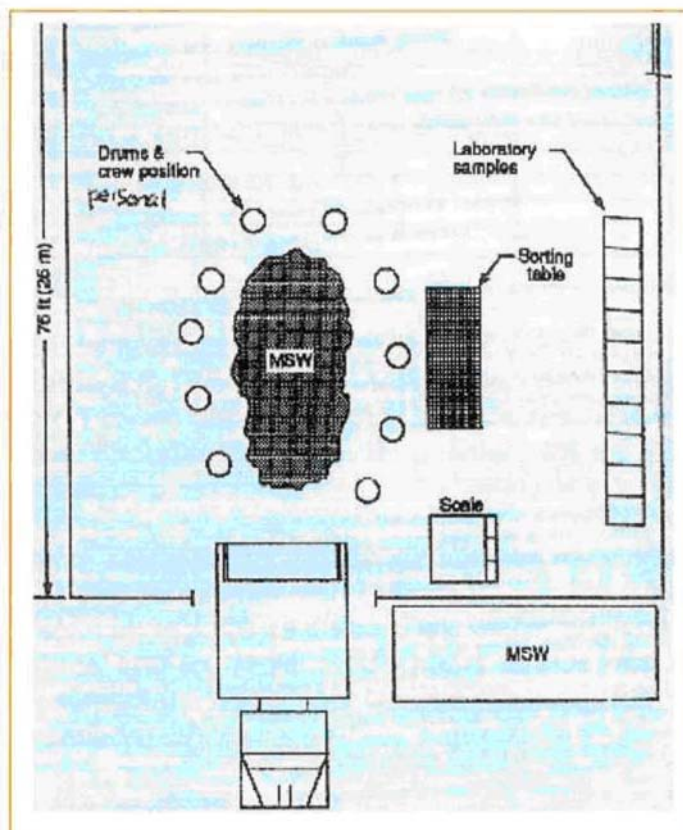
Frontera norte: Incluye los municipios de Baja California, Coahuila, Chihuahua, Nuevo León, Sonora y Tamaulipas, que están dentro de la franja de 100 km. al Sur del límite internacional con los Estados Unidos de América.

- Composición

Tchobanoglous, G. (1994), considera que el conocer la composición de los residuos sólidos, es decir, la proporción en que sus diferentes elementos se encuentran distribuidos, es de gran ayuda para evaluar las necesidades de equipo, sistemas, programas y planes de gestión.

Para la determinación de la composición de residuos sólidos, Corbitt (1989) recomienda que se tome periódicamente de la carga de los camiones de recolección tomados al azar y de por lo menos 5 áreas geográficas bajo climas extremos, o bien de manera más directa de la recolección de residuos de contenedores colocados en los exteriores de las casas habitación, el cual nos permite obtener la cantidad per cápita generada, y correlacionarlo de acuerdo al nivel económico y tamaño de residencia (**figura 4.2**)

Figura 4.2.- Lay out para la determinación de la composición de RSU



La fracción orgánica varía significativamente entre lugares y estaciones.

En la mayoría de los países industrializados la fracción orgánica representa 20% de los residuos sólidos municipales. En países en vías de desarrollo la materia orgánica llega a exceder 50% de éstos.

La composición de los residuos sólidos urbanos domésticos en USA 1990 (tabla 4.3), arroja un 80% para los materiales orgánicos, de los cuales predominan el papel en un 34%, los residuos de jardín en un 18.5% y los de comida en un 9%. Para los inorgánicos la composición es del 20% restante, predominando el vidrio en un 8%.

Tabla 4.3.- Composición estimado de residuos domésticos generados en USA (1990).

Composición estimada para las categorías de RSU domésticos en USA, 1990		
Distribución de RSU domésticos, porcentaje del total		
Categoría de RSU	Rango	Típico
Orgánicos		
Residuos de comida	6 - 8	9
Papel	25 - 40	34
Cartón	3 - 10	6
Plásticos	4 - 10	7
Textiles	0 - 4	2
Goma	0 - 2	0.5
Cuero	0 - 2	0.5
Residuos de jardín	5 - 20	18.5
Madera	1 - 4	2
Orgánicos misceláneos	-	-
Inorgánicos		
Vidrio	4 - 12	8
Latas de hojalata	2 - 8	6
Aluminio	0 - 1	0.5
Otros metales	1 - 4	3
Suciedad, cenizas, etc	0 - 6	3
Total		100

La composición de los residuos sólidos urbanos domésticos en México, 2001 , de acuerdo a la **tabla 3.1**, (SEMARNAT, 2002), está representada de manera grupal como sigue: 14% en papel y cartón, 52% de residuos de fermentación rápida, 5% en vidrio, 3% en metales, 9% en pañales, 4% en plásticos, 10% en residuos finos y 3% en otro residuos.

A través del tiempo se ha denotado un cambio en la composición de los residuos sólidos, ya sea porque realmente exista un cambio o bien, ahora se va tomando más en serio un registro de datos. Así, los residuos de comida van en disminución, mientras que los residuos de papel, cartón, los de jardín y los plásticos van en aumento. Cabe señalar que los plásticos no figuraban a principio del siglo pasado.

Manipulación de los residuos sólidos

Las diferentes actividades domesticas, comerciales e industriales se han visto en la necesidad de aplicar diferentes tipos de manipulación de los residuos sólidos en origen, con el fin de reducirlos, así como de reciclar y reutilizar aquellos que puedan tener un valor agregado.

El mejor lugar para la separación, reutilización y reciclaje es en el punto de origen.

- Minimización

Cortinas Nava., C. (2004), considera que la práctica de minimización o reducción en la fuente, precede al manejo efectivo de los residuos, donde se reducen la cantidad de materiales desechados que requieren alguna forma de manejo.

La reducción debe hacerse caso por caso, tomando en cuenta el ciclo de vida del producto en cuestión.

La industria puede generar productos concentrados, empaques más ligeros y rellenables. Algunas compañías pueden adoptar esquemas internos de reciclado o de recuperación de energía.

La industria también ayuda a reducir los residuos extendiendo la vida de sus productos de manera tal, que se posterga el punto en el que los productos se convierten en residuos.

Se puede promover la minimización de residuos sólidos, cobrando una cuota al generador conforme a la cantidad producida; ésta es una aplicación del principio "el que contamina paga" y forma parte de una estrategia de responsabilidad compartida.

- Manipulación y separación en origen

La separación de los componentes de los residuos sólidos en el punto de generación es la forma más eficaz de lograr la recuperación y reutilización de materiales, además de que disminuye el volumen de residuos que llegan al relleno sanitario.

La separación primaria se considera como la acción de segregar los residuos sólidos urbanos y de manejo especial en orgánicos e inorgánicos. Los primeros, se convertirán en mejoradores de suelos para el adecuado cultivo de plantas, y los segundos, se reciclarán para convertirse en nuevos productos (SEMARNAT, 2001).

La separación secundaria es la acción de segregar entre sí los residuos sólidos urbanos y de manejo especial que sean inorgánicos y susceptibles de ser valorizados. Así se recomienda la separación de papel periódico, cartón, botellas, residuos de jardinería, latas de aluminio, materiales férricos y residuos peligrosos.

- Almacenamiento en origen

Los residuos sólidos requieren de retenerse temporalmente en tanto se procesan para su aprovechamiento (COEDE, 2003a).

Los residuos sólidos se depositan en contenedores o bolsas para su temporal almacenamiento, que no debe excederse cuando se trata de materiales orgánicos.

Cabe señalar que para contribuir al mejor manejo de los residuos sólidos, resulta conveniente almacenarlos por separado, así aquellos materiales como los orgánicos que requieren menor tiempo de almacenamiento, se puedan descargar continuamente y aquellos que contengan materiales inorgánicos puedan permanecer más tiempo en ellos. Por ende temperatura juega un papel muy importante en el tiempo de almacenamiento. El almacenamiento de los residuos sólidos representa salud pública y estética.

- Procesamiento

Las operaciones unitarias de procesamiento de RSU de acuerdo con Tchobanoglous, G. (1994), son aquellos tratamientos físicos, químicos o biológicos realizados en el punto de generación, mediante los cuales se cambian las características de los residuos y se reduce su volumen o peligrosidad, dentro del alcance del generador. Los procesamientos más recurridos son la trituración, separación, compactación, incineración y composteo (**tabla 4.4**).

Tabla 4.4.- Operaciones e instalaciones típicas utilizadas para el procesamiento de residuos sólidos en el punto de generación.

Origen	Personas responsables	Operaciones e instalaciones
Viviendas residenciales		
De baja altura, aisladas	Residentes, inquilinos	Trituración, separación de componentes, compactación, composteo
Baja y media altura	Inquilinos	Trituración, separación de componentes, compactación, incineración (chimeneas)
	Operarios de mantenimiento del edificio y servicios contratados	Compactación, separación de componentes, composteo
Elevados	Inquilinos	Trituración, separación de componentes, compactación, incineración (chimeneas)
	Operarios de mantenimiento del edificio y servicios contratados	Compactación, separación de componentes, incineración trituración, pulpeado
Comercial	Servicios de cuidado del edificio	Separación de componentes, compactación, trituración, incineración, pulpeado
Industrial	Servicios de cuidado del edificio	Separación de componentes, compactación, trituración, incineración, pulpeado
Zonas abiertas	Propietarios, operarios de parques	Compactación, separación de componentes de residuos
Lugares de plantas de tratamiento	Operarios de planta	Instalaciones de desagües
Agrícola	Propietarios, trabajadores	Varía según la comodidad

- Trituración de residuos de comida

Casi todas las viviendas nuevas en USA, constan de trituradoras para comida o son instaladas en viviendas antiguas. Estas dejan el material apto para su transporte en el sistema de alcantarillado, aunque las sobre cargas de material orgánico ha provocado la prohibición de las trituradoras mientras no se cuente con una capacidad adicional de tratamiento en las viviendas.

La utilización de trituradoras puede llegar a disminuir el peso de residuos recogidos por persona, pero no tiene un impacto importante en el volumen de residuos recogidos.

Por otro lado el uso de trituradoras evita el almacenamiento de residuos que se descomponen fácilmente.

La trituración se utiliza en establecimientos comerciales y en agencias gubernamentales de manera alternativa para destruir documentos comprometidos que ya no son de valor. Algunas veces el volumen de los residuos se incrementa después de la trituración.

- Separación

La separación de residuos sólidos en el origen es una de las formas más eficaces de lograr la recuperación y reutilización de materiales, sobre todo cuando se quieren someter a incineración y surge la duda del contenido de los mismos. Por otro lado, el contenido energético de los residuos sólidos separados muestra un número menor que el que se tendría con la muestra original.

- Compactación

Las principales compactadoras para el procesamiento de residuos en viviendas residenciales son pequeñas unidades de compactación domésticas y grandes compactadoras para bloques de vivienda.

Normalmente las pequeñas unidades de compactación compactan papel suelto y ondulado, reduciendo el volumen de residuos generalmente hasta el 70%. Por otro lado esta operación puede limitar la recuperación de papel por la presencia de los líquidos de los residuos de comida.

Las unidades de mayor capacidad, se instalan en el fondo de un conducto de residuos, activándose por celdas fotoeléctricas o interruptores de límite para iniciar la compactación. Así el volumen compactado varía desde el 20 al 60 por ciento respecto al volumen original.

La incineración de balas compactadas puede generar una combustión retrasada en el horno y altas pérdidas de materiales combustibles no quemados, por lo que es necesario romper los residuos compactados.

La compactación en instalaciones comerciales es muy importante, comúnmente se embala el cartón residual de los mercados (90, 120 y 150 cm), para luego producir materiales de embalaje o es transportado al extranjero para su transformación en diversos productos.

- Incineración

Aunque con anterioridad la incineración de materiales combustibles de jardín se incineraban en chimeneas o incineradoras de jardín, ahora está prohibido en la mayor parte de USA. Esta prohibición ha incrementado significativamente la cantidad de papel, cartón y residuos de jardín recogidos. Los tipos de incinerador varían por su método de carga: de chimenea y conducto Tchobanoglous, G. (1994).

- Composteo

Tchobanoglous, G. (1994), cita que la popularidad del composteo creció en los años 70's en USA. Este procesamiento reduce el volumen, altera la composición física de los residuos y produce un subproducto útil. Se trata de la descomposición de material orgánico doméstico por bacterias y hongos hasta que quede solamente un material humoso llamado composta, el cual se puede utilizar como enmienda para la tierra o como material de abono. También se puede lograr un abono de césped, dejando los recortes de hierba de un césped recién cortado se fermenten y se incorporen al humus del suelo, así se reduce el residuo generado en origen y se permite el reciclaje de nutrientes.

Recolección de los residuos sólidos

Las tareas de recolección contemplan diversas fases: almacenamiento, transporte y sistemas de transferencia (COEDE, 2003a).

Los residuos sólidos se toman de sus sitios de almacenamiento, para depositarlos en el equipo destinado o conducirlos a las estaciones de transferencia, instalaciones de tratamiento o sitios de disposición final.

La recolección de residuos sólidos tiene que contemplar la de los materiales reciclables.

La recolección de residuos sólidos depende la temperatura, así temperaturas mayores de 26°C debe tener una mayor frecuencia, de preferencia diariamente. En el caso de temperaturas menores de 20°C, la recolección puede realizarse cada 3 días.

- Almacenamiento

Los contenedores son considerados como el lugar temporal de disposición de residuos sólidos al momento de la generación de los mismos y pueden adaptarse para una recolección manual o mecanizada.

Se prefiere que los contenedores presenten una imagen estética y cuenten con tapas para evitar la proliferación de fauna nociva. Los hay especialmente para el depósito de papel, aceite, material de construcción, etc.

Existen contenedores que son diseñados para el sistema de descarga frontal, que se realiza automáticamente.

Algunos contenedores pueden funcionar como compactadores estacionarios, donde se depositan residuos sólidos de ligera densidad.

Para generadores de altos volúmenes se utilizan tolvas de tamaño considerable, de 14 hasta 30 m³., las cuales, sirven de almacén temporal y/o centro de acopio.

Los vagones de tren se utilizan como contenedores de unidades de transferencia.

Para facilitar el control de generación de residuos sólidos existen contenedores cuentan con registro automático del peso de los mismos.

Se debe contemplar la selección de lugares donde se colocarán los contenedores para la recolección de los residuos sólidos.

- Transporte

El transporte adecuado para desplazar los residuos sólidos a sus diferentes destinos debe ser un vehículo motorizado con vagones o cajas de carga. Algunas veces pueden contar con sistema de radio comunicación.

Los transportes pueden ser con compactación o sin compactación. Generalmente tienen una capacidad de 8 toneladas.

Los transportes pueden estar equipados con cortina y pala para trabajo pesado, cilindros para alta compactación, además de recipiente y dren para lixiviados.

Los transportes de carga frontal, son sistemas para grandes generadores de residuos, que cuentan con un sistema automático para levantar y descargar los contenedores con residuos con la seguridad de no provocar accidentes.

Los transportes de carga trasera, se utilizan para pequeños generadores o para residuos que requieran mayor frecuencia de recolección. La operación se hace manualmente depositando las bolsas o descargando depósitos de residuos sólidos por la parte trasera del vehículo.

Los transportes de carga Roll Off, son vehículos tipo trailer para poder efectuar el intercambio de tolvas de capacidad hasta de 30 m³. Este sistema es apto para la recolección de altos volúmenes de residuos sólidos difíciles de compactar.

Los planes de frecuencia de recolección deben tomar en cuenta que la producción per cápita de residuos sólidos urbanos es de 1.1 kg. y que la densidad de los mismos es de 0.6 kg/m³.

El sistema de transporte debe determinar su plan de rutas y horarios adecuados de la recolección doméstica y comercial, así como los lugares determinados para ello.

- Sistema de transferencia

Los residuos sólidos se transfieren de las unidades de recolección a las unidades vehiculares de transferencia de mayor capacidad, cuando la distancia a su siguiente disposición está a más de 20 km., con el propósito de transportar a tratamiento o disposición final una mayor cantidad de los mismos a un menor costo.

También se puede aprovechar el transporte ferroviario como estación de transferencia.

El camión recolector pueda vaciarse y volver a la recolección de forma inmediata.

Tratamiento y transformación de residuos sólidos

Estos procesos de tratamiento y transformación de residuos sólidos se llevan a cabo fuera de la fuente de generación, donde se logra la recuperación de los mismos.

- Físicos

Mediante los tratamientos físicos (Tchobanoglous, G., 1994), se puede dar un mejor manejo de materiales que pueden ser reutilizables. Estos procesos se utilizan para reducir el volumen o alterar la forma física de los residuos sólidos, además de recuperar materiales reutilizables por separación.

Para las actividades de reducción y separación se requiere de equipamiento complementario de manipulación de materiales como de transporte y almacenamiento, así se tomará mano de transportadores, contenedores, elevadoras, palas frontales y vehículos.

- Reducción

Las actividades de reducción, pueden realizarse por medio de trituración y compactación.

- Trituración

Esta operación utiliza molinos de martillos para RSU no seleccionados, donde se obtendrá un material no uniforme, aunque se sugiere separar la materia orgánica. Además utiliza trituradores cortantes para RSU no seleccionados y materiales reciclados, como aluminio, neumáticos y plásticos y cubas

trituradoras para procesar residuos de jardín, pero se recomienda separar material metálico.

Se necesita conocer las características mecánicas del material como la resistencia al corte y ductilidad, también se debe tomar en cuenta que la capacidad de los transportadores de alimentación corresponda con la de la trituradora.

Para la operación de éstos equipos se requiere de alimentación de energía, mantenimiento rutinario y especializado. De esta manera se logrará simplicidad en la operación, rendimiento y fiabilidad. Genera ruido.

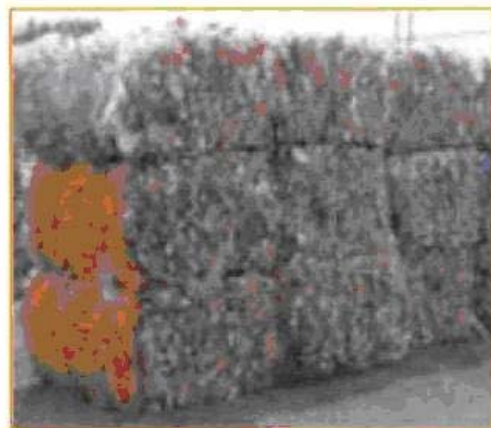
- Compactación

Una planta de prensado tiene como misión principal la confección de balas de muy alta densidad con los RSU o con rechazos de planta de selección de RSU. Los materiales que se pueden embalar de ésta manera son cartón, papel, plásticos y latas de aluminio, además se hace uso de la peletización para la producción de combustible derivado de residuos densificado (CDRd).

Consta de una cinta transportadora metálica que efectúa la función de recepción de los residuos y a su vez alimenta de forma dosificada una prensa continua automática. La capacidad y dimensiones de esta planta están en función de las necesidades específicas de cada instalación.

Una prensa embaladora es una maquina que usa la fuerza de un cilindro hidráulico para compactar los residuos ó materiales reciclables en una cámara de diseño especial a alta presión. La bala producida es un paralelogramo comprimido que puede ser apilado, almacenado ó transportado (**figura 4.3**).

Figura 4.3.- Embalado de residuos sólidos urbanos



Se puede lograr compactar los RSU o sus rechazos con una presión especifican de compactación de 20 kg/cm^2 , dándoles a los mismos una muy alta densidad de $850 \text{ a } 1200 \text{ kg/m}^3$ y una estabilidad geométrica de las balas perdurable aun rompiendo los cinchos de alambre que rodean y las sujetan.

El área de operación debe ser una nave que contemple una zona de descarga de los residuos, la zona de compactación y una zona de post-compactación para cargar las balas de RSU a los vehículos que los transportan al vertedero controlado.

La construcción debe incluir: Paredes y suelo de hormigón, sistemas contra incendios, ventilación, drenaje del suelo y sistema de lavado, foso de instalación para la cinta alimentadora.

El sistema requiere de un cargador frontal polivalente (Carretilla) para empujar los residuos sobre la cinta transportadora y para cargar las balas terminados en los vehículos de transporte.

Tanto la cinta de alimentación como la prensa se ubican en fosos y superficies comunicados a una red de drenaje de evacuación de líquidos contaminados. Estos lixiviados deben ser evacuados hacia una balsa impermeable para su control y tratamiento.

- Separación mecánica

La separación mecánica de materiales recuperables para nuevos productos se puede realizar por tamaño, por densidad o por campo eléctrico y magnético.

-Separación por tamaño

Es la separación de materiales según sus características de forma y tamaño, normalmente mediante el uso de cribas. Frecuentemente se usan las vibratorias, para los residuos de jardín triturados, los trámeles para separar RSU no seleccionados antes de su trituración como residuos voluminosos, y cribas de discos para separar el vidrio de los RSU triturados.

Para la selección de la criba se debe tomar en cuenta algunas características de los residuos como el tamaño de partícula, la forma, peso específico, distribución de partículas por tamaño, tendencia a amontonarse, propiedades Teológicas.

La operación de estos equipos es compleja y requiere de energía eléctrica y mantenimiento. Genera ruido

-Separación por densidad

Este proceso separa los materiales según su densidad, en fracción ligera (papel, plásticos y orgánicos) y en fracción pesada (metales, madera y otros inorgánicos) ya sea por clasificadores neumáticos para la preparación de CDR, separación por inercia para el procesamiento de RSU no seleccionados y flotación para el procesamiento de escombros de construcción.

Loa clasificadores neumáticos constan de un conducto vertical donde el aire sube desde el fondo para trasportar los materiales triturados más ligeros hasta lo alto del mismo y los más pesados al fondo. El conducto puede ser recto, en

zigzag y triangular. Este mecanismo se usa poco en la actualidad, ya que no es conveniente la trituración de residuos no seleccionados.

Los stoners son utilizados para separar gravilla de material orgánico en las fracciones de menor tamaño de los trómeles. Consta de una parilla inclinada vibratoria donde se alimenta el material y se inyecta aire fluidizante a baja presión que fluidiza y estratifica el material.

La flotación es una operación que utiliza un fluido para separar dos componentes de diferentes densidades. Los materiales metálicos o madera se pueden separar de residuos de materia orgánica que se han separado neumáticamente, por medio de éste proceso, donde la materia orgánica flota y se puede recoger en la superficie, mientras que los materiales pesados son recolectados con una rascadora en el fondo del depósito.

La separación de medios densos, principalmente se utiliza para la recuperación de automóviles que contienen un alto porcentaje de aluminio. El material triturado y separado neumáticamente, se alimenta en una corriente líquida que tiene una alta densidad específica, permitiendo que el aluminio flote.

- Separación por campo eléctrico y magnético

En este proceso, los materiales se separan según su carga electrostática y su permeabilidad magnética utilizando imanes permanentes o electroimanes. Así se pueden separar plásticos y papel por electrostática, además de metales féreos magnéticamente y los no féreos por corriente foucault.

- Químicos

Los tratamientos térmicos son procesos químicos que recuperan energía ya que se lleva a cabo la combustión de materia orgánica. Energía que puede ser convertida en vapor de proceso para la industria ó en electricidad (Cortinas Nava, C, 2004). El tratamiento térmico puede reducir el volumen de los residuos hasta en 90%, contribuyendo significativamente a disminuir el aporte a otras opciones de manejo dentro de un sistema integral, particularmente al relleno sanitario. También de la transformación química de los residuos sólidos se recupera algunos productos.

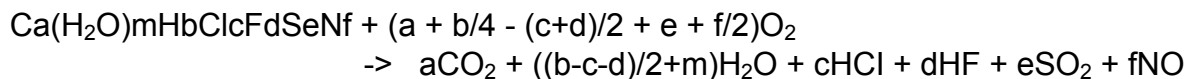
Existen tecnologías robustas que procesan grandes volúmenes de residuos mezclados a partir de los cuales se puede recuperar energía útil, extendiendo significativamente la vida útil de los rellenos sanitarios.

Por otro lado, existe la percepción de que el tratamiento térmico impide que sean reciclados materiales y que las emisiones son peligrosas para la salud y el ambiente.

- Incineración

Tchobanoglous, G. (1994), describe que la incineración considera aquellos procesos que reducen el volumen y descomponen la composición de un residuo mediante oxidación térmica, en la cual todos los factores de combustión, como la temperatura, el tiempo de retención y la turbulencia, pueden ser controlados, a fin de alcanzar la eficiencia, eficacia y los parámetros ambientales previamente establecidos.

Por otro lado, Koenning A. (2003), describe la incineración como un proceso de reducción de residuos combustibles a residuos inertes por medio de generación de vapor/electricidad.



HCl, HF, SO₂ y NO son contaminantes.

La combustión es una reacción exotérmica donde se oxidan térmicamente los materiales orgánicos para formar dióxido de carbono y agua en una fase incompleta. Cuando se realiza con control de oxígeno se lleva a cabo la pirólisis, antes de producirse las cenizas y se obtiene como productos combustibles líquidos como alquitranes, aceites de madera y carbón. Cuando se completa la combustión se logra la incineración donde se obtienen gases calientes de combustión, compuestos principalmente de nitrógeno, dióxido de carbono y agua, además de rechazos no combustibles (ceniza).

En el proceso de combustión se realiza paso a paso la separación de fases, donde el sólido empieza a desprender el contenido de humedad a los 105°C, en la fase gaseosa y a los 550°C donde el punto crítico indica que hay suficiente O₂ para degradar los compuestos orgánicos, más tarde, a los 850°C se llega al punto reducido donde se lleva a cabo la pirólisis donde el O₂ es escaso, finalmente a los 1200°C se lleva a cabo la transformación de materia orgánica a inorgánica y se llega a la incineración, la cual marca la combustión total y producción de cenizas.

La incineración se puede llevar a cabo a través de dos diferentes sistemas de acuerdo al combustible utilizado:

- Sistemas de incineración de combustión en bruto.
- Sistemas de incineración alimentados por Combustibles Derivados de Residuos (CDR).

Un sistema convencional de incineración es el de lecho fluidizado ya que son bastante versátiles y pueden operarse sobre una amplia variedad de combustibles.

En las **figuras 4.4** y **4.5**, se pueden observar un reactor de incineración y un corte esquemático de una planta de incineración de residuos sólidos.

Figura 4.4.- Incinerador

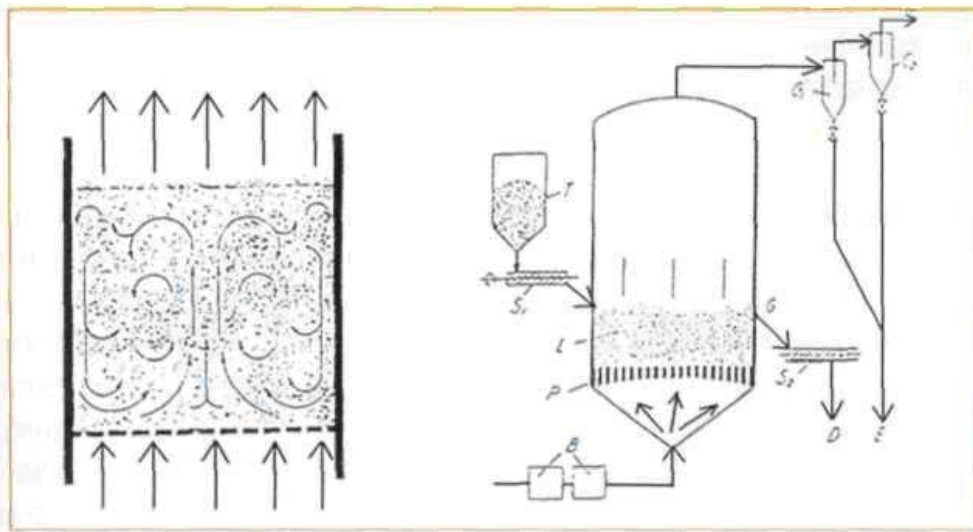
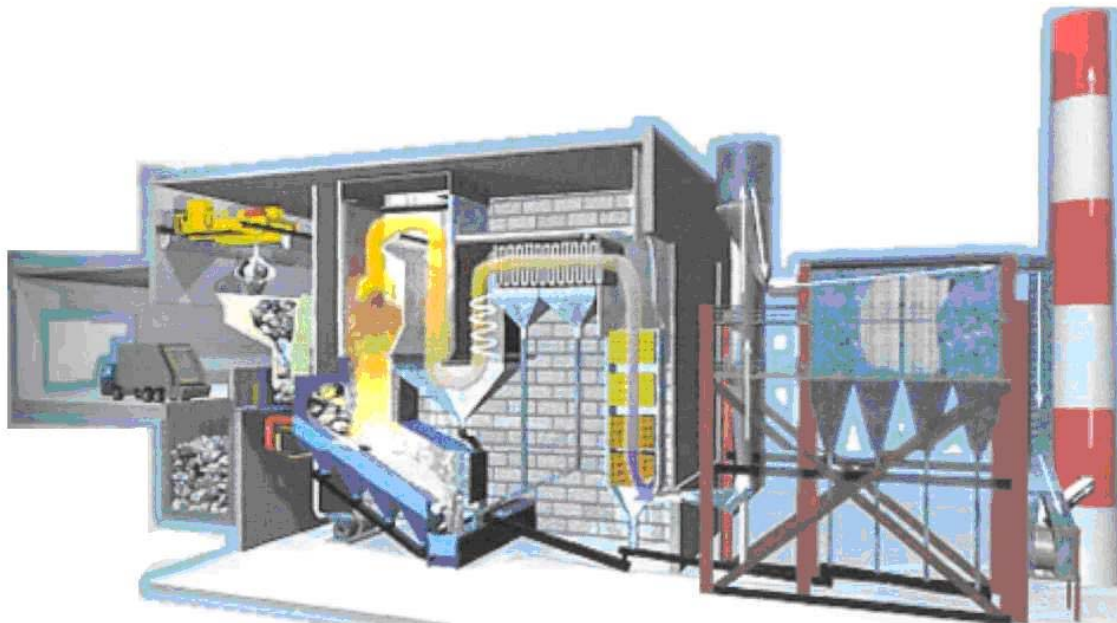


Figura 4.5.- Vista esquemática en corte de una planta típica de incineración de basura para generación de electricidad.
(La turbina de gas y el generador no están representados).



■ Pirólisis

Pirólisis es el procesamiento térmico a 850°C donde se queman residuos orgánicos en ausencia de oxígeno, que convierte los residuos sólidos en combustibles sólidos, líquidos y gaseosos, entre ellos alquitranes, aceites de madera y carbón (Tchobanoglous, G., 1994; Corbitt, R., 1989)

Este procesamiento utiliza una fuente de combustible externa para conducir las reacciones endotérmicas en un ambiente libre de oxígeno.

Los componentes obtenidos de ésta reacción constan de una corriente de gas que contiene principalmente hidrógeno, metano, monóxido de carbono y diversos gases, además, de una fracción líquida que consiste en un flujo de alquitrán o aceite que contiene ácido acético, acetona, metano! e hidrocarburos oxigenados complejos y finalmente de una parte sólida, carbón.

La pirólisis es un proceso muy antiguo, Los egipcios preparaban los fluidos de embalsamiento mediante este proceso.

■ Gasificación

El proceso de gasificación produce combustibles gaseosos y para ello utiliza aire, oxígeno, vapor o hidrógeno para aumentar el rendimiento de combustión de los residuos sólidos (Corbitt, R., 1989).

Las reacciones de gasificación se realizan a una temperatura más alta que la requerida para la pirólisis. Esta reacción se complementa cuando todo el residuo sólido se convierte en gas.

○ Biológicos

El tratamiento biológico se enfoca en los residuos orgánicos, como los alimentos y los residuos de jardín

El seleccionar los residuos orgánicos tiene varios beneficios: convertir los residuos orgánicos en un producto útil; composta o biogás.

■ Aerobio

- Composteo

El composteo es un proceso de transformación biológica de la materia orgánica en un producto final, denominado composta, y se lleva a cabo en condiciones aerobias (Jaramillo, J., 1999), ya sea a nivel domiciliario o en grandes plantas de composta.

Las reacciones de digestión aeróbica de composteo son exotérmicas y oxidan la materia orgánica para obtener dióxido de carbono, agua y materia orgánica estabilizada.

Compostar, no es más que imitar el proceso de transformación que ocurre en el suelo de un bosque, la fase industrial del proceso lo acelera, intensifica y dirige de manera artificial. Los objetivos generales del composteo son:

- Transformación de materiales orgánicos biodegradables en material biológicamente estable, y por consiguiente, la reducción del volumen original de los residuos;
- Destruir patógenos, huevos de insectos y otros organismos no queridos que puedan estar presentes en los RSU;
- Retención del máximo contenido nutricional (nitrógeno, fósforo y potasio); y
- Elaboración de un producto que útil para soportar el crecimiento de plantas y como enmienda de suelo, al optimizar la relación C/N y controlar los tóxicos e inhibidores.

Todos los sistemas de composteo van orientados a fomentar la optimización de los parámetros que regulan el proceso, para obtener una buena composta en las circunstancias más favorables de menor tiempo de fermentación, lo que precisará una menor superficie de parque de fermentación y por consiguiente un menor costo. Además se intenta reducir el impacto desagradable de los olores.

Generalmente se considera al composteo desde dos puntos de vista: el primero encierra las prácticas que facilitan la gestión óptima del ecosistema microbiano mientras que el segundo no. La gestión efectiva del ecosistema microbiano sostiene un proceso eficiente, y, así, entre otros beneficios económicos y prácticos están: a) capital y costos de operación reducidos; b) minimización de manejo del material; c) prevención de olores; y d) producción de composta mejor estabilizada (Bidingmaier, W. y Papadimitriou, E.K., 1998).

El término "etapa activa" cubre el curso del proceso durante el cual las temperaturas son atribuidas a la abundancia de materia biodegradable. Esta etapa es seguida por la etapa de "estabilización", al final de la cual el material alcanza temperaturas cercanas a la ambiental. Por último, la etapa de "maduración" puede o no tomar lugar dependiendo de los estándares de calidad de la composta que se deseen cubrir.

Esencialmente cuando se lleva a cabo el composteo de un residuo se pretende hacer dos cosas: estabilizar e higienizar la materia prima que entra al ambiente aerobio. Sin embargo, los objetivos pueden volverse un poco efímeros cuando los resultados no concuerdan con los parámetros de medición. Considerando el proceso a escala microbiológica, es extremadamente complejo y lejos de ser entendido parcialmente (Stentiford, E. I., 1998).

La estabilización de la composta ha sido definida en función de sus características de olor, lo cual es difícil de medir. En términos de operaciones de campo se puede pensar que un material estabilizado después del composteo no causa malos olores cuando se almacena normalmente en condiciones húmedas. Sin embargo, en términos de producto para el mercado, se necesita saber de otra manera que tan estable es la composta.

Los residuos no estabilizados normalmente tienen posibilidades de mantener una tasa alta de actividad microbiana. Los avances recientes han hecho posible detectar relativamente fácil esa actividad mediante la respirometría de bajo costo. La medición de la tasa específica de emisión de oxígeno (TEEO) da una aproximación de la actividad microbiana y de ahí una medida del grado de estabilidad. Esta medida, junto con la prueba de autocalentamiento usada en Alemania, puede dar una imagen del avance del proceso y de las características del producto.

Los valores de TEEO pueden variar ampliamente de una etapa a otra. Por ejemplo, los lodos de depuradoras estarían alrededor de 15 mg de CVg SV por hora, a 30°C, pero después del composteo se puede esperar que el producto estable tenga un valor menor de 2 mg de CVg SV por hora. Se pueden esperar valores similares para un amplio rango de materiales compostables, pero no es conveniente utilizar tales valores numéricos de manera aislada, ya que es necesario conocer la ruta del proceso para confirmación.

Por otro lado, un proceso de composteo bien diseñado convierte los materiales entrantes en productos "seguros en su uso", no los esteriliza, de ahí, la comunidad microbiana activa la composta que proporciona beneficia los suelos pobres. Parece que ha habido dificultad para evaluar el nivel de higienización basado en pruebas del producto, ello involucraría utilizar organismos indicadores tales como coliformes fecales y/o estreptococos fecales. Estos organismos son abundantes en muchos residuos y rutinariamente se utilizan como indicadores en agua y aguas residuales.

La composta presenta, respecto a los materiales de partida, las siguientes ventajas:

- Estabilidad biológica (eliminación de malos olores)
- Mayor contenido en humus
- Menor relación C/N
- Menor volumen aparente
- Eliminación de gérmenes patógenos
- Destrucción de semillas

Para que se pueda llevar a cabo el composteo, requiere de ciertas condiciones:

- Aireación
- Humedad
- Relación C/N
- pH

Los materiales de partida que se utilizan son:

- Restos vegetales
- Restos animales
- Minerales
- Correctores de pH

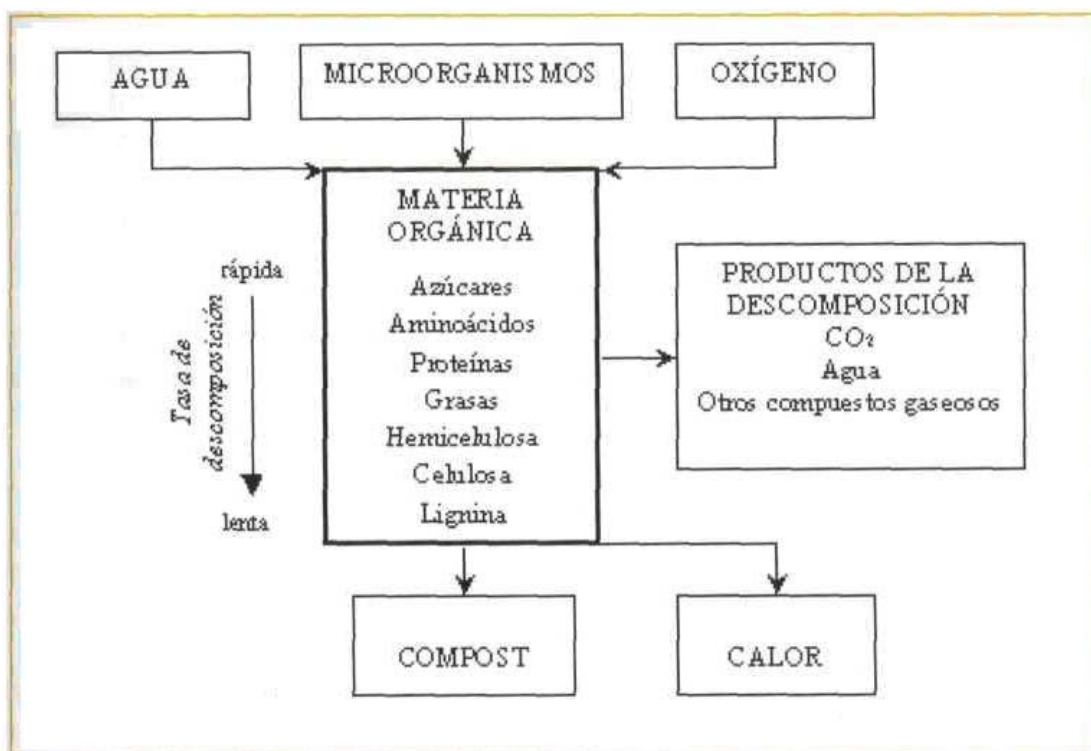
Los pasos para construir un reactor de composteo son:

- Colocar en la parte inferior una capa de ramas y pajas para mejorar la aireación.
- Colocar una capa homogénea de material orgánico triturado (1-2 cm²), aproximadamente de 15-20 cm.
- Añadir una capa de tierra para asegurar la presencia de microorganismos.
- Se repiten los pasos anteriores hasta la altura deseada.
- La capa final será de tierra arenosa, paja o ramas que proteja el montículo de variaciones ambientales externas

Se obtendrá un material orgánico humificado con alto contenido de ácidos húmicos y fúlvicos, de consistencia granulosa, esponjosa que se desmenuza con facilidad, de color oscuro y olor agradable, la cual se utiliza como acondicionador de suelos destinados a la agricultura, ornato, etc.

La **figura 4.6** muestra un esquema de generación de composta.

Figura 4.6.- Esquema de generación de composta



- Vermicomposteo

El vermicomposteo, (SEMARNAT, 2000), se trata de la degradación de los residuos orgánicos por medio del cultivo de la lombriz *Eisenia foétida*, comúnmente llamada "Roja de California". Los residuos orgánicos como el estiércol del ganado y residuos de cosechas, se convierten en humus y proteína con cuidados especiales (**figura 4.7**).

Figura 4.7.- Vermicomposteo



Los cuidados de las lombrices son sencillos. Necesitan aire para vivir y mucha humedad, soportan variaciones de temperatura entre 5 a 25°C y necesitan alimento permanente de desperdicios orgánicos, estiércoles de animales, frutas en descomposición, bagazo de caña, pulpa de café, virutas de madera, etc.

Los recipientes adecuados para el cultivo de las lombrices, deben de ser lo más anchos que hondos, con drenaje y protección contra la lluvia y sol directo.

Las cajas pueden ser de 30 x 60 x 90 cm, para cultivar aproximadamente medio kilogramo de lombrices que se alimentarán con aproximadamente 250 gr de desperdicios orgánicos.

En las cajas se introduce una capa de material seco (pasto, hojas, papel) y después una capa de materia orgánica, finalmente sobre de éstas se colocan las lombrices y se tapa con plástico negro para evitar que se reseque la lombricompostera.

Después de dos semanas, se agrega más materia orgánica y hasta seis meses después se puede obtener abono.

- Anaerobio

La digestión anaerobia (Forster, C. F.; 1985, Stafford, D. A., et al, 1979), es una tecnología relativamente compleja que se lleva cabo en contenedores sellados que permiten la recuperación y uso de biogás que se genera al descomponerse los residuos.

Las reacciones de digestión anaeróbica degradan alto contenido de materia orgánica en ausencia de oxígeno, son exotérmicas y producen dióxido de carbono, metano y materia orgánica estabilizada, además de trazas de otros gases.

Durante el proceso, se degrada el material orgánico a compuestos más simples mediante bacterias anaeróbicas, obteniéndose eliminación de contaminación y producción de biogás.

En este proceso se realizan las siguientes reacciones por las bacterias anaerobias (**figura 4.8**):

- Hidrólisis: Los compuestos polímeros se convierten en monómeros
- Acidogenesis: Se produce principalmente ácido acético, además de ácido propiónico y ácido butírico.
- Acetogenesis: Se produce acetato de etilo.
- Metanogenesis: Se produce biogás, a partir de los iones acetato e hidrogeno, formando metano (70%) y dióxido de carbono (30%) principalmente. Esta fase es solo característica del proceso anaeróbico.

La operación de la digestión anaeróbica se puede llevar a cabo de la siguiente manera:

- Psicofílica (<20°C): Bajos rangos de metabolismo.
- Mesofílica (35°C): Bajo requerimiento de energía, con resultados considerables de degradación de materia orgánica y alto contenido de nutrientes.
- Termofílica (55°C): Resulta una excelente degradación de materia orgánica y se eliminan en gran proporción los microorganismos patógenos, superando la mesofílica en la producción de biogás.
- Operación dual: Mesofílica y Termofílica. S De uno o dos pasos.

Para el control de los digestores se deben monitorear los siguientes parámetros:

- COD, Demanda química de oxígeno
- VFA, Ácidos volátiles grasos, por cromatografía de gases
- Producción de CH₄ y CO₂, por cromatografía de gases
- pH
- Alcalinidad
- TSS, Sólidos suspendidos totales
- VSS, Sólidos suspendidos volátiles
- Viabilidad bacterial, por la técnica de teñimiento "vivo/muerto"

La **figura 4.9** muestra un esquema del proceso de metanización.

Figura 4.8.- Actividad anaeróbica microbiana

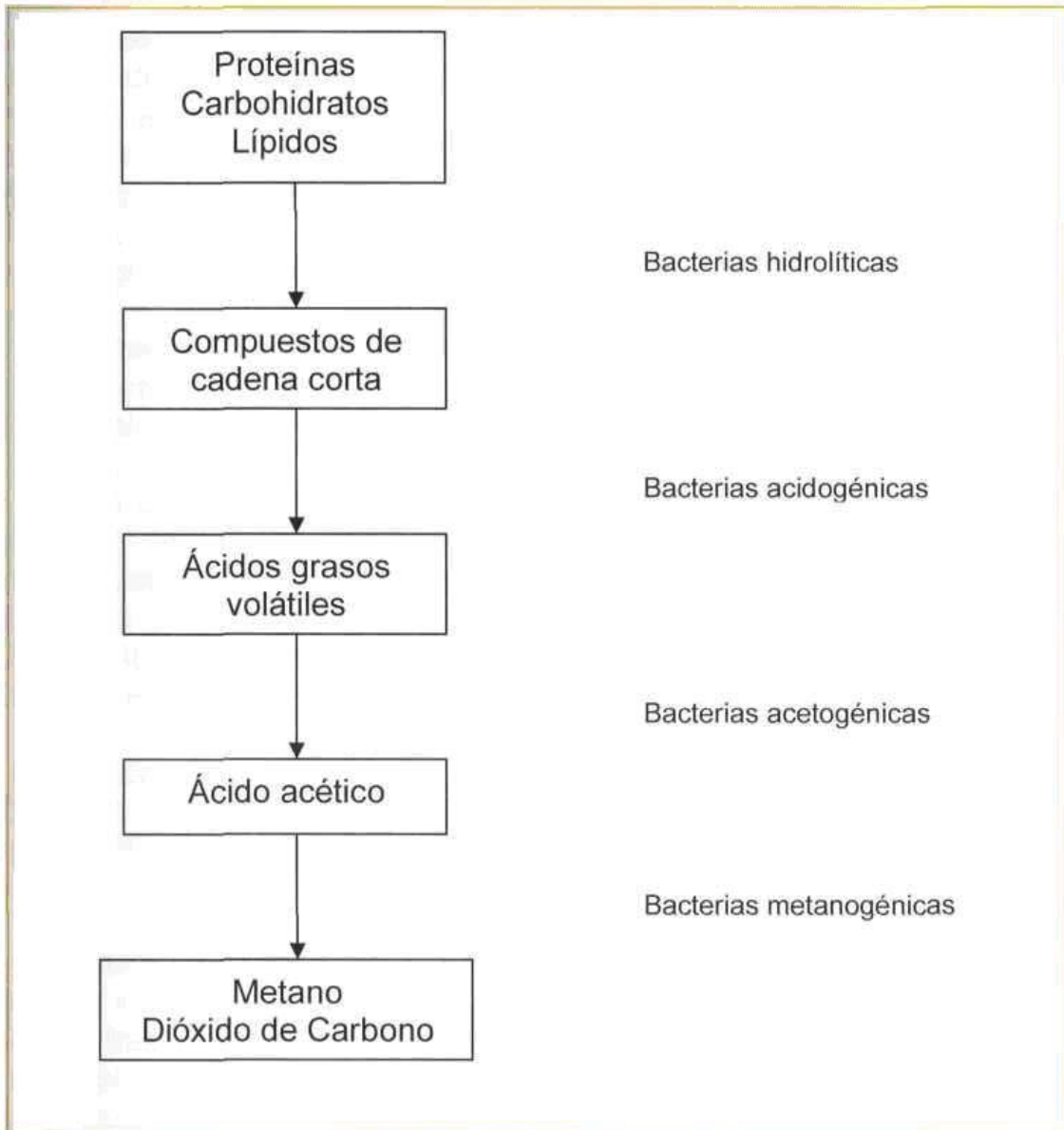
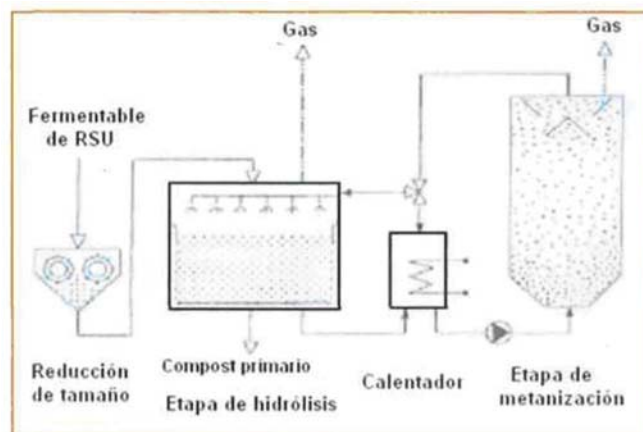


Figura 4.9.- Esquema de metanización



Disposición final

Actividad final del servicio de aseo urbano, mediante la cual los residuos sólidos se descargan en forma definitiva. Debe procurarse que este depósito permanente de los residuos se haga en sitios y condiciones adecuadas para evitar daños a los ecosistemas, previniendo su liberación al ambiente y las consecuentes afectaciones a la salud de la población (COEDE, 2003; SEMARNAT, 1994; SEMARNAT, 2003).

- Relleno sanitario de operación mecánica

Un relleno sanitario o vertedero controlado, es una instalación de ingeniería para la disposición de residuos sólidos en la tierra, de una forma tal que se protege la salud pública y el medio ambiente.

Los rellenos sanitarios tienen una vida útil entre 10 a 15 años, además los procesos de descomposición pueden llegar a más de 50 años después de haber sido clausurado. La degradación de la materia prima puede medirse en función de la producción de biogás. El momento de la producción más alta resulta ser la mitad del periodo de descomposición total de los residuos depositados en el vertedero.

Se cuenta con especificaciones de diseño de los mismos para rellenos sanitarios con capacidad de generación de residuos sólidos urbanos de por lo menos 50,000 habitantes.

Se estipula en las normas oficiales mexicanas (NOM-083-ECOL-1996, Proyecto NOM-083-SEMARNAT-2003 y Proyecto NOM-084-ECOL-1994), que los rellenos sanitarios se deben construir a una distancia mínima de 1,500 m. a partir de la traza urbana o poblaciones rurales de hasta 2,500 habitantes, no se deben construir dentro de áreas naturales protegidas, el tránsito de infiltración debe ser menor a $3 \times 10^{-10} \text{ seg}^{-1}$, se deben considerar fallas o fracturas, cuerpos de agua superficiales y subterráneas.

Existe un instructivo para evaluación de sitio para la construcción de rellenos sanitarios IA-01 (COEDE), el cual reúne los factores que influyen en la selección del sitio, generando un índice de calidad del sitio para su óptima selección. Estos factores pueden ser: vida útil, tierra para cubierta, topografía, vías de acceso, vientos dominantes, ubicación del sitio referente a la mancha urbana, a sitios de protección, oleoductos, acueductos, etc., geología, geohidrología, hidrología superficial, tenencia de tierra.

Los estudios de impacto ambiental (EIA), se hacen necesarios cuando se realice diseño de cualquier actividad que afecte el estado inicial de un territorio y su ambiente circundante, de igual manera esto aplica en el diseño de un relleno sanitario, ya que durante la fase de construcción de un relleno sanitario, se realizan las siguientes actividades (Conesa, V., 1997): excavaciones, eliminación de la cubierta terrestre y vegetación, movimiento de tierras, alteración hidrológica, alteración de drenaje, producción de ruidos y vibraciones, instalación de capa impermeabilizadora, construcción de edificios

auxiliares, plantas de tratamiento, vías de acceso y adicionalmente se tendrá un presupuesto de inversión. Para la etapa de funcionamiento, las acciones serán las siguientes: transporte, recolección de residuos sólidos, almacenamiento y vertido, manejo de lixiviados, recubrimientos de tierra, los residuos requerirán de un pretratamiento y tratamiento, como por ejemplo la incineración donde se tiene que contemplar: funcionamiento de planta incineradora, olores, vapores, humos y polvos emitidos a la atmósfera, producción de ruidos y vibraciones, obtención de productos recuperables y reciclado, residuos del homo, incendios. En general, se estima el coste económico y beneficio económico de productos recuperables; se verifica la presencia de insectos, roedores y aves; se determina composición y producción de residuos (metales, vidrio, restos reparaciones, tierras, materia orgánica, papel, cartón, plásticos, madera, goma, textiles).

Se debe contar con obras complementarias como (DOF, 1994): caseta de vigilancia, caminos permanentes, drenajes perimetrales e interiores, señalamientos fijos y móviles, sistemas de captación de biogás. Si la población es mayor a 50,000 habitantes, se requiere adicionalmente área de acceso y espera cerca o en el área perimetral, caseta de pesaje y báscula, área de emergencia de disposición final, pozos para lixiviados, almacén y cobertizo, área administrativa, sistema de captación y tratamiento de lixiviados.

Las actividades de operación del relleno sanitario, describe Tchobanoglous, G. (1994), empiezan cuando los residuos sólidos se esparcen en capas finas, compactándolo al volumen práctico más pequeño, y tapándolo con tierra y otro material apto, al final de cada día laboral.

- Relleno sanitario manual

El relleno sanitario manual (Jaramillo, J., 1999), se presenta como una alternativa técnica y económica, tanto para las poblaciones urbanas y rurales menores de 40,000 habitantes, como para las áreas marginales de algunas ciudades que generan menos de 20 toneladas diarias de basura.

Mediante la técnica de operación manual, sólo se requiere equipo pesado para la adecuación del sitio y la construcción de vías internas, y excavación de zanjas o material de cobertura, de acuerdo con el avance y método del relleno.

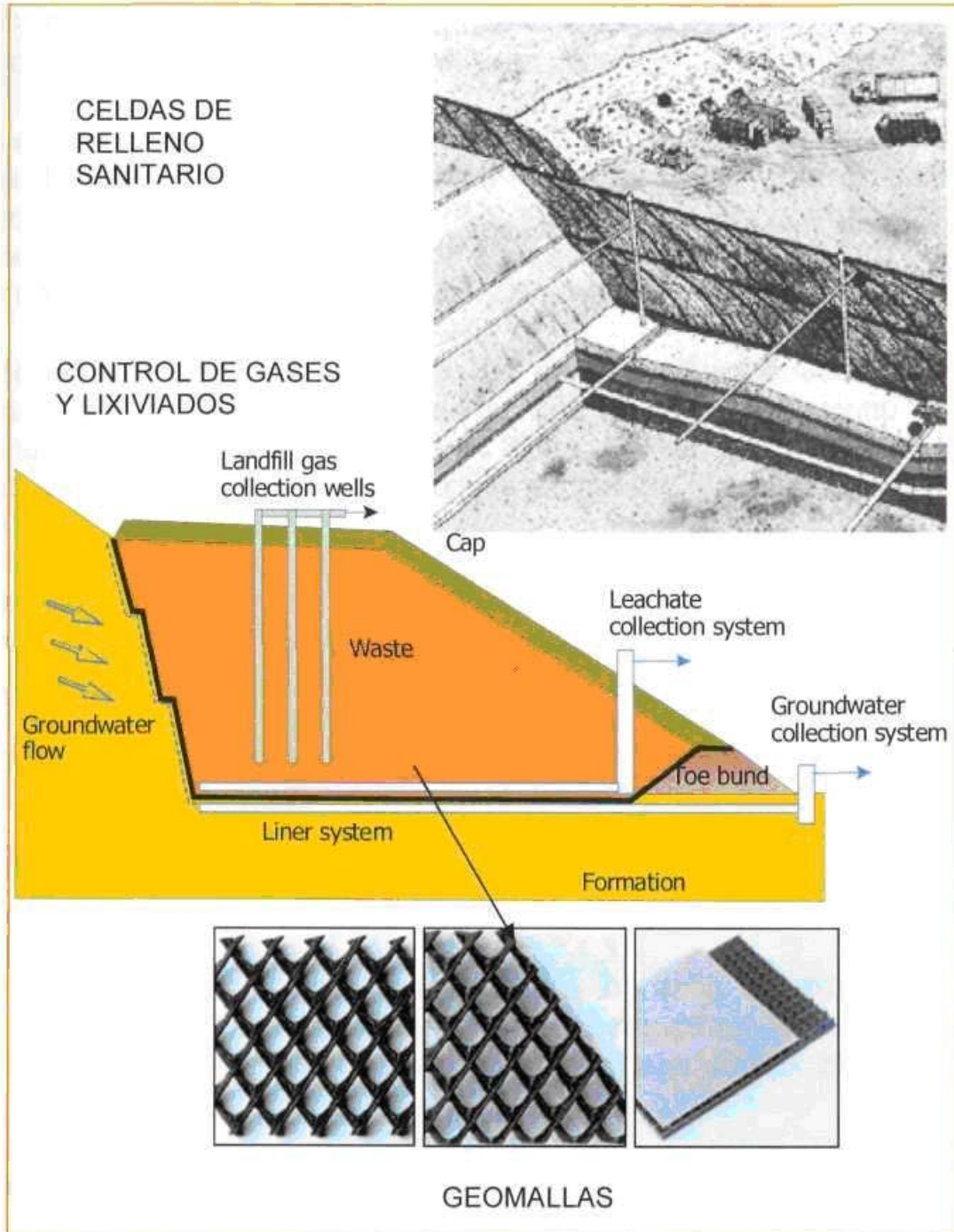
En cuanto a los demás trabajos, todos pueden realizarse manualmente, lo cual permite a estas poblaciones de bajos recursos, incapacitados de adquirir y mantener equipos pesados permanentes, disponer adecuadamente sus residuos y utilizar la mano de obra que en los países en desarrollo es bastante abundante.

Se estima que es posible llevar acabo un relleno sanitario manual hasta llegar a la cantidad de 20 ton/día. Sin embargo, se precisa de un análisis minucioso de las condiciones locales de cada región, puesto que según sea el costo de la mano de obra, el tipo de relleno, las condiciones climáticas, etc., tal vez resulte preferible el uso de equipo pesado en el relleno sanitario, ya sea en forma parcial o permanente.

- o Control de subproductos de Rellenos Sanitarios

Además del manejo de residuos sólidos en un vertedero controlado, es preciso vigilar muy de cerca la producción de lixiviados y de biogás (**figura 4.10**).

Figura 4.10.- Relleno Sanitario



- Lixiviados

Los lixiviados son líquidos que se forman por la reacción, arrastre o filtrado de los materiales que constituyen los residuos y que contiene en forma disuelta o en suspensión. Son sustancias que pueden infiltrarse en los suelos o escurrirse fuera de los sitios en los que se depositan los residuos o escurrirse fuera de los sitios en los que se depositan los cuerpos de agua, provocando su deterioro y representar un riesgo potencial a la salud humana y de los demás organismos vivos.

Para llevar un control de lixiviados, la base y taludes del relleno sanitario se impermeabilizan utilizando una membrana sintética (geomembrana) de 1.0 mm. de espesor, en polímero de alta densidad, y se coloca una capa de 50 cm. de material arcilloso compactado, a la vez se considera una pendiente de 30° en taludes y de 1 a 2° en la superficie, para el drenaje de lixiviados.

La red de drenaje se forma por una red primaria que conectara las redes secundarias de cada celda, y consisten en una excavación en cono de 40 cm de profundidad con una anchura de 1.20 m., se arrojan con un material compactado con geotextil de 200 kg/cm² y se coloca piedra bola de 4" aprox. de diámetro sobre el dren.

Para facilitar la circulación de lixiviados y conducirlos hacia su tratamiento, se puede complementar la bicapa que se forma con la geomembrana y el geotextil, con geonet.

En la parte más baja del relleno sanitario, se construye una laguna de captación de lixiviados conducidos por los drenes primarios y secundarios, la cual será de forma cónica invertida, que se dimensionará de acuerdo a la cantidad de residuos totales, la pluviometría media anual, coeficiente de infiltración y evapotranspiración máxima anual.

Los lixiviados requieren ser recirculados para lograr la estabilización de los mismos y de los residuos sólidos. Así mismo el desvío de pluviales ayudará a obtener un esquema integrado que resulta en un mejor control y tratamiento de los residuos sólidos.

El monitoreo de lixiviados nos brinda un indicativo de estabilización de los residuos confinados en el sitio. Los parámetros a determinar son: pH, conductividad, temperatura, sólidos totales, sólidos volátiles, sólidos suspendidos, DQO, DBO5, cadmio, cobre, cromo total, mercurio, níquel, zinc, plomo, arsénico, cianuros, grasas y aceites, nitrógeno orgánico, nitrógeno amoniacal, coliformes fecales y coliformes totales.

Koenning, A. (2003) menciona de manera general los procesos de tratamiento de lixiviados:

Biodegradación, coagulación/sedimentación, desalinización, tratamientos avanzados, con lo que se eliminará respectivamente: materia orgánica, metales

pesados, sales, y dioxinas junto con fluoruros etc. Las operaciones a realizar pueden ser dilución, dispersión, absorción, filtración, tratamiento aeróbico, anóxico y anaeróbico, intercambio iónico, reacciones oxido-reducción, osmosis inversa entre otras.

- Biogás

El biogás producido en los rellenos sanitarios debe ser controlado mediante un sistema de ventilación, o en el mejor de los casos se le puede agregar valor a los residuos que entran a través de la recolección y uso subsecuente del biogás del relleno sanitario.

Este gas proviene de la descomposición anaerobia de materia orgánica y consta del 70% de metano y del 30% de dióxido de carbono, y trazas de otros gases como hidrógeno, monóxido de carbono, nitrógeno, oxígeno y sulfuro de hidrógeno.

El metano es un gas natural usado en muchos hogares para calentamiento, es inodoro e incoloro. El metano puede alcanzar una energía calorífica de casi 1,000 kcal/m³ cuando se quema.

Los principales beneficios de la digestión anaeróbica son el reciclaje de nutrientes, el tratamiento de residuos y el control de olores, siendo de mucha utilidad para sistemas pequeños.

El sistema de ventilación de biogás (DOF, 1994), debe contar con respiraderos cada 50 m, por lo menos 2 por hectárea, con una dimensión de 60 a 100 cm de diámetro. Se recomienda que la expulsión sea horizontal para vencer más fácil el efecto de la presión atmosférica.

Se pueden instalar sistemas de extracción de gas para su recolección y posterior uso para producir electricidad o para ser usado junto con gas natural como combustible.

El aprovechamiento del biogás no sólo proporciona una fuente alternativa de energía, sino que también reduce los riesgos de explosiones sin control asociadas con concentraciones atrapadas de metano. Reducir las emisiones de metano a la atmósfera es también benéfico al ambiente ya que el efecto invernadero generado por este compuesto es de 25 a 30 veces mayor que el del dióxido de carbono.

- Clausura

Las actividades de clausura de un relleno sanitario incluyen: exterminio de roedores y artrópodos, cubrimiento, revegetación del terreno y estudio de riesgo.

- **Normatividad**

En México existen normas que rigen la gestión integral de los residuos sólidos urbanos, por lo que resulta necesario estar apegados estrictamente a ellas para no incurrir en un delito al medio ambiente, así mismo con la legislación ambiental del Estado.

Ley General para la Prevención y Gestión Integral de los Residuos

La Ley General para la Prevención y Gestión Integral de los Residuos (DOF, 2003), contiene la siguiente estructura:

TITULO PRIMERO

Disposiciones Generales

Capítulo Único

Objeto y Ámbito de Aplicación de la Ley

TITULO SEGUNDO

Distribución de Competencias y Coordinación

Capítulo Único

Atribuciones de los Tres Órdenes de Gobierno y Coordinación entre Dependencias

TITULO TERCERO Clasificación de los Residuos
Capítulo Único Fines, Criterios y Bases Generales

TITULO CUARTO

Instrumentos de la Política de Prevención y la Gestión Integral de los Residuos

Capítulo I

Programas Para la Prevención y la Gestión Integral de los Residuos.

Capítulo II

Planes de Manejo

Capítulo III

Participación Social

Capítulo IV

Derecho a la Información

TITULO QUINTO

Manejo Integral de Residuos Peligrosos

Capítulo I

Disposiciones Generales

Capítulo II

Generación de Residuos Peligrosos

Capítulo III

De las Autorizaciones

Capítulo IV

Manejo Integral de los Residuos Peligrosos

Capítulo V
Responsabilidad Acerca de la Contaminación y Remediación de Sitios
Capítulo VI
La Prestación de Servicios en Materia de Residuos Peligrosos
Capítulo VII
Importación y Exportación de Residuos Peligrosos

TITULO SEXTO
De la Prevención y Manejo Integral de Residuos Sólidos Urbanos y de Manejo Especial
Capítulo Único

TITULO SÉPTIMO
Medidas de Control y de Seguridad, Infracciones y Sanciones
Capítulo I
Visitas de Inspección
Capítulo II
Medidas de Seguridad
Capítulo III
Infracciones y Sanciones Administrativas
Capítulo IV
Recurso de Revisión y Denuncia Popular
Transitorios

Ley del Equilibrio Ecológico y Protección al Ambiente del Estado de Hidalgo

La Ley del equilibrio Ecológico y Protección al Ambiente del Estado de Hidalgo (POGEH, 1998), contiene en su capítulo VI los lineamientos a seguir acerca del manejo y disposición final de residuos sólidos no peligrosos

CAPÍTULO VI
MANEJO Y DISPOSICIÓN FINAL DE RESIDUOS SÓLIDOS NO PELIGROSOS
Artículo 120.- Corresponde al Gobierno del Estado la regulación del manejo y disposición final de los residuos sólidos que no sean peligrosos conforme a la Ley General, para lo cual podrá:
I Formular las disposiciones que regulen, en el ámbito local, las actividades de recolección, tratamiento y disposición final de residuos sólidos no peligrosos, observando lo que disponga la Ley General, esta Ley, sus reglamentos y las Normas Oficiales Mexicanas;
II Autorizar el establecimiento de los sitios destinados a la disposición final de los residuos sólidos no peligrosos;
III Podrá supervisar las instalaciones y la operación de los confinamientos o depósitos de dichos residuos;
IV Emitir las autorizaciones correspondientes respecto del funcionamiento de los sistemas de recolección, almacenamiento, transporte, alojamiento, reuso, tratamiento y disposición final de los residuos sólidos no peligrosos, y
V Ejercer las demás atribuciones que le corresponden, conforme a la presente Ley.

Artículo 121.- El Consejo y las autoridades municipales promoverán la racionalización de la generación de residuos y adoptarán las medidas conducentes para incorporar técnicas y procedimientos para su reuso y reciclaje.

Artículo 122.- La realización de actividades de carácter industrial en las que se generen residuos de lenta degradación, se llevará a cabo conforme a lo que dispone la Ley General y sus reglamentos. En la disposición final de dichos residuos se observarán las disposiciones de la presente Ley.

Artículo 123.- El gobierno del Estado y los gobiernos municipales promoverán la fabricación y utilización de empaques y envases para todo tipo de productos cuyos materiales permitan reducir la generación de residuos sólidos.

Artículo 124.- Los municipios integrarán el inventario de confinamientos o depósitos de residuos sólidos no peligrosos, así como el de fuentes generadoras, cuyos datos se incluirán en el sistema estatal de información ambiental.

Así mismo, la Ley del Equilibrio Ecológico y Protección al Ambiente del Estado de Hidalgo (POGEH, 1998), contiene en su capítulo IX, las actividades consideradas como riesgosas.

CAPITULO IX

ACTIVIDADES CONSIDERADAS COMO RIESGOSAS

Artículo 131.- El Gobierno del Estado regulará la realización de actividades riesgosas, cuando éstas puedan afectar al equilibrio de los ecosistemas o al ambiente de la entidad federativa en general, o de uno o más municipios en particular.

Quedan excluidas las actividades que la Ley General considera como altamente riesgosas.

Artículo 132.- En la determinación de los usos del suelo permitidos que lleven a cabo las autoridades competentes, se especificarán las zonas en las que se podrán establecer industrias, comercios o servicios clasificados como riesgosos, por la gravedad de los efectos que puedan generar en los ecosistemas o en el ambiente de la entidad.

Para tal fin deberán considerarse, entre otros:

- I Las condiciones topográficas, meteorológicas y climatológicas de las zonas, de manera que permitan la dispersión de contaminantes;
- II La proximidad a centros de población, previendo las tendencias de expansión del centro de población respectivo y la creación de nuevos asentamientos;
- III Los impactos que tendría un posible evento extraordinario de la industria, comercio o servicio de que se trate sobre los centros de población y sobre los recursos naturales;
- IV La compatibilidad con otras actividades de las zonas;
- V La infraestructura existente y necesaria para la atención de emergencia ecológicas, y
- VI La infraestructura para la dotación de servicios básicos.

Artículo 133.- La clasificación de actividades riesgosas deberá ser elaborada por el Consejo y será publicada en el Periódico Oficial del Estado y en la Gaceta del propio Consejo.

Artículo 134.- La realización de actividades industriales, comerciales o de servicios, riesgosas deberán llevarse a cabo observando las disposiciones de esta Ley, sus reglamentos, las Normas Oficiales Mexicanas, así como las normas técnicas ecológicas estatales y las de seguridad y operación. En todos los casos, deberán incorporarse equipos de seguridad que satisfagan los requerimientos correspondientes.

Quienes realicen actividades riesgosas están obligados a elaborar y actualizar sus programas para la prevención de accidentes, en la realización de tales actividades, que puedan causar graves desequilibrios ecológicos. Artículo 135.- El control de las actividades riesgosas, conforme al procedimiento previsto en este capítulo, corresponderá a los municipios en los siguientes casos:

I Cuando en el desarrollo de las actividades riesgosas se generen residuos, no peligrosos, que sean vertidos a los sistemas de drenaje y alcantarillado de los centros de población o sean integrados a la basura, y

II Cuando las actividades riesgosas estén relacionadas con residuos no peligrosos, generados en servicios públicos municipales o se relacionen con dichos servicios.

Artículo 136.- Cuando existan instalaciones riesgosas o se generen residuos peligrosos que provoquen o puedan provocar contingencias ambientales o emergencias ecológicas que por sus efectos no rebasen el territorio del estado o del municipio correspondiente, el Consejo podrá aplicar las medidas de seguridad que resulten necesarias para proteger el equilibrio ecológico y el ambiente, sin perjuicio de las facultades que a la Federación competen en la materia.

Reglamento del Equilibrio Ecológico y Protección al Ambiente del Estado de Hidalgo

El Reglamento del Equilibrio Ecológico y Protección al Ambiente del Estado de Hidalgo (POGEH, 2001), contiene en su capítulo XVII los lineamientos a seguir acerca del manejo y disposición final de residuos sólidos no peligrosos

CAPÍTULO XVII

DEL MANEJO Y DISPOSICIÓN FINAL DE RESIDUOS SÓLIDOS NO PELIGROSOS

Artículo 51.- La operación de sistemas de recolección, almacenamiento, transporte, tratamiento y disposición final de residuos sólidos no peligrosos, deberá sujetarse, previamente a su realización, al procedimiento de evaluación de impacto ambiental.

No requerirán autorización de impacto ambiental específica los mencionados sistemas, cuando hayan sido evaluados como parte de alguna obra o actividad.

Artículo 52.- En los acuerdos de coordinación que celebre el Gobierno del Estado con los Municipios, en materia de residuos sólidos municipales, se deberá establecer:

- I. La vigencia del acuerdo;
- II. Los recursos materiales, económicos y humanos que cada una de las partes aportará;
- III. El objeto específico del acuerdo;
- IV. Las acciones que cada una de las partes habrá de realizar; y

V. Las penas que será procedente aplicar en caso de incumplimiento del acuerdo.

Artículo 53.- Todo generador de residuos sólidos no peligrosos tiene las siguientes obligaciones:

- I. Informar al Consejo Estatal de Ecología o al Ayuntamiento, cuando alguno de éstos lo requiera, el tipo, características y cantidad de residuos que genera;
- II. Evitar mezclar residuos peligrosos con no peligrosos;
- III. Entregar los residuos al servicio de recolección debidamente separados por tipo o composición; y
- IV. Observar las especificaciones técnicas que determine el Consejo Estatal de Ecología para el manejo seguro de residuos no peligrosos.

Artículo 54.- Por sus efectos al ambiente, queda prohibida la realización de las siguientes prácticas:

- I. Disposición de residuos a cielo abierto;
- II. Quema de residuos a cielo abierto; y
- III. Arrojar o verter residuos sólidos a los sistemas de drenaje y alcantarillado, las redes colectoras de cuencas, cauces, vasos y demás depósitos y corrientes de agua.

Artículo 55.- Los residuos sólidos no peligrosos, para efecto de su control, se clasifican de la siguiente forma:

- I. Sólidos municipales, que son los provenientes de las casas habitación y de establecimientos comerciales y de servicios;
- II. Hospitalarios no peligrosos, que son los provenientes de hospitales, clínicas, laboratorios y demás establecimientos similares, pero que carecen de las características que hacen a un residuo peligroso; y
- III. Industriales no peligrosos, que son los provenientes de procesos industriales, pero que carecen de las características que hacen a un residuo peligroso.

Artículo 56.- Los lugares que se destinen a la disposición final de residuos sólidos municipales deberán tener las siguientes características:

- I. Ser accesibles al tipo de vehículo que se utilice para la recolección y transporte de residuos;
- II. Contar con la posibilidad de una vida útil de por lo menos diez años;
- III. Ubicarse fuera de zonas urbanas;
- IV. Presentar características topográficas, geológicas y geohidrológicas que aseguren que no se afectarán los recursos naturales y el ambiente;
- V. Tener prevista la disponibilidad suficiente de materiales de recubrimiento en el sitio o en las cercanías;
- VI. Estar ubicado de manera tal que los vientos dominantes se dirijan en sentido contrario a la zona urbana;
- VII. No tener problemas de uso del suelo y tenencia de la tierra; y
- VIII. Ubicarse fuera de áreas naturales protegidas.

Artículo 57.- Cada sitio de disposición final de residuos sólidos municipales deberá contar con un manual de operación. En estos sitios sólo se podrán disponer residuos sólidos municipales.

Artículo 58.- En la construcción y operación de los sitios de disposición final de residuos sólidos municipales, deberán llevarse a cabo monitoreos a los lixiviados, calidad de aguas superficiales y subterráneas y emisión de gases.

Artículo 59.- Los generadores de residuos hospitalarios e industriales, no peligrosos, serán responsables de su manejo, transporte, disposición final y tratamiento, pudiendo contratar un prestador de servicios para este efecto o bien convenir con los Ayuntamientos la prestación del servicio.

Artículo 60.- Los Ayuntamientos, los generadores de residuos sólidos no peligrosos u otros interesados podrán construir y operar instalaciones para el tratamiento o la disposición final de residuos no peligrosos, según proceda, previa observancia de las prescripciones contenidas en este Reglamento y sus disposiciones técnicas complementarias.

El Reglamento del Equilibrio Ecológico y Protección al Ambiente del Estado de Hidalgo (POGEH, 2001), además contiene en sus capítulos IV y V, los lineamientos a seguir acerca del procedimiento para evaluar riesgos ambientales, así como de las actividades que requieren autorización en materia de impacto ambiental.

CAPÍTULO IV

DEL PROCEDIMIENTO PARA EVALUAR RIESGOS AMBIENTALES

Artículo 11.- La evaluación de riesgos ambientales se deberá realizar dentro del mismo procedimiento de evaluación del impacto ambiental, por lo que las medidas de seguridad que al respecto determine el Consejo Estatal de Ecología, se deberán especificar en la resolución de impacto y riesgo ambiental que expida.

CAPÍTULO V

DEL LISTADO DE OBRAS Y ACTIVIDADES QUE REQUIEREN AUTORIZACIÓN EN MATERIA DE IMPACTO AMBIENTAL

Artículo 12.- Son obras y actividades para cuya realización se requiere la obtención previa de autorización en materia de impacto ambiental, las siguientes:

- I. Obra pública estatal y municipal;
- II. Desarrollos habitacionales cuya extensión sea mayor a 500 metros cuadrados;
- III. Desarrollos comerciales cuya extensión sea mayor a 300 metros cuadrados;
- IV. Desarrollos turísticos cuya extensión sea mayor a 500 metros cuadrados;
- V. Las actividades industriales o comerciales a que se refiere el artículo 9º de este Reglamento;
- VI. Servicios o industrias de todo género siempre que su extensión sea mayor a 500 metros cuadrados;
- VII. Otras obras o actividades cuya evaluación no sea de competencia federal, siempre que el Consejo Estatal de Ecología haya publicado el listado de las mismas en el Periódico Oficial del Gobierno del Estado; y
- VIII. Las demás que en forma específica señala la Ley del Equilibrio Ecológico y Protección al Ambiente del Estado de Hidalgo.

Normas Mexicanas y Normas Oficiales Mexicanas

Adicionalmente las Normas Oficiales Mexicanas contemplan ciertas determinaciones de residuos sólidos urbanos que pueden impactar al medio ambiente, así mismo se requiere de normatividad que de las pautas para el diseño de vertederos de residuos sólidos. A continuación se listan aquellas que son de mayor interés:

NMX-AA-009-1993

Norma Mexicana. "Determinación del Flujo de Gases en un conducto por medio del Tubo de Pitot".

DGN-AA-10-1974

Norma Oficial Mexicana que determina la emisión de partículas sólidas contenidas en los gases que se descargan por un conducto.

NMX-AA-15-1985

Norma Mexicana. Protección Al Ambiente - Contaminación del Suelo - Residuos Sólidos Municipales - Muestreo - Método de Cuarteo

NMX-AA-16-1984

Norma Mexicana. Protección Al Ambiente - Contaminación del Suelo - Residuos Sólidos Municipales - Determinación de Humedad

NMX-AA-18-1984

Norma Mexicana. Protección Al Ambiente - Contaminación del Suelo - Residuos Sólidos - Determinación de Cenizas

NMX-AA-19-1985

Norma Mexicana. Protección Al Ambiente - Contaminación del Suelo - Residuos Sólidos Municipales - Peso Volumétrico "Insitu".

NMX-AA-21-1985

Norma Mexicana. Protección Al Ambiente-Contaminación del Suelo - Residuos Sólidos Municipales - Determinación de Materia Orgánica

NMX-AA-22-1985

Norma Mexicana. Protección Al Ambiente - Contaminación del Suelo - Residuos Sólidos Municipales - Selección y Cuantificación de Subproductos

NMX-AA-24-1984

Norma Mexicana. Protección Al Ambiente - Contaminación del Suelo - Residuos Sólidos Municipales - Determinación de Nitrógeno Total

NMX-AA-25-1984

Norma Mexicana. Protección Al Ambiente - Contaminación del Suelo - Residuos Sólidos - Determinación del pH - Método Potenciométrico

DGN-AA-31-1976

Norma Mexicana "Determinación de Azufre en Desechos Sólidos".

DGN-AA-32-1976

Norma mexicana " Determinación de Fósforo Total en Desechos Sólidos. '(Método Del Fosfovanadomolibdato).

NMX-AA-33-1985

Norma Mexicana. Protección Al Ambiente - Contaminación del Suelo-Residuos Sólidos Municipales - Determinación de Poder Calorífico Superior

DGN-AA-35-1976

Norma Mexicana; Determinación de Bióxido de Carbono, Monóxido de Carbono y Oxígeno en los gases de combustión

NMX-AA-52-1985

Norma Mexicana. Protección Al Ambiente - Contaminación del Suelo-Residuos Sólidos Municipales - Preparación de muestras en el laboratorio para su análisis

NMX-AA-61-1985

Norma Mexicana, Protección Al Ambiente - Contaminación del Suelo - Residuos Sólidos Municipales - Determinación de la Generación

NMX-AA-67-1985

Norma Mexicana, Protección Al Ambiente - Contaminación del Suelo - Residuos Sólidos Municipales - Determinación de la relación carbono/nitrógeno

NMX-AA-68-1986

Norma Mexicana, Protección Al Ambiente - Contaminación del Suelo-Residuos Sólidos Municipales - Determinación de Hidrogeno a partir de Materia Orgánica

NMX-AA-80-1986

Norma Mexicana, Contaminación del Suelo-Residuos Sólidos Municipales - Determinación del Porcentaje de Oxígeno en Materia Orgánica

NMX-AA-91-1987

Norma Mexicana. Calidad Del Suelo Terminología

NMX-AA-92-1984

Norma Mexicana. Protección Al Ambiente - Contaminación del Suelo - Residuos Sólidos Municipales - Determinación de Azufre

NMX-AA-94-1985

Norma Mexicana. Protección Al Ambiente - Contaminación del Suelo - Residuos Sólidos Municipales - Determinación de Fósforo Total

Proyecto NMX-AA-13-SCFI-2001

Norma Mexicana. Protección Al Ambiente - Contaminación del Suelo - Residuos Sólidos Municipales - Determinación de pH, Método de Prueba

Proyecto NMX-AA-41-SCFI-2001

Norma Mexicana. Protección Al Ambiente - Contaminación Del Suelo - Residuos Sólidos Municipales - Determinación de Inflamabilidad, Método de Prueba.

NOM-083-ECOL-1996

Establece las condiciones que deben reunir los sitios destinados a la disposición final de los residuos sólidos municipales

Proyecto NOM-083-SEMARNAT-2003

Especificaciones de protección ambiental para la selección del sitio, diseño, construcción, operación, monitoreo, clausura y obras complementarias de un sitio de disposición final de residuos sólidos municipales

Proyecto NOM-084-ECOL-1994

Establece los requisitos para el diseño de un relleno sanitario y la construcción de sus obras complementarias.

Ley de Residuos Sólidos para el Distrito Federal

La Ley de Residuos Sólidos para el Distrito Federal (GODF, 2003), entra en vigor con el fin de reducir la generación de residuos y fomentar el reciclaje y la valorización, así como reglamentar el manejo adecuado de los mismos y establece como primera obligación la separación de residuos en orgánicos e inorgánicos por parte de los ciudadanos. También dispone que todo generador deba reducir y evitar la generación de residuos sólidos, además de entregarlos al

servicio de limpia. La Secretaría de Obras y Servicios y las delegaciones instrumentarán los sistemas de depósito y recolección separada de los residuos sólidos. El servicio de recolección será gratuito para establecimientos comerciales que produzcan menos de 50 kg/día de residuos al día. Además los residuos se clasifican en residuos urbanos y de manejo especial. Los generadores de residuos en alto volumen, mayor de 50 kg/día, ya sea de manejo especial, comercial, industrial o de servicios, reciclarán los residuos sólidos y deberán instrumentar planes de manejo. El incumplimiento a las disposiciones anteriores genera sanciones administrativas para quien lo infrinja, por lo que se le amonestarán, multará con 10 hasta 1000 días de salario mínimo o será arrestado.

■ Educación ambiental

Se puede entender por educación ambiental (UNESCO, 1998), como el proceso de enseñar a hacer, trabajando desde el respeto al entorno, ayudando a las personas a actuar a favor del equilibrio ecológico y la equidad social. Pero se puede traducir en qué no hacer, y la educación haya de moverse en ese sentido. De ésta manera el ser humano debe conducirse libre y responsablemente.

Educar supone revitalizar todo el potencial crítico y creativo que existe, para promover actitudes armónicas de las personas con su medio. Puede servir para perpetuar viejos hábitos, pero también nuevas formas de relación de los seres humanos con el medio y entre sí apoyándose en una nueva ética que atienda más al ser que al poseer.

Se debe tener en claro que medio ambiente es un sistema de interrelación que incluye realidades naturales como otras de tipo urbano, social, cultural, etc., y que condicionarán la vida de los seres humanos a la vez que son modificados y condicionados por éstos.

Para poder interpretar la compleja realidad ambiental que nos rodea, es necesario comprender cuales son las relaciones y límites de nuestro entorno que lo mantendrán en equilibrio, utilizando mecanismos de retroalimentación e innovación.

Nivel y calidad de vida, riesgo, impacto ambiental, desarrollo sostenible y cambio son conceptos con los cuales hay que caminar para alcanzar el desarrollo económico y social.

En los proyectos de educación ambiental se inicia con la elección de un tema motivador e interesante. Se acumula la información al respecto, se estudian las implicaciones de ese problema, sus causas, sus efectos y se trabaja en buscar una solución para ello, tomando en cuenta además la peculiaridad de interpretación de los receptores de la enseñanza.

La transacción educativa se da mediante estrategias didácticas necesarias que puedan relacionar aquello nuevo que se aprende con lo que se sabía para confirmarlo y ampliarlo, o bien para modificarlo y cuestionarlo.

Una propuesta se basa en la construcción de historias que conectan la mente y la materia, es decir, hombre y naturaleza. De ésta manera se puede aventurar en algunas hipótesis sobre posibles cambios que ayudarían a reestablecer el deteriorado equilibrio ambiental del planeta.

Es conveniente ayudar a comprender a los individuos, aquellos problemas desde su realidad cotidiana, utilizando el entorno inmediato como fuente de motivación y recurso para la educación y la acción ambientales. Educar para la vida sólo es posible educando desde la vida, lo que ayuda a la adquisición de valores de responsabilidad y compromiso con el entorno, favoreciendo la toma de decisiones adecuadas a cada edad en los contextos que les son propios.

Para analizar el contexto del medio ambiente se adoptan estrategias de exploración, descripción, explicación y comprensión.

Como la educación no es una mera actividad teórica, la estrategia de la praxis se enmarca en el diagnóstico, formulación de estrategias y seguimientos de las mismas, investigación de efectos, confrontación de resultados de la situación real y las metas que se quieren alcanzar, la introducción de modificaciones necesarias y el cambio de metas no adecuadas a las expectativas.

También es importante suscitar el interés de las personas en el estudio del medio ambiente, haciéndolo ver como una posibilidad de aplicar los principios de la ecología al mundo físico y al comprenderlo podría tener un sentido personal.

La solución de problemas desde la educación ambiental implica la identificación del problema, causas y efectos, identificación de los agentes que intervienen en el problema, identificación de los condicionantes éticos, religiosos, científicos, económicos, etc., reconstrucción histórica del problema, su generación y evolución, contextualización del problema, relación del problema con otras cuestiones ambientales, búsqueda de alternativas deseables y posibles (viabilidad y pertinencia), negociación acerca de las posibles acciones a tomar, establecimiento de posible soluciones y evaluación de resultados.

Creatividad, toma de decisiones y las representaciones son expresiones de la solución de problemas.

Los programas de educación ambiental tienen el objetivo de concienciar y sensibilizar a las personas acerca del medio ambiente y sus problemas, además de ayudar a la comprensión del conocimiento de los mismos, así como la de orientar a las personas a adquirir valores sociales y un profundo interés por el medio ambiente que les proporcionen una actitud participativa para su protección y mejoramiento, que adquieran aptitudes para la solución de problemas y capacidad de evaluación en función de factores ecológicos, políticos, económicos, sociales, estéticos y educacionales y finalmente desarrollar

el sentido de responsabilidad de las personas ante la necesidad de mejorar el medio ambiente para que adopten medidas adecuadas al respecto.

Las actividades planificadas para los programas de educación ambiental se desarrollan en diferentes fases, iniciando con la observación de fenómenos y contextos, la búsqueda de fuentes documentales, la comprobación e interpretación mediante la experimentación y finalmente la aportación documental del estudio con sus respectivas conclusiones y propuestas.

La simulación y el juego también son recursos para la educación ambiental, ya que son actividades que reproducen situaciones y conflictos del mundo real o bien problemas no reales que pudieran diseñarse ad hoc para dicho ejercicio. Se destacan el estudio de casos, los juegos de interpretación de roles, juegos de aprendizaje y simulación a través de ordenador.

Por consiguiente la educación ambiental tiene el reto de incorporar los principios de una buena gestión ambiental a instituciones y ayuntamientos.

■ Directrices mundiales en gestión integral de residuos sólidos urbanos

Se ha realizado una revisión exhaustiva de la literatura existente acerca de la gestión integral de los residuos sólidos urbanos, en cuanto al manejo administrativo y operativo, donde se pueden observar las siguientes directrices mundiales sobre la gestión de residuos sólidos en los últimos diez años.

- Aprovechamiento de materiales de recuperación con la oportuna separación en el origen.
- Aportación económica del generador doméstico, comercial e industrial.
- Brindar fuentes de empleos a personas discapacitadas o con problemas sociales.
- Diferentes tecnologías de transformación de residuos.

Estados Unidos y América Latina, específicamente Colombia, Brasil, Ecuador, Argentina, Costa Rica y Chile, incluyen los siguientes principios en su marco regulador de leyes y reglamentos en gestión de residuos sólidos.

- La sostenibilidad ambiental.*
- La aportación económica y responsabilidad por parte del generador.
- La reducción en la fuente.
- Salud pública.
- Mejor tecnología para la reutilización y reciclado de residuos sólidos.

La Comisión Económica para América Latina y el Caribe, CEPAL,- ha desarrollado un proyecto para la gestión ambiental de residuos urbanos e industriales en estos lugares (Duran de la Fuente, H., 1998), en los cuales este tema no se había resuelto y en general era mal abordado en los inicios de los 90's. Este proyecto se ha logrado con el financiamiento por parte del gobierno de Alemania, por lo que se ha trabajado en países como, Argentina, Brasil, Colombia, Costa Rica, Chile y Ecuador.

El enfoque de este proyecto va direccionado para cumplir los siguientes requerimientos: El tema de los residuos debe tener prioridad en la agenda de los gobiernos nacionales o locales y así proponer un diseño sistémico de la gestión integral de los residuos, abordar y resolver problemas de dispersión legal con base en la normatividad y reglamentos, estimular la participación de la comunidad mediante la sensibilización, información y educación, generar una política con carácter preventivo y de largo plazo.

En Brasil y Argentina, existen sistemas municipales que abren canales de información y participación del público acerca de temas ambientales, mediante denuncias telefónicas sobre hechos que dañan el medio ambiente urbano y que además de responder oportunamente al público, toma las acciones de remediación, ya sea de su competencia directa o de otros servicios públicos, demostrando el respaldo institucional y la seriedad del sistema.

Para establecer el marco regulador de las leyes y reglamentos, la política pone en juego una serie de principios: sostenibilidad ambiental, el que contamina paga, precaución ante la salud pública y del medio ambiente, responsabilidad de la cuna a la tumba por el generador, menor costo de disposición, reducción en la fuente y uso de la mejor tecnología disponible.

En los países desarrollados últimamente se han incorporado alternativas de tratamiento con tecnología de punta teniendo control en la minimización de residuos y el aprovechamiento material y/o energético de los mismos, por lo que es importante su difusión para la sostenibilidad del medio ambiente y conservación de los recursos naturales. Por lo que mediante una evaluación de las tecnologías aplicadas en el mundo, se ha propuesto la separación en la fuente y la recogida selectiva como el mejor camino para aplicar la gestión integral en países en desarrollo (Barradas, A., 1999). Así, en un programa piloto en la conurbación Minatitlán-Cosoleacaque, en el sur de México, la población ha demostrado su capacidad de participar en los sistemas de recogida selectiva, separando en la fuente los residuos y generando mano de obra formal para el servicio de limpieza pública. Se recomienda así mismo, la participación de Instituciones de Investigación y Universidades para el mantenimiento del conocimiento y desarrollo de los sistemas de gestión de residuos y su aceptación en la población.

Colombia, Brasil y Ecuador, han visualizado una solución del problema del manejo de los residuos en un enfoque social (ONU, 1998). En 1986, en Colombia, la ONG emprendió un programa para organizar a los recicladores en asociaciones locales (Asociación Nacional de Recicladores, ANR), para mejorar las condiciones de trabajo reforzando sus sistemas de transporte y el control de calidad de los residuos seleccionados, aumentando así sus ingresos. Brasil inició un proyecto de recogida selectiva de materiales inorgánicos en 1993, que involucra a recogedores callejeros para recolectar los materiales de contenedores destinados para ello, los cuales son previamente seleccionados por la población. Esta disposición introduce un cambio substancial incluyendo un equipamiento adecuado y las plantas para la recogida, el almacenaje y el destino de los materiales reciclables, así como el componente educativo. Mientras que en 1995 se inició en Quito, Ecuador, un programa de recuperación

de residuos sólidos reciclables en la fuente, dando trabajo alternativo a personas que se dedican a la actividad de pepena, encontrando así mejores condiciones higiénicas de trabajo.

Cabe mencionar también que en 1988 se creó en Chattanooga, EUA; el Centro de Reciclaje Orange Grove (OGRC) mediante un proceso de colaboración único resuelto en un contrato con el ayuntamiento local, el cual es la sede para el reciclaje en la región de tres estados, y ha tenido mucho éxito en la venta de las materias reciclables (ONU, 1998). Se ha considerado como un modelo nacional ya que aunado al programa de educación sobre el reciclaje, ha dado trabajo a unos 100 discapacitados psíquicos.

Además se han logrado interesantes avances en el reuso de residuos PET (Noone, A. J., 1999), como por ejemplo: en EUA, las películas poliéster se producen con algún porcentaje de mezcla con estos residuos; DuPont, EUA, utiliza un porcentaje de PET reciclado para producir un film normal biaxialmente orientado; la industria automotriz en EUA, desea utilizar resinas con fracciones recicladas.

Algunos estudios de la Universidad de Columbia en USA, han encontrado una sinergia entre los procesos de incineración y digestión anaeróbica (Ostrem, Karena M., *ef al.*, 2004). Se considera que la parte orgánica de los RSU comprende un contenido alto de humedad y bajo valor calorífico, lo cual hace difícil la combustión, por otro lado facilita la digestión anaeróbica. Se podría separar el flujo húmedo del seco y destinarlo al proceso correspondiente. Así los incineradores pueden aportar el vapor (calor) de los residuos a los reactores biológicos y éstos el biogás a los incineradores. Esto ofrece una perspectiva completamente nueva del manejo sustentable de residuos.

La gestión de residuos sólidos urbanos en América Latina y el Caribe debe considerar en un futuro inmediato los siguientes aspectos en el área técnica y en la de salud (Calvo R. F., Szantó N. M. y Muñoz J. J., 1998): en cuanto al área técnica, cuantificar y controlar residuos peligrosos, estandarizar recipientes y contenedores en la vía pública, cubrir zonas marginales para una ordenación y planificación de recogida, cumplimiento de normatividad en vertederos controlados, tratamiento de lixiviados y gases, incremento de reciclaje y reutilización de materiales; en cuanto al área de salud se toma en cuenta, evitar manipulación informal de desechos, aislamiento de sitios de tratamiento de residuos, equipamiento para trabajadores del sistema de recogida, transporte y disposición final, fomento de participación comunitaria mediante educación ambiental para la separación y manejo en el origen de los residuos. Por lo tanto debe haber una mejora en el área institucional, legal y económica, mediante el reconocimiento de los residuos sólidos como un sector formal, la especificación de objetivos para el manejo y gestión de residuos sólidos, el mejoramiento de políticas de reducción en la generación, evaluación y cuantificación de beneficios económicos, controlando la privatización del servicio y generando información contable de la gestión. Así el control, minimización y reciclaje de los residuos sólidos se traducen en un reto.

Tchobanoglous, G. (1994), marca la importancia de una selección y aplicación de técnicas, tecnologías y programas de gestión en residuos sólidos, para lograr su reducción, reutilización, reciclado, transformación y vertido. Los diferentes elementos funcionales de esta Gestión Integral de Residuos Sólidos se han descrito a detalle en referencia a éste autor y otros donde destacan: Barradas, A. (1999), Corbitt (1989), Cortinas Nava., C, (2004), e Instituciones Federales y Estatales.

En Europa, específicamente Bélgica, Francia, Alemania, Suecia, Dinamarca, Países Bajos, Italia Portugal, Irlanda, España, Reino Unido, Suiza, Noruega y Polonia, enfocan el manejo administrativo de residuos sólidos en los siguientes puntos:

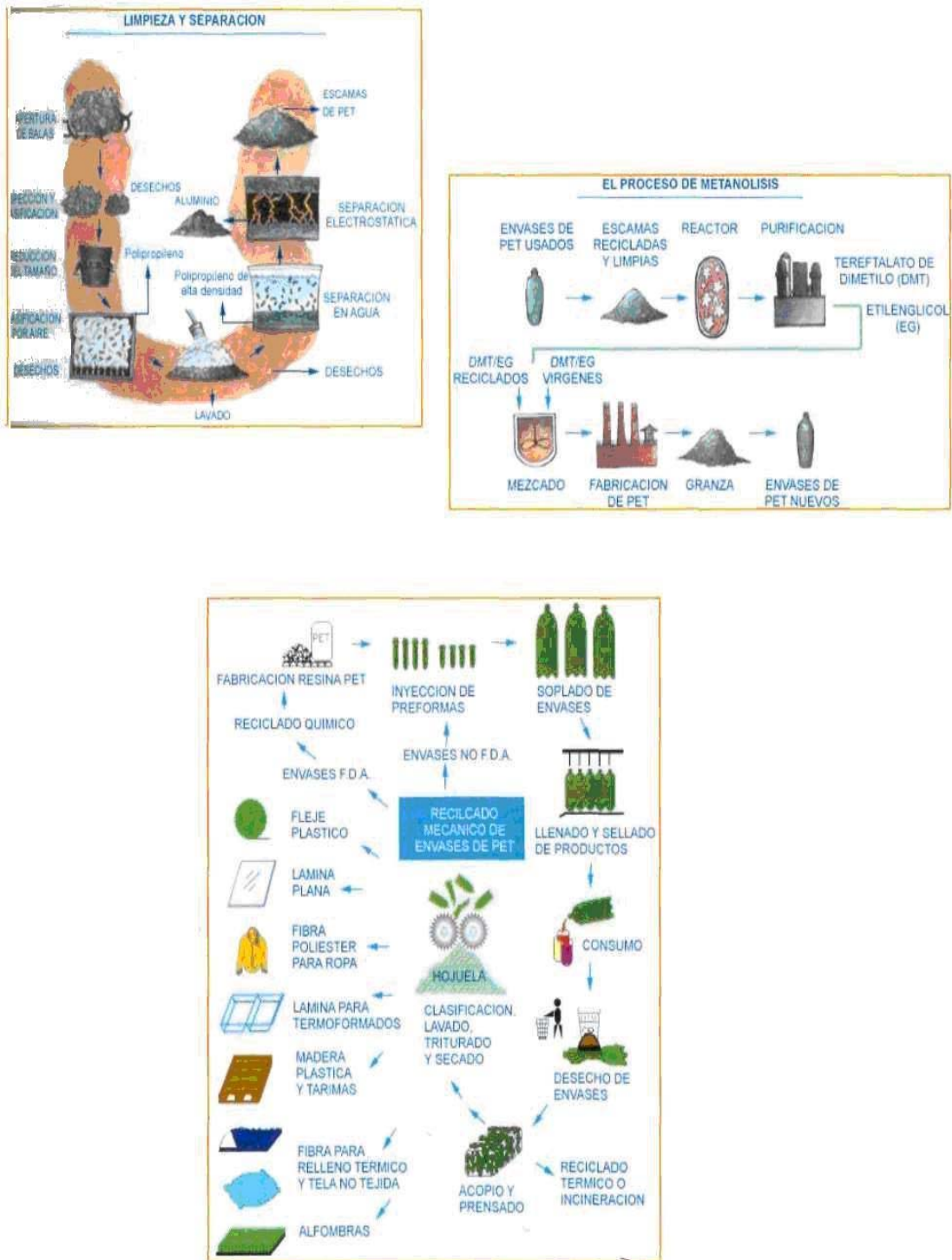
- Minimización, reciclado y recuperación de residuos sólidos.
- Ahorro de energía.
- Educación ambiental
- Legislación sobre la obligación de aceptación de devoluciones de los fabricantes.
- Legislación sobre la obligación de los fabricantes de desarrollar sus propios planes de recuperación de residuos.
- Aportación económica del generador de residuos (ecoimpuestos) como tasa sobre eliminación en vertederos.
- Impuestos sobre productos para manejo de residuos resultantes.
- Sustitución de materiales contaminantes por otros más favorables.
- Selección controlada de residuos, con la participación de personas discapacitadas o con problemas sociales.

Incluyen también las siguientes aportaciones operativas y de transformación:

- Separación y clasificación de papel y plástico por electrostática.
- Tecnología rápida de identificación y separación de residuos plásticos por técnicas de espectroscopia. S Reciclado de botellas amarillas de poliestireno HD.
- Técnicas de separación y clasificación de papel y plástico por electrostática, e identificación de los diversos plásticos por espectroscopia.
- Transformación química o mecánica de plásticos.
- Mejoramiento de punto de fusión de Pet y Pet reciclado para su transformación en espuma aislante de mayor duración. S Técnica de refundición y reestabilización para reciclaje de botellas amarillas de poliestireno de alta densidad.

Algunos procesamientos de plástico y reusos se muestran en la figura 4.11

Figura 4.11.- Procesamiento de plástico y reusos



El Consejo de Gobierno de la Comunidad de Madrid (CM) aprobó por decreto el 12 de junio de 1997 el Plan Autonómico de Gestión de Residuos Sólidos Urbanos de la Comunidad de Madrid, 1997-2005 que reúne los siguientes principios (GEDESMA, 1998): fomentar la prevención en origen y de la reducción, así como la reutilización y reciclado, situación que por primera vez se encuentra dentro de las prioridades en la estrategia de la gestión de los residuos en la Comunidad de Madrid, donde la recuperación y reciclaje implantan la recogida selectiva. Por lo que el programa dio inicio la recogida de residuos de envases desde el día 1° de enero de 1998, introduciendo en los hogares el modelo denominado de segunda bolsa, que consiste en depositar desde el origen los envases compuestos por materiales plásticos, metálicos y envases multimaterial tipo Tetra Brik en una bolsa amarilla separada del resto de los residuos como restos orgánicos y fracciones no recuperables que se considera como primera fracción. Por lo que dentro de la campaña de concienciación y sensibilización, se han distribuido cubos domésticos y bolsas amarillas para promover el plan, incentivando la separación domiciliar de los residuos en dos fracciones. El programa también incluye la construcción de tres plantas clasificadoras de envases que se localizarán en lugares estratégicos y que ocasionen un costo mínimo para el transporte de los residuos. Cabe mencionar que de antemano se conserva el sistema de contenedores en la calle para el depósito de residuos recuperables como papel, cartón y el vidrio.

Strange Kit (1998), resalta las siguientes áreas de la política en materia de residuos de 15 países europeos: estrategias de residuos, obligaciones de aceptación de devoluciones, instrumentos económicos medioambientales, gestión de los residuos domésticos peligrosos.

En Bélgica, en 1996, el gobierno de la región de Flandes impuso la obligación de aceptar devoluciones a los vendedores, almacenistas y productores o importadores de pilas y baterías de coche, contemplando en un futuro los aceites de motores. Adicionalmente la recogida separada de los residuos domésticos peligrosos es pagada por el municipio, así como el reciclaje y la incineración. Para tal actividad se proporcionó a los hogares de un contenedor especial con cerradura a prueba de niños.

En Francia, en 1998, el Ministro de Mediambiente Dominique Voynet fijó el objetivo de limitar la eliminación en vertederos a los residuos inertes para el 2002 para favorecer la separación en origen y el composteo. Así mismo, la Agencia Francesa de Energía y Medio Ambiente ADEME pretende financiar a los municipios que reciclan residuos sólidos urbanos para actividades como la separación en origen, el composteo e instalaciones de digestión anaerobia.

En Alemania, en 1996, la Ley Federal de Gestión de Residuos y Reciclaje, intenta cerrar el ciclo del material y reducir el contenido de contaminantes en el flujo de residuos urbanos, sustituyendo productos contaminantes por otros más favorables y la recogida selectiva de los residuos que contengan productos contaminantes, esto con el fin de eliminar de la basura doméstica los metales pesados y los contaminantes orgánicos tóxicos a largo plazo, no degradables y acumulativos. Incluso productos farmacéuticos son aceptados como

devoluciones a pesar de la falta de leyes detalladas como el caso de las pilas y baterías usadas, la Ley sobre la Devolución y Eliminación de Pilas y Baterías Usadas.

En Suecia, desde 1995, se trabaja con planes nacionales de residuos. El Código Nacional de Medio Ambiente ha asignado a los productores la responsabilidad de cumplir con cuotas de recuperación y establece planes de recogida. Así mismo el gobierno sueco ha impuesto la separación en el origen además de la intención de desaparecer el mercurio donde sea posible y ha desplegado una variedad de tasas sobre productos (eco-impuestos sobre pilas, fertilizantes, pesticidas, coches, materias primas de construcción y CFC) y tasas sobre la eliminación en vertedero.

En Dinamarca, en 1998, se presentó un enfoque de "vuelta a lo básico" para conseguir un 50% de reutilización/reciclaje para el año 2000, así como la prohibición de eliminar en vertedero los residuos incinerables, además de que las autoridades locales sean responsables de la recogida y reciclaje, por lo que los hogares tienen derecho a devolver sus artículos usados gratuitamente, aunque por otro lado paguen las tasas de recogida de residuos domésticos.

En los Países Bajos para 1998, se aplicó el tercer Plan de Política Medioambiental Nacional (NEPP3), donde los servicios públicos tienen a su cargo predominantemente la recogida de residuos domésticos. La prevención de residuos y recuperación quedan resaltados en el primer y segundo Plan Medioambiental. Mediante el Plan Apparetour, se legisló la aceptación de devoluciones para equipo eléctrico y electrónico para 1999. Los residuos químicos y aceites se recogen selectivamente en hogares y acopios, además las pilas pequeñas y otros residuos domésticos peligrosos se han recogido por más de 10 años, cubriendo el costo con fondos públicos. La incineración y eliminación en vertedero no se consideran opciones principales de gestión, priorizándose la opción de la reducción del volumen de residuos o reutilización de materias. Para el año 2000 se esperaba recuperar todas las pilas selectivamente. Finalmente se han introducido eco-impuestos sobre los vehículos de desguace, pilas, marcos plásticos de puertas y ventanas, así como para la eliminación en vertedero.

En Italia, en 1997, se promulgó el Decreto Ronchi, que resalta objetivos de reciclaje, que hasta ahora no se han conseguido, además, también prevé obligaciones de aceptación de retorno de residuos de equipos eléctricos y electrónicos dirigidas por la industria y al mismo tiempo se discutió un plan de aceptación de devoluciones de ordenadores y televisores. Los productores pagarían por la recuperación y reciclaje, mientras que los ayuntamientos pagarían por el transporte desde los vendedores a los centros de recuperación. También se introdujeron eco-tasas sobre el polietileno y sobre la eliminación en vertedero.

En Portugal, en 1997, se planeó como estrategia la disminución de la eliminación en vertedero y aumento en niveles de recuperación.

En Irlanda, en 1996, se dispuso un importante empuje al reciclaje.

En España, quieren conseguir que los fabricantes tengan la obligación de desarrollar sus propios planes de recuperación o contribuir financieramente al sistema de gestión pública de los residuos.

En el Reino Unido, en 1995, se establecieron estrategias de recuperación, lográndose en la actualidad mediante el reciclaje, el composteo y valorización energética. Se ha instado para preparar nuevas estrategias de reciclaje. El gobierno sigue promocionando el concepto de responsabilidad del productor. Siguiendo el esquema de los residuos de envases, se pide la misma consistencia para las pilas y equipos eléctricos y electrónicos. De hecho, el Foro Nacional de Residuos Domésticos Peligrosos ha proporcionado puntos de recogida en las zonas de equipamiento urbano. Se introducirá además un plan financiado para recuperar películas de plástico de desecho de las granjas. Desde 1998, el plan de reciclaje de pilas REBAT empezó a funcionar, así mismo, el Ministerio de Industria y Comercio ha otorgado un contrato para reciclar tubos fluorescentes que son una fuente de mercurio.

En Suiza, desde 1998, los fabricantes e importadores de envases PET y aluminio, deben adherirse a un plan de recuperación de la Agencia Suiza del Mediambiente. Por lo que las leyes de reciclaje suizas sobre envases de bebidas obligará a los que suministren aguas minerales, bebidas no alcohólicas y cervezas a contribuyan a los costes del sistema nacional de recuperación y reciclaje. Así mismo, se introdujeron leyes de aceptación de devoluciones para equipo eléctrico y electrónico, además de que los consumidores están obligados a devolver las pilas usadas a vendedores.

En Noruega, desde 1999, se hace responsable al productor de los residuos de equipo eléctrico y electrónico, y se integra a los teléfonos móviles y pilas en el sistema de aceptación de devoluciones. Así mismo, se establecen tasas de recuperación y reciclaje. Además se prohíbe la producción, importación y exportación de termómetros que contienen mercurio.

En Polonia existe un sistema eficiente de recuperación de aceites usados para reprocesarse, las pilas y medicinas se depositan en contenedores que proporcionan algunas tiendas, las baterías de automoción se aceptan en estaciones de servicio y se reprocesan y los tubos fluorescentes se reciclan.

La Directiva Europea de Residuos Sólidos y otras normativas nacionales han originado que en varios países europeos establezcan programas de recuperación y reciclaje de residuos de envases, incluyendo de PET (Noone, A. J., 1999). En el periodo 1994-1995, el mercado para el poliéster/PET, llevó los precios a niveles históricos debido a la escasez de materias primas ante la demanda excepcional de la industria textil, no así el siguiente periodo 1996-1997, donde el mercado reaccionó a la inversa. Se estima que en 1998 la recogida de PET fue de 160,000 Ton y que para el 2002 alcance fácilmente 350,000 Ton. Los mercados de Europa aprovechan el PET para la producción de nuevas fibras. El grupo M & G de Italia han identificado una oportunidad para el PET reciclado en la producción de espuma de PET como aislante; En Suiza,

los niveles de recuperación y reciclaje de PET son más altos que en cualquier otro lugar del mundo, aunque con aplicaciones de corta duración y bajo desarrollo.

Debido a que en la Unión Europea la minimización últimamente no ha tenido el éxito esperado, Olabe, A. (1998) recomienda la necesidad de romper la correlación de que a mayor bienestar económico corresponde un crecimiento de generación de residuos sólidos urbanos, y que sea, que precisamente esas sociedades económicamente más avanzadas las que marquen la pauta hacia una menor y mejorada generación de residuos. La minimización se puede estimular relacionando directamente las tasas de recogida con la cantidad concreta de residuos generada. Aunque las políticas ambientales se basan en la emisión de normativas y su control, se reconoce que estas medidas no son suficientes y muchas veces simplemente no se cumplen. Por lo que se hace necesario complementar la educación ambiental con la política de incentivos y desincentivos económicos. Olabe propone que las administraciones locales paguen por tonelada recogida y/o por tonelada enviada al vertedero, así mismo que instauren descuentos en sus tasas de recogida selectiva de residuos en empresas o comercios que participen y colaboren en dicho programa, finalmente que la sociedad debe gestionar y costear mediante una tasa por residuos voluminosos y electrodomésticos por resultar una gestión cara y compleja.

El ahorro de energía es el común denominador que permite que la reducción en el origen sea expresada en términos de reciclaje. Esto surge de la comparación entre la cantidad de energía ahorrada al reciclar varios materiales de envasado y la cantidad de energía ahorrada mediante la reducción en la fuente de materiales vírgenes. En esta comparación se examinaron materiales como: botes de aluminio, cartón, botellas de PET, botellas de HDPE, botes de acero y botellas de vidrio.

La estrategia europea enfoca su primer prioridad en la minimización de residuos previniendo los desechos antes de considerar su reutilización y disposición (Kingsbury, T., 1999).

El gas de los vertederos tiene oportunidades como un recurso de energía, pero su utilización requiere una planeación y preparación (Edén, R., Salman, O., Frantzis, I., 2002). Más allá de la U. E., empresas de oriente como Kemberburgas en Estambul es de las pocas pioneras que resuelve la recuperación de energía a partir del gas de los vertederos de residuos sólidos. El biogás es la mayor fuente de calentamiento que se está venteadando a la atmósfera, por lo que existen fuertes incentivos para desarrollar proyectos para la generación de electricidad, usando apropiadas base de datos en proyecciones en computadoras (Loening, A., 2003). Tomando en cuenta las variaciones y condiciones locales, estas proyecciones pueden predecir la cantidad de gas que se producirá en los vertederos a lo largo de su tiempo de vida, proveyendo una fuente importante de datos.

En Dinamarca, en 1987, se introdujeron impuestos por incineración y disposición de residuos en vertederos que se han incrementado cautelosamente

(Veltzé, S. A., 2002), por lo que el manejo de residuos se jerarquizó, dando como resultado la reducción de residuos en vertederos y el aumento en la cantidad de reciclado.

En Noruega, en 1999, se implementó por primera vez una regulación para la recolección, reciclaje y apropiado tratamiento a todos los equipos eléctricos y electrónicos, ya que contienen grandes cantidades de sustancias que pueden ser dañinas al medioambiente y la salud (Aass, F. E., 2001).

Las comunidades de Navarra en España, han sido pioneras en el tratamiento de residuos en la península, donde personas que difícilmente encontrarían empleo son los encargados de recoger diferentes materiales de desecho: voluminosos, papel y cartón, vidrio, ropas, zapatos para su reutilización y reciclaje, alcanzándose en ésta última actividad el 70% de los materiales. De aquí que estas experiencias han servido de modelo para otras localidades y regiones españolas (ONU, 1998).

Los últimos 30 años los vehículos de recolección de desperdicios han crecido de 12 a 14 ton. y hasta han sido estandarizados en Europa a 30 ton. Debido a que el maniobrar estos últimos produce congestión de tráfico, ruido e impacto ambiental, se ha tratado de solucionar este problema mediante el uso de pequeños vehículos "satélites", quizá retomando aquellos de 12-14 ton., trabajando en conjunto con un vehículo más grande (Bates, M., 2002).

Ploechl, C, Dobson y G., Buell, U., (2003), afirman que los métodos de análisis de residuos difieren considerablemente, y los resultados varían de acuerdo a los objetivos de estudio. Puesto que comparar y contrastar diferentes análisis a nivel regional o nacional es muy difícil, se recomienda una estandarización a un nivel más sencillo.

De acuerdo a Lemmes, B. (1998), la legislación para la gestión de los residuos debe tener cierta flexibilidad para que las tecnologías futuras queden contempladas dentro de su régimen. Esto se debe a que en el caso de la U. E., hay una tendencia a alcanzar mayores volúmenes de recuperación estableciendo restricciones del vertido de residuos orgánicos, así como una recogida selectiva y los tratamientos biológicos de la fracción orgánica.

Larrauri, E., Robertson, C, Kóhnlecher, R. Evangelou, M., (1998) han colaborado con varios socios europeos para desarrollar sistemas genéricos de separación y clasificación de materiales sólidos basados en técnicas electrostáticas como: separación electrostática por caída libre, levitación con entrada de aire, tambor electrostático, cinta transportadora electrostática, técnicas utilizadas para la separación de papel y plástico.

Generalmente la separación de plásticos se basa por la diferencia de densidades pero no tienen mucho éxito cuando se trata de densidades similares (PVC/PET, PP/PE) (Laurri, E., Irasari, L. M. et al., 1999). Por otro lado los métodos electroscópicos funcionan mejor, identificando un plástico desconocido por comparación de su espectro con los de otros plásticos conocidos contenidos en la base de datos del equipo, aunque con ciertos

límites. Laurri e Irasarri, han desarrollado una tecnología rápida de identificación y separación de los residuos plásticos para su posterior reciclado, integrando diversas técnicas analíticas como la espectroscopia de emisión atómica inducida por láser (LIBS), espectroscopia de infrarrojo cercano (NIR), y de infrarrojo medio (MIR) en el modo de reflexión, en un sensor híbrido, compensando las limitaciones de cada técnica.

El reciclado químico elimina alguna de las limitaciones del reciclado mecánico, en el que se necesitan grandes cantidades de residuos plásticos limpios y homogéneos, por lo que se pueden tratar más fácilmente plásticos mezclados o heterogéneos, reduciendo costes de recogida y selección. Estos procesos incluyen la despolimerización de plásticos en monómeros por alcoholisis o de materias primas de bajo peso molecular por pirólisis (Martínez O. C, 1998). Cabe mencionar que BASF cuenta con una planta piloto de despolimerización en Escocia con capacidad para 15,000 ton/año, transformando los residuos plásticos mezclados en parafina que al mezclarla con nafta, puede ser utilizada como materia prima para crackers o refinerías.

Papaspyrides, C. D., *et al.* (1999), reportan haber aplicado una técnica de refundición y reestabilización para el reciclaje de botellas amarillas de HDPE, en base al desarrollo de múltiples ciclos de extrusión, a diferentes temperaturas de reprocesamiento, para monitorear la estabilidad del proceso, tanto del material reestabilizado como del no reestabilizado. Así mismo aplicó pruebas de intemperismo artificial para evaluar la estabilidad a la luz de los diferentes grados reciclados. Los resultados revelan el mejoramiento de la calidad del material viejo, permitiendo su reutilización en las aplicaciones originales.

Japón S. (1999), llevo a cabo un estudio donde el PET y el PET reciclado fueron modificados químicamente para mejorar su punto de fusión para evitar un colapso de la estructura espumosa durante la fase de estabilización del proceso de extrusión. Por lo que se pueden obtener paneles de espuma aislante de larga duración.

Por otro lado, en el caso de Asia, Koenig A., (2003) ofrece una perspectiva de la problemática de los hábitos de consumo y consecuente generación de residuos como el funcionamiento del "metabolismo de la sociedad". Los hábitos comunes de consumo de la vida diaria que se requieren para realizar actividades personales como alimentación, limpieza, así como actividades laborales y domésticas entre otras, son la entrada del sistema de dicho metabolismo de la sociedad. La salida por supuesto es la generación de residuos en cualquier tipo de estado. La entrada que a su vez ya tiene integrada cierta cantidad de energía que fue utilizada para fabricar los materiales de consumo, se transforma a lo largo de la aplicación de los mismos en las actividades antes citadas, parte de los materiales y energía se "consume" dentro del sistema y parte sale de él. Se puede observar que esta función trata de un balance de masa y energía.

Este autor también cita algunos eventos tecnológicos importantes en materia de tratamiento de residuos sólidos:

- 1876, primer incinerador en UK.

- ☑ 1885, primer incinerador/crematorio en USA,
- ☑ 1893, primer incinerador en el continente europeo.
- ☑ 1890, primer planta para residuos orgánicos para producir grasa.
- ☑ 1920, primer planta de composteo.
- ☑ 1970, inician los rellenos sanitarios modernos que incluyen selección mecanizada, tratamiento de cenizas, etc..

Los problemas más comunes en un sistema de manejo de residuos sólidos son que no se tiene un ciclo de vida de producto uniforme y además la dificultad de encontrar sitios para rellenos sanitarios.

En Hong Kong, los sitios de transferencia de residuos sólidos cuentan con control de polvos y olores, además de purificadores de aire para poderlos extraer a la atmósfera. Los residuos sólidos se transportan hacia un compactador para transferirlo en transportes más grandes a su disposición final.

Si bien es importante la innovación tecnológica en el caso de los plásticos, para su reducción en el origen y conservación de energía, también es importante asegurar su recuperación después de su uso. Se ha determinado que en Europa, los volúmenes de plásticos reciclados mecánicamente pueden más que duplicarse para el 2006, lo que los coloca como una alternativa viable de recuperación (Mayne, N., 1999).

Actualmente, en Francia, Italia y España los residuos domésticos son tratados biológicamente sin selección (ISWA, 1995). La fracción orgánica es, por lo tanto, separada mecánicamente y digerida. Mientras que en Italia y España se planea adaptar las plantas existentes para la separación de los residuos orgánicos recogidos, este proyecto será prioridad absoluta solamente en Francia, para los desarrollos futuros.

Austria, Dinamarca, Finlandia, Holanda y Noruega, apoyan el composteo doméstico de muchas formas. El composteo ha sido empleado por los agricultores desde hace siglos, como un medio de aporte complementario de suplementos orgánicos baratos de buena calidad y fácilmente accesibles para sus tierras. En la actualidad, los agricultores que todavía compostan en sus fincas son minoría, sin embargo ha crecido el ^ composteo industrial fundamentalmente de residuos sólidos urbanos orgánicos, con el fin de recuperar la materia orgánica que desechamos con grandes costos económicos y ecológicos y obligados por los problemas de contaminación y de impacto ambiental que la eliminación de los residuos urbanos comporta.

Thi Loan, N. (1999), presenta resultados de la aplicación del proceso de composteo del jacinto acuático (*Eichhornia crassipes*), el cual es muy abundante en las regiones tropicales, con residuos sólidos domésticos, produciendo un acondicionador de suelo. Para acelerar el tiempo de maduración es aplicada la siembra de microorganismos, los cuales son proporcionados por el Departamento de Desarrollo de la Tierra (Tailandia). Estos consisten de tres grupos de microorganismos: fungi, actinomicetos y

bacterias. Los resultados muestran que el tiempo requerido para que el proceso de composteo alcance la maduración fue mucho mayor aplicando el composteo en hilera o pila aerobia sin siembra de microorganismos que el composteo con aireación forzada y siembra de microorganismos. La relación de jacinto acuático y residuos sólidos domésticos fue de 4:1 y los tamaños de la siembra bacteriana de 0.01 % a 0.025 % dieron siempre la misma tasa de aceleración del tiempo de maduración. La composta final puede servir como acondicionador de suelo ya que la relación N:P:K resultó ser 2:1:2 del peso total seco. Esta cantidad es bastante mas baja que el estándar de fertilizante sólido donde N:P:K es 12:12:12.

Vilan, C. Q. (1999), presenta una estrategia de reducción de residuos biodegradables con el uso de la tecnología del composteo. Utiliza un organismo benéfico conocido como *Trichoderma* y que participa en la degradación biológica de los residuos para la producción de la composta. El composteo tarda de 3 a 5 meses. Con la aplicación del *Trichoderma*, un activador de los hongos, el proceso se reduce a 3 o 4 semanas.

Mientras que los criterios de calidad para la composta -contenido de metales pesados- ya han sido adaptados a la recolección selectiva en Austria, Dinamarca y Holanda (el límite más estricto lo aplica Holanda), en Italia, Francia y España todavía se usan antiguos valores límite relativamente generosos (ISWA, 1995).

De Fraja F. E. y Vismara R. (1996) en su artículo sobre el futuro del composteo en Italia y analizando los resultados insatisfactorios de calidad de la composta producida en la mayoría de las plantas italianas concluyen lo siguiente:

- El composteo es una solución apropiada para la estabilización de la materia orgánica contenida en algunas corrientes de residuos, especialmente cuando son adoptadas tecnologías simples.
- Puede obtenerse un producto final de buena calidad solamente si el proceso de composteo se aplica a los desechos separados en la fuente, asegurando que no contienen contaminantes o materia indeseable.
- Los residuos sólidos municipales, no separados en la fuente, no son aceptables para la producción de composta de calidad. Los residuos que proveen mas ventajas para el composteo se listan abajo, en orden de preferencia:
- Residuos con alto contenido de materia orgánica biodegradable de mercados de frutas y verduras, de plantas de procesamiento de alimentos, restaurantes y negocios de servicio, mataderos, parques y jardines públicos, etc.
- Lodos derivados de los tratamientos biológicos de aguas residuales provenientes del procesamiento de alimentos, producción animal industrial, manufactura de papel, industrias textiles y de la madera.

- Fracciones orgánicas contenidas en los residuos domésticos.

Con relación a la calidad de la composta, reportan que desde 1990 el Comité de Estándares Europeos de la U. E., ha estado trabajando en un borrador de estándares para clasificar los productos del composteo en dos clases: mejoradores del suelo, o composta de calidad media, cuya acción es mejora la

estructura física del suelo, y medio de crecimiento, o composta de alta calidad, el cual favorece el crecimiento de la planta.

Ha habido presión de algunos investigadores y reguladores durante muchos años para adoptar un estándar basado en los niveles de organismos indicadores. En 1987 un grupo de expertos de la U. E. propuso < 500 col/g (peso húmedo) como nivel recomendado de coliformes fecales y < 5000 col/g (peso húmedo) para los estreptococos fecales, pero todavía no son utilizados de manera general.

5. METODOLOGÍA

A continuación, se describen las actividades realizadas para conformar la gestión integral de residuos sólidos urbanos de los municipios de Actopan, San Salvador y El Arenal del estado de Hidalgo:

- Selección de zona de estudio

Selección de municipios aledaños a la capital del estado de Hidalgo. Identificación de las ventajas y/o desventajas de elección de distintos municipios aledaños a la capital del estado de Hidalgo

- Características generales de la zona de estudio.

¹ Síntesis geográfica de la zona de estudio

Localización y superficie

Climatología

Fisiografía

Hidrología

Fauna

- Identificación de la situación socio-económica y cultural y de gestión en residuos sólidos de la zona de estudio y de cada uno de los municipios seleccionados

Descripción de la situación socio-económica y cultural, así como de gestión de residuos sólidos actual de la zona de estudio

Descripción de aspectos geográficos socio-económicos y culturales de cada municipio

Descripción de la actual administración en gestión de residuos sólidos de cada municipio.

Para conocer esta condición, se requirió diseñar un cuestionario que reflejara el manejo administrativo del servicio de limpia y de los vertederos (**tabla 5.1**), (Barradas A., 1999).

Tabla 5.1.- Cuestionario de manejo de residuos sólidos municipales

**CUESTIONARIO
MANEJO DE RESIDUOS SÓLIDOS MUNICIPALES
UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DEL ESTADO DE HIDALGO**

Datos de la localidad.

1. Municipio:
2. Entidad:

3. Actividades predominantes de la población:
4. Características climáticas, temperatura y precipitación:
5. Planos del municipio y localidades: Demarcación de las distintas zonas (residencial, comercial e industrial), tipo de calles (pavimento, hormigón, empedrado), sentido de circulación de calles y avenidas, Topografía del municipio (elevaciones, ríos, arroyos, depresiones, etc.).

Organización del servicio

1. Modalidad del servicio, municipal o particular, especifique:
2. Organigrama de la organización técnico administrativa del servicio de limpia.
3. Normatividad que rige el saneamiento y gestión de los residuos sólidos:
4. Existe manual de organización:
5. Existe algún programa de educación ambiental:
6. Personal que labora en el servicio de limpia, especifique:
7. Costos de operación por día para el servicio de limpia, mantenimiento y operación del vertedero municipal:
8. Tarifa por el servicio de recolección:
9. Proveniencia de recursos para brindar el servicio de limpia:
10. Participación de universidades e instituciones de educación e investigación en la organización del servicio de limpia.

Recolección de residuos sólidos

1. Cantidad de residuos provenientes de limpieza de las calles y barrido:
2. Frecuencia de servicio de barrido:
3. Ruta gráfica del servicio de barrido.
4. Equipo del servicio de barrido, especificar estado:
5. Cantidad de residuos provenientes de domicilios, comercio e industria:
6. Frecuencia de servicio de recolección:
7. Ruta gráfica del servicio de recolección.
8. Equipo del servicio de recolección, especificar estado:
9. Problemas ambientales y de salud de trabajadores y de la población ocasionados por el sistema de recolección y transporte de residuos sólidos:
10. Acciones de mitigación o eliminación de los mismos:

Desviación y disposición final de residuos sólidos

1. Métodos actualmente en uso de la localidad para la desviación de los residuos sólidos y sus expectativas.
2. Separación y recuperación de materiales, especifique:
3. Cantidad de material que se segrega de la disposición final, por tipo:
4. Destino de materiales segregados:
5. Comercialización de dichos materiales:
6. Método de composteo, especifique:
7. Método de incineración, especifique:
8. Método de disposición final de residuos sólidos:
9. Ubicación gráfica del vertedero:

10. Volumen y/o toneladas de residuos recolectadas al día:
11. Modalidad de la propiedad, municipal o particular:
12. Característica topográfica del terreno:
13. Tipo de suelo del terreno:
14. Profundidad de la capa freática de la zona de vertido:
15. Superficie del vertedero o relleno sanitario:
16. Superficie ocupada actualmente del vertedero:
17. Existe algún manual de procedimiento de las actividades en vertedero:
18. Inconvenientes en las tareas de operación y control del vertedero.
19. Restricciones técnicas de recepción de residuos sólidos:
20. Equipo del servicio de disposición final, especificar estado:
21. Problemas ambientales y de salud de trabajadores y de la población ocasionados por las actividades de disposición final de residuos sólidos:
22. Acciones de mitigación o eliminación de los mismos:

Recuperación y reciclaje de residuos

1. Ubicación de planta de separación:
2. Procedencia, calidad, fracción porcentual y precio de venta de materiales separados:
3. Ubicación de centro de acopio:
4. Tipo de material que se recibe:
5. Procedencia, calidad y precio de compra y venta de materiales:
6. Ubicación de empresa de reciclaje:
7. Tipo de material que se recibe:
8. Procedencia, calidad y precio de compra de materiales:
9. Producción total de material reciclado
10. Precio de venta de producto realizado con material reciclado contra producto realizado con material original.

Fecha: _____

Responsable: M. en C. Gabriela Sánchez Olguín
 Doctorando del Centro de Investigaciones Químicas
 U.A.E.H.

Manipulación de los RSU en los domicilios de la zona de estudio

Descripción de las actividades de manejo de residuos sólidos domésticos de los ciudadanos de la zona de estudio

Para conocer esta condición, se requirió diseñar un cuestionario que enfoque las características socio-económicas y culturales de las familias en la zona de estudio; así como los hábitos propios en el Manejo de Residuos Sólidos Urbanos (MRSU) (**tabla 5.2**). Las encuestas se realizaron bajo el criterio de inspección por muestreo utilizando las tablas de muestreo MIL-STD-105D, para determinar el tamaño de la muestra. Por lo que se realizaron 100 encuestas cuyos resultados representaron a la población total de la zona de estudio y se aplicaron en proporción a la población de los municipios en estudio, así se realizaron 50 encuestas en Actopan, 30 en San Salvador y 20 en El Arenal. Además de las cabeceras municipales se sondearon diversas localidades (ver Anexo). En Actopan: Bothi Baji, Boxaxni, Boxtha, Canguihuindo, Cañada Chica Antigua, Chicavasco, Daxtha, La Estancia, La Loma, Magdalena, Plomosas, Pozo Grande y San Andrés. En San Salvador: Casa Blanca, Casa Grande, Caxuxi, Colorado, Demacú, Lagunilla, Olvera, Poxindeje, Leandro Valle, San Antonio, Santa María Amajac, Teofani y Xuchitlán. En El Arenal: El Jiade, El Rincón, Fray Francisco, San Jerónimo y San José Tepenené. La base de

datos se conformó en el programa SPSS 8.0 para someterlos a un análisis estadístico descriptivo. Ver Anexo.

Tabla 5.2.- Cuestionario de manejo de residuos sólidos en los domicilios

**CUESTIONARIO
MANEJO DE RESIDUOS SÓLIDOS EN LOS DOMICILIOS
UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DEL ESTADO DE HIDALGO**

Localidad: _____ Municipio: _____
Dirección de la vivienda: _____

Ingreso familiar:
a) bajo b) medio c) alto
Personas que habitan la vivienda:
a) una b) dos c) de 3 a 5 d) de 6 a 8 e) de 9 ó más
Tipo de vivienda:
a) sola b) condominio c) vecindario
Material de construcción de vivienda:
a) manpostería b) techo de lámina c) adobe d) otros
Patio:
a) pequeño b) amplio c) área verde d) árboles
Tipo de animales que existen en la vivienda:
a) perro b) gato c) aves canoras d) aves de corral e) cerdos f) otros
Cantidad de animales existentes en la vivienda
a) uno b) dos c) de 2 a 4 d) de 5 ó más

Cantidad aproximada de generación de residuos sólidos:
Material que separa en origen:
a) residuos alimenticios b) papel periódico c) papel de archivo d) pañal desechable e) lata de conservas f) cartón g) residuos de jardinería h) plástico de película i) lata aluminio j) plástico rígido k) plástico pet l) vidrio m) otro n) ninguno
Lugar de almacenamiento de residuos sólidos
a) interior de la vivienda b) patio c) no específico
De que manera evacúa los residuos sólidos de su domicilio:
a) camión recolector b) traslado al vertedero c) traslado a depósito d) traslado a planta de separación, centro de acopio o planta de reciclaje e) incineración
Aportación por el servicio de recolección de residuos sólidos
a) ninguna b) un peso c) de 2 a 4 pesos d) de 5 ó más

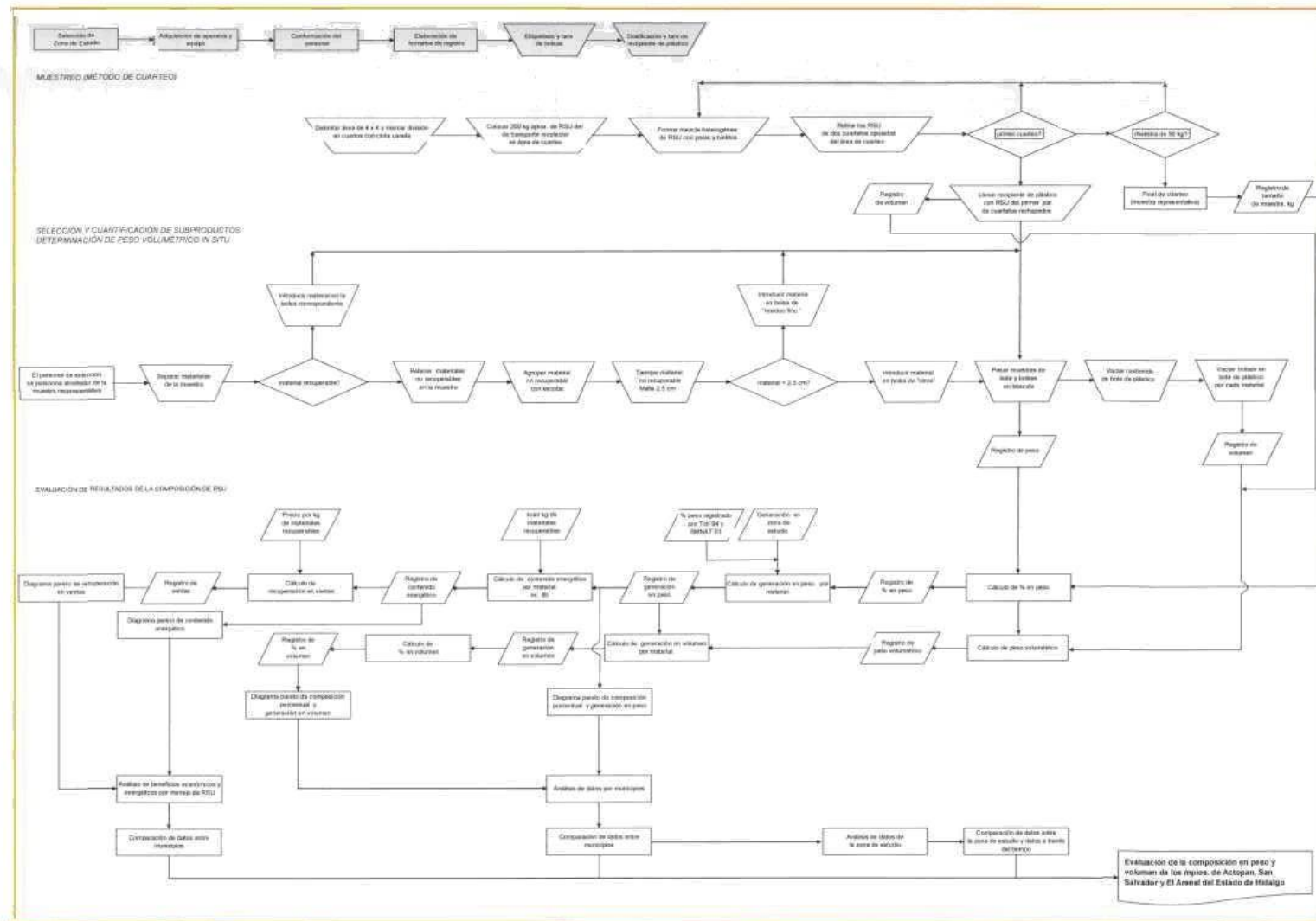
Está dispuesto a participar en un programa de separación de residuos en casa y colecta selectiva?
a) si b) no
Material que tiene la posibilidad de separar: de a) a n)
Permitiría la instalación de un centro de recuperación y/o reciclaje de materiales en su localidad (mínimo a 1.5 km por norma)? a) si b) no
Considere que estas últimas medidas no son a corto plazo pero requieren una rápida implementación.
Mantiene la primera respuesta? a) si b) no
Mantiene la tercera respuesta? a) si b) no Fecha: _____

Responsable: M. en C. Gabriela Sánchez Olguín
Doctorando del Centro de Investigaciones Químicas, U.A.E.H.

• **Evaluación de la composición de residuos sólidos de los municipios seleccionados**

La metodología para la evaluación de la composición de los residuos sólidos de los municipios seleccionados puede visualizarse en el diagrama de flujo de la **figura 5.1.**

Figura 5.1.- Diagrama de flujo de la evaluación de la composición de RSU



1. Determinación del lugar de estudio. Se requiere de un lugar amplio y de fácil acceso y manipulación de los residuos sólidos urbanos a evaluar, de acuerdo a la norma NMX-AA-015-1985 (SECOFI 1985), se necesita un área plana horizontal de 4x4 m. de cemento pulido o similar y bajo techo. Se debe considerar el arreglo de equipo (lay out) que se presentó en el capítulo anterior en la **figura 4.2**.
2. Conformación del equipo de trabajo. Se requiere de personal especializado en manejo de RSU y personas de apoyo para manipulación de dichos residuos.
3. Conformación del material de trabajo. Se requiere de los siguientes materiales:
 - Báscula de piso, con capacidad de 200 kg
 - Bolsas de polietileno de 1.10 m x 0.90 m y calibre mínimo del No. 200, para el manejo de los subproductos (tantas como sean necesarias)
 - Tambos metálicos de forma cilíndrica, con capacidad de 200 l.
 - Palas curvas
 - Bieldos
 - Overoles
 - Guantes de carnaza
 - Escobas
 - Botas de hule
 - Mascarillas protectoras
 - Papelería (cédula de informe de campo y base de datos (**tabla 5.3 y 5.4**)).
 - Varios (marcadores, ligas, etc.).

Tabla 5.3.- Cédula de informe de campo.

CEDULA DE INFORME DE CAMPO PARA EL CUARTEO DE LOS RESIDUOS SOLIDOS.

No de Folio. _____

Localidad _____ Municipio _____ Estado _____

Fecha y hora del cuarteo _____

Procedencia de la Muestra _____

Condiciones Climatológicas Imperantes Durante el Cuarteo (describe):

Cantidad de Residuos Sólidos para el Cuarteo _____ kg aprox (< 250 bolsas)

Cantidad de Residuos Sólidos para la Selección de Subproductos, G = _____ kg aprox (> 50 kg)

Cantidad de Residuos Sólidos para los Análisis Físicos, Químicos y Biológicos _____ (10 kg)

Responsable del Cuarteo:
 Nombre: _____ Cargo _____

Dependencia o Institución _____

Observaciones _____

Peso volumétrico del residuo sólido, $P_v =$ _____ kg/m^3 $P_v = \frac{P}{V}$

Peso de los residuos sólidos (peso bruto menos tara), $p =$ _____ kg

Volumen del recipiente, $V =$ _____ m^3

Tara _____

Porcentaje del subproducto considerado, PS G_1

Peso del subproducto considerado, en kg; descontando el peso de la bolsa empleada, G1 $PS = \frac{G_1}{G} \times 100$

Peso total de la muestra (mínimo 50 kg), G G

Tabla 5.4.- Base de datos de la determinación de composición de RSU.

MATERIAL	Gi	Gi	Gi	Gi	Gi	Gi	G1 = suma (Gi)	PS, %
1 Algodón								
2 Cartón								
3 Cuero								
4 Residuos fino								
5 Envase de cartón encerado								
6 Fibra dura vegetal (esclerénquima)								
7 Fibras sintéticas								
8 Hueso								
9 Hule								
10 Lata								
11 Loza y cerámica								
12 Madera								
13 Material de construcción								
14 Material ferroso								
15 Material no ferroso								
16 Aluminio								
17 Papel								
18 Pañal desechable								
19 Plástico rígido								
20 Plástico de película								
21 Poliuretano								
22 Poliestireno expandido								
23 PET								
24 Residuos alimenticios (vease ob's)								
25 Residuos de jardinería								
26 Trapo								
27 Vidrio de color								
28 Vidrio transparente								
29 otros								

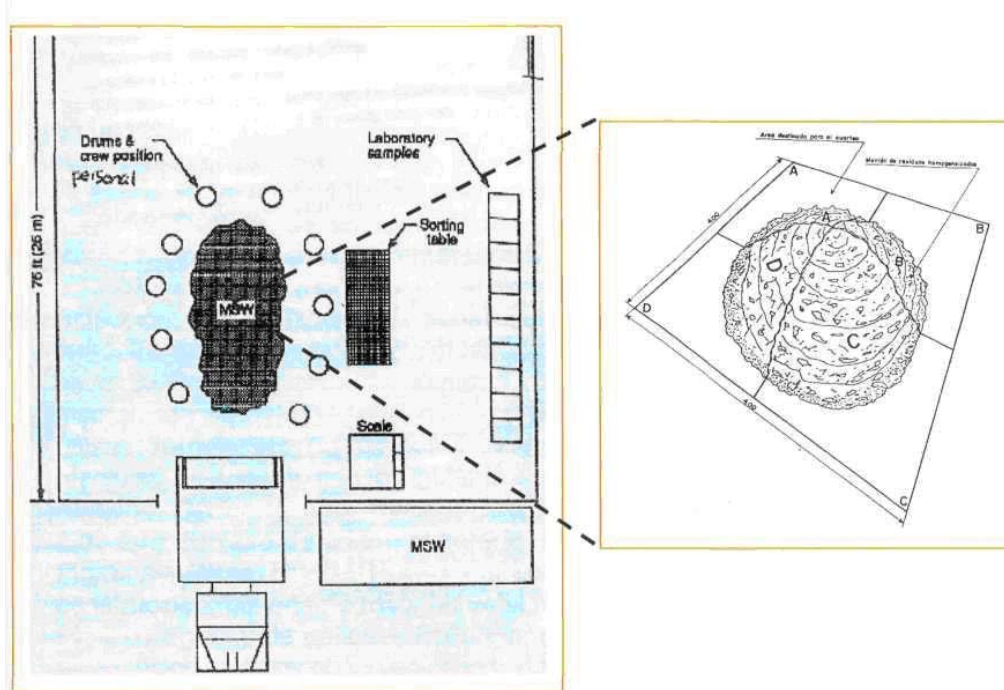
Peso total de la muestra en kg, G = 0 0

4. Muestreo de los RSU en los vertederos municipales. Para este paso se desarrolla la norma mexicana NMX-AA-015-1985 (Secretaría de Comercio y Fomento Industrial, SECOFI 1985), que establece el proceso para toma de muestras de los equipos recolectores, dividiendo en cuatro partes (Método del Cuarteo) cada una de éstas de donde se segrega un par de cuartetos opuestos para formar una nueva mezcla homogénea. El cuarteo se repite hasta alcanzar un peso no menor a 50 kg.

Para efectuar este método de cuarteo, se requiere la participación de cuando menos tres personas.

Para realizar el cuarteo, se toman las bolsas de polietileno conteniendo los residuos sólidos, resultado del estudio de generación según la Norma Oficial Mexicana NOM-AA-61. En ningún caso se toma más de 250 bolsas para efectuar el cuarteo. El contenido de dichas bolsas, se vacía formando un montón sobre un área plana horizontal de 4 m x 4 m de cemento pulido o similar y bajo techo. El montón de residuos sólidos se traspalea con pala y/o bieldo, hasta homogeneizarlos, a continuación se divide en cuatro partes aproximadamente iguales A B C y D (**figura 5.2**), y se eliminan las partes opuestas A y C ó B y D, repitiendo esta operación hasta dejar un mínimo de 50 kg de residuos sólidos con los cuales se debe hacer la selección de subproductos de acuerdo a la Norma Oficial Mexicana NOM-AA-22. De las partes eliminadas del primer cuarteo, se determina el peso volumétrico de los residuos sólidos "in situ", según Norma Oficial Mexicana NMX-AA-19.

Figura 5.2.- Método del Cuarteo



5. Determinación de peso volumétrico in situ. Esta etapa se realiza conforme a la NMX-AA-019-1985 (SECOFI 1985a), que indica que se debe tomar la primera fracción segregada en el paso anterior para llenar un tambor de 200L de capacidad el cual se tara y se pesa la muestra. El peso obtenido se utiliza para el cálculo del peso volumétrico

Para esta determinación se llena el tambor de 200 l. hasta el tope con residuos sólidos homogeneizados, obtenidos de las partes eliminadas del primer cuarteo según la Norma Oficial Mexicana NOM-AA-15; golpear el recipiente contra el suelo tres veces dejándolo caer desde una altura de 10 cm. Nuevamente agregar residuos sólidos hasta el tope, teniendo cuidado de no presionar al colocarlos en el recipiente; esto con el fin de no alterar el peso volumétrico que se pretende determinar.

Se debe tener cuidado de vaciar dentro del recipiente todo el residuo sin descartar los finos.

Para obtener el peso neto de los residuos sólidos, se pesa el recipiente con estos y se resta el valor de la tara.

Cuando no se tenga suficiente cantidad de residuos sólidos para llenar el recipiente se marca en éste, la altura alcanzada y se determina dicho volumen.

El peso volumétrico del residuo sólido se calcula mediante la siguiente fórmula.

$$P_v = \frac{p}{V}$$

en donde:

P_v = Peso volumétrico del residuo sólido, en kg/m^3

p = Peso de los residuos sólidos (peso bruto menos tara), en kg

V = Volumen del recipiente, en m^3

6. Selección y cuantificación de subproductos de acuerdo a la MNX-AA-022-1985. En esta fase se utiliza la muestra obtenida con un peso de 50 kg en el paso 3. De la muestra se separan los materiales recuperables que se marcan en la NMX-AA-022-1985 (SECOFI 1985b), depositándolos en bolsas de polietileno o tambos previamente etiquetados, hasta agotar los residuos, de acuerdo con la siguiente clasificación:

Algodón, Cartón, Cuero, Residuo fino (todo material que pase la criba de 2.00 cm), Envase de cartón encerado, Fibra dura vegetal (esclerénquima), Fibras sintéticas, Hueso, Hule, Lata, Loza y cerámica, Madera, Material de construcción, Material ferroso, Material no ferroso, Papel, Pañal desechable, Plástico rígido y de película, Poliuretano, Poliestireno expandido, Residuos alimenticios (Véase observaciones), Residuos de jardinería, Trapo, Vidrio de calor, Vidrio transparente, Otros.

Los subproductos ya clasificados se pesan por separado en la báscula y se anota el resultado en la hoja de registro.

El porcentaje en peso de cada uno de los subproductos se calcula con la siguiente expresión:

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

En donde:

PS = Porcentaje del subproducto considerado.

G_1 = Peso del subproducto considerado, en kg; descontando el peso de la bolsa empleada.

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

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

Por último se reportará un listado con los componentes, su peso y el porcentaje de los subproductos.

7. Determinación de peso volumétrico de los materiales seleccionados. Cada una de las fracciones seleccionadas en el paso 6 se vierten en el tambo de 200l. para obtener el volumen ocupado y se calcula el peso volumétrico de acuerdo al paso 5.

8 Evaluación de los resultados. La composición en peso y en volumen son parámetros fundamentales que representan la base de las determinaciones necesarias para la comprensión y solución de la problemática del manejo de desechos sólidos, por lo que se requieren las siguientes determinaciones:

- a. Determinación de la generación municipal en peso y volumen, y porcentaje en volumen de cada material respecto a la generación total de cada municipio
- b. Cálculo de los beneficios económicos y energéticos de estos con base en datos de precio de venta de materiales recuperables (Medina-Gómez 2003)
- c. Cálculo del contenido energético típico por kilogramo base seca de material recuperable (Tchobanoglous 1994).
- d. Descripción y comparación de los resultados obtenidos en cada uno de los municipios
- e. Descripción de los resultados de la zona de estudio
- f. Determinación de la posibilidad de desarrollar una GIRSU regional.
- g. Demostración de transformación de la composición de RSU a través del tiempo para poder enunciar como obsoletos los datos bibliográficos

Se utiliza la técnica de Análisis de Varianza (ANOVA) de diseño de experimentos, para determinar si las diferencias en los valores obtenidos son o no significativos. Este análisis es determinante para saber si se puede realizar una GIRSU regional, además de demostrar si la composición de residuos sólidos urbanos ha sufrido una transformación a través del tiempo y poder enunciar como obsoletos los datos bibliográficos. Para lo cual los datos obtenidos de la composición en la zona de estudio por cada municipio se conforman en la matriz de datos de muestra (**tabla 5.5**) para luego realizar el cálculo de la ANOVA (**tabla 5.6**). Se realiza lo mismo para los datos que arrojan Semarnat (SEMARNAT, 2002) para México en el 2001 y Tchobanoglous (Tchobanoglous, 1994) para Estados Unidos en 1990, contra los que resultaron como promedio en la zona de estudio en 1995.

Tabla 5.5.- Matriz para los datos de muestra

Datos de muestra de clasificación de una variable						
Observaciones						Totales
	1	2	.	.	a	
1	$y_{1,1}$	$y_{1,2}$.	.	$y_{1,a}$	
2	$y_{2,1}$	$y_{2,2}$.	.	$y_{2,a}$	
3	$y_{3,1}$	$y_{3,2}$.	.	$y_{3,a}$	
.	
.	
n _i	$y_{n_i,1}$	$y_{n_i,2}$.	.	$y_{n_i,a}$	
Totales	t.1	t.2	.	.	t.k	t..
Tamaño de muestra	n_1	n_2	.	.	n_a	N

Tabla 5.6.- Tabla de Análisis de Varianza (ANOVA)

Fuente de Variabilidad	Suma de Cuadrados	Grados de Libertad	Cuadrado Medio	Fo	F,α,a-1,N-a	Comparacion Fo y F,α,a-1,N-a
Tratamientos (entre grupos)	$SSTrat = 1/n \sum y_i^2 - y^2/N$	a-1	$MSTrat = SSTrat/(a-1)$			
Error (dentro de grupos)	$SSE = SST - SSTrat$	N-a	$MSe = SSE/(N-a)$	$Fo = MSTrat/MSe$	(de tablas)	Ho rechazada si $Fo > F_{\alpha,a-1,N-a}$
Total	$SST = \sum y_{ij}^2 - y^2/N$	N-1				

■ **Evaluación de la práctica de composteo, como procesamiento doméstico de RSU de la zona en estudio.**

Localización y descripción del composteo

Descripción física de la composta

Determinación de las propiedades químicas de la composta

Los parámetros a determinar son: pH, Humedad, Cenizas, Materia Orgánica, Carbono Orgánico, Nitrógeno Total, Fósforo Total, y Relación Carbono/Nitrógeno. Para lo cual se desarrollaron las metodologías descritas en la normatividad correspondiente.

- ☑ NMX-AA-052-1985. Protección al Ambiente - Contaminación del Suelo - Residuos Sólidos Municipales - Preparación de Muestras en el Laboratorio para su Análisis
- ☑ NMX-AA-016-1984. Protección al Ambiente - Contaminación del Suelo- Residuos Sólidos Municipales-Determinación de Humedad
- ☑ NMX-AA-018-1984. Protección al Ambiente - Contaminación del Suelo- Residuos Sólidos Municipales-Determinación de Cenizas
- ☑ NMX-AA-021-1985. Protección al Ambiente - Contaminación del Suelo- Residuos Sólidos Municipales-Determinación de Materia Orgánica
- ☑ Nmx-aa-024-1984. Protección al Ambiente - Contaminación del Suelo- Residuos Sólidos Municipales - Determinación de Nitrógeno Total
- ☑ NMX-AA-025-1984. Protección al Ambiente - Contaminación del Suelo- Residuos Sólidos-Determinación del pH-Método Potenciométrico
- ☑ NMX-AA-067-1985. Protección al Ambiente - Contaminación del Suelo- Residuos Sólidos Municipales-Determinación de la Relación Carbono / Nitrógeno
- ☑ NMX-AA-094-1985. Protección al Ambiente - Contaminación Del Suelo - Residuos Sólidos Municipales - Determinación de Fósforo Total

6. RESULTADOS

■ Selección de zona de estudio

Selección de municipios aledaños a la capital del estado de Hidalgo.

El marco de éste estudio contempla las siguientes consideraciones preliminares: municipios aledaños a la capital del estado de Hidalgo, que se encuentren en un perímetro de 50 km. alrededor de la misma, que se encuentren comunicados por autopista o carreteras y que no cuenten con relleno sanitario. Se inició la selección de municipios conformando cinco grupos de ellos, que entre sí existe una cercanía contigua. Así, los grupos se conformaron de la siguiente manera:

- Primer grupo: El Arenal, Actopan y San Salvador.
- Segundo grupo: Mineral del Chico, Mineral del Monte.
- Tercer grupo: Omitían, Atotonilco el Grande y Huasca de Ocampo.
- Cuarto grupo: Zempoala, Tlanalapa y Emiliano Zapata.
- Quinto grupo: Zapotlán de Juárez, Villa de Tezontepec y Tolcayuca.

Identificación de las ventajas y/o desventajas de elección de distintos municipios aledaños a la capital del estado de Hidalgo

A continuación se presentan las observaciones generales de acuerdo a su demografía, topografía, vías de comunicación, situación social, educación, economía y cultura:

El segundo y tercer grupo, tiene demasiada variedad en la fisiología de sus suelos, por lo que sus pendientes altas no son convenientes a nuestros propósitos.

El cuarto grupo, presenta problemas económicos, incluso de delincuencia, por lo que sería difícil introducir un cambio de actitud en las personas de esta región.

El quinto grupo ha sufrido un cambio demográfico y social considerable los últimos años, por el establecimiento de población proveniente del Distrito Federal y del estado de México, situación que tampoco es muy recomendable para nuestro estudio, ya que presentaría fluctuaciones en la generación de RSU.

Por lo que se ha seleccionado el primer grupo que conforma los municipios de El Arenal, Actopan y San Salvador (**tabla 6.1**), INEGI, 2000), ya que presenta mayor accesibilidad al conectarse por la carretera México-Laredo y por ser una región que ha comenzado por interesarse en la gestión de residuos sólidos, lo que nos permitirá introducir un cambio en los hábitos del manejo de los mismos. También se considera ideal, ya que sus suelos son llanuras y no hay cambios grandes en su demografía.

Tabla 6.1.- Información estadística de los municipios de Actopan, El Arenal y San Salvador

Clave	Municipio/localidad	Población, hab	No. Localidades	Generación estimada 2003, kg/día	Tiraderos de Basura a Cielo Abierto, Ha.	Rellenos Sanitarios, Ha.	% Analfabetas, 15 a. o más	No. Unidades Médicas del Sector Salud
3	Actopan	46,010	38	34,507	1.0	0.0	9%	16
9	El Arenal	14,223	23	9,956	0.0	0.0	11%	6
54	San Salvador	28,980	43	20,286	1.0	0.0	12%	12

Clave	Municipio/localidad	Cabezas ganado bovino (carne)	Cabezas ganado bovino (leche)	Cabezas ganado porcino	Cabezas ganado ovino	Cabezas ganado caprino	Aves Gallináceas (carne)	Aves Gallináceas (huevo)
3	Actopan	7,500	6,500	4,020	13,464	7,820	104,000	10,696
9	El Arenal	4,200	680	2,400	7,874	4,210	33,000	1,800
54	San Salvador	2,700	3,630	4,120	15,249	2,625	-	23,780

Clave	Municipio/localidad	Aves Guajolote	Colmenas	Superficie de actividad ganadera total, Ha	Superficie de actividad ganadera pradera, Ha	Superficie de actividad ganadera agostadero, Ha	Superficie de actividad ganadera matorrales, Ha	Superficie total sembrada, Ha
3	Actopan	2,250	78	10,643	-	9,878	765	-
9	El Arenal	1,152	50	4,602	-	2,752	1,850	-
54	San Salvador	2,803	130	6,951	-	2,291	4,660	-

Clave	Municipio/localidad	Superficie total sembrada de maíz grano (c. ciclico), Ha	Superficie total sembrada de cebada grano (c. ciclico), Ha	Superficie total sembrada de avena forrajera (c. ciclico), Ha	Superficie total sembrada de trigo grano (c. ciclico), Ha	Superficie total sembrada de cebada forrajera (c. ciclico), Ha	Superficie total sembrada de calabacita (c. ciclico), Ha	Superficie total sembrada de chile verde (c. ciclico), Ha
3	Actopan	2,996	2,057	66	-	146	47	27
9	El Arenal	2,595	520	98	-	45	4	1
54	San Salvador	3,250	1,044	77	-	261	131	23

Clave	Municipio/localidad	Superficie total sembrada de tomate verde (c. ciclico), Ha	Superficie total sembrada de ejote (c. ciclico), Ha	Superficie total sembrada de jitomate (c. ciclico), Ha	Superficie total sembrada de pastos y praderas (c. ciclico), Ha	Superficie total sembrada de cilantro semilla (c. ciclico), Ha	Superficie total sembrada de haba verde (c. ciclico), Ha	Superficie total sembrada de zempoalxochitl (c. ciclico), Ha
3	Actopan	5	-	8	-	-	1	-
9	El Arenal	1	-	1	-	-	-	-
54	San Salvador	19	1	2	70	2	5	1

Clave	Municipio/localidad	Superficie total sembrada de huauzontle (c. ciclico), Ha	Superficie total sembrada de alfalfa verde (c. perenne), Ha	Superficie total sembrada de pastos y praderas (c. perenne), Ha	Superficie total sembrada de maguey pulquero (c. perenne), Ha	Superficie total sembrada de nopal (c. perenne), Ha	Superficie total sembrada de durazno (c. perenne), Ha	Superficie total sembrada de nopalitas (c. perenne), Ha
3	Actopan	7	1,202	61	10	650	0	1
9	El Arenal	-	73	0	1	310	30	24
54	San Salvador	-	2,182	74	15	380	0	3

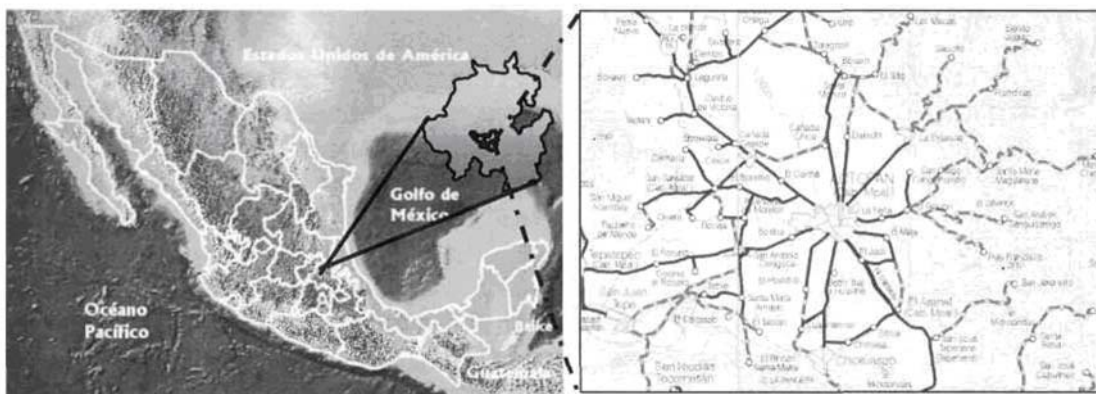
Clave	Municipio/localidad	Superficie total sembrada de rosa (c. perenne), Ha	Superficie total sembrada de xoconoxtle (c. perenne), Ha
3	Actopan	0	1
9	El Arenal	0	0
54	San Salvador	0	0

▪ **Características generales de los municipios seleccionados**

Las características más relevantes de éstos de estos municipios se pueden resumir como sigue, (INEGI, 2000 y COEDE, 2003):

y Actopan, San Salvador y El Arenal, pertenecen al estado de Hidalgo y forman parte del extenso Valle del Mezquital (**figura 6.1**). Estos municipios se encuentran perfectamente comunicados a través de la carretera internacional México-Laredo (INEGI, 1992 y 2002).

Figura 6.1.- Zona de Estudio y localización de los municipios de Actopan, San Salvador y El Arenal del estado de Hidalgo.



CABECERAS MUNICIPALES DE ZONA DE ESTUDIO	LATITUD	LONGITUD	ALTITUD (m)
ACTOPAN	20°16'01"	98°56'41"	2000
ARENAL, EL	20°13'14"	98°54'35"	2040
SAN SALVADOR	20°17'02"	99°00'48"	1940

- ☑ En conjunto forma una población de 89,212 habitantes distribuidos en 104 localidades. Actopan cuenta con 46,010 habitantes y 38 localidades, San Salvador con 28,980 habitantes y 43 localidades, por último, El Arenal cuenta con 14,223 habitantes y 23 localidades.
- ☑ La población de esta zona tiene un índice de analfabetismo del 9 al 12% en personas mayores a 15 años, cuenta con 34 unidades médicas del Sector Salud.
- ☑ Las actividades predominantes son la ganadería y agricultura. Dentro de estas se puede encontrar la cría de ganado bovino, ovino, caprino y porcino, la cría de aves de corral como gallinas y guajolotes.
- ☑ La población de estos tres municipios alcanza a generar alrededor de 65 ton. por día de residuos sólidos que se depositan en tiraderos de cielo abierto.
- ☑ Estos municipios se encuentran entre 30 a 50 km. de la capital del Estado.

▪ Síntesis geográfica de los municipios seleccionados

Localización y superficie

Actopan, San Salvador y El Arenal se encuentran localizados en el estado de Hidalgo en las proximidades de la capital del Estado (**figura 6.1**, Información Digital INEGI)

- ☑ Actopan, cuenta con una superficie de 250 km², limita al este con el municipio de Atotonilco el Grande y Mineral del Chico; al oeste con San Salvador; al norte con el municipio de Santiago de Anaya y Metztitlán; al sur con el municipio de El Arenal.
- ☑ San Salvador, cuenta con una superficie de 220 km², limita al este con los municipios de El Arenal y Actopan; al oeste con los municipios de Francisco I. Madero y Mixquiahuala; al norte con Santiago de Anaya; al sur con el municipio de Ajacuba.
- ☑ El Arenal, cuenta con una superficie de 155 km², limita al este con el municipio de Mineral del Chico; al oeste con los municipios de Ajacuba y San Salvador; al norte con el municipio de Actopan; al sur con el municipio de San Agustín Tlaxiaca.

Climatología

Como se ha descrito anteriormente, geográficamente el estado de Hidalgo se constituye de climas cálidos y semicálidos, templados, así como secos y semisecos. En algunas regiones por su considerable altitud tienen climas semifríos.

El área que nos compete, la del Eje Neovolcánico, presenta climas semisecos templados con lluvias en verano. Esta zona abarca casi toda la región conocida como "El Valle de Mezquital", incluye La Mesa Rincón y Los Caballos, se extiende hacia el norte hasta los alrededores del cerro Las Ruletas, también se distribuye en la porción correspondiente a la barranca Alcachofa y al río Tulancingo, así como por parte del municipio de Mezquititlán y algunas regiones cercanas a Pachuca. Así mismo pueden presentarse granizadas hasta de 4 días por año, las cuales no son determinantes para el desarrollo de cultivos como lo serían las heladas. La temperatura media anual es de 14.8°C, ocurre la máxima en mayo con 17.3°C y la mínima en noviembre con 9.4°C. La precipitación total anual es de 543.4 mm., con máxima incidencia en septiembre 117.4 mm. y mínima en enero con 8.8 mm.

Parte del municipio de Actopan, en sus cercanías con Atotonilco el Grande, presenta climas templados subhúmedos con lluvias en verano, con temperatura media anual de 14.5 °C. La máxima es en mayo con 21.2°C y la mínima en diciembre con 8.3°C. Tiene una precipitación total anual de 610.8 mm., la cual presenta valores máximos en el mes de julio con 104.7 mm., y es mínima en diciembre con apenas 7.2 mm.

Fisiografía

Los límites del estado de Hidalgo encierran áreas que corresponden a tres provincias fisiográficas del país: La Sierra madre Oriental, El Eje Neovolcánico y La Llanura Costera del Golfo del Norte. El Eje Neovolcánico, área de estudio de interés, está conformado por dos subprovincias: Llanuras y Sierras de Querétaro e Hidalgo y la de los Lagos y volcanes de Anáhuac. Las características litológicas y estructurales de las rocas que afloran en estas provincias indican que hubo diferentes eventos geológicos de tipo orogénico, que asociados al volcanismo y al relleno de cuencas oceánicas dieron el carácter estructural a esta Entidad.

La zona en cuestión pertenece a la zona geológica del Eje Neovolcánico, ésta provincia cubre gran porción del estado, sobre todo en el sur y está constituida predominantemente por rocas volcánicas terciarias y cuaternarias (brechas, tobas y derrames riolíticos intermedios y basálticos), de composición y textura variada, las cuales forman en conjunto un extenso y grueso paquete que en algunas localidades, alcanza varios miles de metros de espesor. Este conjunto ha sido superpuesto a las rocas sedimentarias mesozoicas por los fenómenos de volcanismo. De estas últimas se encuentran algunos afloramientos que sobresalen en forma de cerros aislados en medio del dominio de las rocas ígneas, como en las localidades de Tula de Allende y Atotonilco de Tula, donde afloran cerros de caliza que tienen un uso industrial.

La subprovincia que comprende el área de estudio es la de Llanuras y Sierras de Querétaro e Hidalgo, Esta subprovincia se extiende desde el oeste de la ciudad de Querétaro hasta Pachuca Hidalgo, con una superficie dentro del estado de 7,821.33 km², por supuesto abarca totalmente los municipios de interés que se caracterizan fisiológicamente por llanuras. Estos sistemas son de topoformas de lomerío suave de origen sedimentario y aluvial con altitud de 2,200 m y pendientes suaves, donde el área en cuestión presenta una topografía de llanuras de piso rocoso, de origen sedimentario con influencia volcánica, con litología de aluvión, ígnea extrusiva básica, arenisca-toba e ígnea extrusiva ácida con pendientes suaves.

○ Suelos

Predominan los suelos de textura media, negros o pardos oscuros con una capa superficial rica en materia orgánica y nutrientes, arcilla o cal llamados Feozem Háplico, Lúvico o Calcáneo respectivamente.

Los suelos son de textura gruesa y media de fase dúrica (duripan a menos de 50 cm. de profundidad) en El Arenal, de fase petrocálcica (horizonte petrocálcico a menos de 50 cm de profundidad), de fase pedregosa (fragmentos mayores de 7.5 cm. en la superficie o cerca de Ha que impiden el uso de maquinaria agrícola).

En los llanos de Actopan, que son amplias áreas de terrenos planos con piso rocoso asociados a lomeríos, los suelos son del tipo Feozem, con gran aportación de carbonatos provenientes de las sierras calizas y caliza-lutita del

Cretácico Superior e Inferior que los rodean, lo que los hace pertenecer a los denominados calcáneos, asociados a Rendzinas y a regosoles calcáneos, suelos que sobreyacen a material endurecido por la cementación del carbonato de calcio y que se conoce como caliche, fase petrocálica.

Los yacimientos minerales de importancia se encuentran en Actopan con dolomita y El Arenal con Plata y Cobre.

- Vegetación

Esta subprovincia se ha visto desprovista de su vegetación natural casi en un 45% de su superficie total para dar paso a labores agrícolas. Predomina la agricultura de temporal y de riego así como el matorral crasicaule, que es la vegetación más representativa, y se le observa en rodales grandes y pequeños; lo caracterizan las cactáceas de tallos suculentos que le dan una fisonomía distintiva de nopalera; es un matorral abierto con bastantes representantes florísticos, entre los que destacan: huizaches (*Acacias*), mezquites (*Prosopis*), (*Mimosas*), uña de gato, pirules, garambullos, pitahayas, biznagas; en menor escala se localizan árboles frutales como el durazno, el manzano, el capulín, el tejocote, la uva etc., se distribuye entre los 1,000 y 2,800 m sobre las partes bajas de las sierras y en lomeríos y llanuras. También se encuentra el matorral subinerme que es el que predomina en el área de estudio con matorrales que tienen un 50% de especies sin espinas. Se cuenta también con maderas de construcción como el pino y el oyamel.

Bosques de táscate se encuentran al este de Actopan en pequeños manchones y suelen ser sustitutos de bosques de encino.

El mezquital se localiza sólo en una pequeña parte del municipio de San salvador, ya que los terrenos que la sustentan son muy codiciados para la agricultura, por tener suelos profundos y fértiles, por lo que las comunidades que lo constituyen están muy abiertas, o muy separados un mezquite de otro.

La flora es escasa y de características semidesérticas.

- Posibilidades de uso agrícola de la tierra

En casi todas las llanuras, tanto de piso rocoso como las que circundan a Actopan es posible el la agricultura mecanizada continua, pero en diferentes grados, ya que los suelos son medianamente profundos (40-60 cm) y debido a la presencia de fases dúricas, petrocálicas y líticas en su interior.

También se permite la agricultura de tracción animal continua y terrenos sin ningún tipo de utilización agrícola en El Arenal, así el desarrollo de los cultivos y la labranza son de aptitud media, con aptitud baja de aplicación de riego y requerimiento medio del mismo.

- Posibilidades de uso pecuario de la tierra

Las condiciones naturales de la subprovincia favorecen el desarrollo de la ganadería, las praderas cultivadas podrían establecerse en todas las áreas en donde es factible llevar a cabo agricultura actualmente desplazan a las pecuarias, como sucede con el área de estudio. Así se puede practicar el pastoreo intensivo sobre praderas cultivadas (terrenos ocupados actualmente con agricultura)

El Arenal presenta además terrenos aptos para el aprovechamiento de la vegetación natural diferente del pastizal.

- Posibilidades de uso forestal de la tierra

La riqueza forestal de esta subprovincia es poco significativa, tanto que casi el 80% de su superficie carece de este recurso y donde existe su condición, es media. Por lo tanto la explotación de este recurso es no apta.

Actopan y El Arenal cuentan con terrenos de los que puede hacer uso forestal para consumo doméstico.

- Agricultura

En esta subprovincia se encuentra la zona agrícola más importante del estado tanto de temporal como de riego. En la zona de estudio predomina la de temporal mecanizada continua. Se cultiva fundamentalmente avena y cebada y en menor proporción maíz, trigo y frijol.

Hidrología

En el estado de Hidalgo las corrientes son escasas. Esto se debe primordialmente al clima y topografía. Así el estado se encuentra comprendido casi en su totalidad dentro de la región hidrológica "Río Panuco" (No. 26), con una superficie de 19,783.6 km². Comprende las cuencas de los ríos Tula y San Juan del Río, que son afluentes del río Moctezuma, y las cuencas Metztlán y Amajac, que originan el río Amajac y el río Actopan que riegan la zona comprendida de estudio y cuyas aguas son finalmente conducidas al río Tula. Además los ríos Extóraz, Bajo Amajac, Tempoal, Moctezuma, Tampaón y Panuco. Las principales áreas de explotación acuífera se localizan sobre todo en la parte que comprende Tepeji de Ocampo, Valle del Mezquital, Ixmiquilpan, Actopan, Tulancingo, Tecozautla, Pachuca, Tizayuca y Apan. Los acuíferos en explotación están contenidos en sedimentos terciarios continentales y piroclásticos, basálticos y andesíticos. La principal fuente de aguas subterráneas se ubica en los acuíferos del Valle del Mezquital, cuya recarga se incrementó notablemente al iniciarse el riego con agua superficial de aguas negras lo que implica un serio riesgo de contaminación de los acuíferos con detergentes compuestos nitrogenados, debido a su alta transmisibilidad. En el estado, hay varios manantiales de aguas termales, entre los que destacan de acuerdo a su temperatura los de Pathe (95°C), Zacualtipán (55°C), Vito (46°C),

Tula, Ajacuba y Tolantongo (44°C), Dios Padre (38°C), Taxhido y Tezontepec (37°C), Amajac (36°C), Pathecito y Zindejé (35°C).

Fauna

La fauna es relativamente escasa, sin embargo los climas semidesérticos permiten especies como: zorra, liebre, conejo, tlacuache, víbora, ardillas, armadillo, gato montes, halcón y coyote. Además el suelo árido y las escasas lluvias propician la presencia de coralillos, escorpiones, lagartijas, camaleones, ciempiés, alacranes, tarántulas, arañas, grillos, chapulines, hormigas y pinacates.

■ Identificación de la situación socio-económica y cultural y de gestión en residuos sólidos de la zona de estudio y de cada uno de los municipios seleccionados

En este apartado se describe la condición actual de las variables que intervienen en el Manejo de Residuos Sólidos Urbanos, es decir, la situación geográfica, socio-económica y cultural, así como de gestión de residuos sólidos actual de la zona de estudio.

Descripción de la situación socio-económica y cultural, así como de gestión de residuos sólidos actual de la zona de estudio

La población de esta zona tiene un índice de analfabetismo del 9 al 12% en personas mayores a 15 años y cuenta con 34 unidades médicas del Sector Salud.

Las actividades predominantes son la ganadería y agricultura. Dentro de estas se puede encontrar la cría de ganado bovino, ovino, caprino y porcino, la cría de aves de corral como gallinas y guajolotes.

La generación de residuos sólidos estimada por INEGI (2003), alcanza casi 65,000 kg/día en esta zona, la cual se divide como sigue: Actopan con 34,507 kg/día, San Salvador con 20,286 kg/día y El Arenal con 9,956 kg/día. Para su disposición final solo cuentan con tiraderos a cielo abierto.

Las actividades sobre el manejo de RSU, se realizan principalmente por los Ayuntamientos de los municipios de la zona de estudio (**figura 6.2**). Las instancias correspondientes brindan el servicio de limpia y barrido de calles, el servicio de recolección y la administración del vertedero de residuos sólidos.

Figura 6.2.- Ayuntamientos de Actopan, San Salvador y El Arenal del estado de Hidalgo



Descripción de aspectos geográficos, socioeconómicos y culturales, así como de gestión actual de residuos en cada municipio.

A continuación se describen los aspectos socioeconómicos y culturales de cada uno de los municipios (CEDEMUN, 1998; INAFED, 2002), así como aquellos en gestión de residuos sólidos.

ACTÓPAN

- Aspectos geográficos, socioeconómicos y culturales

Este territorio fue arriado inicialmente por los toltecas y mas tarde por los chichimecas Posteriormente la región Otomí recibió la influencia Náhuatl cuando Moctezuma incorporó la región del Valle del Mezquital a sus dominios. La hispanización llegó en 1526 por los frailes Agustinos, quienes erigieron el convento de Actopan en 1548.

En 1760 se fundaron nuevas localidades: La Loma, Mesa Chica, Cañada Chica, Santa María Magdalena y el Boxtha. En la actualidad existen 38 localidades, donde los nombres de éstas son mayormente otomíes. El municipio de Actopan cuenta con el 5.6% de habitantes con lengua indígena, la cual practica el Otomí y el Náhuatl.

La religión que más se practica es la católica, esto en un 92%, mientras que el resto practica otras religiones.

La educación en Actopan, se estructura desde el nivel preescolar hasta el profesional, que atiende aproximadamente el 90% de la población, aunque desde el nivel bachillerato la oferta es sumamente escasa. Se cuenta con 29 planteles para nivel preescolar, 42 planteles para el nivel primaria y 18 para el nivel secundaria. El nivel bachillerato cuenta con tres planteles y el nivel profesional cuenta con dos, mediante la Universidad Tecnológica del Valle del Mezquital y la Universidad Autónoma del Estado de Hidalgo Campus Actopan, las cuales iniciaron labores después del año 2000.. Cabe mencionar la existencia de una escuela de educación especial, un centro psicopedagógico y un aula de apoyo. Así el porcentaje de población analfabeta solo es del 9%.

El municipio cuenta con 16 unidades médicas del ISSSTE, IMSS y SSA, así como la Cruz Roja Mexicana.

Actopan se considera mayormente urbano. El municipio ocupa 46,010 habitantes distribuidos en 10,029 viviendas, registrando un promedio de ellos de 4.57 por vivienda. Las construcciones son a base de block, tabique o materiales prefabricados, su techos son colados, de mármol, adoquín u otros. En localidades aisladas a la cabecera municipal, las construcciones son a base de adobe, paredes de tabique y los techos de lámina resistente o de petatillo. Los servicios públicos con que cuenta Actopan son: agua potable, drenaje y electricidad pero existen localidades que carecen de agua entubada y sus drenajes se encuentran conectados a algún río o canal.

La cabecera municipal está perfectamente comunicada, ya que está por concluirse la autopista Pachuca-Tula. Existen servicios de oficinas postales, telégrafos, fax, algunas localidades cuentan con servicio telefónico y de telefonía celular. Además se cuenta con radio y televisión.

Dentro de las actividades económicas de la población predomina la industria manufacturera, el comercio, la agricultura, ganadería y caza, los servicios educativos, la construcción servicios de restaurante y hoteles, así como de transportes y comunicaciones.

El uso principal del suelo de Actopan es agrícola, ya que de los 250 km² que ocupa su superficie, el 87% se utiliza para tal efecto. Esta actividad va acompañada de la ganadería como complemento a la bien organizada agricultura. El uso urbano del suelo, es muy escaso, ya que sólo se puede considerar la cabecera municipal, ya que el resto del municipio manifiesta un aprovechamiento del suelo agrícola y forestal.

La industria ha logrado un desarrollo importante, así se puede considerar la manufactura de huaraches, confección de ropa interior femenina y otras maquiladora también de ropa. También se produce ladrillo para la construcción.

El principal centro de comercio son los miércoles y domingos, donde se comercializa ropa, zapatos, abarrotes y legumbres, así como de ganado y de autos. Además se cuenta con mercado público y un rastro.

Dentro de los atractivos turísticos de Actopan, se encuentra el Puente de Dios, que es una perforación creada en un cerro por el roce del río Santa María, de aproximadamente 120 m. de longitud. Otras atracciones son: las pinturas rupestres del Arco, el exconvento de la iglesia de San Nicolás de Tolentino y las peñas de San Andrés, cuya área está en propuesta para ser destinada para reserva ecológica.

- Manejo de Residuos Sólidos por el Ayuntamiento de Actopan

El ayuntamiento ha proporcionado la siguiente información mediante el cuestionario presentado en la **tabla 5.1** donde el manejo de residuos sólidos en el municipio de Actopan, se puede describir de la siguiente manera.

En este municipio, el servicio de limpieza y de recolección de basura, contempla los residuos sólidos generados en domicilios, hospitales y de la vía pública de la cabecera municipal y 15 localidades (Chicavasco, Colonia Cuauhtémoc, Huaxtho, Bothibaji, La Estancia, El Boxtho, Pozo Grande, Daxtha, Cañada Aviación, Cañada Chica, El Palomo, La Loma, La Peña, boxaxni y Dajiedhi).

El servicio a comercios e industria se brinda a empresas textiles como: Hexa, Chbonjo, Denta, Heredad y otras; de calzado como Ten Pac y de lubricantes como Roshfrans, donde se recolecta particularmente plásticos y cartón. Algunos comercios depositan directamente sus residuos en el vertedero, como víceras y plumas, de barbacojeros y rastros de pollos, de igual manera los vendedores de frutas, verduras y flores realizan la disposición final de sus residuos.

La cantidad de RSU varía de acuerdo a las diferentes festividades anuales en los periodos de semana santa, 10 de mayo, día de muertos y fin de año, de igual manera por la presencia de población flotante en fines de semana y en las fechas señaladas.

La recolección de residuos sólidos en la cabecera municipal se realiza diariamente tanto en el turno matutino como en el nocturno, y una vez por semana en las demás localidades. El servicio de recolección cubre 20 rutas diariamente y 15 rutas cada tercer día.

Para ello cuenta con una flotilla de camiones con siete unidades destinadas al traslado de estos residuos a su lugar de disposición final, a 4 km. al noreste de la población de Actopan diariamente completando tres colectas cada uno. La flotilla se conforma de una barredora, camiones de volteo, estacas, redilas y de recolección de basura, con capacidades de 3.5 a 5 m³. En general el equipo de recolección de residuos sólidos ya es obsoleto, su vida útil está por terminar y los costos de mantenimiento son altos. A continuación se listan las unidades destinadas al servicio de recolección: 5 recolectores de basura, 2 camiones de redilas, 2 de volteo y una barredora, todas de modelos de hace 10 años hasta alrededor de 30.

El personal de servicio de limpia se distribuye de la siguiente manera: 10 personas se dedican al barrido de calles, 11 al transporte de los RSU al vertedero, 20 personas de operación y 3 dedicadas al mantenimiento del vertedero.

Se estima que en el municipio de Actopan se recolecta el 54.3% de los residuos sólidos generados, dejando sin recolectar el 45.7%, los cuales quedan en terrenos clandestinos y una menor proporción se quema. El ayuntamiento ha proporcionado datos de generación diaria de 71 ton., de las que se recolectan 62 de las mismas. Los días de mayor generación son los lunes y los miércoles, esto debido al descanso de fin de semana y por el tianguis respectivamente. Adicionalmente en fechas específicas como: la semana santa, 10 de mayo, día de muertos y fin de año.

No se realizan trabajos de separación por el ayuntamiento, sino que existen pepenadores (aproximadamente 15 personas) que trabajan por su cuenta para vender materiales a ciertos demandantes generalmente de la Cd. de México, a los cuales se les recolecta cartón, plástico, metal y vidrio. Las actividades de pepena comienzan por la mañana, lo cual no permite que se realicen las tareas de cubrimiento con tierra de los residuos sólidos oportunamente.

La separación de lata de aluminio es escasa en el vertedero, ya que esta se realiza antes o durante la recolección de RSU. Esto resulta de su estable y favorable colocación en el mercado respecto de los otros materiales reciclables, aproximadamente \$7 por kilogramo.

Se están implementando y ejecutando programas en las escuelas sobre educación ambiental, donde se ha logrado inculcar la separación de materiales por lo menos en los planteles, aunque también se involucra a los padres de familia. Este procedimiento consiste en depositar por separado, residuos como plástico, papel y aluminio en cajas de determinado color.

No existe en el municipio reglamentación referente al manejo de los residuos sólidos, ni instructivos de operación y tampoco de manuales de seguridad para las actividades del servicio de limpia.

Las actividades del tiradero a cielo abierto, puede decirse se llevan a cabo con cierto control, ya que hay una persona encargada de la disposición y manejo de los residuos en el tiradero, incluso de estar al tanto de las actividades que realizan los pepenadores en el mismo.

Al inicio del año 2005 se clausuró el vertedero de disposición final de los RSU que estaba ubicado a un kilómetro de la mancha urbana de la cabecera municipal, en la colonia Dos Cerritos y que cubrió 1.5 has. de terreno donde se almacenaban 49.66 m³ diarios de basura, los cuales se cubrían con tepetate extraído de los lugares aledaños con un tractor.

A partir del mes de marzo del 2005, el municipio cuenta con un vertedero ubicado en la localidad de Dajiedhi con un área de 0.5 ha., el cual ocupó el 25% con residuos sólidos en tan solo un mes (**figura 6.3**).

Inicialmente se inició el relleno convencionalmente, cubriendo los residuos sólidos diariamente con un tractor, pero esto solo sucedió las primeras semanas de actividad. Ahora, los residuos sólidos son depositados de manera "vertical", donde éstos son descargados desde el nivel normal del suelo hacia la excavación. Esto se hará gradualmente, aunque no sea la manera más adecuada.

Los costos operativos para el servicio de limpia, mantenimiento y operación del vertedero municipal se estiman en \$ 9,122.00 diarios, lo que significa que la gestión de cada metro cúbico de residuos sólidos municipales cueste \$183.69. No se realiza ningún cobro por este servicio.

El vertedero municipal no cuenta con las condiciones de infraestructura y operación adecuadas, por lo que los residuos no se disponen ordenadamente y permiten el libre paso de lixiviados en el subsuelo, causa principal de la contaminación del lugar.

Se ha encontrado que las actividades de recolección y manejo de RSU, provocan enfermedades de la piel, enfermedades gastrointestinales, pulmonares e infecciones en los ojos a los trabajadores del servicio de limpia, afortunadamente estos cuentan con servicio médico.

No existe algún centro de acopio local, los materiales separados como cartón, plástico, metal y vidrio se destinan empresas recicladoras en la Cd. de México. En cuanto a las actividades administrativas, estas cubren la supervisión, organización, planeación y control de la plantilla del servicio de limpia.

Figura 6.3.- Vertedero a cielo abierto del municipio de Actopan.



SAN SALVADOR

- Aspectos geográficos, socioeconómicos y culturales

El municipio de San Salvador cuenta con el 25% de habitantes con lengua indígena, de la que se practica comúnmente el Otomí.

La religión que más se practica es la católica, esto en un 92%, mientras que el resto practica otras religiones.

La educación en San Salvador, se estructura desde el nivel preescolar hasta el bachillerato, que atiende aproximadamente a 6000 alumnos, aunque solo 109 en el último nivel. Se cuenta con 39 planteles para nivel preescolar, lo mismo que para el nivel primario. El nivel secundaria cuenta con 9 planteles y para bachillerato dos planteles. Cabe mencionar la existencia de cuatro bibliotecas públicas. Así el porcentaje de población alfabeta alcanza el 88.22%, dejando el porcentaje restante al analfabetismo.

El municipio cuenta con 12 unidades médicas que atiende alrededor de 400 derechohabientes en SSA y el IMSS.

La población de San Salvador, registra 28,980 habitantes que se distribuyen en 6121 viviendas, por lo que el promedio de ellos por vivienda es de 4.72. Las construcciones son a base de tabique, adobe, block, piedra y tabicón, con techos de concreto, lámina galvanizada, lámina de cartón y lámina de asbesto.

Dentro de las actividades económicas de la población, predominan la agricultura, ganadería y caza, seguido de la industria manufacturera, la construcción y el comercio. En este último concepto, los días domingo se comercializa ropa, zapatos, abarrotes y legumbres, además se cuenta con centros DICONSA Y LICONSA.

El patrimonio cultural de San Salvador es la iglesia, que fue construida en el siglo XVIII, la cual tiene en su interior pinturas realizadas por los indígenas de la época.

- Manejo de Residuos Sólidos por el Ayuntamiento de San Salvador

El ayuntamiento ha proporcionado la siguiente información mediante el cuestionario presentado en la **tabla 5.1** donde el manejo de residuos sólidos en el municipio de San Salvador, se puede describir de la siguiente manera.

El servicio de recolección se realiza a través del municipio y por concesión a particulares diariamente a excepción de los domingos en dos turnos.

El Ayuntamiento brinda el servicio de recolección a las siguientes localidades (40):

Dextho de Victoria, Boxtha Chico, Boxaxni, Lagunilla, San Salvador, El Bondho, Teofani, Demacu, Rodrigo, San Antonio Zaragoza, Bominthza, Francisco Villa, Bocaza, Olvera, Natividad, Quemtha, Casa Grande, El Durazno, San Antonio Abad, Dengandho de Juárez, Pacheco de Allende, Vista de Madero, San Miguel Acambay, Santa Ma. Amajac, Puerto Lázaro Cárdenas, Tothie de Rojo Gómez, El Colorado, El Gómez, El Fresno, El Rincón Santa María, El Tablón, Leandro Valle, Casa Blanca, Xuchitlán, El Mothe, El Mezquital, La Flor, Cerro Blanco, Chichimecas y Cerritos.

Solo se cuenta con 5 personas laborando en el servicio de recolección por parte del ayuntamiento.

El costo aproximado de operación por día para el servicio de limpia, mantenimiento y operación del vertedero municipal es de \$600.00. El servicio municipal se brinda gratuitamente, mientras que el de concesión recibe aportaciones de 5 a 10 pesos.

Diariamente se recolectan 3 toneladas de residuos provenientes de la limpieza de las calles y barrido. El equipo destinado para el servicio de limpia y recolección se encuentra en buenas condiciones.

Los residuos recolectados se disponen en el vertedero a cielo abierto del municipio, ubicado en la localidad de Caxuxi (**figura 6.4**).

No existe manual de organización o algún programa de educación ambiental. Tampoco existe participación alguna de universidades e instituciones de educación e investigación en la organización del servicio de limpia.

El municipio no reporta problemas ambientales o de salud de los trabajadores y de la población.

Figura 6.4.- Vertedero a cielo abierto del municipio de San Salvador.



EL ARENAL

- Aspectos geográficos, socioeconómicos y culturales

Pocos datos históricos existen del municipio, pero se cree que fue habitado principalmente por otomíes, quienes recibieron una gran influencia de los toltecas cuando pasaron por este lugar de Tollan a Tollancingo.

Los frailes religiosos de la orden de San Agustín, residentes en el convento de Actopan, fundaron en el año 1750 el pueblo de El Arenal, se le dio este nombre por la abundancia de arena en sus alrededores y en el cauce del río que pasa a corta distancia.

El Arenal es de los municipios más antiguos pues data del año 1826, apenas a dos años de haberse convertido nuestro país en una república federal.

El municipio de El Arenal, está integrado por las siguientes localidades: El Arenal, San José Tepenené, El Jiadi, Col. 20 de Noviembre, El Meje, El Roncón, Fray Francisco, San Jerónimo, Santa Rosa, el Bocja, Chimilpa y Ojo de Agua.

En el municipio del Arenal el porcentaje de población de 5 años y más que habla lengua Indígena es del 1.7 % con respecto a la población total, las lenguas que más se practican son: Otomí y Náhuatl.

El 93% de la población practica la religión católica y el 7% practica otras religiones.

En cuanto a educación, el municipio cuenta con 12 escuelas a nivel preescolar, 12 primarias de organización completa, 3 telesecundarias, 2 secundarias generales, así como también con una preparatoria que se encuentra en la cabecera municipal. Además cuenta con biblioteca, laboratorio y talleres.

La población cuenta con los servicios públicos de salud por parte del IMSS y de laSSAH.

El municipio cuenta con los siguientes servicios: agua potable, drenaje, pavimentación, transporte, energía eléctrica, teléfono, panteón, estos servicios ubicados principalmente en la cabecera municipal.

Existe un total de 2956 viviendas particulares las cuales están construidas principalmente de adobe, tabique, madera y embarro.

La cabecera municipal se localiza a escasa distancia de la carretera No. 85 que une a México con Laredo a 20 kilómetros de la capital del estado, lo cual la ubica totalmente comunicada, además tiene servicios de correo, telégrafo, teléfono, señal de radio y televisión.

Dentro de las actividades económicas de la población, predominan la agricultura, ganadería, el comercio establecido, la albañilería y un porcentaje menor de población emigran en busca de mejorar su situación económica al vecino país del norte, y un 20% de profesionistas que prestan sus servicios en algunas ciudades del estado o en la capital del país.

Una de las industrias que ha tenido mayor auge es la fabricación de tabique horneado de arcilla la cual la extraen de las arenas que abundan en este territorio. Cuenta también con un tianguis semanal donde se venden productos de la región, tienda Diconsa y lechería Liconsa.

El municipio de El Arenal esta contemplado como un centro turístico, debido a la presa que se encuentra en San Jerónimo, que permite los deportes acuáticos, además presenta una gran biodiversidad de flora y fauna silvestre. De igual manera se pueden mencionar los gigantescos monolitos conocidos con el nombre de "Los Órganos" o "Los Frailes", a los que desde hace siglos se les dio este nombre al apreciar en ellos la semejanza a enigmáticos frailes cubiertos por sus hábitos y los cuales se pueden visualizar desde muchas regiones del Estado. Otro atractivo, pero no menos importante es el templo Agustino construido en el siglo XVI. El municipio de El Arenal es muy frecuentado los fines de semana por gente de distintas partes que visitan el santuario de "El Señor de las Maravillas", y después de misa se disponen a disfrutar la variedad gastronómica que existe en el mercado: barbacoa de borrego, barbacoa de pollo y carne de puerco, etc.. La fiesta se celebra en el mes de abril, el 5° viernes, la cual reúne miles de peregrinos de diferentes partes de la república mexicana para mostrar su agradecimiento.

A esto hay que agregar que El Arenal acaba de sufrir una transformación total en lo que es el centro, debido a que se colocaron arcos monumentales alrededor del centro, se construyo un auditorio, palacio municipal, parque, cancha de fútbol rápido; todo esto con un diseño arquitectónico muy bien decorado, lo cual llama la atención de los turistas que pasan por la carretera México-Laredo.

- Manejo de Residuos Sólidos por el Ayuntamiento de El Arenal

El ayuntamiento ha proporcionado la siguiente información mediante el cuestionario presentado en la **tabla 5.1** donde el manejo de residuos sólidos en el municipio de El Arenal, se puede describir de la siguiente manera:

- Generación de los residuos y acumulación de los mismos en escasos e insuficientes contenedores de basura
- Recolección domiciliaria en un camión de volteo con capacidad de 6 m³
- Transporte de los residuos al basurero
- Disposición final de los residuos en el tiradero a cielo abierto, localizado en la parte alta del municipio de El Arenal
- Recuperación de materiales aprovechables por personas de muy bajos recursos económicos y en condiciones antihigiénicas
- Combustión de los residuos restantes

En cuanto al área administrativa, no se cuenta con manual de procedimiento sobre las actividades que se deben realizar en el vertedero, solo se tienen asignadas las rutas por día de los camiones recolectores. Se cuenta con un manual de organización del servicio de limpia, así como de un programa de educación ambiental.

Se estima que la cabecera municipal genera 2.07 ton/día, considerando que cuenta con 3,455 habitantes. Además los domingos aumenta esta cantidad ya que llega un promedio de 350 turistas, así se generan 2.28 ton/día domingo y en día de feria a principios de abril, con la llegada de 90,000 visitantes en tres días se tienen 56 ton.

Respecto al servicio de limpia, cuenta con recolectores, recicladores y choferes.

El municipio de El Arenal cuenta con muy pocos y escasos contenedores de basura los cuales están colocados en algunos puntos del municipio y cuando se llenan, los remolca un camión de volteo hacia el vertedero a cielo abierto. La cabecera cuenta con 3 contenedores de 4 m³ de capacidad y se encuentran colocados en el cuadro principal y calles aledañas.

El servicio de recolección en el municipio se realiza de forma gratuita y se sufraga de recursos provenientes de la presidencia municipal. Diariamente se recolectan 3 toneladas de residuos provenientes de limpieza de las calles y barrido (servicio de barrido cada tres días).

El Ayuntamiento de El Arenal realiza el servicio de recolección semanalmente y reporta las siguientes cantidades de residuos en sus diferentes categorías.

- Domicilios: Una tonelada
- Comercio: 1.5 toneladas
- Industria: 0.5 toneladas.

Las amas de casa disponen la basura en bolsas de plástico, cabe mencionar que no existe ninguna recolección selectiva y separación de los residuos sólidos que pueden ser reutilizados o reciclados, además el camión recolector no cumple con las características adecuadas, ya que es una unidad de volteo con capacidad de 6 m³, el cual no separa ni compacta la basura.

Para realizar el servicio de recolección se cuenta con camiones acondicionados adecuadamente para la separación de sólidos (orgánicos e inorgánicos) en condiciones favorables de operación.

Los trabajadores exponen su salud ejerciendo su labor en condiciones poco adecuadas, sufriendo así irritamiento de ojos y algunas alergias en la piel.

El Ayuntamiento ha puesto al tanto a los ciudadanos sobre los diversos residuos que pueden separarse en su domicilio. Así se ha podido obtener una separación previa a la disposición final de la siguiente manera:

- ☑ Sólidos orgánicos: 1.2 toneladas
- ☑ Celulosa: 1 tonelada
- ☑ Polímeros 0.5 toneladas
- ☑ Metales 0.3 tonelada

Estos materiales se concentran en centros de acopio o bien en el vertedero municipal. Siendo nula la comercialización formal de los residuos.

La disposición final de los residuos se realiza depositando los RSU en el vertedero municipal ubicado en Casaguayán municipio de El Arenal (**figura 6.5**). El terreno tiene como característica el ser de suelo volcanoclástico, zona semiárida y aunque se reporta como un área alejada de la población, en realidad el vertedero se ubica contiguamente con un complejo habitacional.

La superficie del vertedero es de 3500 m² y se encuentra a 10 m. de la capa freática. Para inicio del año 2005 ya había ocupado el 70% de la superficie.

En el vertedero se pueden observar algunos inconvenientes para realizar las actividades de operación y control adecuadamente como corrientes de aire, algunos animales y pepenadores, además se encuentra localizado contiguo a un conjunto habitacional. No existe un sistema de recepción, solo hay una persona que está al tanto de las actividades en el mismo, especifica el lugar donde se van depositando los residuos y apaga los incendios que son provocados por algunas personas.

El Ayuntamiento de El Arenal, no cuenta un relleno sanitario ni con una planta de separación.

Figura 6.5.- Vertedero a cielo abierto del municipio de El Arenal.



Manipulación de los RSU en los domicilios de la zona de estudio

Un protagonista importante en la gestión de manejo de residuos sólidos, es el usuario, por lo que a continuación se describe el manejo de residuos en los domicilios. Los resultados de las encuestas (**tabla 5.2**) a la población de la zona de estudio se analizaron estadísticamente con el software SPSS 8.0.

La población de la zona de estudio generalmente vive en casas solas construidas de mampostería y otro porcentaje importante de techo de lámina, con un ingreso entre medio y bajo (54% y 46% respectivamente).

La mayoría de las viviendas cuenta de 3 a 5 habitantes (68%). Donde los animales domésticos predominantes con un 70% son los perros, y en cuanto a los animales de corral figuran en un 41% las aves de corral. La gastronomía de la zona ocasiona además por consiguiente, la cría de animales como cerdos y borregos.

El 59% de los encuestados, asegura que recolecta 5 o más kilogramos por semana (kg/sem.) de RSU, el 22% de 4 a 5 kg/sem. y el 19% de 2 a 3 kg/sem.

El hábito de separación de RSU, está presente en la zona de estudio.

En cuanto al material orgánico, solo el 53% de los encuestados separa los residuos alimenticios y el 47% restante no separa ninguno de ellos.

Respecto al material de celulosa, el 9% de los encuestados separa papel periódico, el 6% papel archivo, 1% el cartón y el 84% ninguno de ellos.

Hablando de los plásticos, el 20% de la población separa plástico pet, el 9% el plástico película y el resto no separa ninguno de ellos.

Además se encontró que el 7% de la población separa la lata de aluminio, el 5% la lata de conserva, 3el 1% otros metales y el resto no separa ninguno de ellos.

La evacuación de los RSU, afecta considerablemente el medio ambiente, ya que solo el 67% de la población cuenta con servicio de recolección, mientras que el 29% incinera los residuos por no contar con dicho servicio, el 3% lo traslada a algún depósito y el 1% lo deposita en el vertedero.

Por otro lado, aunado a los bajos recursos con que cuenta el ayuntamiento para el servicio de recolección, 64% de la población no da ninguna aportación voluntaria, ya sea porque no cuenta con el servicio o no desea hacerlo, el 24% da 5 pesos o más, el 9% de 2 a 4 pesos, el 3% da solo un peso. Por otro lado, el 97% de la población asegura que estaría dispuesto a facilitar el manejo municipal de los RSU, separando sus residuos generados.

Así, en cuanto al material orgánico, el 55% de la población estaría dispuesta a separar los residuos alimenticios, 10 % el pañal desechable, 2% los residuos de jardinería y el 33% no separaría ningún material orgánico.

Respecto al material de celulosa, el 23% de la población separaría papel de archivo, 18% cartón, 8% periódico y el 51% ninguno material de este tipo.

Hablando de los plásticos, el 57% de la población separaría el plástico pet, 22% el plástico película, el 1% el plástico rígido y el 20% no separaría ningún material plástico.

Además el 21% de la población estaría dispuesta a separar latas de aluminio, 9% la lata de conserva, 6% otros metales y el 64% no separaría ningún material de este tipo.

El vidrio también figura dentro de los materiales que los ciudadanos de la zona de estudio separan o estarían dispuestos a separar.

En esta zona se realiza la cría de distintos animales como aves de corral, cerdos, chivos, vacas o borregos, estos últimos debido a una tradición gastronómica, la barbacoa de borrego y la elaboración de tamales, así en el vertedero se depositan víceras y envolturas de tamal.

Cuando se llega a separar residuos alimenticios, se les da como alimento a los perros o animales de corral que crían los ciudadanos.

Debido a la falta o poca frecuencia del servicio de recolección en algunas localidades, se acostumbra incinerar la basura, ya sea en algún terreno, o bien en el fogón donde calientan tortillas o agua para el aseo personal. Los materiales que con más frecuencia queman son el papel, bolsas de plástico y pet.

Aunque en menor grado, algunos ciudadanos practican el composteo. Otros practican la venta de lata de aluminio, la cual es muy codiciada y se separa antes de su disposición final.

El servicio de limpia municipal se realiza de manera gratuita, pero existen algunos servicios particulares que cobran una cuota fija de entre 5 y 10 pesos.

Cabe señalar que el 99% de la población piensa que se requiere de una mejor instalación para el reciclaje y la disposición final de los residuos sólidos urbanos.

▪ Evaluación de la composición de residuos sólidos de los municipios seleccionados

La determinación de la composición de los residuos sólidos se realizó en los vertederos de cada una de las cabeceras municipales de la zona de estudio, ubicados en las localidades de Dajiedi del municipio de Actopan ($20^{\circ}18'41''$, $98^{\circ}56'25''$, 2060 m), Caxuxi del municipio de San Salvador ($20^{\circ}18'05''$, $98^{\circ}59'49''$, 1960 m) y Cosahuayán Grande del municipio de El Arenal ($20^{\circ}14'30''$, $98^{\circ}53'20''$, 2500 m), (Información Digital INEGI).

Para la ejecución del muestreo y caracterización de los RSU, se conformó un equipo de trabajo integrado por dos especialistas en manejo de RSU y por nueve personas de apoyo.

Se preparó el material necesario como bolsas etiquetadas, formatos, equipo de pesado, palas, escobas, bioldos, recipiente graduado para determinación de peso volumétrico, tamiz, etc.

El muestreo y selección de subproductos para la determinación de composición de residuos sólidos urbanos se puede apreciar en la **figura 6.6**. Las actividades de muestreo se realizaron bajo el método del cuarteo. Así mismo se determinó el peso volumétrico de los RSU y se realizó la cuantificación en de subproductos.

Finalmente se determinó el peso volumétrico de cada tipo de residuos sólido.

La evaluación de los resultados de los RSU se basa en la composición en peso y en volumen que son parámetros fundamentales para la comprensión y solución de la problemática del manejo de desechos sólidos. Los resultados se reportan por municipio y en conjunto como zona de estudio; además se comparan entre los municipios de la zona de estudio, así como entre la zona de estudio con datos registrados a nivel nacional (SEMARNAT 2002) y con datos registrados a nivel internacional (Tchobanoglous 1994) con el fin de obtener tendencias de generación, composición y disposición.

Figura 6.6.- Muestreo y selección subproductos para la determinación de composición de residuos sólidos urbanos en la zona de estudio



Composición de RSU en los municipios de la zona de estudio

○ ACTOPAN

En el municipio de Actopan se determinó un peso volumétrico de RSU de 144.9 kg/m³ de acuerdo al método de cuarteo. En cuanto a la selección y cuantificación de subproductos se obtuvo que las principales porciones en peso de RSU son: residuos alimenticios con 10.36 ton/día (30%), residuos finos (residuos no recuperables con un tamiz de 2.5 cm. de tamaño) con 7 ton/día(21%), pañal desechable con 3.5 ton/día (10%), otros componentes con 3.1 ton/día (9%), residuos de jardinería con 2.4 ton/día (7%) y plásticos de película con 1.6 ton/ día (4.5%), agrupando en un 18.5% a los componentes triviales de la muestra **(tabla 6.2, tabla 6.3 y figura 6.7)**.

Con la selección de los diferentes subproductos de la muestra de acuerdo a la NMX-AA-022-1985, se obtuvieron los valores de peso volumétrico para cada componente. Entre estos se tienen: residuos finos con 467.3 kg/m³, residuos alimenticios con 343 kg/m³, otros (residuos no recuperables mayores a 2.5 cm. de tamiz) con 209.6 kg/m³, pañal desechable con 127.7 kg/m³, plástico rígido con 58.3 kg/m³, poliuretano con 40 kg/m³, plástico película con 34.7 kg/m³, cartón con 22.1 kg/m³ y PET (PoliEtilenTereftalato) con 19.3 kg/m³ **(tabla 6.2)**.

De los datos de peso y peso volumétrico por material clasificado, se obtuvieron los volúmenes generados y su porcentaje para cada categoría. Los resultados son: cartón con 46.9 m³/día (15.8%), plástico película con 44.7 m³/día (15.1%), PET (PoliEtilenTereftalato) con 35.8 m³/día (12%), residuos alimenticios con 30.2 m³/día (10.2%), pañal desechable con 27 m³/día (9.1%), plástico rígido con 17.7 m³/día (6%), residuos finos con 15.5 m³/día (5.2%), otros con 14.8 m³/día (5%) y poliuretano con 12.9 m³/día (4.4%), agrupando en un 17.3% a los componentes triviales de la muestra **(tabla 6.2 y tabla 6.3 y figura 6.7)**.

○ SAN SALVADOR

En San Salvador se calculo un peso volumétrico de RSU de 54.5 kg/m³ En cuanto a la selección y cuantificación de subproductos se obtuvo lo siguiente: las principales porciones en peso de RSU son: pañal desechable con 3 ton/día (15%), otros con 3 ton/día (15%), cartón con 2.4 ton/día (12%), residuos finos con 2.1 ton/día (10.5%), residuos alimenticios con 2 ton/día (10%), plástico de película con 1.6 ton/día (8%), PET con 1.2 ton/día (6%) y poliestireno expandido con 0.8 ton/día (4%), agrupando en un 19.5 % a los componentes triviales de la muestra, **(tabla 6.2 y tabla 6.3 y figura 6.7)**.

Con la selección de los diferentes subproductos de la muestra de acuerdo a la NMX-AA-022-1985, se obtuvieron los respectivos valores de peso volumétrico para cada componente. Entre estos se tienen: pañal desechable con 113.0 kg/m³, otros con 98.9 kg/m³, cartón con 60.3 kg/m³, fibra dura vegetal con 35.7 kg/m³, poliuretano con 34.7 kg/m³, PET con 24.6 kg/m³, plástico película con 20.1 kg/m³ y poliestireno expandido con 11.5 kg/m³ **(tabla 6.2)**.

De los datos de peso y peso volumétrico por material clasificado, se obtuvieron los volúmenes generados y su porcentaje para cada categoría. Los resultados son: plástico película con 80.9 m³/día (20.7%), poliestireno expandido con 70.6 m³/día (18.1%), PET con 49.5 m³/día (12.7%), cartón con 40.4 m³/día (10.3%), otros con 30.8 m³/día (7.9%), pañal desechable con 26.9 m³/día (6.9%), poliuretano con 17.5 m³/día (4.5%) y fibra dura vegetal con 17.1 m³/día (4.4%), agrupando en un 14.6% a los componentes triviales de la muestra. Los plásticos en grupo suman un 54% en volumen (**tabla 6.2 y tabla 6.3 y figura 6.7**).

- EL ARENAL

En el municipio de El Arenal se determinó un peso volumétrico de 52.6 kg/m³ de la muestra representativa. En cuanto a la selección y cuantificación de subproductos, las principales proporciones en peso de RSU son: el papel con 3.4 ton/día (24%), lata con 1.4 ton/día (14%), pañal desechable con 1.3 ton/día (13%), aluminio con 1.2 ton/día (12%), cartón con 0.9 ton/día (9%), plástico de película con 0.6 ton/día (6%), residuos alimenticios con 0.4 ton/día (4%) y PET con 0.4 ton/día (4%), agrupando en un 14 % a los componentes triviales de la muestra. El papel y cartón suman un 35%, los metales agrupados el 24% y los plásticos completan un 10% en peso (**tabla 6.2 y tabla 6.3 y figura 6.7**).

Con la selección de los diferentes subproductos de la muestra de acuerdo a la NMX-AA-022-1985, se obtuvieron los respectivos valores de peso volumétrico para cada componente, entre estos se reportan: cartón con 60.0 kg/m³, papel con 31.7 kg/m³, lata con 29.9 kg/m³, PET con 24.7 kg/m³, plástico de película con 20.1 kg/m³ y poliestireno expandido con 11.5 kg/m³ (**tabla 6.2**).

De los datos de peso y peso volumétrico por material clasificado, se obtuvieron los volúmenes generados y su porcentaje para cada categoría y son: papel con 75.5 m³/día (30.8%), lata con 46.5 m³/día (19%), plástico de película con 29.8 m³/día (12.2%), poliestireno expandido con 26.0 m³/día (10.6%), PET con 16.2 m³/día (6.5%) y cartón con 14.9 m³/día (6.1%), agrupando en un 14.7% a los componentes triviales de la muestra. El papel y cartón suman un 36.9% y los plásticos agrupados completan un 29.3% en volumen (**tabla 6.2 y tabla 6.3 y figura 6.7**).

Tabla 6.2.- Composición en peso y peso específico de los residuos sólidos urbanos de los municipios de Actopan, San Salvador y El Arenal del Estado de Hidalgo

MATERIAL	% P (AC)	Pv (AC)	% V (AC)	% P (SS)	Pv (SS)	% V (SS)	% P (AR)	Pv (AR)	% V (AR)	% P (ZE)	% V (ZE)	* Pv	** %P (ZCM)	%V (ZCM)	* %P (USA)	%V (USA)
	%	kg/m ³	%	%	kg/m ³	%	%	kg/m ³	%	%	%	kg/m ³	%	%	%	%
Algodón	0.2	83.3	0.3	0.1	0.0	0.1	ND.	ND.	ND.	0.1	0.1	65.0	NR.	NR.	NR.	NR.
Trapo	1.0	55.0	2.1	1.5	125.0	0.6	2.0	120.7	0.7	1.3	1.1	65.0	1.0	2.6	2.0	3.1
Fibras sintéticas	1.0	100.0	1.2	0.2	0.0	0.1	ND.	ND.	ND.	0.6	0.4	65.0	NR.	NR.	NR.	NR.
Cuero	0.2	50.0	0.5	1.5	0.0	0.5	ND.	ND.	ND.	0.6	0.4	160.0	NR.	NR.	0.5	0.3
Papel	1.5	0.0	2.0	0.5	31.7	0.8	24.0	31.7	30.8	4.6	9.1	89.0	7.0	13.2	34.0	38.3
Cartón	3.0	22.1	15.8	12.0	60.3	10.3	9.0	60.0	6.1	6.7	11.0	50.0	7.0	23.4	6.0	12.0
Envase de cartón encerado	0.2	18.2	1.3	1.5	30.0	2.6	ND.	ND.	ND.	0.6	1.5	NR.	NR.	NR.	NR.	NR.
Madera	0.7	150.0	0.5	ND.	ND.	ND.	ND.	ND.	ND.	0.4	0.2	237.0	NR.	NR.	2.0	0.8
Fibra dura vegetal	1.0	233.3	0.5	3.0	35.7	4.4	ND.	ND.	ND.	1.5	2.0	NR.	NR.	NR.	NR.	NR.
Residuos de jardinería	7.0	266.7	3.0	3.0	44.0	3.5	ND.	ND.	ND.	4.7	2.5	101.0	7.0	11.6	18.5	18.4
Residuos alimenticios	30.0	343.0	10.2	10.0	490.0	1.1	4.0	469.0	0.3	19.7	3.8	291.0	45.0	25.9	9.0	3.1
Hueso	0.1	100.0	0.1	ND.	ND.	ND.	ND.	ND.	ND.	0.1	0.0	NR.	NR.	NR.	NR.	NR.
Loza y cerámica	0.2	200.0	0.1	ND.	ND.	ND.	ND.	ND.	ND.	0.1	0.0	NR.	NR.	NR.	NR.	NR.
Vidrio de color	0.1	0.0	0.1	0.2	0.0	0.0	ND.	ND.	ND.	0.1	0.0	196.0	1.0	0.9	2.0	1.0
Vidrio transparente	1.0	125.0	0.9	3.0	126.7	1.2	1.0	118.0	0.3	1.6	0.9	196.0	5.0	4.3	6.0	3.1
Material de construcción	0.3	150.0	0.2	ND.	ND.	ND.	ND.	ND.	ND.	0.2	0.1	NR.	NR.	NR.	NR.	NR.
Material ferroso	0.2	0.0	0.1	ND.	ND.	ND.	ND.	ND.	ND.	0.1	0.0	320.0	1.0	0.5	3.0	0.9
Material no ferroso	0.2	100.0	0.2	0.1	0.0	0.0	1.0	320.0	0.1	0.3	0.1	320.0	NR.	NR.	NR.	NR.
Aluminio	0.1	50.0	0.1	0.5	0.0	0.2	12.0	160.0	3.0	2.0	0.9	160.0	2.0	2.1	0.5	0.3
Lata	0.5	80.0	0.7	0.5	30.0	0.9	14.0	29.9	19.0	2.6	5.6	89.0	1.0	1.9	6.0	6.8
Pañal desechable	10.0	127.7	9.1	15.0	113.0	6.9	13.0	112.3	4.7	12.0	7.0	NR.	9.0	NR.	NR.	NR.
Plástico rígido	3.0	58.3	6.0	0.5	35.0	0.7	2.0	35.2	2.3	2.1	2.8	65.0	0.5	1.3	1.0	1.5
Plástico de película	4.5	34.7	15.1	8.0	20.1	20.7	6.0	20.1	12.2	5.8	16.7	65.0	0.5	1.3	1.0	1.5
Poliuretano	1.5	40.0	4.4	3.0	34.7	4.5	2.0	35.2	2.3	2.0	3.9	65.0	0.5	1.3	1.0	1.5
Poliestireno expandido	0.5	18.0	3.2	4.0	11.5	18.1	3.0	11.5	10.6	2.0	11.4	65.0	0.5	1.3	1.0	1.5
PET	2.0	19.3	12.0	6.0	24.6	12.7	4.0	24.7	6.6	3.6	10.9	65.0	2.0	5.1	3.0	4.6
Hule	0.1	50.0	0.2	0.5	26.7	1.0	ND.	ND.	ND.	0.2	0.5	65.0	NR.	NR.	NR.	NR.
Residuos fino	21.0	467.3	5.2	10.5	435.0	1.3	1.0	398.5	0.1	14.6	2.2	481.0	10.0	3.5	3.0	0.6
otros	9.0	209.6	5.0	15.0	98.9	7.9	2.0	102.1	0.8	9.8	5.1	131.0	NR.	NR.	0.5	0.4

Nota:

% P: Porcentaje en peso; Pv: Peso volumétrico; AC: Actopan; SS: San Salvador; AR: El Arenal; ND.: No se determinó; NR.: No registrado

*Fuente: Tchobanoglous (1994)

** Fuente: SEMARNAT (2002)

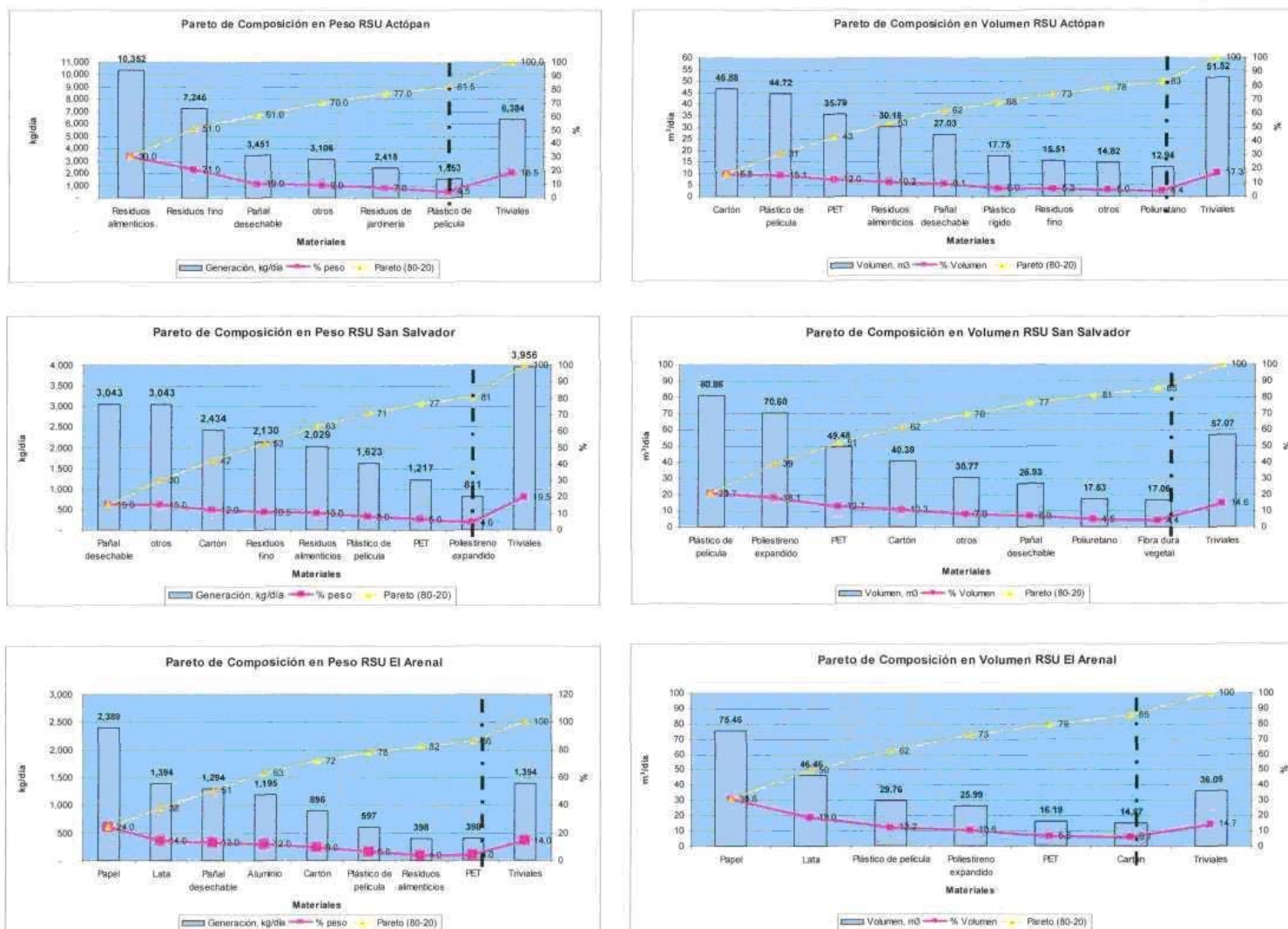
Tabla 6.3.- Generación, volumen, contenido energético y venta de los residuos sólidos urbanos de los municipios de Actopan, San Salvador y El Arenal del estado de Hidalgo.

MATERIAL	G. peso (AC)	G. vol. (AC)	C. Energ. (AC)	Venta (AC)	G. peso (SS)	G. vol. (SS)	C. Energ. (SS)	Venta (SS)	G. peso (AR)	G. vol. (AR)	C. Energ. (AR)	Venta (AR)
	kg/día	m3/día	kcal/día	\$	kg/día	m3/día	kcal/día	\$	kg/día	m3/día	kcal/día	\$
Algodón	69.0	0.8	258,823.2	ND.	20.3	0.3	76,078.6	ND.	ND.	ND.	ND.	ND.
Trapo	345.1	6.3	1,294,116.0	ND.	304.3	2.4	1,141,178.8	ND.	199.1	1.6	746,759.7	ND.
Fibras sintéticas	345.1	3.5	1,294,116.0	ND.	30.4	0.5	114,117.9	ND.	ND.	ND.	ND.	ND.
Cuero	69.0	1.4	258,823.2	ND.	304.3	1.9	1,141,178.8	ND.	ND.	ND.	ND.	ND.
Papel	517.6	5.8	1,946,194.8	310.6	101.4	3.2	381,376.8	60.9	2,389.4	75.5	8,984,294.4	1,433.7
Cartón	1,035.2	46.9	3,824,635.1	724.6	2,434.3	40.4	8,993,717.0	1,704.0	896.0	14.9	3,310,464.6	627.2
Envase de cartón encerado	69.0	3.8	ND.	ND.	304.3	10.1	ND.	ND.	ND.	ND.	ND.	ND.
Madera	241.5	1.6	858,755.0	ND.	ND.	ND.	ND.	ND.	ND.	ND.	ND.	ND.
Fibra dura vegetal	345.1	1.5	ND.	ND.	608.6	17.1	ND.	ND.	ND.	ND.	ND.	ND.
Residuos de jardinería	2,415.5	9.1	1,503,401.0	ND.	608.6	13.8	378,780.2	ND.	ND.	ND.	ND.	ND.
Residuos alimenticios	10,352.1	30.2	3,450,354.9	ND.	2,028.6	4.1	676,132.4	ND.	398.2	0.8	132,733.4	ND.
Hueso	34.5	0.3	ND.	ND.	ND.	ND.	ND.	ND.	ND.	ND.	ND.	ND.
Loza y cerámica	69.0	0.3	ND.	ND.	ND.	ND.	ND.	ND.	ND.	ND.	ND.	ND.
Vidrio de color	34.5	0.2	1,116.0	10.4	30.4	0.2	984.1	9.1	ND.	ND.	ND.	ND.
Vidrio transparente	345.1	2.8	11,159.6	103.5	608.6	4.8	19,681.5	182.6	99.6	0.8	3,219.8	29.9
Material de construcción	103.5	0.7	ND.	ND.	ND.	ND.	ND.	ND.	ND.	ND.	ND.	ND.
Material ferroso	69.0	0.2	11,179.6	ND.	ND.	ND.	ND.	ND.	ND.	ND.	ND.	ND.
Material no ferroso	51.8	0.5	8,384.7	ND.	20.3	0.1	3,286.1	ND.	99.6	0.3	16,127.7	ND.
Aluminio	17.3	0.3	ND.	120.8	101.4	0.6	ND.	710.0	1,194.7	7.5	ND.	8,363.0
Lata	172.5	2.2	27,948.9	69.0	101.4	3.4	16,430.6	40.6	1,393.8	46.5	225,788.1	557.5
Pañal desechable	3,450.7	27.0	ND.	ND.	3,042.9	26.9	ND.	ND.	1,294.3	11.5	ND.	ND.
Plástico rígido	1,035.2	17.7	7,890,826.1	310.6	101.4	2.9	773,144.1	30.4	199.1	5.7	1,517,780.3	59.7
Plástico de película	1,552.8	44.7	11,836,239.2	465.8	1,622.9	80.9	12,370,305.4	486.9	597.4	29.8	4,553,340.8	179.2
Poliuretano	517.6	12.9	3,945,413.1	155.3	608.6	17.5	4,638,864.5	182.6	199.1	5.7	1,517,780.3	59.7
Poliestireno expandido	172.5	9.6	1,315,137.7	51.8	811.4	70.6	6,185,152.7	243.4	298.7	26.0	2,276,670.4	89.6
PET	690.1	35.8	5,260,550.7	207.0	1,217.2	49.5	9,277,729.1	365.1	398.2	16.2	3,035,560.5	119.5
Hule	34.5	0.7	263,027.5	10.4	101.4	3.8	773,144.1	30.4	ND.	ND.	ND.	ND.
Residuos fino	7,246.5	15.5	11,113,476.3	ND.	2,130.0	4.9	3,266,699.2	ND.	99.6	0.2	152,689.2	ND.
otros	3,105.6	14.8	ND.	ND.	3,042.9	30.8	ND.	ND.	199.1	2.0	ND.	ND.
Total	34,507.0	297.1	56,373,678.5	2,539.7	20,286.0	390.7	50,227,981.8	4,046.0	9,956.0	245.1	26,473,209.1	11,519.1

Nota:

G: Generación; C. Energ: Contenido Energético; AC: Actopan; SS: San Salvador; AR: El Arenal; ND.: No se determinó

Figura 6.7.- Pareto de composición en peso y en volumen de RSU por tipo de material de los municipios de Actopan, San Salvador y El Arenal.



○ ZONA DE ESTUDIO

Para la zona de estudio, se retomaron en conjunto los datos de generación en peso y volumen que resultaron de los tres municipios seleccionados.

Las principales porciones en peso de RSU son; residuos alimenticios con 12.8 ton/día (19.7%), residuos finos con 9.5 ton/día (14.6%), pañal desechable con 7.8 ton/día (12.0%), otros componentes con 6.4 ton/día (9.8%), cartón con 4.4 ton/día (6.7%), plástico película con 3.4 ton/día (5.8%), residuos de jardín con 3.0 ton/día (4.7%) papel con 3.0 ton/día (4.6%) y PET con 2.3 ton/día (3.6%), quedando rezagado un 6.7% de latas, plásticos rígidos y aluminio los cuales, estaban considerados componentes importantes por municipio, además los considerados triviales anteriormente respecto a cada municipio con un 11.7%. Los residuos de fermentación rápida suman 24.4%, cartón y papel agrupan el 11.3% y los plásticos completan un 9.4% en peso (**tabla 6.4 y figura 6.8**).

Respecto a la composición en volumen por tipo de material, las principales porciones son: plástico película con 155.4 m³/día (16.7%), poliestireno expandido con 106.2 m³/día (11.4%), cartón con 102.2 m³/día (11.0%), PET con 101.4 m³/día (10.9%), papel con 84.5 m³/día (9.1%), pañal desechable con 65.5 m³/día (5.8%), otros componentes con 47.5 m³/día (5.1%), lata con 52.1 m³/día (5.0%), poliuretano con 36.1 m³/día (3.9%), residuos alimenticios con 35.2 m³/día (3.8%), quedando rezagado 7% de plástico rígido, el residuo fino y la fibra dura vegetal, los cuales estaban considerados como componentes importantes por municipio, además de los considerados triviales anteriormente respecto a cada municipio con un 10.5%. Los residuos plásticos suman el 42.9%, para el cartón y papel agrupados son 20.1% en volumen (**tabla 6.4 y figura 6.9**).

En resumen, los materiales más representativos de los RSU presentes en la zona de estudio acumulan los siguientes resultados (**tabla 6.5 y figura 6.9**): residuos de fermentación rápida con 24.4%, residuo fino con 14.6%, pañal desechable con 12.0%, plásticos con 11.5 %, papel y cartón con 11.4 %, otros con 9.8%, metales con 4.6% y el resto considerados triviales con 11.7% en peso. En contraparte, la composición de los RSU en volumen corresponde a plásticos con 45.6%, papel y cartón con 20%, pañal desechable con 5.8%, otros con 5.1%, metales con 5%, residuos de fermentación rápida con 3.8%, residuos finos con 2.2%, fibra dura vegetal con 2.0% y triviales con 10.5%.

De la generación total de RSU, estimada en el 2003 en 64,749 kg/día, 57 ton se encuentran constituidas principalmente por residuos alimenticios, residuos finos, pañal desechable, otros, cartón, plástico película, residuos de jardín, papel, PET, poliestireno expandido, lata, y poliuretano, que ocupan un volumen de 829.6 m³ de residuos y pueden generar 115 millones de kcal/día, además de reunir 15,803 kg/día de material fermentable. El mercado de materiales recuperables, ofrece un mínimo de recuperación de \$ 8,134.1 por día si se tiene un control en la separación de materiales recuperables.

Tabla 6.4.- Generación, volumen, contenido energético y venta de los residuos sólidos urbanos de la zona de estudio.

MATERIAL	G. peso (ZE)	G. vol. (ZE)	C. Energ. (ZE)	Venta (ZE)
	kg/día	m3/día	kcal/día	\$
Algodón	89.3	1.1	334,901.8	ND.
Trapo	848.5	10.4	3,182,054.5	ND.
Fibras sintéticas	375.5	3.9	1,408,233.9	ND.
Cuero	373.3	3.3	1,400,002.0	ND.
Papel	3,008.5	84.5	11,311,866.0	1,805.1
Cartón	4,365.6	102.2	16,128,816.6	3,055.9
Envase de cartón encerado	373.3	13.9	ND.	ND.
Madera	241.549	1.6	858,755.0	ND.
Fibra dura vegetal	953.7	18.5	ND.	ND.
Residuos de jardinería	3,024.1	22.9	1,882,181.2	ND.
Residuos alimenticios	12,778.9	35.2	4,259,220.7	ND.
Hueso	34.5	0.3	ND.	ND.
Loza y cerámica	69.0	0.3	ND.	ND.
Vidrio de color	64.9	0.3	2,100.0	19.5
Vidrio transparente	1,053.2	8.4	34,060.8	316.0
Material de construcción	103.5	0.7	ND.	ND.
Material ferroso	69.0	0.2	11,179.6	ND.
Material no ferroso	171.6	0.9	27,798.5	ND.
Aluminio	1,313.4	8.4	ND.	9,193.8
Lata	1,667.8	52.1	270,167.7	667.1
Pañal desechable	7,787.9	65.5	ND.	ND.
Plástico rígido	1,335.8	26.3	10,181,750.5	400.7
Plástico de película	3,773.1	155.4	28,759,885.4	1,131.9
Poliuretano	1,325.3	36.1	10,102,057.8	397.6
Poliestireno expandido	1,282.7	106.2	9,776,960.8	384.8
PET	2,305.5	101.4	17,573,840.3	691.7
Hule	135.9	4.5	1,036,171.6	40.8
Residuos fino	9,476.1	20.7	14,532,864.7	ND.
otros	6,347.7	47.5	ND.	ND.
Total	64,749.0	932.9	133,074,869.5	18,104.8

Nota:

G: Generación; C. Energ: Contenido Energético; AC: Actopan; SS: San Salvador; AR: El Arenal; ND.: No se determinó

Tabla 6.5.- Porcentaje en peso y en volumen de RSU en la Zona de Estudio.

MATERIAL POR GRUPO	ZONA DE ESTUDIO	
	% Peso	% Volumen
Fermentación rápida	24.4	3.8
Pañal desechable	12.0	5.8
Plásticos	11.5	45.6
Papel y Cartón	11.4	20.0
Metales	4.6	5.0
Fibra dura vegetal		2.0
R. fino	14.6	2.2
otros	9.8	5.1
Triviales	11.7	10.5

Figura 6.8.- Pareto de composición en peso y en volumen de RSU de Zona de Estudio por tipo de material de los tres municipios

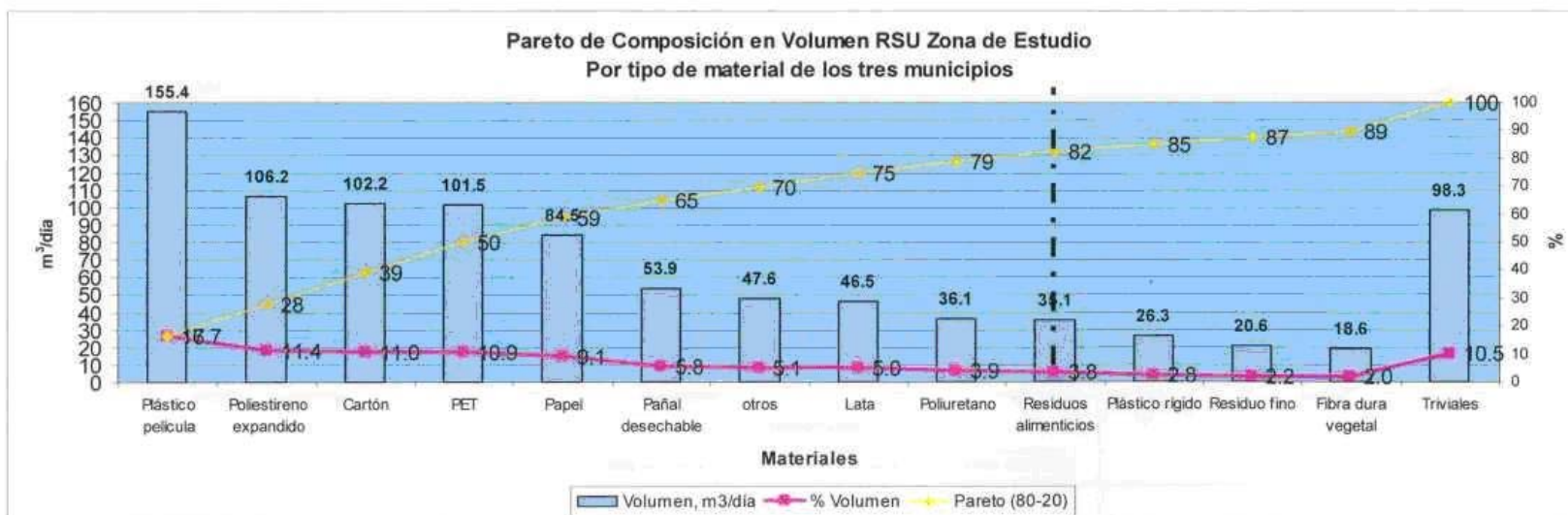
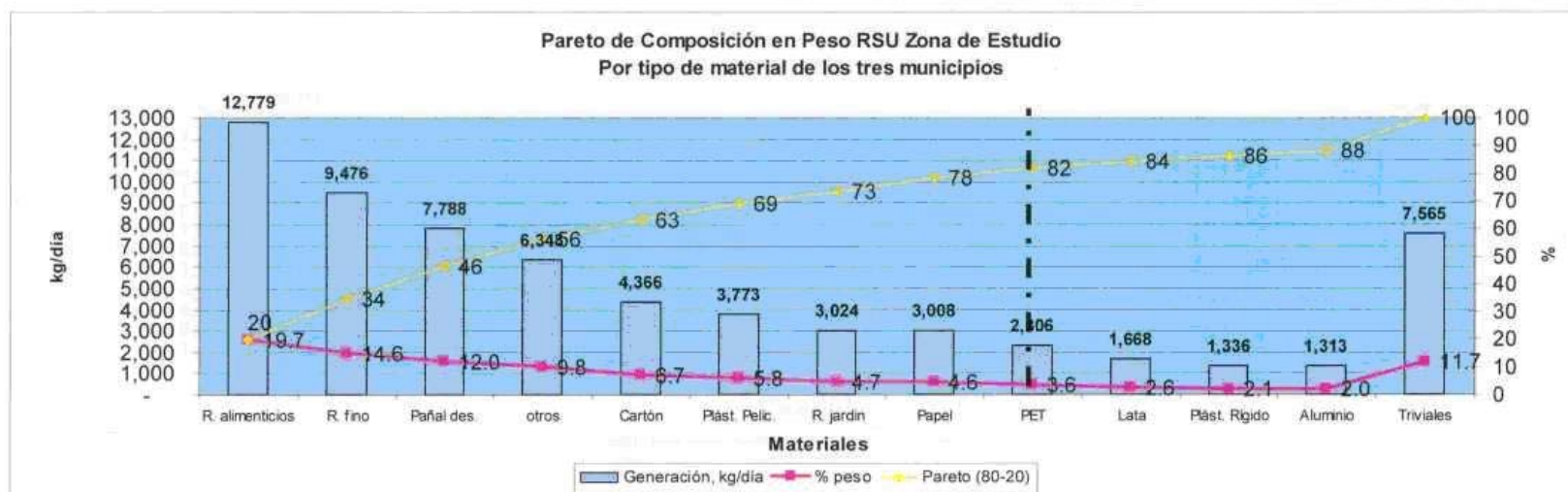
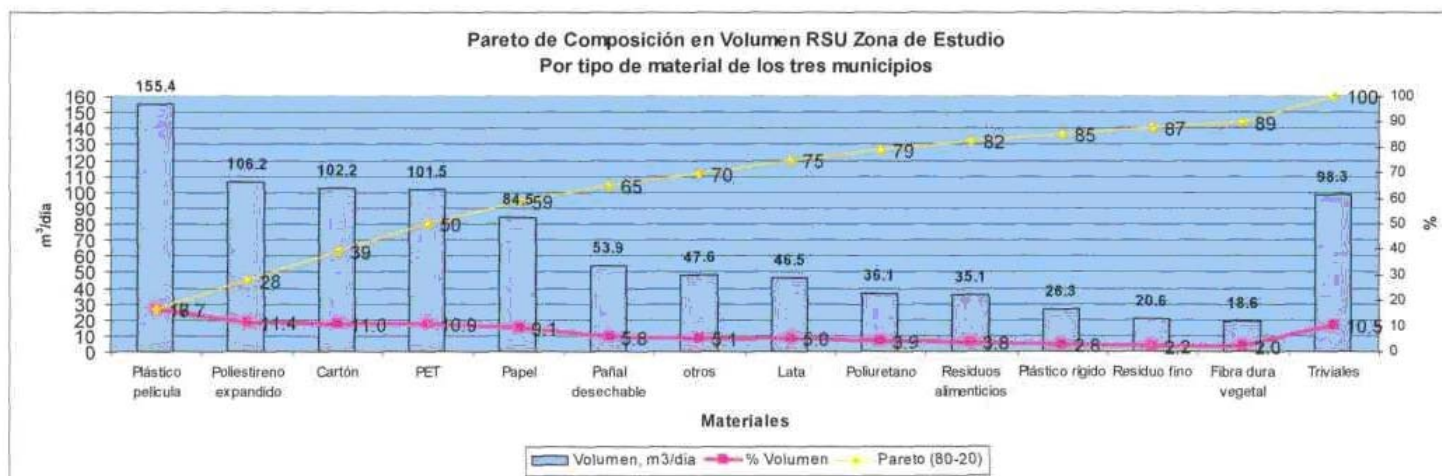
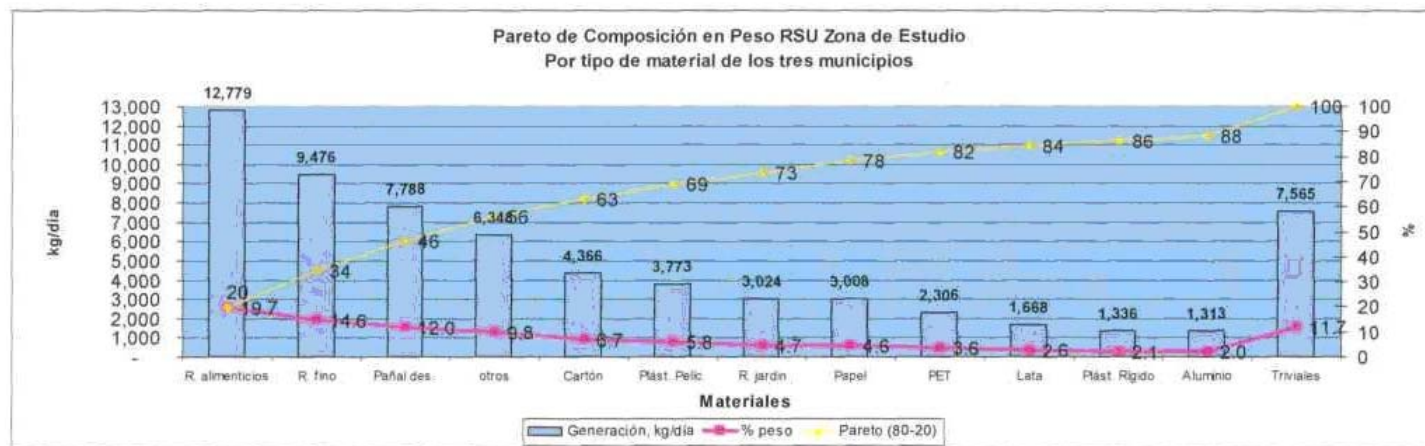


Figura 6.9.- Pareto de composición en peso y volumen de RSU de la Zona de Estudio por grupo de material



Regionalización de la gestión integral de residuos sólidos urbanos

Aunado a las características geográficas, socioeconómicas y culturales, se logró determinar estadísticamente la posibilidad de regionalizar la gestión de los RSU de los tres municipios en estudio, mediante el cálculo de una ANOVA de los datos de generación en volumen máximo de estos (**tabla 6.6**).

Los resultados de los valores máximos de la generación en volumen en los municipios no difieren significativamente, esto como resultado del análisis de varianza (ANOVA), donde $F_o = 2.28$ contra $F_{0.05,2,84} = 3.12$. Lo que quiere decir que se puede realizar un plan de gestión integral de los residuos urbanos en forma regionalizada para los tres municipios de la zona de estudio.

Tabla 6.6.- ANOVA de Regionalización de GIRSU

MATERIAL													
DETERM.	Algodón	Trapo	Fibras sintéticas	Cuero	Papel	Cartón	Envase de cartón encerado	Madera	Fibra dura vegetal	Residuos de jardinería	Residuos alimenticios		
1 G. vol. (AC)	1.2	21.9	1.7	111.1	3.0	14.0	20.3	0.2	0.1	1.3	0.2		
2 G. vol. (SS)	0.3	19.5	4.7	13.3	9.6	10.1	1.0		2.8	2.3	-		
3 G. vol. (AR)	-	1.6	-	-	75.5	14.9	-	-	-	-	0.8		
Total	1.0	2.0	3.0	4.0	5.0	6.0	7.0	8.0	9.0	10.0	11.0		
MATERIAL													
	Hueso	Loza g cerámica	Vidrio de color	Vidrio transparente	Material de construcción	Material ferroso	Material no ferroso	Aluminio	Lata	Pañal desechable	Plástico rígido		
1 G. vol. (AC)	2.0	0.3	0.5	0.9	3.5	1.5	29.1	15.8	28.1	3.5	3.5		
2 G. vol. (SS)	-	-	-	0.2	-	-	9.5	0.6	54.1	5.4	23.2		
3 G. vol. (AR)	-	-	-	0.8	-	-	0.3	7.5	46.5	11.5	5.7		
Total	12.0	13.0	14.0	15.0	16.0	17.0	18.0	19.0	20.0	21.0	22.0		
MATERIAL													
	Plástico de película	Poliuretano	Poliestireno expandido	PET	Hule	Residuos otros fino							
1 G. vol. (AC)	26.0	196.8	120.9	101.6	0.8	2.7	17.9						
2 G. vol. (SS)	60.6	58.4	52.9	12.4	1.1	1.4	30.8						
3 G. vol. (AR)	29.8	5.7	26.0	16.2	-	0.2	2.0						
Total	23.0	24.0	25.0	26.0	27.0	28.0	29.0						
N=	87							n					

NIVELES DE FACTOR	a	SST = Sstrats + Sse	Mstrat = Sstrat(a-1)	$y_{ij} = \mu + \tau_i + \epsilon_{ij}$		
grados de libertad de sst	N-1	$F_o = \frac{Sstrat(a-1)}{Sse/(N-a)}$	$Mse = Sse/(N-a)$	$\mu_0 = \mu_1 = \mu_2 = \dots = \mu_{16}$		
grados de libertad de sstrats	a-1			$\mu_1 > \mu_2 > \dots > \mu_{16}$ para al menos un par ij		
grados de libertad de réplicas	n-1					
grados de libertad de error	N-a					
		Ho: No hay diferencia significativa en la generación en volumen RSU entre mpios. H1: Diferencia significativa en la generación en volumen RSU entre mpios.				
		Ho rechazada si $F_o > F_{\alpha, a-1, N-a}$ alfa probabilidad de error tipo I				
TABLA ANOVA		suma de cuadrados	grados de libertad	cuadrado medio	Fo	F 0.05,2,84
entre tratamientos	SSTrat=	$\sum (\sum y_{ij}^2 - y_{i.}^2 / n_i)$ 229.80	a-1 2	MS trat 114.90	$F_o = \frac{Mstrat}{Mse}$	
error (dentro de tratamientos)	Sse= SST-Sstrat	104110.62	N-a 84	Mse 1239.41	0.09	3.12 2.8 < 3.12
Total	SST	$\sum \sum y_{ij}^2 - y_{..}^2 / N$ 104340.41	N-1 86			Ho NO se rechaza m iguales

Transición de la composición de RSU

Se realizó una comparación a través del tiempo con los datos nacionales e internacionales (México Zona Centro, 2001 y U. S. A, 1990), específicamente en su generación en volumen, que como se ha mencionado, es un parámetro importante en la problemática de falta de espacio.

Así se puede distinguir una reducción gradual en la proporción de papel y cartón respecto a su volumen.

Por otro lado, los residuos de fermentación rápida, presentan un comportamiento inestable pero finalmente tiene una disminución drástica en su volumen.

Los plásticos han tenido un incremento radical en su composición a través del tiempo de acuerdo a la comparación hecha con los datos de Tchobanoglous 1994 y SEMARNAT 2002, sobre todo en volumen.

Las medias de los resultados de la generación máxima en volumen a través del tiempo difieren significativamente. Esto como resultado del análisis de varianza (ANOVA), donde $F_o = 3.33$ contra $F_{o.05,2,84} = 3.12$. Por lo tanto se puede hablar una transición de las porciones en volumen de los RSU de la zona de estudio, al comparar los resultados obtenidos en este trabajo en el mes de marzo del 2005 con los datos reportados nacional e internacionalmente (**tabla 6.7 y figura 6.10**).

Tabla 6.7.- ANOVA de la Transición de los RSU

MATERIAL											
DETERM.	Algodón	Trapo	Fibras sintéticas	Cuero	Papel	Cartón	Envase de cartón encerado	Madera	Fibra dura vegetal	Residuos de jardinería	Residuos alimenticios
1 G. vol. (ZE)	1.6	43.0	6.3	124.4	88.1	39.0	21.3	0.2	3.0	3.6	1.1
2 G. vol. Mex	-	10.0	-	-	50.9	90.6	-	-	-	44.9	100.1
3 G. vol. USA	-	19.9	-	2.0	247.4	77.7	-	5.5	-	118.6	20.0
Total	1.0	2.0	3.0	4.0	5.0	6.0	7.0	8.0	9.0	10.0	11.0

	Hueso	Loza y cerámica	Vidrio de color	Vidrio transparente	Material de construcción	Material ferroso	Material no ferroso	Aluminio	Lata	Pañal desechable	Plástico rígido
1 G. vol. (ZE)	2.0	0.3	0.5	1.9	3.5	1.5	38.9	23.9	128.8	20.4	32.4
2 G. vol. Mex	-	-	3.3	16.5	-	2.0	-	8.1	7.3	-	5.0
3 G. vol. USA	-	-	6.6	19.8	-	6.1	-	2.0	43.7	-	10.0
Total	12.0	13.0	14.0	15.0	16.0	17.0	18.0	19.0	20.0	21.0	22.0

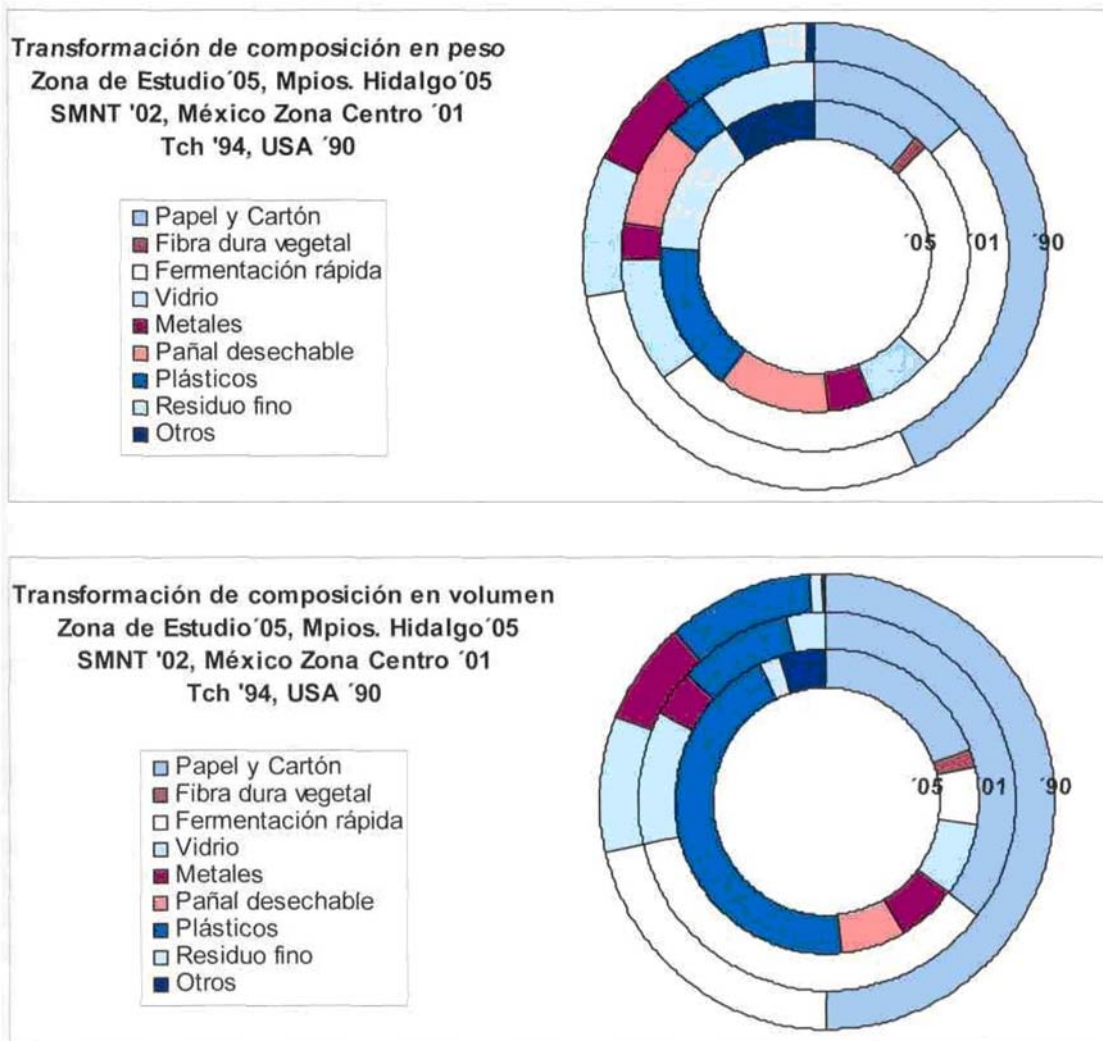
	Plástico de película	Poliuretano	Poliestireno o expandido	PET	Hule	Residuo s fino	otros
1 G. vol. (ZE)	116.4	260.9	199.9	130.2	1.9	4.4	50.6
2 G. vol. Mex	5.0	5.0	5.0	19.9	-	13.5	-
3 G. vol. USA	10.0	10.0	10.0	29.9	-	4.0	2.5
Total	131.4	275.9	214.9	170.1	1.9	17.9	53.1

N=	87.0	23.0	24.0	25.0	26.0	27.0	28.0	29.0	n
----	------	------	------	------	------	------	------	------	---

NIVELES DE FACTOR	a	SST = Sstrats + Sse	Mstrat = Sstrat/(a-1)	$y_{ij} = \mu + \tau_i + \epsilon_{ij}$
grados de libertad de sst	N-1		Mse = Sse/(N-a)	$\mu = \mu_1 = \mu_2 = \dots = \mu_m$
grados de libertad de sstrats	a-1	$F_0 = \frac{Sstrat(a-1)}{Sse(N-a)} = \frac{Mstrat}{Mse}$		$k_1 \mu_1 > k_2 \mu_2$ para al menos un par ij
grados de libertad de replicas	n-1			
grados de libertad de error	N-a			
		Ho: No hay diferencia significativa en la generación en volumen de RSU a través del tiempo		
		Hi: Diferencia significativa en la generación en volumen RSU a través del tiempo		
		Ho rechazada si $F_0 > F_{\alpha, a-1, N-a}$		alfa probabilidad de error tipo I

TABLA ANOVA	suma de cuadrados	grados de libertad	cuadrado medio	F ₀	F 0.05, 2, 84
entre tratamientos	SSTrat = $\frac{1}{n} \sum y_{ij}^2 - \frac{y^2}{N}$ 741.62	a-1 2	MS trat 370.81	F ₀ = Mstrat/Mse	
error (dentro de tratamientos)	Sse = SST - Sstrat 293972.49	N-a 84	Mse 3499.81	0.11	3.12
Total	SST 283814.12	N-1 86			Ho se rechaza m NO iguales

Figura 6.10.- Transformación de la composición en peso y en volumen a través del tiempo de acuerdo a Tchobanoglous 1994, SEMARNAT 2002 y Zona de Estudio 2005.



- **Evaluación de la práctica de composteo como procesamiento doméstico de RSU de la zona en estudio.**

Localización y descripción del composteo

Se trata de un composteo existente elaborado en traspatio en domicilio ubicado en San José Tepenené del municipio de El Arenal.

El propietario lleva realizando esta práctica desde hace 15 años con residuos alimenticios de su domicilio. Su aplicación radica en el mismo traspatio, con el aprovechamiento del mismo para el mejoramiento de la vegetación y del suelo.

El composteo se desarrolla en un tambo de 200 l. ya para su maduración (3 a 4 meses) y maneja un par de botes de 20 l. para un precomposteo (2 a 3 sem.). De este precomposteo se recuperan algunos lixiviados para recircularlos en el tambo de composta y éste último está perforado en el fondo para drenar los lixiviados que ya no se recuperan. El área alrededor no muestra presencia de toxicidad a simple vista.

El área destinada para ésta práctica es de 8 m. x 8 m. tanto para el desarrollo de la operación como de aplicación. Adicionalmente se aplica en plantas de jardín.

El rendimiento de este proceso es del 10%, ya que aproximadamente de 2 kg/día de residuos alimenticios, se recuperan 6 kg/mes de composta.

También es de sumo interés mencionar que el propietario ha tenido la iniciativa de comprobar que las propiedades de la composta brindan mejores beneficios respecto de las que provienen del suelo de la región, ya que realizó un sencillo experimento.

El experimento consistió en el cultivo de palmera *Washingtonia*, que colectó en el área verde del Centro Comercial Casino de la Selva en Cuernavaca Morelos en dos diferentes sistemas: Uno con composta y otro sin ella. Se sembraron 25 semillas en cada sistema, de donde se obtuvo un 80% de germinación en el sistema con composta y 20 % de germinación en el sistema de suelo de su traspatio

Los sistemas se conforman de dos botes de 20 l., uno con composta y otro con suelo del traspatio (suelo de la región). Se maneja una estratificación de materiales en ambos botes como sigue: La capa del fondo se lleno con grava, seguida de una con cenizas (para proporcionar minerales), la capa siguiente es de composta para uno de los botes y de suelo de traspatio para el otro bote. Finalmente ambos sistemas cuentan con una última capa de tierra de monte.

Descripción física de la composta

El color de la composta es negro, de aspecto granular y sin olor.

Determinación de las propiedades químicas de la composta

Los parámetros determinados y de acuerdo a la normativa correspondiente fueron: pH, Humedad, Cenizas, Materia Orgánica, Carbono Orgánico, Nitrógeno Total, Fósforo Total y Relación Carbono/Nitrógeno.

Los resultados de estas determinaciones fueron: pH de 6.47, Humedad de 41.33%, Cenizas de 61.33%, Materia Orgánica de 38.67, Carbono Orgánico de 22.43%, Nitrógeno Total de 0,97% y Fósforo Total de 0.24%. Por tratarse exclusivamente de residuos alimenticios de cocina los metales pesados pueden considerarse como traza y no fueron determinados.

7. DISCUSIÓN

Tomando en cuenta la importancia de tratar de resolver los problemas de gestión para el manejo de los residuos sólidos en las poblaciones más vulnerables, se ha tomado la decisión de dirigir la investigación en un enfoque de regionalización, esto con el fin de que si la propuesta puede funcionar para un grupo de población con características similares, se pueda aplicar una metodología parecida a otros núcleos de cierta marginación.

Con esta problemática da inicio este proyecto. Para tener un punto de partida, se conformó un marco teórico que surgió de literatura en gestión integral de residuos sólidos en el mundo durante los últimos diez años. Se recabó información de índole tanto administrativa como tecnológica a nivel nacional e internacional. Sumado a esto, se presenta la descripción de cada uno de los elementos de esta gestión para brindar a los ayuntamientos un panorama general en manejo de los residuos sólidos, sin olvidar de presentar las bases de cimentación de esta como lo es el marco normativo al cual los ayuntamientos deberán regirse en la administración y operación del sistema en el orden de manejo de residuos sólidos urbanos. Como la gestión viene dada por una responsabilidad compartida también se describen las herramientas éticas y pedagógicas necesarias de educación ambiental para lograr la concientización de la ciudadanía y administradores de los ayuntamientos.

La gestión integral de residuos sólidos urbanos se logra bajo un enfoque de responsabilidad compartida y objetivos específico, con el compromiso de implementar una propuesta a corto, mediano y largo plazo de como han evolucionado los RSU en los últimos treinta años, qué legislación municipal, estatal o nacional afectan al campo de la gestión y ante todo, con las responsabilidades que tenemos sobre el medio ambiente. Por lo que contar con el inventario general sobre la composición de residuos sólidos, su tasa de generación, recogida, transferencia, transporte, transformación, recuperación y disposición final, permitirá dirigir la propuesta técnica de acuerdo a los requerimientos y problemática de los municipios estudiados. Además de conocer la situación actual de manejo administrativo de los ayuntamientos, los hábitos comunes propios de los ciudadanos, actividades que enmarcan la situación que prevalece en el presente y que permitirá implementar recomendaciones también sobre educación ambiental; todo ello en conjunto con las variables que se manejan en los estudios de impacto ambiental que van desde las físicas hasta las sociales, sin descartar la misión de pasar de una condición tradicional de los RSU a una condición integral regional a mediano plazo, con la visión de contar con un modelo de gestión integral sobre los RSU municipales en el futuro.

Tomando en cuenta lo anterior, se formuló una propuesta que contenga el planteamiento de las actividades administrativas y operativas más aptas para la solución a la problemática en el manejo de residuos sólidos urbanos en los municipios seleccionados. Las cuales conformarán un sistema adecuado a sus posibilidades socio-económicas, culturales y educativas.

De los factores que se tomaron en cuenta para la elección de la zona de estudio son: vías de comunicación, calidad de vida, actividades socioeconómicas y culturales, características del suelo, educación, ubicación, clima y demografía principalmente y con respecto a la capital del estado. Es de mención que se descartaron zonas que bien, si se encuentran cercanas a la capital del estado, tienen demasiada variedad en la fisiología de sus suelos, por sus pendientes altas que no son convenientes a nuestros propósitos, presentan problemas sociales y económicos, delincuencia, falta de interés político de sus autoridades en sus diferentes niveles, cambio de actitud social, o bien, han sufrido un cambio demográfico significativos a muy corto plazo o por el establecimiento de población proveniente del Distrito Federal o estado de México. Todas estas, situaciones que no son muy recomendables para nuestro estudio.

Los municipios de Actopan y San Salvador y El arenal, conforman nuestra área de estudio. Estos presentan mayor accesibilidad vial, ya que se conectan por la carretera México-Laredo, además es una región que ha comenzado por interesarse en la gestión de residuos sólidos, sin grandes cambios demográficos, condiciones socioeconómicas y culturales similares, lo que nos permitirá con esta investigación introducir cambio en su gestión acerca de los RSU.

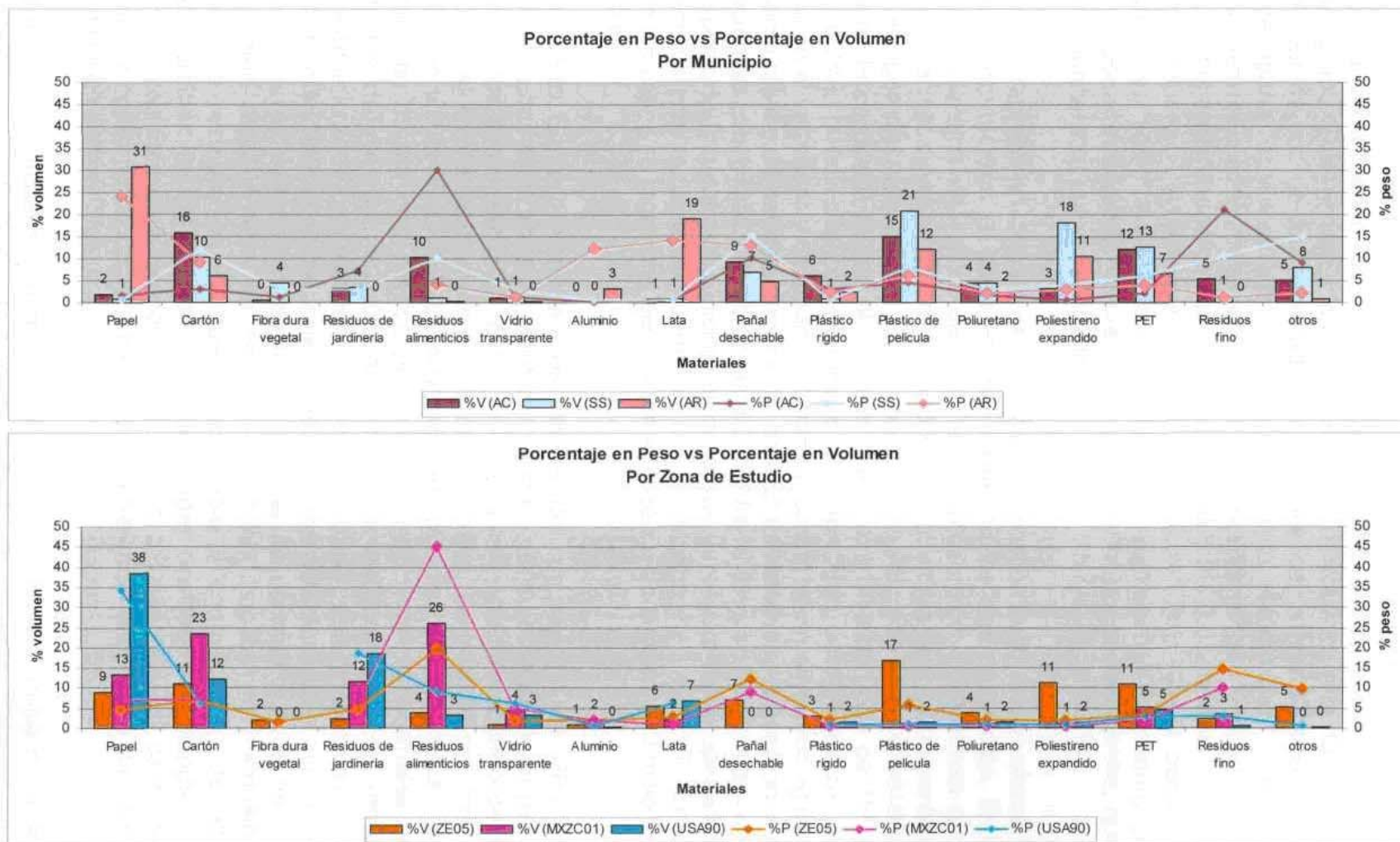
Como punto de partida y se realizó una evaluación en la composición de sus residuos sólidos urbanos, así como del manejo actual de los mismos tanto de forma administrativa a través de los ayuntamientos y en el rubro doméstico por los ciudadanos de los municipios a evaluar.

Respecto a la composición de los RSU, los resultados brindan una herramienta útil para conocer los materiales que prevalecen en el consumo habitual de la zona y las consecuencias en contaminación y en requerimiento de espacio de los RSU, y también permite visualizar sus ventajas como la recuperación económica, generación de energía calorífica y contribución de nutrientes. Así mismo, para revelar los materiales recuperables con mayor prioridad en atención (**tabla 6.2 y 6.4**).

■ Evaluación de la composición de los RSU

A continuación se describen las tendencias de generación, composición y disposición, de acuerdo al estudio realizado en la zona, así como las recomendaciones pertinentes para el manejo de cada tipo de residuo (**figura 7.1**).

Figura 7.1.- Porcentaje en Peso vs Porcentaje en Volumen entre municipios y de la zona de estudio vs datos nacionales e internacionales.



San Salvador y El Arenal reportan los valores más altos en proporción en peso de cartón, mientras que Actopan muestra un valor superior en proporción en volumen. La proporción en peso de este material se encuentra dentro de la media de la zona centro de México (SEMARNAT 2002) e internacional (Tchobanoglous, 1994) y respecto a su proporción en volumen reporta valores con 10% por debajo de los reportados en la zona centro de México. La importante aportación de este material en la zona de estudio de 4.4 ton/día (6.7%), le permite su incorporación en sus procesos de origen y además de tener una recuperación económica de alrededor de \$ 3000.00 diarios. Por su importante proporción en volumen de 11.0% (102.2 m³/día), vale la pena su minimización ya sea compactado o desviado del vertedero. Por último se puede mencionar que puede generar alrededor de 16 millones de kcal/día, que se pueden aprovechar como combustible.

San Salvador representa los valores más altos de plástico película en volumen, mientras la composición en peso es muy similar en los tres municipios. Esta categoría marca una diferencia del 15% en su proporción en volumen con respecto a los datos nacionales e internacionales, mientras que su porcentaje en peso es ligeramente superior. La composición en volumen de este material triplica a la de peso, por lo que el volumen que ocupa en esta zona de 155.4 m³/día (16.7%), puede ser compactado a alta densidad para minimizar su presencia en el vertedero y destinarlo a obras de construcción de muros ligeros o bien como relleno de campos deportivos, bancos de materiales clausurados o restauración de paisajismo. También las 3.8 ton/día (5.8%), se pueden desviar de su disposición final para su reciclaje en procesos de origen. La recuperación económica de este material se puede dar con un mínimo de \$ 1,132.0. En el último de los casos se logra una generación energética de cerca de 29 millones de kcal/día.

Actopan y San Salvador reportan los valores de composición de PET en volumen más altos en la zona de estudio, mientras que su proporción en peso es similar en los tres municipios. Estos resultados se encuentran dentro de la media nacional e internacional en su fracción en peso, pero están por arriba con un 6% en volumen. El PET es muy codiciado por diversas empresas y es recolectado en su mayoría por los pepenadores (recolectores informales de subproductos de valor comercial o de uso) en el vertedero para su venta, aunque este solo tiene una recuperación de \$ 692.0, su presencia en volumen de 101.4 m³/día (10.9%) puede traer beneficios más notables como minimizar su presencia en el vertedero o destinarlo a obras de construcción de muros ligeros o bien como relleno de campos deportivos, bancos de materiales clausurados o restauración de paisajismo mediante compactación de alta densidad. También las 2.3 ton/día (3.6%), se pueden desviar de su disposición final para su reciclaje en procesos de origen. En el último de los casos se puede utilizar como combustible y lograr una generación energética de cerca de 17.6 millones de kcal/día.

La zona de estudio muestra una importante presencia de pañal desechable en su composición en peso que está por arriba de la de volumen. Éste material tiene una aparición relativamente reciente en el mercado como reemplazante

definitivo de los pañales tradicionales y su aportación en peso en esta zona de 7.8 ton/día (12%), se hace factible su utilización en el procesamiento de hongos comestibles, además de desviar 65 m³/día (7.0%) de éste de los vertederos.

Actopan es el mayor portador de residuos alimenticios, esto podría ser porque está mejor posicionado económicamente que San Salvador y El Arenal. El desperdicio de comida no tiene una presencia tan notoria en estos últimos, ya sea por generación o bien es proporcionado como alimento para sus animales. Existe una diferencia notable en su composición en peso con la media nacional e internacional, pero las 12.8 ton/día (19.7%) pueden aprovecharse para la mejora de suelos por los nutrientes generados bajo composteo o para la generación de energía por el biogás generado bajo digestión anaerobia. Aunque esta fracción orgánica genera 4.3 millones de kcal/día, se recomienda más los procesos bioquímicos por su alto contenido en humedad. Adicionalmente se puede lograr un desvío de 35.2 m³/día (3.8%) del vertedero.

San Salvador reporta valores de composición en volumen de poliestireno expandido por arriba del resto de los otros municipios de la zona de estudio aunque permanece similar en su composición en peso con ellos. La proporción en volumen de la zona de estudio se encuentra por arriba de la media nacional e internacional, lo que de igual manera puede aprovecharse para solucionar el problema de capacidad de los vertederos, minimizando o desviando un volumen de 106.2 m³/día (11.4%). Bajo compactación alta densidad, al igual que los otros plásticos, se puede reutilizar como relleno en diferentes ámbitos. Su recuperación económica diaria es baja (\$ 385.0) y aunque puede generar casi 10 millones de kcal/día, pero se requieren un estricto control, como en el caso de todos los plásticos.

Las categorías de residuos finos y de "otros" representan una considerable proporción en la composición de los RSU de Actopan y San Salvador respectivamente, donde mostraron los valores más altos respecto a El Arenal la que fue casi insignificante. La información de la zona de estudio y la nacional de proporción en peso está por arriba de los datos en Estados Unidos, aunque en volumen fueron muy parecidos.

Los materiales comparados anteriormente son aquellos que figuran por su importancia en la zona de estudio y se distinguieron por parámetros tales como, composición en peso, composición en volumen, aportación calorífica, de nutrientes y de recursos económicos. También algunos materiales como papel, plástico rígido, poliuretano, aluminio, lata, residuos de jardín y fibra dura vegetal tuvieron una importante presencia en la zona de estudio pero de forma particular.

En El Arenal, el papel llega en grandes cantidades al vertedero municipal, sin que ocurra una recuperación como sucede generalmente en Actopan y San Salvador. A pesar de esto, su presencia sigue siendo notable en la zona de estudio en general. Así mismo destacó en cada uno de los parámetros de comparación. En Actopan se pudo observar también una presencia notable del plástico rígido y poliuretano y este último en San Salvador, lo que los mantiene

presentes en la zona de estudio en importancia, de los cuales se puede obtener importante aportación calorífica.

Cabe mencionar que materiales como aluminio y latas son materiales que no resultaron los más representativos en la muestra de estudio, esto sucede porque son muy codiciados en el mercado y generalmente se recuperan antes de su disposición en el vertedero. En el caso del vidrio se puede decir lo mismo, aunque también se puede decir que ha sido desplazado por los plásticos en muchos de sus usos.

Los residuos de jardín, tuvieron notable presencia en Actopan, logrando permanecer como material representativo en zona de estudio en general. Por último, la fibra dura vegetal, generalmente compuesta de penca de maguey y envoltura de tamal pueden ser elementos característicos de esta región en especial por su gastronomía típica. Este material se encuentra muy cerca de pertenecer a los elementos relevantes de composición de RSU en la zona de estudio. Los registros de comparación en el ámbito nacional e internacional no contemplan esta clasificación.

■ Evaluación del manejo actual de los residuos sólidos urbanos

Respecto a la administración municipal y manejo doméstico de los RSU en la zona de estudio, se puede observar que, como sucede en otros lugares de México y otras naciones con un nivel socioeconómico similar, existen procesos inadecuados en relación al manejo de los residuos urbanos conocidos como de gestión tradicional.

Esta gestión tradicional consiste en la generación de los residuos y acumulación de los mismos en contenedores improvisados. La recolección domiciliar de residuos se realiza en camiones con o sin ninguna adaptación de apoyo para la carga y descarga de contenedores en cada domicilio. En algunos casos se han empleado vehículos con comprensión de residuos y niveles accesibles de carga y descarga. La disposición de los residuos se realiza en basureros a cielo abierto. La recuperación de materiales aprovechables, se hace por parte de personas de muy bajos recursos económicos y en condiciones antihigiénicas, para finalmente incinerar los residuos restantes. También se puede observar la venta de los materiales aprovechables, previa al depósito de la basura; el tipo y cantidad de los materiales recuperados depende de la oferta-demanda del mercado. Comúnmente se practica la incineración de residuos para calentamiento de agua y la separación de los residuos orgánicos comestibles para alimentación de animales de granja y corral.

En oposición se tiene al proceso denominado Gestión Integral (Tchobanoglous, G., 1994) cuyas etapas comprenden:

- a) Prevención (minimización y reducción en la fuente).
- b) Valorización. Con actividades de Reutilización. Reciclaje y Recuperación de energía.

- c) Disposición final de rechazos en rellenos sanitarios (DOF, 1994 y 1996).

También resulta importante en esta gestión, la educación y concientización de la población, la separación y almacenamiento adecuado de materiales, el mejoramiento en los sistemas de recolección, transporte y estaciones de transferencia, por último la evaluación y retroalimentación de los procesos.

Es recomendable que estos municipios como el resto de la Entidad cuenten con infraestructura adecuada para la disposición final de los RSU, es decir, un relleno sanitario. En el caso de la zona de estudio la composición de los RSU, así como las características socioeconómicas y culturales similares entre municipios, permite pensar en una gestión compartida entre ellos. De esta manera se destinarían los recursos para la construcción de un relleno sanitario común, y ampliar el servicio de recolección, ya que actualmente solo el 67% de la población cuenta con este servicio.

En cuanto al manejo de materiales recuperables, la población ha demostrado un interés particular de separar residuos alimenticios 53%, papel archivo (9%), PET (20%) y aluminio (7%), de acuerdo a cada tipo de residuo, lo cual se podría aprovechar e introducir tecnologías como la composta (Foster C, 1985) y la compactación de alta densidad (APREPET, 2002) en particular ésta última con el PET, ya que tienen un peso volumétrico de: 22 kg/m³ aprox. (de acuerdo al estudio realizado para esta investigación). De esta manera se puede promover la minimización y reciclaje (Kundell y Buffer 2002), prioridad en la gestión integral de RSU.

Por último las entrevistas reflejaron que el 97% de la población asegura estar dispuesta a separar los RSU, esto quiere decir que la concientización en este ámbito está presente en la zona de estudio, así, los programas de educación ambiental (UNESCO, 1998) a niños que se están implementando en Actopan pueden fortalecer y orientar de mejor manera este manejo de residuos sólidos. Esto podría funcionar en el resto de la zona de estudio.

Para conocer los hábitos de la ciudadanía, en cuanto al manejo de residuos sólidos en sus domicilios se aplicó un cuestionario en diferentes localidades de la zona de estudio, experiencia de la cual, es importante mencionar la gran disponibilidad e interés a la problemática, así como de opiniones y sugerencias que surgieron ante la exposición del tema por parte de ellos. Por otro lado, cabe mencionar que no se tuvo mucho éxito con los cuestionarios aplicados directamente a los ayuntamientos, donde se hace énfasis, no fue por falta de interés de los mismos, sino debido a sus múltiples ocupaciones, ya sea que brindaran un resumen de las actividades administrativas y de las actividades del servicio de limpia como en el caso del municipio de El Arenal, o bien, se nos proporcionó copia de un reporte que el Consejo Estatal de Ecología (COEDE) solicita a los municipios como fue en el caso del ayuntamiento de Actopan y por último el ayuntamiento de San Salvador respondió algunas partes del cuestionario aplicado. Cabe mencionar que cada ayuntamiento cuenta ya con los resultados de la composición de RSU en sus municipios y de la zona de estudio en general, que se realizó como parte de esta investigación.

Como se ha descrito anteriormente, existe interés de algunos sectores de la población por el aprovechamiento de los residuos alimenticios y lo aplican en la práctica del composteo con éxito a nivel domiciliario.

Es conocido que la práctica del composteo provee ciertos beneficios al suelo y a la vegetación, y en zonas rurales como la de los municipios en estudio, puede aprovecharse en los traspatios, cuyas características es ideal por sus espacios y por la presencia de terreno, árboles y plantas, además del beneficio del ahorro en uso de fertilizantes y evitar el desperdicio.

Las propiedades fisicoquímicas del suelo son definitivas para la adecuada producción de cultivos, ya que determinan la fertilidad, estructura, textura y pH del mismo. Estas propiedades pueden ser corregidas o aminoradas mediante la aplicación de compostas, que darán un alto valor energético y nutritivo a las plantas y fertilidad a los suelos.

Es recomendable extender esta práctica en las aulas como lo realiza el ayuntamiento de Actopan mediante sus programas de educación ambiental.

Se puede obtener un mayor aprovechamiento, si la recuperación de residuos alimenticios se hace a nivel regional y se instala una infraestructura adecuada para su procesamiento, en este caso de composteo.

■ **Propuesta de gestión integral de residuos sólidos urbanos en los municipios seleccionados**

Ante el panorama que se ha conformado en forma general, los ayuntamientos pueden darse a la tarea de introducir en sus programas de manejo de residuos sólidos los elementos listados en la forma que les convenga y conforme a sus posibilidades económicas y características socio-culturales. También sería importante que las directrices que tomen, los lleve a poder financiarse mediante la colaboración económica del generador, al aprovechamiento de materiales de recuperación con la oportuna separación en el origen, así como de las diferentes tecnologías de transformación.

Por otro lado, los resultados de esta investigación muestran como se esperaba, que el plástico se ha colocado como un nuevo protagonista de éstos residuos municipales, sobre todo en su composición en volumen, aunque los residuos alimenticios puntan la composición en peso de los RSU.

Finalmente surge la siguiente propuesta (**figura 7.2**):

La Gestión Integral de Residuos Sólidos Urbanos se debe regionalizar para la zona en estudio, es decir, conjuntar los recursos económicos para enfrentar la transformación de ésta gestión en el ámbito administrativo y tecnológico. Es importante que en dicha gestión se determinen las pautas administrativas y operacionales a seguir, reforzándolas con la difusión de educación ambiental para la concientización de los generadores y operadores, y con una responsabilidad compartida entre ciudadanía y ayuntamientos.

La normatividad se debe difundir y generar los reglamentos aplicables a nivel municipal en lo referente a la regulación del manejo de residuos sólidos.

Actopan tiene programas interesantes de educación ambiental enfocados a la selección de materiales reciclables de RSU y la generación de composta. Estos programas se pueden hacer extensivos a los otros dos municipios.

Si bien es importante la educación ambiental para la concientización de los generadores de RSU (fabricantes y usuarios de productos), también es una realidad que, a pesar de la disponibilidad de cierta parte de la población podría estar dispuesta a mejorar los hábitos de manejo de residuos y seguir los lineamientos de normatividad, habrá quienes no estén interesados, por lo que se requiere tomar mano de los llamados eco-impuestos para ejercer cierta obligación en el cumplimiento de los lineamientos. Dichos recursos se pueden aprovechar para mejorar el servicio de limpia en su equipamiento y para ampliar las rutas de recolección.

Es importante marcar una jerarquización del manejo de residuos iniciando por la práctica de minimización, seguido por la reutilización de reciclables por parte del generador, es decir, en origen, y finalmente con el apoyo de centros de acopio y plantas de selección promover el reciclaje para la transformación de los residuos. Es decir, valorizar los RSU mediante el Método de las 3R's.: Reducir, Reutilizar y Reciclar,

De acuerdo a los resultados de caracterización de los residuos sólidos urbanos de la zona en estudio, se toman como tecnologías factibles de aplicación, la compactación de residuos plásticos y el composteo de residuos de fermentación rápida. No sin olvidar la importancia de contar con un relleno sanitario debidamente controlado y estaciones de transferencia correspondientes.

La separación de subproductos en el origen se puede continuar con la que actualmente realizan los ciudadanos en sus domicilios y promover la recuperación del PET y compactarlo para su transformación futura y el composteo en el traspatio de los domicilios. Estas tecnologías también pueden aplicarse en los rellenos sanitarios bajo un diseño específico.

La recuperación de subproductos por medio de una planta de selección, resultaría también el la recuperación económica mediante la venta de dichos subproductos.

Los problemas de contaminación de suelos y falta de espacio para la disposición final de los residuos pueden reducirse mediante un relleno sanitario seco. La compactación y embalaje de las balas evita la contaminación por lixiviados y biogás, impacto visual, fauna nociva, etc.

A continuación los puntos relevantes de esta propuesta se describen más detalladamente.

Administración de manejo de residuos sólidos

La tarea administrativa de la gestión integral de residuos sólidos (COEDE, 2003a), se puede encontrar con factores que influyen en la mayoría de los ayuntamientos e inciden en problemas ambientales, sociales, y en algunos casos de salud pública y de orden político

En el rubro normativo, se puede encontrar que existe una coordinación interinstitucional de modo parcial para regular el manejo de residuos sólidos, por lo que hay que definir un mecanismo para la evaluación periódica, integrando a las instancias y dependencias federales, estatales y municipales. Así mismo la falta de una difusión permanente de la normativa estatal y federal en ésta materia, hace necesario promover programas de comunicación social a fin de difundir la legislación ambiental. Adicional a esto, no existe la reglamentación municipal para la regulación del manejo de residuos sólidos, por lo que se requiere elaborar.

En cuanto a la situación económica, existe una carencia de control adecuado e independiente de los recursos invertidos en la prestación del servicio por los ayuntamientos, para determinar los costos unitarios del servicio, por lo que se hace necesario instrumentar acciones para lograr la administración independiente de los recursos de los sistemas municipales de limpieza y poder otorgar información financiera y confiable del sector. Así mismo, no se realiza el cobro del servicio, situación que se propone el cobro de tarifas por concepto de pago del servicio de manejo de residuos sólidos municipales, para que el sistema opere de manera eficiente y autofinanciable. De la misma manera, determinar los lineamientos para fijar las tarifas por el servicio de limpieza y recolección.

Método 3R's

La gestión integral de residuos sólidos (SEMARNAT, 2004), implica diversas operaciones administrativas y de procesamientos físicos, químicos y biológicos que en conjunto logran un método de acción que se ha considerado como base para disminuir al máximo la generación de residuos sólidos, con la participación de la ciudadanía y el ayuntamiento.

El método a cumplir, se compone de tres acciones: reducir, reutilizar y reciclar.

Reducir implica preferir productos de corta vida de anaquel, con menos envolturas, dar preferencia a bolsas que no sean desechables, utilizar botellas retornables y comprar sólo lo necesario.

Reutilizar es el aprovechamiento de artículos que pueden utilizarse varias veces, como las hojas de papel, rellenar botellas de plástico con nuevos líquidos, así como donar artículos en buenas condiciones.

Reciclar resulta de la separación de los residuos orgánicos e inorgánicos desde su origen, es decir, recuperar éstos últimos en sus diferentes categorías: vidrio, papel, fierro, aluminio, plástico, etc., con el fin de utilizarlos dentro de las actividades originales, o bien, para su transformación en nuevos productos.

Los logros obtenidos ante éstas acciones, se traducen en ahorro de energía, materia prima, agua y combustibles, se prolonga la vida útil de los rellenos sanitarios, disminuye la contaminación del medio ambiente, así como la utilización de recursos naturales para la elaboración de nuevos productos, se incrementa el acopio de residuos reciclables con la separación de los mismos y se tiene la posibilidad de producir composta como mejorador de suelos de jardines o cultivos, evitando la destrucción de paisajes que aún se conservan, al tratar de incorporar el humus en suelos dañados o improductivos.

La finalidad de éste plan, es la de lograr la minimización de la generación de los residuos sólidos y la máxima valoración posible de materiales y subproductos obtenidos en los mismos, considerando criterios de eficiencia, medio ambiente, económicos y sociales.

Reciclaje

Otra propuesta indispensable para el aprovechamiento de recursos, es el reciclaje de materiales (ECOCE), el cual, también puede evitar que materiales valorizables contenidos en los residuos vayan a disposición final, pero hay que considerar que es un proceso complejo de separación y recolección de materiales, la preparación de éstos para su reutilización, reprocesamiento y transformación y su nuevo uso, que en sí consume recursos durante el transporte, selección, limpieza y reprocesado de los materiales reciclables. Además, en este proceso también se producen residuos.

El beneficio ambiental de reciclar varía de acuerdo con los materiales y también conforme a las tasas de reciclaje, además son mayores cuando aplican a los residuos materiales valorizables limpios y disponibles en grandes cantidades.

Cabe mencionar que al reciclar una tonelada de papel se salvan 17 árboles, y en México se tiran 22 millones de toneladas por año, desperdiciando un 33 % de la energía y se ahorrarían 28 mil millones de litros de agua. Con respecto al vidrio, la cultura del reciclaje se tiene desde hace 3 mil años, lo que hace que México ahorre el 32% de energía requerida, de igual manera el reciclado de aluminio permite el ahorro de energía.

Se puede proceder a una separación obligatoria de materiales reciclables a nivel domiciliario e institucional, seleccionados tomando en cuenta un indicador de desempeño que se calcula a partir de la suma de toneladas recuperadas en

esquemas regionales. Esta estrategia refleja la realidad operacional en las diferentes localidades.

El reciclado es una serie de pasos por medio de los cuales se reacondicionan y devuelven las propiedades y características de un material para poder ser materia prima para elaborar productos nuevos.

Recuperación de PET

Uno de los materiales reciclables que están ocupando un lugar importante en la composición de los residuos sólidos en la última década son los plásticos, en particular el polietileno tereftalato **PET/1** (APREPET). El polietileno de alta densidad PE-HD/2, el policloruro de vinilo PVC/3, polietileno de baja densidad PE-LD/4, el polipropileno PP/5, el poliestireno PS/6 y otros materiales plásticos laminados (7), son otras clases de plástico existentes.

El plástico PET (polietilentereftalato), se elabora desde 1976 para envases ligeros, transparentes y resistentes para bebidas. Son resistentes al impacto, no tóxicos y de cierre hermético. Ha desplazado otros materiales y es totalmente reciclable, por lo que se recomienda depositar los envases separadamente, no sin antes destaparlos y aplastarlos (**figura 7.3**).

La labor de un centro de acopio es separar los materiales reciclables, clasificarlos por tipo de material, luego por color, eliminar contaminantes, compactarlos, almacenar y transportar.

Los plásticos se compactan con una presión específica de compactación de 20 Kg.cm², dándoles a los mismos una muy alta densidad de 850 a 1200 Kg.m³ y una estabilidad geométrica de las pacas perdurable aun rompiendo los cinchos de alambre que rodean y sujetan la bala.

Se tiene como fin introducir la cultura de la reducción, reutilización y reciclaje del PET en esta área y así aumentar el número de empleos.

Para poder realizar la tarea de acopio de plástico PET, se requiere contar con los siguientes elementos:

- Un volumen mínimo de operación mensual de 80 a 100 ton.
- Una distancia máxima al comprador de 100 km.
- La participación de la ciudadanía
- Un espacio techado de 500 m² mínimo
- Dos prensas para pacas de 200 kg.
- Montacargas o polipasto
- Molinos de 20 a 25 HP.
- 3 camionetas de 3.5 ton
- Personal de alrededor de 10 agentes
- Acceso adecuado a vehículos

Los pasos necesarios para el acopio y compactación de los plásticos Pet y/u otros son los siguientes (**figura 7.3**)

- ☑ Registro y control de acceso
- ☑ Clasificación de plástico
- ☑ Dosificación del plástico a compactadoras
- ☑ Compactación de alta densidad
- ☑ Almacenamiento de pacas

Figura 7.3.- Reciclo y acopio de PET. (Fuente: ECOCE y APREPET)



Durante y después de las tareas de acopio, el fin es el de integrar este residuo nuevamente a un ciclo productivo como materia prima, por lo que el PET puede reciclarse de manera mecánica, química y energéticamente. El reciclado mecánico trata de su separación, limpieza y molienda, el reciclado químico trata de procesos de metanólisis y glicólisis, que logra despolimerizar el plástico y fabricar nuevamente PET incluso para envasado de alimentos, finalmente el reciclado energético trata de la combustión del PET, ya que tiene un poder calorífico de 56.3 kcal/kg., con la finalidad de generar energía, de cuyas emisiones requieren de control por su toxicidad. Además si no se cuenta con una transformación inmediata, se puede almacenar temporal o permanentemente en bancos de materiales abandonados, áreas deportivas o utilizarse para la restauración de paisajismos.

En países desarrollados se utiliza en lámina para termoformado, madera plástica, alfombras, rellenos de chamarras, escobas, aditivos o soportes para pavimentación, botellas nuevas multicapa, combustible, etiquetas y tapas de polipropileno o polietileno. En México el PET reciclado se utiliza para la

fabricación de fibra poliéster en un 16.7% y para flejes en un 1.5% (**figura 4.11** del capítulo 4.).

La deficiente educación, planeación y tecnología con la que actualmente existe en México, nos puede guiar a una alternativa que aproveche la lenta degradación de los plásticos: Almacenarlos temporalmente en forma compactada como relleno de zonas deportivas o bancos de materiales, así como restauración de paisajismos.

Composteo

Enmarcándonos en la filosofía del desarrollo sostenible con la promoción de sistemas productivos, ya que se requiere producir más con menos recursos y minimizar el impacto sobre el medio ambiente, se recurre al tratamiento de residuos de fermentación rápida como práctica clave de la gestión moderna de residuos. La ejecución de ésta propuesta puede aplicarse desde un nivel domiciliario de la forma más sencilla, como se ha descrito anteriormente en los elementos de la gestión integral de residuos sólidos urbanos, o bien, adecuando la infraestructura del relleno sanitario para su ejecución en el mismo (Barradas, A., 1999).

El proceso se aplica de acuerdo a las siguientes recomendaciones:

- ☑ La distancia entre la instalación de composteo y los cuerpos de agua superficiales tales como ríos, lagos, humedales o estuarios, no debe ser menor a los 100 m.
- ☑ El área deberá tener una pequeña inclinación para permitir el escurrimiento natural del agua; y debe estar limpia de residuos inertes; además debe contar con una vía de acceso al área apta para todo tiempo.
- ☑ Los residuos seleccionados para el proceso de composteo no deben contener objetos punzocortantes mayores de 25 mm de diámetro; deben estar limpios de residuos inertes.
- ☑ El material destinado para el proceso de composteo se tritura hasta lograr un diámetro de 3 a 5 cm., ya que así se acelera el proceso de degradación de la materia orgánica.
- ☑ Los residuos triturados se depositan en forma de pila para su degradación. Las pilas deben tener las siguientes dimensiones: 2 m de ancho, 1.5 m de alto; y el largo no debe pasar de 20 m.
- ☑ Se cuida que el proceso se desarrolle adecuadamente, para reducir los patógenos por calentamiento del material a 55°C durante 3 días como mínimo, también debe cuidarse la frecuencia de volteo de las pilas, ya que como mínimo debe recibir 5 volteos durante todo el proceso, además la humedad debe ser del 60 al 70 %.
- ☑ Se hacen anotaciones de la temperatura y la humedad diariamente, lo cual irá determinando la necesidad de volteos y riego con agua. El proceso puede durar de 3 a 5 meses, definida la terminación por la estabilidad de la temperatura con respecto a la ambiental.
- ☑ Se anotan las observaciones referentes a la generación de olores, lixiviados, atracción de moscas u otros insectos. La aparición de algunos de estos factores puede disminuirse cubriendo las pilas con composta madura, o en su defecto cubriéndolas con residuos de jardinería en los primeros días de procesamiento.

- ☑ La composta terminada no debe contaminarse con los demás residuos. Terminado el proceso de composteo, se criba con una malla de 3 mm. De diámetro, el material que no logre pasar por esta malla se deposita en otra pila en proceso para finalizar su degradación.
- ☑ Después de cribar la composta se permite la maduración del mismo por un periodo mínimo de 6 semanas antes de ser aplicado en agricultura, jardinería, etc.
- ☑ La composta madura se analiza en el laboratorio para determinar su calidad. Los parámetros mínimos a analizar son: pH, granulometría, materia orgánica, carbono orgánico total, nitrógeno total, relaciones C/N, humedad, cenizas, fósforo total, potasio, sodio y metales pesados.

Inicialmente se trituran los residuos de fermentación rápida, ya triturado, se van formando las pilas de forma piramidal de 2 m de base por 1.5 m de altura (pilas A y A', **figura 7.4**). Tomando en cuenta que la composición de los residuos orgánicos incluye residuos de cocina y residuos de jardín, es conveniente colocar primeramente una capa del material más grueso de residuos secos de jardín en el área. Ello incrementa la ventilación de la pila desde el fondo.

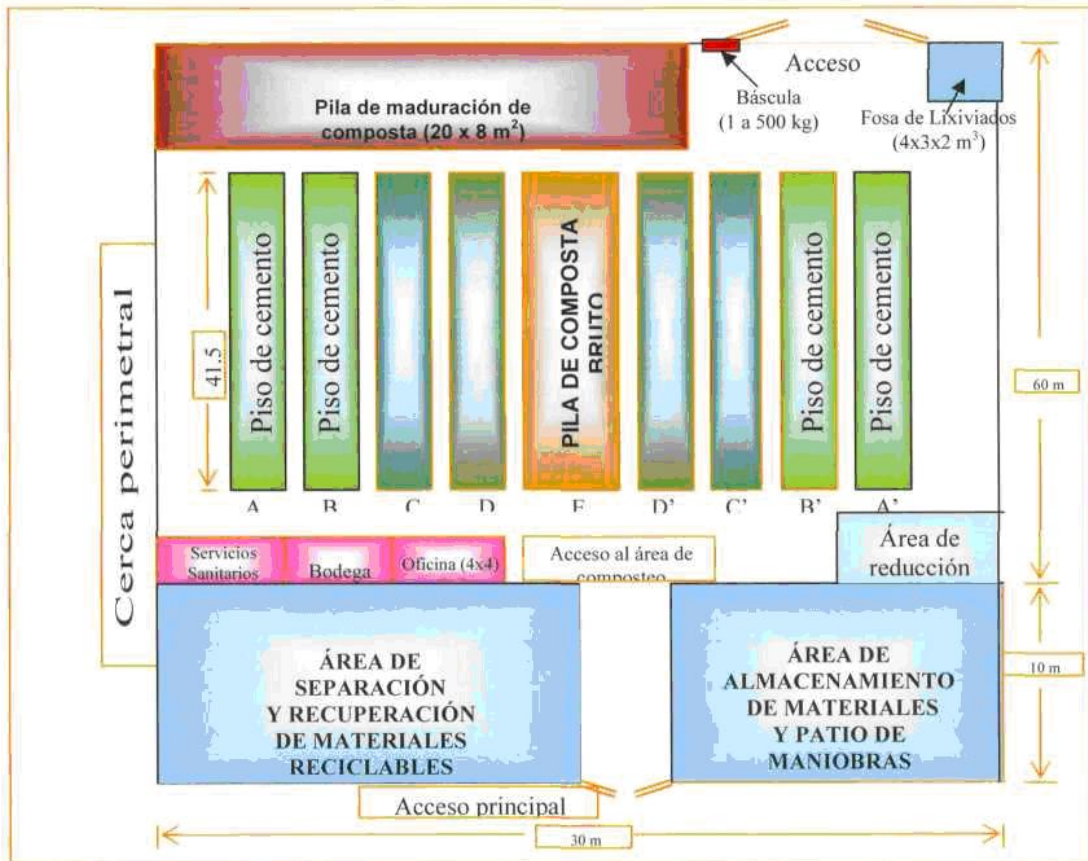
Posteriormente se humedece esta capa con agua con una regadera, de modo que todo el material tenga la humedad de una esponja exprimida y enseguida se coloca el material verde y consecutivamente los residuos de cocina, humedeciendo de igual manera que lo anterior. El proceso se repite hasta que esté totalmente llena la capacidad de la pila.

La pila A corresponde a la pila inicial de compostaje, la cuál agota su capacidad en 15 días. Los residuos frescos recién depositados se van cubriendo con composta madura al terminar la jornada, para evitar cualquier problema de olores desagradables, y posteriormente, si se desea, con una capa de residuos frescos de jardín para evitar mal aspecto visual. Una vez terminada la pila se deja reposar durante 10 días.

La pila A' corresponde a la continuación de recepción de residuos de la pila A. Estas pilas, A y A', se ubican en los extremos del área de compostaje. Igualmente se dejan pasar 10 días después de su llenado, antes de voltearlas para formar las pilas B y B'.

En esta fase y las siguientes, cuando ya se lleva algún tiempo de aplicación del tratamiento, es recomendable agregar los subproductos del proceso (material sobrante de la cribada anterior y los lixiviados producidos para humectación de la pila).

Figura 7.4.- Detalle de las instalaciones para el composteo de los residuos orgánicos



Tratamiento. Es muy importante monitorear la temperatura diariamente y registrarla cada día. Ésta se mide a 3 profundidades diferentes insertando el termómetro hacia abajo de un lado hacia el centro de la pila. Un termómetro de 30 cm. de largo es más conveniente. Después se voltea el material, mezclando todos los ingredientes, tal que la parte interior de la pila quede afuera y la exterior quede como núcleo interior, formando las pilas B y B'.

Después de voltear las capas, el manejo se reduce a la vigilancia diaria de la temperatura, color y olor, y el control periódico de la humectación. Las pilas B y B' se van formando con el material proveniente del volteo de las pilas A y A' respectivamente, se recomienda que el volteo de la pila no exceda los 5 días de operación. Así, las pilas A y A', una a una, quedan vacías y listas para la siguiente recepción de residuos.

Las nuevas pilas B y B', se dejan en reposo durante 10 días, después de los cuales, se deben voltear para formar las pilas C y C', respectivamente. Las pilas C y C' se dejan en reposo por 10 días y se voltean para conformar las pilas D y D', las cuáles reposan 10 días antes de removerlas hacia la pila E.

Finalmente la pila E, conformada con los materiales de las pilas D y D', permanece desde 10 hasta 30 días en reposo, según se acumule la composta bruto, antes de su remoción hacia la pila de maduración.

Post-tratamiento. Al término de las etapas de volteo se traslada el material al área de maduración de composta, ubicado en un extremo del área de compostaje. Ahí el material se deja por un periodo mínimo de 2 meses.

En la **tabla 7.1** se observan los cambios de la pila mientras pasa de la primera etapa de degradación biológica a la segunda de formación de humus y estabilización.

Tabla 7.1.- Criterios de control en el proceso de composteo.

CRITERIO	PRIMERA ETAPA	SEGUNDA ETAPA
Temperatura	52 a 60°C	Marcada disminución
Humedad	60 a 80 %	Disminución notable
Color	Café/verde a amarillo	Café oscuro a negro
Olor	Mohoso	De tierra a leñoso.

Al terminar la segunda etapa, es decir, la etapa de estabilización, la composta producida es muestreada para evaluar su calidad.

La toma, preservación y análisis de las muestras debe asegurar la representatividad y validez de los resultados. Las muestras compuestas deben consistir por lo menos de 3 muestras individuales de igual volumen, de tal manera que sean representativas de las pilas enteras. Cada punto de muestreo debe estar a una profundidad de 60 cm. desde la superficie exterior.

Debe analizarse una muestra de composta a intervalos de al menos cada 1,000 toneladas o cada 3 meses, lo que ocurra primero, para los siguientes parámetros: humedad, materia orgánica, nitrógeno total, fósforo total, sodio, potasio, relación C/N y metales pesados (Cd, Cu, Cr, Pb, Zn y Ni).

Después de que se realizan los análisis correspondientes a cada lote de composta, es necesario separar la pila y colocarla en el área de maduración para su respectivo secado, hasta un nivel de humedad del 15 al 20 % y se continua con el siguiente paso que es el proceso de refinación; ya que el objetivo principal es de eliminar la materia orgánica que no se logró totalmente degradar y darle una forma homogénea a la composta.

El producto final puede almacenarse durante 1 año o más a niveles de humedad cercanos al 17 %. Si no se logra este nivel, la descomposición continuará y la composta entrará a la etapa de mineralización. Lo deseable es evitarlo y producir una composta con alto contenido de humedad y con un contenido de materia orgánica del 32 al 40 %.

Las personas encargadas del proceso de composteo pueden disminuir o incrementar el número de parámetros a ser analizados y la frecuencia de análisis basándose en los datos de monitoreo, en los cambios de la corriente de residuos o las técnicas de proceso, en la efectividad de los programas de separación en la fuente o en la presencia potencial de sustancias tóxicas.

Control de lixiviados. Debido a que el riego de las pilas es un factor de control de la duración del composteo y tomando en cuenta que este proceso genera lixiviados, se requiere un sistema de drenaje para recibirlos y reutilizarlos como agua de riego. Además se requiere una instalación hidráulica que suministre agua cuando no sean suficientes los lixiviados, además de abastecer los servicios de limpieza y sanitarios.

El sistema de gestión de lixiviados requiere que el piso de cemento de las pilas A, A', B y B' tenga un desnivel y un canal que conduzca los lixiviados a una cisterna y las pilas restantes cuenten con topes de composta maduro para la absorción de los lixiviados finales del proceso y canales de drenaje dirigidos hacia la cisterna.

El agua de la fosa de lixiviados es bombeada hacia 4 salidas aptas para mantener el control de humedad de las pilas y la prevención de incendios relacionados con la combustión accidental de los residuos. Este mismo sistema debe estar conectado al suministro municipal de agua mediante algún mecanismo de válvulas.

En días lluviosos, el exceso de agua se mezcla con los lixiviados y se conduce a la fosa de lixiviados, la que una vez llena se reboza hacia el drenaje municipal.

Clasificación y usos de la composta. Resulta adecuado clasificar la composta obtenida, cuya calidad ha sido evaluada, para dirigir convenientemente los usos posibles. Por lo que se adapta y establece la siguiente clasificación de las compostas:

- Tipo I, composta hecha solamente de residuos de jardín.
- Tipo II, composta madura hecha de residuos sólidos municipales. La materia extraña constituye menos o igual que 1 % en peso y la concentración de metales cae bajo el código 1 (**tabla 7.2**). No contiene materia extraña, tal como vidrio o residuos metálicos, de un tamaño y forma que pueda causar daño.
- Tipo III, composta madura hecha de residuos sólidos municipales. La materia extraña representa menos o igual que el 2 % en peso y la concentración de metales cae bajo los códigos 1 ó 2 (**tabla 7.2**). No contiene materia extraña, tal como vidrio o residuos metálicos, de un tamaño y forma que pueda causar daños.
- Tipo IV, composta madura hecha de residuos sólidos municipales. La materia extraña representa menos o igual que el 10 % en peso y la concentración de metales cae bajo los códigos 1, 2 ó 3 (**tabla 7.2**). No

contiene materia extraña, tal como vidrio o residuos metálicos, de un tamaño y forma que pueda causar daños.

- ☑ Tipo V, composta hecha de residuos sólidos municipales. La materia extraña representa más del 10 % en peso y la concentración de metales es mayor que el del código 3 (**tabla 7.2**).

Tabla 7.2.- Códigos de concentración en mg/kg (B. S.) de metales pesados en composta.

METAL	CÓDIGO 1	CÓDIGO 2	CÓDIGO 3
Arsénico	< ó = 13	> 13 – 30	> 30 – 50
Cadmio	< ó = 2.6	> 2.6 – 5	> 5 – 20
Cromo	< ó = 210	> 210 – 250	> 250 – 800
Cobalto	< ó = 26	> 26 – 50	> 50 – 300
Cobre	< ó = 100	< ó = 100	> 100 – 500
Plomo	< ó = 150	> 150 – 500	> 500 – 1000
Mercurio	< ó = 0.8	> 0.8 – 2	> 2 – 10
Molibdeno	< ó = 5	> 5 – 10	> 10 – 40
Níquel	< ó = 50	> 50 – 100	> 100 – 500
Selenio	< ó = 2	> 2.6 – 3	> 3 – 10
Zinc	< ó = 315	> 315 – 500	> 500 – 1500

Sistemas de separación y tratamiento de residuos sólidos

Los sistemas de tratamiento de residuos sólidos (Empresas privadas), conjugan una serie de procedimientos físicos, químicos o biológicos para la reducción, reutilización y reciclaje de los residuos sólidos, que serán seleccionados de acuerdo a las necesidades particulares de cada zona con problemática en su manejo de residuos sólidos.

El equipamiento básico de éstos sistemas se compone de báscula, cuchara pulpo hidráulica, polipasto, transportadora, molinos desgarradores, triturado, Tropel, separadores magnéticos, separadores electromagnéticos y prensas.

Cabe señalar que los requerimientos variarán en las diferentes entidades, debido a la cantidad y composición de sus residuos sólidos, demografía, recursos económicos, situación geográfica y educación.

Alemania está introduciendo al mercado equipos de reciclaje y selección para diferentes tipos de residuos. En cuya operación, el material se alimenta directamente en una tolva y cae en dos flechas trituradoras que poderosamente trituran el material y lo desalojan por medio de un transportador. Cada máquina se adapta a los requerimientos individuales para lograr el mejor funcionamiento posible, así, adicionalmente contempla la separación de metales con magnetos y dispersores de agua para contrarrestar el polvo. Puede

procesar materiales como: madera, residuos de jardín, residuos domésticos e industriales, residuos voluminosos, residuos de construcción y demolición, papel y rollos industriales de papel.

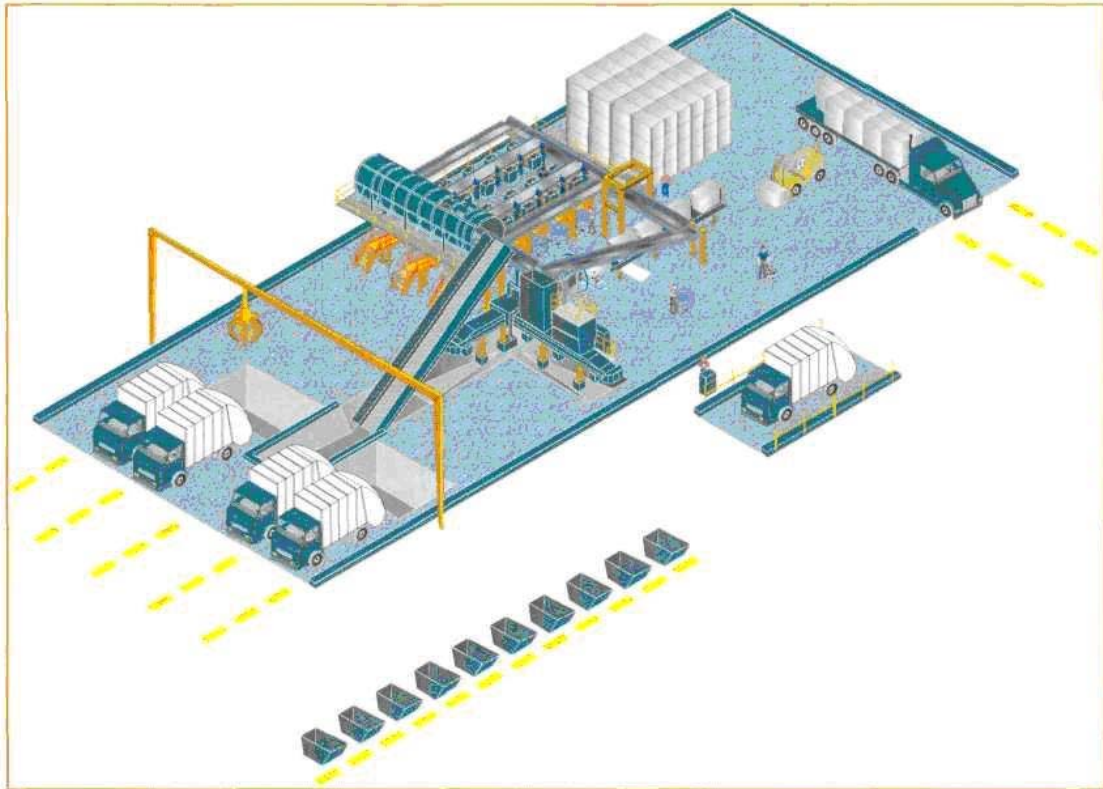
La maquinaria requiere poco mantenimiento, es de fácil y segura operación, puede ser estacionaria o móvil, opera con muy poco ruido y genera un mínimo de polvo, no lanza proyectiles y las flechas se limpian automáticamente.

Compañías italianas también ofrecen sistemas para el procesamiento de llantas, de las cuales se separa su parte metálica y textil, por magnetismo y aspiración respectivamente, después de que el neumático ha sido triturado. También ofrece sistemas para el procesamiento de objetos voluminosos y plásticos. Los sistemas están compuestos de plataformas de selección, trituradoras y desgarradoras industriales, clasificadores de aire y embaladoras.

Austria cuenta con empresas dedicadas al manejo de residuos sólidos, donde se pueden citar técnicas de estabilización de olores, donde antes y durante la apertura de vertederos de residuos sólidos, se inyecta con aire caliente las zonas saturadas de bacterias, para después aspirar la atmósfera cargada de olores, también reduce la emisión de metano. Además, estas empresas ofrecen la instalación de plantas de energía y eléctrica y calor a base de biogases renovables y gases especiales, plantas de reciclaje por identificación y separación de plásticos, plantas de reciclaje de textiles, centros de composteo, infraestructura de clasificación de desechos, trituración, desgarradoras, volteadoras de composta, cribadoras, separadores por aire, así como en depósito y transporte de los mismos. Austria es pionera en la producción de combustibles a partir del tratamiento de aceites usados, soluciones químicas y materiales plásticos, además de la producción de combustibles sólidos de desechos mediante la tecnología de pellets MK. Por último, cabe mencionar empresas austríacas pueden recuperar piezas reciclables de aparatos eléctricos mediante una celda inteligente de desmontaje semiautomático de láminas par circuito impreso, de donde se desmontan los chips para introducirlos en el mercado.

La **figura 7.5** muestra el esquema de una planta de selección y empaque de los residuos sólidos urbanos.

Figura 7.5.- Planta de selección de RSU. Fuente ECOFENIX.



Relleno sanitario seco

Un relleno sanitario seco (Empresas privadas), implica el embalaje de los residuos por compactación, lo que puede brindar los siguientes beneficios:

Se extiende la vida del vertedero; desde el punto de vista económico se consigue colocar entre un 80 a 120 % más de residuos en el mismo espacio que con el sistema convencional, compactando los RSU entre 1000 a 1200 kg/m³ para los RSU y entre 750 a 950 kg/m³ para los rechazos de una planta de selección de RSU.

Se evita la dispersión de residuos ligeros (papeles, plásticos) por el viento; la nave cerrada evita los efectos de los vientos fuertes sobre la basura.

La descomposición de los RSU se vuelve más lenta. La generación de gas y lixiviados es significativamente menor que en un vertedero convencional porque el contacto entre la humedad y el residuo se reduce al máximo.

Disminuye la concentración de compuestos orgánicos biológicos en el lixiviado de los vertederos y en el caso de los rechazos de planta de selección, los elimina completamente.

Los problemas de hundimientos en los vertederos, los cuales se prolongan en los dos años siguientes a su clausura, se reducen por la mayor densidad y consistencia de las balas.

Evita los vectores de contaminación, puesto que a pájaros, roedores, perros, etc. les resulta casi imposible comer de las balas de RSU, debido a su muy alta densidad de compactación.

Se necesita menos material de cobertura (solo 20 cm. de tierra por capa de 5 fardos de altura); la reducción de volumen de los residuos implica un 70 a 75 % menos de cobertura diaria. Frecuentemente solo es necesario cubrir la parte superior de la pila de balas, dejando el frente descubierto. El frente de trabajo (120 balas ó 200 m²) expuesto es más pequeño que un vertedero convencional.

Un vertedero seco de balas de RSU tiene menos problemas que uno convencional ante condiciones climáticas extremas (estaciones lluviosas). Mejora el control de las operaciones en el vertedero; al reducir el área abierta se asegura la eliminación de recolecciones furtivas y el tráfico de vehículos queda limitado a la zona de trabajo.

■ Programa y facilidades para el proyecto

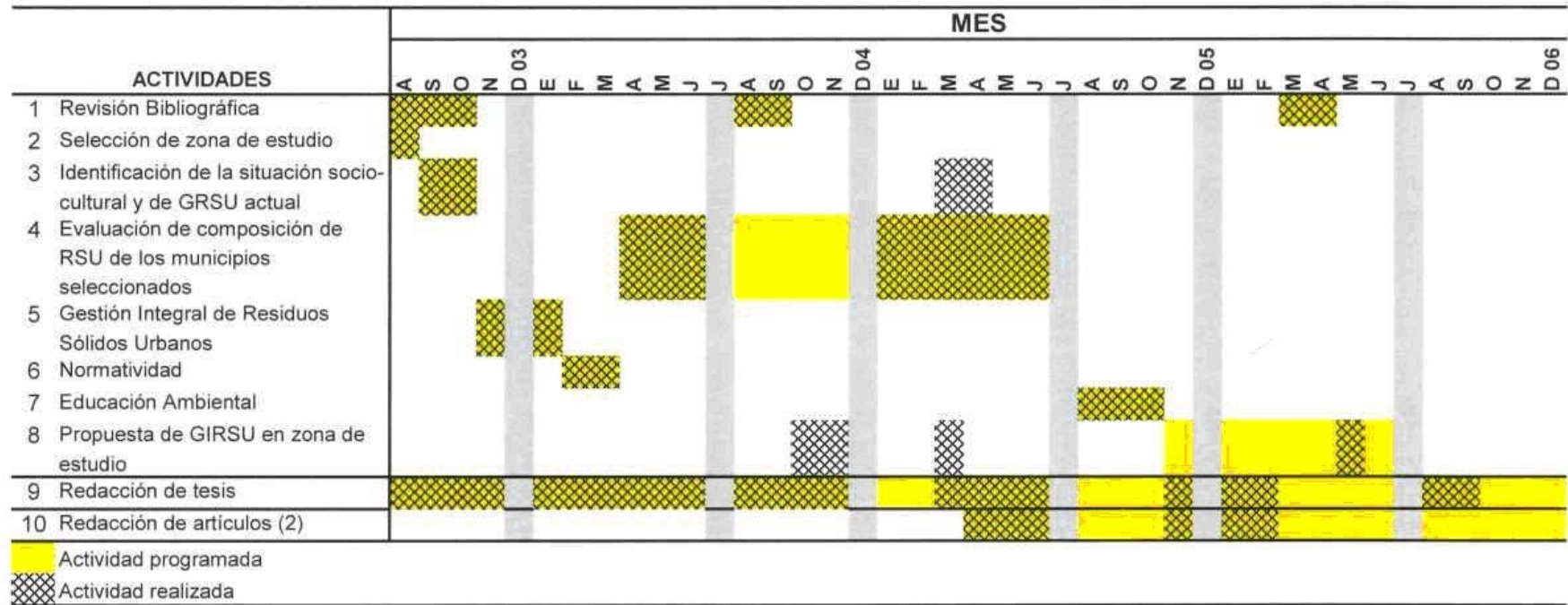
El desarrollo del proyecto se realizó en un periodo de tres años, donde el primer año estuvo comprendido por las actividades desde la revisión bibliográfica, la situación actual de los aspectos socioculturales y de gestión de residuos sólidos, el panorama general de gestión integral de residuos sólidos urbanos y de normatividad. El segundo año se dedicó para la evaluación de la composición de los residuos sólidos urbanos, así como las estrategias de educación ambiental y por último, en el tercer año, se definió la propuesta adecuada para los municipios seleccionados con base en la normatividad que rige y bajo herramientas de educación ambiental. La redacción de la tesis fue de la mano con el programa de doctorado de inicio a fin, aunque los últimos detalles se concluyeron de manera extemporánea (**tabla 7.3**).

Es de mención que los ayuntamientos de la zona en estudio, participaron en la coordinación del personal y disposición de RSU para el método de cuantificación y clasificación de subproductos. De igual manera proporcionaron un apoyo económico para la realización de las encuestas a la ciudadanía en las diferentes localidades.

Asimismo, la empresa Ecosistemas Industriales S. A. de C. V. ha tenido a bien facilitar el uso de su laboratorio para la ejecución de pruebas físico-químicas requeridas.

Se destaca que las actividades a realizar para lograr los objetivos de investigación para la realización de esta tesis doctoral fueron cubiertas de manera económica por parte del asesor de tesis, la doctorando, por los ayuntamientos de Actopan y San Salvador, así como un apoyo económico por parte de la UAEH y por una beca de manutención por parte de CONACYT en diferentes fases del programa de estudios y realización misma de la tesis.

Tabla 7.3.- Cronograma



8. CONCLUSIONES

Retomando los resultados de la evaluación de los materiales más representativos de los RSU presentes en la zona de estudio, se observa lo siguientes: residuos de fermentación rápida con 24.4%, residuo fino con 14.6%, pañal desechable con 12.0%, plásticos con 11.5 %, papel y cartón con 11.4 %, otros con 9.8%, metales con 4.6% y el resto considerados triviales con 11.7%. En contraparte, la composición de los RSU en volumen corresponde a plásticos con 45.6%, papel y cartón con 20%, pañal desechable con 5.8%, otros con 5.1%, metales con 5%, residuos de fermentación rápida con 3.8%, residuos finos con 2.2%, fibra dura vegetal con 2.0% y triviales con 10.5% (**figura 6.8**).

Además de que de la generación total de RSU, estimada en el 2003 en 64,749 kg/día en la zona de estudio, 57 ton se encuentran constituidas principalmente por residuos alimenticios, residuos finos, pañal desechable, otros, cartón, plástico película, residuos de jardín, papel, PET, poliestireno expandido, lata, y poliuretano, los cuales ocupan un volumen de 829.6 m³ de residuos y pueden generar 115 millones de kcal/día. De éstos se puede reunir 15,803 kg/día de material fermentable (residuos alimenticios y de jardinería para composteo). El mercado de materiales recuperables como el del cartón, plástico película, papel, PET, poliestireno expandido, lata, y poliuretano, ofrece un mínimo de recuperación de \$ 8,134.1 por día si se tiene un control en su separación (**tabla 6.4**).

Se puede decir en rasgos generales que Actopan aporta gran parte de residuos de fermentación rápida que pueden ser óptimos para composteo o digestión anaeróbica, además proporciona considerables cantidades de cartón, plástico película y PET, los cuales pueden compactarse. San Salvador es importante portador de cartón, plástico película, PET y poliestireno expandido, de los que es factible su compactación. El Arenal proporciona importantes cantidades de papel y cartón, pudiendo reincorporarlos a los procesos de origen, o compactarlos. Por último, el pañal desechable marca una importante presencia en la zona de estudio en general y la fibra dura vegetal tiene una presencia modesta pero representativa por la gastronomía del lugar.

Se puede además realizar una comparación a través del tiempo con los datos nacionales e internacionales especificados, específicamente en su generación en volumen, que es el parámetro importante en la problemática de falta de espacio. Así se puede distinguir una reducción gradual en la proporción de papel y cartón respecto a su volumen. Por otro lado, los residuos de fermentación rápida, presentan un comportamiento inestable pero finalmente tiene una disminución drástica en su volumen. Los plásticos han tenido un incremento radical en su composición a través del tiempo de acuerdo a la comparación hecha con los datos de Tchobanoglous (1994) y SEMARNAT (2002), sobre todo en volumen.

Se comprobó estadísticamente que los valores máximos de generación en volumen a través del tiempo difieren significativamente, (ANOVA, $F_0 = 3.33$ contra $F_{0.05, 2,84} = 3.12$). Por lo tanto se puede hablar una transición de las porciones en volumen de los RSU. Esto significa que debido a los hábitos de consumo, la composición de RSU ha cambiado y tiende a seguir cambiando.

De esta determinación resulta el importante protagonismo de los plásticos en nuestros tiempos.

Los resultados obtenidos de este estudio de determinación de la composición de los RSU en los municipios citados son de gran utilidad para generar un plan de gestión integral de residuos sólidos en dicha zona, debido a que actualmente no se cumple con normatividad mexicana de disposición final (NOM-083-SEMARNAT-1996 (Diario Oficial de la Federación, DOF 1996), NOM-084-SEMARNAT-1994 (Diario Oficial de la Federación, DOF 1994)) y su manejo no resulta óptimo, lo que lleva a cuestionarse sobre los hábitos propios de los ciudadanos y los programas y planes de manejo de los ayuntamientos promoviendo la minimización y reciclaje. Cabe mencionar que cada decisión que se pretenda llevar a cabo requiere de recursos tanto económicos como sociales y culturales, así como legales. De ahí la importancia de contar con herramientas como educación ambiental, normatividad y recursos económicos.

Cabe mencionar que el presente estudio ha brindado un panorama general sobre la cuestión anterior.

La deficiencia de los recursos económicos destinados al servicio de recolección y limpia afectan notablemente el Manejo de los Residuos Sólidos Urbanos en la zona de estudio, ya que provoca que la población (29%) recurra a la incineración de los mismos. Es importante tomar en cuenta la situación socioeconómica y cultural de la zona, ya que esta delimitará el nivel de gestión que se puede lograr en este lugar.

A pesar de que la población asegura estar dispuesta a separar los materiales reciclables, la falta de un manejo adecuado de los mismos por parte del ayuntamiento debilita esta posibilidad en un corto plazo.

La zona de estudio presenta las características de un manejo tradicional de residuos sólidos, situación que ya no resulta conveniente en la actualidad por el problema que representa en todos los aspectos. Por lo que se hace necesario la jerarquización en la gestión integral de RSU de los procesos de minimización y reciclaje.

Ciertamente en cada entorno existen posibilidades y limitaciones distintas, por ello es importante tener una visión ordenada y completa de las alternativas. A partir de ella se puede planear de manera eficiente hacia soluciones viables.

Es recomendable, de acuerdo a las características socioeconómicas y culturales de la zona de estudio se gestione un manejo integral de RSU compartido entre municipios, es decir, regional bajo la jerarquía de minimización, también es importante considerar la instalación de un relleno sanitario común con sus respectivas estaciones de transferencia, y centros de acopio de papel y PET.

Esta gestión regionalizada es factible desde el punto de vista composición (ANOVA, $F_0 = 2.28$ CONTRA $F_{0.05, 2.84} = 3.12$), localización, topografía, educación y actividad económica; además resulta muy conveniente para aprovechar la suma de recursos económicos, que han sido una limitante fehaciente en su aplicación local.

Los procesamientos de compactación y composteo son recomendables y ambos pueden llevarse a cabo en el lugar de disposición final pero con una adecuada organización de los materiales y control de emisiones.

Con la compactación de alta densidad se puede lograr reducir los materiales del 20 al 60% de su volumen original, específicamente de papel y plásticos para su reutilización o reducción en volumen en el vertedero. De la misma manera, aprovechar los beneficios del composteo o digestión anaeróbica promueve el mejoramiento de suelos o generación de energía. Estos procesos podrían llevarse a cabo en los vertederos,

Adicionalmente resultaría muy beneficioso el extender los programas de educación ambiental a los municipios de San Salvador y El Arenal como se ha implementado en Actopan.

Finalmente, los procesos de incineración no se pueden recomendar por su complejo control de emisiones a la atmósfera y por su alta inversión económica.

BIBLIOGRAFÍA

- Aass, F. E., (2001); Environmental treatment of EE-waste in Norway, The ISWA Yearbook, Vol 1, num 1.
- APREPET 2002. Asociación promotora del reciclado de PET.
<http://www.aprepet.org.mx>
- Barradas A. (1999). Investigación sobre metodología adecuada para la planificación de la gestión integral de los residuos sólidos urbanos y rurales aplicada a la zona Minatitlán-Cosoleacaque, Veracruz. Tesis doctoral. UPM.
- Bates, M. (2002); Moving waste transport up a gear. Is this the end of the road for large vehicles?. The ISWA Yearbook, Vol 2, num 4.
- Bidlingmaier, W. y Papadimitriou, E. K. (1998). Recovery of Organics; Composting and Anaerobio Digestión. Jornadas sobre el Aprovechamiento Integral de Residuos y la Jerarquía Europea de Gestión. Club Español de Residuos, The European Waste Club y Generalitat Valenciana. Valencia, España.
- Calvo R. F., Szantó N. M. y Muñoz J. J. (1998). Situación del Manejo de Residuos Sólidos Urbanos en América Latina y el Caribe. Revista Técnica RESIDUOS No. 43. Bilbao, España.
- CEDEMUN (1998) Los Municipios de México, Información para el Desarrollo, edición 1998.
- COEDE (2002). Consejo Estatal de Ecología. Gobierno del Estado de Hidalgo. Panel de conferencias de la 1ª. Feria Ambiental Hidalgo 2002.
- COEDE (2003). Consejo Estatal de Ecología. Gobierno del Estado de Hidalgo. Diagnóstico ambiental en materia de residuos sólidos. Pachuca, Hgo., México
- COEDE, (2003a): Términos de referencia para el plan maestro para el manejo integral de residuos sólidos municipales financiado a través del proyecto regional de gestión de residuos sólidos con recursos provenientes de la agencia alemana KFW.
- Conesa, V., (1997). Guía Metodológica para la Evaluación del Impacto Ambiental; Ediciones Mundi-Prensa, 3ª Edición; Madrid.
- Corbitt, R. (1989). Standard Handbook of Environmental Engineering; McGraw-Hill. (Eugene A. Glysson, Ph.D., P. E), Chapter 8.
- Cortinas Nava., C, (2004); *Manejo Integral de Residuos*, <http://www.Cristinacortinas.com>
- Del Río Sánchez, M. D., (2004); Conferencia "Caso Hermosillo, Sonora". XII Congreso Internacional Ambiental de CONIECO, Enviro-Pro TECOMEX 2004, Septiembre 2004
- DOF (1994). Diario Oficial de la Federación. Norma Oficial Mexicana NOM-084-SEMARNAT-1994, Que establece los requisitos para el diseño de un relleno sanitario y la construcción de sus obras complementarias. México D. F. 22 de junio de 1994.
- DOF (1996). Diario Oficial de la Federación. Norma Oficial Mexicana NOM-083-SEMARNAT-1996, Que establece las condiciones que deben reunir los sitios destinados a la disposición final de los residuos sólidos municipales. México D. F. 25 de noviembre.
- DOF (2003). Diario Oficial de la Federación. Decreto por el que se promulga la Ley General para la Prevención y Gestión Integral de los Residuos. México D.F. 8 de octubre.
- DOF (2003). Diario Oficial de la Federación; Ley General para la Prevención y Gestión Integral de los Residuos; Decreto del Honorable Congreso de la Unión.
- Duran de la Fuente, Hernán. (1998); Gestión ambientalmente adecuada de residuos sólidos. Un enfoque de política integral.CEPAL. Página electrónica <http://www.cepal.org/espanol/proyectos/gtz/duran1.html>
- ECOCE, <http://www.ecoce.org.mx>
- Edén, R., Salman O., Frantzins, I., (2002); Predicting potential landfill gas utilization in Turkey. The ISWA Yearbook, Vol 2, num 6.
- Foster C. (1985). Biotechnology and wastewater treatment. Cambridge University Press.

- Fuentes Alcocer, M., (2004); Conferencia "Gestión Integral de residuos sólidos en Mérida". XII Congreso Internacional Ambiental de CONIECO, Enviro-Pro TECOMEX 2004, Septiembre 2004.
- GEDESMA. (1998); La recogida selectiva de residuos de envases en la comunidad de Madrid. Revista técnica Residuos No.43, Bilbao, España.
- GEOCITIES, <http://www.geocities.com>.
- GODF (2003); Gaceta Oficial del Distrito Federal; Gobierno del Distrito Federal; Decreto de Ley de residuos sólidos del Distrito Federal; 22 abril 2003; <http://www.sma.df.gob.mx/rsolidos>
- Huacuz Villamar, J., (2004); Conferencia "Biogás de rellenos sanitarios para producción de electricidad". XII Congreso Internacional Ambiental de CONIECO, Enviro-Pro TECOMEX 2004, Septiembre 2004.
- INAFED (2002); Instituto Nacional para el Federalismo y el Desarrollo Municipal, Gobierno del Estado de Hidalgo; Enciclopedia de los Municipios de México, tomo: Los municipios del estado de Hidalgo; http://www.emexico.gob.mx/work/EMM_7/hidalgo/pres.htm
- INEGI (1992), Síntesis Geográfica del Estado de Hidalgo
- INEGI (2000); Instituto Nacional de Estadística, Geografía e Informática. Anuario Estadístico del Estado de Hidalgo. Edición 2000, Ags. México
- INEGI (2002). Instituto Nacional de Estadística, Geografía e Informática. Anuario Estadístico del Estado de Hidalgo. Ags. México
- INEGI (2003). Instituto Nacional de Estadística, Geografía e Informática. Anuario Estadístico del Estado de Hidalgo. Ags. México
- Japón, R. (1999); PET recycling into high value foam structures R'99 Recovery, Recycling and Re-integration congress proceedings. Volume III. Geneva, Switzerland.
- Jaramillo, J., (1999); Guía para el diseño, construcción y operación de rellenos sanitarios manuales. Secretaría de Salud y Asistencia, SSA.
- Kingsbury, T., (1999); Source reduction expressed in recycling terms. R'99 Recovery, Recycling and Re-integration congress proceedings. Volume I. Geneva, Switzerland.
- Koenig, A., (2003) Metabolismo del sistema urbano y su impacto sobre el medio ambiente, Departamento de Ingeniería Civil, Universidad de Hong Kong
- Kundell J. E., Buffer D. L. (2002). Planning for Municipal Solid Waste Management Programs. En: Handbook of Solid Waste Management (Tchobanoglous G., Kreith F. Eds). McGraw-Hill, Nueva York. Sección 4
- Larrauri, E., Irasari, L. M., (1999); Situación de la tecnología de identificación y separación automática de plásticos postconsumo procedentes de residuos sólidos urbanos. Nuevos desarrollos. VI Congreso de Ingeniería Ambiental, PROMA'99. Feria Internacional de Bilbao, España.
- Larrauri, E., Robertson, C., Kóhnlecher, R., Evangelou, M. *et al.*, (1998); Separación por medios electrostáticos de papel, cartón y plástico en diferentes calidades. Revista técnica Residuos No. 45. Bilbao, España.
- Lemmes, B., (1998); Reflections of the european waste management strategy. Jornadas Internacionales sobre el aprovechamiento integral de la material orgánica. Club Español de Residuos y Gobierno de Navarra. Pamplona, España.
- Loening, A., (2003); Predictions and projections- Looking at the power generation potential of landfill gas. The ISWA Yearbook, Vol 3, num 6.
- López Guzmán E., (2004); Conferencia "Experiencia del municipio de Aguascalientes en la certificación de cumplimiento ambiental". XII Congreso Internacional Ambiental de CONIECO, Enviro-Pro TECOMEX 2004, Septiembre 2004.
- Martínez O. C, (1998); Nuevas tecnologías y su posición en la jerarquía de principios. II Foro Europeo sobre Residuos, Club Español de Residuos, Madrid, España.
- Mayne, N., (1999); The potencial for post-user plastic waste recycling in Western Europe in the period up to 2006. R'99 Recovery, Recycling and Re-integration congress proceedings. Volume I. Geneva, Switzerland.
- Medina-Gómez G. (2003). Estudio para determinar la calidad de los residuos sólidos en El Arenal, Hidalgo. Especialidad en Ingeniería Ambiental, Tesina. Instituto Tecnológico de Pachuca, México
- Noone, A. J., (1999); New market opportunities for recycled PET. R'99 Recovery, Recycling and Re-integration congress proceedings. Volume I. Geneva, Switzerland.

- Olabe, A., (1998); Recogida selectiva de residuos e instrumentos económicos. Revista técnica Residuos No. 43. Bilbao, España.
- ONU, (1998); Buenas prácticas del concurso Habitat II de Naciones Unidas. Página electrónica <http://habitat.aq.upm.es/bpn/lista.html>. del 16 de octubre de 1998.
- Ostrem, Karena M.; Millrath, K.; Themelis, Nickolas J., (2004); Combining Anaerobic Digestión and Wast-to-Energy; 12th North American Waste to Energy Conference (NAWTEC12); Earth Engineering Center, Columbia Univerity.
- Palacios Mayorga, S., (2004): Conferencia "Biotecnología integral de los residuos sólidos municipales y agroindustriales, BIRSMIA". XII Congreso Internacional Ambiental de CONIECO, Enviro-Pro TECOMEX 2004, Septiembre 2004.
- Papaspyrides, C. D., et al., (1999); HDPE bottle crates-closed loop recycling example from Greece. R'99 Recovery, Recycling and Re-integration congress proceedings. Volume III. Geneva, Switzerland.
- Ploechl, C, Dobson, G., Buell, U., (2003); A class of its own standarization of solid waste analyses in the EU. The ISWA Yearbook, Vol 3, num 2.
- POGEH (1998). Periódico Oficial del Gobierno del Estado de Hidalgo; Ley del Equilibrio Ecológico y Protección al Ambiente del Estado de Hidalgo; Decreto Num. 331. Honorable Congreso del Estado Libre y Soberano de Hidalgo
- POGEH (2001). Periódico Oficial del Gobierno del Estado de Hidalgo; Reglamento del Equilibrio Ecológico y Protección al Ambiente
- Sancho, J., Rosiles, G., (2000). Situación actual del manejo integral de los residuos sólidos en México. (<http://www.fundacion-ica.org.mx/Experiencias/parte1.htm>)
- SECOFI, (1985), NMX-AA015-1985, Muestreo (método de cuarteo)
- SECOFI, (1985a) NMX-AA-019-1985 Determinación de peso volumétrico residuo sólidos in situ
- SECOFI, (1985b) NMX-AA-022-1985 Selección y cuantificación de subproductos.
- SEDESOL, (2002); Generación de residuos sólidos municipales por zona geográfica 1997-2001, cuadro III, 6.6.13
- SEMARNAP, (2000); Manual para la conservación de suelos.
- SEMARNAT, (1994); Proyecto de Norma Oficial Mexicana Proyecto NOM-084-ECOL-1994. Establece los requisitos para el diseño de un relleno sanitario y la construcción de sus obras complementarias
- SEMARNAT, (2000); Manual para la conservación de suelos.
- SEMARNAT, (2001); Proyecto de Ley General para la Prevención y Gestión Integral de los Residuos.
- SEMARNAT (2002). Información Ambiental; Secretaría del Medio Ambiente y Recursos Naturales; <http://www.semarnat.gob.mx>.
- SEMARNAT, (2003); Proyecto de Norma Oficial Mexicana Proy-Nom-083-SEMARNAT-2003. Especificaciones de protección ambiental para la selección del sitio, diseño y construcción, operación, monitoreo, clausura y obras complementarias de un sitio de disposición final de residuos sólidos municipales.
- SEMARNAT, (2004). Ley de Residuos Sólidos para el Distrito Federal.
- Stafford, D. A.; Wheatley, B. I.; Hughes, D. E., (1979). Anaerobio digestión. Applied Science publishers LTD, London
- Stentiford, E. I. (1998); Diseño de un Proceso de Compostaje para un Producto Estable y Saneado. Jornadas Internacionales sobre el Aprovechamiento Integral de la Materia Orgánica. Club Español de Residuos y Gobierno de Navarra. Pamplona, España.
- Stranger K, (1998). Word Resource Foundation. Evolución de la gestión de residuos en Europa. II Foro Europeo sobre Residuos. Club Español de los residuos, Madrid, España.
- Tchobanoglous, G., (1994); Gestión Integral de Residuos Sólidos; McGraw-Hill, México
- UNESCO, (1998): La Educación Ambiental, Bases éticas, conceptuales y metodológicas. Editorial Universitas, Madrid.
- Veltzé, S. A., (2002); Managing without landfill. The Danish example. The ISWA Yearbook, Vol 2, num 1.
- Wehenpohl, G. (2003) Perspectivas en la investigación de Residuos Sólidos Municipales. En: Gaceta Ecológica, Órgano Informativo del Consejo Estatal de Ecología Año III, Vol: 3, Núm 7, enero-marzo 2003, ISSN; pp.. (18-21)
- White, Franke and McDougall, (2000); Integrated Waste Management: A Lifecycle Inventory

APÉNDICE

LISTA DE TABLAS

- Tabla 3.1.- Composición en porcentaje en peso de RSU en la Zona Centro de México (2001).
Tabla 4.1.- Tasa de generación de residuos en USA (1990)
Tabla 4.2.- Total estimado de las cantidades de residuos generadas per cápita en USA (1990)
Tabla 4.3.- Composición estimado de residuos domésticos generados en USA (1990)
Tabla 4.4.- Operaciones e instalaciones típicas utilizadas para el procesamiento de residuos sólidos en el punto de generación.
Tabla 5.1.- Cuestionario de manejo de residuos sólidos municipales
Tabla 5.2.- Cuestionario de manejo de residuos sólidos en los domicilios
Tabla 5.3.- Cédula de informe de campo.
Tabla 5.4.- Base de datos de la determinación de composición de RSU.
Tabla 5.5.- Matriz para los datos de muestra
Tabla 5.6.- Tabla de Análisis de Varianza (ANOVA)
Tabla 6.1.- Información estadística de los municipios de Actopan, El Arenal y San Salvador
Tabla 6.2.- Composición en peso y peso específico de los residuos sólidos urbanos de los municipios de Actopan, San Salvador y El Arenal del Estado de Hidalgo
Tabla 6.3.- Generación, volumen, contenido energético y venta de los residuos sólidos urbanos de los municipios de Actopan, San Salvador y El Arenal del estado de Hidalgo.
Tabla 6.4.- Generación, volumen, contenido energético y venta de los residuos sólidos urbanos de la zona de estudio.
Tabla 6.5.- Porcentaje en peso y en volumen de RSU en la Zona de Estudio
Tabla 6.6.- ANOVA de Regionalización de GIRSU
Tabla 6.7.- ANOVA de Transición de la Composición de Residuos
Tabla 7.1.- Criterios de control en el proceso de composteo.
Tabla 7.2.- Códigos de concentración en mg/kg (B. S.) de metales pesados en composta.
Tabla 7.3.- Cronograma

LISTA DE FIGURAS

- Figura 3.1.- Distribución en México de la Generación de RSU en el 2001 por zonas geográficas
Figura 4.1.- Mapa mental de Gestión Integral de Residuos Sólidos Urbanos (GIRSU)
Figura 4.2.- Lay out para la determinación de la composición de RSU
Figura 4.3.- Embalado de residuos sólidos urbanos
Figura 4.4.- Incinerador
Figura 4.5.- Vista esquemática en corte de una planta típica de incineración de basura para generación de electricidad.
Figura 4.6.- Esquema de generación de composta
Figura 4.7.- Vermicomposteo
Figura 4.8.- Actividad anaeróbica microbiana
Figura 4.9.- Esquema de mecanización
Figura 4.10.- Relleno Sanitario
Figura 4.11.- Procesamiento de plástico y reusos
Figura 5.1.- Diagrama de flujo de la evaluación de la composición de RSU
Figura 5.2.- Método del Cuarteo
Figura 6.1.- Zona de Estudio y localización de los municipios de Actopan, San Salvador y El Arenal del estado de Hidalgo.
Figura 6.2.- Ayuntamientos de Actopan, San Salvador y El Arenal del estado de Hidalgo.
Figura 6.3.- Vertedero a cielo abierto del municipio de Actopan.
Figura 6.4.- Vertedero a cielo abierto del municipio de San Salvador.
Figura 6.5.- Vertedero a cielo abierto del municipio de El Arenal.
Figura 6.6.- Muestreo y selección subproductos para la determinación de composición de residuos sólidos urbanos en la zona de estudio
Figura 6.7.- Pareto de composición en peso y en volumen de RSU por tipo de material de los municipios de Actopan, San Salvador y El Arenal

Figura 6.8.- Pareto de composición en peso y en volumen de RSU de Zona de Estudio por tipo de material de los tres municipios.

Figura 6.9.- Pareto de composición en peso y volumen de RSU de la Zona de Estudio por grupo de material.

Figura 6.10.- Transformación de la composición en peso y en volumen a través del tiempo de acuerdo a Tchobanoglous 1994, SEMARNAT 2002 y Zona de Estudio 2005.

Figura 7.1.- Porcentaje en Peso vs Porcentaje en Volumen entre municipios y de la zona de estudio vs datos nacionales e internacionales.

Figura 7.2.- Mapa Mental de Propuesta de GIRSU para los municipios de Actopan, San Salvador y El Arenal del estado de Hidalgo

Figura 7.3.- Reciclo y acopio de PET

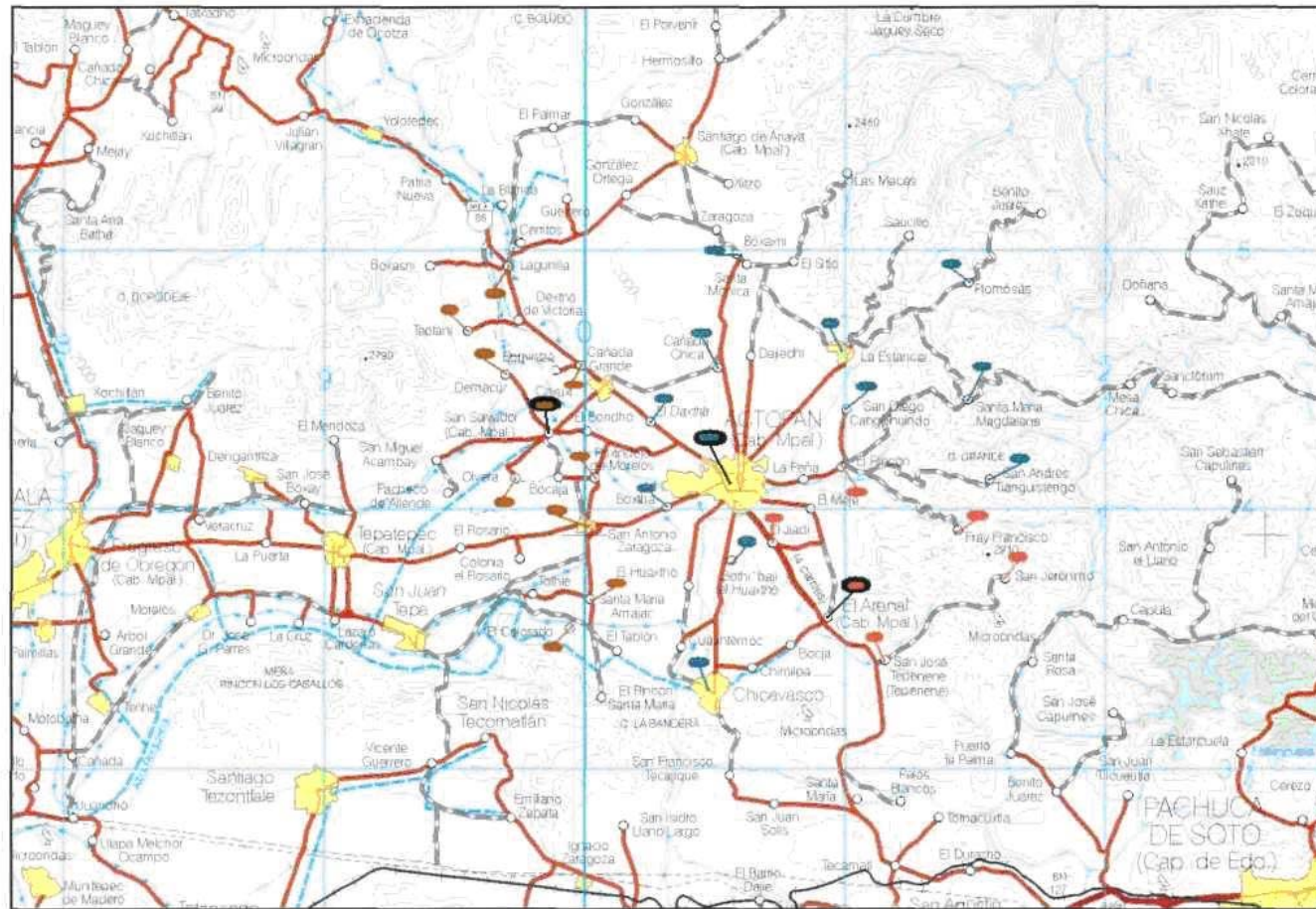
Figura 7.4.- Detalle de las instalaciones para el composteo de los residuos orgánicos

Figura 7.5.- Planta de selección de RSU

ANEXO

Encuestas y Estadísticas

Ubicación de localidades donde se realizaron las encuestas para conocer los hábitos de manejo doméstico de RSU



Estadística del Manejo de RSU en los Domicilios de la Zona en Estudio.

P1.- Encuestas por municipio

	Frecuencia	Porcentaje	Porcentaje Válido	Porcentaje Acumulado
Actopan	50	50.0	50.0	50.0
San Salvador	30	30.0	30.0	80.0
El Arenal	20	20.0	20.0	100.0
Total	100	100.0	100.0	

P4.- Ingreso de las familias

	Frecuencia	Porcentaje	Porcentaje Válido	Porcentaje Acumulado
bajo	46	46.0	46.0	46.0
medio	54	54.0	54.0	100.0
Total	100	100.0	100.0	

P5.- Número de personas por vivienda

	Frecuencia	Porcentaje	Porcentaje Válido	Porcentaje Acumulado
una	4	4.0	4.0	4.0
dos	4	4.0	4.0	8.0
3 a 5	68	68.0	68.0	76.0
6 a 8	16	16.0	16.0	92.0
9 o mas	8	8.0	8.0	100.0
Total	100	100.0	100.0	

P6.- Tipo de vivienda

	Frecuencia	Porcentaje	Porcentaje Válido	Porcentaje Acumulado
sola	95	95.0	95.0	95.0
condominio	2	2.0	2.0	97.0
vecindario	3	3.0	3.0	100.0
Total	100	100.0	100.0	

P7.- Tipo de construcción de vivienda

	Frecuencia	Porcentaje	Porcentaje Válido	Porcentaje Acumulado
mampostería	67	67.0	67.0	67.0
techo lámina	23	23.0	23.0	90.0
adobe	9	9.0	9.0	99.0
otros	1	1.0	1.0	100.0
Total	100	100.0	100.0	

P8.- Características del patio

	Frecuencia	Porcentaje	Porcentaje Válido	Porcentaje Acumulado
pequeño	48	48.0	48.0	48.0
amplio	20	20.0	20.0	68.0
area verde	12	12.0	12.0	80.0
árboles	20	20.0	20.0	100.0
Total	100	100.0	100.0	

P9A.- Tipo de animal doméstico

	Frecuencia	Porcentaje	Porcentaje Válido	Porcentaje Acumulado
perro	70	70.0	70.0	70.0
gato	3	3.0	3.0	73.0
aves canoras	2	2.0	2.0	75.0
ninguno	25	25.0	25.0	100.0
Total	100	100.0	100.0	

P9B.- Cantidad de animales domésticos

	Frecuencia	Porcentaje	Porcentaje Válido	Porcentaje Acumulado
uno	39	39.0	39.0	39.0
dos	15	15.0	15.0	54.0
2 a 4	12	12.0	12.0	66.0
5 o más	8	8.0	8.0	74.0
ninguno	26	26.0	26.0	100.0
Total	100	100.0	100.0	

P10A.- Tipo de animal de corral

	Frecuencia	Porcentaje	Porcentaje Válido	Porcentaje Acumulado
aves corral	27	27.0	27.0	27.0
cerdos	6	6.0	6.0	33.0
otros	21	21.0	21.0	54.0
ninguno	46	46.0	46.0	100.0
Total	100	100.0	100.0	

P10B.- Cantidad de animales de corral

	Frecuencia	Porcentaje	Porcentaje Válido	Porcentaje Acumulado
uno	2	2.0	2.0	2.0
dos	3	3.0	3.0	5.0
2 a 4	11	11.0	11.0	16.0
5 o más	38	38.0	38.0	54.0
ninguno	46	46.0	46.0	100.0
Total	100	100.0	100.0	

P11.- Cantidad de RSU generados semanalmente

	Frecuencia	Porcentaje	Porcentaje Válido	Porcentaje Acumulado
2 a 3 kilos	19	19.0	19.0	19.0
4 a 5 kilos	22	22.0	22.0	41.0
más de 5 kilos	59	59.0	59.0	100.0
Total	100	100.0	100.0	

P12A.- Material orgánico separado

	Frecuencia	Porcentaje	Porcentaje Válido	Porcentaje Acumulado
residuos alimenticios	53	53.0	53.0	53.0
ninguno	47	47.0	47.0	100.0
Total	100	100.0	100.0	

P12B.- Material de celulosa separado

	Frecuencia	Porcentaje	Porcentaje Válido	Porcentaje Acumulado
papel periódico	9	9.0	9.0	9.0
papel de archivo	6	6.0	6.0	15.0
cartón	1	1.0	1.0	16.0
ninguno	84	84.0	84.0	100.0
Total	100	100.0	100.0	

P12C.- Material de plástico separado

	Frecuencia	Porcentaje	Porcentaje Válido	Porcentaje Acumulado
plástico película	9	9.0	9.0	9.0
plástico pet	20	20.0	20.0	29.0
ninguno	71	71.0	71.0	100.0
Total	100	100.0	100.0	

P12D.- Material de metal separado

	Frecuencia	Porcentaje	Porcentaje Válido	Porcentaje Acumulado
lata conserva	5	5.0	5.0	5.0
lata aluminio	7	7.0	7.0	12.0
otro	1	1.0	1.0	13.0
ninguno	87	87.0	87.0	100.0
Total	100	100.0	100.0	

P13.- Lugar de almacenamiento de RSU

	Frecuencia	Porcentaje	Porcentaje Válido	Porcentaje Acumulado
interior vivienda	18	18.0	18.0	18.0
patio	78	78.0	78.0	96.0
no específico	4	4.0	4.0	100.0
Total	100	100.0	100.0	

P14.- Evacuación de RSU

	Frecuencia	Porcentaje	Porcentaje Válido	Porcentaje Acumulado
camión recolector	67	67.0	67.0	67.0
traslado al vertedero	1	1.0	1.0	68.0
traslado a depósito	3	3.0	3.0	71.0
incineración a cielo abierto	29	29.0	29.0	100.0
Total	100	100.0	100.0	

P15.- Aportación económica por el servicio de recolección

	Frecuencia	Porcentaje	Porcentaje Válido	Porcentaje Acumulado
ninguna	64	64.0	64.0	64.0
un peso	3	3.0	3.0	67.0
2 a 4 pesos	9	9.0	9.0	76.0
5 pesos o más	24	24.0	24.0	100.0
Total	100	100.0	100.0	

P16.- Disposición de los ciudadanos a separar RSU

	Frecuencia	Porcentaje	Porcentaje Válido	Porcentaje Acumulado
si	97	97.0	97.0	97.0
no	3	3.0	3.0	100.0
Total	100	100.0	100.0	

P17A.- Material orgánico dispuesto a ser separado por los ciudadanos

	Frecuencia	Porcentaje	Porcentaje Válido	Porcentaje Acumulado
residuos alimenticios	55	55.0	55.0	55.0
residuos jardinería	2	2.0	2.0	57.0
pañal desechable	10	10.0	10.0	67.0
ninguno	33	33.0	33.0	100.0
Total	100	100.0	100.0	

P17B.- Material de celulosa dispuesto a ser separado por los ciudadanos

	Frecuencia	Porcentaje	Porcentaje Válido	Porcentaje Acumulado
papel periódico	8	8.0	8.0	8.0
papel archivo	23	23.0	23.0	31.0
cartón	18	18.0	18.0	49.0
ninguno	51	51.0	51.0	100.0
Total	100	100.0	100.0	

P17C.- Material de plástico dispuesto a ser separado por los ciudadanos

	Frecuencia	Porcentaje	Porcentaje Válido	Porcentaje Acumulado
plástico película	22	22.0	22.0	22.0
plástico rígido	1	1.0	1.0	23.0
plástico pet	57	57.0	57.0	80.0
ninguno	20	20.0	20.0	100.0
Total	100	100.0	100.0	

P17D.- Material de metal dispuesto a ser separado por los ciudadanos

	Frecuencia	Porcentaje	Porcentaje Válido	Porcentaje Acumulado
lata conserva	9	9.0	9.0	9.0
lata aluminio	21	21.0	21.0	30.0
otros	6	6.0	6.0	36.0
ninguno	64	64.0	64.0	100.0
Total	100	100.0	100.0	

P18.- Aceptación de la ciudadanía para instalaciones adecuadas de manejo de RSU

	Frecuencia	Porcentaje	Porcentaje Válido	Porcentaje Acumulado
si	99	99.0	99.0	99.0
no	1	1.0	1.0	100.0
Total	100	100.0	100.0	

MANEJO DE RESIDUOS SÓLIDOS URBANOS EN LOS DOMICILIOS DE LA ZONA DE ESTUDIO
BASE DE DATOS DE ENCUESTAS

P1	P2	P3	P4	P5	P6	P7	P8	P9A	P9B	P10A	P10B	P11	P12A	P12B	P12C	P12D	P13	P14	P15	P16	P17A	P17B	P17C	P17D	P18	COMENTARIOS		
1	Actopan	Actopan	Centro	medio	3 a 5	condominio	maestros	pequeño	ninguno	ninguno	ninguno	más de 5 kilos	residuos	ninguno	ninguno	ninguno	interior	camión	ninguna	al	residuos	papel	plástico	otras	si	También separaría vidrio		
2	Actopan	Actopan	Centro	medio	6 a 8	sola	maestros	pequeño	ninguno	ninguno	ninguno	más de 5 kilos	alimentos	ninguno	ninguno	ninguno	vivienda	recolector	camión	ninguna	si	residuos	ninguno	plástico	ninguno	si	Ningún comentario	
3	Actopan	Actopan	Centro	medio	6 a 8	sola	maestros	pequeño	ninguno	ninguno	ninguno	más de 5 kilos	residuos	ninguno	ninguno	ninguno	patio	recolector	camión	5 pesos	si	alimentos	residuos	ninguno	ninguno	otras	si	Si hubiera un programa de separación organizado puedo recolectar más.
4	Actopan	Actopan	Calle Anocastria	medio	3 a 5	sola	techo lámina	amplio	ninguno	ninguno	ninguno	2 a 3 kilos	alimentos	ninguno	ninguno	ninguno	interior	camión	ninguna	si	residuos	papel	ninguno	lata	si	Ningún comentario		
5	Actopan	Actopan	Aviación	medio	6 a 8	sola	maestros	amplio	ninguno	ninguno	ninguno	más de 5 kilos	residuos	ninguno	ninguno	ninguno	patio	recolector	camión	5 pesos	si	ninguno	ninguno	plástico	ninguno	si	Ningún comentario	
6	Actopan	Actopan	Aviación	bajo	3 a 5	sola	techo lámina	pequeño	ninguno	ninguno	ninguno	4 a 5 kilos	residuos	papel	plástico	lata	patio	recolector	camión	un peso	si	residuos	papel	plástico	lata	si	Ningún comentario	
7	Actopan	Actopan	Aviación	medio	3 a 5	sola	techo lámina	pequeño	perro	uno	ninguno	2 a 3 kilos	alimentos	periódico	pet	aluminio	patio	recolector	camión	5 pesos	si	ninguno	papel	ninguno	lata	si	Ningún comentario	
8	Actopan	Actopan	Aviación	medio	6 a 8	sola	maestros	pequeño	perro	uno	ninguno	más de 5 kilos	residuos	ninguno	ninguno	ninguno	patio	recolector	camión	ninguna	si	residuos	ninguno	plástico	ninguno	si	Ningún comentario	
9	Actopan	Actopan	Aviación	medio	3 a 5	sola	maestros	amplio	perro	uno	ninguno	más de 5 kilos	residuos	ninguno	ninguno	ninguno	patio	recolector	camión	ninguna	si	residuos	papel	plástico	ninguno	si	Ningún comentario	
10	Actopan	Actopan	Cerrito	medio	3 a 5	sola	techo lámina	pequeño	perro	uno	ninguno	más de 5 kilos	residuos	ninguno	ninguno	ninguno	patio	recolector	camión	un peso	si	residuos	ninguno	plástico	ninguno	si	También podría separar bolsas de plástico. Tengo 2 aves	
11	Actopan	Actopan	Cauhtémoc	bajo	9 o más	sola	maestros	amplio	perro	5 o más	otras	5 o más kilos	residuos	ninguno	ninguno	ninguno	patio	incineración a cielo abierto	camión	ninguna	si	pañal	ninguno	plástico	ninguno	si	Separaría también bolsas de plástico. Tengo 2 aves canchales	
12	Actopan	Actopan	Chapultepec	bajo	3 a 5	sola	adobe	pequeño	avea	uno	ninguno	4 a 5 kilos	residuos	ninguno	ninguno	ninguno	patio	recolector	camión	2 a 4 pesos	si	ninguno	papel	plástico	ninguno	si	Ningún comentario	
13	Actopan	Actopan	Chapultepec	medio	una	sola	maestros	pequeño	perro	uno	ninguno	más de 5 kilos	residuos	ninguno	ninguno	ninguno	patio	recolector	camión	2 a 4 pesos	si	ninguno	papel	plástico	lata	si	También podría separar vidrio	
14	Actopan	Actopan	Chapultepec	medio	3 a 5	sola	maestros	amplio	gato	uno	ninguno	4 a 5 kilos	alimentos	ninguno	ninguno	ninguno	patio	recolector	camión	ninguna	si	ninguno	archivo	pet	aluminio	si	También podría separar pet	
15	Actopan	Actopan	Estación	medio	3 a 5	sola	maestros	árboles	perro	3 a 4	otras	5 o más kilos	residuos	ninguno	ninguno	ninguno	patio	recolector	camión	ninguna	si	residuos	cartón	ninguno	ninguno	si	También podría separar papel, crío 6 ganacos, 1 borrego, 2 chivinos, 5 vacas y 2 cerdos	
16	Actopan	Actopan	Estación	medio	3 a 5	sola	maestros	amplio	ninguno	ninguno	ninguno	más de 5 kilos	residuos	ninguno	ninguno	ninguno	patio	recolector	camión	ninguna	si	residuos	ninguno	plástico	ninguno	si	También podría separar polietileno. Si instalara planta de reciclaje que no ocupen zonas de cultivo	
17	Actopan	Actopan	Floreata	medio	3 a 5	sola	maestros	amplio	perro	uno	ninguno	más de 5 kilos	residuos	ninguno	ninguno	ninguno	patio	recolector	camión	ninguna	si	ninguno	cartón	plástico	ninguno	si	También separaría pet. Los residuos alimenticios los destruyo	
18	Actopan	Actopan	Floreata	medio	3 a 5	sola	techo lámina	pequeño	perro	3 a 4	ninguno	más de 5 kilos	alimentos	ninguno	ninguno	ninguno	no	recolector	camión	ninguna	si	residuos	cartón	plástico	ninguno	si	También separaría vidrio	
19	Actopan	Actopan	Floreata	medio	3 a 5	sola	maestros	pequeño	ninguno	ninguno	ninguno	4 a 5 kilos	residuos	ninguno	ninguno	ninguno	patio	recolector	camión	ninguna	si	residuos	plástico	pet	ninguno	si	Ningún comentario	
20	Actopan	Actopan	Fundición	medio	3 a 5	sola	maestros	pequeño	perro	uno	ninguno	4 a 5 kilos	residuos	ninguno	ninguno	ninguno	patio	recolector	camión	5 pesos	si	ninguno	papel	plástico	ninguno	si	Ningún comentario	
21	Actopan	Actopan	Guadalupe	medio	6 a 8	vecindario	maestros	pequeño	perro	dos	ninguno	4 a 5 kilos	residuos	ninguno	ninguno	ninguno	interior	recolector	camión	ninguna	si	ninguno	ninguno	plástico	ninguno	si	Ningún comentario	
22	Actopan	Actopan	Guadalupe	medio	3 a 5	sola	maestros	pequeño	ninguno	ninguno	ninguno	más de 5 kilos	residuos	ninguno	ninguno	ninguno	patio	recolector	camión	5 pesos	si	residuos	ninguno	plástico	ninguno	si	También separaría bolsas de plástico	
23	Actopan	Actopan	Fracc. Las Montañas	medio	3 a 5	sola	maestros	pequeño	perro	uno	ninguno	4 a 5 kilos	alimentos	ninguno	ninguno	ninguno	patio	recolector	camión	5 pesos	si	alimentos	pet	ninguno	ninguno	si	Ningún comentario	
24	Actopan	Actopan	Olivos	bajo	una	sola	maestros	pequeño	perro	uno	ninguno	más de 5 kilos	residuos	ninguno	plástico	ninguno	patio	recolector	camión	5 pesos	si	residuos	ninguno	plástico	ninguno	si	Los residuos alimenticios en los días al perro y también separa vidrio	
25	Actopan	Actopan	Olivos	medio	6 a 8	sola	maestros	árboles	perro	3 a 4	otras	5 o más kilos	residuos	ninguno	ninguno	ninguno	patio	recolector	camión	5 pesos	si	ninguno	ninguno	ninguno	lata	si	El camión pasa rara vez y pide una cuota mayor a 5 pesos, también separaría vidrio, crío 8 vacas	
26	Actopan	Actopan	Hidalgo La Peña	medio	3 a 5	condominio	maestros	pequeño	ninguno	ninguno	cerdos	uno	4 a 5 kilos	residuos	ninguno	plástico	ninguno	patio	recolector	camión	5 pesos	si	residuos	papel	plástico	lata	si	Separo además vidrio y podría separar además latas de conserva
27	Actopan	Actopan	Rojo Gómez	bajo	3 a 5	sola	maestros	pequeño	perro	uno	ninguno	más de 5 kilos	residuos	ninguno	ninguno	ninguno	patio	recolector	camión	ninguna	si	residuos	archivo	plástico	aluminio	si	El camión recolector pasa una vez por semana, separaría también residuos de jardinería y madera	
28	Actopan	Actopan	Conocida	bajo	3 a 5	sola	adobe	pequeño	perro	uno	ninguno	más de 5 kilos	residuos	ninguno	plástico	lata	interior	recolector	camión	ninguna	si	residuos	cartón	plástico	lata	si	El camión recolector pasa una vez por semana, separo también vidrio y los residuos alimenticios los doy al perro	
29	Actopan	Actopan	Conocida	medio	6 a 8	sola	techo lámina	amplio	perro	5 o más	otras	5 o más kilos	residuos	ninguno	ninguno	lata	patio	recolector	camión	ninguna	si	residuos	ninguno	ninguno	lata	si	Tengo 15 perros, crío 10 gallinas y 4 borregos	

MANEJO DE RESIDUOS SÓLIDOS URBANOS EN LOS DOMICILIOS DE LA ZONA DE ESTUDIO
BASE DE DATOS DE ENCUESTAS

P1	P2	P3	P4	P5	P6	P7	P8	P9A	P9B	P10A	P10B	P11	P12A	P12B	P12C	P12D	P13	P14	P15	P16	P17A	P17B	P17C	P17D	P18	COMENTARIOS			
30	Actopan	Boxtha	Conocida	bajo	3 a 5	soia	panpastería	área verde	perro	uno	otros	5 o más	más de 5	residuos	ninguno	ninguno	ninguno	patio	traslado a depósito	ninguna	si	residuos	ninguno	plástico	lata	si	Los residuos alimenticios se los doy al perro; Algunas veces tiro la basura en el canal porque no pasa el camión recolector; crío y borrego.		
31	Actopan	Boxtha	Conocida	medio	3 a 5	soia	panpastería	área verde	ninguno	ninguno	ninguno	ninguno	más de 5	alimentos	ninguno	ninguno	ninguno	patio	deposito	ninguna	si	alimentos	papel	película	aluminio	ninguno	si	Ningún comentario	
32	Actopan	Boxtha	Conocida	bajo	6 a 8	soia	panpastería	pequeño	perro	uno	cerdon	5 o más	4 a 5	residuos	ninguno	ninguno	ninguno	patio	recolector	camión	9 pesos	si	residuos	curtidorio	pet	ninguno	si	Crío además borregos; podría separar también bolsas de plástico y plástico rígido	
33	Actopan	Boxtha	Conocida	bajo	3 a 5	soia	techo lámina	pequeño	ninguno	ninguno	ninguno	ninguno	2 a 3	residuos	ninguno	ninguno	ninguno	patio	recolector	6 más	si	alimentos	ninguno	ninguno	ninguno	si	Quemamos la basura porque no pasa el camión recolector		
34	Actopan	Cañada Chica	Conocida	medio	3 a 5	soia	techo lámina	área verde	perro	dos	ninguno	ninguno	más de 5	residuos	papel	plástico	ninguno	patio	recolector	6 más	si	alimentos	ninguno	ninguno	ninguno	si	Quemamos la basura porque no pasa el camión recolector		
35	Actopan	Antigua Canguihuindo	Conocida	bajo	3 a 5	soia	adobe	pequeño	perro	uno	aves	5 o más	4 a 5	residuos	papel	plástico	ninguno	interior	recolector	ninguna	si	residuos	papel	plástico	aluminio	ninguno	si	Los residuos alimenticios se les da al perro y los borregos; los demás residuos se queman en el fogón o se acuchillan.	
36	Actopan	Chicavasco	Conocida	medio	dos	soia	panpastería	amplio	ninguno	ninguno	aves	5 o más	2 a 3	residuos	papel	plástico	ninguno	vivienda	abierto	ninguna	si	alimentos	curtidorio	película	lata	si	Los residuos alimenticios los damos a las gallinas y el resto de los materiales los quemamos en el fogón donde calentamos el agua porque no pasa el camión; también podríamos separar lata de aluminio.		
37	Actopan	Boxtha	Av. de la Cruz	bajo	3 a 5	soia	techo lámina	pequeño	perro	3 a 4	corral	5 o más	3 a 3	residuos	ninguno	plástico	lata	patio	traslado a depósito	ninguna	si	alimentos	ninguno	ninguno	plástico	lata	si	Crío 8 gallinas	
38	Actopan	La Retancia	Conocida	bajo	9 o más	soia	techo lámina	amplio	perro	5 o más	corral	5 o más	más de 5	residuos	ninguno	ninguno	ninguno	patio	recolector	ninguna	si	residuos	cartón	plástico	ninguno	si	El camión recolector no pasa; tengo además 4 palomas y crío 30 aves de corral, un cerdo y 20 borregos.		
39	Actopan	La Retancia	La Cañada	bajo	3 a 5	soia	adobe	área verde	perro	5 o más	aves	5 o más	4 a 5	residuos	ninguno	ninguno	ninguno	patio	recolector	ninguna	si	residuos	ninguno	plástico	ninguno	si	Separaría también bolsas de plástico; los residuos alimenticios los doy a los borregos; el resto se quema en un hoyo ya que el camión no pasa; tengo 10 perros, 20 palomas, 24 gallinas y algunos borregos.		
40	Actopan	Lagunilla	Conocida	medio	3 a 5	soia	panpastería	amplio	ninguno	ninguno	corral	ninguno	más de 5	residuos	ninguno	ninguno	ninguno	patio	abierto	camión	9 pesos	si	residuos	ninguno	plástico	ninguno	si	Los residuos alimenticios los compostamos para las plantas; también podríamos separar el vidrio.	
41	Actopan	La Loma	Conocida	medio	3 a 5	soia	panpastería	pequeño	perro	dos	ninguno	ninguno	más de 5	alimentos	ninguno	ninguno	ninguno	interior	recolector	6 más	si	alimentos	papel	pet	lata	si	Podría separar también papel		
42	Actopan	La Loma	Conocida	medio	6 a 8	soia	panpastería	árboles	perro	uno	aves	5 o más	más de 5	residuos	ninguno	ninguno	ninguno	lata	interior	recolector	camión	ninguna	si	ninguno	ninguno	plástico	lata	si	La lata de aluminio la vendemos
43	Actopan	Magdalena	Conocida	bajo	3 a 5	soia	panpastería	pequeño	perro	3 a 4	corral	5 o más	4 a 5	residuos	ninguno	plástico	ninguno	patio	recolector	ninguna	si	residuos	ninguno	plástico	ninguno	si	Los residuos alimenticios los damos a los animales; críamos 15 borregos y 5 aves de corral; los plásticos los quemamos		
44	Actopan	Ploceasa	Conocida	bajo	6 a 8	soia	otras	árboles	perro	uno	aves	3 a 4	2 a 3	ninguno	ninguno	ninguno	ninguno	patio	recolector	ninguna	no	ninguno	ninguno	ninguno	ninguno	ninguno	no	Los residuos se queman en el terreno porque no llega el camión recolector	
45	Actopan	Pozo Grande	Conocida	bajo	dos	soia	techo lámina	pequeño	perro	uno	ninguno	ninguno	2 a 3	residuos	ninguno	ninguno	ninguno	interior	recolector	ninguna	si	residuos	ninguno	plástico	ninguno	si	También podríamos separar pet y poliestireno.		
46	Actopan	Pozo Grande	Conocida	medio	6 a 8	soia	techo lámina	pequeño	aves	5 o más	aves	3 a 4	más de 5	residuos	papel	plástico	ninguno	patio	recolector	camión	ninguna	si	residuos	cartón	plástico	lata	si	Las bolsas de plástico las quemamos; tengo 8 pájaros, 4 gallinas y 1 borrego.	
47	Actopan	San Andrés	Conocida	bajo	dos	soia	techo lámina	área verde	perro	uno	corral	5 o más	2 a 3	residuos	ninguno	plástico	ninguno	patio	recolector	ninguna	si	residuos	ninguno	plástico	ninguno	si	Los residuos alimenticios se les da a los animales y los demás se queman en un bote porque no pasa el camión recolector		
48	Actopan	San Andrés	Conocida	medio	3 a 5	soia	panpastería	pequeño	perro	uno	ninguno	ninguno	2 a 3	residuos	ninguno	ninguno	ninguno	interior	abierto	traslado a	ninguna	si	alimentos	ninguno	ninguno	ninguno	si	Los plásticos y papel se queman; separaríamos más materiales si pasara el camión	
49	Actopan	San Andrés	Conocida	medio	3 a 5	soia	adobe	amplio	perro	3 a 4	aves	3 a 4	más de 5	residuos	ninguno	plástico	ninguno	patio	recolector	ninguna	si	residuos	ninguno	plástico	ninguno	si	Todo se quema en un pozo porque no pasa el camión; hemos visto que en el arroyo cercan a la localidad se tira escombros		
50	Actopan	San Andrés	Conocida	bajo	9 o más	soia	techo lámina	amplio	perro	5 o más	corral	5 o más	más de 5	residuos	ninguno	ninguno	ninguno	patio	recolector	ninguna	si	residuos	cartón	plástico	ninguno	si	El camión recolector no pasa; tengo además 4 palomas y crío 30 aves de corral, un cerdo y 20 borregos.		

MANEJO DE RESIDUOS SÓLIDOS URBANOS EN LOS DOMICILIOS DE LA ZONA DE ESTUDIO
BASE DE DATOS DE ENCUESTAS

P1	P2	P3	P4	P5	P6	P7	P8	P9A	P9B	P10A	P10B	P11	P12A	P12B	P13	P14	P15	P16	P17A	P17B	P18	P19	COMENTARIOS					
51	San	Casa Blanca	Conocida	bajo	3 a 5	sola	mampostería	área verde	perro	dos	Otros	3 a 4	4 a 5	residuos	ninguno	plástico	ninguno	patio	camión	2 a 4	si	residuos	ninguno	plástico	lata	si	También podría separar latas de aluminio. El plástico se quema y el camión pasa esporádicamente. Los residuos alimenticios los utilizamos como abono. Tengo 1 cerdo y 3 vacas borregos.	
52	San	Casa Grande	Conocida	medio	5 a 8	sola	mampostería	amplio	perro	uno	aves	5 o más	más de 5	residuos	ninguno	ninguno	ninguno	patio	camión	2 a 4	si	pañal	ninguno	plástico	ninguno	si	Los residuos alimenticios los utilizamos como abono en el terreno. Tengo 40 aves de corral, 1 vaca y un borrego.	
53	San	Caxuxi	Conocida	bajo	3 a 5	sola	techo lámina	árboles	perro	uno	corral	5 o más	4 a 5	residuos	ninguno	ninguno	ninguno	patio	camión	2 a 4	si	residuos	ninguno	plástico	lata	si	Los residuos alimenticios son para el perro. Tengo 10 borregos y 4 aves de corral.	
54	San	Caxuxi	Conocida	bajo	3 a 5	sola	mampostería	amplio	ninguno	ninguno	ninguno	ninguno	2 a 3	residuos	ninguno	plástico	lata	interior	incineración a cielo abierto	ninguna	si	residuos	plástico	aluminio	lata	si	Los plásticos y el papel se queman porque el camión no pasa.	
55	San	Colorado	Conocida	bajo	3 a 5	sola	mampostería	árboles	perro	uno	aves	dos	más de 5	residuos	ninguno	ninguno	ninguno	vivienda	abierta	camión	5 pesos	si	residuos de	ninguno	plástico	ninguno	si	Quemamos los residuos de jardinería. Se le paga una cuota fija al camión recolector. Tengo borregos.
56	San	Colorado	Conocida	bajo	3 a 5	sola	techo lámina	pequeño	perro	uno	corral	aves	3 a 4	2 a 3	ninguno	ninguno	ninguno	patio	camión	6 pesos	si	ninguno	papel	ninguno	ninguno	si	La basura se quema cuando no pasa el camión. Se le paga una cuota fija al camión recolector. Tengo borregos.	
57	San	Colorado	Conocida	bajo	3 a 5	sola	mampostería	pequeño	perro	uno	corral	aves	5 o más	más de 5	ninguno	ninguno	ninguno	interior	camión	5 pesos	si	ninguno	archivo	plástico	ninguno	si	La basura se quema cuando no pasa el camión. Se le paga una cuota fija al camión recolector. Tengo borregos.	
58	San	Demacu	Conocida	bajo	3 a 5	sola	techo lámina	árboles	perro	uno	corral	Otros	5 o más	más de 5	ninguno	ninguno	ninguno	interior	incineración a cielo abierto	ninguna	si	ninguno	ninguno	plástico	ninguno	si	La basura se quema cada ocho días. No hay recolección frecuente. Tengo 12 aves de corral y 2 borregos.	
59	San	Demacu	Conocida	medio	6 a 9	sola	mampostería	árboles	perro	dos	Otros	3 o más	4 a 5	ninguno	ninguno	plástico	ninguno	vivienda	abierta	camión	5 pesos	si	ninguno	ninguno	plástico	ninguno	si	También podría separar metales y vidrio. Tengo además 20 aves de corral, 8 vacas y 30 borregos.
60	San	Lagunilla	Conocida	medio	6 a 8	sola	adobe	pequeño	perro	3 a 4	Otros	5 o más	2 a 3	ninguno	ninguno	plástico	ninguno	patio	camión	ninguna	si	residuos de	ninguno	plástico	Otros	si	También podría separar cuero de zapato. Los plásticos los quemamos en el fogón de la cocina donde calentamos tortillas y agua para el baño.	
61	San	Leandro	Conocida	bajo	3 a 5	sola	mampostería	árboles	perro	3 a 4	aves	5 o más	más de 5	ninguno	ninguno	ninguno	no	camión	5 pesos	si	ninguno	ninguno	plástico	lata	si	También podría separar vidrio. La basura se quema por lo regular porque el camión recolector pasa últimamente. Tengo pájaros y 10 aves de corral.		
62	San	Olivera	Conocida	bajo	una	sola	techo lámina	pequeño	ninguno	ninguno	corral	ninguno	2 a 3	residuos	papel	plástico	ninguno	interior	camión	5 pesos	si	residuos	cartón	plástico	ninguno	si	El papel se quema y los residuos alimenticios se los doy al perro. Me gustaría participar pero hasta que vna una mejoría en las tareas de recolección.	
63	San	Olivera	Conocida	bajo	3 a 5	sola	mampostería	pequeño	perro	ninguno	ninguno	ninguno	ninguno	residuos	archivo	papel	ninguno	vivienda	recolector	camión	un peso	si	residuos	papel	plástico	ninguno	si	El papel se quema en el fogón. También podría separar vidrio. Tengo un perro, un gato, 2 pájaros, 5 aves de corral y 3 cerdos.
64	San	Olivera	Conocida	bajo	3 a 5	sola	mampostería	pequeño	perro	uno	cerdos	3 a 4	2 a 3	residuos	papel	ninguno	ninguno	patio	camión	2 a 4	si	pañal	papel	ninguno	Otros	si	El papel se quema en el fogón. También podría separar vidrio. Tengo un perro, un gato, 2 pájaros, 5 aves de corral y 3 cerdos.	
65	San	Poxindeje	Conocida	medio	3 a 5	sola	mampostería	área verde	perro	dos	aves	5 o más	4 a 5	residuos	ninguno	plástico	ninguno	patio	camión	ninguno	si	pañal	papel	plástico	lata	si	Tengo 5 aves de corral.	
66	San	San Antonio	Conocida	medio	3 a 5	vecindario	adobe	amplio	ninguno	ninguno	corral	aves	5 o más	más de 5	ninguno	ninguno	ninguno	patio	recolector	camión	ninguna	si	ninguno	ninguno	plástico	Otros	si	Podría separar también hule.
67	San	San Antonio	Conocida	medio	3 a 5	sola	mampostería	pequeño	perro	uno	ninguno	ninguno	más de 5	ninguno	ninguno	ninguno	ninguno	patio	camión	5 pesos	si	ninguno	cartón	plástico	ninguno	si	Podría separar también poliuretano. La recolección no es regular por lo que llevamos la basura al refrigerador.	
68	San	San Antonio	Conocida	medio	3 a 5	sola	mampostería	árboles	perro	dos	ninguno	ninguno	más de 5	ninguno	ninguno	ninguno	ninguno	patio	camión	5 pesos	si	ninguno	cartón	plástico	ninguno	si	Ningún comentario.	
69	San	Santa María	Centro	bajo	dos	sola	adobe	pequeño	perro	dos	cerdos	3 a 4	2 a 3	residuos	ninguno	ninguno	ninguno	no	incineración a cielo abierto	ninguna	no	ninguno	ninguno	ninguno	ninguno	ninguno	si	Quemamos residuos inorgánicos y utilizamos los residuos alimenticios como abono para la milpa. Tengo 1 cerdo, una vaca.
70	San	Santa María	La manzana	bajo	3 a 5	sola	mampostería	área verde	perro	uno	Otros	5 o más	4 a 5	residuos	ninguno	ninguno	ninguno	patio	camión	5 pesos	si	residuos	papel	plástico	ninguno	si	También podría separar plástico rígido y bolsa. Tengo borregos.	
71	San	Santa María	Centro	medio	3 a 5	sola	mampostería	área verde	perro	dos	Otros	5 o más	más de 5	residuos	ninguno	plástico	lata	interior	recolector	camión	2 a 4	si	residuos	cartón	plástico	lata	si	También podría separar vidrio. El aluminio y el pet los vendo. Los residuos alimenticios los doy al perro.
72	San	Teopani	Conocida	bajo	3 a 5	sola	mampostería	pequeño	perro	uno	Otros	dos	más de 5	ninguno	ninguno	ninguno	ninguno	patio	camión	ninguna	si	ninguno	ninguno	plástico	ninguno	si	Tengo 2 borregos.	
	Salvador											kilogramos	alimentos	plástico	aluminio	vivienda	recolector	pesos	alimentos	plástico	aluminio	plástico	ninguno	ninguno	ninguno	si		

MANEJO DE RESIDUOS SÓLIDOS URBANOS EN LOS DOMICILIOS DE LA ZONA DE ESTUDIO
BASE DE DATOS DE ENCUESTAS

P1	P2	P3	P4	P5	P6	P7	P8	P9A	P9B	P10A	P10B	P11	P12A	P12B	P12C	P12D	P13	P14	P15	P16	P17A	P17B	P17C	P17D	P18	COMENTARIOS
98	El Arenal	Fruiteal	Bajo	1 a 5	sola	mampostería	árboles	perro	dos	aves	5 o más	4 a 5	residuos	ninguno	plástico	ninguno	patio	incineración	ninguna	si	residuos	ninguno	plástico	ninguno	si	También puedo separar plástico rígido, poliestireno y vidrio. Los plásticos se queman porque no pasa el camión recolector.
Arenal		Alto								corral	kilos	alimentos		película				abierto			alimentos		pet			
99	El Arenal	Fruiteal	medio	1 a 5	sola	mampostería	pequeño	perro	1 a 4	otros	5 o más	más de 5	ninguno	ninguno	ninguno	ninguno	patio	incineración	ninguna	si	ninguno	cartón	plástico	lata	si	También podría separar vidrio. El camión recolector pasa pero prefiero quemar todo.
Arenal		Bajo									kilos							abierto					pet	aluminio		
100	El Arenal	Barrio	medio	5 o más	sola	mampostería	pequeño	perro	dos	otros	5 o más	más de 5	residuos	ninguno	plástico	ninguno	interior	camión	ninguna	si	pañal	ninguno	plástico	ninguno	si	También separo poliestireno y plástico rígido. Como las bolsas de plástico.
Arenal		Dos									kilos	alimentos		película			vivienda	recolector			descartable		pet			