

x
T 2791
H 47

**EVALUACIÓN DE ALTERNATIVAS DE MANEJO DE DESECHOS SÓLIDOS
(EN LO REFERIDO A TRATAMIENTO Y DISPOSICIÓN).
ESTUDIO DE CASO: REGIÓN CENTRAL DEL ESTADO MÉRIDA, VENEZUELA.**

Por

Rafael Augusto Hernández Oyola

**Tesis para Optar al Grado de Magister Scientiae en
Gestión de Recursos Naturales Renovables y Medio Ambiente**

**CENTRO INTERAMERICANO DE DESARROLLO
E INVESTIGACIÓN AMBIENTAL Y TERRITORIAL
UNIVERSIDAD DE LOS ANDES
Mérida, Venezuela
1997**

A LUISA FERNANDA por todo su AMOR.....

AGRADECIMIENTOS

Quiero expresar mi agradecimiento al **Centro Interamericano de Investigación y Desarrollo Ambiental y Territorial (CIDIAT)** y al **Banco Interamericano de Desarrollo (BID)**, por brindarme la oportunidad de realizar mis estudios de postgrado. A la **Corporación de los Andes** por su valioso aporte logístico para realizar las visitas a los centros de acopio locales y el proceso de caracterización de los desechos de las localidades del área de estudio y en especial a la **Ing. Cecilia Rangel** por su colaboración. A la **Fundación para el Desarrollo de la Ciencia y la Tecnología (FUNDACITE - Mérida)**, por su aporte financiero para la realización de la visita a los centros de recepción y a las instituciones a nivel nacional.

De manera especial agradezco a mis padres **Consuelo y Rafael** y a mis hermanos **Ivonne, Mauricio, Alex y Omar** por todo su cariño y colaboración. Al **Ing. Francisco Racedo L.** profesor y amigo por impulsarme a realizar la maestría. A mi tutor, el **Ing. Miguel A. Cabeza** por su valioso aporte de experiencia, conocimiento del tema y tiempo dedicado. A los ingenieros **José A. Pérez Roa** y **Armando Cubillos Z.** Por sus aportes oportunos y definitivos para la culminación de este trabajo. Y a todas aquellas personas que de cualquier forma participaron en la realización del presente trabajo.

INDICE

AGRADECIMIENTOS	iii
LISTA DE TABLAS	iv
LISTA DE FIGURAS	v
RESUMEN	vii
CAPÍTULO	
I. Introducción	1
Justificación	1
Objetivos	1
General	1
Específico	1
II. Revisión de la literatura	3
Introducción a la gestión de los desechos sólidos	3
Gestión de los desechos sólidos Municipales: Elementos funcionales	6
Clasificación de los desechos sólidos municipales y competencia de su gestión	7
Domesticos o domiciliarios	7
Comerciales	7
Industriales	7
Institucionales	7
Agrícolas	7
Caracterización de los desechos sólidos municipales	8
Cantidad de desechos que se recolectan en el municipio	11
Análisis de población	12
Análisis de la tendencia de las tasas de crecimiento	12
Método de proyección geométrica	12
Alternativas de gestión de los desechos sólidos urbanos	13
Alternativas de disposición	13
Relleno sanitario	14
Métodos de relleno sanitario	14
Principios Básicos de un relleno sanitario	14
Ventajas y desventajas	16
Inversión necesaria	17
	vii

Alternativas de tratamiento	17
Planta de separación y compostaje	17
Ventajas y desventajas	18
Inversión necesaria	20
Planta de incineración	20
Ventajas y desventajas	20
Inversión necesaria	21
Recuperación y reciclaje	21
Ventajas y desventajas	22
Criterios para la evaluación de la viabilidad financiera de proyectos de inversión	22
Valor actual neto (VAN)	23
Tasa interna de retorno (TIR)	23
Factor de recuperación de capital (FR)	23
Descripción general del área de estudio	24
Características generales de cada localidad	24
III. Metodología	27
Definición del área de estudio	28
Revisión de la literatura	28
Definición de las alternativas de manejo	28
Evaluación de la situación actual	28
Recopilación de la información municipal	28
Proyecciones de población	29
Estimación de la cobertura del servicio	29
Caracterización de los desechos sólidos	29
Estimación de la producción de desechos sólidos	30
Análisis de mercado	31
Prácticas de recuperación	31
Evaluación financiera de las alternativas planteadas a corto plazo	32
Descripción de las alternativas planteadas a mediano y largo plazo	33
Identificación de costos y beneficios ambientales	33
IV. Resultados y discusión	35
Definición del área de estudio	35
Definición de las alternativas de manejo	37
Evaluación de la situación actual	41
Información municipal	41

Análisis de mercado	44
Proyecciones de población	45
Estimación de la cobertura del servicio	47
Caracterización de los desechos sólidos	48
Estimación de la producción de desechos sólidos	50
Prácticas de recuperación	55
Evaluación financiera de las alternativas planteadas.....	59
Análisis de sensibilidad	62
Descripción de las alternativas complementarias	66
Plan de educación ambiental	67
Promoción de grupos solidarios de recuperación	68
Identificación de efectos ambientales de las alternativas evaluadas	69
V. Conclusiones y recomendaciones	71
Conclusiones	71
Recomendaciones	72
Bibliografía	75
Apéndices	
1. Análisis de costos de inversión y operación: rellenos sanitarios convencionales en Colombia. Unidad ejecutiva de servicios públicos. alcaldía mayor de Santafé de Bogotá	79
2. Formatos de encuestas	87
3. Flujos de caja estimados para cada Municipio del área de estudio, con respecto a la prestación del servicio de aseo urbano para el año 1996	99
4. Directorio de centros de acopio visitados a nivel regional y nacional. Año 1996	103
5. Evaluación técnico - económica del proceso de reciclaje del vidrio en Chile. CEPAL (1993)	109
6. Información entorno al reciclaje en Venezuela; empresas OWENS ILLINOIS Y MANPA, FUNDACIÓN VENEZOLANA LOS PLÁSTICOS Y EL AMBIENTE (FUNVEPLAS) Y LA ASOCIACIÓN VENEZOLANA DE PRODUCTORES DE PULPA, PAPEL Y CARTÓN (APROPACA).....	123
7. Caracterización de los desechos sólidos domiciliarios, realizada en viviendas. Mérida años 1992 y 1993	135
8. Cantidades estimadas de recuperación en planta de separación y compostaje para cada zona del área de estudio	143

9. Flujos de caja de las alternativas evaluadas, para cada zona y por cada escenario de recolección	161
10. Análisis financiero alternativa 2: Desde la perspectiva del inversionista privado para cada zona y por cada escenario de recolección	207

LISTA DE TABLAS

Tabla	Pág.
1 Tipos de desechos sólidos según su origen y competencia de su gestión	8
2 Distribución porcentual típica de los desechos sólidos urbanos municipales de países de bajos, medianos y altos ingresos	10
3 Componentes de los desechos sólidos urbanos de algunas ciudades de Venezuela	11
4 Consideraciones importantes de diseño del proceso de compostaje aeróbico	18
5 Resultados obtenidos de las encuestas municipales. Percepción municipal de la situación. Año 1996	42
6 Precios promedio de compra y venta de materiales recuperados. Año 1996	45
7 Tasas de crecimiento propuestas por OCEI (1991)	46
8 Tasas de crecimiento urbanas de acuerdo a datos censales	46
9 Proyecciones de población para cada una de las localidades y su área de influencia, a partir del censo del año 1990	47
10 Porcentaje de cobertura estimado para cada localidad y su área de influencia. Año 1996	47
11 Componentes Característicos de los desechos sólidos de la zona 1. Año 1996	48
12 Componentes Característicos de los desechos sólidos de la zona 1. Año 1996	48
13 Componentes Característicos de los desechos sólidos de la zona 2. Año 1996	49
14 Componentes Característicos de los desechos sólidos de las zonas 3 y 4. Año 1996	49
15 Estimación de la cantidad de desechos sólidos recolectados semanalmente. Año 1996	51
16 Estimación de la tasa percapita de recolección y los desechos generados. Año 1996	51
17 Proyecciones de desechos a recolectar para la zona 1. Año 1996	53
18 Proyecciones de desechos a recolectar para la zona 2. Año 1996	53
19 Proyecciones de desechos a recolectar para la zona 3. Año 1996	54

20	Proyecciones de desechos a recolectar para la zona 4. Año 1996	54
21	Cantidad mensual de materiales recuperados en los sitios de disposición final de las zonas 1 y 4. Año 1996	55
22	Cantidad mensual promedio de los materiales recuperados en el centro de acopio de Los Curos (CERCUS). Año 1996	56
23	Porcentajes estimados de recuperación de materiales en la planta de separación y compostaje	59
24	Resultados de la evaluación financiera. Alternativa 1	60
25	Resultados de la evaluación financiera. Alternativa 2	61
26	Resultados del análisis de sensibilidad. Alternativa 1	65
27	Resultados del análisis de sensibilidad. Alternativa 2	66

LISTA DE FIGURAS

Figura	Pág.
1 Flujo de materiales y la generación de residuos sólidos en una sociedad tecnológica	4
2 Diagrama de flujo de la jerarquización de los componentes de la gestión integrada de los desechos sólidos	4
3 Diagrama de flujo de materia para la fabricación de papael y su utilización	5
4 Procedimiento para la recolección de muestras para el análisis de la composición química y los parámetros fisicoquímicos	9
5 Procedimiento para la recolección de muestras para el análisis de la composición física	10
6 Métodos de construcción y operación de rellenos sanitarios A. Método de trinchera B. Método de rampa C. Método de área	15
7 Flujo de materiales en el proceso de compostaje aeróbico normal	19
8 Flujograma de los pasos metodológicos	27
9 Mapa político del estado Mérida con el área de estudio delimitada y zonificada	36
10 Mapa de centros poblados y vías del estado Mérida	37
11 Diagrama de flujo de la alternativa 1. Proceso de operación relleno sanitario convencional	39
12 Diagrama de flujo de la alternativa 2. Proceso de operación planta de separación y compostaje aeróbica	40
13 Diagrama de flujo de la alternativa 2. Proceso de operación planta de separación y compostaje aeróbica acelerada	41
14 Gráfico de tendencias de las tasas de crecimiento urbanas	46
15 Componentes característicos de los desechos sólidos de la ciudad de Mérida y su área de influencia, año 1996	50
16 Distribución porcentual de los desechos dispuestos en el vertedero controlado el balcón	52
17 Distribución porcentual de los desechos dispuestos en el botadero San Felipe	52
18 Distribución porcentual de los materiales recuperados en la zona 1. Año 1996	56

19	Distribución porcentual de los materiales recuperados en la zona 4. Año 1996	56
20	Distribución porcentual de los materiales recuperados en el centro de reciclaje Los Curos (CERCUS) Año 1996	57
21	Alternativa 1. Sensibilidad del VAN frente a cada escenario de generación para la zona 1	60
22	Alternativa 2. Sensibilidad del VAN frente a cada escenario de generación para la zona 1	62
23	Sensibilidad del VAN a la variación de los costos de construcción. Alternativa 1. Zona 1	62
24	Sensibilidad del VAN a la variación de los costos de operación. Alternativa 1. Zona 1	63
25	Sensibilidad del VAN a la variación de los costos de construcción. Alternativa 2. Zona 1	64
26	Sensibilidad del VAN a la variación de los costos de operación. Alternativa 2. Zona 1	64
27	Sensibilidad del VAN a la variación de la tarifa equivalente por habitante. Alternativa 1. Escenario de recolección 1. Zona 1	65
28	Sensibilidad del VAN a la variación de la tarifa equivalente por habitante. Alternativa 2. Zona 1	66
29	Encadenamiento de efectos ambientales producidos con la disposición de desechos sólidos en vertederos controlados y botaderos a cielo abierto	69

RESUMEN

El presente trabajo pretende servir como punto de partida a las autoridades regionales, encargadas de la prestación del servicio de aseo urbano y de la planificación del desarrollo, para lograr una solución adecuada al problema de la disposición de los desechos sólidos, e iniciar un proceso de planificación tendiente a incorporar la recuperación y el tratamiento de los desechos sólidos de origen urbano, en los centros poblados del Estado Mérida, como una de las estrategias para proteger y preservar los recursos naturales y mantener las condiciones adecuadas de salud pública.

En el primer capítulo se presenta una introducción donde se hace énfasis en la problemática de la disposición de los desechos sólidos en el Estado Mérida. En el segundo, se hace una revisión de la literatura sobre la gestión de los desechos sólidos y algunas de las alternativas de manejo utilizadas en la actualidad. En el tercero, se muestra una descripción de la metodología utilizada para la elaboración del presente trabajo. En el cuarto, se presentan los resultados obtenidos y la discusión de los mismos. En el último, se presentan las conclusiones y recomendaciones que se desprenden de la discusión de los resultados.

Adicionalmente se presenta un listado de la bibliografía revisada, diez apéndices y un anexo, con información sobre las proyecciones de generación de los desechos sólidos, por componentes y por cada localidad; además los flujos de caja de la evaluación financiera y otros resultados de interés.

CAPÍTULO I

INTRODUCCIÓN

Justificación

En la mayoría de las municipalidades del estado Mérida, el manejo de los desechos sólidos se ha venido realizando bajo el esquema tradicional de recolección y disposición; en casi todos los casos, se realiza una disposición inadecuada en botaderos a cielo abierto, que se han convertido en focos de contaminación generando enfermedades y riesgos potenciales a la salud pública, degradando suelos y fuentes de agua.

Sumado a lo anterior, las políticas estatales y municipales no incluyen la separación y el tratamiento de los materiales recuperables de los desechos sólidos, como una actividad planificada que permitiría reducir el volumen y reciclar la fracción recuperable de los desechos llevados a disposición final; estrategia de manejo, que en la actualidad representa una de las alternativas más aceptadas a nivel mundial para la gestión de los desechos sólidos. En la región central del Estado Mérida la recuperación de materiales es una actividad informal en los vertederos y en pequeños centros de acopio locales, que actúan sin ningún control por parte de las autoridades locales.

Por estas razones es urgente evaluar alternativas de manejo de los desechos sólidos en lo referido a disposición y tratamiento, que permitan mejorar la situación actual en este aspecto, e incluir dentro de las políticas gubernamentales la recuperación de materiales y el tratamiento de los mismos, ya sea con sistemas industriales, programas de recuperación y reciclaje junto con un plan de educación ambiental.

Este proyecto nace como una iniciativa de la **Corporación de los Andes**, con la finalidad de acceder a recursos de organismos financieros internacionales a fin de poder desarrollar las soluciones adecuadas al problema de la disposición y el tratamiento de los desechos sólidos en el Estado Mérida; el **CIDIAT** participa en esta iniciativa, aportando la elaboración de este Trabajo de Grado a nivel de prefactibilidad, que sirva como punto de partida a la administración local, para iniciar un proceso de planificación que permita lograr una solución adecuada, tanto técnica, como financiera, social y cultural, al problema del tratamiento y la disposición de los desechos sólidos, en el tiempo más corto posible.

Objetivos

Objetivo General

Desarrollar, fortalecer y fomentar actividades tendientes a lograr una adecuada gestión de los desechos sólidos en el Estado Mérida.

Objetivos Específicos

Realizar la caracterización de los desechos sólidos para cada localidad del área de estudio.

Estimar la cobertura del servicio de aseo urbano y la producción de desechos sólidos para cada localidad del área de estudio.

Realizar la recopilación de la información municipal en el área de estudio, respecto a la prestación del servicio de aseo urbano y el análisis del mercado tanto regional como nacional de los desechos sólidos recuperables.

Identificar y evaluar las practicas de recuperación de desechos sólidos que se realizan en el área de estudio.

Identificar los efectos ambientales de la actividad de disposición de los desechos en vertederos controlados y botaderos a cielo abierto.

Evaluar financieramente, a nivel de prefactibilidad, alternativas de manejo de desechos sólidos en lo referido a disposición y tratamiento, para los centros urbanos de los municipios de la región central del Estado Mérida.

CAPÍTULO II

REVISIÓN DE LA LITERATURA

En este capítulo se presentan, en cuatro secciones, los resultados de la revisión de la literatura sobre gestión de los desechos sólidos municipales. En la primera parte se muestra una introducción breve sobre la gestión de los desechos sólidos. En la segunda, la descripción de los elementos funcionales básicos que se deben identificar y evaluar para la elaboración de un plan, programa o proyecto de gestión de los desechos sólidos municipales. En la tercera se describen algunas alternativas de gestión en lo referido a tratamiento y disposición, haciendo una breve descripción de sus alcances y limitaciones y de los criterios financieros que se utilizan normalmente, para evaluar su viabilidad financiera; y en la cuarta parte se realiza una descripción general del área de estudio.

La revisión de la literatura se enfocó a definir los lineamientos básicos para lograr una adecuada gestión de los desechos sólidos en la región central del Estado Mérida, en lo referido a disposición y tratamiento, de acuerdo con el nivel de planificación en que se realizó el presente trabajo.

Introducción a la Gestión de los Desechos Sólidos

Los desechos sólidos son todos los residuos sólidos o semi-sólidos que provienen de actividades humanas, y que son desechados como inútiles (OPS/OMS, 1991 y Tchobanoglous et al., 1982).

Tchobanoglous et al. (1994), define la gestión de los desechos sólidos como la disciplina asociada al control de la generación, almacenamiento, recogida, transferencia, transporte, procesamiento y evacuación de los desechos sólidos de una forma que armoniza con los mejores principios de la salud pública, economía, ingeniería y conservación del medio ambiente.

De acuerdo con esta definición, la gestión de los desechos sólidos incluye todas las funciones administrativas, financieras, legales, de planificación e ingeniería, que buscan la solución de los problemas generados en la producción y manipulación de los desechos sólidos.

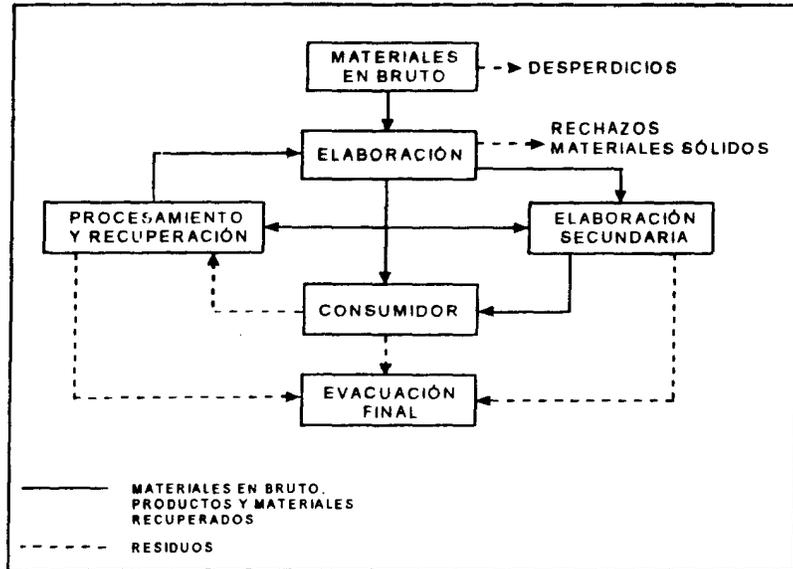
La producción de los desechos sólidos en las ciudades es un fenómeno inevitable, que ocurre diariamente en cantidades y composiciones que dependen exclusivamente del tamaño de la población y de su desarrollo económico. La actual sociedad de consumo utiliza una gran cantidad de productos, que al finalizar su vida útil se incorporan a un volumen de residuos cada vez mayor, por lo cual muchos países empiezan a sentir la necesidad de disponer de zonas cada vez mayores para llevar a cabo la disposición de esos residuos; sin embargo, muy pocos municipios están dispuestos a que se acumulen en sus terrenos materiales que en distinta medida pueden ocasionar problemas de contaminación (CEPAL, 1993).

Según ADAN (1995), cada municipio debe buscar su propio modelo de gestión en función de las características expuestas en el párrafo anterior, para lo cual debe tener presente los inconvenientes que obstaculizan la solución del problema de los desechos sólidos entre los cuales se pueden mencionar:

- La inexistencia de una política local de aseo urbano.
- Las limitaciones financieras, debido a presupuestos inadecuados, tarifas desactualizadas y líneas de crédito inexistentes.
- Falta de capacitación técnica y profesional del personal encargado.
- Falta de continuidad política y administrativa.
- Ausencia de un control ambiental en la disposición y el tratamiento de los desechos.

En la Figura 1 se define el flujo de materiales y la generación de desechos en una sociedad urbana tecnificada.

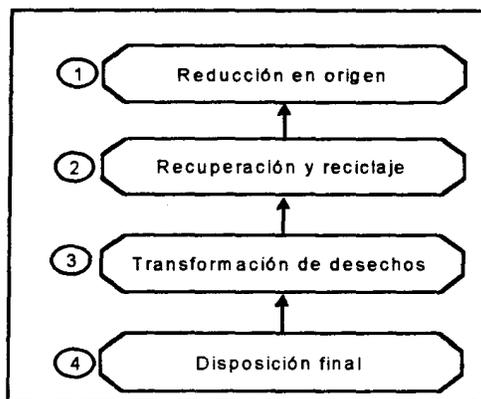
De acuerdo con este flujo de materiales, se ha elaborado un gran número de modelos de gestión, cuyas prioridades siempre están enfocadas a la reducción de los desechos en origen, recuperación y reciclaje, disposición adecuada y tratamiento tecnificado (FUNDASOCIAL, 1990).



Fuente: Tchobanoglous et al. ,1994

Figura 1. Flujo de materiales y la generación de residuos sólidos en una sociedad tecnológica.

La agencia de protección ambiental de los Estados Unidos (EPA), citada por Tchobanoglous et al. (1994), jerarquiza los componentes de la gestión integral de los desechos sólidos de la siguiente forma: reducción en origen, recuperación y reciclaje, transformación y/o tratamiento, y disposición final (ver Figura 2).



Fuente: Elaboración propia

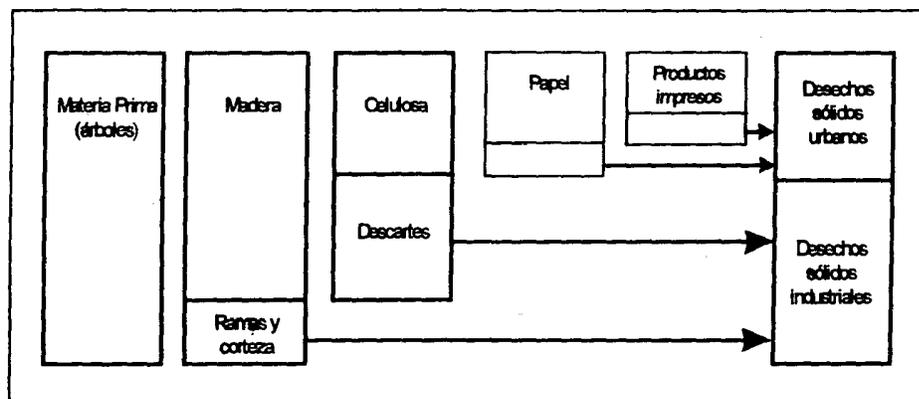
Figura 2. Diagrama de flujo de la jerarquización de los componentes de la gestión integrada de los desechos sólidos.

Esta organización por orden de rango no representa una camisa de fuerza que se torne inflexible e inmodificable, sino un conjunto de elementos que son complementarios uno del otro, con la finalidad de conseguir una gestión adecuada y eficiente de los desechos sólidos a corto, mediano y largo plazo.

En este orden de ideas, la reducción en origen aparece como el rango más alto de la jerarquía de gestión de los desechos sólidos, este punto implica reducir la cantidad y peligrosidad (toxicidad) de los desechos sólidos que son generados actualmente en la producción de artículos de consumo. Según la GTZ (1992), evitar la generación de desechos sólidos desde la producción industrial, representa una de las estrategias gubernamentales y empresariales más efectiva y ambiciosa con que se pueda contar.

El hecho es que la generación de desechos se inicia desde antes de la fabricación de un producto, esto da la suficiente posibilidad para que el Estado y las empresas implanten en la legislación y en sus programas de producción, respectivamente, esta estrategia de manejo de los desechos sólidos.

En la Figura 3 se puede observar un ejemplo del flujo de la materia para la producción de papel y la generación de desechos en los procesos de fabricación y utilización de los productos terminados.



Fuente: Modificado de GTZ (1992).

Figura 3. Diagrama de flujo de materia para la fabricación de papel y su utilización.

En segundo lugar de jerarquía está la recuperación y el reciclaje, este componente de la gestión integral de los desechos sólidos, implica en primer término la separación y la recogida de los desechos sólidos en sitios de generación o en plantas de separación; luego, la preparación de estos materiales para el reuso, el reprocesamiento y la transformación en materias primas; y finalmente, la reutilización, el reprocesamiento y la fabricación de nuevos productos. Como ejemplo se puede mencionar la utilización de la corteza y ramas remanentes del proceso de producción de papel para la elaboración de abono orgánico a través de compostaje o lombricultivos.

Cointreau (1987) destaca la recuperación y el reciclaje como una de las estrategias de manejo de los desechos sólidos más importantes para ayudar a reducir la demanda de recursos naturales (materias primas vírgenes) y disminuir las cantidades de desechos que tendrían que llevarse a disposición final; además, los beneficios directos que genera, desde el punto de vista económico y social, a las empresas y comunidades involucradas en el proceso son considerables.

Según la CEPAL (1993a) la recuperación y el reciclaje de los desechos sólidos urbanos es una opción que ha tomado la mayoría de los países del mundo, y en América Latina se lleva a cabo con más o menos éxito en países como Chile, Colombia y México.

El tercer elemento en la jerarquía de los componentes de la gestión de los desechos sólidos es la transformación y/o tratamiento, lo cual implica la transformación física, química o biológica de los desechos sólidos.

Según Tchobanoglous et al. (1994), las transformaciones y/o tratamientos típicos que se pueden aplicar a los desechos sólidos están dirigidos a recuperar, en primer lugar, productos de conversión (por ejemplo, compost) y en segundo lugar, energía en forma de calor y biogas, igualmente los tratamientos y/o transformaciones tienden a mejorar la eficacia de los sistemas de gestión de los desechos sólidos y normalmente dan lugar a una mayor duración de la capacidad de los sitios de disposición final.

La disposición final es el cuarto componente en la jerarquía de la gestión de los desechos sólidos; este elemento implica la evacuación controlada de los desechos que son remanentes de cualquiera de los componentes anteriormente citados.

La disposición final representa la manera menos deseada por la sociedad para gestionar el problema de los desechos sólidos.

La OMS/OPS (1993) presenta la disposición final como la primera fase del proceso de gestión que se debe acometer, puesto que una disposición adecuada garantiza la conservación del medio ambiente, mientras se desarrollan o implementan los demás elementos de la gestión integrada de los desechos sólidos.

Gestión de los Desechos Sólidos Municipales: Elementos Funcionales

El servicio de aseo urbano municipal, de manera general, comprende la recolección, tratamiento y disposición de los desechos sólidos de los centros urbanos, y otros servicios de limpieza adicionales como barrido de calles y recolección de escombros. En esta parte se definen los elementos funcionales que se deben conocer por parte de la administración local, para lograr una adecuada gestión de los desechos sólidos en lo referido a tratamiento y disposición.

Según la GTZ (1992), lo que más resalta con respecto al problema de los desechos sólidos municipales es que nadie los quiere ver ni tener cerca; de ahí el trato despreciativo que cotidianamente se le da a tales materiales. Para las administraciones locales, tanto en la teoría como en la práctica, los desechos sólidos municipales deben pasar desapercibidos a los ojos de la comunidad, por tal razón, se les dispone sin ningún control lejos de las ciudades, "por que ojos que no ven, corazón que no siente".

Es por tal motivo que la gestión de los desechos sólidos municipales, en lo referido a tratamiento y disposición, debe comenzar por eliminar la estrategia psicológica de la evasión del problema por parte de la administración local y centrar todos sus esfuerzos al conocimiento del mismo; por esta razón, para lograr una gestión exitosa de los desechos sólidos municipales, se debe tener bien identificados y en lo posible evaluados, los siguientes elementos:

- Clasificación de las principales fuentes de los desechos que se producen en la municipalidad e identificación de aquellas fuentes que son de su competencia.
- Caracterización de la composición los materiales presentes en los desechos sólidos Municipales.
- Cantidad de desechos sólidos que se recolectan en el municipio, en lo posible por componentes.

A continuación se describen cada una de ellas.

Clasificación de los Desechos Sólidos Municipales y Competencia de su Gestión.

Partiendo de la definición de desecho sólido, expuesta anteriormente, éstos se pueden clasificar de varias maneras, por ejemplo:

- Por su naturaleza física: secos o húmedos
- Por su composición química: orgánicos e inorgánicos
- Por los riesgos potenciales al ambiente: peligrosos, inertes y no inertes

Tanto FUNDASOCIAL (1990), como ADAN (1995) y Tchobanoglous et al. (1994), clasifican los desechos sólidos de acuerdo a la naturaleza de su origen, es decir, desechos sólidos domésticos o domiciliarios, comerciales, industriales, institucionales, agrícolas, urbanos, etc.

A continuación se presenta una definición de los tipos de desechos sólidos enunciados en el párrafo anterior:

Domésticos o Domiciliarios.

Son los desechos sólidos que se generan en la vida diaria de las residencias; generalmente están compuestos por residuos de comidas, papel, cartón, plástico, textiles, gomas, cuero, madera, residuos de jardines, latón, aluminio, vidrio, cerámica, polvo y tierra.

Comerciales.

Son los desechos sólidos que se generan en los diversos tipos de establecimientos comerciales, su composición es similar a la de los desechos domésticos, la diferencia radica en los porcentajes de cada componente.

Industriales.

Son los desechos sólidos generados en las diversas ramas de la industria, los desechos sólidos industriales son bastante variados por lo cual su composición depende exclusivamente del tipo de industria.

Institucionales.

Son los desechos sólidos generados en los centros gubernamentales, escuelas y liceos, cárceles y hospitales; si se elimina la porción de residuos sanitarios hospitalarios, su composición es similar a la de los desechos sólidos comerciales.

Agrícolas.

Son los desechos sólidos generados en las actividades agrícolas y pecuarias, por lo general están compuestos por estiércol de animales, desechos de cosechas, embalajes de abonos, herbicidas e insecticidas.

En la Tabla 1 se presentan los tipos de desechos sólidos según su origen y la competencia de su gestión.

Todos los tipos de desechos sólidos enunciados anteriormente (excepto los agrícolas), conforman lo que se denomina desechos sólidos urbanos (DSU).

Tabla 1. Tipos de desechos sólidos según su origen y competencias de su gestión.

TIPOS DE DESECHOS SÓLIDOS SEGÚN SU ORIGEN	RESPONSABLE DE SU GESTIÓN
Domiciliarios	Alcaldía
Comerciales	Alcaldía
Institucionales	Alcaldía
Industriales	Alcaldía y generador
Agrícolas	Generador

Fuente: ADAN (1995)

Caracterización de los Desechos Sólidos Municipales

Caracterización es el término utilizado para describir los componentes individuales que constituyen el flujo de desechos sólidos y su distribución relativa, usualmente basada en porcentaje en peso (Tchobanoglous et al., 1994).

La información sobre la composición de los desechos sólidos es importante para evaluar y diseñar los planes, programas y proyectos de gestión de los desechos sólidos municipales, pero por su naturaleza heterogénea, la determinación de su composición no es una tarea fácil. Los procedimientos estadísticos estrictos para la determinación de la composición de los desechos sólidos son difíciles si no imposibles de implementar; por esta razón se han desarrollado procedimientos de campo más sencillos, basados en las técnicas de muestreo al azar.

A la hora de considerar la caracterización de los desechos sólidos municipales es importante saber que su composición varía desde su generación hasta su disposición final, por lo cual se debe tener bien claro cuál es el objetivo de la gestión, para así determinar el procedimiento o procedimientos a aplicar.

ADAN (1995) recomienda dos tipos de análisis de la composición de los desechos sólidos municipales: El primero es el análisis de la composición química y los parámetros físico-químicos; y el segundo, el análisis de la composición física.

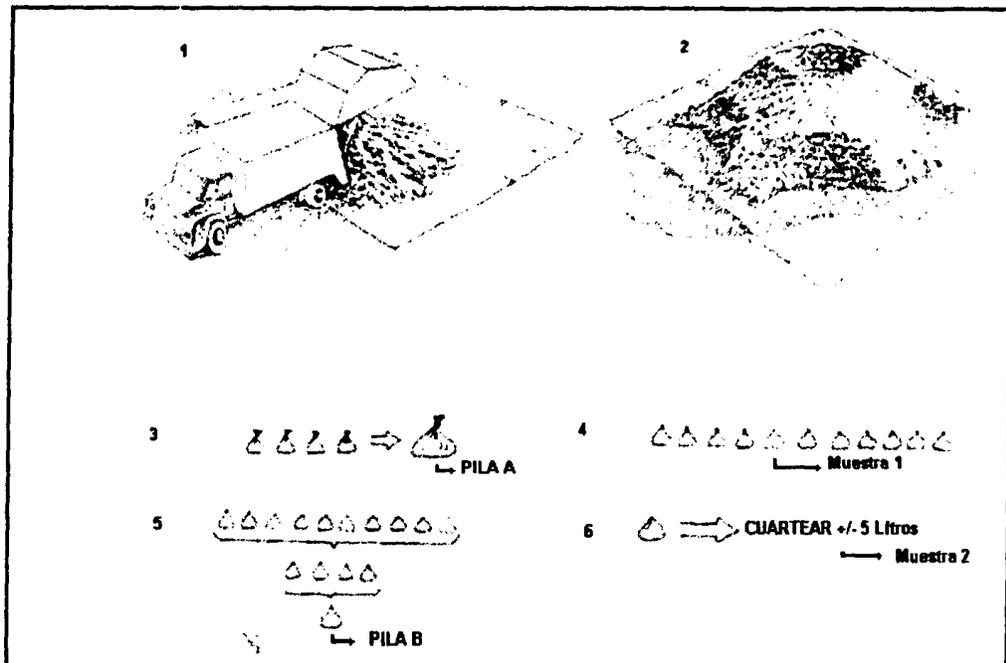
En ambos análisis se utiliza el procedimiento del cuarteo o cuarteamiento, por medio del cual una carga bruta de un camión de recolección, se divide en cuatro partes iguales (cuartos), tomándose dos partes opuestas entre sí y mezclándolas para formar una nueva muestra, repitiendo este proceso hasta tomar la cantidad de muestra deseada para el análisis. Tchobanoglous et al. (1.994) recomienda una muestra mínima de 90 kg.

En la Figura 4 se puede observar el procedimiento para la recolección de una muestra para la realización del análisis de la composición química y los parámetros físico-químicos

Las etapas seguidas en el proceso son:

1. Descargar el camión en un sitio alejado de los frentes de trabajo o lugares de descarga.
2. Cuartear el montón de la descarga y tomar cuatro muestras, antes de la toma de las muestras romper los contenedores de los desechos (bolsas plásticas).
3. Hacer la pila A con el material muestreado, mezclado y homogenizado al máximo.
4. Formar once pilas secundarias iguales, recolectando porciones en los puntos mas variados de la pila A, rápidamente desmenuzar los desechos de una pila al azar (al abrigo del sol y la lluvia) apartando los materiales rígidos y, luego de homogenizarla, acondicionar la muestra en una bolsa plástica, sellarla herméticamente, identificarla y enviarla para el análisis de humedad.
5. Al mismo tiempo, seleccionar de entre las diez pilas restantes, cuatro pilas y proceder por separado para cada pila a retirar todos los materiales rígidos, y enseguida, desmenuzar los desechos hasta volverlos partículas, homogenizar y formar la pila B.
6. Cuartear la pila B y obtener una muestra igual a la muestra 1, embalar, identificar y enviar para analizar su composición química y para establecer los parámetros físico-químicos.

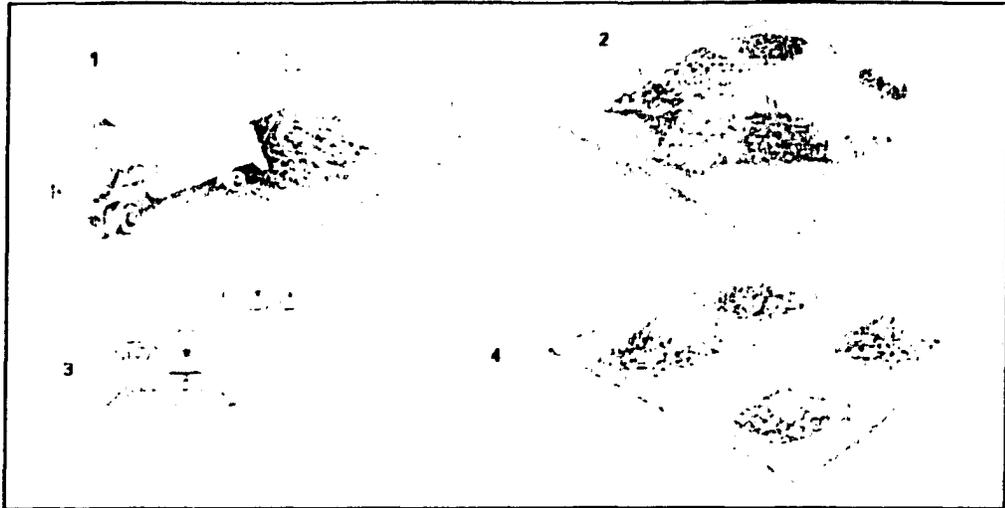
La información que se obtiene del análisis de la composición química, normalmente está enfocado hacia si los desechos van a ser utilizados como combustible (incineración) o si van ser tratados o transformados en productos (por ejemplo compost) para su comercialización o reprocesamiento. De acuerdo con lo anterior, las propiedades más importantes que es preciso conocer son: Análisis físico (% de humedad, materia volátil, carbón fijo, Ceniza), punto de fusión de la ceniza, análisis elemental (determinación de carbono (C), hidrógeno (H), oxígeno (O), nitrógeno (N), azufre (S) y ceniza), contenido energético, nutrientes esenciales y biodegradabilidad (Tchobanoglous et al., 1994).



Fuente: ADAN (1995)

Figura 4. Procedimiento para la recolección de muestras para el análisis de la composición química y los parámetros físico-químicos.

En la Figura 5 se puede observar el procedimiento para la recolección de una muestra para la realización del análisis de la composición física.



Fuente: ADAN (1995)

Figura 5. Procedimiento para la recolección de muestras para el análisis de la composición física.

Las etapas seguidas en el proceso son:

1. Descargar el camión en un sitio alejado de los frentes de trabajo o lugares de descarga.
2. Cuartear el montón de la descarga y tomar cuatro muestras, antes de la toma de las muestras romper los contenedores de los desechos (bolsas plásticas).
3. Pesar las muestras recolectadas, mezclar y homogenizar
4. Disponer los desechos sobre una lona o un plástico, separa los componentes y pesarlos individualmente.
5. Determinar la composición física de los desechos en porcentaje en peso.

En la Tabla 2 se puede observar los rangos típicos de la composición de los desechos sólidos municipales para países de bajos, medianos y altos ingresos excluyendo los materiales reciclados.

Tabla 2. Distribución porcentual típica de los desechos sólidos urbanos municipales de países de bajos, medianos y altos ingresos.

Componentes	Países de bajos ingresos	Países de medianos ingresos	Países de altos ingresos
Orgánicos			
Desechos de comidas	40-80	20-65	6-30
Papel	1-10	8-30	20-45
Cartón	1-10	8-30	5-15
Plástico	1-5	2-6	2-8
Textiles	1-5	2-10	2-6
Goma	1-5	1-4	0-2
Cuero	1-5	1-4	0-2
Desechos de jardines			10-20
Madera	1-5	1-10	1-4
Inorgánicos			
Vidrio	1-10	1-10	4-12
Latón	*	*	2-8
Aluminio	1-5	1-5	0-1
Otros metales	*	*	1-4
Tierra, cenizas, etc.	1-40	1-30	0-10

Fuente: Tchobanoglous et al. (1994)

En la Tabla 3 se puede observar la composición de los desechos sólidos municipales para algunas ciudades de Venezuela.

Tabla 3. Componentes de los desechos sólidos urbanos de algunas ciudades de Venezuela.

Componentes	Caracas (1990)	Maracalbo (1991)	Porlamar (1988)	Valencia (1990)	Mérida (1983)	Pta Cardón (1990)
Cartón y Papel	22,26	17,56	25,08	45,84	32,87	34,70
Metales ferrosos	1,95	3,27(*)	3,79	6,96(*)	6,30	2,16
Metales no ferrosos	2,89	0,55(**)	2,40	-	4,66(**)	1,08
Vidrios	4,52	5,50	7,42	5,98	10,96	7,93
Textiles	4,05	1,32	2,19	3,48	-	1,23
Plásticos	11,70	13,54	11,20	4,48	8,36	9,70
Des. Alimentos	36,98	17,89	16,83	32,90(***)	36,85	25,02
Res. Jardines	4,34	35,66	15,63	-	-	11,27
Tierra y piedras	-	3,06	2,80	-	-	2,73
Madera	2,68	0,69	0,50	0,36	-	1,66
Otros	8,64	0,90	12,16	-	-	2,35

Fuente: ADAN (1995), (*) Incluye metales ferrosos y no ferrosos; (**) Incluye solo aluminio; (***) Residuos putrescibles

Cantidad de Desechos Sólidos que se Recolectan en el Municipio.

La cantidad de desechos sólidos que se recolectan en el municipio es de una importancia crítica para seleccionar y diseñar los itinerarios de recolección, las instalaciones de recuperación, y las alternativas de tratamiento y disposición final.

Por tal motivo, el cálculo o la estimación de la cantidad de desechos sólido urbanos generados y recolectados, es de gran importancia para obtener datos que se puedan utilizar para desarrollar e implementar programas efectivos de gestión de los desechos sólidos (Tchobanoglous et al., 1994).

Para la determinación de la cantidad de desechos se emplean las medidas de peso y volumen; aunque es recomendable no utilizar la medida volumétrica, puesto que tiende a crear confusión. Por ejemplo, un metro cúbico de desechos sueltos es una cantidad diferente a un metro cúbico de desechos compactados en un vehículo recolector y en un relleno sanitario. De acuerdo con esto, si se va a utilizar medidas volumétricas, éstas deberán relacionarse con el peso específico de los desechos bajo su condición de almacenamiento.

A partir de la cantidad de desechos calculada en peso, se determinan las tasas percapita de recolección y generación, cuya expresión más frecuentemente utilizada es kg / habitante por día. Se utiliza esta relación, puesto que la cantidad de desechos generados y recolectados en una localidad es relativa al número de habitantes de la misma; se estiman estas dos tasas (recolección y generación), teniendo en cuenta que la cantidad de desechos que se generan en una localidad por lo general no corresponde con la cantidad de desechos que llegan a disposición final, esto ocurre por diferentes causas, como por ejemplo: cobertura deficiente o actividades de recuperación y disposición en lugares alternativos.

Para estimar la cantidad de desechos sólidos, los métodos que comúnmente se utilizan son: el análisis del número de cargas y el análisis peso-volumen, (Orozco, 1980).

El análisis del número de cargas consiste en contabilizar las veces que un vehículo de recolección llega a disposición final durante un período de tiempo determinado (día, semana) y utilizando una capacidad estimada del vehículo y una densidad específica de los desechos (esto de acuerdo al tipo de vehículo, compactador, volteo o capilla), se calcula la cantidad de desechos.

Este método se utiliza cuando no se puede realizar el pesaje de los vehículos que llegan a disposición final.

El análisis del peso-volumen, se realiza igual que el método del análisis del número de cargas, con la variación que se calcula la densidad específica de cada vehículo, mediante el pesaje del mismo al momento de su llegada a disposición final. Este método ofrece un mayor grado de precisión para el cálculo de la cantidad de desechos recolectados. Ambos métodos tienen una incertidumbre alta, puesto que es difícil determinar las cantidades de materiales que se llevaron a otros sitios, cuánta cantidad se recuperó, etc. Es por tal razón que se deben realizar análisis estadísticos de las tasas observadas y de las características de los desechos sólidos.

Análisis de Población

La población es una variable imprescindible en cualquier proceso de gestión, por cuanto constituye el centro de atención de las políticas que se plantea instrumentar a través de los planes, programas y proyectos (Méndez, 1992).

El análisis de la población para la elaboración de planes, programas y proyectos de gestión de los desechos sólidos, está enfocado a determinar los escenarios de posible crecimiento de la población residente en el área de estudio, su densidad y distribución espacial.

El análisis de cada uno de estos tópicos ofrece una visión adecuada a cada alternativa de gestión, ya sea disposición final, tratamiento o recuperación *in situ*.

Existen muchos métodos de proyección de población, los cuales presentan igual incertidumbre al momento de la aplicación de los resultados obtenidos, por tal razón, a medida que se avanza en las etapas de planificación de proyectos, los análisis son más profundos y elaborados.

A continuación se describen los métodos utilizados en este trabajo.

Análisis de la Tendencia de las Tasas de Crecimiento.

El análisis de la tendencia de la tasa de crecimiento geométrico, consiste en dibujar sobre papel milimetrado las tasas de crecimiento del País Total, País Urbano, Estado Total y Estado Urbano, observando la tendencia seguida por las mismas hasta el año del último censo y proyectando las curvas con la pendiente que traen, hasta el año final del horizonte de planificación del estudio (DANE, 1994).

El análisis se realiza utilizando las tasas, de acuerdo con las características del estudio y teniendo en cuenta la dinámica propia del área del proyecto; en este caso es una investigación de carácter urbano, el análisis se centra en observar la tendencia de las tasas urbanas de las zonas incluidas.

Método de Proyección Geométrica.

El método de proyección geométrica (Méndez, 1992) utiliza la siguiente expresión:

$$P = P_0 * (1 + r)^t \quad (2.1)$$

donde,

P : es la población proyectada al año **t** (hab)

P₀ : es la población inicial (hab)

r : es la tasa de crecimiento geométrico

t : es el número de años que se proyecta la población

Alternativas de Gestión de los Desechos Sólidos Urbanos

Tomando como punto de partida la jerarquización de los componentes de la gestión de los desechos sólidos, a continuación se definen algunas alternativas de gestión, partiendo desde el rango más bajo (disposición final), pasando por transformación y/o tratamiento y terminando en la recuperación y el reciclaje. Se excluyó la reducción en origen por considerarla fuera de los alcances del presente trabajo.

Alternativas de Disposición Final

A continuación, se definen los métodos utilizados para realizar esta actividad de forma adecuada.

Según Tchobanoglous et al. (1994) existen sólo dos alternativas de disposición de los desechos sólidos: 1) disposición encima o dentro de la tierra y 2) disposición en el fondo del océano. La primera es la alternativa más utilizada, y la que implica, desde todos los puntos de vista, los riesgos más grandes al ambiente, si se realiza de forma inadecuada.

La OPS/OMS (1991) define los principales métodos de disposición de los desechos sólidos encima o dentro de la superficie de la tierra así:

- Alimentación de animales
- Vertido en corrientes de agua o en el mar
- Botadero a cielo abierto
- Quema al aire libre
- Vertedero controlado
- Relleno sanitario

La alimentación de animales con desechos sólidos crudos debe prohibirse por el alto riesgo de transmisión de enfermedades al hombre. La disposición de desechos sólidos en corrientes de agua, lagos y mares, es inaceptable debido al desequilibrio ecológico que produce, sobre todo por la adición excesiva de nutrientes y carga orgánica.

En ADAN (1995) se sostiene que el 80% de los desechos sólidos que se producen en Venezuela, son dispuestos en **botaderos a cielo abierto**, ocasionales o permanentes, lo que origina serios problemas de salud pública por proliferación de transmisores de múltiples enfermedades y deterioro del ambiente en todos sus aspectos.

De estos solo se consideran admisibles los vertederos controlados y los rellenos sanitarios, en la medida que controlen o mitigan los efectos ambientales producidos y no representan mayores molestias a las comunidades, esto en sentido estrictamente teórico (OPS/OMS, 1991).

Los vertederos controlados son una derivación de los rellenos sanitarios, dado que utilizan las mismas técnicas de disposición pero con una disminución significativa, de los controles ambientales en su construcción, operación y mantenimiento.

Relleno Sanitario

OPS/OMS (1991) define el relleno sanitario como una técnica de disposición final de los desechos sólidos en el suelo, que no causa peligros para la salud y seguridad pública; tampoco perjudica al ambiente durante su operación ni después de terminado el mismo. Esta técnica utiliza principios de Ingeniería para confinar la basura en el área más reducida posible, cubriéndola diariamente con capas de material de cobertura y compactándola para reducir su volumen. Además, prevé los problemas que puedan generar los líquidos y gases producidos en el relleno, por efecto de la descomposición de la materia orgánica.

Históricamente la disposición en rellenos sanitarios ha sido el método más económico y ambientalmente aceptable para la disposición de los desechos sólidos.

Métodos de relleno sanitario. El método constructivo y la secuencia de operación de un relleno sanitario están determinados principalmente por la topografía del terreno escogido, aunque también depende de la fuente del material de cobertura y de la profundidad del nivel freático (Gobernación de Antioquia, 1988).

Según la Gobernación de Antioquia (1988) existen tres métodos para la disposición de los desechos sólidos en un relleno sanitario:

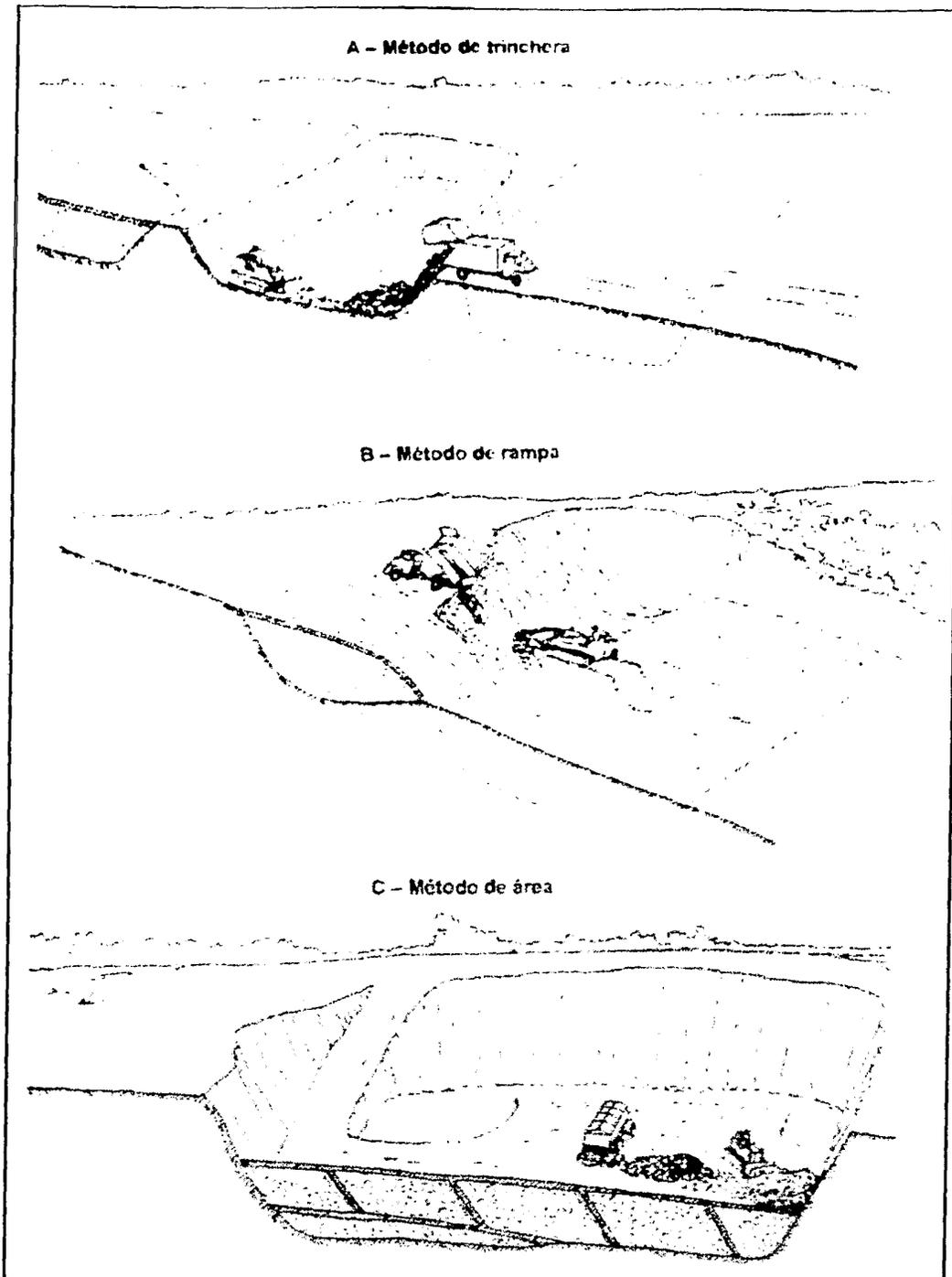
- a. Método de trinchera o zanja (ver Figura 6 A): se utiliza en regiones planas donde se dispone de una profundidad adecuada de material de cobertura y donde el nivel freático no se encuentre cerca de la superficie. Normalmente se colocan los residuos sólidos en celdas o zanjas excavadas en el suelo, donde el material excavado se utiliza para la cobertura diaria o final. Las zanjas excavadas son normalmente cuadradas o rectangulares y sus longitudes dependen exclusivamente del terreno.

Vale la pena mencionar que el método de zanjas se puede combinar con el de construcción sobre el nivel del terreno original (área), y aprovechar el material de cobertura sobrante de la excavación.

- b. Método de rampa (ver Figura 6 B): es adecuado en terrenos ondulados; se usa una pendiente natural o se construye una rampa, se vacían los desechos en el fondo de la rampa, se extienden y compactan contra el talud y se continúa la operación avanzando sobre el terreno y conservando la pendiente.
- c. Método de área (ver Figura 6 C): se emplea para llenar depresiones naturales o en terrenos donde es inapropiado realizar excavaciones. El material de cobertura se puede excavar de los taludes del terreno o, en su defecto, debe estar lo más cerca posible para evitar largos acarreos.

Principios Básicos de Operación de un Relleno Sanitario. La OPS/OMS (1991) define los principios básicos de operación de un relleno sanitario como:

- Supervisión constante, mientras se vacía, se recubre y se compacta la celda, para conservar en óptimas condiciones el relleno sanitario. Esto implica personal responsable de su operación y mantenimiento.



Fuente: ADAN (1995)

Figura 6. Métodos de construcción y operación de rellenos sanitarios.

- Altura de la celda, es otro factor importante a tener en cuenta, una altura adecuada disminuye los problemas de hundimiento y logra una mayor estabilidad del relleno.
- Cubrimiento diario, es fundamental el cubrimiento diario de los desechos que llegan a disposición para controlar cría de insectos y presencia de zamuros y roedores.

- Compactación, de este factor depende el éxito del trabajo diario, alcanzando a largo plazo una mayor densidad y vida útil del relleno; lo cual trae beneficios financieros y ambientales.
- Control de aguas de escorrentía, desviar las aguas de escorrentía evita la formación de lixiviados.
- Control y drenaje de lixiviados y gases, esto logra también mantener las mejores condiciones de operación y disminuye los efectos ambientales.
- Cubrimiento final, se efectúa siguiendo la misma metodología que para el cubrimiento diario, debe realizarse de tal forma que sostenga la vegetación para lograr una mejor integración al paisaje natural.

Ventajas y Desventajas. Según la Gobernación de Antioquia (1988), las ventajas y desventajas de los rellenos sanitarios son las siguientes:

■ **Ventajas:**

- Como método de disposición final de los desechos sólidos urbanos es sin lugar a dudas, la alternativa más conveniente para los países latinoamericanos, por ser la solución más económica; sin embargo, es esencial asignar recursos financieros y técnicos para su adecuada planificación, diseño, construcción y operación.
- La inversión inicial de capital es inferior a la que se necesita para implantar cualquiera de los métodos de tratamiento (incineración o compostaje).
- Bajos costos de operación y mantenimiento.
- Un relleno sanitario es un método completo y definitivo, dada su capacidad para recibir todo tipo de desechos sólidos, obviando los problemas de cenizas de la incineración y de la materia no susceptible de descomposición en la compostaje.
- Genera empleo de mano de obra no calificada, disponible en abundancia en nuestros países.
- Posibilidad de recuperación de gas metano, en grandes rellenos sanitarios que reciben más de 200 toneladas al día, esto se constituye en una fuente alternativa de energía.
- Recuperación de terrenos considerados improductivos o marginales.
- Su lugar de emplazamiento puede estar tan cerca al área urbana como lo permita la existencia de lugares disponibles, reduciéndose así los costos de transporte y facilitando la supervisión por parte de la comunidad.
- Disminuye los riesgos de contaminación ambiental.

■ **Desventajas:**

- La adquisición del terreno constituye la primera barrera para la construcción, debido a la oposición que se suscita por parte del público, ocasionada principalmente por factores como la falta de conocimiento sobre la técnica del relleno sanitario, lo que conlleva a la comunidad a asociarlo con el término botadero a cielo abierto; causando una evidente desconfianza hacia la administración local. El rápido proceso de urbanización eleva los costos de los pocos terrenos disponibles, debiéndose ubicar el relleno en sitios alejados, lo que encarece sus costos de construcción y operación.
- La supervisión constante de la construcción para mantener un alto nivel de calidad de las operaciones.
- Alto riesgo de transformarse en botadero por la carencia de voluntad política de las administraciones locales, ya que se muestran renuentes a invertir los fondos necesarios para su correcta operación y mantenimiento.
- Se puede presentar una eventual contaminación de aguas subterráneas y superficiales cercanas, si no se toman las debidas precauciones.
- Los asentamientos más fuertes se presentan en los primeros dos años después de terminado el relleno, por lo tanto se dificulta el uso del terreno. El tiempo de asentamiento dependerá de la profundidad del relleno, tipo de desechos sólidos, grado de compactación y precipitación pluvial de la zona.

Inversión Necesaria. Se estima que el costo medio de inversión para la construcción de un relleno sanitario en Colombia, oscila entre US\$ 1 y 2 / tonelada y que los costos de operación oscilan entre US\$ 4 y 9 / tonelada (UESP, 1996), ver Apéndice 1.

Según la OMS/OPS (1993), los costos de operación y mantenimiento de los rellenos sanitarios a nivel latinoamericano oscilan entre US\$ 2 y 10 / tonelada, garantizando un funcionamiento entre aceptable y bueno.

Alternativas de Tratamiento

El propósito de esta parte, es introducir y revisar algunos procesos de tratamiento de los desechos sólidos urbanos, cuya fracción orgánica se pueda aprovechar para transformarla en productos gaseosos, líquidos y sólidos; o disminuir las cantidades que irían a disposición final y neutralizar su peligrosidad o toxicidad hacia el ambiente y la población.

Se analizan dos procedimientos: El primero es la separación y el compostaje y el segundo la incineración. A continuación se describen una planta de separación y compostaje y una planta de incineración.

Planta de Separación y Compostaje.

La recuperación en planta de separación, se realiza después de la recolección normal de los desechos sólidos con la instrumentación de una instalación donde se recibe, separan y clasifican los materiales recuperables, para su posterior tratamiento y/o disposición.

En ADAN (1995) se define el compostaje como el proceso biológico de conversión de la fracción orgánica de los desechos sólidos urbanos (excluyendo los materiales orgánicos reciclables), en un material húmedo estable conocido como compost; este producto se puede aplicar al suelo para mejorar sus características sin causar deterioro en el medio ambiente.

El compostaje es el proceso biológico más frecuentemente empleado y desde hace mucho tiempo se realiza en el medio rural utilizando residuos de cosechas y estiércol animal; en países como Colombia, esta técnica ha alcanzado un alto grado de desarrollo, gracias a los esfuerzos del sector agrícola impulsados principalmente por la Federación Nacional de Cafeteros (Federación Nacional de Cafeteros de Colombia, 1993)

El compostaje de la materia orgánica ocurre por acción de agentes biológicos microbianos, que necesitan de unas condiciones físicas y químicas adecuadas para llegar a la formación de un producto de buena calidad.

El proceso de compostaje puede ocurrir por dos métodos, el método aeróbico normal y el método aeróbico acelerado. En el primero, la fracción orgánica de los desechos sólidos se lleva a un patio y se coloca en montones de forma variada. La aireación necesaria para el desarrollo del proceso, se obtiene revolviendo periódicamente las pilas; el tiempo para que el proceso concluya varía de tres a cuatro meses. En el segundo la aireación se produce a través de tuberías perforadas sobre las cuales se colocan montones de desechos sólidos o en reactores cerrados o rotatorios, dentro de los cuales se colocan los desechos. En el caso de los rotatorios, los desechos avanzan en sentido contrario al de la corriente de aire; el tiempo de permanencia dentro del reactor es de unos cuatro días y el tiempo total del compostaje es de dos a tres meses (Tchobanoglous et al, 1994).

Para fines prácticos, son dos los grados de descomposición de los desechos sometidos a compostaje; el semicurado o técnicamente bio-estabilizado y el curado o humificado.

En la Tabla 4 se pueden observar algunas consideraciones importantes de diseño para el proceso de compostaje aeróbico.

Las instalaciones de una planta de compostaje pueden agruparse en cinco sectores: recepción y despacho, unidades de selección, patio de compostaje, beneficio y almacenamiento del compost y disposición de desechos.

- **Recepción:** este sector comprende las instalaciones y los equipos de control de los flujos de entrada (desechos, insumos, etc.) y salida (compost, materiales reciclables y desechos). De acuerdo con las características de la instalación puede haber los siguientes equipos: pesa para camiones, patio de recepción, tolva, foso con piso móvil y foso con brazo articulado.
- **Unidades de selección:** este es el local donde se hace la separación de los desechos en los diversos componentes; el equipo principal utilizado es una banda o correa de procesamiento con poleas en las extremidades donde se desplazan los desechos de un lugar a otro.
- **Patio de compostaje:** se le denomina al lugar donde se realiza el procesamiento de la sección orgánica de los desechos sólidos para transformarse en compost; por lo general debe estar pavimentada o cubierta con arcilla compactada, dotado de un sistema de drenaje.
- **Beneficio y almacenamiento:** es el lugar donde se tritura y tamiza el compost obtenido para darle una menor granulometría y se almacena para su venta.
- **Disposición de los desechos:** es el sector donde se disponen los desechos remanentes del proceso, por lo general es un relleno sanitario, el cual puede estar ubicado en las instalaciones de la planta o fuera de ella.

Tabla 4. Consideraciones importantes de diseño del proceso de compostaje aeróbico.

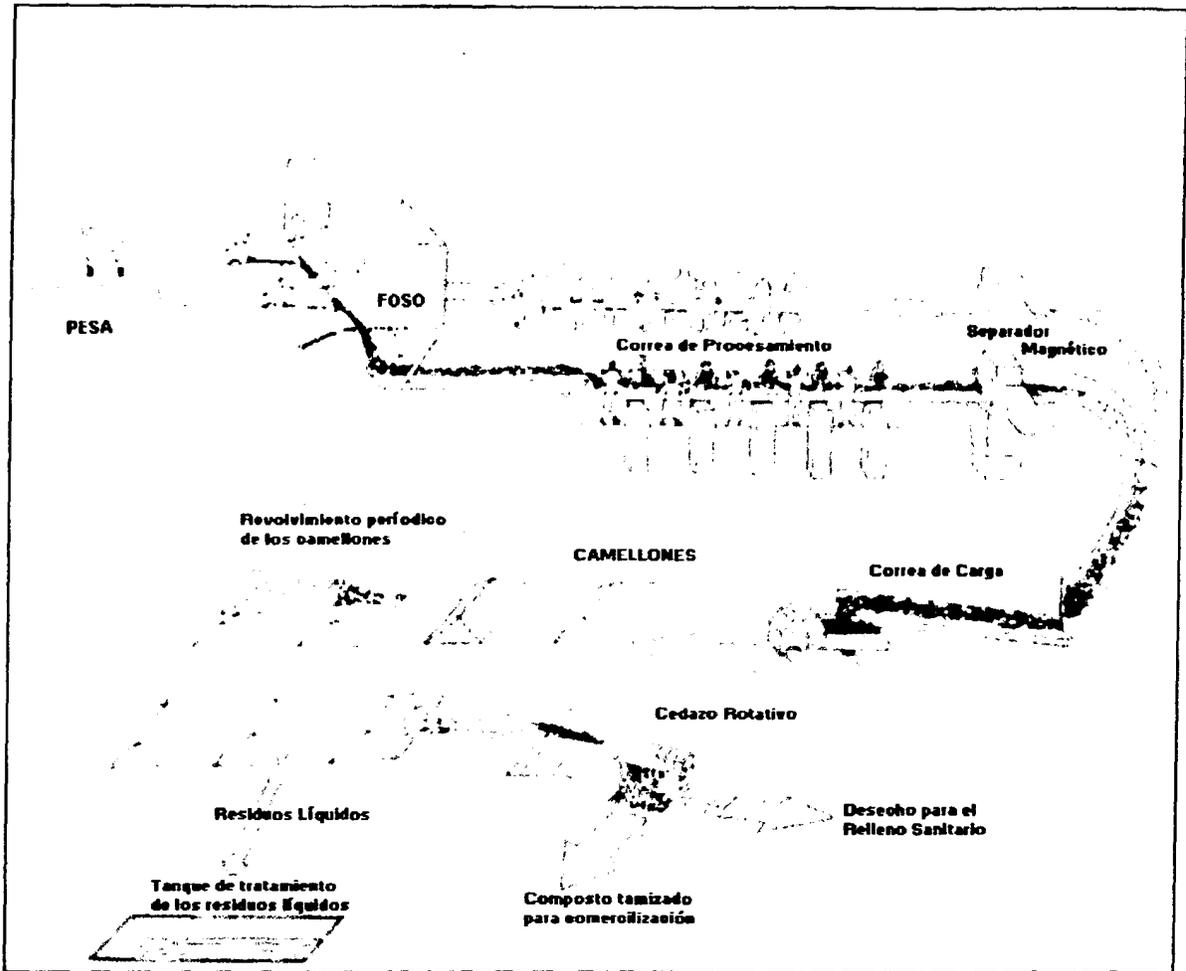
CONSIDERACIONES	OBSERVACIONES
<ul style="list-style-type: none"> • Tamaño de partícula • Relación carbono nitrógeno • Mezcla y siembra 	<ul style="list-style-type: none"> • Debería estar entre 25 y 27 mm • Relación por masa inicial entre 25 y 50 • Puede reducirse el tiempo de compostaje mediante la siembra de desechos sólidos parcialmente descompuestos, aproximadamente de 1 a 5%
<ul style="list-style-type: none"> • Contenido de humedad • Mezcla • Temperatura • Control de patógenos 	<ul style="list-style-type: none"> • Debería estar entre el 50 y el 60% durante el compostaje • Volteado o mezclado regularmente • Debería mantenerse entre 50 y 60° • Si se lleva a cabo correctamente se pueden destruir todos los patógenos; para conseguirlo la temperatura debe mantenerse entre 60 y 70° durante 24 horas
<ul style="list-style-type: none"> • Requisitos de aire 	<ul style="list-style-type: none"> • Debe ser regular durante todo el proceso y debe llegar a todas las partes del material
<ul style="list-style-type: none"> • Control de pH • Necesidades de terreno 	<ul style="list-style-type: none"> • El pH debería permanecer en el rango de 7 a 7,5 • Las necesidades de terreno para una planta con capacidad de 50 ton/día, serán de 6000 a 8000 m²

Fuente: Tchobanoglous et al. (1994)

En la Figura 7 se puede observar el flujo de materiales en una planta de separación y compostaje.

Ventajas y Desventajas. Según Adolf (1988), las ventajas y desventajas de una planta de separación y compostaje son las siguientes:

- **Ventajas:**
 - La planta de separación es una solución alternativa para el destino final de los desechos sólidos municipales.



Fuente: ADAN (1995)

Figura 7. Flujo de materiales en el proceso de compostaje aeróbico normal.

- En términos medios entre 30 y 40% del peso del material que entra en la planta de procesamiento sale bajo forma de compost, cerca de 20 a 30% representa pérdidas en gases y humedad y entre el 5 y 15% son los materiales recuperados, y la porción de descartes se sitúa entre 30 y 35% lo que evidencia una sustancial reducción del área requerida para un relleno sanitario y a su vez disminuye sus costos de operación.
- Reducción de la potencial contaminación de suelos y fuentes de agua.
- Generación de empleo.
- **Desventajas:**
 - Altos costos iniciales de inversión.
 - Altos costos de operación y mantenimiento.
 - Eficiencia del proceso supeditada a estrictos controles de operación.
 - Inestabilidad del mercado del compost y los materiales recuperados.
 - Altos requerimientos de agua y energía eléctrica

Inversión Necesaria. ADAN (1995), basados en la situación del Brasil, estima que el costo medio de inversión por tonelada diaria de capacidad instalada para una planta de separación y compostaje aeróbica con proceso acelerado es del orden de US\$25.000, mientras que el proceso normal sería de US\$11.000. Los gastos operacionales para el proceso acelerado están en el orden de US\$20 por tonelada y para el método normal presenta valores entre US\$4 y US\$8 por tonelada.

La escogencia de la alternativa del proceso está influenciada por la cantidad de desechos a procesar diariamente. En términos generales, el proceso acelerado es recomendable para municipalidades con producciones entre 100 y 200 toneladas diarias.

Planta de Incineración.

La incineración es uno de los procesos térmicos para el tratamiento de los desechos sólidos, en el cual mediante la combustión de los desechos se busca la reducción en volumen y la recuperación de energía; esta tecnología es un elemento importante en muchos sistemas de gestión de los desechos sólidos en Europa y Estados Unidos (Haley 1987).

Los sistemas de incineración de desechos sólidos pueden diseñarse para operar con dos tipos de combustibles: desechos sólidos no seleccionados (quemados en bruto) y desechos sólidos procesados en forma de combustible. El tipo predominante es el primero (Tchobanoglous et al 1994).

Hoffmann, citado por Haley (1987), describe a la incineración como un proceso experimentado y desarrollado tecnológicamente donde una planta típica consiste en una carbonera de recepción para almacenaje de los desechos recibidos, un horno para reincineración con una reja y un surtidor de aire, un generador de vapor para el enfriamiento del cañón de la chimenea y para conversión de energía, sistema de removedores de ceniza y chatarra, y equipo para limpieza de los gases del cañón de la chimenea para alcanzar estándares ambientales aceptables y una chimenea para la descarga de los gases limpios a la atmósfera.

Según Haley (1987) el proceso de incineración tiene lugar alrededor de los 900°C, los grandes volúmenes de gases generados son enfriados en los generadores de vapor a 250°C, subsecuentemente, puede reducirse la temperatura a 110°C para ser descargados a la atmósfera.

Ventajas y Desventajas. Según la Plataforma Cívica para la Reducción de los Residuos Sólidos de Barcelona - España (1996), las ventajas y desventajas del proceso de incineración, son las siguientes:

- **Ventajas:**
 - Reducción drástica del volumen de los desechos sólidos. La incineración deja reducido al 25% aproximadamente el total de los desechos que llegan a disposición, transformándolos en cenizas generalmente inertes.
 - Reducción del deterioro ambiental, porque minimiza los riesgos de contaminación de agua y suelos.
 - La incineración destruye bacterias, virus compuestos orgánicos, minimizando los riesgos a la salud.
 - Recuperación de energía, para la generación de vapor y electricidad.
- **Desventajas:**
 - Costos elevados de inversión inicial y de operación y mantenimiento.
 - Requiere mano de obra calificada.

- La variabilidad de la composición de los desechos sólidos puede generar problemas de operación y mantenimiento del Incinerador.
- Las plantas Incineradoras producen cantidades significativas de contaminantes peligrosos como:
 - Contaminantes clásicos: dióxido de carbono (calentamiento global), óxidos de nitrógeno (neblinas urbanas y ozono a nivel del suelo), cloruro de hidrógeno (brumas ácidas), dióxido de azufre (lluvia ácida).
 - Metales pesados como plomo, cadmio, mercurio, cromo, todos tóxicos y bioacumulativos.
 - Organoclorados como fosgenos, bencenos, fenoles clorados, dioxinas y furanos (altamente tóxicos y cancerígenos).
 - Sustancias sin identificar y cuya toxicidad se ignora.
- La Incineración es incompatible con cualquier programa de reciclaje, puesto que para su correcto funcionamiento y viabilidad financiera, requiere la quema de todos los materiales componentes de los desechos sólidos, incluidos los reciclables.

Inversión Necesaria. Según ADAN (1995), los costos de inversión por tonelada instalada de proceso para tratar desechos sólidos atóxicos, varía en un rango de US\$ 80000 a US\$ 130000 y los costos de operación por tonelada procesada varían entre US\$ 20 y US\$60.

Según la Plataforma Cívica para la Reducción de los Residuos Sólidos de Barcelona España (1996), los costos de inversión varían entre US\$ 200000 y US\$ 250000 por tonelada instalada de proceso y los costos de operación están entre US\$ 40 y US\$ 80 por tonelada procesada.

Recuperación y Reciclaje.

EPA (s/f) y Cointreau et al. (1984) definen la recuperación como el conjunto de actividades mediante las cuales ciertos componentes de los desechos sólidos se separan y se recolectan, para luego ser procesados y reutilizados (reciclaje) como materia prima en la producción de bienes y artículos de consumo.

La recuperación de materiales para su posterior reuso y/o reciclaje, es una de las alternativas de manejo de los desechos sólidos con mayor aceptación a nivel mundial. Algunos beneficios asociados a la realización de esta actividad son: disminución de la cantidad de desechos que se deben disponer, ayuda a la preservación de los recursos naturales, ahorro de energía, disminución de la contaminación de suelos y fuentes de agua, generación de empleo, etc. (ABAM,1996).

Según ADAN (1995) el éxito de la implementación de un programa de recuperación y reciclaje es el mercado de los materiales recuperados; la separación de los componentes de los desechos sólidos aumenta la oferta de materiales recuperados, sin embargo, si no existe una demanda de estos materiales por parte de las industrias y la sociedad, el plan, programa o proyecto fracasaría, por tal motivo, recuperar los desechos sin mercado, es disponerlos por separado.

El estudio de mercado indica cual es la demanda de materiales recuperados, sus características de compra y su destino final; basados en esta información, la administración local puede determinar cómo desarrollar su estrategia para abordar el problema (CESTA,1994).

EPA (s/f), indica que existen dos formas de desarrollar las actividades de recuperación y reciclaje de materiales de los desechos sólidos municipales; la primera denominada recuperación selectiva *in situ*, y la segunda la recuperación en planta de separación (explicadas anteriormente).

La recolecta selectiva *in situ* de los desechos sólidos municipales, consiste en la separación en la propia fuente de generación de los desechos, mediante un acomodamiento distinto para cada componente individual o en grupos, lo que implica un alto grado de educación ambiental por parte de la comunidad que participa en el proceso y la existencia de los mecanismos para el almacenamiento, la recolección, el transporte de los materiales separados y la comercialización.

Ventajas y Desventajas. CESTA (1994), resume las ventajas y desventajas de la recolecta selectiva *in situ* en:

• **Ventajas:**

- La calidad de los materiales para reciclaje es buena, debido a que no se mezclan con otros materiales que los puedan contaminar.
- Estimula a la comunidad a participar en la solución de los problemas municipales.
- Permite flexibilidad de la inversión inicial, puesto que los programas se inician en pequeña escala y se amplían gradualmente.
- Reducción de la cantidad de materiales que deben disponer.

• **Desventajas:**

- Necesidad de equipos y frecuencias especiales de recolección, lo que implica mayores costos de operación del servicio de recolección urbana.
- Necesita centros de recepción donde los materiales sean recibidos y distribuidos por tipo.
- Su desarrollo es lento y su implementación requiere participación total de la comunidad.
- Altos costos iniciales si arranca en gran escala.

Cada fracción de los desechos sólidos urbanos necesita de un proceso para transformar los residuos en materias primas y productos terminados. En la parte de tratamiento se describió el compostaje como alternativa para el tratamiento de la fracción orgánica de los desechos sólidos urbanos y la incineración como una alternativa para convertir todo el conjunto de los desechos combustibles en energía; en el apéndice 6 se describen los procesos de transformación del papel, vidrio y plástico.

Criterios para la evaluación de la viabilidad financiera de proyectos de inversión

A continuación, se describen los criterios utilizados para la evaluación financiera de proyectos de inversión.

Se debe tener claro que un proyecto de cualquiera de las dos alternativas es viable o rentable si el VAN es positivo y el TIR es mayor que la tasa de descuento utilizada.

Algunos autores como CEPAL (1993a) y Giugni et al. (1995), consideran que un proyecto es rentable si al final de su horizonte de planificación el valor capitalizado del flujo de beneficios netos es mayor que cero, y si estos fondos se capitalizan haciendo uso del interés pertinente para el inversionista. Es decir, que el proyecto se justifica sólo si la riqueza que se puede obtener al final del período, es mayor que la que se puede obtener en el mismo, invirtiendo las sumas correspondientes en la alternativa que rinde el interés utilizado para capitalizar el flujo de ingresos

netos generados por el proyecto en cuestión. Esta "regla de decisión" es correcta y aceptada universalmente, y la formulación más conocida de esta regla es el **VALOR ACTUAL NETO (VAN)**.

Valor Actual Neto (VAN).

Una inversión es rentable sólo si el **Valor Actual Neto** del flujo de caja que genera es positivo, cuando éste se actualiza haciendo uso de las tasas de interés pertinentes para el inversionista. Este valor actual neto mide, en moneda de hoy, cuánto más rico será el inversionista por invertir en el proyecto en lugar de hacerlo en la alternativa que rinde la tasa de descuento. El cálculo de la VAN está dado por la expresión:

$$VAN = \sum_{t=0}^{t=n} \frac{BN_i}{(1+r)^t} \quad (2.2)$$

donde,

VAN : valor actual neto
BNi : beneficio neto
r : tasa de interés
t : número de períodos

Tasa Interna de Retorno (TIR).

Es aquella tasa de interés que hace igual a cero el valor actual neto de un flujo de beneficios netos.

$$VAN = \sum_{t=0}^{t=n} \frac{BN_i}{(1+TIR)^t} = 0 \quad (2.3)$$

donde,

VAN : valor actual neto
BNi : beneficio neto
TIR : tasa interna de retorno
t : número de períodos

Anualidad (FR).

Es aquel que permite hallar el valor anual uniforme de capital FR (anualidad) que ocurre durante (t) períodos, que equivalen a una cantidad de capital presente (VAN) a una tasa de interés (r).

$$FR = VAN * FRC \quad (2.4)$$

donde,

FR : serie anual uniforme (anualidad)

FRC: factor de recuperación de capital

$$\left| \frac{r * (1 + R)^t}{(1 + R)^t - 1} \right|$$

VAN : valor actual neto

r : tasa de interés

t : número de períodos

Para el presente trabajo se utilizó una tasa de actualización de 27% correspondiente al primer trimestre del año 1997, utilizada por el Banco Internacional en Mérida para préstamos comerciales.

Descripción del Área de Estudio

El área de estudio está definida por diez Municipios del Estado Mérida, que abarcan una superficie aproximada de 5.000km² equivalentes al 44% del área total del estado. La zona forma parte de la cuenca del río Chama, que a su vez pertenece a la cuenca del lago de Maracaibo. La mayor parte del área está ubicada en un relieve montañoso con algunas zonas de piedemonte y planicies aluviales.

Las localidades se encuentran unidas por la Carretera Panamericana y otras vías alternas, por lo que se pudiera decir que la comunicación intermunicipal es buena y permite, como sucede actualmente, la posibilidad de utilizar vertederos compartidos.

Características Generales de cada Localidad

Según CORMETUR (1992), las características principales de las localidades del área de estudio están resumidas así:

- Mérida: Capital del Estado Mérida, concentra el 30% de la población total del estado.
Altitud aproximada: 1500 msnm
Temperatura promedio: 24 °C
Actividades productivas: Turismo y actividades académicas de la Universidad de los Andes.
- Ejido: Forma parte del área metropolitana de la capital del estado.
Altitud aproximada: 1170 msnm
Temperatura promedio: 26 °C
Actividades productivas: Turismo, basado principalmente en la comercialización de artesanías.
- Lagunillas:
Altitud aproximada: 1070 msnm
Temperatura promedio: 26 °C
Actividades productivas: Turismo, basado principalmente en la comercialización de artesanías agricultura en pequeña escala.
- Tabay:
Altitud aproximada: 1580 msnm
Temperatura promedio: 18,2 °C
Actividades productivas: Turismo, basado principalmente en la comercialización de artesanías agricultura en pequeña escala.
- Mucuchies:
Altitud aproximada: 1708 msnm
Temperatura promedio: 18,2 °C
Actividades productivas: Explotación agrícola y turística.

- Tovar:
Altitud aproximada: 952 msnm
Temperatura promedio: 24 °C
Actividades productivas: Explotación agrícola y pecuaria.
- Santa Cruz de Mora:
Altitud aproximada: 622 msnm
Temperatura promedio: 24 °C
Actividades productivas: Explotación agrícola y pecuaria.
- Bailadores:
Altitud aproximada: 1774 msnm
Temperatura promedio: 17.6 °C
Actividades productivas: Explotación agrícola.
- Zea:
Altitud aproximada: 910 msnm
Temperatura promedio: 21 °C
Actividades productivas: Explotación agrícola.
- El Vigía: Segunda ciudad del estado en población y primera en actividad productiva.
Altitud aproximada: 130 msnm
Temperatura promedio: 28 °C
Actividades productivas: Explotación industrial, comercial y agropecuaria.

CAPITULO III

METODOLOGÍA

Para la evaluación de las alternativas de manejo de los desechos sólidos, en lo referido a tratamiento y disposición, no se tiene una metodología precisa y única, por lo cual en el presente documento se utilizaron lineamientos básicos para alcanzar los objetivos planteados.

Para la realización del presente trabajo, se siguieron siete pasos metodológicos:

1. Definición del área de estudio.
2. Revisión de la literatura.
3. Definición de las alternativas de manejo.
4. Evaluación de la situación actual, que comprende los siguientes componentes:
 - Recopilación de la información municipal y de mercado
 - Proyecciones de población
 - Estimación de la cobertura del servicio
 - Caracterización de los desechos sólidos para cada localidad.
 - Estimación de producción de los desechos sólidos para cada localidad.
 - Análisis de mercado.
 - Practicas de recuperación.
5. Evaluación financiera de las alternativas planteadas.
6. Descripción de las alternativas complementarias.
7. Identificación de los efectos ambientales de las alternativas de manejo evaluadas y de la actividad de disposición final de desechos sólidos en vertederos y botaderos a cielo abierto.

En la Figura 8 están diagramados los pasos metodológicos seguidos en la elaboración del presente trabajo.

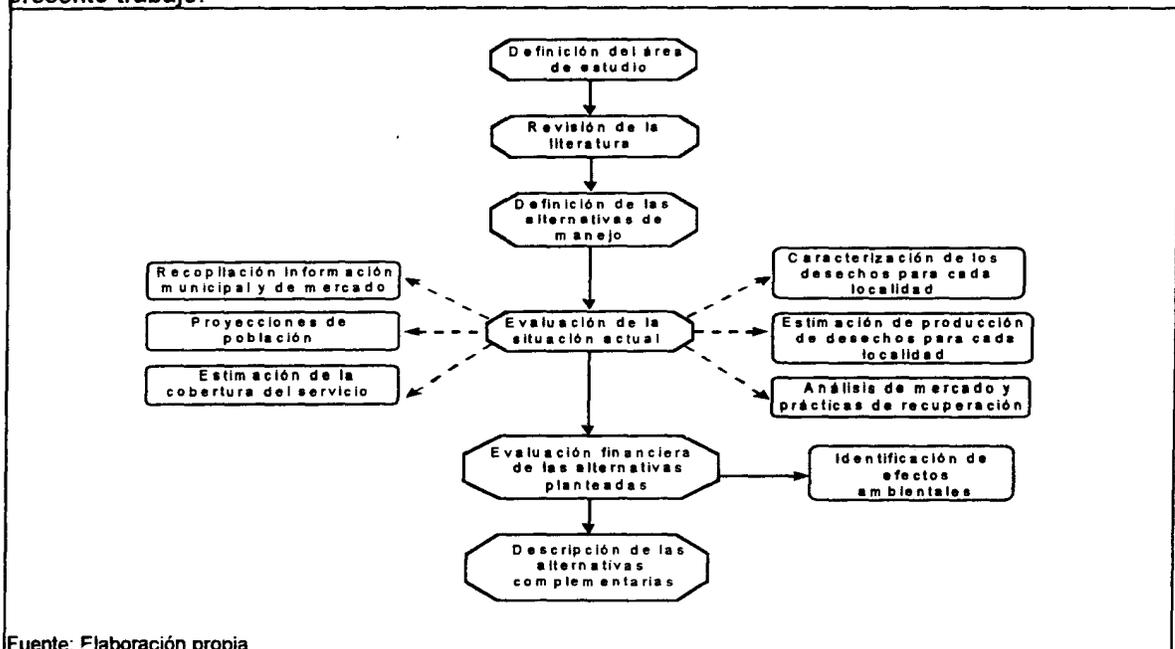


Figura 8. Flujograma de los pasos metodológicos.

A continuación se describe de manera detallada cada uno de los pasos metodológicos seguidos:

Definición del Área de Estudio

El área de estudio se definió en base al objetivo general del proyecto, por lo cual se delimitó un área piloto, que se denominó región central del Estado Mérida (por su posición geográfica dentro del estado) (ver Figura 9). Esta región comprende los Municipios Libertador, Campo Elias, Rangel, Santos Marquina, Sucre, Antonio Pinto Salinas, Tovar, Rivas Davila, Zea y Alberto Adriani.

Con el apoyo de la Corporación de los Andes (CORPOANDES) se realizó una encuesta municipal, mediante la cual se determinaron los centros poblados que cuentan con una prestación regular del servicio.

Revisión de la Literatura

Consistió en la consulta del material existente en las bibliotecas del CIDIAT, de la Universidad de los Andes, de CORPOANDES y otras bibliotecas privadas, sobre el manejo de desechos sólidos, proyecciones de población, legislación nacional y regional vigente y características generales de la región.

Definición de las Alternativas de Manejo

Se definieron las alternativas de manejo, en base a las estrategias que plantea la literatura revisada y se tomó como punto de partida las condiciones locales de cada zona.

De acuerdo con el nivel de planificación en que se desarrolló la presente investigación (nivel de prefactibilidad), se decidió evaluar financieramente las alternativas a corto plazo y describir las alternativas a mediano y largo plazo.

Evaluación de la Situación Actual

Recopilación de la Información Municipal y de Mercado

Con el apoyo de la Corporación de los Andes (CORPOANDES), se realizó en cada una de las Alcaldías una encuesta municipal, cuyo formato fue orientado para obtener la mayor cantidad de información referente al servicio de recolección y disposición de los desechos sólidos municipales y algunos datos generales del Municipio.

Para la identificación de los centros de acopio regionales se realizó, con el apoyo de la Corporación de los Andes (CORPOANDES), una encuesta en los sitios identificados previamente por referencias personales e inventarios anteriormente realizados (Barreto, 1990).

Con el apoyo de la Fundación para el Desarrollo de la Ciencia y la Tecnología del Estado Mérida (FUNDACITE), se realizó una visita a algunos centros receptores a nivel nacional.

Las encuestas realizadas fueron del tipo personal dirigidas (a manera de entrevista), donde el encuestador realiza las preguntas al encuestado y él mismo (encuestador) llena las casillas de respuestas con la información que el encuestado le suministra (ver Apéndice 2).

Proyecciones de Población

De acuerdo con la definición del área de estudio, se realizaron las proyecciones de población, utilizando como punto de partida los datos censales de los años 1950, 1961, 1971, 1981 y 1990.

Las estimaciones se realizaron por el método de proyección geométrica (Méndez,1992); además se realizó un análisis de la tendencia de las tasas de crecimiento (DANE,1994) para observar su comportamiento histórico y poder realizar una comparación con las hipótesis de crecimiento planteadas por otras investigaciones.

Estimación de la cobertura del Servicio

El porcentaje de cobertura (C) se estimó utilizando la siguiente expresión:

$$C = \frac{I_s}{I_t} * 100 \quad (3.1)$$

donde,

C : porcentaje de cobertura.

I_s : número de inmuebles servidos en la localidad.

I_t : número total de inmuebles de la localidad

Los datos utilizados para la aplicación de esta ecuación fueron obtenidos de la realización de la encuesta municipal.

Caracterización de los Desechos Sólidos

El proceso de caracterización se inició el 30 de julio de 1996, y finalizó el 14 de agosto del mismo año.

La caracterización de los desechos sólidos estuvo referida a la determinación de los componentes individuales que los constituyen y su distribución relativa en porcentaje en peso húmedo (análisis composición física). Para tal fin, se seleccionaron rutas de cada localidad, que fuesen representativas de la misma y que brindaran una aproximación aceptable de las características de cada zona; en este sentido se analizaron 5 rutas para la ciudad de Mérida, 2 para la ciudad de Ejido y 1 para cada una de las otras localidades. Es de anotar que no se realizó la caracterización para la localidad de El Vigía, utilizándose la realizada por MARNR (1991), que incluyó una muestra de 4 rutas.

Se utilizó el procedimiento del cuarteo (ADAM, 1995), para el análisis de la composición física (ver Figura 5), descrito en la Revisión de la Literatura.

Las muestras tomadas fueron de 360 kg y para la determinación del porcentaje en peso húmedo (PP) se utilizó la siguiente expresión:

$$PP = \frac{P_i}{P_t} * 100 \quad (3.2)$$

donde,

PP : porcentaje en peso húmedo del componente.

P_i : peso del componente (kg).

P_t : peso total de la muestra (kg).

Estimación de la Producción de Desechos Sólidos

La estimación de la cantidad de desechos sólidos generados y recolectados es de gran importancia para dimensionar los aspectos fundamentales de la gestión de los mismos. Por lo cual es preciso tener cuidado al decir cuánto desecho genera una localidad y cuánto dispone.

Para la determinación de los desechos dispuestos por cada localidad del área de estudio, se partió de los datos de recolección semanal, recopilados mediante el control de los vehículos que llegaban a evacuar los desechos en los diferentes sitios de disposición final.

De acuerdo con las características de los vehículos (tipo y capacidad), el número de cargas semanales y la densidad estimada de los desechos, se calculó de la recolección media semanal en cada localidad, con la siguiente expresión :

$$R_s = C_s * C_a * D \quad (3.3)$$

donde,

R_s : recolección media semanal (kg / sem)

C_s : número de cargas semanales

C_a : capacidad del vehículo (m³)

D : densidad (kg / m³)

Ante la imposibilidad de pesar los camiones al momento de disponer los desechos, se utilizaron los valores de densidad determinados por CIDIAT (1988).

Para los vehículos de Santa Cruz y Zea, por sus características especiales, las densidades se asumieron dentro de los rangos establecidos por CIDIAT(1988), para vehículos capilla y compactadores en mal estado.

Luego se calculó la tasa percapita de recolección con la siguiente expresión:

$$PPC = \frac{R_s * 100}{7 * P * C} \quad (3.4)$$

donde,

PPC : tasa percapita de producción de desechos (kg / hab * día)
Rs : recolección media semanal (kg / sem)
C : porcentaje de cobertura
P : población total (hab)

El paso siguiente fue calcular los desechos generados diariamente con la siguiente expresión:

$$R_d = PPC * P \quad (3.5)$$

donde,

Rd : producción diaria (kg / día)
PPC : tasa percapita de producción de desechos (kg / hab * día)
P : población total (hab)

El cálculo de las proyecciones de generación de los desechos por componentes, se realizó para cuatro escenarios, los cuales fueron:

- Escenario 1. Manteniendo la **PPC** constante y aumentando **C** a razón de 0,5 % anualmente.
- Escenario 2. Manteniendo la **PPC** constante y disminuyendo **C** a razón de 0,5 % anualmente.
- Escenario 3. Manteniendo la **C** constante y aumentando **PPC** a razón de 0,01 kg / hab * día anualmente
- Escenario 4. Manteniendo la **C** constante y disminuyendo **PPC** a razón de 0,01 kg / hab * día anualmente

Para todos los escenarios se mantuvieron los porcentajes de cada componente, obtenidos del proceso de caracterización de los desechos para el año 1996.

Análisis de Mercado

De acuerdo con la información obtenida a través de la encuesta realizada a los centros de acopio regionales y nacionales, se determinaron las características del mercado, definiendo así, el tipo de material recuperado, especificaciones de compra, precios de compra, procedencia y destino final de los materiales.

Prácticas de Recuperación

Se identificaron y evaluaron las siguientes prácticas de recuperación:

- En sitios de generación: solo se logró evaluar para la ciudad de Mérida, sector **Los Curos**, donde existe la información necesaria.
- En sitio de disposición final: se evaluaron las ciudades de Mérida y El Vigía, por ser las únicas donde se realiza esta práctica.

- **Acarreo a plantas industriales:** no se pudo realizar la evaluación por insuficiencia de información.

De acuerdo con cada una, se determinó el porcentaje de recuperación actual de la siguiente forma:

$$Pr = \frac{Pm}{Pt} * 100 \quad (3.6)$$

donde,

- Pr** : porcentaje de recuperación
- Pm** : peso del material recolectado (kg)
- Pt** : peso total de los materiales (kg)

El porcentaje de recuperación total de la región se calculó de acuerdo a la siguiente expresión :

$$Prr = \frac{Pt}{Rs} * 100 \quad (3.7)$$

donde,

- Prr** : porcentaje de recuperación regional
- Pt** : peso total de los materiales recuperados(kg)
- Rs** : peso total de los desechos que llegan a disposición final (recolección media mensual)(kg)

Evaluación Financiera de las Alternativas Planteadas

La evaluación tuvo como objetivo determinar la rentabilidad financiera de los procesos planteados como alternativas de manejo de los desechos sólidos, desde la perspectiva del estado como ente encargado de la prestación del servicio.

La evaluación financiera se presenta para cada zona de acuerdo a su producción anual de desechos, estimada para los cuatro escenarios y con metas de recuperación específicas para cada componente.

En la alternativa 1 (relleno sanitario), no se consideró la recuperación de materiales en sitio de disposición, puesto que esta práctica no se debe permitir por razones de operación del relleno y salud pública. Los ingresos utilizados para esta alternativa son los provenientes del cobro de la tarifa actual equivalente en forma eficiente, ya que no fue posible obtener la información precisa, por parte de las municipalidades, de los ingresos generados por este concepto en la actualidad. Los egresos están representados por el costo actual de la prestación del servicio y la operación y mantenimiento del nuevo relleno, la inversión del diseño de clausura del vertedero actual o botadero, ejecución del proyecto de clausura, diseño y construcción del relleno nuevo.

En la alternativa 2 (planta de separación y compostaje), se le agrega a los ingresos de la alternativa 1, los provenientes de la venta del compost producido y los materiales recuperados, utilizando precios a puerta de planta del año 1996.

Se estimó el porcentaje de recuperación de la planta de acuerdo con lo expuesto previamente y la experiencia desarrollada en otros países con este tipo de procesos.

En los egresos, además de los considerados en la alternativa 1, se considera la inversión en construcción y el costo de operación y mantenimiento de la planta, dependiendo del tipo escogido.

En ambas alternativas, no se consideraron los costos de compra de terrenos y diseño y construcción de vías.

Los costos estimados de construcción y operación del relleno sanitario convencional se estimaron de acuerdo con las ecuaciones propuestas por UESP(1996). Los costos de construcción y operación de la planta de separación y compostaje se estimaron según ADAM (1995), y los costos de la clausura de los rellenos y botaderos actuales según CIDIAT (1997).

Estos rubros se aplicaron a cada zona de acuerdo a la situación actual en que se presta el servicio de aseo urbano.

Se utilizó el valor actual neto (VAN), la tasa interna de retomo (TIR) y el factor de recuperación de capital (para el calculo de la anualidad FR) como los criterios financieros para la toma de decisión de inversión.

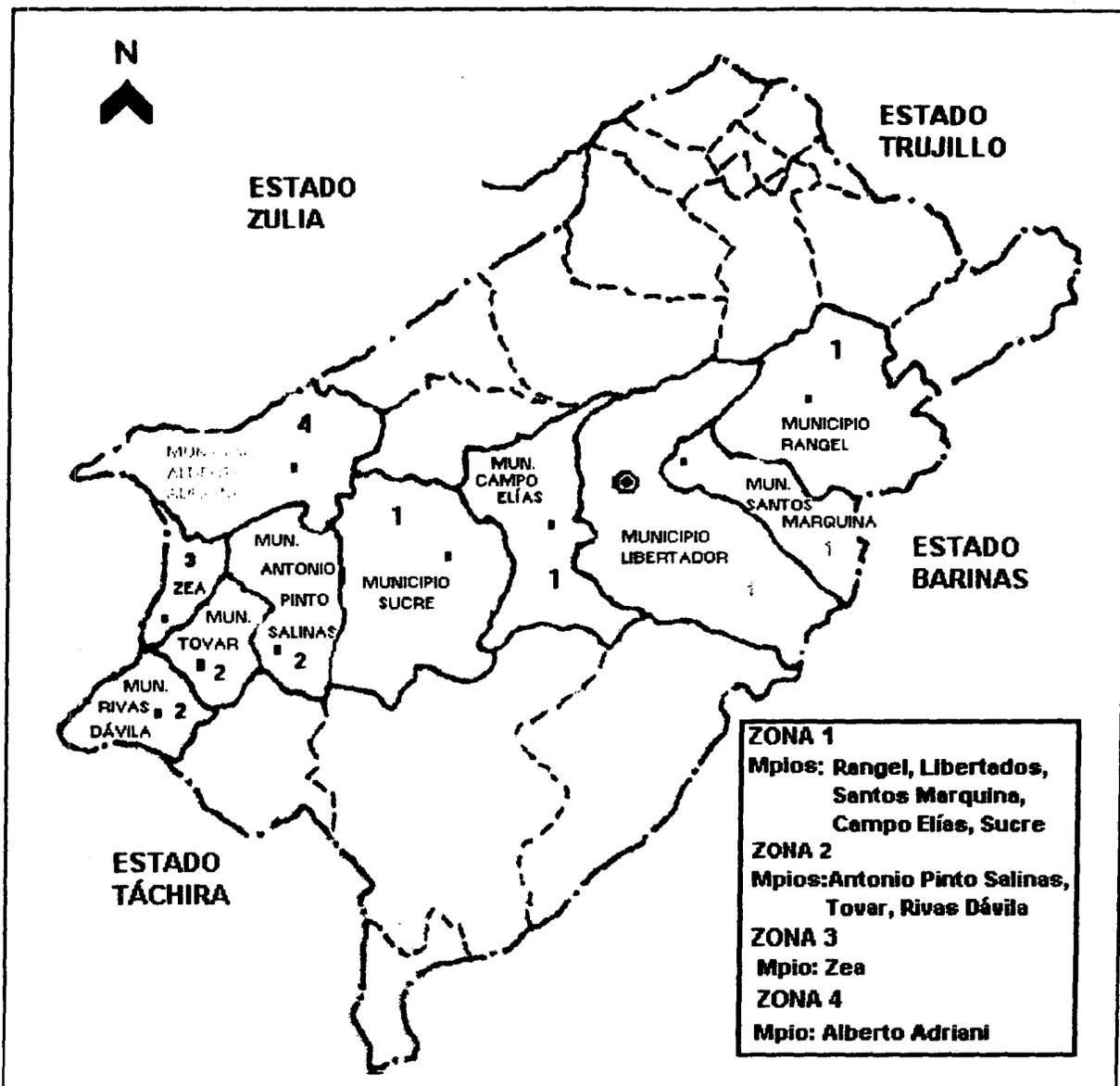
Se realizaron análisis de sensibilidad para observar el comportamiento de los indicadores financieros, primero, incorporando variaciones independientes en los costos de construcción y operación de la planta de separación y compostaje y el relleno sanitario, de acuerdo con los rangos de variación de estos rubros citados en la literatura; y segundo variando los ingresos recibidos por el cobro de la tarifa equivalente de prestación del servicio de aseo urbano.

Descripción de las Alternativas Complementarias

Consistió en describir brevemente las partes que componen cada alternativa, tomando como ejemplo el caso de la separación en los hogares en el sector Los Curos de la ciudad de Mérida.

Identificación de los Efectos Ambientales de las Alternativas Evaluadas

Se realizó la identificación de los efectos ambientales de manera descriptiva, resaltando las ventajas y desventajas de cada una de las alternativas propuestas; basados en las experiencias de varios países que realizan desde hace muchos años estos proceso de manejo de desechos sólidos y de acuerdo con los efectos generados por la disposición utilizada en la actualidad.



Fuente: Modificado Hansen (1995)

Figura 9. Mapa Político del Estado Mérida con el área de estudio delimitada y zonificada.

En la Figura 10 se puede observar el mapa de vías y centros poblados del estado Mérida, en él se puede apreciar que las localidades se encuentran unidas por la denominada carretera panamericana y otras vías alternas, por lo que se pudiera decir que la comunicación intermunicipal es buena y permite, como sucede actualmente, la posibilidad de utilizar vertederos compartidos.

Dentro de las muchas y diversas alternativas de manejo de los desechos sólidos, en lo referido a tratamiento y disposición final que se proponen en la literatura, se planteó un grupo de opciones como posibles soluciones a la situación que se presenta actualmente en el área de estudio, las alternativas consideradas fueron:

- Relleno sanitario.
- Incineración.
- Planta de separación y compostaje aeróbica normal y aeróbica acelerada.
- Promoción de grupos solidarios de recuperación.
- Plan de educación ambiental.

Para cada una de las zonas del área de estudio de acuerdo con sus características, se evaluó la posibilidad de implementación de cada una de las alternativas propuestas.

Por tal razón, se planteó la evaluación de las alternativas que en primera instancia cumplieran con las disposiciones legales y en segunda con el enfoque propuesto en la literatura.

Para las zonas 1 y 4 se determinó la evaluación de las siguientes alternativas:

- Relleno sanitario convencional
- Planta de separación y compostaje aeróbica acelerada.

La escogencia del proceso de compostaje aeróbico acelerada, se realizó de acuerdo con la cantidad de desechos que se estimó se procesaran diariamente en la planta durante el horizonte de planificación de la misma; como lo expone la literatura revisada, cantidades superiores a 100 ton / día requieren un proceso acelerado de tratamiento, lo cual es garantizado por el proceso aeróbico acelerado.

Para las zonas 2 y 3 se determinó la evaluación de las siguientes alternativas:

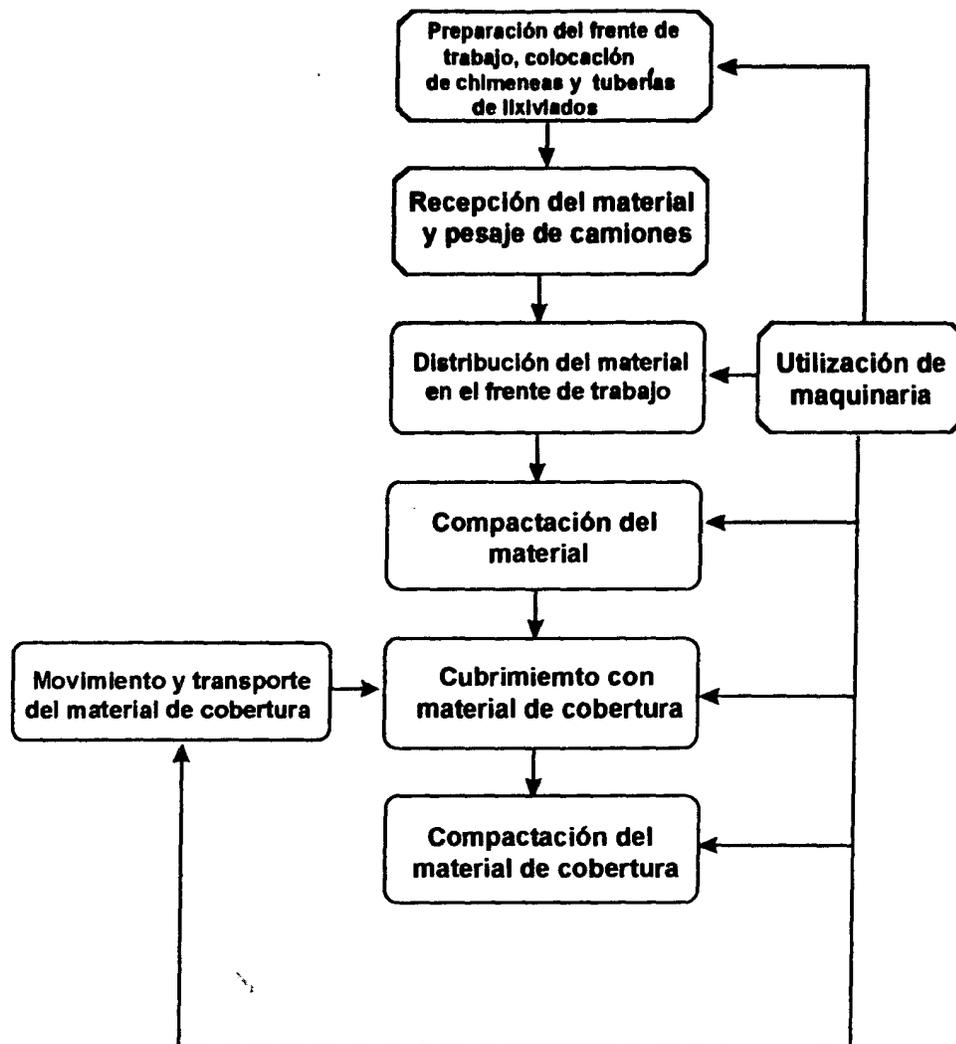
- Relleno sanitario convencional.
- Planta de separación y compostaje aeróbico normal.

La escogencia del proceso de compostaje aeróbico normal se realizó, de acuerdo con la cantidad de desechos que se estimó se procesaran diariamente en la planta durante el horizonte de planificación de la misma.

Cabe anotar que la alternativa de la planta de separación y compostaje no excluye al relleno sanitario convencional, puesto que en ésta es necesario disponer un remanente de desechos no recuperables.

También es importante tener claro, que las alternativas de promoción de grupos solidarios de recuperación y el plan de educación ambiental son en cualquier caso complementarias a las alternativas seleccionadas.

En las Figuras 11, 12 y 13, se puede observar los diagramas de flujo de cada uno de los procesos de operación escogidos como alternativas de manejo de los desechos sólidos.



Fuente: Elaboración propia

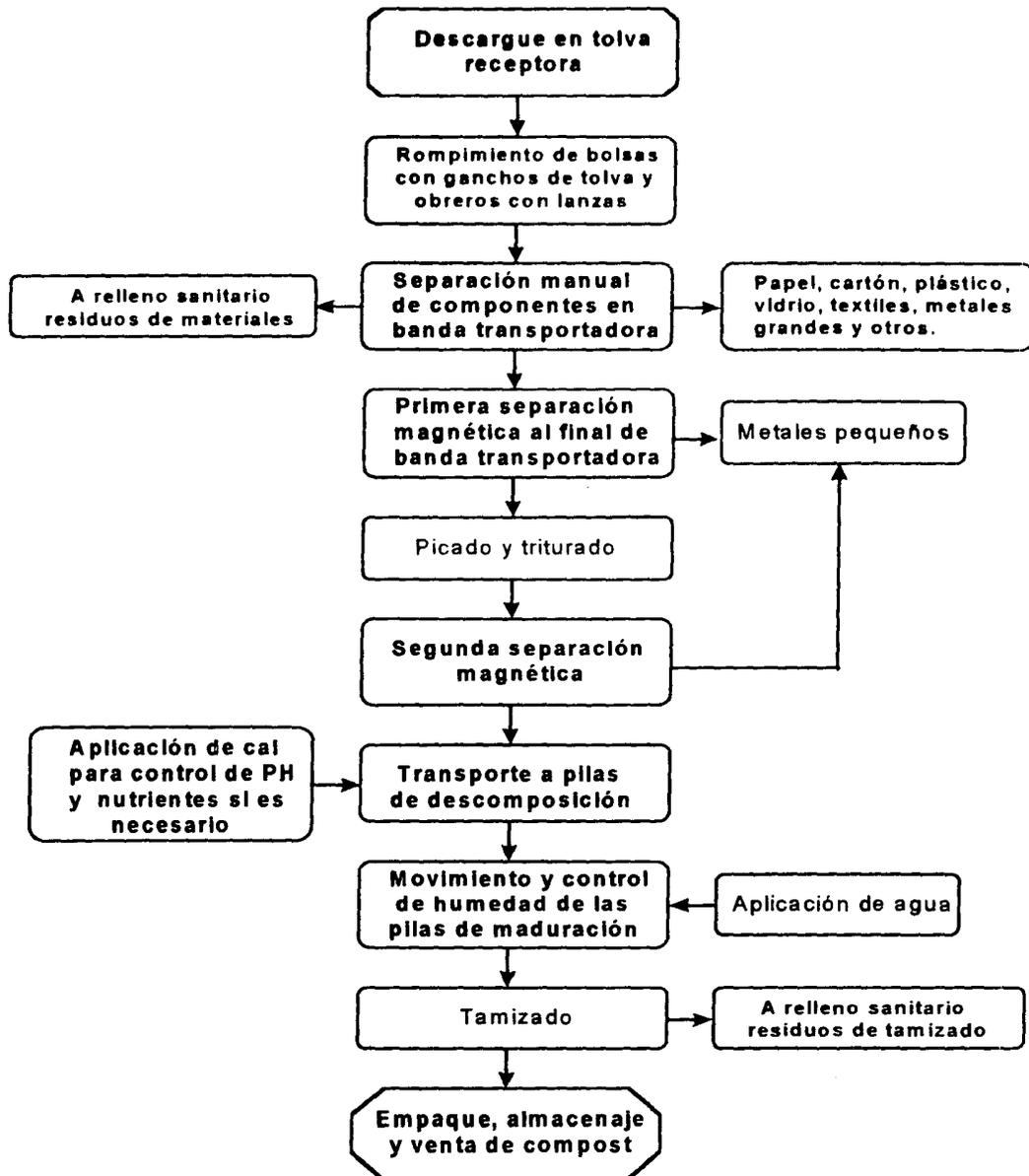
Figura 11. Diagrama de flujo de la alternativa 1. Proceso de operación de un relleno sanitario convencional.

Para todas las zonas se descartó la implementación de la alternativa de incineración, por que los beneficios generados con la incineración de los desechos sólidos municipales están asociados con la producción y aprovechamiento de energía, ya sea en forma de vapor o como energía eléctrica.

La energía es aprovechada en forma de vapor por las industrias que la requieran o se utiliza para la calefacción de zonas urbanas en época de invierno, ninguno de los dos casos se presenta en el área de estudio.

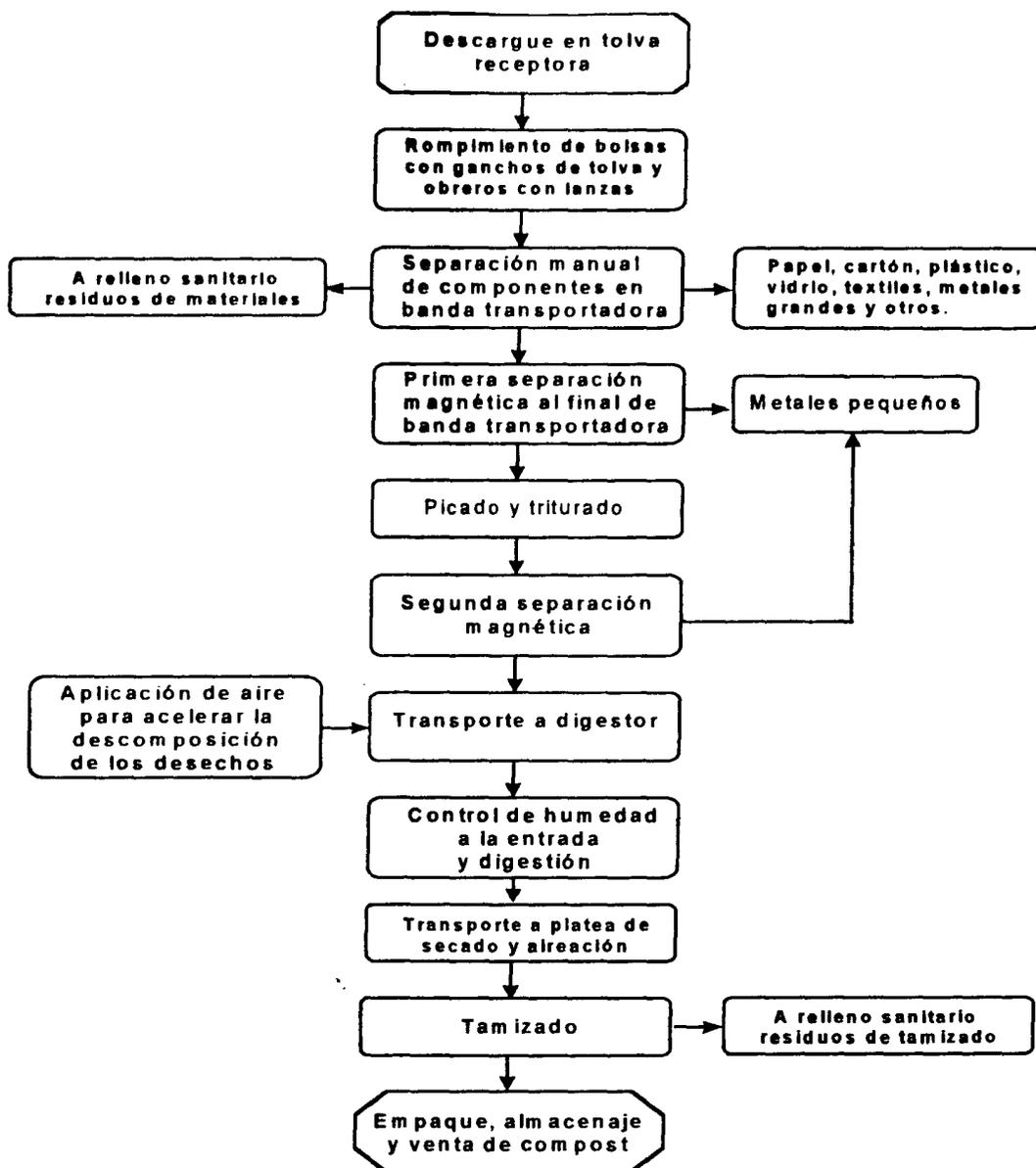
En cuanto al aprovechamiento de la energía eléctrica, los costos de producción en Venezuela son relativamente bajos y tiene además dos grandes fuentes, la hidroeléctrica y la termoeléctrica a partir de la utilización de combustibles fósiles, por lo cual no sería competitivo producir energía eléctrica a partir de la incineración de los desechos sólidos municipales.

Otra razón de peso para descartar la incineración como alternativa de solución al problema de los desechos sólidos en la región central del Estado Mérida, es la cantidad de contaminantes atmosféricos peligrosos que se pueden producir en los hornos de una incineradora, en particular cuando no se alcanzan las temperaturas de diseño.



Fuente: Salas y Giraldo 1996

Figura 12. Diagrama de flujo alternativa 2. Proceso de operación de la planta de separación y compostaje aeróbica.



Fuente: Elaboración propia.

Figura 13. Diagrama de flujo alternativa 2. Proceso de operación de la planta de separación y compostaje aeróbica acelerada.

Evaluación de la Situación Actual

Información Municipal

En la Tabla 5 se muestra la información tabulada de los resultados obtenidos en las encuestas realizadas en cada una de las alcaldías durante el mes de julio de 1996.

TABLA 5. Resultados obtenidos de las encuestas Municipales. Percepción municipal de la situación. Año 1996.

MUNICIPIOS	CUENTA CON SERV. ASEO URBANO	ENTIDAD ENCARGADA	Nº TOTAL DE INMUEBLES LOCALIDADES	Nº DE INMUEBLES SERVIDOS	COSTO SERVICIO millones de Bs/año	EXISTE ORDENANZA
LIBERTADOR	SI	E.PRIVADA	40292	38278	240	SI
C. ELIAS	SI	MIXTO	13369	12033	47	SI
SUCRE	SI	MIXTO	7948	7551	10	SI
RANGEL	SI	E.PRIVADA	3364	3196	10,944	SI
S. MARQUINA	SI	E.PRIVADA	2204	2094	11,52	SI
TOVAR	SI	E.PRIVADA	6252	5627	14,4	SI
R.DAVILA	SI	E.PRIVADA	3279	3115	14,4	SI
A.PINTO	SI	ALCALDIA	4623	4391	10	SI
ZEA	SI	ALCALDIA	1751	1751	6	SI
A. ADRIANI	SI	ALCALDIA	15547	13992	110	SI

MUNICIPIOS	Nº VECES POR SEMANA SE RECOGE	TIPO DE DISPOSICIÓN	SITIO DE DISPOSICIÓN	DISTANCIA A LA CIUDAD	CANTIDAD DISPUESTA ton/día	EXISTE RECICLAJE
LIBERTADOR	3	VERTEDERO	EL BALCON	40 km.	200	SI
C. ELIAS	3	VERTEDERO	EL BALCON	28 km.	100	SI
SUCRE	2	VERTEDERO	EL BALCON	4 km.	7	SI
RANGEL	2	VERTEDERO	EL BALCON	88 km.	7	SI
S. MARQUINA	2	VERTEDERO	EL BALCON	52 km.	7	SI
TOVAR	1	BOTADERO	SAN FELIPE	25 km.	30	SI
R.DAVILA	3	BOTADERO	SAN FELIPE	42 km.	5	SI
A.PINTO	2	BOTADERO	SAN FELIPE	10 km.	8	SI
ZEA	3	BOTADERO	LA ROCA	7 km.	2	SI
A. ADRIANI	1	VERTEDERO	ONIA	14 km.	156	SI

MUNICIPIOS	TIPO DE VEHICULO	CAPACIDAD m ³	TARIFA RESIDENCIAL PROMEDIO	TARIFA COMERCIAL PROMEDIO	TARIFA INDUSTRIAL PROMEDIO	TARIFA INSTITUCIONAL PROMEDIO
LIBERTADOR	Comp.	13,76	400	1570	2500	2500
C. ELIAS	Comp. Vol.	12,32 y 7	350	470	2500	2400
SUCRE	Comp. y Vol	10,7 y 7	20	50	100	50
RANGEL	Capilla	10	50	150	*	*
S. MARQUINA	Capilla	10	120	300	*	*
TOVAR	Comp.	12,23	200	350	1000	350
R.DAVILA	Vol.	10	100	300	*	*
A.PINTO	Comp.	10,7	100	300	*	*
ZEA	Capilla	8	350	500	*	300
A. ADRIANI	Comp.	12,23	400	2000	3000	1500

Fuente: Elaboración propia

En la Tabla 5 se puede observar que todos los municipios cuentan con el servicio de aseo urbano domiciliario, la disposición en el 60% de las localidades se realiza bajo un sistema "controlado", el resto de las ciudades utiliza botaderos a cielo abierto, generando con ello problemas ambientales para los municipios donde se encuentran, por ser los sitios de disposición final comunes en algunas zonas del área de estudio.

De acuerdo con lo observado en las visitas de campo a los sitios de disposición, el servicio de aseo urbano presenta deficiencias en la disposición final y carece totalmente de

tratamiento, lo que implica una afectación directa al medio ambiente que altera todo el proceso de prestación del servicio; otro aspecto que acentúa las deficiencias en la disposición, es el mal estado de la maquinaria y los equipos que utilizan las empresas encargadas de operar los vertederos controlados, esto debido principalmente a los bajos presupuestos destinados para tal fin por parte de las municipalidades o el no incluir estos costos dentro de presupuesto de la prestación del servicio.

Citando un caso específico, en el vertedero controlado "El Balcón" , donde disponen sus desechos sólidos cinco municipios del área de estudio, solo un municipio (Libertador) aporta dinero para su operación y mantenimiento, monto que no es suficiente para garantizar el adecuado funcionamiento del vertedero.

El 50% de los Municipios contrata el servicio con empresas privadas o personas naturales propietarios de camiones, por lo cual no se llevan registros de los volúmenes y pesos de los desechos recolectados en el municipio, que permitan un análisis cuantitativo del servicio; por esta falta de registro se recurrió a entrevistas directas con la población y al análisis cualitativo del mismo.

Para cada localidad se entrevistaron veinte personas al azar, la pregunta se dirigió hacia cómo calificaba el servicio de aseo urbano entre las siguientes opciones: excelente, bueno, regular o malo y por qué. Las respuestas fueron diversas; en las localidades de Zea, Bailadores, Mucuchies, Santa Cruz y Tabay, los entrevistados se sienten satisfechos con el servicio por lo puntual y organizado, por lo cual el 90% de ellos lo califica como bueno; sin embargo, en las localidades de Mérida, El Vigía, Tovar, Ejido y Lagunillas, la mejor calificación fue regular, por lo cual el 90% de los entrevistados se siente insatisfecho y califica el servicio como malo.

Los centros poblados, de carácter rural o retirados distancias considerables de las capitales de los municipios, no cuentan con una prestación continua del servicio o simplemente carecen de él, por lo cual utilizan cualquier lugar para disponer los desechos, contaminando ríos, quebradas, baldíos y laderas.

El número de veces por semana que se presta el servicio en cada localidad, da una idea de como llegan los desechos a disposición final, lo cual se corroboró en las visitas realizadas a los vertederos; por ejemplo: en la ciudad de El Vigía se presta el servicio de recolección de los desechos sólidos una vez por semana para cada sector, por lo cual los desechos se acumulan en los sitios de generación, provocando contaminación y siendo focos para la proliferación de transmisores de enfermedades (moscas y roedores). Cuando los desechos llegan a disposición final, la materia orgánica va con un alto grado de putrefacción, lo que genera malos olores y contaminación de otros desechos que se pueden recuperar, los cuales se convierten en no aprovechables en la circunstancia de la implementación de un sistema de separación de materiales recuperables.

Los estimados municipales de la cantidad de desechos que van a disposición final son bastante elevados, lo cual contrasta con los cálculos realizados en este trabajo, esto debido a la falta de pesaje en el sitio de disposición, por lo cual los contratos de prestación del servicio no se elaboran avalados por la cantidad de desechos que realmente se disponen, si no por las cuentas de gastos que los propietarios de las empresas presentan a las alcaldías.

Los vehículos utilizados en el 60% de las localidades son compactadores con capacidad entre 10,7 y 13,76 m³, también se utilizan camiones volteos de 7 m³ y camiones capilla cuya capacidad varía entre 8 y 10 m³, dependiendo del tipo de adaptación que se le haya realizado; en general los vehículos compactadores se encuentran en estado regular de funcionamiento, queriendo decir con esto que su capacidad de compactación está disminuida debido al mal uso y falta de mantenimiento.

Las distancias de cada una de las ciudades al sitio de disposición varía en un rango muy amplio, por lo cual los costos de prestación del servicio y la eficiencia del mismo se ven afectados por esta variable.

No existe información documentada sobre las actividades de recuperación de materiales que se desarrollan en cada localidad, se sabe que existe y que se realiza de manera particular y sin ningún control por parte de la administración local; la razón principal por lo que esto sucede no es otra que la falta de una ordenanza municipal acorde con la realidad y que no esté limitada a definir el monto de las tarifas y el costo del valor del contrato con la empresa encargada de prestar el servicio de aseo urbano. En algunos casos las ordenanzas municipales tienen hasta 20 años de vigencia, razón por la cual se cobran en la actualidad tarifas irrisorias, mas no es así lo que se le paga a las empresas que prestan el servicio.

Los recaudos generados por concepto de cobro de las tarifas no están determinados con exactitud; pero en forma general los municipios no cubren los costos en que incurren por prestarlo; las razones son variadas, desde la expuesta en el párrafo anterior hasta la negativa absoluta a pagar, por parte de un buen porcentaje de los beneficiarios del servicio.

El costo de la prestación del servicio en la mayoría de los municipios, está determinado por lo que cobra el propietario de la empresa; el monto aparece de manera global, y en ningún caso aparecen los desgloses por los rubros individuales, por tal motivo no se pudo determinar si la cantidad pagada es acorde con la realidad o esta sobrestimada.

En el Apéndice 3 se presenta el flujo de caja de cada municipio, tomando como base los recaudos por concepto del cobro eficiente de una tarifa equivalente estimada para el sector residencial y los costos actuales en que incurren los municipios por prestar el servicio. El resultado muestra que en las condiciones actuales solo dos municipios no tendrían necesidad de subsidiar el servicio de aseo urbano; pero es claro que ni el municipio Zea ni el municipio Campo Elías cuentan con una adecuada disposición y la recolección es deficiente, lo que genera costos ambientales y sociales elevados, no incluidos en la tarifa.

Análisis de Mercado

En el Apéndice 4, está tabulada toda la información de los centros de acopio regionales y nacionales visitados, que comprende nombre y dirección de las empresas, tipo de materiales recuperados, especificaciones y precios de compra, procedencia y destino final de los materiales recuperados y algunas observaciones adicionales. Esta información indica que el mercado para los desechos recuperados estaría garantizado, debido al incremento de la utilización de materiales recuperados por parte de la industria Venezolana, ya que representa un ahorro energético de gran importancia, que disminuye los costos de producción de las empresas (ver Apéndice 5).

En la Tabla 6 se puede observar la variación de los precios de compra entre los centros de acopio regionales (intermediarios) y los receptores finales, lo que indica, de cierta manera, los beneficios que se podrían alcanzar al realizar esta actividad de manera organizada. Estos precios no incluyen los costos de transporte o fletes, pero algunas de las empresas receptoras asumen estos costos.

Tabla 6. Precios promedio de compra y venta de materiales recuperados. Año 1996.

Materiales Recuperables	Precio de compra regional Bs/ kg	Precio de compra nacional Bs/ kg
COMPOST	30	30
PAPEL	15	40
CARTON	12	30
VIDRIO	8	24
ALUMINIO	200	400
LATON	15	30
HIERRO COLADO	25	70
HIERRO DULCE	30	50
COBRE	350	450
BRONCE	300	400
PLASTICOS		
Polietileno de baja densidad	70	150
Polietileno de alta densidad	100	250
Polipropileno de baja densidad	10	20
CAUCHOS	45	150

Fuente: Elaboración propia

Los principales destinos de los materiales recuperados en la región son las ciudades de Barquisimeto, Valera, Valencia y Maracay. Empresas como la OWENS ILLINOIS y MANPA y organizaciones como FUNVEPLAS, impulsan a nivel nacional la recuperación de materiales (ver Apéndice 6). Programas como PAPYRUS, para la recuperación de papel en las escuelas e instituciones públicas y privadas de Caracas, han obtenido resultados verdaderamente alentadores, que incentivan a otras empresas a planificar e incluir este tipo actividades en sus programas.

El programa de recuperación de vidrio de la Owens Illinois, a través de sus filiales, se desarrolla a nivel municipal, involucrando directamente a la administración local en el proceso. El Departamento de Reciclaje de la empresa se mostró muy interesado en desarrollar su programa en el Estado Mérida, uno de los estados con mayor porcentaje de vidrio en sus desechos (11%).

Proyecciones de Población

Los resultados obtenidos de la aplicación del método de proyección geométrica aparecen en la Tabla 9, en ella se puede observar un crecimiento moderado de la población. Esta dinámica de crecimiento está avalada por la hipótesis de la OCEI (1992) y el análisis de la tendencia de las tasas de crecimiento urbanas.

La hipótesis de la OCEI, mantiene estabilizadas las tasas de crecimiento de acuerdo a su comportamiento en el último período intercensal 1981 - 1990 (ver Tabla 7), esto puede estar justificado al observar la tendencia en una reducción de las tasas de crecimiento, y suponiendo su estabilización en algún punto del futuro (ver Figura 14).

Según el estudio realizado por CIDIAT (1988), la población en Mérida y su área de influencia alcanzaría alrededor de 246288 habitantes en el año 1996, lo cual sobrepasa el estimado de este trabajo para el mismo año (ver Tabla 9).

Tabla 7. Tasas de crecimiento propuestas por OCEI (1992) para cada localidad.

LOCALIDAD	TASA GEOMÉTRICA (%)
MÉRIDA	1,26
EL VIGÍA	3,0
ZEA	2,0
BAILADORES	2,5
SANTA CRUZ DE MORA	1,85
TOVAR	2,0
TABAY	3,4
LAGUNILLAS	2,3
EJIDO	1,5
MUCUCHIES	0,79

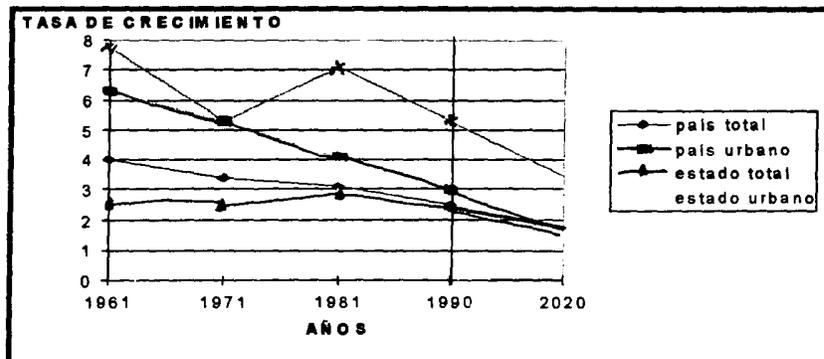
Fuente : OCEI, 1992

El MARNR (1986), citado por CIDIAT (1988), expresa una hipótesis de crecimiento máximo para el área de la meseta de Mérida y Ejido, según la cual la capacidad de carga poblacional estaría ubicada en el rango de 350000 a 390000 hab. Incrementos de población por encima de estos rangos generarían un sistema urbano desequilibrado, con un costo socio-ambiental muy alto para la población. Los valores del incremento poblacional generados a partir de la hipótesis de crecimiento utilizada, no sobrepasa estos límites ni al final del horizonte de planificación, sabiendo de antemano la incertidumbre con que se trabaja en este tipo de cálculos.

Tabla 8. Tasas de crecimiento urbanas de acuerdo a datos censales.

AÑO	PAIS TOTAL(%)	PAIS URBANO(%)	ESTADO TOTAL(%)	ESTADO URBANO(%)
1961	4	6,3	2,5	7,8
1971	3,4	5,3	2,4	5,3
1981	3,1	4,1	2,9	7,1
1990	2,5	3	2,4	5,3

Fuente : OCEI, 1992.



Fuente: Elaboración propia

Figura 14. Gráfico de tendencias de las tasas de crecimiento urbanas.

Tabla 9. Proyecciones de población para cada una de las localidades y su área de influencia, a partir del censo del año 1990.

Año	Mérida	Ejido	Mucuchies	Lagunillas	Tabay	Zea	Tovar	Bailadores	Santa Cruz de Mora	El Vigía
1990	170902	41924	14341	17992	9822	3104	23775	14004	6445	62519
1991	173055	42553	14454	18304	10156	3166	24251	14354	6564	64395
1992	175236	43191	14568	18724	10501	3229	24736	14713	6686	66326
1993	177444	43839	14684	19155	10858	3294	25230	15081	6809	68316
1994	179680	44497	14800	19596	11227	3360	25735	15458	6935	70366
1995	181944	45164	14916	20046	11609	3427	26250	15844	7064	72477
1996	184236	45842	15034	20507	12004	3496	26775	16240	7194	74651
1997	186557	46529	15153	20979	12412	3566	27310	16646	7327	76890
1998	188908	47227	15273	21462	12834	3637	27856	17063	7463	79197
1999	191288	47935	15393	21955	13270	3710	28413	17489	7601	81573
2000	193699	48655	15515	22460	13722	3784	28982	17926	7742	84020
2001	196139	49384	15638	22977	14188	3859	29561	18374	7885	86541
2002	198611	50125	15761	23505	14671	3937	30152	18834	8031	89137
2003	201113	50877	15886	24046	15169	4015	30755	19305	8179	91811
2004	203647	51640	16011	24599	15685	4096	31371	19787	8331	94566
2005	206213	52415	16138	25165	16218	4178	31998	20282	8485	97403
2006	208811	53201	16265	25744	16770	4261	32638	20789	8642	100325
2007	211442	53999	16394	26336	17340	4346	33291	21309	8802	103334
2008	214106	54809	16523	26941	17930	4433	33957	21841	8964	106434
2009	216804	55631	16654	27561	18539	4522	34636	22387	9130	109627
2010	219536	56466	16785	28195	19169	4612	35328	22947	9299	112916
2011	222302	57313	16918	28843	19821	4705	36035	23521	9471	116304
2012	225103	58172	17052	29507	20495	4799	36756	24109	9646	119793
2013	227939	59045	17186	30186	21192	4895	37491	24712	9825	123387
2014	230811	59930	17322	30880	21913	4993	38241	25329	10007	127088
2015	233720	60829	17459	31590	22658	5092	39005	25963	10192	130901
2016	236665	61742	17597	32317	23428	5194	39786	26612	10380	134828
2017	239646	62668	17736	33060	24224	5298	40581	27277	10572	138873
2018	242666	63608	17876	33820	25048	5404	41393	27959	10768	143039
2019	245724	64562	18017	34598	25900	5512	42221	28658	10967	147330
2020	248820	65531	18159	35394	26780	5622	43065	29374	11170	151750

Fuente: Elaboración propia

Estimación de la Cobertura del Servicio

En la Tabla 10 se presentan los resultados obtenidos aplicando la expresión 3.1, se puede observar que la cobertura calculada no es representativa para toda la municipalidad, puesto que fue estimada solamente para las localidades donde llega el servicio de aseo urbano, el cual está concentrado en las capitales municipales y su área de influencia, en este sentido se entiende que la cobertura real para cada municipio será en todos los casos menor que la utilizada para efectos del presente trabajo.

Tabla 10. Porcentaje de cobertura estimado para cada localidad y su área de influencia. Año 1996.

LOCALIDAD	PORCENTAJE (%)
MÉRIDA	95
EL VIGÍA	90
ZEA	100
BAILADORES	95
SANTA CRUZ DE MORA	95
TOVAR	90
TABAY	95
LAGUNILLAS	95
EJIDO	90
MUCUCHIES	95

Fuente: Elaboración propia

Caracterización de los Desechos Sólidos

El 80% de los Municipios no cuentan con información alguna en este sentido. En las Tablas 11, 12, 13 y 14, se pueden observar los resultados obtenidos en los vertederos y botaderos del área de estudio, estos resultados son datos puntuales que representan una incertidumbre grande a pesar de que el coeficiente de variación aceptado en la evaluación estadística es de hasta 60% (Tchobanoglous et al., 1994).

Tabla 11. Componentes característicos de los desechos sólidos de la zona 1. Año 1996.

Componentes Característicos	Libertador Mérida kg de muestra	Campo Elias Ejido kg de muestra	Sucre Lagunillas kg de muestra	S. Marquina Tabay kg de muestra	Rangel Mucuchies kg de muestra	Peso Total kg de muestra
Des Orgánicos	1042,00	252,00	267,20	225,00	245,00	2031,20
Papel Mezclado	98,50	7,00	12,00	15,00	14,00	146,50
Cartón	96,70	7,50	4,00	27,00	12,00	147,20
R. Plásticos	44,40	6,50	6,00	8,75	5,50	71,15
S. Plásticas	57,40	13,50	15,00	13,00	14,00	112,90
Vidrio Transp.	108,00	11,00	12,00	20,50	21,00	172,50
Vidrio Verde	30,50	2,00	7,00	4,00	6,00	49,50
Vidrio Ambar	27,90	*	5,00	*	*	32,90
Aluminio	4,50	0,20	*	1,25	0,20	6,15
Latón	41,30	5,00	8,50	10,50	10,00	75,30
Textiles	35,00	2,50	4,00	11,50	6,00	59,00
Madera	4,00	*	*	3,00	4,00	11,00
Gomas	36,50	2,00	*	1,00	*	39,50
Papel Sanitario	139,00	34,80	17,00	19,50	20,00	230,30
Otros Materiales	34,30	16,00	2,30	*	2,30	54,90

Fuente: Elaboración propia

Tabla 12. Componentes característicos de los desechos sólidos de la zona 1. Año 1996.

Componentes Característicos	Libertador Mérida % en peso	Campo Elias Ejido % en peso	Sucre Lagunillas % en peso	S. Marquina Tabay % en peso	Rangel Mucuchies % en peso	Promedio % en peso
Des. Orgánicos	57,89	70,00	74,22	62,50	68,06	62,69
Papel Mezclado	5,47	1,94	3,33	4,17	3,89	4,52
Cartón	5,37	2,08	1,11	7,50	3,33	4,54
R. Plásticos	2,47	1,81	1,67	2,43	1,53	2,20
S. Plásticas	3,19	3,75	4,17	3,61	3,89	3,48
Vidrio Transp.	6,00	3,06	3,33	5,69	5,83	5,32
Vidrio Verde	1,69	0,56	1,94	1,11	1,67	1,53
Vidrio Ambar	1,55	*	1,39	*	*	1,02
Aluminio	0,25	0,06	*	0,35	0,06	0,19
Latón	2,29	1,39	2,36	2,92	2,78	2,32
Textiles	1,94	0,69	1,11	3,19	1,67	1,82
Madera	0,22	*	*	0,83	1,11	0,34
Gomas	2,03	0,56	*	0,28	*	1,22
Papel Sanitario	7,72	9,67	4,72	5,42	5,56	7,11
Otros Materiales	1,91	4,44	0,64	*	0,64	1,69

Fuente: Elaboración propia

Tabla 13. Componentes característicos de los desechos sólidos de la zona 2. Año 1996.

Componentes Característicos	Tovar Tovar		Rivas Davila Balladores		Pinto Salinas Santa Cruz		Peso Total	Promedio
	% en Peso	kg	% en Peso	kg	% en Peso	kg	kg	% en Peso
Des. Orgánicos	72,00	259,20	78,00	280,80	74,31	267,50	807,50	74,77
Papel Mezclado	1,94	7,00	0,97	3,50	1,11	4,00	14,50	1,34
Cartón	1,11	4,00	1,39	5,00	1,53	5,50	14,50	1,34
R. Plásticos	1,67	6,00	1,81	6,50	1,11	4,00	16,50	1,53
S. Plásticas	3,06	11,00	1,11	4,00	1,39	5,00	20,00	1,85
Vidrio Transp.	3,06	11,00	3,89	14,00	5,00	18,00	43,00	3,98
Vidrio Verde	4,44	16,00	0,83	3,00	0,56	2,00	21,00	1,94
Vidrio Ambar	.	.	0,28	1,00	0,56	2,00	3,00	0,28
Aluminio	0,14	0,50	0,83	3,00	0,28	1,00	4,50	0,42
Latón	1,39	5,00	1,39	5,00	3,33	12,00	22,00	2,04
Textiles	1,53	5,50	0,56	2,00	0,83	3,00	10,50	0,97
Madera	0,92	3,30	3,30	0,31
Gomas	0,28	1,00	0,56	2,00	0,83	3,00	6,00	0,56
Papel Sanitario	7,78	28,00	6,67	24,00	5,83	21,00	73,00	6,76
Otros Materiales	0,69	2,50	1,72	6,20	3,33	12,00	20,70	1,92

Fuente: Elaboración propia

Tabla 14. Componentes característicos de los desechos sólidos de las zonas 3 y 4. Año 1996.

Componentes Característicos	Alberto Adriani(*) El Vigía		Zea Zea	
	% en Peso	kg	% en Peso	kg
Des. Orgánicos	29,09	81,10	74,77	269,16
Papel Mezclado	8,84	24,65	1,34	4,83
Cartón	7,25	20,20	1,34	4,83
R. Plásticos	3,59	10,00	1,53	5,50
S. Plásticas	3,30	9,20	1,85	6,66
Vidrio Transp.	6,13	17,10	3,98	14,33
Vidrio Verde	0,39	1,10	1,94	7,00
Vidrio Ambar	.	.	0,28	1,00
Aluminio	5,49	15,30	0,42	1,50
Latón	7,03	19,60	2,03	7,30
Textiles	6,49	18,10	0,99	3,55
Madera	7,57	21,10	0,31	1,10
Gomas	3,59	10,00	0,56	2,00
Papel Sanitario	9,69	27,00	6,76	24,33
Otros Materiales	1,54	4,30	1,92	6,90

Fuente: Elaboración propia, (*) MARNR et al., 1990

En la ciudad de Mérida en los años 1992 y 1993, estudiantes de secundaria han realizado investigaciones guiados por el profesor Miguel Cabeza, determinando la composición de los desechos en sus propias casas por periodos de tiempo iguales o superiores a veinte semanas; los resultados arrojados permiten corroborar los obtenidos en esta investigación (ver Apéndice 7).

Si se observan los resultados de las diferentes zonas, se puede apreciar que existen diferencias en la composición, por ejemplo: la zona 1 presenta 62,69% de desechos orgánicos, mientras las zonas 2 y 3 tienen valores superiores al 74% y la zona 4 un valor del 29,09%.

Estas diferencias radican en las propias características de las localidades, mientras El Vigía es una ciudad con un gran número de industrias y una elevada actividad comercial, las localidades de la cuenca del Mocoties (Tovar, Bailadores y Santa Cruz de Mora), escasamente cuentan con actividad comercial y en algunos casos es nula o incipiente.

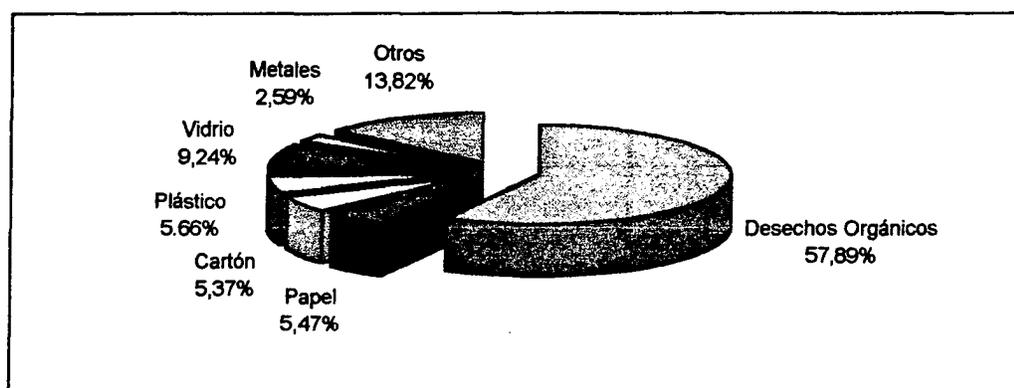
En el 80% del área de estudio, la actividad principal es la agricultura, por lo que el consumo de alimentos frescos sin embalaje es bastante elevado, esto se ve reflejado en la composición misma de los desechos.

En la ciudad de Mérida se combinan dos circunstancias que determinan las características de sus desechos, por una parte la actividad universitaria, que durante 9 meses al año es el motor de la ciudad y por otra, la actividad turística, que a pesar de ser intermitente durante todo el año, tiene meses de verdadera explosión, como son agosto y septiembre y las semanas de carnaval, semana santa y fin de año. No es atrevido afirmar que la actividad turística influye en la composición de los desechos de la ciudad, generando una gran variación en las características normales o propias del resto del año (ver Figura 15.).

Otro aspecto que resalta dentro de esta parte, es la casi total desaparición del aluminio como desecho en los residuos recolectados en la ciudad de Mérida, el porcentaje en peso promedio para la ciudad es de 0,25%, lo que representa una disminución de 4,85% en comparación con los resultados de las investigaciones anteriormente citadas.

También se han presentado variaciones en el papel, que pasa de 9% en 1993 a 5,47% en 1996 y el cartón de 8,47% a 5,37%, esto posiblemente puede explicarse en el grado de recuperación de estos dos componentes a nivel de algunos sitios de origen.

En términos de planificación de la gestión de los desechos sólidos, el conocimiento de las tendencias futuras de la composición es de gran importancia en programas o planes a largo plazo; si se presentara disminución de algunos componentes, proyectos elaborados eficientemente para una realidad presente se podrían convertir en grandes fracasos.



Fuente: Elaboración propia

Figura 15. Componentes característicos de la ciudad de Mérida y su área de influencia. Año 1996.

Estimación de la Producción de Desechos Sólidos

En la Tabla 15, se presentan los resultados estimados de la recolección media semanal por cada localidad, es de anotar la incertidumbre que representa utilizar estos resultados, debido a la escasa información sobre cuánto material se recupera y cuánto se dispone en otros sitios.

Tabla 15. Estimación de la cantidad de desechos sólidos recolectados semanalmente. Año 1996.

LOCALIDAD	TIPO VEHICULO	CAPACIDAD (m ³)	CARGAS SEMANALES	DENSIDAD (kg/ m ³)	PESO TOTAL(kg/sem)
Mérida	Compactador	13,76	116	598**	954503,68
El Vigía	Compactador	12,23	48	598**	351049,92
Tovar	Compactador	12,23	12	598**	87762,48
Ejido	Compactador	12,32	12	598**	88408,32
-	Compactador	10,7	12	598**	76783,2
-	Volteo	7	12	376**	31584
-	Volteo	7	12	376**	31584
Lagunillas	Compactador	10,7	6	598**	38391,6
-	Volteo	7	6	376**	15792
-	Volteo	7	6	376**	15792
Mucuchies	Capilla	10	6	376**	22560
-	Capilla	10	6	376**	22560
Tabay	Capilla	10	6	376**	22560
-	Capilla	10	2	376**	7520
Sta Cruz	Compactador	10,7	6	450*	28890
Bailadores	Volteo	10	6	376**	22560
-	Volteo	10	6	376**	22560
Zea	Capilla	8	6	300*	14400

Fuente: Elaboración propia, (**) Valores estimados de acuerdo con las características de los vehículos.
 (*) Valores tomados del estudio realizado por CIDIAT, 1988.

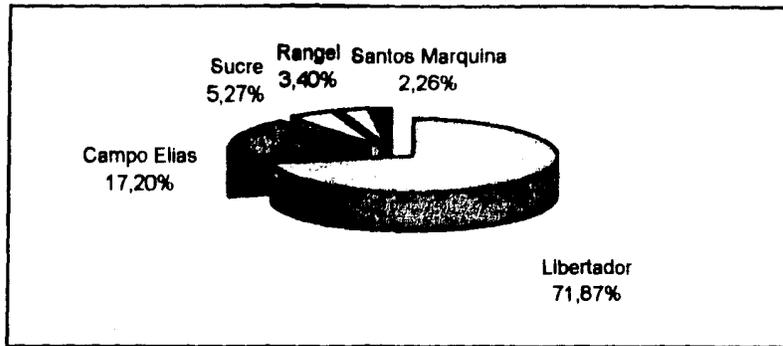
De acuerdo con esta información se calculó la tasa percapita de recolección y la cantidad de desechos generada diariamente en cada localidad (ver Tabla 16).

Tabla 16. Estimación de la tasa percapita de recolección y los desechos generados. Año 1996.

LOCALIDAD	TASA PERCÁPITA kg / hab * día	DESECHOS GENERADOS kg / día
Mérida	0,78	143704
El Vigía	0,75	55988
Tovar	0,52	13923
Ejido	0,79	36215
Lagunillas	0,51	10459
Mucuchies	0,45	6765
Tabay	0,38	4562
Santa Cruz de Mora	0,60	4316
Bailadores	0,42	6821
Zea	0,52	1818

Fuente: Elaboración propia.

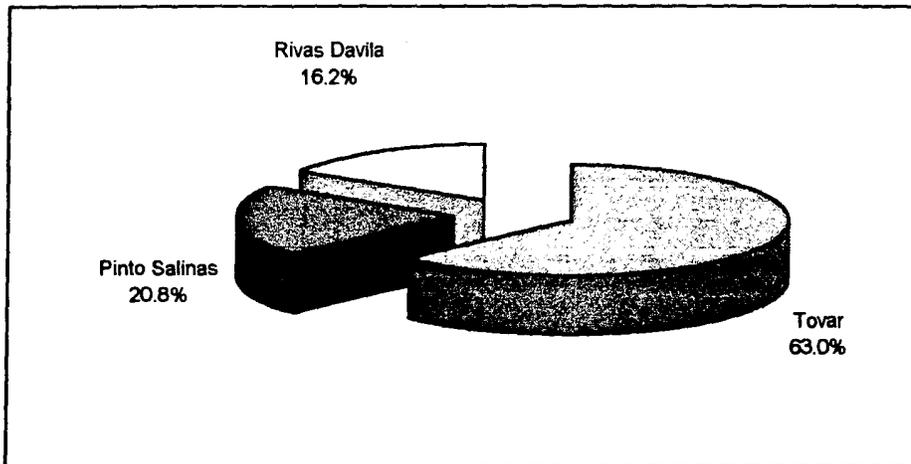
A continuación se presenta la distribución porcentual de los desechos sólidos dispuestos en las zonas 1 y 3. En la Figura 16, se puede apreciar la distribución porcentual de las cantidades dispuestas en la zona 1, la mayor incidencia la tiene el Municipio Libertador, con 71,87%.



Fuente: Elaboración propia.

Figura 16. Distribución porcentual de los desechos dispuestos en el vertedero controlado El Balcón, por cada municipio de la zona 1 para el año 1996.

En la zona 2 (ver Figura 17), el porcentaje mayor lo aporta el Municipio Tovar con el 63% de los desechos vertidos en el botadero San Felipe, situado en jurisdicción del Municipio Pinto Salinas.



Fuente: Elaboración propia

Figura 17. Distribución porcentual de los desechos dispuestos en el botadero San Felipe, por cada municipio de la zona 2 para el año de 1996.

En las Tablas 17, 18, 19 y 20, se pueden observar los resultados obtenidos de las proyecciones de recolección de los desechos de cada zona para los cuatro escenarios planteados en el capítulo tres. En el disquete anexo se incluye las proyecciones detalladas para cada localidad y por cada componente utilizando el programa Microsoft Excel 5.0 o superior.

Tabla 17. Proyecciones de desechos a recolectar para la zona 1. Año 1996.

AÑO	Desechos recolectados (kg/día)			
	ESCENARIO 1	ESCENARIO 2	ESCENARIO 3	ESCENARIO 4
1996	189809	189809	189809	189809
1997	193467	191422	195097	189792
1998	197193	193048	200501	189739
1999	200889	194682	206024	189647
2000	204856	196329	211669	189516
2001	208794	197987	217438	189344
2002	212807	199656	223334	189130
2003	216894	201337	229359	188872
2004	221058	203030	235518	188570
2005	225300	204734	241811	188222
2006	229621	206449	248244	187826
2007	233062	208176	254818	187381
2008	236559	209914	261538	186885
2009	240113	211664	268405	186337
2010	243725	213425	275424	185735
2011	247396	215198	282598	185077
2012	251127	216982	289931	184362
2013	254920	218779	297425	183587
2014	258775	220586	305086	182752
2015	262693	222406	312915	181853
2016	266677	224237	320919	180890
2017	270479	226079	329100	179859
2018	274341	227933	337462	178760
2019	278263	229799	346010	177589
2020	282248	231677	354748	176345

Fuente: Elaboración propia

Tabla 18. Proyecciones de desechos a recolectar para la zona 2. Año 1996.

AÑO	Desechos recolectados (kg/día)			
	ESCENARIO 1	ESCENARIO 2	ESCENARIO 3	ESCENARIO 4
1996	23111	23111	23111	23111
1997	23727	23472	24009	23774
1998	24360	23837	24802	24124
1999	25008	24208	25616	24480
2000	25674	24584	26452	24843
2001	26356	24965	27311	25212
2002	27056	25351	28194	25589
2003	27774	25743	29100	25973
2004	28510	26140	30031	26365
2005	29265	26543	30987	26764
2006	30039	26951	31969	27171
2007	30763	27364	32977	27586
2008	31503	27783	34012	28009
2009	32261	28208	35075	28441
2010	33037	28639	36166	28882
2011	33831	29075	37287	29332
2012	34644	29517	38437	29792
2013	35476	29965	39618	30261
2014	36328	30419	40830	30739
2015	37201	30879	42074	31228
2016	38093	31345	43351	31728
2017	38902	31817	44661	32238
2018	39728	32295	46006	32759
2019	40571	32779	47484	34281
2020	41433	35367	48970	14673

Fuente: Elaboración propia

Tabla 19. Proyecciones de desechos a recolectar para la zona 3. Año 1996.

AÑO	Desechos recolectados (kg/día)			
	ESCENARIO 1	ESCENARIO 2	ESCENARIO 3	ESCENARIO 4
1996	1818	1818	1818	1818
1997	1854	1845	1890	1819
1998	1891	1872	1964	1819
1999	1929	1900	2040	1818
2000	1968	1928	2119	1816
2001	2007	1957	2200	1814
2002	2047	1986	2283	1811
2003	2088	2015	2369	1807
2004	2130	2045	2458	1802
2005	2173	2075	2549	1797
2006	2216	2105	2642	1790
2007	2260	2136	2739	1782
2008	2306	2167	2838	1774
2009	2352	2199	2940	1764
2010	2399	2231	3045	1753
2011	2447	2263	3152	1741
2012	2496	2296	3263	1728
2013	2546	2329	3378	1713
2014	2596	2363	3495	1698
2015	2648	2397	3616	1681
2016	2701	2431	3740	1662
2017	2755	2466	3868	1643
2018	2810	2501	4000	1621
2019	2867	2537	4135	1599
2020	2924	2573	4274	1574

Fuente: Elaboración propia

Tabla 20. Proyecciones de desechos a recolectar para la zona 4. Año 1996.

AÑO	Desechos recolectados (kg/día)			
	ESCENARIO 1	ESCENARIO 2	ESCENARIO 3	ESCENARIO 4
1996	50389	50389	50389	50389
1997	52189	51613	52593	51209
1998	54052	52864	54884	52033
1999	55980	54144	57264	52859
2000	57974	55453	59738	53689
2001	60038	56793	62309	54521
2002	62173	58162	64981	55354
2003	64383	59563	67757	56189
2004	66669	60995	70641	57023
2005	69034	62459	73636	57857
2006	71481	63957	76748	58690
2007	74013	65488	79981	59521
2008	76633	67054	83338	60348
2009	79343	68654	86825	61172
2010	82147	70290	90446	61991
2011	85047	71963	94206	62804
2012	88048	73673	98110	63610
2013	91152	75420	102164	64408
2014	94363	77206	106373	65196
2015	97685	79031	110742	65974
2016	101121	80897	115278	66740
2017	104155	82803	119986	67492
2018	107279	84751	124873	68230
2019	110498	86741	129945	68951
2020	113813	88774	135209	69653

Fuente: Elaboración propia