



UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE MÉXICO
PROGRAMA DE MAESTRÍA Y DOCTORADO EN INGENIERÍA
INGENIERÍA AMBIENTAL – RESIDUOS SÓLIDOS URBANOS

METODOLOGÍA PARA LA VALORIZACIÓN DE RESIDUOS SÓLIDOS
URBANOS. CASO DE ESTUDIO ATLACOMULCO, ESTADO DE MÉXICO

TESIS
QUE PARA OPTAR POR EL GRADO DE:
MAESTRO EN INGENIERÍA

PRESENTA:
JAVIER ORLANDO AVILÉS SAYAS

TUTOR PRINCIPAL
M. en C. CONSTANTINO GUTIÉRREZ PALACIOS, FACULTAD DE INGENIERÍA
COMITÉ TUTOR
Dra. MARÍA TERESA ORTA LEDESMA, INSTITUTO DE INGENIERÍA
M. en A.I. LANDY IRENE RAMÍREZ BURGOS, FACULTAD DE QUÍMICA

MÉXICO, D. F. OCTUBRE, 2014

JURADO ASIGNADO:

Presidente: DRA. ORTA LEDESMA MARÍA TERESA
Secretario: M. A. I. RAMÍRES BURGOS LANDY IRENE
Vocal: M. I. SOLORZANO OCHOA GUSTAVO
1^{er}. Suplente: M. I. HERNÁNDEZ BARRIOS CLAUDIA PATRICIA
2^{d o}. Suplente: M. C. GUTIÉRREZ PALACIOS CONSTANTINO

Lugar o lugares donde se realizó la tesis: Edificio de Posgrado de la Facultad de Ingeniería y Municipio de Atlacomulco, Estado de México

TUTOR DE TESIS:

M. C. CONSTANTINO GUTIÉRREZ PALACIOS

FIRMA

Dedicatorias

A mis amados padres, Lourdes y Javier, por tanto que me han brindado a lo largo de mi vida que sería imposible expresar mi gratitud, cariño y amor con simples y llanas palabras.

También a mis hermanas, Rosario y Grettel, con las que compartí el inicio de mi vida, nuestra familia, tantas alegrías y el compromiso de preservar y mejorar nuestro mundo.

Finalmente a nuestro futuro, motivo por el cual se desarrolla este trabajo, un futuro que buscamos construir a partir de mejorar nuestro presente.

Agradecimientos

Esta redacción de agradecimientos es extensa porque en verdad tengo mucho que agradecer a tantas personas durante el desarrollo de este trabajo y durante esta etapa de mi vida. En primer lugar agradezco a **DIOS** por esta oportunidad y el incontable número de bendiciones con las que me ha colmado siempre.

Siempre estaré agradecido con ustedes, Javier y Lourdes, porque han sido unos maravillosos PADRES conmigo, gracias por ser los mejores. A ti **mamá** por ser mi fan número uno y a ti **papá** por ser mi mayor ejemplo. Gracias por TODO, por su amor inagotable, su apoyo incansable, su fe inquebrantable, sus consejos invaluable, sus ánimos inmejorables, entre tantas cosas más. Simple y sencillamente sin ustedes no sería la persona que soy hoy en día y las palabras no alcanzan a describir todo lo que siento por ustedes.

A ustedes, mis amadas hermanas, con las cuales a través de este tiempo hemos podido reforzar nuestra relación. A ti **Grettel**, por enseñarme un nuevo estilo de vida, por ayudarme a forjar un respeto mucho mayor hacia los demás, por ser mi cómplice siempre que se lo pido pero sobre todo por tu cariño, aunque a veces los abrazos cueste conseguirlos. También a ti, **Charito**, porque tu tenacidad siempre me ha inspirado a conseguir lo que me propongo, porque siempre tienes un abrazo y una sonrisa desbordados calidez, y por las esporádicas críticas estéticas hacia mi persona.

A mi **familia** por siempre estar presentes en las fiestas y posadas, como en las buenas y en las malas. A mi abuelita Margarita por siempre estar pendiente, y a los que se nos adelantaron porque su amor sigue latente. A todos ustedes primos y tíos, ya sean cercanos o "lejanos", a ustedes que siempre han estado conmigo, siendo amigos de infancia y confidentes de confianza.

También agradezco a todos ustedes que me apoyaron desde el principio en esta aventura, cronológicamente **Ing. Yanet Manzo** por apoyarme y brindarme los medios para iniciar mi vida en el D.F., a la **Familia Calzada Zarate** por abrirme las puertas de su casa cuando ni si quiera sabían quién era y a la **Familia Sánchez Maldonado** por su amistad y atenciones desde que tengo el gusto de conocerlos.

Hermanos míos, **Cohabitantes de la casa de Wary** y a nuestra pequeña, les agradezco el tiempo que hemos compartido en casa, por la camaradería, las historias, las aventuras y las escasas fiestas que ofrecimos, incluidos aquellos que tuvieron que migrar y visitantes distinguidos pero que han dejado marca.

Agradezco a todos ustedes, mis **compañeros del Posgrado**, ya sean de la generación 2013-I, previas, posteriores o ajenas con los que he aprendido tanto dentro como fuera de las aulas y a todos los que nos han apoyado. Con ustedes he compartido mucho, momentos de estrés y de felicidad, viajes y encuentros, retos de paciencia y estima, exámenes y fiestas, con los cuales me he hermanado, gracias por tanto.

A mis **amigos** que no dejan de estar pendientes sin importar nuestro lugar de residencia porque es una amistad sin distancias con los que seguirán las historias, también gracias a ustedes que se unen recientemente a mi familia y a todos que me han acompañado en este viaje. También gracias al equipo de **Acción Agua** por recordarme el compromiso que me hice desde antes de la licenciatura.

De manera especial:

A usted, **M. en C. Constantino Gutiérrez Palacios**, le agradezco profundamente el permitirme trabajar con usted, por su confianza, sus consejos, su tiempo, su paciencia y las oportunidades brindadas a lo largo de mis estudios y el desarrollo de este trabajo.

De igual manera al resto de mi jurado que con sus comentarios y consejos me han permitido crecer como profesional y que han dedicado parte su valioso tiempo para mejorar este escrito:

Dra. María Teresa Orta Ledesma por sus puntuales observaciones desde la primera revisión de este trabajo y su apoyo para la obtención de información fundamental para brindarle un mejor sustento.

M. en A. I. Landy Irene Ramírez Burgos por el apoyo proporcionado durante este tiempo y la confianza, ánimo y respaldo brindado durante cada avance presentado de este trabajo hasta su actual culminación.

M. en I. Gustavo Solorzano Ochoa también por aceptar unirse a mi jurado ampliado y aportar su experiencia y tiempo en la meticulosa revisión de este trabajo. De igual manera por su paciencia y su disposición para solucionar mis dudas.

M. en I. Claudia Patricia Hernández Barrios por permitirme participar en el Curso para la elaboración de Programas Municipales para la Prevención y Gestión Integral de Residuos Sólidos Urbanos para municipios del Estado de México, impartido por GIZ, en donde seguí aprendiendo bajo su vigilancia y en donde conseguimos nuestro caso de estudio.

También les agradezco **Ing. Alfonso Ordoñez Suárez, a Pablo Ortiz López y Carlos Tapia Alcántara** equipo responsable del Programa Municipal para la Prevención y Gestión Integral de Residuos Sólidos Urbanos y de Manejo Especial del Municipio de Atlacomulco período 2013 – 2015 por las facilidades brindadas para el desarrollo del caso de estudio.

De igual manera a **ti lector**, te agradezco de antemano por consultar mi trabajo el cual espero te sea de beneficio y segundo por ayudarme a distribuir este material con las personas a las que consideres le pueda ser útil.

Por último, gracias a la empresa que no me renovó el contrato hace algunos años, porque gracias a eso replanteé mi vida y toma una de las que hasta ahora considera una de las mejores decisiones de mi vida, estudiar esta Maestría y vivir toda la aventura que ello conlleva.

“Un puma en el pecho, pero un halcón en el corazón”

Índice

Contenido

Índice	I
Índice de Tablas.....	V
Índice de Imágenes	VI
Siglas y abreviaciones.....	VIII
Capítulo I. Introducción.....	1
1.1 Planteamiento del problema	2
1.2 Justificación.....	2
1.2 Objetivos	3
1.2.1 General	3
1.2.2 Particulares	3
1.3 Metas	3
1.4 Alcances	4
1.5 Resultados esperados.....	4
Capítulo II Antecedentes.....	5
2.1 Bases legales y de política	5
2.1.1 Ley General del Equilibrio Ecológico y la Protección Ambiental	5
2.1.2 Ley General para la Prevención y Gestión Integral de los Residuos.....	6
2.1.3 Reglamento de la Ley General para la Prevención y Gestión Integral de los Residuos6	
2.1.4 Normas aplicables.....	6
2.1.5 Leyes estatales relacionadas a la Prevención y Gestión Integral de los Residuos.....	7
2.1.6 Política y estrategias para la prevención y gestión integral de residuos en México ...	7
2.1.7 Programa Nacional para la Prevención y Gestión Integral de los Residuos (PNPGIR) 2009-2012.....	8
2.1.8 Documentos internacionales vinculantes.....	9
2.1.9 Plan estratégico sectorial para la gestión integral de residuos sólidos en México	9
2.1.10 Programa especial de producción y consumo sustentable	10
2.2 Características y gestión de los residuos sólidos urbanos	11
2.2.1 Generación y composición de residuos sólidos urbanos.....	11

2.2.2 Gestión integral de residuos sólidos urbanos.....	12
2.3 Manejo integral de los residuos sólidos urbanos.....	13
2.3.1 Generación.....	14
2.3.2 Recolección.....	14
2.3.3 Transporte	14
2.3.4 Estación de transferencia	15
2.3.5 Tratamiento	15
2.3.6 Disposición final ambientalmente adecuada.....	15
2.4 Valorización de residuos sólidos urbanos	16
2.4.1 Estrategias para la gestión integral y valorización de residuos	16
2.4.2 Experiencia con programas de valorización de residuos.....	19
2.4.4 Residuos sólidos urbanos valorizados en México.....	21
2.4.5 Procesos para la valorización de residuos	22
Reciclado de materiales.....	23
Compostaje.....	25
Capítulo III Metodología.....	28
3.1 Visitas a localidades en el país con sistemas de valorización de residuos.....	28
3.2 Visitas a instalaciones de reciclaje	28
3.3 Visitas a dos plantas de valorización de residuos orgánicos biodegradables municipales.....	29
3.4 Determinación de las etapas para la valorización de los residuos sólidos urbanos	29
3.5 Determinación de las características para la entrega final de los residuos al proceso de valorización	29
3.6 Determinación de los participantes de un programa de valorización y sus funciones.....	30
3.7 Establecer una jerarquía de procesos para la valorización de residuos	30
3.8 Desarrollo de un diagrama de toma de decisiones para el proceso de valorización de residuos	30
3.9 Establecimiento de una metodología para el desarrollo de programas de valorización enfocados en residuos sólidos urbanos	31
3.10 Desarrollo de un programa de valorización enfocado en residuos sólidos urbanos en una localidad con base en la metodología obtenida	31
Capítulo IV. Desarrollo y resultados.....	32
4.1 Visita a municipios con programas de valorización de residuos.....	32
4.1.1 Municipio de Teocelo, Veracruz	32

4.1.2 Municipio de Orizaba.....	36
4.2 Resultado de la visita a instalaciones de reciclaje.....	39
4.3 Resultado de la visita a instalaciones de valorización de residuos sólidos orgánicos urbanos	39
4.3.1 Planta de Compostaje de la Delegación de Xochimilco, México D.F.	39
4.3.2 Planta de compostaje de Ciudad Universitaria, Universidad Nacional Autónoma de México	40
4.4 Etapas de la planeación de un programa de valorización de residuos sólidos urbanos	40
4.5 Características para la entrega final de los residuos al proceso de valorización.....	42
4.6 Participantes y sus roles dentro de un programa de valorización de residuos.....	43
4.7 Jerarquía de los procesos de valorización	46
Capítulo V. Propuesta de metodología para el desarrollo de programas de valorización enfocados en residuos sólidos urbanos.....	49
5.1 Líneas estratégicas	50
5.1.1 Objetivos.....	51
5.1.2 Alcances.....	52
5.2 Estado y proyección del manejo de los residuos en la zona	53
5.2.1 Antecedentes.....	53
5.2.2 Generación, composición y peso volumétrico	54
5.2.3 Proyección de la población y la generación.....	58
5.2.4 Descripción del sistema actual de manejo de residuos sólidos.....	59
5.2.5 Demanda de materiales.....	60
5.2.6 Reintegración de líneas estratégicas	62
5.3 Determinación de la valorización por tipo de subproducto.....	62
5.4 Definición de la motivación social	66
5.5 Determinación del sistema de separación de residuos.....	67
Capítulo VI Caso de estudio	71
6.1 Características del municipio de Atlacomulco.....	71
6.1.1 Geográficas.....	71
6.1.2 Características socio económicas.....	74
6.2 Líneas estratégicas.....	76
6.2.1 Objetivos	76

6.2.2	Alcances.....	77
6.3	Estado y proyección del manejo de los residuos en la zona	77
6.3.1	Antecedentes	78
6.3.2	Generación, composición y peso volumétrico	82
6.3.3	Proyección de la población y la generación	86
6.3.4	Descripción del sistema actual de manejo.....	87
6.3.5	Demanda de materiales	92
6.4	Determinación de la valorización por material	95
6.5	Definición de la motivación social	98
6.6	Determinación del sistema de separación de residuos.....	99
Capítulo VII. Conclusiones.....		102
Bibliografía		105
Anexo I Propuesta de tabla modificada de la NMX-AA-022-1985 Selección y clasificación de subproductos		116

Índice de Tablas

Tabla 1 Generación de RSU por tipo de localidad.....	12
Tabla 2 Composición de los residuos sólidos general nacional	12
Tabla 3 Porcentaje de residuos valorizados por los países miembros de la OECD.....	20
Tabla 4 Materiales incluidos más frecuentemente en programas municipales de reciclado.....	22
Tabla 5 Especificaciones de materiales.....	24
Tabla 6 División de residuos en el municipio de Teocelo, Veracruz	34
Tabla 7 Participación de las entidades involucradas en el manejo de los residuos sólidos urbanos	44
Tabla 8 Algoritmo para desarrollar la proyección de población y generación de residuos.....	58
Tabla 9 Potencial uso de suelo en el municipio	73
Tabla 10 Derechohabiencia en la localidad de Atlacomulco de Fabela	75
Tabla 11 Composición de los residuos generados en la comunidad de Cuendo, Atlacomulco, Estado de México.....	84
Tabla 12 Proyección de la población y la generación de residuos en la localidad de Cuendo, Atlacomulco, Estado de México.....	86
Tabla 13 Tipo de contenedor utilizado en Atlacomulco de Fabela de acuerdo al estrato socioeconómico	89
Tabla 14 Aspectos para la recolección de residuos en Atlacomulco de Fabela.....	90
Tabla 15 Personal de la Dirección de Servicios Públicos involucrados en la gestión de residuos	90
Tabla 16 Personal del Departamento de Barrido.....	91
Tabla 17 Personal del Departamento de Recolección	91
Tabla 18 Vehículos de recolección de residuos del municipio.....	91
Tabla 19 Precio de compra de materiales en la localidad.....	94
Tabla 20 Empresas para la valorización de materiales en el listado Directorio de Recicladores de SEMARNAT en Atlacomulco y cercanos	94
Tabla 21 Relación de empresas aprovechadores en el parque industrial de Atlacomulco	95
Tabla 22 Propuesta para el manejo de los residuos generados en Atlacomulco de Fabela.....	97

Índice de Imágenes

Imagen 1 Esquema general del manejo de residuos	13
Imagen 2 Fases de la fermentación anaeróbica.....	26
Imagen 3 Ubicación del municipio de Teocelo, Veracruz	33
Imagen 4 Contenedores para materiales de manejo especial.....	34
Imagen 5 Camas de lombrí composta en Teocelo, Veracruz	35
Imagen 6 Ubicación de la Ciudad de Orizaba, Veracruz.....	36
Imagen 7 Vale de recepción de residuos para el programa Basura y Predial.....	38
Imagen 8 Jerarquía del manejo de residuos sólidos urbanos	46
Imagen 9 Jerarquía de procesos para la valorización de residuos sólidos urbanos.....	48
Imagen 10 Diagrama general de las etapas de un programa de valorización	50
Imagen 11 Diagrama para el desarrollo de antecedentes	55
Imagen 12 Diagrama para realizar el estudio de generación y composición	57
Imagen 13 Diagrama de múltiples vías para el desarrollar un modelo de manejo de residuos.....	59
Imagen 14 Diagrama para la determinar la demanda de materiales	61
Imagen 15 Diagrama para determinar el sistema de valorización de materiales.....	65
Imagen 16 Diagrama para determinar el sistema de segregación de residuos	70
Imagen 17 Ubicación del municipio de Atlacomulco	72
Imagen 18 Uso de suelo en el municipio	72
Imagen 19 Mapa del uso de suelo en el municipio.....	73
Imagen 20 Escolaridad de la población mayor a 15 años en Atlacomulco de Fabela.....	74
Imagen 21 Distribución de la religión de la población	75
Imagen 22 Viviendas particulares habitadas con servicios de electricidad y comunicación	76
Imagen 23 Diagrama para la generación de antecedentes de Atlacomulco de Fabela	79
Imagen 24 Diagrama para desarrollo del estudio de generación y composición del municipio de Atlacomuldo	83
Imagen 25 Gráfica de la composición de residuos.....	85
Imagen 26 Diagrama de manejo de residuos de Atlacomulco de Fabela	87
Imagen 27 Diagrama de la Dirección de Servicios Públicos	88
Imagen 28 Organigrama de la Dirección de Servicios Públicos del municipio de Atlacomulco.....	89
Imagen 29 Ubicación del sitio de disposición final dentro del municipio de Atlacomulco.....	92
Imagen 30 Diagrama para ubicar la demanda de materiales en la zona	93

Imagen 31 Determinación del proceso de la valorización de residuos.....	96
Imagen 32 Diagrama para el sistema de separación de residuos en Atlacomulco de Fabela	100
Imagen 33 Volante para la campaña de publicidad	101

Siglas y abreviaciones

ANAAE	Asociación Nacional de Autoridades Ambientales Estatales
BID	Banco Internacional de Desarrollo
ByP	Programa Basura y Predial
CRETIB	Características de corrosividad, reactividad, explosividad, toxicidad, inflamabilidad o de agentes infeccioso
DIBASA	Desechos Industriales Bautista S.A. de C.V.
GIZ	Cooperación Alemana al Desarrollo
GTZ	Agencia Alemana de Cooperación Técnica
INECC	Instituto Nacional de Ecología y Cambio Climático
II	Instituto de Ingeniería de la UNAM
JICA	Agencia de Cooperación Internacional de Japón
NMX	Norma Mexicana
NOM	Normas Oficiales Mexicanas
LGEEPA	Ley General del Equilibrio Ecológico y la Protección al Ambiente
LPGIR	Ley General para la Prevención y Gestión Integral de los Residuos
OECD	Organización para la Cooperación y el Desarrollo Económicos
PEAD	Polietileno de Alta Densidad
PEBD	Polietileno de Baja Densidad
PET	Polietileno Tereftalato
PMPGIRSU	Programa Municipal para la Gestión Integral de Residuos Sólidos Urbanos
PP	Polipropileno
PS	Poli estireno
PVC	Policloruro de Vinilo
RLPGIR	Reglamento de la Ley General para la Prevención y Gestión Integral de los Residuos
RME	Residuos de Manejo Especial
RP	Residuos Peligrosos
RSU	Residuos Sólidos Urbanos
SEMARNAT	Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales
SIMEPRODE	Sistema Integral para el Manejo Ecológico y Procesamiento de Residuos
UAM	Universidad Autónoma Metropolitana
UNAM	Universidad Nacional Autónoma de México
VERSUS	Valorización enfocada en residuos sólidos urbanos

Capítulo I. Introducción

Nuestra sociedad ha evolucionado a lo largo del tiempo debido a sus necesidades y al desarrollo tecnológico que ha surgido de esta; uno de los precedentes históricos más importantes es la denominada Revolución Industrial durante el siglo XVIII, gracias a ella se dio una explosión demográfica y económica que produjo un gran desarrollo y urbanización en las ciudades.

Las ciudades emergentes empezaron a tener la necesidad de nuevos productos de consumo, debido a ello la economía se basó en dicha actividad, llegando a desarrollar una cultura de usar y tirar. Estos factores influyen en la aceleración de generación de residuos y de su complejidad, evitando poder reingresarlos a los procesos naturales para su asimilación, lo cual orillo a la población a manejar estos de manera distinta, Universidad Nacional de Educación a Distancia (UNED, 2012).

Dichos productos son llamados residuos y la legislación mexicana los define como cualquier material o producto cuyo propietario o poseedor desecha y que se encuentra en estado sólido o semisólido, o un fluido contenido en recipientes o depósitos, y que puede ser susceptible de ser valorizado o requiere sujetarse a tratamiento o disposición final (SEMARNAT, 2003).

Una de las maneras más populares de manejar estos productos es disponiéndolos en sitios para controlar sus impactos ambientales, los cuales idealmente no estarán cerca de algún núcleo de población (SEMARNAT, 2004). En países desarrollados este método se complementa con una fase previa de la cual reduce el volumen de los residuos, reduciendo la demanda de espacio para la disposición final.

A pesar de la difusión de los métodos mencionados, estos no son una solución sostenible debido a que los materiales de los cuales están constituidos los residuos son inmovilizados evitando su retorno a la cadena de producción y consumo, lo cual demanda una extracción de nuevos materiales, provocando así la generación de más residuos que en el mejor de los casos también serán dispuestos en un relleno sanitario en condiciones apropiadas de operación.

Actualmente se ha dado una creciente preocupación en todos los sectores de la sociedad por este problema y se han desarrollado técnicas para evitar la disposición final de residuos y re utilizar sus materiales en la producción de nuevos productos, tales como el reuso, el reciclado, el compostaje y maneras de aprovechamiento térmico.

Este proceso necesita una fuerte planeación para alcanzar el objetivo de valorizar los residuos generados de una manera ambientalmente responsable, económicamente factible y socialmente activa. Para esto es básico el apoyo de metodologías especializadas y el intercambio de experiencias para el desarrollo de dichos programas.

1.1 Planteamiento del problema

Actualmente en el país no se cuentan con la infraestructura suficiente para el manejo adecuado de los residuos sólidos, siendo una de las razones de que sólo se disponga el 78.53% de los residuos generados en el país. El problema de la infraestructura es mayor si se considera que no todos los sitios donde se disponen los residuos cuentan con las características técnicas necesarias para reducir el impacto ambiental que genera su operación.

Aun contado con sitios para la disposición final de los residuos generados en el país estos presentan dos grandes problemas; el primero es la necesidad de espacio para su construcción y operación, el cual pierde su atractivo económico y limita su uso al término de su vida útil; y el segundo es que los residuos al estar confinados no pueden ser valorizados materialmente y su valorización energética y económica es muy limitada.

De acuerdo a la Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales (SEMARNAT) y al Instituto Nacional de Ecología y Cambio Climático (INECC) las fracciones de los residuos generados en el país se dividen en 37.97 % de orgánicos, 39.97% potencialmente reciclables y 19% de otros (INECC, 2012). De acuerdo a estos datos idealmente el 77.94%% de los residuos en México pueden ser valorizados.

En contraste al potencial de residuos valorizables durante el 2012 solo el 5% de los generados fue valorizado; lo cual se encuentra lejos de los niveles de otros países miembros de la Organización de Cooperación Económica y Desarrollo (OECD, por sus siglas en inglés) como Suiza que al año 2005 alcanzo niveles superiores al 70% de valorización en varios residuos (OECD, 2009).

1.2 Justificación

Las políticas y programas desarrollados actualmente contemplan el principio de valorización de los residuos por medio de acciones ambientalmente adecuadas, técnicamente factibles, económicamente viables y socialmente aceptables. Dichas herramientas se ven limitadas operativamente debido a que en recurrentes ocasiones los responsables del manejo de residuos carecen de información y preparación para la aplicación del principio.

Hasta ahora la SEMARNAT en conjunto con la Cooperación Alemana al Desarrollo (GIZ) han desarrollado guías para la gestión integral de residuos y para el desarrollo de programas de prevención y gestión integral de residuos donde se contempla la valorización de los mismos, pero la profundidad con que se desarrolla es escasa, limitando el alcance de las mismas.

Otra característica en el país que limita el desarrollo de dichos programas es que la gestión municipal dura tres años y al momento existen pocos organismos descentralizados para el manejo de residuos en los municipios, la mayoría de los existentes se encuentran en la zona norte del país así como en el estado de Jalisco; lo cual implica que la mayoría de los ejecutantes del programa cuenten con poca experiencia durante la planeación y operación.

Actualmente existen diversos programas de valorización de residuos en el país en municipios con características muy distintas entre sí y que han generado resultados positivos; dichos resultados

son métodos, técnicas, acciones y estrategias diferentes en cada municipio debido a la variación de sus características.

Debido a lo expuesto anteriormente, este trabajo busca ofrecer a los municipios una guía técnica flexible para el desarrollo de sus planes de valorización de residuos sólidos urbanos. De igual manera muestra a los tomadores de decisiones las opciones para desarrollar dicho programa y optimizar los recursos con los que cuenta cada región.

1.3 Objetivos

1.3.1 General

Generar una metodología que guíe y facilite el desarrollo de programas enfocados en la valorización de residuos sólidos urbanos a nivel municipal, la cual se base en la experiencia de múltiples programas de valorización nacionales y extranjeros.

1.3.2 Particulares

- Determinar los factores que influyen en la valorización de residuos sólidos urbanos en el país observando los distintos sistemas de valorización para desarrollarlos a lo largo de la metodología de valorización.
- Generar un esquema general para el desarrollo de un programa de valorización de residuos sólidos urbanos de acuerdo a los elementos fundamentales observados en distintos programas establecidos de esta índole.
- Determinar las actividades que desempeña cada participante dentro del esquema general de la valorización de residuos sólidos urbanos para determinar su relevancia durante la operación de un programa de valorización.
- Establecer la jerarquía de las actividades de valorización de residuos sólidos urbanos aplicadas en México de acuerdo a su aplicación en los programas establecidos, así como su viabilidad ambiental, técnica y económica.
- Proponer los elementos base para un programa de valorización de residuos sólidos urbanos en el municipio de Atlacomulco, Estado de México como caso de estudio aplicado de la metodología propuesta.

1.4 Metas

- Generar un documento integral y flexible para el desarrollo de programas de valorización enfocados en residuos sólidos urbanos a nivel municipal.
- Desarrollar el programa de valorización enfocado en residuos sólidos urbanos para el municipio de Atlacomulco, Estado de México
- Determinar los demandantes de productos valorizables de los residuos sólidos urbanos en la zona del municipio de Atlacomulco, Estado de México.

1.5 Alcances

- En el estudio se considerarán a los RSU, así como aquellos que tengan características de los primeros pero que por su volumen de generación en fuente se clasifican como residuos de manejo especial.
- El estudio de la demanda de materiales se desarrollará únicamente para el municipio de Atlacomulco, Estado de México, México.
- Se desarrollará con especificaciones para municipios con más de 18,000 habitantes, los cuales son considerados como urbanos.

1.6 Resultados esperados

- Metodología para la elaboración de programas de valorización enfocados en residuos sólidos urbanos a nivel municipal.
- Desarrollo del programa de valorización de residuos sólidos urbanos del municipio de Atlacomulco, Estado de México, México.

Capítulo II Antecedentes

Los residuos sólidos urbanos (RSU), su gestión y tratamiento descansan en tres pilares: el primero de ellos es el normativo, el cual indica las obligaciones impuestas por la autoridad en la gestión de estos residuos; el segundo es el técnico, el cual indica la manera en que son manejados y el tercero es el social, este confiere características específicas a los residuos así como determina la participación de la población en el proceso.

2.1 Bases legales y de política

La legislación ambiental es el conjunto de normas y principios establecidos por el Estado que tienen la finalidad de regular la conducta humana para lograr el equilibrio entre las relaciones del hombre y el ambiente, con el fin de lograr un ambiente sano y un desarrollo sostenible (Andaluz, 2006).

En nuestro país la legislación ambiental descansa sobre tres artículos de la Constitución Política de los Estados Unidos Mexicanos. Estos son el 27, bajo la idea de la conservación de los recursos naturales, el 73 en su fracción XVI que establece la idea de prevención y control de la contaminación ambiental y el 25 en su párrafo sexto donde se maneja la idea de protección al ambiente (Ordaz Avilés, 2003).

En los años 40 se promulga la Ley de la Conservación de Suelo y Agua; 30 años después, en 1972 se promulga la Ley para Prevenir y Controlar la Contaminación Ambiental, en 1982 la Ley Federal para la Protección al Ambiente y finalmente en 1988 se publica la Ley General del Equilibrio Ecológico y la Protección al Ambiente que también es la base de donde emana la legislación entorno a los residuos sólidos urbanos en el país (SEMARNAT, 2010).

2.1.1 Ley General del Equilibrio Ecológico y la Protección Ambiental

El objetivo principal de la Ley General del Equilibrio Ecológico y la Protección Ambiental (LGEEPA) es propiciar el desarrollo sustentable y el establecimiento de bases para garantizar el derecho de toda persona a vivir en un medio adecuado para su desarrollo, salud y bienestar; la preservación, la restauración y el mejoramiento del ambiente; el uso eficiente del ambiente; la prevención y el control de la sociedad con la preservación de los ecosistemas; entre otras (SEMARNAT, 1988).

En el numeral III del artículo 134 de esta ley se manifiesta que es necesario prevenir y reducir la generación de residuos sólidos municipales e industriales; incorporar técnicas y procedimientos para su reuso y reciclaje, así como regular su manejo y disposición final eficientes.

De acuerdo a su artículo 8, expresa que corresponde a los municipios las disposiciones relativas a la prevención y control de los impactos producidos por la gestión de los residuos sólidos e industriales no considerados como no peligrosos; y en el 137 se otorga la autorización y funcionamiento del sistema de gestión establecido en su territorio.

2.1.2 Ley General para la Prevención y Gestión Integral de los Residuos

La Ley General para la Prevención y Gestión Integral de los Residuos (LGPGIR) en esencia cuenta con el mismo objetivo que la LGEEPA, garantizar el derecho de toda persona al medio ambiente adecuado y propiciar el desarrollo sostenible; difiere debido a que se enfoca a realizarlo por medio de la prevención de la generación, valorización y la gestión integral de los residuos; prevenir la contaminación de sitios por residuos y llevar a cabo su remediación.

En esta Ley se encuentran definidos los tres tipos de residuos que contempla la normatividad mexicana: residuos sólidos urbanos, residuos de manejo especial y los residuos peligrosos. Se contemplan las características de cada uno y la competencia correspondiente entre los tres órdenes de gobierno para su gestión.

El Título IV de la LGPGIR establece los instrumentos de la política de prevención y gestión integral de los residuos; en este título se abordan los programas para la prevención y gestión integral de los residuos, los planes de manejo y la participación social y el derecho a la información de todos los involucrados e interesados en el tema.

En el artículo 99 se establece que los municipios llevarán a cabo las acciones necesarias para la prevención de la generación, valorización y en general, la gestión integral de los residuos sólidos urbanos, considerando las obligaciones de los generadores, los requisitos para el manejo integral y los ingresos que deben obtenerse por brindar el servicio de su manejo integral (SEMARNAT, 2003).

2.1.3 Reglamento de la Ley General para la Prevención y Gestión Integral de los Residuos

Tiene como función reglamentar la LGPGIR. Este reglamento se centra en dos ámbitos, el primero son los planes de manejo de los cuales pueden ser objetos los distintos tipos de residuos y en segundo todas las disposiciones asociadas con los residuos peligrosos, lo cual incluye su generación, recolección, traslado y disposición final; también incluye las directrices para la importación y exportación de estos.

De igual manera incluye los apartados de residuos provenientes de la industria metalúrgica, la remediación de sitios contaminados y las medidas de control y seguridad en conjunto a las infracciones y sanciones aplicables en el tema (SEMARNAT, 2006).

2.1.4 Normas aplicables

Las normas aplicables a los residuos sólidos urbanos se dividen en Normas Oficiales Mexicanas (NOM) las cuales son de observancia obligatoria a nivel nacional y las Normas Mexicanas (NMX) las cuales son documentos técnicos de calidad acerca de procesos, productos, servicios, sistemas, métodos de prueba, entre otros, estas pueden ser referidas o sugeridas por la legislación obligatoria. Las aplicables al tema de RSU son:

-

- Normas Oficiales Mexicanas
 - NOM-083-SEMARNAT-2003, especificaciones de protección ambiental para la selección del sitio, diseño, construcción, operación, monitoreo, clausura y obras complementarias de un sitio de disposición final de residuos sólidos urbanos y de manejo especial. Actualmente se encuentra en revisión.
 - NOM-161-SEMARNAT-2011, que establece los criterios para clasificar a los Residuos de Manejo Especial y determinar cuáles están sujetos a Plan de Manejo; el listado de los mismos, el procedimiento para inclusión o exclusión a dicho listado; así como los elementos y procedimientos para la formulación de los planes de manejo. Se considera debido a que algunos RSU se clasifican como RME debido a su volumen de generación.
- Normas Mexicanas
 - NMX-AA-015-1985, método de cuarteo
 - NMX-AA-016-1984, determinación de humedad
 - NMX-AA-018-1984, determinación de cenizas
 - NMX-AA-019-1985, peso volumétrico “in situ”
 - NMX-AA-021-1984, determinación de la materia orgánica
 - NMX-AA-022-1985, selección y cuantificación de subproductos
 - NMX-AA-024-1984, determinación de nitrógeno total
 - NMX-AA-025-1984, determinación del pH – método potenciométrico
 - NMX-AA-031-1976, determinación de azufre en desechos sólidos
 - NMX-AA-032-1976, determinación de fósforo total en desechos sólidos
 - NMX-AA-033-1985, determinación de poder calorífico superior
 - NMX-AA-061-1985, determinación de la generación

2.1.5 Leyes estatales relacionadas a la Prevención y Gestión Integral de los Residuos

Cada estado de la Federación y el Distrito Federal han desarrollado normatividad ambiental para sus territorios, en el tema de residuos algunos han dado un paso adelante generando su propia Ley para la Gestión Integral de Residuos, así como programas de la misma índole; incluso algunos cuentan con normatividad especializada para determinados tipos de residuos (Leyes y poderes estatales, 2012).

Un caso particular es el Distrito Federal debido a la gran generación de residuos que se presenta en su territorio y la necesidad de su manejo, actualmente cuenta con múltiples normas al respecto, y se espera que próximamente se apruebe la NADF-020-020 será la norma para la regularización de compostaje (GIREVOL, 2012).

2.1.6 Política y estrategias para la prevención y gestión integral de residuos en México

El objetivo general de este documento es contribuir a la conservación y recuperación de los recursos naturales y la minimización de los impactos y riesgos a la salud y al medio ambiente, a

través de la prevención y gestión integral de los residuos por medio de estrategias que se establecen en los tres niveles de gobierno en conjunto con las siguientes líneas de acción:

- La ponderación de la sociedad en general a través de educación y capacitación, fortalecimiento de la investigación, formación de redes y acceso a la información.
- La intervención del sector privado a través de la responsabilidad compartida e inversión en el sector a través de la valorización de los residuos y fomentando su participación por medio de distintos incentivos
- La ampliación del marco legal en toda la cadena de producción, la regulación de los residuos y el fortalecimiento de la fiscalización (SEMARNAT, 2007).

2.1.7 Programa Nacional para la Prevención y Gestión Integral de los Residuos (PNPGIR) 2009-2012

El programa fue elaborado por la SEMARNAT en conjunto con otras dependencias de la administración pública federal, la Asociación Nacional de Autoridades Ambientales Estatales (ANAAE), representantes de autoridades municipales y de los sectores académicas, sociales y privadas.

Dentro del programa se consideran los siguiente 13 principios de política: 1) Principio de autosuficiencia, 2) Principio de desarrollo sustentable, 3) Principio de prevención y minimización, 4) Principio de aprovechamiento y valorización, 5) Principio de manejo seguro y ambientalmente adecuado, 6) Principio de comunicación, educación y capacitación, 7) Principio de información, 8) Principio de participación social, 9) Principio de responsabilidad compartida, 10) Principio de quien contamina paga, 11) Principio de desarrollo tecnológico, 12) Principio de armonización de las políticas y 13) Principio precautorio.

El objetivo principal del programa es

“Contribuir al desarrollo sustentable de México a través de una política ambiental de residuos basada en la promoción de cambios en los modelos de producción, consumo, y manejo, que fomenten la prevención y gestión integral de los residuos sólidos urbanos, de manejo especial, peligrosos y minero-metalúrgicos; a través de acciones de prevención y minimización de la generación, separación de residuos en la fuente, reutilización y reciclado, la valorización material y energética, hasta la disposición final restringida y apropiada de los residuos en la fuente, reutilización y reciclado, la valorización material y energética, hasta la disposición final restringida y apropiada de los residuos como última opción. Lo anterior, enmarcado en sistemas de gestión integral que incorporen esquemas de responsabilidad compartida y diferenciada de los diferentes actores de la sociedad, con acciones ambientalmente adecuadas, técnicamente factibles, económicamente viables y socialmente aceptadas”

2.1.8 Documentos internacionales vinculantes

México ha firmado distintos acuerdos internacionales en materia de residuos, aunque varios han sido relacionados con los residuos peligrosos, como el Acuerdo de Cooperación Ambiental de América del Norte, el Convenio de Estocolmo sobre contaminantes orgánicos persistentes, el Convenio de Basilea sobre el control de los movimientos transfronterizos de desechos peligrosos y su disposición, así como el Convenio de Minamata sobre el Mercurio.

En lo que respecta a la gestión de residuos sólidos urbanos encontramos la Conferencia de Río sobre Medio Ambiente y Desarrollo (Agenda 21) que entre otros puntos busca la gestión racional de los residuos peligrosos y los residuos sólidos.

También debe citarse la Cumbre de Johannesburgo sobre Desarrollo Sostenible, en el cual México se compromete a implementar el “Plan de Aplicación de las Decisiones de la Cumbre Mundial sobre Desarrollo Sostenible”, dicho plan cuenta con acciones sobre consumo y producción sustentable que involucran la planeación urbana y el manejo de los residuos.

El 21 de noviembre del 2006 México firma la minuta del proyecto “Desarrollo de Políticas de Manejo de Residuos incorporando el Principio de las 3R’s” en el marco del Convenio sobre la Cooperación Técnica entre el gobierno de Japón y México, la Agencia de Cooperación internacional del Japón (JICA) por Japón y el Instituto Nacional de Ecología por México (SEMARNAT, 2009).

2.1.9 Plan estratégico sectorial para la gestión integral de residuos sólidos en México

Este surge en el marco de la Iniciativa de Agua y Saneamiento (GN-2446-2) del Banco Interamericano de Desarrollo (BID) que tiene por objeto apoyar a los países de América Latina y el Caribe a ampliar la cobertura de los servicios de agua potable y saneamiento en forma eficiente y sostenible.

Dentro del plan se identifican el conjunto de acciones que se piensa pueden contribuir a:

- Lograr los objetivos de acceso universal y servicios sostenibles
- Establecer las necesidades y fuentes de financiamiento
- Identificar las áreas de vinculación potencial del Banco que aseguren un apoyo efectivo al cumplimiento de tales objetivos

El plan se desarrolla a lo largo de cinco vertientes que a su vez cuentan con distintos objetivos para el desarrollo del plan, a continuación se presentan los elementos que deben tomarse en cuenta para el desarrollo de un programa de valorización:

- Vertiente financiera
 - Fomento a la inversión de empresas privadas que contribuyan a la Gestión Integral de Residuos Sólidos (GIRS)
- Vertiente económica y de mercado
 - Mercado abierto para la valorización material de residuos

- Fomento a la cogeneración de energía a partir de residuos
- Adquisiciones y contrataciones públicas que detonen mercados del reciclaje
- Vertiente de fortalecimiento de capacidades gubernamentales
 - Organismos operadores descentralizados para la gestión y manejo de residuos de residuos de competencia municipal
- Vertiente de mejora regulatoria y simplificación administrativa
 - Debe fortalecerse la normatividad respecto a la valorización de los residuos
- Vertiente de fortalecimiento de sistemas de manejo de RSU
 - Implantación universal de la separación de residuos en el origen
 - Adecuación de residuos orgánicos y demás residuos destinados a valorización o disposición final de ciudades grandes y pequeñas
 - Fomento de plantas de compostaje o tratamiento anaerobio de residuos orgánicos con aprovechamiento del biogás y de empresas sociales en las que pepenadores y grupos sociales contribuyan a la valorizar residuos

2.1.10 Programa especial de producción y consumo sustentable

Dentro de los objetivos para construir un México prospero del Plan Nacional de Desarrollo 2012 - 2018, se establece la necesidad de impulsar y orientar el desarrollo sostenible dentro del país, permitiendo la conservación de nuestro patrimonio al tiempo que se generen riquezas, competitividad y empleo, en base a esto se desarrolla el Programa Especial de Producción y Consumo Sustentable (PEPyCS).

Dentro de este se establece que la producción debe desarrollarse con observancia del análisis de ciclo de vida del producto, buscando la reducción de uso de los recursos naturales y evitando la utilización de materiales tóxicos y la generación de residuos sólidos. Este documento busca orientar a los distintos sectores nacionales para alcanzar estilo de vida y patrones de producción y consumo sustentables.

2.2 Características y gestión de los residuos sólidos urbanos

Los residuos sólidos urbanos (RSU) son los generados en las casas habitación, que resultan de la eliminación de los materiales utilizados en actividades domésticas, de los productos que se consumen y de sus envases, embalajes o empaques. También se incluyen los residuos que provienen de cualquier otra actividad dentro de establecimientos o en la vía pública que genere residuos con características domiciliarias, y los resultantes de la limpieza de las vías y lugares públicos (SEMARNAT, 2003).

Serán considerados de esta manera, siempre que no sean clasificados por la Ley de otra manera, ya sean Residuos Peligrosos (RP), los cuales por definición cuentan con alguna de las siguientes características: corrosividad, explosividad, toxicidad, inflamabilidad o que contengan agentes biológico infecciosos (CRETIB); y los Residuos de Manejo Especial (RME) que son los que no cuentan con características CRETIB pero no pueden considerarse como RSU o se encuentran definidos como tales por las autoridades estatales.

2.2.1 Generación y composición de residuos sólidos urbanos

De acuerdo con la LGPGIR la generación es la acción de producir residuos a través del desarrollo de procesos productivos o de consumo, de igual manera en la NMX AA 091 1987 la generación es definida como la cantidad de residuos originados por una determinada fuente en una unidad de tiempo; las unidades de este valor variaran de acuerdo a las necesidades del gestor.

La principal razón para determinar la cantidad de RSU generados es la de obtención de datos para desarrollar e implementar sistemas de gestión de residuos eficientes y adecuados en la zona donde se implementen (Tchobanoglous, 1993). Estos datos permiten determinar junto con otras variables el tamaño de contenedores, frecuencia de recolección necesaria, tamaño de estaciones de transferencia y sitios de disposición final.

La composición de los residuos es la identificación en una base másica o volumétrica la cantidad de sus distintos componentes, dicha cantidad regularmente es expresada en porcentaje (Rodríguez Melgarejo, 2009). Los elementos a determinar varían de acuerdo a las necesidades del estudio y a la metodología utilizada para realizar dicho estudio.

El objetivo principal de la caracterización de un estudio de composición de residuos es identificar las fuentes, las características y las cantidades de residuos generados. De igual manera esta información permite saber la situación actual de los residuos y de esta manera determinar los objetivos en las políticas de gestión de residuos (Tchobanoglous, 1993).

La generación y composición de residuos obedecen a varios factores, entre los que encontramos el nivel económico, el clima, la zona geográfica, la época del año y aspectos culturales. En la tabla 1 puede observarse la generación promedio de RSU de acuerdo a la región y en la tabla 2 su composición promedio nacional.

Tabla 1 Generación de RSU por tipo de localidad

Tipo de localidad	Noroeste	Noreste	Sureste	Occidente	Centro	Sur
Generación (kg/hab/día)	1.514	0.839	0.777	0.669	0.655	0.332

(INECC, 2012)

Tabla 2 Composición de los residuos sólidos general nacional

Categoría	Subproductos	Porcentaje
Susceptibles de aprovechamiento 39.57%	Cartón	6.54
	Papel	6.20
	Material ferroso	2.09
	Material no ferroso	0.60
	Plástico rígido y de película	7.22
	Envase de cartón encerado	1.50
	Fibras sintéticas	0.90
	Poliestireno expandido	1.65
	Hule	1.21
	Lata	2.28
	Vidrio de color	2.55
	Vidrio transparente	4.03
	Poliuretano	2.80
	Orgánicos (37.97%)	Cuero
Fibra dura vegetal		0.67
Residuos alimenticios		25.57
Hueso		0.59
Residuos de jardinería		9.38
Otros (22.46%)	Madera	1.25
	Residuo fino	3.76
	Pañal desechable	6.52
	Algodón	0.70
	Trapo	3.57
	Loza y cerámica	0.55
	Material de construcción	1.46
	Varios	5.99
TOTAL	100.00	

(INECC, 2012)

2.2.2 Gestión integral de residuos sólidos urbanos

La gestión integral es el conjunto de acciones normativas, operativas, financieras, de planeación, administrativas, de monitoreo, supervisión y evaluación encaminadas (SEMARNAT, 2003) a dar a los RSU generados en una determinada zona, el tratamiento global más adecuado, desde el punto de vista técnico, económico, ambiental, social y sanitario, de acuerdo a las características de los mismos y los recursos disponibles.

El objetivo básico de la gestión integral de los RSU es gestionarlos de forma que sea compatible con las preocupaciones ambientales, la salud pública y con los deseos del público respecto a la reutilización y reciclaje de los materiales. De acuerdo a lo anterior, la gestión de los RSU tiene dos funciones, la primera es la evacuación de los residuos de la fuente de generación y la segunda la recuperación y valorización de estos (Colomer Mendoza & Gallardo Izquierdo, 2007).

2.3 Manejo integral de los residuos sólidos urbanos

El manejo integral de los RSU está conformado por las actividades de reducción en la fuente, separación, reutilización, reciclaje, co procesamiento, tratamiento biológico, químico, físico o térmico, acopio, almacenamiento, transporte y su disposición final; ya sean realizadas individualmente o combinadas de manera apropiada.

Dichas acciones deben adaptarse a las condiciones y necesidades de cada lugar, cumpliendo objetivos de valorización, eficiencia sanitaria, ambiental, tecnológica, económica y social (SEMARNAT, 2003). El manejo puede tomarse como la parte técnica de un sistema de gestión de los RSU.

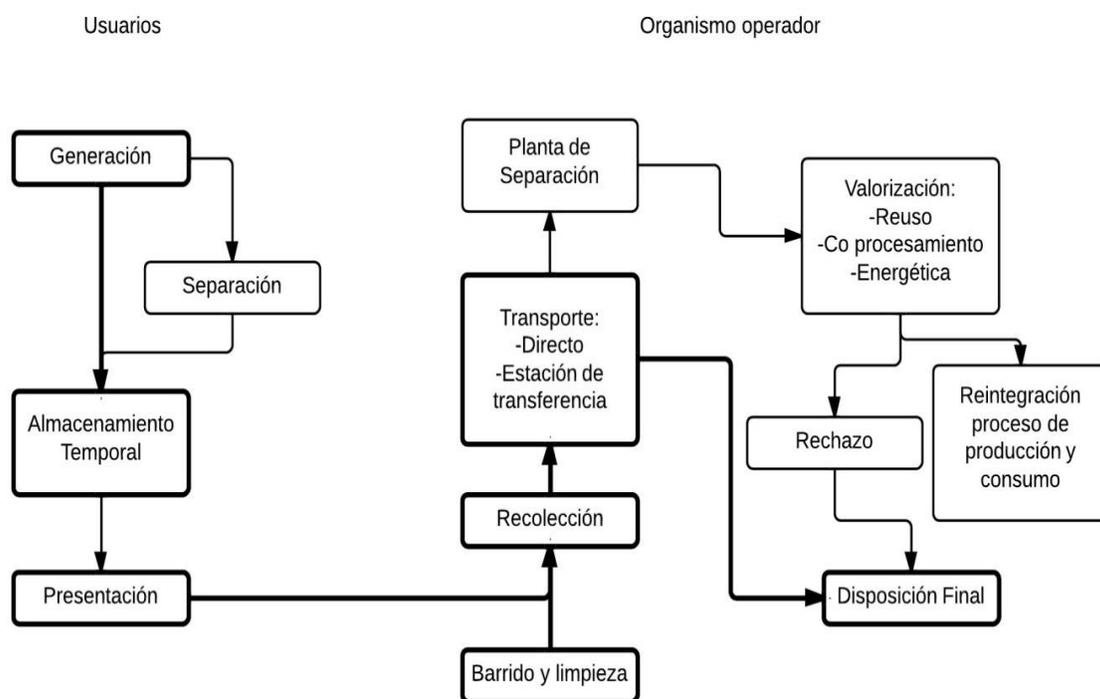


Imagen 1 Esquema general del manejo de residuos

Adaptado de (Castro & Perez, 2009)

En la imagen 1 se puede observar un esquema general del manejo integral de los RSU. La participación de los usuarios se limita generalmente al proceso de generación hasta su presentación para la recolección de los RSU; el organismo operador maneja el resto de las actividades. En los cuadros remarcados encontramos a las etapas convencionales de un sistema de gestión, siendo deseable que se evolucione hasta la reintegración a la cadena de consumo.

2.3.1 Generación

De acuerdo a la gestión de los residuos de la comunidad dentro de la fuente de generación pueden ser separados para facilitar manejo y valorización posterior, de igual manera se contará estos residuos deben ser contenidos hasta el momento en que sean recolectados por el organismo operador; finalmente, al momento de ser recolectados estos cuentan con una presentación, comúnmente bolsas de plásticos o contenedores de plástico rígido, en algunas localidades se acostumbra la utilización de lonas o costales (González Martínez, 2009).

2.3.2 Recolección

La recolección es el proceso por el cual se retiran los RSU de las fuentes de generación, esta actividad es de vital importancia durante el manejo de los residuos debido a que en esta se da la transición de los residuos de los usuarios al organismo operador. Gracias a esta actividad se logra preservar la salud pública, evitando la generación de vectores de enfermedades (SEDESOL).

En esta etapa debe hacerse un micro ruteo de la zona de recolección, esto es las indicaciones de las calles en que se recolectaran los residuos. En México los métodos utilizados para la recolección son los siguientes:

- De parada fija o esquina: el vehículo recolector se detiene para que los usuarios lleven sus residuos y los auxiliares los descarguen
- De acera o banqueta: el vehículo recolector avanza a una velocidad moderada mientras los auxiliares recolectan los residuos dispuesto fuera de los domicilios
- Intra domiciliario: los auxiliares ingresan al domicilio por los residuos para transportarlos al vehículo recolector
- Contenedores: el vehículo recolector con un sistema especial para cargar y vaciar los contenedores donde depositan los usuarios

Actualmente en algunas ciudades se lleva a cabo una recolección selectiva, la cual consiste en recolectar de manera diferenciada los residuos generados, esta característica es fundamental para un programa de valorización de residuos debido a que permite incrementar el acopio de RSU valorizables para su posterior utilización (SMA DF, 2010).

2.3.3 Transporte

Incluye a todos los tipos de vehículos que transportan los RSU recolectados desde el punto de generación a la estación de transferencia, al sitio de disposición final o al sitio de tratamiento o valorización. Existen numerosas modalidades de estos vehículos de acuerdo a la situación de la comunidad y su manejo de residuos (UNEP, 2009).

Un factor que influye es la dimensión de los vehículos, la cual puede ser grande y complicar su tránsito en ciertas vialidades; el sistema de gestión determinará si se utilizan vehículos de carga mezclada o diferenciada (REPSA, 2014). Esta etapa del manejo requiere el diseño del macro ruteo posterior a la recolección, estas son las vialidades que debe utilizar el vehículo recolector para llegar al destino de los residuos.

2.3.4 Estación de transferencia

Una estación de transferencia es utilizada cuando el sitio de disposición final o las instalaciones de valorización se encuentran muy lejos de la zona de generación lo que incrementa el tiempo de transporte y por lo tanto los costos del manejo.

La primera función de las estaciones son la transferencia de residuos de vehículos recolectores a un equipo de transporte de mayor tamaño y posteriormente el transporte de estos residuos. Generalmente se utilizan camiones pero también han sido utilizados vagones de ferrocarril y barcazas cuando se cuenta con la infraestructura (Tchobanoglous & Kreith, 2002).

En algunas localidades las estaciones de transferencia se dan procesos de separación de residuos, uno de estos es utilizado para la recuperación de materiales valorizables y otros para la depuración de residuos baja tasa de degradación presentes en los de alta tasa de degradación, la presencia de los primeros afecta el buen funcionamiento de los procesos de tratamiento de los segundos (Aguado Flores, 2012).

2.3.5 Tratamiento

El tratamiento es todo aquel procedimiento físico, químico, biológico o térmico que modifica una o varias características de los residuos sólidos, el cual sirve para facilitar el manejo de los residuos o permitir su valorización. La mayor diferencia entre el tratamiento y valorización es que el primero se limita a la alteración de los residuos mientras que el segundo es un concepto más amplio que busca recuperar el valor remanente de los mismos (SEMARNAT, 2003).

El tratamiento de residuos puede ser utilizado en las distintas etapas dentro del sistema de manejo, inclusive desde la generación para facilitar su manejo por medio de la compactación, posteriormente pueden ser separados de manera mecánica o manual, triturados para facilitar su transporte o procesados para ser reintegrados al sistema de producción y consumo, entre otras múltiples opciones.

2.3.6 Disposición final ambientalmente adecuada

La disposición final de residuos es la acción de depositar o confinar permanentemente residuos en sitios e instalaciones cuyas características permitan prevenir su liberación al ambiente y las consecuentes afectaciones a la salud de la población y a los ecosistemas y sus elementos. La instalación que puede cumplir con estas características es denominada relleno sanitario (SEMARNAT, 2004).

La disposición constituye la última etapa del manejo de los RSU, si dicho manejo se da de manera integral a esta etapa solo llegarán aquellos residuos que no tienen posibilidad de ser valorizados o para los cuales no existen opciones para el tratamiento o mercado en el entorno cercano de manera que este sea costeable (Marmolejo, y otros, 2009).

2.4 Valorización de residuos sólidos urbanos

La valorización de residuos es el principio y conjunto de acciones asociadas cuyo objetivo es recuperar el valor remanente o el poder calorífico de los materiales que componen los residuos, mediante su reincorporación en procesos productivos, bajo criterios de responsabilidad compartida, manejo integral y eficiencia ambiental, tecnología y económica (SEMARNAT, 2003).

El aprovechamiento de residuos es un principio que se encuentra dentro de la valorización, la diferencia entre ellos radica en que el aprovechamiento busca exclusivamente recuperar el valor económico de los residuos mediante distintos procesos, mientras que la valorización busca recuperar el valor de los residuos de manera más amplia.

Los procesos de valorización de RSU pueden basarse de acuerdo a algunas de las siguientes características de los residuos:

- Material
- Biológica
- Energética

Estos temas serán abordados más profundamente en apartados posteriores.

2.4.1 Estrategias para la gestión integral y valorización de residuos

Actualmente han existido múltiples esfuerzos por desarrollar metodologías para la gestión integral de los residuos de manera que puedan ser adaptadas a distintas regiones en el mundo. Todas estas desarrollan la valorización de los residuos, ya sean exclusivamente los sólidos urbanos y otras abarcan hasta los peligrosos, los cuales regularmente son manejados por el nivel máximo del gobierno de cada país.

Cada metodología es definida dentro de un territorio particular porque obedece a las características predominantes de este; a pesar de dicha característica conservan varias similitudes entre ellas, las cuales ofrecen un esquema general para el diseño de un programa de valorización de residuos. En los párrafos siguientes se exponen distintas metodologías generadas en varias regiones del mundo.

En primer lugar están dos documentos desarrollados por el Programa de las Naciones Unidas para el Medio Ambiente (UNEP, por sus siglas en inglés). El primero de estos es denominado “Solid Waste Management”, en esta serie se describen los distintos aspectos que se desarrollan durante la gestión de los RSU, desde los principios de su gestión, manejo, valorización, tratamiento hasta la disposición final (UNEP, 2005).

El segundo es una serie de documentos publicado cuatro años después, dicha serie es un manual de capacitación titulado “Developing integrated solid waste management plan” el cual está dividido en cuatro volúmenes (UNEP, 2009):

1. Caracterización de residuos y cuantificación con proyecciones para futuro
2. Evaluación del sistema actual de gestión de residuos y las brechas del mismo
3. Objetivos y temas de interés para una gestión integral de residuos

4. Plan de gestión integral de residuos

De igual manera la Unión Europea cuenta con su “Estrategia sobre la prevención y el reciclado de los materiales”, en esta se establecen orientaciones y se describen medidas destinadas a disminuir presiones e impactos derivados de la producción y gestión de residuos. Se fundamenta en la modificación y mejor aplicación de la legislación, la prevención de residuos y el fomento de un reciclado eficaz (CCE, 2005).

Debido a que la planeación de la gestión de los residuos es parte de los esfuerzos de los miembros de la Unión Europea, el *European Topic Centre on Waste and Materials Flow* emitió una guía metodológica para la preparación de un plan de gestión de residuos. Esta metodología es aplicable tanto para una valorización nacional como municipal (ECE DG, 2003).

El Fondo de Mejora Continua de Canadá (CIF, por sus siglas en inglés) emitió en el 2010 la Guía para la crear una estrategia de reciclado de residuos municipales, con esta se busca brindar un apoyo a los municipios para alcanzar las expectativas regionales en cuanto a la planeación del reciclado de residuos (Trow, 2010). Esta guía trabaja bajo los siguientes principios estratégicos:

- Maximizar los residuos para reciclaje
- Innovación y mejores prácticas
- Planeación a largo plazo realista
- Flexibilidad y adaptabilidad
- Soluciones tecnológicas apropiadas
- Maximización en ahorro de costos contratando servicios externos
- Empresas municipales siempre que sean viables
- Consulta abierta en un proceso de planeación abierto y transparente

Anteriormente, durante el 2002 la Agencia de Protección Ambiental de Estados Unidos de América (US EPA) publicó a través de la sub división de Residuos sólidos y respuesta de emergencias una breve guía de cómo diseñar un programa de composta y reciclado (US EPA, 2002). Los pasos expuestos son:

- Planeación y establecimiento de objetivos
- Estudio completo del sistema de gestión de residuos
- Trabajo con la comunidad
- Crear un área para reciclado y composta
- Desarrollar estándares de operación
- Determinar a los responsables para la venta de materiales reciclados y composta

Adicionalmente la EPA cuenta con distintas líneas para el apoyo en la gestión de residuos sólidos en su territorio.

Cabe mencionar que el sistema de gestión de Irlanda cuenta con una serie de documentos denominados “Best Available Techniques for waste sector” (Mejores técnicas disponibles para el sector de residuos, BAT, por sus siglas en inglés). Estos documentos analizan los impactos ambientales de distintas técnicas para el manejo y valorización de residuos; algunos de las técnicas

analizadas son los rellenos sanitarios, los sistemas de transferencia y de recuperación de metales (IE EPA, 2012).

En el 2009 la Provincia de Buenos Aires, Argentina; a través de su Organismo Provincial para el Desarrollo Sostenible (OPDS) con el apoyo de la JICA publicó el Manual para el Plan de Reducción de Residuos Sólidos Urbanos para la Provincia de Buenos Aires.

Dicho manual tiene como objetivo ser un apoyo en la provincia para alcanzar los objetivos establecidos en los lineamientos de la Ley 13.592 de gestión integral de RSU. El manual se basa en el desarrollo de los siguientes puntos:

- Características de la zona.
- Situación actual de la gestión de RSU.
- Identificación de la problemática actual sobre la gestión de RSU.
- Definición de metas, objetivos y marco de planeamiento.
- Plan de acción.

Esta manual fue desarrollado en base a las experiencias e información generada a partir del año 2008 en distintos trabajos llevados a cabo dentro de los municipios de Campana y Zárate; ambos cuentan con un plan de reducción de RSU de acuerdo a sus características (OPDS/JICA, 2009).

El Ministerio de Ambiente, Vivienda y Desarrollo Territorial de Colombia en concordancia con su política de gestión de residuos sólidos emitió durante el 2008 una serie de manuales denominada “Construcción de criterios técnicos para el aprovechamiento y valorización de residuos sólidos orgánicos con alta tasa de biodegradación, plásticos, vidrio, papel y cartón”.

El primer manual presenta las características generales que debe cumplir todo proyecto de aprovechamiento y valorización de residuos, el segundo presenta los criterios específicos de la valorización del plástico y vidrio, y el tercero presenta los mismos criterios para los residuos orgánicos con alta tasa de degradación, papel y cartón.

El objetivo general de estos manuales es contar con criterios técnicos estandarizados para el diseño e implementación de proyectos para el aprovechamiento y valorización de residuos, de tal forma que el desarrollo de este tipo de proyectos produzca materias primas secundarias que cumplan con las calidades mínimas requeridas para ser reintegradas en el ciclo económico (EPAM S.A. , 2008).

Algunos documentos para facilitar la gestión de residuos sólidos urbanos en México son los siguientes:

- Guía para la gestión de los residuos sólidos municipales (SEMARNAT, 2001).
- Guía en la elaboración de planes maestros para la gestión integral de los residuos sólidos municipales (Wehenpohl & Hernández Barrios, 2002).
- Guía para la elaboración de programas municipales para la prevención y gestión integral de los residuos sólidos urbanos (SEMARNAT-GTZ, 2006).
- Guía para la implementación de proyectos de separación de residuos sólidos urbanos (GIZ, 2012)

2.4.2 Experiencia con programas de valorización de residuos

Los programas de valorización se desarrollan basados en las características de las zonas de aplicación, por lo cual un sistema eficiente en una zona puede ser completamente inadecuado en otra. En este apartado se presentan de manera general los resultados de distintos programas de valorización internacionales como el desarrollo de programas nacionales de gestión integral.

Internacionales

Un caso exitoso es el que desarrolló Alemania, en el año 1990 el 87% de sus residuos eran dispuestos, mientras solo recuperaba el 13% en tres categorías: orgánicos, vidrio y papel. Al 2008 su recuperación llegó al 61% de la generación aprovechando 5 categorías: orgánicos, vidrio, papel, metales y plásticos, disponiendo 16.7 millones de toneladas, monto menor al dispuesto en 1990, 34 millones de toneladas (BMU, 2011).

Uno de los elementos fundamentales en las políticas para la gestión de RSU en China es responsabilidad ampliada del productor a lo largo del proceso de manejo. Sus medidas promueven la reducción de la generación, el reciclado y la recuperación para utilizarlos en el proceso de incineración, compostaje y otros procesos de valorización; con estas medidas se buscaba que para el 2010 se evitará la disposición final del 60% de los residuos (Chen, Geng, & Fujita, 2009).

En Colombia existen algunos programas de valorización formales, la mayoría de estos basados en las Plantas de Manejo de Residuos Sólidos existentes en el país, las cuales buscan la separación y valorización de estos (Marmolejo, y otros, 2009). Actualmente la ciudad de Bogotá, D.C. cuenta con un Programa para la Gestión de los Residuos Sólidos Orgánicos (Servicios Públicos de Bogotá, D.C., 2010).

De igual manera el municipio de Santander de Quilichao cuenta con un programa de valorización de residuos sólidos reciclables en su zona urbana, siendo un programa pequeño busca la integralidad generando empleo para personas de grupos vulnerables (E.S.P., 2010). De igual manera en base a al Programa de Agenda 21 se realizó una propuesta para la valorización de los residuos sólidos en el Municipio de Pereira (Gusman López, Salazar Alzate, & Mesa, 2006).

Algunos países como Nueva Zelanda se encuentran bajo un sistema muy ambicioso, el llamado cero residuos; aunque aún se encuentran en desarrollo. En el caso de la ciudad de Sídney también se cuenta con el programa, el cual recuperó durante el 2010 16,000 toneladas de residuos y para el 2014 espera evitar el uso del 66% de espacio en rellenos sanitarios comparado a un sistema convencional de manejo (City of Sydney, 2012).

La gestión de residuos en la ciudad de Sídney en Australia, cuenta con múltiples elementos dentro de su manejo, una parte fundamental es la presentación de residuos de manera diferenciada al igual que la recolección de los mimos. Este sistema cuenta actualmente con distintos procesos para la valorización de residuos; aquellos no reciclables son dispuestos en un relleno sanitario, buscando en todo momento reducir esta cantidad (City of Sydney, 2012).

En el otro extremo encontramos países con serios problemas en su gestión de residuos; algunos como Ghana y Nigeria de los cuales se espera un sistema de gestión de residuos adecuado hasta el

siglo veinticinco desaprovechando los materiales dispuestos en los rellenos sanitarios o en los tiraderos a cielo abierto en todo este período (Edoho & Dibie).

En el caso de las políticas relacionadas con la gestión, tratamiento y valorización de los residuos se pide la utilización de rellenos sanitarios, los cuales se encuentran en niveles muy básicos; procesos de incineración, con serias limitantes en el país y debido a que el 60% de los residuos son orgánicos, plantas de compostaje, las cuales se enfrentan a serios problemas económicos (MSEA, 1999).

En Camboya, uno de los países más pobres del sudeste de Asia, a pesar de que las autoridades reconocen que existe un valor en sus residuos toda la infraestructura para el acopio de reciclables es completamente informal. Este caso muestra que en una región con altos niveles de pobreza las personas valoran los residuos pero no todo lo necesario para hacerlo de forma organizada y eficiente (Wildblood, 2008).

Tabla 3 Porcentaje de residuos valorizados por los países miembros de la OECD

País	Año	Porcentaje	País	Año	Porcentaje
01 Suiza	2005	99.50%	16 Canadá	2004	39.26%
02 Dinamarca	2003	94.89%	17 Finlandia	2004	37.87%
03 Suecia	2005	94.56%	18 Portugal	2005	35.96%
04 Austria	2004	92.37%	19 Reino Unido	2005	35.05%
05 Japón	2003	86.11%	20 Irlanda	2005	33.87%
06 Bélgica	2003	85.40%	21 Islandia	2004	33.33%
07 Luxemburgo	2003	81.31%	22 Australia	2003	30.34%
08 Holanda	2004	81.18%	23 República Checa	2004	18.44%
09 Alemania	2004	74.84%	24 Nueva Zelanda	1999	15.30%
10 Noruega	2004	73.61%	25 Hungría	2003	9.31%
11 Francia	2005	61.99%	26 Grecia	2003	8.11%
12 Corea	2004	60.75%	27 Polonia	2005	7.34%
13 España	2004	48.27%	28 México	2006	3.26%
14 EUA	2005	45.73%	29 Eslovaquia	2005	2.71%
15 Italia	2005	45.23%	30 Turquía	2004	1.44%

(OECD, 2009)

La OECD generó un compendio de información ambiental de sus países miembro que comprende del año 2006 al 2008, una de las divisiones que maneja es la de residuos donde se vierten datos de generación, valorización y disposición final de los mismos; la valorización está integrada por composta, reciclado e incineración con recuperación con energía. El porcentaje de valorización de cada país puede observarse en la tabla 3.

Nacionales

Como ya se mencionó, en México se desarrolló el PNPGR 2009-2012, dicho programa cuenta básicamente con dos líneas de acción, la primera implica la prevención de la generación de residuos, teniendo metas de índole legislativo, financiero y de evaluación de desempeño ambiental; la segunda línea es la denominada de gestión integral, la cual plantea varias metas para el manejo y valorización de los RSU (SEMARNAT, 2009).

Con la participación de la Agencia de Cooperación Técnica Alemana (GTZ) en el año de 1997 se empezaron a realizar distintos planes maestros para la gestión integral de residuos sólidos urbanos en el Estado de México, concluyéndose los de Amecameca, Valle de Bravo, Tonatico, Cocotitlán y Ozuma; quedando incompletos los de Jocotitlán y los de Tonatico (Ortiz Alegría, 2010). Estos planes están constituidos por proyectos ejecutivos para mejorar el manejo de los residuos a diferencia de los programas municipales de gestión integral de residuos sólidos urbanos (PMOGRSU) los que se desarrollan para mejorar la gestión integral.

En el año 2010 alumnos de la Universidad Veracruzana del Programa de Ingeniería Ambiental campus Xalapa elaboraron los PMPGRSU de diversos municipios del estado de Veracruz que disponen en el relleno sanitario de Pinoltepec; esto son: Coatepec, Teocelo, Cosautlán de Carvajal, Emiliano Zapata, Banderilla y Xico. Un año después se realizó el programa del municipio de Acatlán, el cual no deposita en el mismo relleno (Fernández Landa, 2011).

2.4.4 Residuos sólidos urbanos valorizados en México

De acuerdo a sus características y generación los componentes de los RSU en México que son generalmente sometidos al proceso a procesos de valorización son los siguientes:

- Alta tasa de degradación: representan más del 50% de la generación en peso en México, estos residuos cuando son valorizados suelen convertirse en composta, la cual se utiliza para la recuperación de suelos y como abono orgánico para la producción agrícola.
- Papel y cartón: se estima que una gran cantidad del papel y cartón utilizado en México proviene de fibras y materiales reciclados, lo cual representa un mercado demandante. El papel y cartón pueden reciclarse hasta 8 veces antes de que la celulosa se rompa y se obtenga un producto de baja densidad y calidad.
- Plásticos: existen 7 tipos, los cuáles técnicamente son reciclables, a pesar de esto la industria instalada en México para su reciclaje aún es incipiente, pero representa un importante potencial de crecimiento y desarrollo.
- Vidrio: debido a que es un material 100% reciclable y sumamente estable es económico y ambientalmente relevante, es el único material que puede ser reusado sin necesidad de someterlo a otro proceso que el lavado e higienizado.
- Metales: son materiales no biodegradables, por lo que puede permanecer inerte en un relleno sanitario cientos de años. Algunos son muy atractivos para su reciclaje como el hierro, el aluminio y el cobre, los cuales son 100% reciclables.

En Estados Unidos de América (EUA) durante el año de 1991 se llevó a cabo una entrevista a 264 coordinadores de reciclado para averiguar cuáles eran los materiales más comúnmente incluidos en programas municipales de reciclado; los resultados se muestran en la tabla 4.

Tabla 4 Materiales incluidos más frecuentemente en programas municipales de reciclado

Material	%	Material	%
Periódico	96.2	Aceites usados	46.2
Vidrio	93.9	Papel de alta calidad	41.3
Aluminio	88.3	Papel mezclado	32.2
Botellas de plástico	67.0	Otros (baterías, latas)	15.2
Cartón	60.6	Plásticos rígidos	11.0
Residuos metálicos	52.3	Cartón madera	6.4
Residuos de jardín	47.3		

(Bullock & Salvador, 1993)

2.4.5 Procesos para la valorización de residuos

Los procesos de valorización de residuos dependen de las características de estos y los objetivos que se hayan establecidos dentro del programa, los procesos que pueden ser utilizados son:

- Físicos: reutilización y separación para reciclaje
- Biológicos: alimento de ganado, compostaje y degradación anaeróbica
- Químicos y termoquímicos: hidrólisis, incineración, pirolisis y gasificación

Separación de residuos

De acuerdo a la LGPGIR la separación es la acción de segregar los materiales que se encuentran en el flujo de residuos, de manera primaria en orgánica e inorgánica, y de manera secundaria en orgánicos y en varias categorías de inorgánicos susceptibles de ser valorizados. Aunque esta etapa no es propiamente un proceso de valorización es relevante ya que permite la división de los residuos para su tratamiento posterior.

Existen distintos métodos de separación, cada uno cuenta con fortalezas y debilidades. La utilización de alguno en particular obedece a la cantidad y composición de los residuos a separar, en algunos casos inclusive es necesaria la utilización de varios de estos debido a la mezcla de los residuos (Bullock & Salvador, 1993). Los métodos son los siguientes:

- Selección manual
- Cribado
 - Tambor
 - De disco
- Clasificación por aire
 - Clasificadores verticales de aire
 - Cuchillas de aire
 -
- Corrientes de Foucault
- Magnéticos

Actualmente en México una importante cantidad de residuos se separa de manera informal, las etapas en donde se lleva a cabo regularmente esta acción es durante la recolección de los residuos y en la disposición final, esta es llevada a cabo tanto por los operadores formales del sistema de manejo como por particulares ajenos a dicho sistema, esta actividad en México es conocida comúnmente como pepena.

De manera formal se emplean las plantas de selección, ya sean manuales o automáticas; actualmente solo se cuentan con 23 plantas a lo largo del país, de las cuales todas llevan a cabo la separación de residuos de manera manual, siendo el estado de Nuevo León el que cuenta con la mayor cantidad de estas con 5, pero siendo la de Santa Catarina en el Distrito Federal (DF) la que mayor cantidad envía a las plantas de reciclaje con 450 t/día (INECC, 2012).

Estas plantas pueden ser operadas por el gobierno como el caso de las 3 presentes en el Distrito Federal o de manera particular como la de Querétaro en el municipio de Mompaní operada por la empresa Proactiva Medio Ambiente México o la de Tenango del Valle a cargo de la empresa de Desechos Industriales Bautista (DIBASA).

Reciclado de materiales

El reciclado es definido como la transformación de los residuos a través de distintos procesos que permiten restituir su valor económico, evitando así su disposición final, siempre y cuando esta restitución favorezca un ahorro energético y de materias primas sin perjuicio para la salud, los ecosistemas o sus elementos (SEMARNAT, 2003).

Los factores que influyen en este proceso son (Dixon Webb, Jiménez, Benjamin, Torrez, & López Calero, 2012):

- Proceso donde se genere el residuo
- Volumen, composición y uniformidad de residuos
- Identificación del uso y re uso de los residuos generados
- Disponibilidad y precio de los materiales vírgenes relativo a los costos de reciclaje y almacenamiento de los residuos

Es poco común que un órgano operador o el municipio cuente con facilidades para reciclar los materiales que se generan en su territorio; por lo tanto estos serán recuperados, almacenados, acondicionados y vendidos a recicladores que si pueden brindar el proceso que necesitan para reintegrarse a la cadena de producción y consumo.

Las exigencias de los compradores de materiales recuperados de residuos varían de acuerdo al esquema con el que cuenten para el tratamiento de los residuos. En la tabla 5 se mencionan algunas especificaciones finales aplicadas en EUA, en la cual se mencionan las presentación de los materiales como el límite de los contaminantes en los mismos (Katz & Spring, 1993).

Tabla 5 Especificaciones de materiales

Material	Requisitos de embalaje y clasificación	Límite contaminantes
Aluminio	Envases de aluminio serán embalados de acuerdos a estándares industriales (Aproximadamente 52" x 30" x 40" – 16 a 20lb/ft ³)	Hierro - arriba 1% por bala Plomo – arriba 1% por bala Humedad – arriba 4% por bala
Latas	Serán embaladas en balas de aproximadamente 52"x30"x40", de 33 a 40 lb/ft ³ . Con cantidades mínimas de remanentes de comida, etiquetas, etc.	Aluminio – arriba 5% por bala Etiquetas – arriba de 10% por bala Humedad – arriba de 5% por bala
PET	Será embalado en balas de aproximadamente 52"x30"x40" con un peso de 650 a 750 lb. No es necesaria la separación de color	La cantidad de materiales no aceptados no deberá exceder el 4% por bala
HDPE	Será embalado en balas de aproximadamente 52"x30"x40" con un peso de 650 a 750 lb.	No menos de 95% HDPE por bala Varios plásticos arriba de 4% por bala
Vidrio	El vidrio será separado por color en ámbar, incoloro y verde para ser triturados. Sus mayores contaminantes son materiales refractarios, metales, vidrio ajeno al contenedor y plásticos. Las etiquetas de papel son toleradas. Su tamaño irá de ½" a 2".	Incoloro: No menos de 95% Arriba de 2.5% verde, arriba 2.5% ámbar Ámbar: no menos de 90% Arriba de 10% incoloro, arriba 10% verde Verde: no menos 85% verde Arriba 15% incoloro, arriba 10% ámbar
Periódico	En balas de 45"x45"x50" peso aproximado 1175 lb. Debe ser periódico fresco ordenado, sin quemaduras de sol, libre de material viejo, con el porcentaje normal de secciones de roto gravadas y coloreadas.	Materiales no conformantes mayores a 2% por bala
Cartón corrugado	En balas de 45"x45"x50" peso aproximado 980 lb. Materiales no conformantes kraft y adhesivos	Materiales prohibidos: no exceder 1% por bala No conformantes: arriba de 5% por bala

(Katz & Spring, 1993)

Alimentación de animales

En ocasiones no es necesario llevar a cabo un procesamiento complejo para llegar a valorizar los residuos generados. Un caso típico del aprovechamiento de material orgánico putrescible es su utilización como alimento para animales, este proceso se ha llevado desde una manera artesanal y vecinal en distintas comunidades en México como de manera tecnificada por industrias que fabrican alimento para ganado (Orta de Velásquez, y otros, 2009).

En el caso del municipio de Tiaguistengo se estima que de las 40 t generadas en el tianguis principal del municipio en conjunto con las 4 t diarias generadas en el mercado municipal 12 t son

recuperadas semanalmente para la alimentación agropecuaria, lo cual representa más del 25% de lo generado en el tianguis (Ayuntamiento Tianguistenco, 2013).

Compostaje

El compostaje es un proceso de biodegradación que transforma materiales de alta tasa de degradación en compuestos básicos como agua, dióxido de carbono, energía y compost. Un proceso adecuado de compostaje permite mejorar los nutrientes del suelo, reduce la erosión y permite a la supresión y prevención de algunas enfermedades en las plantas.

Este proceso consta de dos etapas, en la primera los microorganismos descomponen la materia orgánica en compuestos químicos simples, esta actividad genera calor; en la segunda etapa el compost se cura y al agotarse los alimentos retrasa la actividad de los microorganismos. Como resultado el compost se convierte en un sólido seco y desmoronadizo (Bagchi, 2004).

Los parámetros que influyen en la composta son:

- Tamaño de partícula
- Contenido de humedad
- Temperatura
- pH
- Niveles de nutrientes
- Tiempo

Existen distintas modalidades para la producción de composta, la utilización de cada una depende las condiciones del sitio y los recursos disponibles para llevar a cabo la valorización; estas son (Servicios Públicos de Bogotá, D.C., 2010):

- Sistema abierto aireado por paleo
- Sistema abierto aireado por convección natural
- Sistema abierto por inyección forzada
- Lombri compostaje
- Compostaje en túnel
- Compostaje en trincheras
- Compostaje con reactor

Junto a estos procesos puede considerarse a la digestión anaerobia como un proceso que produzca un mejorador de suelo a través de un proceso biológico, el cual es subproducto de dicha digestión enfocada en la obtención de biogás para la generación de energía (Orta de Velásquez, y otros, 2009).

Los procesos de valorización de estos residuos son regularmente llevados a cabo en plantas municipales que concentran el tratamiento de estos residuos. El proceso de transporte de estos residuos puede representar de un 30% a 50% de las emisiones de CO₂ generadas durante su manejo, por lo que en algunas zonas se incita a desarrollar la composta en casa, la cual también representa un ahorro económico durante este proceso (Cockram, 2008).

Digestión anaeróbica

Es un proceso biológico que se lleva a cabo en ausencia de oxígeno, y con la intervención de diferentes comunidades microbianas. La fracción biodegradable de la materia orgánica es convertida en una mezcla de gases constituida principalmente por dióxido de carbono y metano; siendo el segundo un gas aprovechable de manera energética.

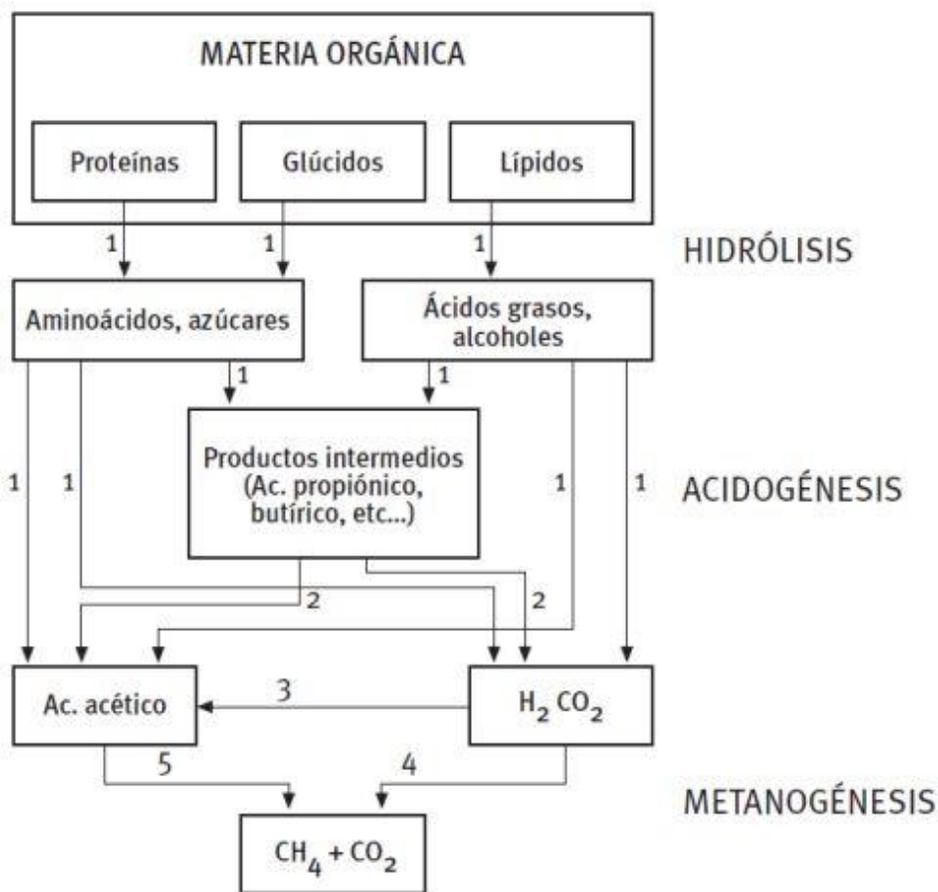


Imagen 2 Fases de la fermentación anaeróbica

(Biodisol, 2010)

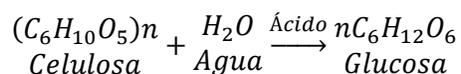
Los parámetros ambientales que influyen en el proceso son el pH, la alcalinidad, el potencial redox, los nutrientes y los tóxicos e inhibidores. Los parámetros operacionales hacen referencia a las condiciones de trabajo de los reactores y son: la temperatura, la agitación, el tiempo de retención y la velocidad de carga orgánica (Biodisol, 2010).

Valorización química

Los tratamientos químicos son aplicados regularmente a los residuos peligrosos para reducir o eliminar sus características de peligrosidad. Los tratamientos químicos aplicados a los RSU son atípicos debido a que la obtención de un subproducto aún es más costosa que la obtención de materiales vírgenes.

Uno de estos tratamientos es el de hidrólisis ácida, por medio de este se busca recuperar glucosa del material celuloso. El porcentaje recuperable de glucosa depende completamente del tipo de residuo a tratar, por ejemplo se estima que pueden recuperarse porcentajes mayores al 80% del peso de papel kraft en azúcar. La reacción 1 muestra el proceso de hidrólisis llevado a cabo en este proceso (Tchobanoglous, 1993).

Ecuación 1 Reacción de la hidrólisis



Valorización térmica

El procesamiento térmico de los residuos sólidos se define como la conversión de los residuos sólidos en productos de conversión gaseosa, líquidos y sólidos, con la simultánea o subsiguiente emisión de energía en forma de calor. Estos sistemas pueden clasificarse de acuerdo a sus requisitos de oxígeno (Tchobanoglous, Theisen, & Vigil, 1994).

- Sistemas de incineración: se definen como el procesamiento térmico de los residuos sólidos mediante la oxidación química con cantidades estequiométricas o en excesos de oxígeno. Puede recuperarse energía mediante el intercambio del calor procedente de los gases calientes de combustión.
- Sistemas de pirolisis: son aquellos que llevan a cabo el procesamiento térmico de residuos en ausencia total de oxígeno. Estos sistemas utilizan una fuente de combustible externa para conducir las reacciones endotérmicas de pirolisis en un ambiente libre de oxígeno.
- Sistemas de gasificación: consisten en la combustión parcial de un combustible carbonoso para generar combustible rico en gas con altos contenidos de monóxido de carbono, hidrógeno y algunos hidrocarburos saturados, principalmente metano. El gas combustible puede quemarse en un motor de combustión interna, turbina de gas o caldera en condiciones de oxígeno adicional.

En México el único desarrollo de un sistema de gasificación desarrollado es el de la planta experimental de gasificación de basura en Salinas Victoria, Nuevo León; ubicada en el campo Experimental para Gasificación de Basura por Medio de Arco de Plasma. Con esta planta se pretende reducir el 90% del volumen de basura previamente clasificada (Orta de Velásquez, y otros, 2009).

En algunos casos se han utilizado los residuos sólidos como combustible para un proceso no diseñado específicamente para su tratamiento, este es el caso de las cementeras que demandan una alta cantidad de energía para sus procesos; los residuos deben ser secados previamente para poder contar con un alto poder calorífico. En el caso de la cementera inglesa Castle Cement se espera sustituir su consumo de fósiles hasta en un 70% por el uso de residuos (Robson, 2008).

Capítulo III Metodología

Una parte fundamental para el desarrollo de esta metodología está basada en la experiencia con la que cuentan los distintos participantes del proceso de valorización de residuos. Debido a esto durante la metodología se plantean visitas varios actores del proceso, para así determinar los elementos indispensables y sus variables.

3.1 Visitas a localidades en el país con sistemas de valorización de residuos

Las metodologías existentes se basan en gran medida en la experiencia de los autores en el tema, por ello se realizó una visita a una localidad en donde se lleva a cabo la valorización de los residuos generados para conocer el proceso técnico y administrativo que implica este proceso.

Esta visita se dividió en dos etapas:

1. Se visitaron instalaciones de recuperación y valorización; el objetivo de estas fueron observar su operación, condiciones de trabajo, el equipo de los operadores, identificar los elementos que conforman las instalaciones y las especificaciones finales de los residuos.
2. Se realizaron entrevistas con responsables de la gestión de los residuos recuperados; con estas se conocieron los elementos empleados para el diseño de programas de valorización actuales y los problemas técnicos y sociales con los que debe lidiar el sistema de gestión en su totalidad, los resultados de la planeación y el conocimiento si el sistema ha generado ingresos o pérdidas.

3.2 Visitas a instalaciones de reciclaje

Esta visita se realizó debido a que los municipios no cuentan con equipos para el reciclado de residuos, dentro de esta se determinarán las condiciones en las que deberán ser entregados los residuos, los elementos prohibitivos en estos, el proceso de reciclado y los productos en los que son transformados los residuos.

Las empresas visitadas fueron seleccionadas de acuerdo a un análisis de su cercanía a la zona donde se está llevando a cabo el estudio y al reconocimiento con que cuentan entre los expertos del ramo de acuerdo a la calidad de sus procesos y volúmenes de recepción y producción; buscando en todo momento que dichos parámetros sean los más altos. Se planteó una visita a una empresa por cada uno de los residuos enlistados, debido a que estos se han reportado como los más susceptibles a ser reciclados en el país:

- Papel y cartón
- Vidrio de distintos colores
- Plásticos, PET y HDPE
- Metales, aluminio, hierro y cobre

3.3 Visitas a dos plantas de valorización de residuos orgánicos biodegradables municipales

Se realizó una visita a dos plantas de compostaje de residuos sólidos con alta tasa de degradación; para determinar la visita se seleccionaron aquellas que cuenten con una trascendencia y calidad reconocida. Una de las plantas debe de encontrarse en una localidad urbana que cuenta con una cobertura de recolección superior al 90%; la segunda debe tratar los residuos de una localidad urbana pequeña o rural.

Estas visitas se llevaron a cabo en dos etapas:

1. En primer lugar se visitaron las plantas de compostaje; para observar su operación general, dentro de los puntos a resaltar se encuentran el proceso, las funciones de los operadores y las características con las que deben cumplir los residuos al ingreso y los productos.
2. En segundo lugar se desarrollaron entrevistas con los responsables de los sistemas de gestión de residuos de la localidad; en esta se buscó determinar los parámetros utilizados para diseñar el programa, los pasos incluidos en este, los problemas técnicos y sociales más frecuente y la manera en que se han solucionado.

3.4 Determinación de las etapas para la valorización de los residuos sólidos urbanos

Con base en la revisión de metodologías existentes previamente, a los casos exitosos de valorización, la bibliografía general del manejo, las visitas llevadas a cabo a la localidad y a las empresas de reciclado y las instalaciones de compostaje se determinarán las etapas para un sistema de valorización de residuos.

En primer lugar se extrajeron y revisaron los términos de los pasos sugeridos por las metodologías y por los programas revisados; estas se compararon y determinaron cuáles son básicas en un programa de valorización, posteriormente se seleccionaron las acciones complementarias sugeridas con base en los resultados que reportados por los programas existentes actualmente.

Dichas etapas fueron determinadas a lo largo de todo el sistema de gestión de residuos, esto incluye a los estudios previos a la planeación, como la determinación del flujo de residuos y los de generación y composición hasta los técnico-económicos para determinar los procesos finales, ya sean para almacenamiento y tratamiento pre venta o pre tratamiento.

3.5 Determinación de las características para la entrega final de los residuos al proceso de valorización

Por medio de la investigación bibliográfica y las visitas a las instalaciones de empresas de reciclado se determinaron las características exigidas por los compradores de los materiales. Las características que se buscaron determinar fueron:

- Tipo de materiales que son sometidos al reciclaje
- Porcentaje aceptable de impurezas dentro del proceso industrial de reciclaje
- Materiales no permitidos dentro de las impurezas
- Acondicionamiento para la entrega de los materiales
- Metodología para la recolección y transporte de los residuos
- Pesos mínimos y distancias máximas para realizar la recolección
- Productos del proceso y la evolución del mercado hasta el momento

3.6 Determinación de los participantes de un programa de valorización y sus funciones

En base a la revisión de metodologías existentes previamente, a los casos exitosos de valorización, la bibliografía general del manejo, las visitas llevadas a cabo a la localidad y a las empresas de reciclado y las instalaciones de compostaje se determinaron los participantes de un programa de valorización así como las funciones que desempeña cada uno.

Se extrajeron y homogenizaron términos de las metodologías existentes para determinar los participantes dentro de un programa de valorización de residuos; para el caso de algunas localidades éstos desempeñan otra función dentro de la administración pública, por lo que debieron considerarse los distintos servidores públicos que puedan tomar el rol dentro del programa.

Las actividades de cada participante dentro del plan fueron definidas a lo largo de todo el sistema de gestión de residuos. Dichas descripciones serán brindadas de manera general, pudiendo variar dentro de la administración de cada localidad.

3.7 Establecimiento de una jerarquía de procesos para la valorización de residuos

Esta jerarquía se desarrolló con base en la revisión de distintos estudios de análisis de ciclo de vida de procesos utilizados para la valorización de residuos. Adicionalmente se tomó en cuenta la jerarquía de manejo de residuos actual y la experiencia y desarrollo con que se cuenta actualmente en el país.

3.8 Desarrollo de un diagrama de toma de decisiones para el proceso de valorización de residuos

Se desarrolló un algoritmo para facilitar el diseño respecto a las etapas y características de un programa de valorización de residuos sólidos urbanos para que sean los más adecuados para la localidad de acuerdo sus características y optimizar los recursos de la misma. Este algoritmo está basado en la jerarquía de procesos de valorización desarrollada.

El algoritmo está basado en parámetros técnicos de las etapas de valorización, las cuales dependen de las características de la zona de desarrollo, las cuales varían de zona a zona. Debido a

esto se desarrolla con nodos de decisión que permiten definir estas características y con base en ellas establecer las actividades necesarias para alcanzar los objetivos de valorización determinados en las líneas estratégicas.

3.9 Establecimiento de una metodología para el desarrollo de programas de valorización enfocados en residuos sólidos urbanos

Esta etapa consistió en la redacción, ensamble y presentación de los puntos anteriores. El orden de los temas tratados está basado en las metodologías desarrolladas anteriormente y en los trabajos de campo realizados. De igual manera contiene esquemas que serán didácticos para la mejor comprensión de los temas.

3.10 Desarrollo de un programa de valorización enfocado en residuos sólidos urbanos en una localidad con base en la metodología obtenida

En primer lugar se detectó una localidad que estuviera interesada en el desarrollo de este proceso; esta búsqueda se basó en que contará con estudios previos de generación y composición, estar bien comunicada y estar a menos de cinco horas de Ciudad Universitaria.

Para determinar la comunidad donde para el desarrollo del programa se realizó un acercamiento con la Secretaria del Medio Ambiente del estado de Veracruz y con la GIZ, de ambos acercamientos se determinaron distintas zonas que en donde sea deseable y viable el desarrollo de un programa de valorización.

Ya con las distintas localidades propuestas se llevó a cabo una comparación entre ellas para determinar cuál cuenta con una necesidad del programa, cual puede ofrecer apoyo para el desarrollo y cuenta con información previa necesaria. De igual manera se tomó en cuenta la accesibilidad para el desarrollador y la población impactada con el trabajo final.

Al localizar la localidad se estableció el contacto y se llevó a cabo una presentación ante los responsables de la gestión de los RSU y los tomadores de decisiones involucrados. Se presentaron los beneficios de un programa de valorización, las etapas generales a desarrollar y las variantes que pueden sufrir.

Finalmente se aplicó la metodología desarrollada anteriormente para definir las etapas y las acciones a llevar cabo para establecer, operar y monitorear el programa de valorización de residuos.

Capítulo IV. Desarrollo y resultados

En este capítulo se vierten distintas notas relevantes recogidas de los participantes del proceso de valorización de RSU en el país. Posteriormente estas notas en conjunto con la investigación bibliográfica serán las bases para el desarrollo de la metodología de valorización resultado de este trabajo.

4.1 Visita a municipios con programas de valorización de residuos

De acuerdo a la información recopilada se encontraron dos municipios con un sistema establecido de valorización de RSU, ambos en el estado de Veracruz; estos municipios son Teocelo, que se encuentra en la región capital del estado, y el municipio de Orizaba, que se encuentra en la región de las Montañas.

Dichos programas fueron localizados debido a su relevancia a nivel estatal y nacional, adicionalmente la localización geográfica facilita el acercamiento a estos para su estudio. Adicional a estos programas de valorización existen otros reportados como el desarrollado por el Sistema Integral para el Manejo Ecológico y Procesamiento de Desechos (SIMEPRODE) en la Zona Metropolitana de Monterrey, en el estado de Nuevo León o el de Mompamí, en el estado de Querétaro. De igual manera existe la posibilidad de que haya otros desarrollados pero no reportados a lo largo del país.

4.1.1 Municipio de Teocelo, Veracruz

El municipio de Teocelo se encuentra en latitud 19 23'09.28"N con la longitud 96 58'20.33"O, ubicándose a 25 km de la ciudad de Xalapa de Enríquez, capital del estado y a 321 km de la capital del país. De acuerdo al Censo de Población y Vivienda del INEGI 2010 el municipio cuenta con una población de 16,327 habitantes.

Los residuos valorizados de manera formal en el municipio son los residuos alta tasa de degradación, mientras que la fracción de baja tasa de degradación se dispone o se valoriza de manera informal. Se plantea la creación próxima de varios centros de acopio municipales para poder llegar a una valorización de los distintos residuos generados.

Este esfuerzo recibe el nombre de "Programa Integral de manejo, educación, proceso y aprovechamiento de los residuos municipales en Teocelo, Veracruz" y se inició en el año 2000, pero ha sido discontinuo debido a la alternancia de fuerzas políticas. En el año 2002 ganó el Premio Nacional de Gobierno y Gestión Local al igual que el Premio Estatal de Medio Ambiente.

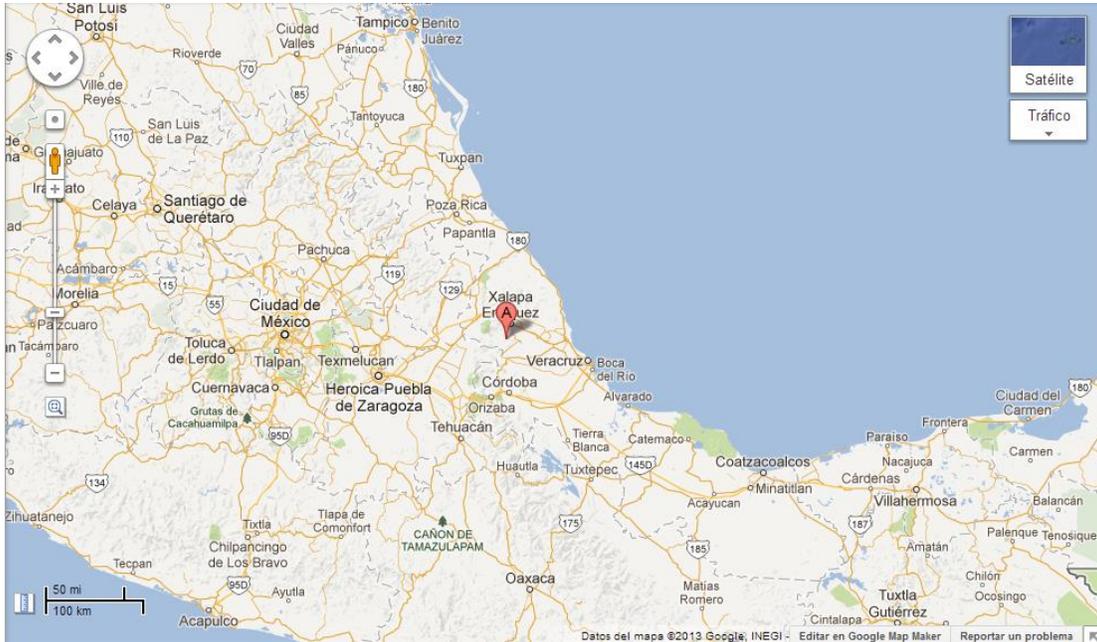


Imagen 3 Ubicación del municipio de Teocelo, Veracruz

(Google, 2014)

Este programa ha recibido participación de distintas instituciones educativas, asociaciones civiles, secretarías de gobierno y agencias de cooperación internacional, dichas instituciones son las siguientes:

- Universidad Veracruzana (UV)
- Instituto Tecnológico Superior de Xalapa (ITSX)
- Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales (SEMARNAT)
- Secretaría de Agricultura, Ganadería, Desarrollo Rural, Pesca y Alimentación (SAGARPA)
- Procuraduría Federal de Protección al Ambiente (PROFEPA)
- Secretaría de Medio Ambiente del Estado de Veracruz (SEDEMA)
- Agencia de Cooperación Internacional de Japón (JICA)
- ECOCE A. C.

Para desarrollar la valorización actual se pide a la población que lleve a cabo una separación binaria. Pero en cooperación con la JICA se desarrolló un esquema de separación más completo que se muestra en la tabla 6; esta clasificación podrá ser valorizable en cuanto entren en servicio los centros de acopio planeados.

Las pilas o baterías se recolectan en garrafones que se encuentran distribuidos por todo el municipio; los medicamentos son colectados en bolsas, los que aún pueden ser utilizados son enviados a centros de salud, los caducos son almacenados, y finalmente el aceite de cocina se colecta en recipientes azules. Cuando se alcanza cierta cantidad de residuos son entregados a la SEDEMA; en la imagen 4 pueden observarse un almacenamiento de materiales de manejo especial.



Imagen 4 Contenedores para materiales de manejo especial

Elaboración propia

Tabla 6 División de residuos en el municipio de Teocelo, Veracruz

Categoría	Sub categoría	Residuos	Presentación
Orgánica		Frutas y verduras Servilletas Hojas de papel Cáscaras de huevo	Cubeta o lona (costal) No deben usarse bolsas de plástico
Inorgánica		Plástico, unisel, bolsas Cajas de leche (envase multicapa)	Bolsa de plástico o lona
	Sanitarios	Papel higiénico Pañal Toalla sanitaria	Bolsa de plástico exclusiva para este residuos
Materiales reciclables		Cartón, periódico, revistas, cono de huevo, vidrio, botellas de PET, aluminio, fierro	Centro de acopio
Materiales de manejo especial		Pilas Medicamentos Aceite comestible	Garrafones Bolsa de plástico Depositar en los recipientes azules municipales

(JICA, 2011)

El trabajo de concientización a la población se llevó a cabo por medio de las instituciones educativas en donde se explicó a los estudiantes el programa y como participar con este, a su vez los estudiantes capacitaran a los miembros de su familia. Para reforzar esta actividad los camiones recolectores cuentan con publicidad al respecto y los operadores de recolección incitan a los ciudadanos a separar su basura.

También existen jornadas de acopio de cartón y PET en las escuelas en donde con la venta de los residuos recolectados se construyeron y remodelaron salones, se adquirió mobiliario y equipo

recreativo. De igual manera anteriormente se contaba con un programa de intercambio de residuos por artículos para el hogar, como recipientes y utensilios de cocina.

La recolección de residuos se lleva de manera diferenciada en el municipio por el método de acera, una particularidad del municipio es que los dos camiones de residuos inorgánicos y el de residuos orgánicos dan el servicio de manera simultánea; tampoco cuentan con horario estricto debido a que por los roles de edad y género siempre hay un miembro de la familia en cada casa habitación.

Actualmente la fracción inorgánica es dispuesta en el relleno sanitario exceptuando la fracción pepenada por los operadores; la orgánica se envía directamente a la planta de compostaje municipal en donde llega con distintos contaminantes, particularmente plásticos; de acuerdo a los operadores esto se debe a que cerca de un 20% de la población aún no participa en la separación de residuos, debido a esto se lleva a cabo un proceso de separación antes de la composta.

El proceso de compostaje es auxiliado por medio de lombrices de tres sepas distintas, en la imagen 5 se pueden observar las camas de lombrí composta. Las instalaciones reciben las 10 t de residuos orgánicos generados en la cabecera municipal por semana directamente del vehículo recolector y llega a generar hasta 5 t en el mismo período de acuerdo al estado de maduración de las camas.



Imagen 5 Camas de lombrí composta en Teocelo, Veracruz

Elaboración propia

El producto final puede ser comercializado al público en general, pero a los mayores compradores son los caficultores de la zona a quienes se les ofrece a mitad de precio. A pesar de la confianza y los buenos resultados obtenidos no se ha extendido su venta debido a la baja producción con que cuenta la planta ante las expectativas de mercado establecidas.

4.1.2 Municipio de Orizaba

El municipio de Orizaba se ubica en la latitud 18 50'54.78"N y Longitud 97 06'00.61"O encontrándose a 179km de la ciudad de Xalapa, capital del estado y 265 km de la capital del país. De acuerdo al censo de población y vivienda del 2010 el municipio cuenta con una población de 120,995 habitantes.

El municipio cuenta con distintos programas de manejo de residuos, estos abarcan los sectores públicos y privados. El programa que desarrollaron para la valorización de RSU es denominado "Basura y Predial" (ByP) y por medio de centros de acopio recupera:

- Tereftalato de Polietileno (PET)
- Polietileno de Alta Densidad (PEAD)
- Cartón Corrugado
- Papel Mixto
- Vidrio Reciclable
- Envases multicapa
- Fierro
- Latas de aluminio
- Aluminio macizo
- Otros metales como el cobre, bronce, níquel, antimonio y estaño.

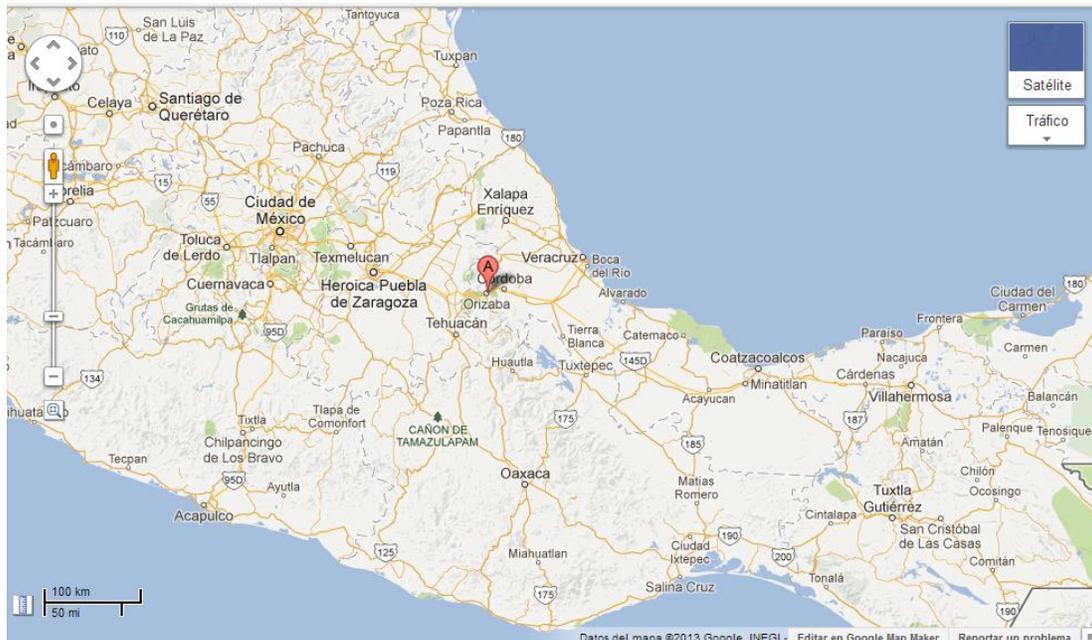


Imagen 6 Ubicación de la Ciudad de Orizaba, Veracruz

(Google, 2014)

Este programa surge a partir de una promesa de campaña del actual Presidente Municipal, el Lic. Hugo Chaín, esta consistía en ofrecer a la población un mecanismo para apoyar el pago de impuestos municipales: predial, agua potable, drenaje y recolección de basura. De esta manera el

municipio comercializa los productos recuperados y expide vales a la ciudadanía participante para el pago de servicios.

Para el caso de los habitantes de la ciudad que rentan un inmueble y no deben cubrir las cuotas de estos servicios se generó un convenio con un par de centros comerciales locales en donde los vales expedidos pueden ser utilizados en la compra de distintos artículos comercializados dentro de estos centros.

El sistema de acopio se basa en la colocación de módulos móviles a lo largo de la ciudad; la ubicación fue determinada de acuerdo a la zona de generación por zonas del municipio. Cada módulo permanece dos horas en cada sitio para el acopio, dichos módulos cuentan con los siguientes participantes:

- 1 Supervisor. El cual emite los vales de acuerdo a la cantidad y residuos entregados y moviliza el modulo
- 1 Pesador. Es el responsable de determinar el peso de cada grupo de residuos recuperado
- 2 Ayudantes. Los responsables de la movilización de los residuos ya aceptados
- 1 Chofer. Es el responsable de movilizar el modulo; solo es asignado a un módulo si el supervisor no sabe manejar

Es indispensable una capacitación de los participantes del módulo debido a que participan directamente con la población. En primer lugar deben tener en cuenta su participación como servidores públicos y la importancia de un buen trato al ciudadano, a pesar de las dificultades que puedan surgir con estos. La causa de mayor conflicto es el descuento del monto del total de los residuos recibidos debido a contaminantes dentro de estos; algunos son:

- Presencia de piedras dentro de latas de aluminio
- Contención de líquidos dentro de envases de plásticos
- Cartón con exceso de humedad

Para evitar algunos de estos problemas se distribuyó entre la población un folleto en donde se indica la manera en que deben de ser entregados los residuos en el módulo de acopio, al igual que la promoción del programa en un inicio y la información acerca de la localización de los módulos se hizo casa por casa.

De acuerdo a los operadores de los módulos de acopio el programa ha tenido un éxito en todos los niveles socio-económicos de la población del municipio. De igual manera comentan que un módulo móvil atiende de 60 a 80 personas diarias, llegando en días de mucha demanda hasta las 110 personas.

De igual manera este programa ha sido incluyente debido a que se recolectan directamente en domicilio los residuos de generadores con discapacidad y de aquellos que cuenten con una alta cantidad de residuos acumulados en sus domicilios, de tal manera que no les sea posible transportarlos sin auxilio mecánico.

En la imagen 7 puede observarse un vale de acopio de residuos. En primer lugar se coloca el nombre del responsable de la cobertura de los impuestos mencionados anteriormente, junto a un

conjunto de datos que lo identifica plenamente acompañados de la fecha de entrega. Posterior al pesaje de los residuos las cantidades son anotadas en el recuadro correspondiente. Continúa una numeración de los abonos recibidos, el monto monetario y el folio del vale.

The image shows two identical forms for the 'Programa BYP' (Basura y Predial). Each form is titled 'Programa BYP' and includes the text 'ESTE TICKET ES INTRANSFERIBLE'. The forms are divided into two columns. The left column contains fields for 'Nombre', 'Domicilio', 'Col.', 'No. Afiliación IFE', 'Fecha', and 'No. de Predio'. Below these is a table with columns for waste types: PT, CT, VD, FR, CB, AL, AR, TP, BR, PL, PR, HD. The rows are labeled 'Kg.' and 'Precio'. At the bottom of the left column are fields for 'No. de Abono' and 'Cantidad Programada BYP \$', with a red stamp '55301' and a 'Firma' line. The right column contains fields for 'Nombre', 'Domicilio', 'Col.', 'No. Afiliación IFE', 'Fecha', 'No. de Predio', and 'Cantidad Programada BYP \$', with a red stamp '55301' and a 'Firma' line. Handwritten notes in blue ink are visible at the top of the forms.

Imagen 7 Vale de recepción de residuos para el programa Basura y Predial

(Gobierno Orizaba , 2014)

Posterior a la recolección de los residuos estos son llevados a la estación de transferencia, la cual también funciona como centro de ACOPIO de los residuos recuperados. Aquí estos residuos son preparados para su transporte al comprador. En el caso del cartón, el PET, el PEAD y el envase multicapa se generan pacas de 100 a 160 kg debido a que no cuentan con un cargador para su transporte y estas deben ser movilizadas de manera manual.

A pesar de que existen empresas que pueden valorizar los residuos dentro de la zona, el municipio no los ha manejado a un nivel de calidad demandado por varias de estas; siendo el cartón la excepción, el cual es recibido en una cartonera local. El resto de los materiales es vendido a las empresas que por precio de compra y transporte sea la más rentable.

Los precios pagados a la población son actualizados constantemente de acuerdo al precio manejado en el mercado, de esta manera. Durante el 2011, primer año del programa, se compraron a la población \$500,000 en residuos, mientras que al cierre del año 2012 el mismo concepto ascendió a \$1, 800,000 lo cual representa un incremento de más del 200%.

Como puede observarse el programa ha ido creciendo y ha tenido tanto éxito que algunos habitantes han podido pagar todos sus servicios por medio de este programa y han generado un excedente; es este caso se generó un segundo convenio con una mueblería que acepta los vales para la compra de muebles y electrodomésticos.

Otra muestra del crecimiento y éxito del programa de ByP es que el espacio destinado en la zona de transferencia para el almacenamiento temporal de los residuos recuperados es actualmente insuficiente a pesar de que se realizó una ampliación recientemente, por lo cual muchos residuos se encuentran momentáneamente a la intemperie.

Del programa PyB se rescatan los siguientes puntos sobresalientes:

- El compromiso de todos los participantes del programa
- La planeación llevada a cabo previo el arranque del programa
- Debe llevarse a cabo el dimensionamiento de las instalaciones utilizadas para el manejo de los residuos

4.2 Resultado de la visita a instalaciones de reciclaje

Se realizó una visita a una planta de vidrio en donde el 30% de su materia prima es vidrio de botellas pos consumo y otra a una empresa donde se acopian y separan distintos residuos para después ser comercializados con las empresas que los utilizan dentro su procesos. De acuerdo a estas visitas se determinó que la mayoría de la información necesaria puede ser obtenida sin realizar las visitas directamente a las instalaciones de las empresas involucradas en el proceso de valorización.

Debido a ello y a las pocas solicitudes aceptadas para realizar las visitas se decidió recuperar la información de las empresas de manera remota. Para ello se llevaron a cabo diversas entrevistas telefónicas con los responsables del área de calidad de las empresas seleccionadas y se solicitaron los parámetros de calidad utilizados demandados a los proveedores de materiales recuperados de los residuos.

4.3 Resultado de la visita a instalaciones de valorización de residuos sólidos orgánicos urbanos

Como se mencionó previamente se realizó una visita a la planta de lombri composta del municipio de Teocelo, Veracruz. Adicionalmente se visitó la planta de composta de la Delegación de Xochimilco y la planta de composta de la Ciudad Universitaria de la Universidad Nacional Autónoma de México.

4.3.1 Planta de Compostaje de la Delegación de Xochimilco, México D.F.

Esta planta solo recibe los residuos de jardinería generados en la Delegación de Xochimilco, lo cual incluye troncos, ramas, hojas y pasto, estos elementos son combinados con heces bovinas de un sitio cercano para mejorar el proceso de producción.

El primer paso dentro de la planta de compostaje es la recepción de los residuos, durante esta etapa se hace una inspección visual para evitar el ingreso de residuos sólidos urbanos distintos, residuos de manejo especial o residuos peligrosos, adicionalmente se eliminan las plantas de eucalipto debido a que complican el proceso de compostaje.

Posteriormente los residuos ingresados deben ser triturados antes de ser ingresados en el proceso de compostaje para reducir su tamaño de partícula. Los troncos de madera muy grandes para

ingresar a la trituradora se almacenan de forma diferenciada y son donados para ser usados como leña o materia prima de otros procesos.

Los residuos pueden permanecer en espera si no existe espacio o necesidad para conformar una nueva pila. Del almacenamiento los residuos pasan a la etapa de pre composta o fermentación, en este se conforma una pila a la cual se adiciona agua hasta que se sature y se deja en dichas condiciones aproximadamente una semana, finalizado este período se utiliza el material para conformar las pilas de composta.

Las pilas cuentan con un largo de 25 a 30 metros, 3.5 de ancho e inicialmente una altura de 2.5 metros y la plancha destinada para ello cuenta con espacio para 5 o 6 camas. Para la aireación de las pilas se utiliza una volteadora mecánica, durante el proceso de volteo se adiciona agua para ayudar el proceso de compostaje.

4.3.2 Planta de compostaje de Ciudad Universitaria, Universidad Nacional Autónoma de México

De igual manera que la planta de Xochimilco solo se reciben residuos de poda y jardinería generadas durante el mantenimiento de las áreas verdes de la Ciudad Universitaria. A lo largo de su historia llevo a recibir residuos de las unidades de veterinaria pero se suspendió dicho servicio debido a faltas administrativas por parte de los operadores.

Se evita la utilización de residuos alimenticios por la formación de núcleos anaerobios durante el proceso de compostaje debido a que no se cuenta con una mezcladora adecuada para el proceso. De igual manera aún no se cuentan con estudios de la composición de los residuos para balancear sus componentes con los residuos actuales.

Los residuos de madera son procesados en la astilladora y adicionados en el proceso de la composta. Dichos residuos no se degradan en el proceso pero son utilizados debido a que proporcionan porosidad a la composta permitiendo la aireación de esta. Al final una parte de las astillas integran la composta y el resto son retiradas.

De acuerdo a las condiciones climáticas el proceso de compostaje puede variar de 3 meses hasta 9 en período de estiaje. El producto final es cernido y almacenado hasta que es necesaria su utilización. Dicho producto solo se emplea dentro de Ciudad Universitaria como abono y mejorador de suelo; adicionalmente las astillas son empleadas como cobertura de suelo.

4.4 Etapas de la planeación de un programa de valorización de residuos sólidos urbanos

Las etapas de un programa son tres, la primera es la planeación del programa, la segunda la operación y la tercera la evaluación; todas estas relacionadas entre sí. Cada etapa cuenta con sub etapas para concretarse de manera correcta, dentro de la planeación de un programa de valorización se deben llevar a cabo las siguientes sub etapas:

- Pre planeación

- Diagnóstico
- Propuesta del programa
- Consulta del programa
- Elaboración de un programa final
- Calendarización de las actividades

Estas etapas de la planeación son relatadas a continuación, al igual que de manera general las etapas de operación y evaluación.

La primera etapa consiste en una **pre planeación** de las acciones a llevar a cabo, en esta se establecerán los objetivos, misión y visión del programa, lo cual guiará las distintas acciones que se lleven a cabo para el desarrollo del programa. De igual manera se designarán los responsables para la siguiente etapa del proceso.

Posteriormente debe realizarse un **diagnóstico** de la gestión, el manejo y la valorización de residuos actuales. Una parte básica dentro de esta etapa es el de conocer cuánto y qué se genera a lo largo del tiempo en la localidad donde se desarrollará el programa; de igual manera es fundamental conocer todos los pasos llevados a cabo durante el manejo tanto los formales como los informales, todos los actores involucrados en el manejo de los residuos, entre otros puntos.

En una tercera etapa se desarrollará una **propuesta del programa** de valorización en donde se incluirán las acciones a llevar a cabo de acuerdo a los resultados de las primeras dos etapas. Existe la posibilidad de que deban replantearse algunos aspectos desarrollados en la primera etapa, como los objetivos. Esta actualización se presenta a lo largo de todo el programa.

En una cuarta etapa la propuesta debe de ser sometida a una **consulta**, tanto de parte de la población de la localidad en donde se va a aplicar como de personal que conozca acerca del tema. Una de las herramientas que pueden utilizarse es el desarrollo de un taller con distintos representantes de la comunidad y en la medida de lo posible de un experto en gestión.

En una quinta etapa se reestructurará y desarrollará el **programa final** con base en los resultados obtenidos de la consulta. No todos los comentarios u opiniones podrán ser incluidos pero debe buscarse un programa balanceado, pero que sobre todo sea viable de manera técnica, social, ambiental y económico.

Posteriormente debe realizarse una **programación** de las actividades y asignarse a los responsables de cada una de estas para la instauración del programa de valorización. Para definir este orden será recomendable desarrollar un esquema en donde se ilustren de manera consecutiva las actividades previas que necesita cada una, de tal manera que las programadas en primer orden se desarrollen sin necesidad de adecuaciones previas y sirvan de base para las posteriores.

La séptima etapa consistirá en la **operación** del programa de valorización, para esto la orientación a la población, la capacitación al personal, las estructuras de captación y todos los elementos necesarios para el programa deben de estar instalados; durante el desarrollo se pueden encontrar oportunidades de mejora.

Por último debe de llevarse a cabo una **evaluación** del programa, preferentemente esta evaluación debe ser programada de manera periódica en un tiempo que los operadores del programa consideren adecuado. Durante esta evaluación también se recogerán las oportunidades de mejora que se detectaron durante la operación del programa.

De acuerdo a la evolución y evaluación del programa pueden llevarse a cabo modificaciones al programa desde los objetivos hasta la operación particular de una de las partes del manejo de estos. Es proceso permite mejorar el programa y ajustarlo a las nuevas condiciones que se presenten a lo largo de su desarrollo.

4.5 Características para la entrega final de los residuos al proceso de valorización

En este apartado se presentan características de entrega recurrentes de los residuos demandadas por las empresas recicladoras consultadas previamente. Aunque estas sean comunes en el mercado deben de ser acordadas directamente con el comprador de los residuos siendo particulares en cada uno de los tratos, esto se debe a las necesidades que demanda cada empresa y las condiciones de los residuos en cada zona.

De manera general será recomendable vender directamente a la empresa que recicle el sub producto en cuestión; pero en ocasiones por cuestiones de distancia o infraestructura esto no será viable, por lo que el balance económico puede mejor vendiendo dicho material a acopiadores particulares de alto volumen de la región.

- Papel y cartón. De acuerdo a las empresas consultadas lo que solicitan a sus proveedores es que los materiales estén libres de contaminantes, algunos de estos pueden ser plásticos y tierra; y que se encuentren secos. En cuanto a su presentación pueden ser a granel o en pacas; las pacas son recomendadas para reducir el costo del transporte cuando son transportados de zonas lejanas.
- Empaque multicapa. Existen empresas especializadas en la valorización de estos residuos así como algunas papeleras, las cuales se interesan en este material debido a su contenido de celulosa blanca; las empresas lo reciben sucio y con algunos contaminantes propios de los envases como el plástico del sistema de cerrado, ya sea a granel o en pacas. Se permite recibirlo de esta manera debido a que cuentan con equipo de reducción de volumen, lavado y separación de capas.
- Plásticos. Las condiciones por tipo de plástico se mencionan a continuación.
 - Tereftalato de polietileno (PET). Estos no necesitan un lavado previo debido a que las empresas que lo valorizan cuentan con este sistema, son aceptados con tapas y etiquetas ya que también se eliminan durante el proceso. Es enviado regularmente en pacas
 - Polietileno de Alta Densidad. Este regularmente no requiere de un pre tratamiento; aunque entregarlo triturado disminuye el espacio requerido para su transporte y en algunos casos mejora su precio de compra.
 - Polietileno de Baja Densidad. Debe entregarse lo más limpio posible, evitando contaminantes como materia orgánica, papel y polvo.

- Vidrio. Debe de ser vidrio de recipientes, no es aceptado el denominado vidrio plano utilizado para ventanas y similares. Debe de ser separado por colores y evitar la contaminación por presencia de otro color y evitar a toda medida la presencia de metales. Soporta algunos contaminantes orgánicos debido a que son ingresados en hornos de fundición en donde se gasifican. Se entrega molido y se transporta en camiones con paredes.
- Metales. Estos generalmente deben desmontarse de los productos en los que se encuentran. Su entrega se realiza a granel, el tratamiento al que se someten previo a su reciclado es mínimo.
-

4.6 Participantes y sus roles dentro de un programa de valorización de residuos

Durante la valorización de RSU se cuenta con la participación de distintos actores de acuerdo a cada una de las etapas y acciones que se llevan a cabo a lo largo de este. Dichos actores provienen de varios sectores de la localidad y en ocasiones más de uno desempeña simultáneamente la misma labor. En la tabla 7 puede observarse la participación de cada actor por etapa y acción.

Autoridades municipales. Estos hacen referencia al presidente municipal, regidores y síndicos; aunque no se encuentran tan involucrados en el proceso del desarrollo e implementación del programa su participación es decisiva debido de que de ellos emana la autorización y administración del manejo de los residuos.

Limpia pública. Es la Dirección o Sub Dirección municipal que se encarga de la mayor parte de la gestión y manejo de los RSU y está presente directa o indirectamente en todas las acciones, como lo son la recolección, la transferencia, el acopio, valorización y disposición final. En caso de no ser una Dirección independiente recurrentemente emana de la Dirección de Servicios o de Medio Ambiente, dependiendo de la organización y tamaño del municipio.

Instituciones educativas. Estas se hacen presentes en varios niveles, desde el superior haciendo aportaciones en varias etapas previas a la operación hasta el nivel básico donde se busca concientizar y capacitar a los estudiantes y que estos a su vez concienticen y capaciten a sus mayores en casa.

Empresas. Estas son prestadoras de distintos servicios, y de acuerdo a su tamaño pueden contar con una gama de estos para ofrecer a la gestión integral de residuos dentro de una localidad. Algunas de estas pueden limitarse al servicio de consultoría mientras otras cuentan con infraestructura y equipo que les permite ofrecer servicios en distintos puntos del manejo.

Usuarios. Son a los que se les brinda el servicio de recolección de residuos, estos van desde individuos generadores en casa habitación a empresas generadoras de residuos especiales. La participación de estos consiste en informarse y ayudar a difundir el programa, así como presentar los residuos al servicio de recolección como lo indique el programa.

Organizaciones de la sociedad civil. Estas son organizaciones sin fines de lucro, cuyos objetivos son el del involucramiento social; Pueden estar enfocadas directa o indirectamente en aspectos

ambientales. Su labor en un programa se desarrolla en torno a la difusión y consulta del programa.

Sector informal. Son particulares que participan que por medio de la recolección, el acopio y la venta de productos se generan ingresos económicos pero que no están constituidos como una empresa ni pertenecen a una empresa prestadora de estos servicios en la localidad. Estas personas regularmente operan sin protección personal y en ocasiones disponen los residuos en sitios inadecuados para su disposición final.

Tabla 7 Participación de las entidades involucradas en el manejo de los residuos sólidos urbanos

Etapas	Acciones	Actores						
		Limpia Pública	Empresas	Instituciones Educativas	Autoridades municipales	Usuarios	OSC	Sector Informal
Pre Planeación	Definición de objetivos	X				X		
	Coordinación con políticas públicas	X				X		
	Determinación espacial y temporal	X				X		
Diagnóstico	Estudio generación y composición	X	X	X				
	Diagnostico manejo actual	X	X	X				
	Consulta programas previos	X	X	X				
	Diagnóstico del mercado	X	X	X				
	Proyección de población	X	X	X				
	Estimación población	X	X	X				
	Propuesta	Determinación de acciones	X	X	X			
	Establecimiento sistema de manejo	X	X	X				
Consulta	Consulta pública	X	X	X		X	X	
	Consulta expertos	X	X	X				
Programa Final	Adecuación de la consulta	X	X	X				
	Elaboración programa final	X	X	X				
Programación	Determinar actividades prioritarias	X	X	X				

	Asignar responsables	X			X		
	Determinar tiempos y recursos	X		X	X		
	Administración del programa	X			X		
Pre Operación	Difusión del programa	X		X	X	X	X
	Capacitación del personal	X		X		X	X
	Capacitación usuarios	X		X		X	X
	Obtención de maquinaria	X					
	Instalación de Infraestructura	X					
	Establecimiento fecha de arranque	X			X		
Operación	Limpieza de áreas públicas	X	X				X
	Separación del Material	X	X			X	X
	Recolección y transporte RSU	X	X				X
	Recolección y transporte RME	X	X				
	Operación Estación Transferencia	X	X				
	Planta de Separación	X	X				
	Plantas de Compostaje	X	X				
	Centro de Acopio	X	X				
	Venta de Material	X					X
Evaluación	Recolección comentarios usuarios	X					
	Recolección comentarios operadores	X					
	Detección áreas de oportunidad	X					
	Determinación medidas mejor	X		X			
	Aplicación medidas	X					

Elaboración propia

4.7 Jerarquía de los procesos de valorización

Esta jerarquía se establece para indicar a que procesos dar preferencia para el establecimiento de programas de valorización de acuerdo a su beneficio ambiental, su viabilidad técnica y económica. En esta propuesta se presentan los procesos más difundidos y no se toman en cuenta los procesos específicos por tipo de residuos los cuales deben de jerarquizarse de acuerdo a sus características.

En primer lugar se establecerá de acuerdo a la jerarquía de manejo de residuos actual, la cual se muestra en la imagen 8. Como se puede observar en la jerarquía los procesos que se tienen contemplados para alcanzar la valorización de residuos son la reutilización y el reciclaje, estos no pueden ser aplicados a los residuos de alta tasa de degradación, por lo que es necesario establecer una jerarquía para ellos y detallar la correspondiente a los de media o baja tasa de degradación.

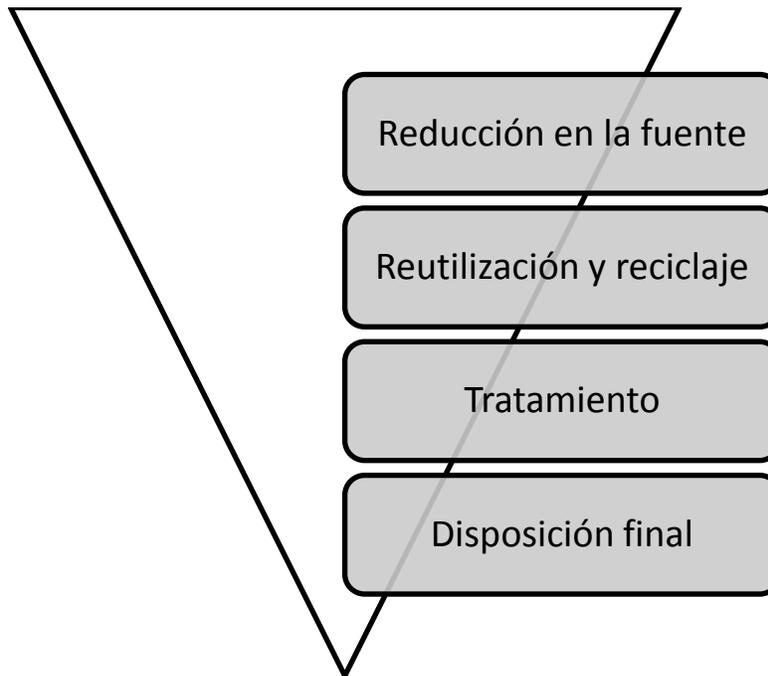


Imagen 8 Jerarquía del manejo de residuos sólidos urbanos

(SEMARNAT, 2001)

De acuerdo a distintos estudios de análisis de ciclo de vida se ubica al compostaje y al reciclado como las opciones más difundidas de menor impacto ambiental para el manejo de residuos, particularmente en los rubros de cambio climático, salud humana y toxicidad (Juárez, Güereca, & Gassó, 2008). La carencia que presentan dichos estudios es que no se evalúa la reutilización de los residuos en la zona de generación como alternativa de manejo.

Para este desarrollo la reutilización se mantendrá como prioridad en la jerarquía para la valorización de los residuos debido a que no necesitan un proceso de transformación, existen algunas estrategias que permiten la reutilización en la misma fuente de generación o un manejo centralizado que solo requiere de transporte y no una transformación de los mismos. Para el caso de los residuos de alta tasa de degradación el alimento de ganado es una opción aplicada en el país (Orta de Velásquez, y otros, 2009).

La jerarquía de manejo presentada no contempla procesos para la valorización energética por lo que fue necesario establecerla. Los estudios base tomados para establecer la jerarquía de estos fueron los desarrollados por Zaman (2009) y (2010) en los cuales se evalúan distintos procesos para la valorización energética.

De acuerdo a ello el proceso con menores impactos ambientales por tonelada manejada es la digestión anaeróbica, siendo inclusive menos impactante durante el manejo de residuos de alta tasa de degradación que el compostaje (Sundqvist, 2005). Actualmente hay múltiples estudios en desarrollo de la implementación de la digestión anaeróbica en el país pero el compostaje es un proceso mucho más familiar y con menores costes económicos.

La segunda opción mejor valorada es la combinación de los procesos de pirolisis-gasificación, esta combinación es adecuada para los residuos de alta y media tasa de degradación pero los costos económicos son mayores a la energía obtenida por medio de la digestión anaeróbica (CORFO, 2014) ideal para los residuos de alta tasa y en comparación el proceso de reciclaje es más favorable que este proceso para los residuos de media tasa

La incineración es el último de los procesos de valorización energética contemplado, a pesar de su mayor impacto ambiental entre estos es aún menos impactante que la disposición de los residuos sólidos que no han podido ser ingresados en otros procesos, inclusive si el sitio de disposición final cuenta con un sistema de aprovechamiento del biogás generado (Di Maria & Micale, 2014).

De acuerdo a lo examinado anteriormente se propone una jerarquía de procesos para la valorización de residuos sólidos urbanos, la cual se puede observar en la imagen 9. Se observa como la reutilización directa de los residuos, alimento para ganado en caso de degradables de alta tasa, se considera como primera opción por ser económica, ambiental y técnicamente viable.

Para los residuos de alta tasa de degradación se propone la digestión anaeróbica como segunda opción debido a los bajos impactos generados y múltiples beneficios como la producción de gas y sub producción de mejoradores del suelo. A pesar de que económicamente aún no es viable en todas las regiones del país su desarrollo y extensión deben de fomentarse. A pesar de su amplio desarrollo en el país por su viabilidad técnica y económica se propone el proceso de compostaje como última opción debido a los impactos ambientales generados.

Para el caso de los residuos de media y baja tasa de degradación la opción siguiente a la reutilización es el reciclaje, el cual de acuerdo a todos las fuente consultados conserva un menor impacto que cualquier proceso de aprovechamiento energético, adicionalmente este proceso presenta la ventaja de la reintegración de productos al sistema de producción y consumo. En caso de que ninguno de los sistemas anteriores sea viable para los residuos de media y baja tasa se propone la incineración de los mismos (IES, 2007).

De manera general se espera que todos estos procesos de valorización generen menos impactos que la disposición de los mismos, aunque de manera ideal deben desarrollarse los análisis de ciclo de vida por cada caso para así conocer el impacto real de cada opción.

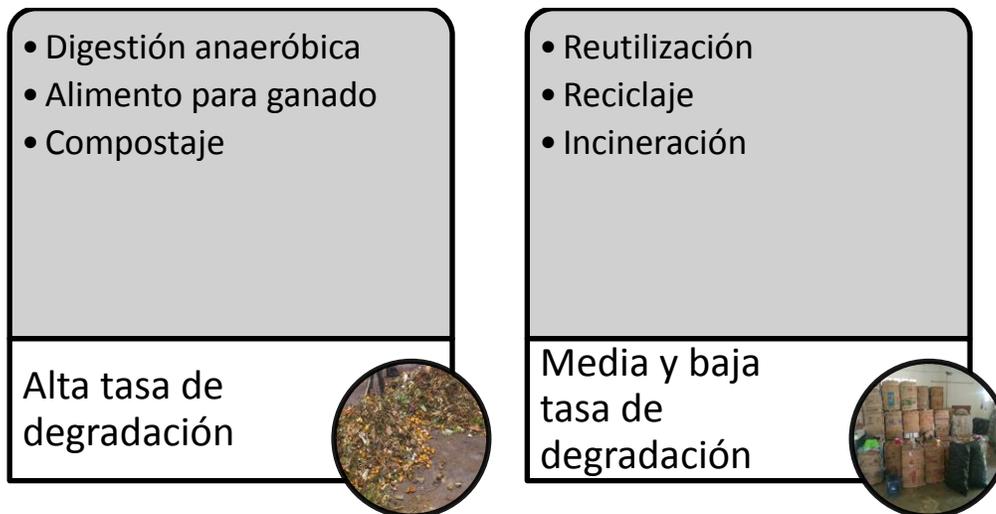


Imagen 9 Jerarquía de procesos para la valorización de residuos sólidos urbanos

Elaboración propia

De igual manera al momento el proceso de pirolisis – gasificación se excluye debido a que para cada tipo de residuos existen mejores opciones para su valorización, se espera un desarrollo de la tecnología en años posteriores.

Para otros procesos para la valorización específicos para residuos a menos de ser necesario no deben de ser jerarquizados de acuerdo a sus características, en caso de ser necesario tomar una decisión siempre se supondrán mejor que la disposición final y en el caso de los de media y alta tasa que la incineración.

De igual manera todos los sistemas cuentan con un menor impacto si existe una separación adecuada en la fuente y de esta manera se pueden reducir los procesos de separación necesarios en una instalación centralizada para la separación de residuos (Di Maria & Micale, 2014).

Capítulo V. Propuesta de metodología para el desarrollo de programas de valorización enfocados en residuos sólidos urbanos

El manejo adecuado de los RSU es un problema que afecta tanto el entorno humano como el natural. Un mal manejo de estos no sólo provoca afectaciones visuales sino que en las ciudades pueden generar taponamiento de alcantarillas, proliferación de fauna nociva y por lo tanto transmisión de enfermedades.

Estos daños se presentan a lo largo de toda el sistema de manejo, incluso fuera de las zonas donde se da el mal manejo debido a que los residuos pueden migrar y generar contaminación de suelo, aire y agua. Un claro ejemplo es una mala disposición de residuos, la cual llega a darse en barrancas, ríos, playas, entre otros; o la quema de residuos que genera distintos contaminantes atmosféricos.

La generación de afecciones se da aunque solo una etapa del manejo sea mal llevada, como puede ser el caso de una buena recolección y transporte, pero al presentarse una mala disposición la generación de lixiviados y biogás no está controlada, por lo que migran fuera del sitio contaminando acuíferos y la atmosfera.

Inclusive, cuando se lleva a cabo un adecuado manejo de residuos pueden presentarse problemas ambientales y sociales, esto es debido en gran medida a la utilización de rellenos sanitarios para la disposición final, los cuales alteran el paisaje, demandan grandes extensiones de terreno y pueden ser causa de inestabilidad social durante su instalación.

Debe aplicarse una gestión integral de RSU, la cual busca la mínima generación de residuos, la valorización de la mayor cantidad de los residuos que no fue posible evitar generar y la disposición ambientalmente adecuada del menor volumen posible de residuos que no han podido ser valorizados. Reducir los residuos al mínimo en todas sus etapas.

Es prioritario dentro de las políticas nacionales reducir gradualmente la dependencia de la disposición final dentro de la gestión integral para evitar los problemas mencionados y evitar el confinamiento de materiales que pueden ser valorizados y reintegrados a las cadenas de producción y consumo.

El objetivo de esta metodología es ser una herramienta para la elaboración de programas de valorización enfocados en residuos sólidos urbanos (P VERSUS). Esta profundiza en una etapa específica de la gestión integral de residuos que al momento no ha sido abordado de manera específica en el país, lo cual posibilita una mejor gestión.

En los siguientes apartados se desarrollaran los distintos elementos necesarios para plantear un programa de valorización enfocado en RSU a lo largo de toda su gestión, donde se profundizará en el sistema de manejo pero sin dejar de lado las etapas administrativas, de planeación y participación social necesarios.

Todo programa debe atravesar tres etapas generales, las cuales se sub dividen de acuerdo a la complejidad que alcance dicho programa. Las distintas etapas están vinculadas unas con otras, de tal manera que guardan un esquema cíclico, tal como puede observarse en la imagen 10; las tres etapas deben desarrollarse a conciencia para lograr el alcance de los objetivos del programa.

Inicialmente se hace una planeación que cuenta con diagnóstico para posteriormente operar el programa, el cual debe de contar con un registro y monitoreo que permita evaluar tanto la planeación llevada a cabo como la operación para identificar oportunidades de mejora, para volver a planeación e iniciar el ciclo nuevamente.

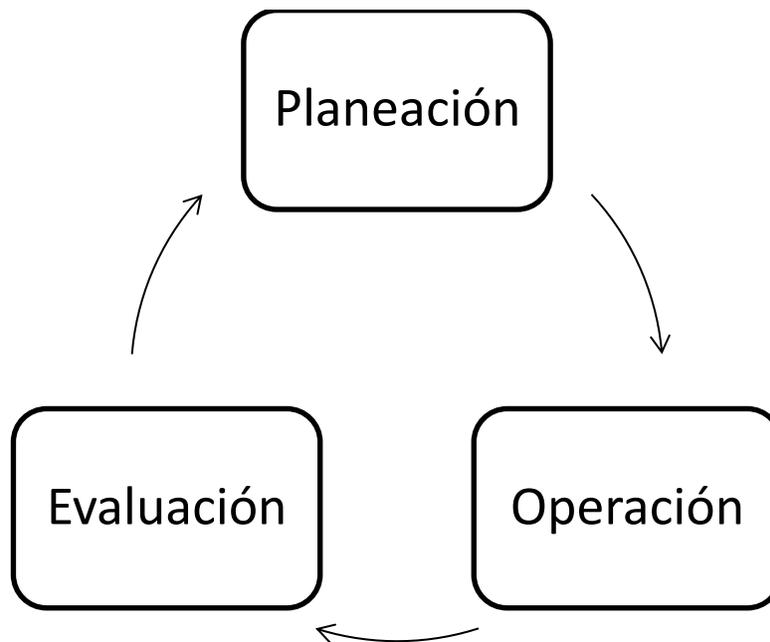


Imagen 10 Diagrama general de las etapas de un programa de valorización

Elaboración propia

5.1 Líneas estratégicas

Las directrices son un juego de elementos que brindarán guía y sustento a cualquier programa que se busque implementar, es necesario desarrollarlas antes de iniciar propiamente la planeación del programa para que todas las acciones se encuentren coordinadas entre sí buscando alcanzar los mismos objetivos y se encuentren enmarcadas bajo los mismos alcances.

5.1.1 Objetivos

Son determinados de acuerdo a lo que los planeadores del programa pretenden alcanzar durante el desarrollo y operación del mismo. La definición de estos permeará a lo largo de todo el programa de valorización siendo fundamental tomar el tiempo necesario para poder desarrollar cada uno de los mismos.

Existen dos tipos de objetivos, el general y los particulares. El primero en ser definido es el objetivo central de todo el trabajo, dicho elemento servirá como eje de todo el programa a desarrollar, por ello es indispensable que sea completamente claro y que contemple las necesidades que buscan satisfacer los desarrolladores.

Para el desarrollo del objetivo general se debe de responder a la pregunta ¿Qué se pretende alcanzar con un programa para la valorización de residuos? Con esta debe establecerse ¿Para qué valorizar los residuos seleccionados? Dichas razones pueden ser múltiples y deben formar parte del objetivo, de igual manera puede establecerse la manera en que se llevará a cabo dicha valorización.

Adicional al objetivo general deben desarrollarse los objetivos particulares, los cuales servirán como apoyo para alcanzar el objetivo particular planteado, la cantidad de objetivos particulares puede variar de acuerdo al programa. Un objetivo particular que forma parte de la planeación de cualquier programa de residuos es el de “determinar la generación y composición de los residuos” en la zona de estudio.

A continuación se establecen algunos ejemplos hipotéticos:

Objetivo general 1: Valorizar la mayoría de los residuos generados en el municipio para ampliar en 10 años el tiempo de vida útil del sitio de disposición final operado actualmente de manera ambiental y económicamente factible.

Objetivos particulares 1:

- Determinar los residuos que requieren de mayor volumen de almacenamiento en el sitio de disposición a lo largo de su período de vida útil para determinar aquellos serán estudiados.
- Estimar la cantidad de residuos que deben ser valorizados para ampliar la vida útil del sitio de disposición final.
- Comparar económicamente el estado actual con la propuesta para determinar si igual o mejor en términos económicos.

Objetivo general 2: Generar ingresos económicos a la dependencia responsable del manejo de residuos sólidos urbanos por medio de la valorización de los residuos más aptos para su comercialización.

Objetivos particulares 2:

- Realizar un estudio de mercado de los residuos recuperados en la región para su comercialización.
- Establecer el modelo de negocios que seguirán los operadores del manejo de residuos para la comercialización de estos.
- Estimar el porcentaje de aportación económica que puede obtenerse mediante la implementación del programa de valorización.

Objetivo general 3: Generar materiales a partir de los residuos de alta tasa de degradación útiles para los productores del sector primario en la zona.

Objetivos particulares 3:

- Cuantificar a los agricultores y ganaderos en la zona que puedan utilizar los productos generados.
- Establecer los parámetros necesarios por los consumidores de los productos generados a partir de los residuos.
- Determinar la cantidad de forraje y composta que puedan producirse a partir de los residuos generados en el municipio.

5.1.2 Alcances

Los alcances serán la delimitación del programa de gestión de residuos, dichos alcances tendrán sustento en los objetivos y las condiciones en las que se encuentre actualmente la gestión de residuos en el municipio, de tal manera que la implementación y operación del programa sean desarrolladas bajo las mismas directrices.

Inicialmente los alcances deben ser establecidos de acuerdo a la experiencia con la que cuentan los responsables del manejo de residuos en el municipio. Los alcances pueden modificarse cuando:

- Se realice el estudio del estado de manejo de residuos
- Las condiciones del manejo de residuos cambie
- Se modifiquen los objetivos del programa

Se recomienda que al menos se determinen los alcances de acuerdo a los factores de espacio, tipo de residuos y tiempo para un programa de valorización.

Espacio

En ocasiones las condiciones geográficas, sociales, técnicas, entre otras, pueden evitar que una zona del municipio pueda participar dentro de la gestión de residuos central del municipio, debido a ello cuentan con una gestión de residuos propia; por lo cual deben desarrollar un sistema de valorización propio o no participar dentro del programa.

La definición del espacio puede darse por la respuesta a alguna de las preguntas siguientes:

- ¿Hasta dónde?
- ¿Qué comunidades?

- ¿En qué zonas?

Como se ha planteado, todas las directrices pueden evolucionar a lo largo del tiempo, el cambio en las condiciones de cualquier zona puede permitir el ampliar al área de cobertura de un programa o en su defecto el de reducirla; algunos de estos cambios pueden ser una nueva vía de acceso, cambio de administración, incremento de infraestructura, etc.

Tipo de residuos

Un programa de VERSUS (Valorización enfocada en residuos sólidos urbanos) se enfoca en aquellos residuos que cuentan con características domiciliarias, pero puede incluir algunos de manejo especial que puedan ser beneficiosos para el programa por su potencial económico o por las ventajas que ofrecen al ser incluidos en algún tratamiento.

Actualmente no se cuenta con un marco adecuado para el manejo de los denominados residuos peligrosos domésticos, estos no deben diferenciarse dentro de un programa VERSUS a menos que la legislación aplicable los reconozca y por ende se establezcan medios para poder proveer su gestión adecuada.

Tiempo

Cada vez que se plantee la implementación de un programa de valorización se debe buscar que el programa sea permanente, pero de manera técnica es fundamental establecer una pauta temporal para el desarrollo del programa, este período de tiempo no marcará el final del programa sino el período establecido para la evaluación del mismo. Se sugiere establecerlo para:

- El dimensionamiento de la infraestructura, para realizar esto se debe proponer un punto temporal de acuerdo a la generación y la proyección de la población a futuro, se recomienda que se establezca de acuerdo al tiempo de vida de maquinaria e instalaciones.
- El establecimiento del período de implementación del programa aunado a la duración de cada una de las etapas que lo conformen, de esta manera se puede contar con un mayor control y un período esperado para el alcance de cada una de los objetivos establecidos.
- Evaluación del programa, este debe de aplicarse para poder identificar las oportunidades de mejora dentro del programa de valorización, preferentemente debe ser un período menor a los 3 años debido a que es el tiempo que duran las administraciones municipales.

5.2 Estado y proyección del manejo de los residuos en la zona

El objetivo de este apartado es establecer las condiciones con las que cuenta la zona de estudio para el desarrollo de un programa de valorización. En este se contemplan los aspectos técnicos y organizacionales, tanto del sector social, académico, público y comercial que puedan involucrarse en la estructuración del programa.

5.2.1 Antecedentes

Antes de desarrollar un nuevo programa de valorización es necesario conocer a la población y el área donde se pretende aplicar el programa, las experiencias que se han tenido en la zona en este

tema y la información existente actualizada que puede emplearse como base o sustento del programa. A continuación se enlistan potenciales fuentes de información:

1. Documentos generados por el Instituto Nacional de Estadística y Geografía (INEGI)
2. Programas de valorización previos.
3. Programas de gestión de residuos sólidos urbanos discontinuados o actuales.
4. Documentación generada previamente por la entidad municipal responsable del manejo de los residuos sólidos urbanos.
5. Estudios del sistema de manejo de residuos generados por entidades académicas, dependencias de gobierno.
6. Legislación aplicable de los tres niveles de gobierno.

En caso de que se cuente con un programa de residuos previo en el municipio será valioso rescatar las experiencias de los participantes, incluyendo a los tomadores de decisiones, operativos y administrativos; al igual que del sector social al que fue dirigido el programa. De igual manera se prestará especial atención a los siguientes temas:

1. Características del municipio y su población
2. Generación y composición de los residuos
3. Flujo de los residuos
4. Descripción de las etapas del manejo de residuos
5. Residuos recuperados
6. Tecnología para la valorización de los residuos
7. Sistema de recuperación de residuos
8. Motivación social de la población

En México es importante que la información utilizada proveniente de niveles municipales sea menor a tres años debido a que es el período de las administraciones y en caso de ser mayor se pueda comprobar su vigencia con los responsables de limpia pública.

Existe Información confiable mayor a tres años que provienen de las secretarías responsables del manejo de residuos a nivel estatal, esto debido a que la gestión estatal cuenta con un período mayor que el municipal. En caso de no contar con la información de los numerales se iniciará por determinar los 3 primeros. En la imagen 11 se cuenta con un esquema para la detección y desarrollo de antecedentes.

5.2.2 Generación, composición y peso volumétrico

Estos datos constituyen la base para la toma de decisiones en etapas siguientes del proceso de planeación del programa, si estos datos no se consiguieron durante la revisión de los antecedentes es idóneo poder llevar a cabo los estudios de campo necesarios para su determinación, los datos pueden estimarse en base a la información bibliográfica, pero esta opción debe tomarse solamente en caso de que el municipio no tenga los recursos para realizar los estudios en campo. El diagrama de acciones para el desarrollo del estudio de generación y composición se observa en la imagen 12.

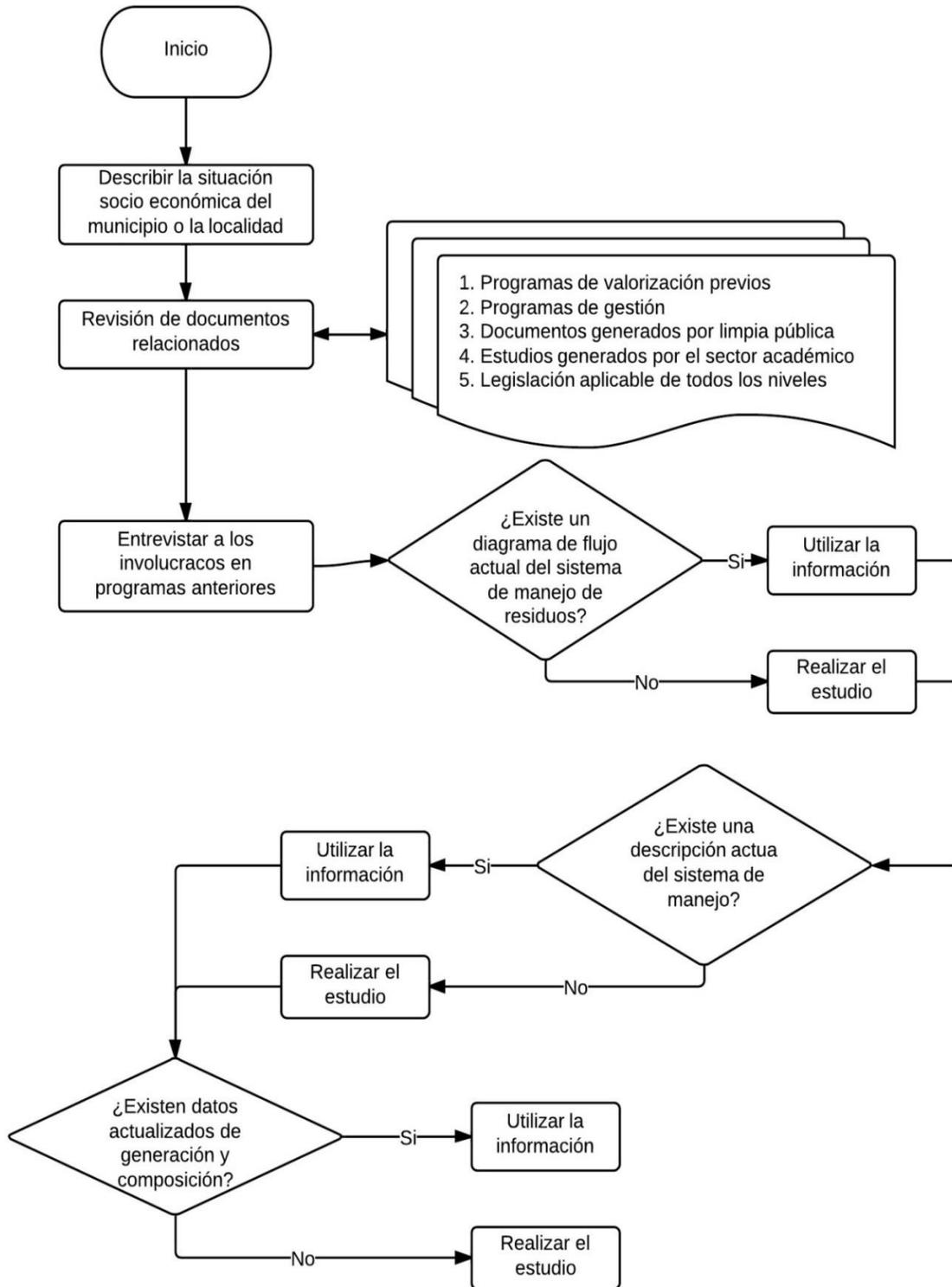


Imagen 11 Diagrama para el desarrollo de antecedentes

Elaboración propia

Antes de llevar a cabo estos estudios deben de identificarse las fuentes de los residuos que se busca estudiar y valorizar de acuerdo a los alcances establecidos en los alcances, en mayor medida la fuente será de viviendas, pero en la siguiente lista que no es exhaustiva se exponen algunas fuentes adicionales:

- Escuelas
- Tiendas
- Restaurantes
- Mercados
- Oficinas
- Hoteles
- Talleres
- Bancos
- Hospitales
- Reclusorios
- Centros gubernamentales

En caso de que se planea utilizar algunos residuos de manejo especial para facilitar los procesos de degradación biológica o que sean útiles para cualquier otra vía de valorización debe de tomarse en cuenta sus fuentes para integrarles en el programa de valorización.

La generación es la cantidad de residuos producidos en una o varias fuentes que se manejarán bajo un mismo esquema. Esta cantidad de residuos preferentemente debe definirse en las fuentes de generación y compararse con la cantidad de residuos en la disposición final para determinar la cantidad de residuos que siguen otro camino durante el manejo.

Para el desarrollo del estudio de generación la normatividad pide que se tomen en cuenta 3 estratos socioeconómicos para diferenciar los distintos niveles de generación, estos estratos son el bajo, el medio y el alto; en ocasiones puede tomarse un cuarto estrato para la determinación de micro generadores con actividad no domiciliaria.

La composición de los residuos es la identificación en un flujo específico la cantidad de sus distintos componentes, siendo expresada regularmente en un porcentaje. Esta información es clave para determinar los materiales a valorizar y el modo en que serán manejados durante la operación del programa.

El peso volumétrico es la relación existente entre el peso y el volumen sin compactación de un flujo de residuos o un componente particular de este; es recomendable obtener este valor para los distintos materiales que serán manejados dentro del programa. Adicionalmente durante la planeación debe tomarse en cuenta que los residuos en algunas etapas podrán ser sometidos a una compresión modificando esta relación.

Actualmente la legislación mexicana cuenta con una serie de Normas Mexicanas que ofrecen un procedimiento para llevar a cabo estos estudios, dichas normas son:

- NMX-AA-015-1985 Muestreo, método de cuarteo
- NMX-AA-019-1985 Peso volumétrico in situ

- NMX-AA-022-1985 Selección y clasificación de subproductos
- NMX-AA-061-1985 Determinación de la generación

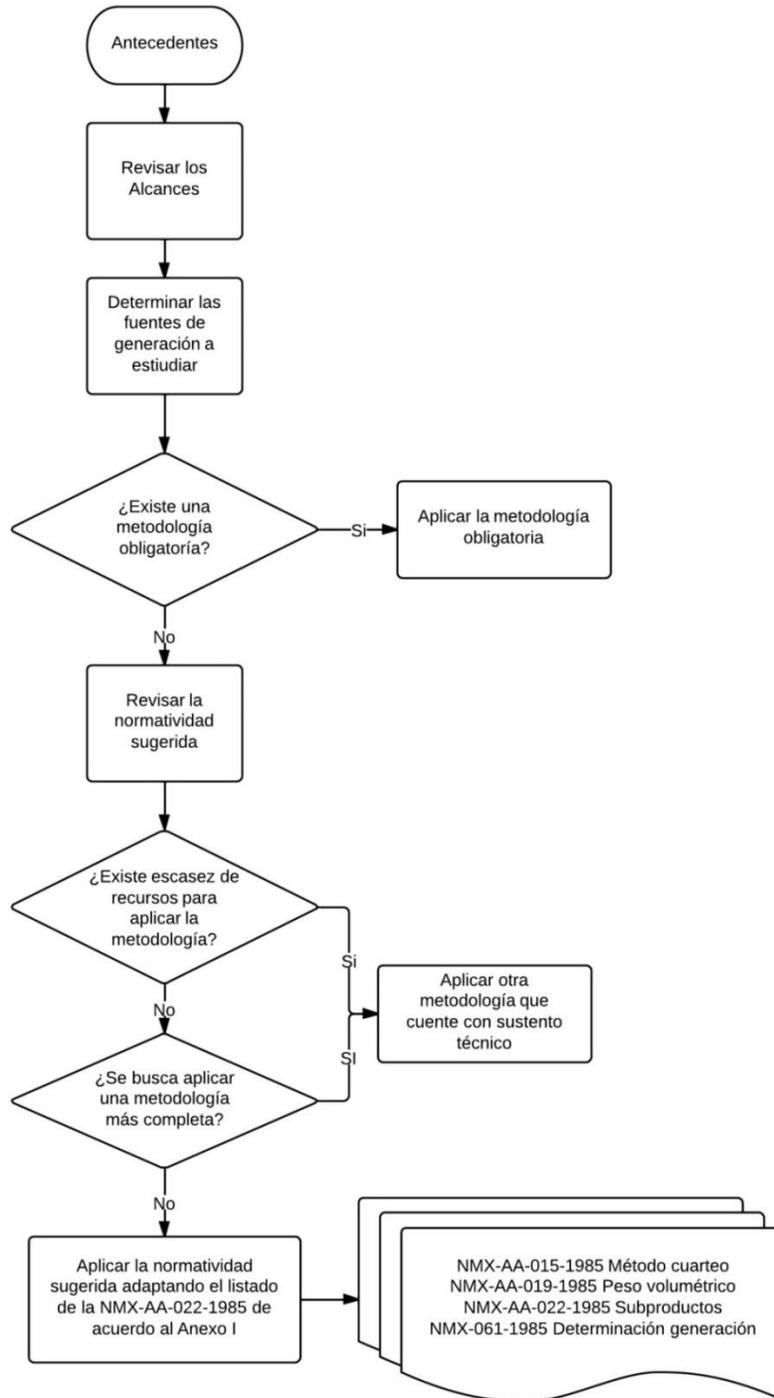


Imagen 12 Diagrama para realizar el estudio de generación y composición

Elaboración propia

Esta metodología es un estándar de referencia en el país, pero no es obligatoria, puede emplearse cualquier otra metodología que cuente con un sustento probado. El cambio de metodología puede obedecer a una escasez de recursos de los municipios para desarrollar el estudio o al conocimiento técnico de una mejor metodología.

5.2.3 Proyección de la población y la generación

Por medio del procedimiento llevado anteriormente se determina la generación de residuos en un año determinado de acuerdo a la población con la que cuenta el territorio objeto de estudio, pero la población y sus hábitos de generación evolucionan a lo largo del tiempo, debido a esto es necesario realizar una proyección de la población y sus tasas de generación de residuos.

Un parámetro útil que puede utilizarse para determinar el período de tiempo para proyectar la población y la generación es el tiempo de vida útil de la maquinaria que llegue a utilizarse durante el programa, de igual manera es preferente que se proyecte en bloques de 3 años de acuerdo a la duración de los gobiernos municipales.

La generación de residuos evoluciona con el tiempo, esto básicamente de acuerdo a dos variables; la primera el número de habitantes de la zona y la segunda su generación per cápita de acuerdo a sus hábitos de consumo. Existen múltiples métodos de proyecciones poblaciones que pueden utilizados para este propósito.

Una manera sencilla de obtener la proyección de población es en base a las estimaciones municipales llevadas a cabo por el Consejo Nacional de Población (CONAPO). De manera complementaria es plenamente aceptada una tasa de incremento anual en la generación per cápita de residuos del 1%.

En la tabla 8 se presenta la manera de realizar el cálculo de distintos parámetros para el cálculo de la generación:

Tabla 8 Algoritmo para desarrollar la proyección de población y generación de residuos

Año	A.Población (hab)	B.Generación Per Cápita (Kg/día hab)	C.Generación diaria (Kg/día)	D.Generación Diaria (Ton/día)	E.Generación Anual (Ton/año)
1					
2	De acuerdo	De acuerdo al estudio			
3	a la	realizado previamente	= A x B	= C/1,000	= D x 365
4	proyección				
N	obtenida				

Elaboración propia

5.2.4 Descripción del sistema actual de manejo de residuos sólidos

Por medio de esto se obtienen las etapas actuales del manejo de los residuos y las condiciones en que se encuentra cada una de estas para adaptar o modificar plenamente dichas etapas dentro del programa de valorización. De igual manera con la información de la generación se puede generar un balance de los residuos que ingresan en el sistema y sus distintos destinos.

Modelo del sistema de manejo de residuos sólidos urbanos

Este elemento indica todas las etapas de manejo a las cuales son sometidos los residuos generados en las fuentes incluidas en el programa. Desarrollar este elemento nos permite visualizar los procesos, cambios y movimientos a los que son sometidos los residuos, así como a los actores de cada etapa de manejo.

Las etapas presentes dentro del modelo de manejo de los RSU pueden repetirse en varios municipios, en la mayoría de estos se presenta un esquema lineal desde la generación hasta la disposición final, en ocasiones la única actividad de valorización con la que cuenta el sistema es el de la separación informal que se lleva a cabo durante la recolección.

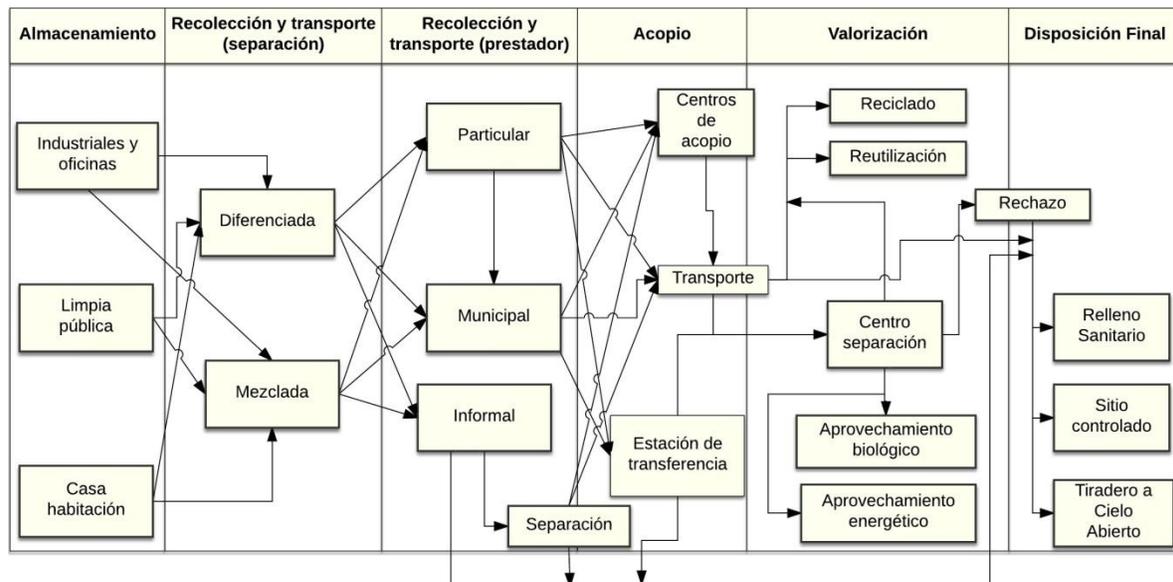


Imagen 13 Diagrama de múltiples vías para el desarrollo de un modelo de manejo de residuos

Elaboración propia

En la imagen 13 se muestran distintas combinaciones que pueden presentarse para la conformación de un modelo de manejo de RSU, en este esquema no se toma en cuenta todo el

proceso de generación sino la etapa de almacenamiento temporal en fuentes que pueden ser de competencia municipal.

En el esquema están incluidos elementos al medio de algunas etapas que no pertenecen estrictamente a ellas pero son fundamentales en la secuencia dentro del sistema de manejo. Debido a la complejidad de cada municipio existe la posibilidad de que no estén presentes todos los elementos posibles, pero sí los más representativos.

Para desarrollar un modelo de manejo se sugiere seguir los residuos desde su generación hasta que son reintegrados al sistema de producción y consumo o son trasladados para su disposición final. Para desarrollar este elemento puede usarse como guía el diagrama mostrado en la imagen 11. En este los elementos que representan propiamente la valorización están remarcados.

A partir de cada elemento pueden surgir múltiples opciones para la siguiente etapa, no necesariamente aplican todas a cada municipio, en algunos casos algunas etapas pueden no estar presentes como el acopio o la valorización. Las etapas con las que siempre se cuentan son la generación y el almacenamiento temporal, la recolección, transporte y la disposición final.

Descripción de las etapas de manejo

Posteriormente a la determinación de las distintas etapas de manejo a las que son sometidos los residuos se debe describir cada una de ellas, para llevar a cabo esta descripción deben tomarse en cuenta los siguientes factores:

- Cantidad y características de los residuos manejados en el sistema
- Cantidad de residuos manejados por etapa
- Cantidad y capacitación del personal
- Vehículos en operación y período promedio en taller
- Estado de la infraestructura
- Adicionales

Esta descripción servirá para conocer las condiciones reales de operación de cada etapa y posteriormente de acuerdo a los objetivos establecidos para el programa de valorización determinar las nuevas necesidades de la etapa. Toda inversión que se realice debe de obedecer a una necesidad que no pueda cubrirse con el sistema de manejo actual.

5.2.5 Demanda de materiales

Actualmente existe tecnología para la valorización de la mayoría de los residuos, pero no todos estarán disponibles en el área donde se desarrolle el programa, uno de los factores determinantes es la rentabilidad del sistema en el área. Debido a esto, antes de decidir que residuos deben ser seleccionados para ser manejados dentro del programa debe determinarse que residuos son demandados en la zona.

El objetivo de este estudio es determinar que productos presentes en los residuos son demandados para su valorización en los mercados locales y cercanos. Regularmente este proceso

se identifica como la venta de productos obtenidos por un proceso de pepena, aunque pueden existir otros procesos.

Inicialmente debe de identificarse dentro del sistema de manejo descrito anteriormente las etapas donde se lleva a cabo algún tipo de valorización, los materiales sujetos a este proceso, los sitios donde se acopian, la manera en que son aceptados y el valor monetario de cada uno de estos.

Posteriormente a explorar los sistemas ya establecidos se debe hacer una búsqueda de los registros de empresas dedicadas al reciclaje en la zona, existen listados establecidos de empresas dedicados a este tema, como lo son:

- Directorio de centros de acopio de materiales provenientes de residuos en México (2010). De SEMARNAT
- Instituto Nacional de Recicladores, A.C.
- Directorios de recicladores generados a nivel estatal

Los listados establecidos corren el riesgo de no ser exhaustivos, por lo que es recomendable identificar las industrias asentadas en la zona para determinar si pueden integrar los subproductos recuperados del flujo de residuos en su sistema de producción, generando una opción adicional a para la valorización de estos.

Durante este proceso adicionalmente al tipo de materiales debe de determinarse si los distintos acopiadores o empleadores de los residuos demandan más de los recibidos o si su tasa será constante a lo largo del tiempo. También debe de explorarse su participación durante el desarrollo del programa de valorización. La imagen 14 es un esquema para el desarrollo de esta etapa.

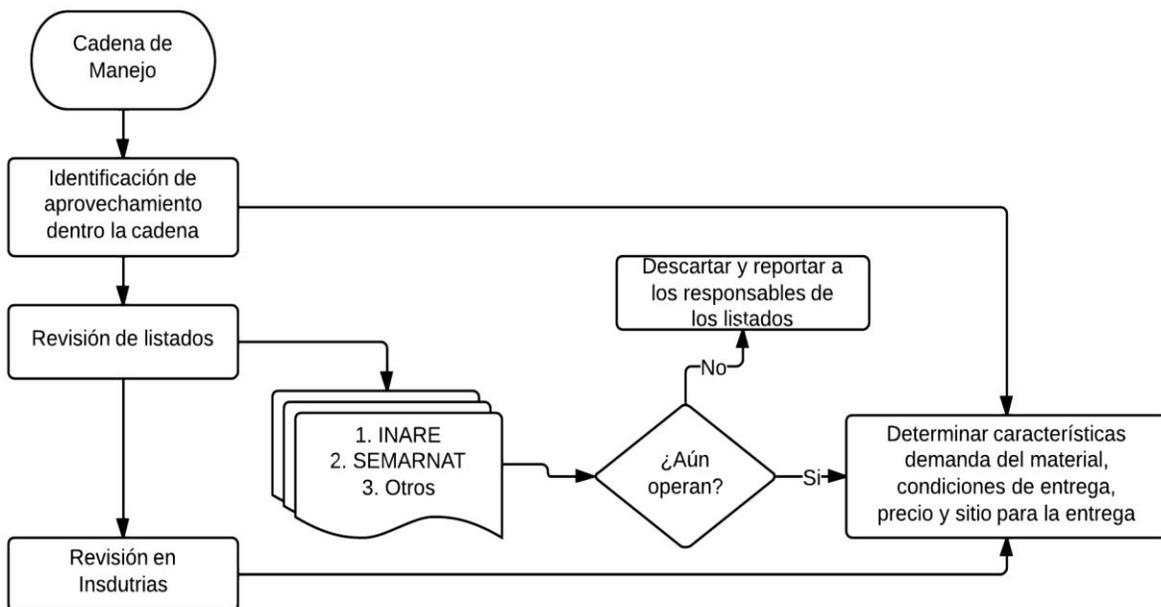


Imagen 14 Diagrama para la determinar la demanda de materiales

Elaboración propia

5.2.6 Reintegración de líneas estratégicas

La reintegración no corresponde directamente al proceso de diagnosticar el estado del sistema de manejo actual, pero debe darse inmediatamente después de que este se finalice, al contar con toda esta información es altamente probable que los objetivos y alcances puedan haber variado de los planteados de manera inicial. Esta etapa es una evaluación anidada dentro del sistema de planeación general del programa, lo cual permite mejorar la etapa de planeación del sistema previa al desarrollo, la cual permite contar con mejores elementos para su posterior evaluación.

5.3 Determinación de la valorización por tipo de subproducto

Este apartado es desarrollado para determinar los tratamientos a los que serán sometidos los residuos para ser valorizados. Dicha determinación se llevará a cabo de acuerdo al tipo de residuos generados y a las opciones que se encuentran en el municipio o en la región para valorizarlos de acuerdo a la demanda que exista.

Existe una jerarquía de acciones para el manejo de residuos, de la cual se deriva una jerarquía para la valorización de los residuos, de esta derivan dos vías, las cuales se describen a continuación:

- La reutilización es el empleo de un material o residuos previamente usado, sin que medie un proceso de transformación.
- El tratamiento integra de manera segura los residuos generados por una industria o fuente conocida, como insumo a otro proceso productivo. Estos procesos incluyen al reciclado, la composta y la obtención de energéticos.

La primera vía a la que debe recurrirse en la valorización de los residuos es la reutilización, un beneficio adicional con el que puede contar la reutilización es la solidaridad social. En este esquema el generador juega un rol muy importante, aunque actualmente los productores también se han involucrado para alentar este tipo de sistemas, algunos ejemplos son:

- Impresión en ambas caras de una hoja
- Almacenamiento de objetos en cajas usadas
- Rellenado de garrafones de agua
- Rellenado de cartuchos y tóneres para impresión
- Donación de ropa, anteojos y electrónicos
- Alimentación de ganado con residuos alimenticios

Posteriormente el sistema de debe optar por el tratamiento para reintegración al sistema de producción y consumo; debido a la gran variedad de materiales que están presentes en el flujo de residuos los municipios cumplen el papel de acopiadores para posteriormente realizar la venta de los residuos a las empresas que tienen la capacidad de valorizarlos.

Uno de los tratamientos más conocidos es el reciclado, este es aplicado a residuos de media o baja tasa de degradación. Actualmente en México el proceso se puede desarrollar gracias a la existencia de distintas cadenas de captación de residuos para que posteriormente puedan ser tratados. Los residuos captados mayoritariamente para el reciclado son los siguientes:

- Papel y cartón
- Metales
 - Ferrosos
 - No ferrosos
- Plásticos
 - PET
 - PEAD
 - PEBD
 - PVC
- Vidrio
 - Color
 - Incoloro (Flint)
- Envase multicapas

El último eslabón de la valorización de residuos de media o baja tasa de degradación es la recuperación energética del mismo por medio de procesos de combustión, actualmente en México el único proceso disponible para la utilización de este medio es ingresar residuos con alto potencial calorífico a los hornos cementeros.

Para el caso de los residuos de alta tasa de degradación el único sistema desarrollado ampliamente en México es el composteo que es la descomposición aeróbica de la materia orgánica mediante la acción de microorganismos específicos, el material obtenido del proceso de composteo tiene características adecuadas para ser un mejorador de suelo.

Otro proceso de valorización para estos residuos es la degradación anaeróbica es el proceso por el cual los residuos orgánicos se descomponen en ausencia de oxígeno y mediante la acción de microorganismos anaerobios, produciendo biogás que puede ser aprovechado energéticamente, a pesar de lo atractivo que es este proceso aún no tiene presencia en México más que a nivel de investigación.

En México algunas de las opciones aún no se han consolidado, pero han demostrado ser viables en otros países, a continuación se mencionan casos asociados a cada una de las opciones de valorización mencionadas en el diagrama de acuerdo al tipo de residuos:

- Residuos con alta tasa de degradación
 - El uso de los residuos como alimento para ganado es el proceso que requiere un menor tratamiento para su valorización. En el municipio de Santiago Tianguistenco donde se lleva uno de los más grandes tianguis de la región del Valle de Toluca se producen cerca de 20 Toneladas de residuos de alimentos, una fracción de esta es captada por ganaderos para utilizarlo como forraje (GIZ, 2013).
 - El uso de los residuos para generar composta es tal vez uno de las opciones de valorización más ampliamente desarrolladas en el país donde actualmente operan varias plantas. En el municipio de Capulhuac, Estado de México, se inició un programa para el compostaje y lombrí compostaje de los residuos, el cual al 2006 trató el 98% de estos residuos produciendo 90 toneladas de composta por mes (Rodríguez Salinas & Córdova y Vázquez, Manual de compostaje municipal. Tratamiento de residuos sólidos urbanos, 2006).
 - La digestión anaerobia para la producción de biogás es una tecnología que aún se encuentra en desarrollo en el país
- Residuos de media o baja tasa de degradación:
 - La reutilización implica que el residuo no sea sometido a algún proceso de transformación, por lo que este proceso de valorización tiene el potencial de generar menos impactos ambientales. En México uno de los casos más difundidos es el de los llamados “Envases retornables” para bebidas, aunque existen muchos otros ejemplos fuera del país; un buen ejemplo es el programa denominado “Reciclaje de gafas” del Club de Leones, dicho programa consiste en recolectar gafas en desuso y buen estado para limpiarlas, empacarlas y entregarlas a personas de escasos recursos (Lions Club International, 2014).
 - Uno de los procesos más identificados es el reciclado, donde los materiales son transformados para ser valorizados. En el municipio de Mompaní, Querétaro, se lleva a cabo la separación, se emplean bandas donde los residuos son seleccionados de manera manual; del 2006 a febrero de 2009 la venta de los materiales generó un ingreso de \$1, 400,240, permitiendo un ahorro al municipio por disposición final del orden de \$348,240 (Orta de Velásquez, y otros, 2009).
 - Algunos residuos pueden ser usados en los hornos cementeros como combustible alternativo. En Reino Unido existe el caso de la cementera inglesa Castle Cement la cual actualmente utiliza una fracción de los residuos, pero espera sustituir su consumo de combustibles fósiles hasta en un 70% (Robson, 2008).

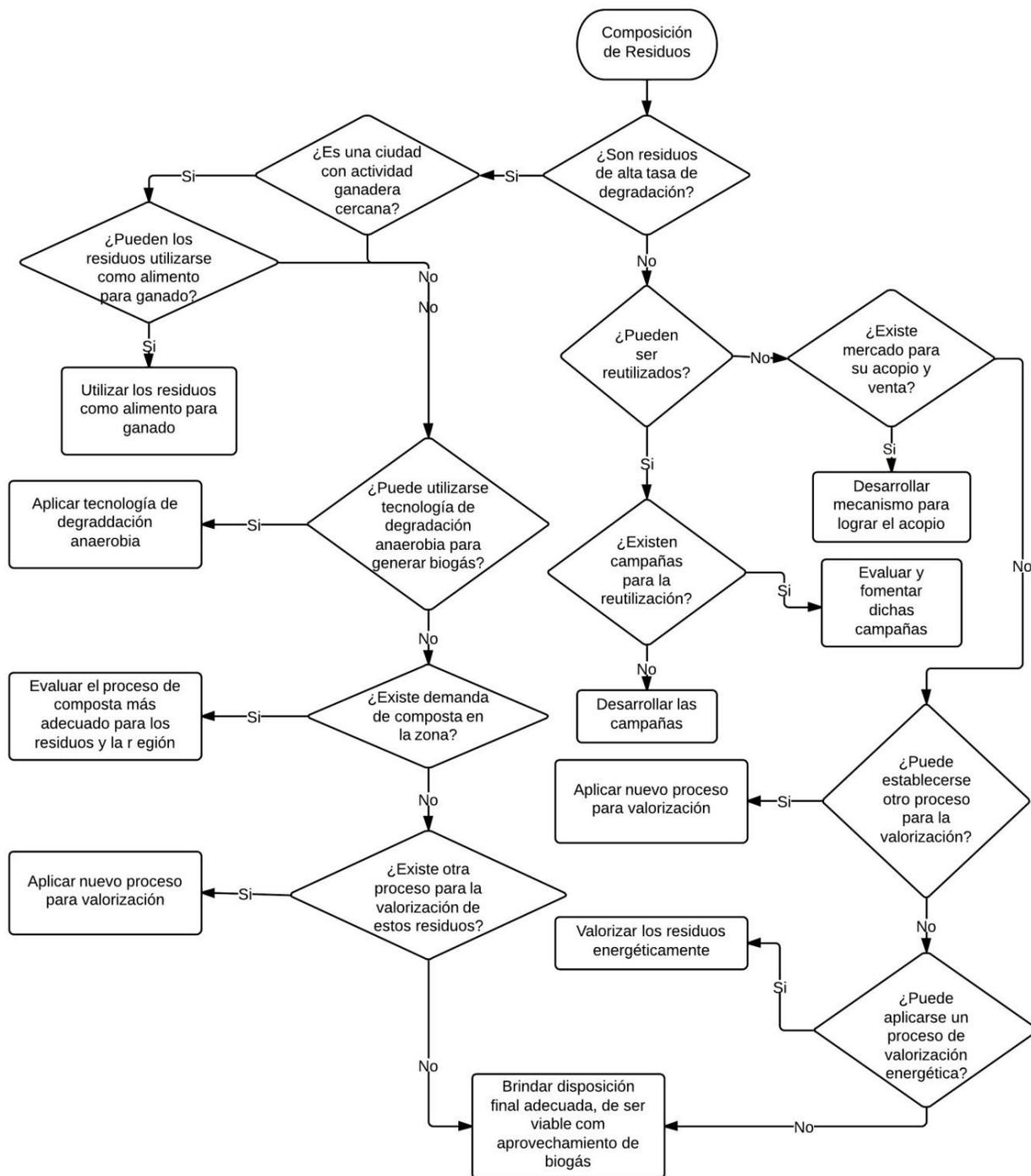


Imagen 15 Diagrama para determinar el sistema de valorización de materiales

Elaboración propia

- Cuando no existe un esquema consolidado para la valorización de residuos debe buscarse el apoyo de instituciones académicas y de investigación para la

propuesta de nuevos métodos. Un ejemplo es el estudio que ha desarrollado un grupo de trabajo en la Universidad Autónoma Metropolitana con la valorización de los pañales desechables para el cultivo de setas, obteniendo una reducción de peso del residuo de un 46.2 a un 87.6% (Espinosa Valdemar, Turpin Marion, Delfín Alcalá, Maldonado Alexandre, & Almanza Veloz, 2005).

La imagen 15 es un diagrama de toma de decisiones basado en la jerarquía de procesos para la valorización de residuos, dicho diagrama está diseñado para brindar distintas opciones de acuerdo a los objetivos y necesidades del programa.

5.4 Definición de la motivación social

Todos los elementos técnicos manejados hasta el momento durante esta guía son de suma importancia, pero el elemento que determina el éxito o el fracaso de un programa de valorización es la participación social, debido a esto es fundamental establecer la motivación social por medio de la cual operará el programa.

La elección del tipo de motivación social a escoger debe de basarse en el conocimiento de la población. Existen cuatro motivaciones sociales distintas para la operación de un programa de valorización de residuos, éstas se abordan a continuación:

- La motivación ambiental responde al compromiso de la población para cuidar el ambiente, siendo la separación y la valorización de residuos un mecanismo para ello, regularmente este tipo de motivación funciona en poblaciones con altos niveles de concientización. Su período de desarrollo es prolongado, pero una vez establecido cuenta con un fuerte respaldo social. Un ejemplo es el “Programa integral de manejo, educación, proceso y valorización de los residuos municipales en Teocelo, Veracruz” el cual inició en el año 2000, actualmente la población debido al trabajo de concientización realizado por distintas instituciones educativas participa en la separación de residuos.
- La motivación comunitaria consiste en la participación de la comunidad o una fracción de esta en la separación de los residuos a cambio de algún beneficio grupal, como puede ser la mejora de infraestructura de alguna instalación de interés común, este esquema ha sido utilizado en comunidades rurales e instituciones en distintos niveles.

Un caso importante en México es el desarrollado por ECOCE A.C. Dicha asociación busca la recuperación y valorización de los residuos de los envases de PET, actualmente cuenta dos programas comunitarios; en el primero llamado “Eco Reto” en donde participan escuelas hasta nivel bachillerato y el segundo es “Acopio institucional” que como lo indica su nombre se

aplica en instituciones o empresas, a cambio de los residuos cada uno recibe donaciones materiales (ECOCE, 2014).

- La motivación económica responde al interés de obtención de una retribución de la población al separar sus residuos, un programa que utiliza este tipo de motivación contará con resultado mucho más rápido de parte de la población. Su desventaja recae en que el programa está expuesto a las fluctuaciones del precio de los materiales separados, por lo cual el precio de compra al público debe mantenerse debajo de ese margen actualizándose constantemente.

Un ejemplo es el que se presenta en la ciudad de Orizaba, Veracruz, mediante el programa “Basura y Predial” el gobierno acopia residuos separados por la población a cambio de vales que pueden usar para el pago del predial entre otros impuestos y otros bienes en tiendas asociadas.

- La motivación reglamentaria responde a una imposición por parte del gobierno hacia los ciudadanos para que participen en la separación de residuos, la respuesta de la población variará de acuerdo a su nivel de concientización y a la vigilancia que pueda proporcionar el gobierno para el desarrollo de las actividades.

Un claro ejemplo es el que se presenta en la Ciudad de México que en su Ley de Residuos Sólidos en el artículo 33 establece que todo generador de residuos sólidos debe separarlos en orgánicos e inorgánicos dentro de sus domicilios y deben depositarse en contenedores separados para su recolección por el servicio de limpia.

A partir de que es definida la motivación social y las actividades del programa deben de plantearse las actividades a llevar a cabo para la difusión del rol que debe de cumplir la población. Es importante señalar que aunque defina una motivación social para la operación del programa se pueden alentar el resto de las motivaciones para complementar estas acciones.

5.5 Determinación del sistema de separación de residuos

Existen pocos mecanismos que pueden llegar a una valorización de residuos cuando el flujo de estos no se encuentra separado, para la mayoría de los casos es necesario al menos llegar a separar el flujo en residuos de alta tasa de degradación y residuos de media o baja tasa de degradación para que posteriormente sean sometidos a un proceso de valorización.

Este sistema es el último en ser desarrollado debido a que engloba los resultados de las etapas anteriores, a continuación se enlistan los métodos para la separación de residuos:

- La recolección diferenciada como su nombre lo indica corresponde a la recolección de residuos en la fuente de manera separada. Debido a la complejidad de ampliar las

categorías para la separación de residuos este sistema sirve como antesala para a otro proceso de separación de mayor detalle.

Actualmente en el Distrito Federal se lleva a cabo la recolección diferenciada de residuos, siendo cuatro días para residuos inorgánicos y tres días para residuos orgánicos, esto con el objetivo de llevarlos finalmente a la planta de composta o a alguna de las plantas de separación manual con las que cuenta la ciudad.

- En los centros de acopio se reciben los residuos separados directamente de la población la cual en la mayoría de los casos recibe una retribución, pudiendo ser económica, en especie o fiscal. De acuerdo a la cantidad y movilidad existen distintos centros de acopio
 - El centro de acopio centralizado hace referencia a aquel centro único existente para el desarrollo del programa, puede ser útil para poblaciones pequeñas. Esta condición se da en la comunidad de Atasta, en el municipio de Carmen, Campeche, en donde debido a la baja generación de residuos estos se concentran en un único centro de acopio para su venta mensual (Osorio Hernández, 2013).
 - Los centros de acopio fijos son aquellos que se encuentran establecidos a lo largo de la ciudad, deben diseñarse de acuerdo a la población que esperan a tender y su generación de valorizables. Actualmente en la ciudad de Aguascalientes, Aguascalientes, se está desarrollando una red de centros de acopio de residuos en distintos sectores para su posterior venta; en esta la población lleva sus residuos y el monto estipulado por cada fracción de residuos es adicionado a una tarjeta bancaria que se entrega como parte del mismo programa.
 - Los centros de acopio móviles son utilizados cuando no puede enfrentarse la inversión en infraestructura de los fijos, estos deben de tener días y horarios definidos por zona; esencialmente están constituidos por un vehículo de carga y una báscula. En la ciudad de Orizaba, Veracruz, cuentan con 3 módulos móviles de acopio de residuos, los cuales se desplazan para cubrir semanalmente 36 puntos a lo largo de la ciudad permitiendo que la cantidad de residuos separados año con año aumente (Gobierno Orizaba , 2014).
- Las plantas de separación de residuos son instalaciones en donde el flujo de residuos es segregado en distintos materiales que son de interés para su valorización, dichas instalaciones pueden ser automáticas o mecánicas manuales. Al 2009 se tenían reportadas la operación de 11 plantas de separación a nivel nacional.

Una de estas es la que se ubica en Salinas Victoria, Nuevo León, fue inaugurada durante el año 2000 y cuenta con 4 bandas en donde se recupera aluminio, vidrio, cartón, papel, plásticos, laminados compuestos y acero; dicha planta pertenece al Sistema Integral para el Manejo Ecológico y Procesamiento de Desechos, mejor conocido como SIMEPRODE (Orta de Velásquez, y otros, 2009).

La operación de los centros de acopio o de las plantas de separación no deben ser instalados exclusivamente por el municipio, estos pueden ser instalados por particulares, como actualmente operan muchos centros de acopio, pero las plantas de separación regularmente se instalan mediante un convenio entre el municipio y un particular. Sin importar la naturaleza de estos centros deben de ser contemplados dentro del sistema de manejo de residuos.

De acuerdo a todo lo anterior se diseñó un diagrama para el diseño del sistema de separación de residuos el cual puede observarse en la imagen 16. Este diagrama obedece a las características de los municipios de tal manera que es flexible si es utilizado en distintos escenarios.

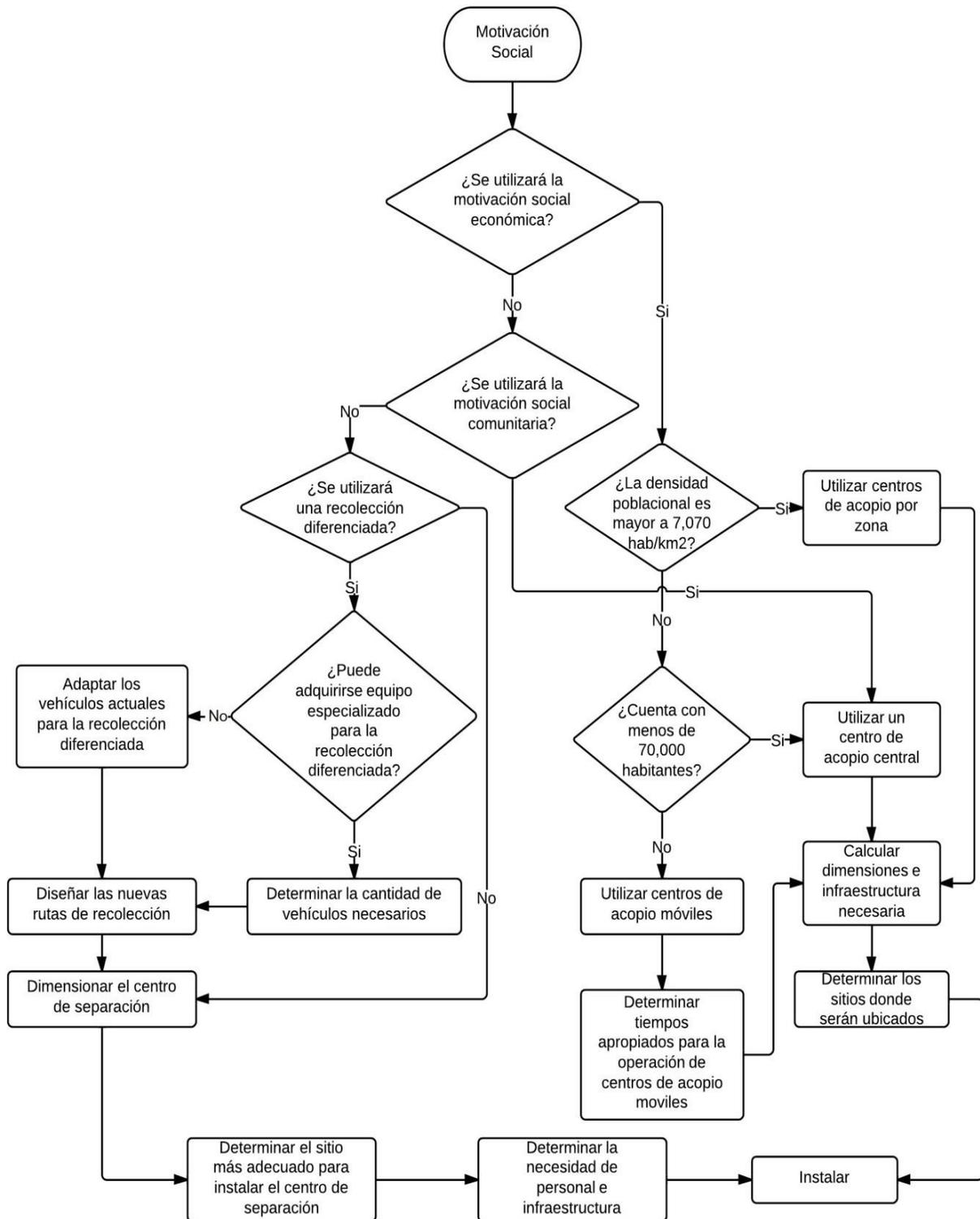


Imagen 16 Diagrama para determinar el sistema de segregación de residuos

Elaboración propia

Capítulo VI Caso de estudio

El municipio elegido como caso de estudio fue el de Atlacomulco, en el Estado de México; dicha decisión fue tomada debido a que el municipio se encuentra desarrollando su Programa Municipal de Prevención y Gestión Integral de Residuos Sólidos Urbanos (PMPGIRSU) en colaboración con la Cooperación Alemana al Desarrollo (GIZ, por sus siglas en alemán).

El desarrollo de un PMPGIRSU permitió una mayor aceptación del municipio para desarrollar con directrices paralelas un Programa Municipal Enfocado en la Valorización de Residuos Sólidos Urbanos (PVERSUS). De igual manera el municipio a través de su Octava Regiduría dio todo el respaldo para llevar a cabo este trabajo.

Algunos elementos utilizados para generar la propuesta del programa de valorización fueron desarrollados paralelamente tanto para este programa como para el PMPGIRSU y algunas del último sirven como base para el primero.

6.1 Características del municipio de Atlacomulco

La descripción de estas características permiten conocer de manera general el municipio tanto geográfica como socialmente, lo cual brinda bases para el desarrollo tanto de un programa de gestión integral de residuos como uno de valorización.

6.1.1 Geográficas

El municipio de Atlacomulco se ubica en el Noroeste del Estado de México y su ubicación regional se muestra en la imagen 17. El municipio cuenta con las siguientes características de localización:

El **clima** en el municipio corresponde al templado subhúmedo con lluvias en verano, de mayor humedad (89.93%) y semifrío subhúmedo con lluvias en verano, de menor humedad (10.07%). Su rango de temperatura va de los 6°C a los 16°C y el de lluvias de 100 a 1,100 mm.

En cuanto a la Hidrografía pertenece a la sub cuenca R. Oztolotepec – R. Atlacomulco (47.71%), R. Atlacomulco – R. Paso de Ovejas (44.67%) y R. Silla (7.62%), dentro de la cuenca R. Lerma – Toluca (100%) en la región hidrológica Lerma – Santiago (100%). Las corrientes y cuerpos de agua del municipio se muestran en la tabla 9.

El uso actual del suelo y la vegetación se aprecian en la imagen 18 y puede observarse su distribución a lo largo del municipio en la imagen 19. Adicionalmente el uso potencial de la tierra se encuentra en la tabla 9.



Imagen 17 Ubicación del municipio de Atlacomulco
(INEGI, 2009)

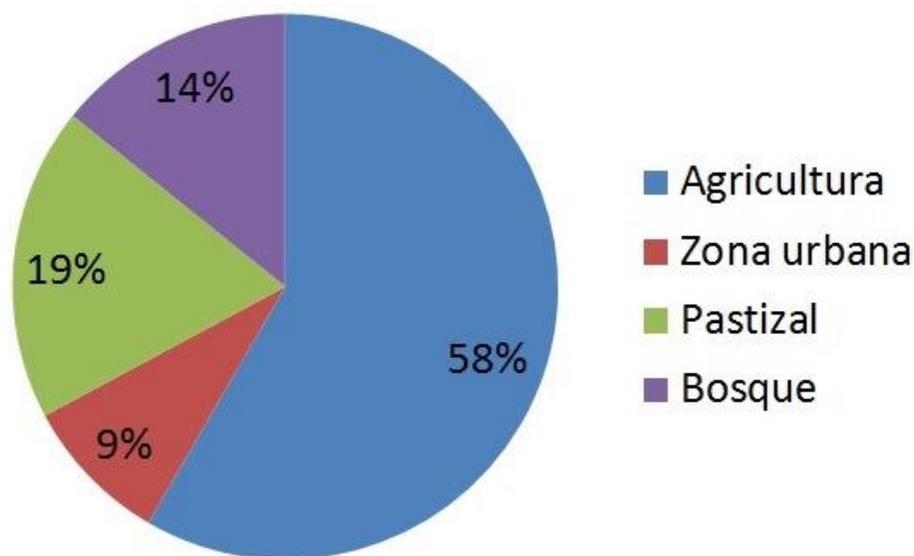


Imagen 18 Uso de suelo en el municipio
(INEGI, 2009)

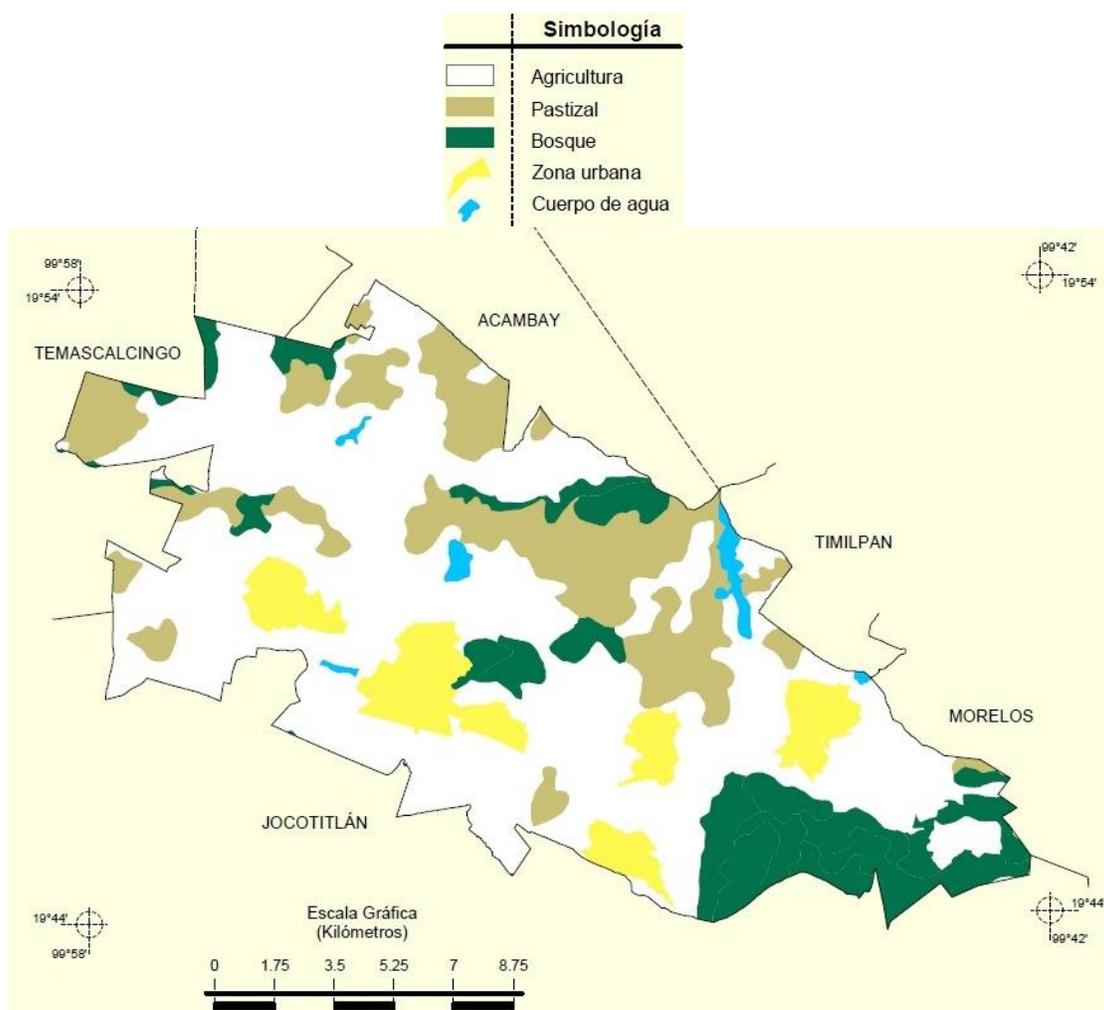


Imagen 19 Mapa del uso de suelo en el municipio

(INEGI, 2009)

Tabla 9 Potencial uso de suelo en el municipio

Sector	Uso potencial	Porcentaje
Agrícola	Agricultura mecanizada continua	35.37%
	Agricultura mecanizada estacional	3.89%
	Agricultura de tracción animal estacional	4.4%
	Agricultura manual estacional	46.51%
	No apta para agricultura	9.83%
Pecuario	Desarrollo de praderas cultivadas	43.87
	Aprovechamiento vegetación natural diferente del pastizal	46.3%
	No apta para uso pecuario	9.83%

(INEGI, 2009)

6.1.2 Características socio económicas

De acuerdo al censo de población y vivienda llevado a cabo por el INEGI para el año 2010 el municipio de Atlacomulco contaba con 93,718 habitantes, de los cuales el 52.08% eran mujeres y el 47.92% hombres. La cabecera municipal, Atlacomulco de Fabela, contaba con el 24.3% de la población total, seguida por la localidad de San Lorenzo de Tlacotepec con el 8.07%.

Atlacomulco de Fabela mantiene un porcentaje de género cercano al del municipio con 52.81% de población femenina y 47.19% masculina. Respecto al género la población que habita hogares censales con jefatura masculina representan el 75.12% del total, mientras que los que tienen jefatura femenina el 24.88%.

En la imagen 20 se presenta la escolaridad de la población mayor a 15 años, dicha población corresponde a 15,842 habitantes, los cuales representan el 69.56% de la población total de la localidad de Atlacomulco de Fabela. En la gráfica puede notarse como la población en su mayoría cuenta con un mínimo de secundaria terminada (más del 79% de los mayores a 15 años). Esta información es fundamental para el desarrollo de la campaña de educación.

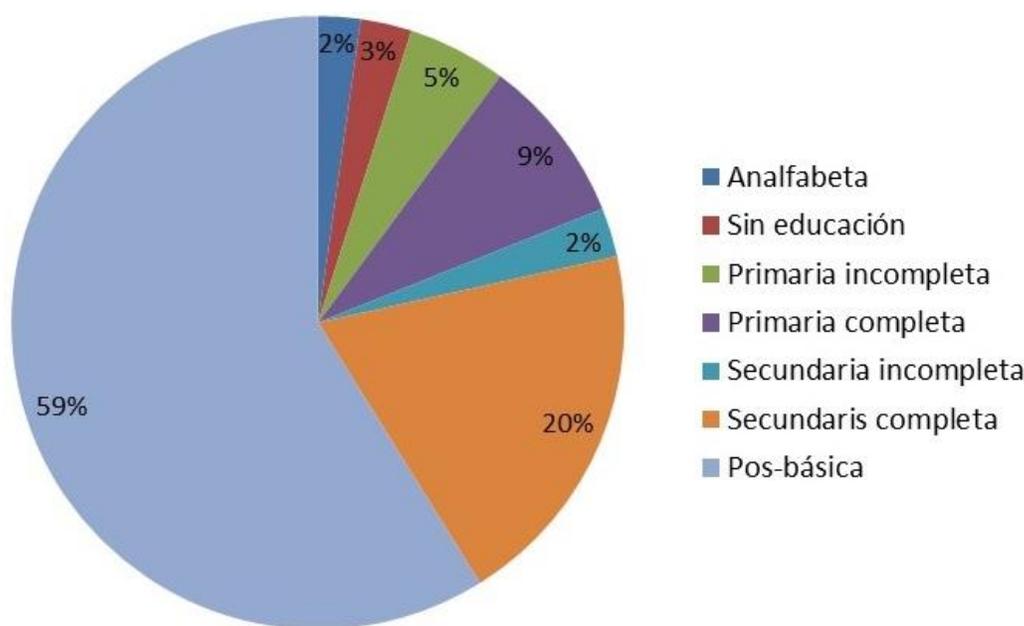


Imagen 20 Escolaridad de la población mayor a 15 años en Atlacomulco de Fabela
(INEGI, 2010)

En la localidad la casi el 70% de sus habitantes cuentan con derechohabiencia a servicios de salud; de estos la mayoría está afiliada al Instituto Mexicano del Seguro Social (IMSS), seguido del Instituto de Salud y Seguridad Social para el Trabajador del Estado (ISSSTE),. Dicha información se encuentra detallada en la tabla 10.

Tabla 10 Derechohabiencia en la localidad de Atlacomulco de Fabela

Derechohabiencia	Población	Porcentaje
Sin derechohabiencia	68085	29.88%
Con derechohabiencia	15,772	69.25%
IMSS	4928	31.25%
ISSSTE	1732	10.98%
ISSSTE Estatal	4568	28.96%
Otra	3658	23.19%

(INEGI, 2010)

En cuanto a la religión que profesa la población el 91.02% de la población en la localidad es católica, seguida de las corrientes protestantes, evangélicas y bíblicas diferentes de las evangélicas con el 4.89%, solo 11 habitantes profesan religiones distintas a las mencionadas y el 1.4% de la población se declara sin religión. Dicha distribución puede apreciarse en la imagen 21.

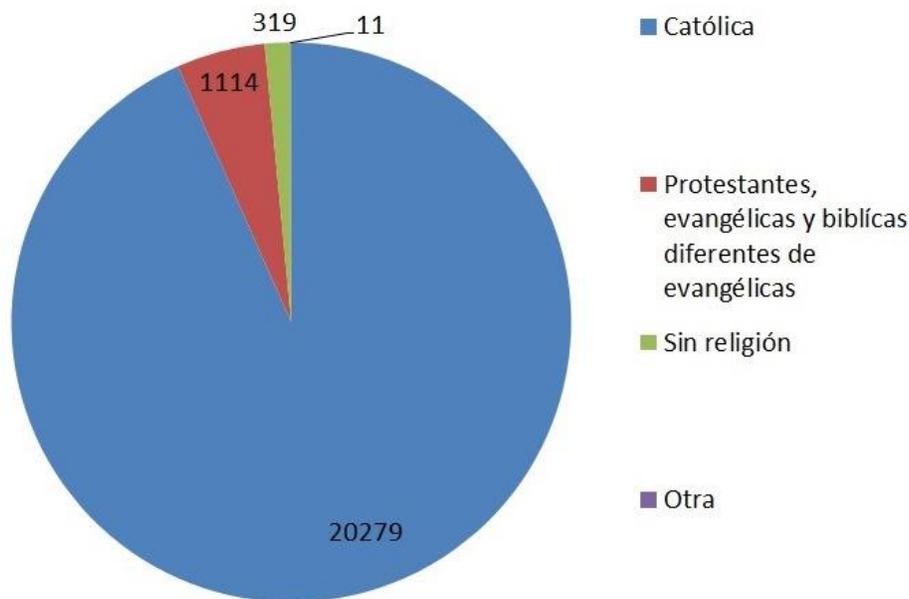


Imagen 21 Distribución de la religión de la población

(INEGI, 2010)

De acuerdo al censo las viviendas particulares habitadas en la localidad son 5,8076 que albergan alrededor de 22,807 habitantes, 3.89 por vivienda. En la imagen 22 se muestran los medios de comunicación eléctricos con los que cuentan las viviendas en la localidad, como puede observarse el más difundido es el televisor.

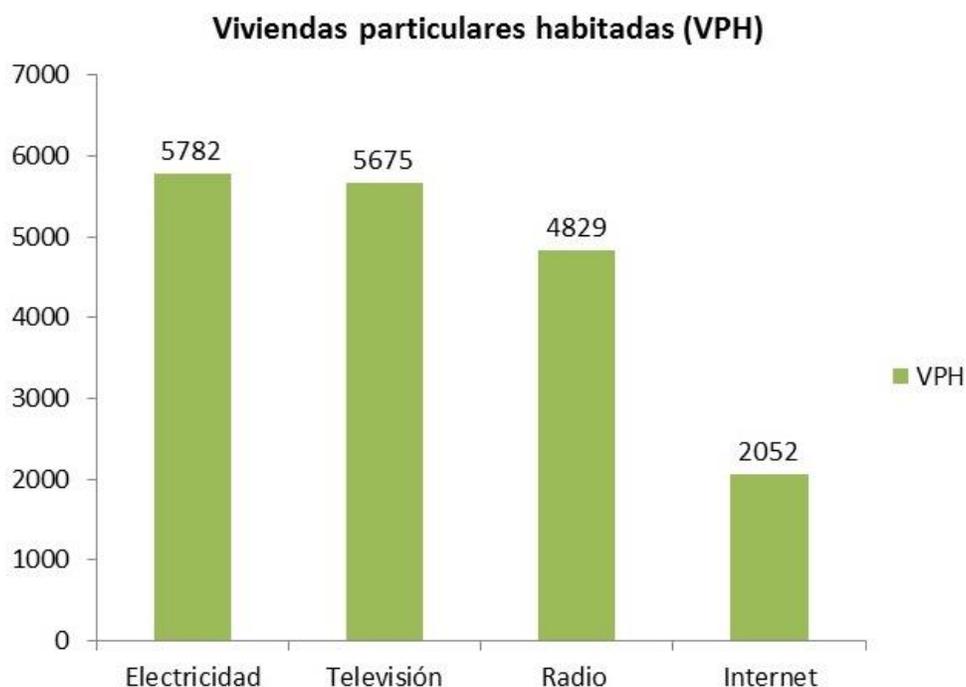


Imagen 22 Viviendas particulares habitadas con servicios de electricidad y comunicación

(INEGI, 2010)

6.2 Líneas estratégicas

Las directrices establecidas para el programa se establecieron de acuerdo a las características con las que cuenta el municipio de Atlacomulco y las necesidades establecidas por los desarrolladores. Estos elementos serán la guía para el desarrollo de los elementos restantes del programa de valorización.

6.2.1 Objetivos

General

Establecer la mecánica para la valorización de la mayor cantidad de residuos sólidos generados en las casas habitación de la localidad de Atlacomulco de Fabela, adaptando la valorización de residuos de alta tasa de degradación actual con una futura valorización de residuos de media o baja tasa de degradación.

Particulares

1. Realizar un estudio de generación y composición de los residuos sólidos urbanos de las casas habitación en el municipio para conocer las características de los residuos generados.

2. Generar una proyección de la población y generación para determinar la cantidad de residuos generados en quince años.
3. Determinar los residuos que serán reciclados, los que serán reutilizados y sus cantidades para dimensionar la infraestructura del sistema de valorización.
4. Definir la motivación social para el desarrollo del programa de valorización para establecer las campañas de concientización.
5. Determinar el método de separación de residuos que se utilizará para recuperar los residuos a valorizar.
6. Desarrollar un diagrama del proceso de valorización para la descripción final del proceso.

6.2.2 Alcances

Los alcances definen los límites del programa de valorización. A continuación se establecen los observados para el programa de valorización:

- Especialmente el programa en esta primera etapa solo abarcará la cabecera municipal, Atlacomulco de Fabela. De acuerdo a los resultados obtenidos en esta etapa se buscará abarcar el resto de las localidades de acuerdo a su tamaño e viabilidad técnica.
- Los residuos a ser manejados serán los sólidos urbanos de casa habitación y los generados por limpia pública; incluyendo parques, jardines y podas. Esto de acuerdo a la propuesta previa de la valorización de los residuos biodegradables por medio de composta y degradación anaeróbica, y se generará una propuesta para la valorización de los residuos de media o baja tasa de degradación.
- El tiempo a partir del arranque del programa al momento de la primera evaluación del mismo será de un año. A partir de la primera evaluación se ajustaran los tiempos de acuerdo a las necesidades observadas en el programa.
- Los recursos utilizados por el programa serán administrados por la tesorería municipal, buscando contar con los suficientes para alcanzar los objetivos del programa.

6.3 Estado y proyección del manejo de los residuos en la zona

En este capítulo se describen las bases con las que cuenta la localidad y el municipio para generar un programa de valorización de residuos. En este se expone la experiencia con la que se cuenta en el territorio, el estado actual del manejo de los residuos, la generación actual y futura de los residuos, la composición de los mismos y la demanda potencial de los materiales.

A partir de esta información se determina cuál es la infraestructura con la que cuenta la localidad para desarrollar el proyecto, así como la base para determinar las necesidades actuales y futuras para desarrollar el programa de acuerdo a los objetivos y alcances determinados previamente.

6.3.1 Antecedentes

En este apartado se mencionan los programas, experiencias y bases legales para el desarrollo del programa de valorización en el municipio y la localidad. De igual manera se analiza si existe información técnica clave y en caso de que no exista se plantea la generación de la misma en los apartados siguientes. La imagen 23 corresponde al diagrama de toma de decisiones generado para este apartado.

La descripción de las características del municipio se encuentra en el apartado de este caso de estudio. A continuación se muestran las experiencias previas al programa de valorización en el municipio de Atlacomulco.

Programas y planes de gestión y valorización de residuos

1. El primero es el de “Apoyo a la gestión de residuos sólidos en el Estado de México” el cual buscaba optimizar y modernizar la gestión integral de residuos. Este programa inició en 1997, aunque generó Programas Municipales para la Prevención y Gestión Integral de Residuos (PMPGIRSU) en otros municipios el de Atlacomulco no fue concretado, pero se instaló tecnología para la valorización de residuos (Rodríguez Salinas & Domínguez Mares, 2008).

Al final del año 2002 se inició el tratamiento de los residuos de alta tasa de degradación en tres pilas de prueba de compostaje (GTZ, 2003). Posteriormente a mediados del 2003 se concluyó la instalación de infraestructura para tratamiento mecánico-biológico de los residuos con una capacidad de 1,600 ton/día; este tratamiento sólo se operó un año, ya que posteriormente el programa fue descontinuado por la nueva administración municipal (Orta de Velásquez, y otros, 2009).

2. El Programa para la Prevención y Gestión Integral de Residuos Sólidos Urbanos y de Manejo Especial del Estado de México fue publicado en la Gaceta del Gobierno durante el 2009. Dentro de este documento se encuentra un diagnóstico básico del sector así como las líneas estratégicas para su desarrollo, su instrumentación, el presupuesto del mismo como el sistema de monitoreo y actualización del mismo.
3. Durante el 2012 la Cámara de las industrias de la celulosa y del papel estableció el Plan de Manejo para los Residuos de Papel y Cartón en México. En este la industria se compromete a adquirir todo el papel y cartón recuperado de las actividades de valorización de los residuos que cuente con las características especificadas en la NMX-N-106-SCFI-2010 (Cámara del Papel, 2012).

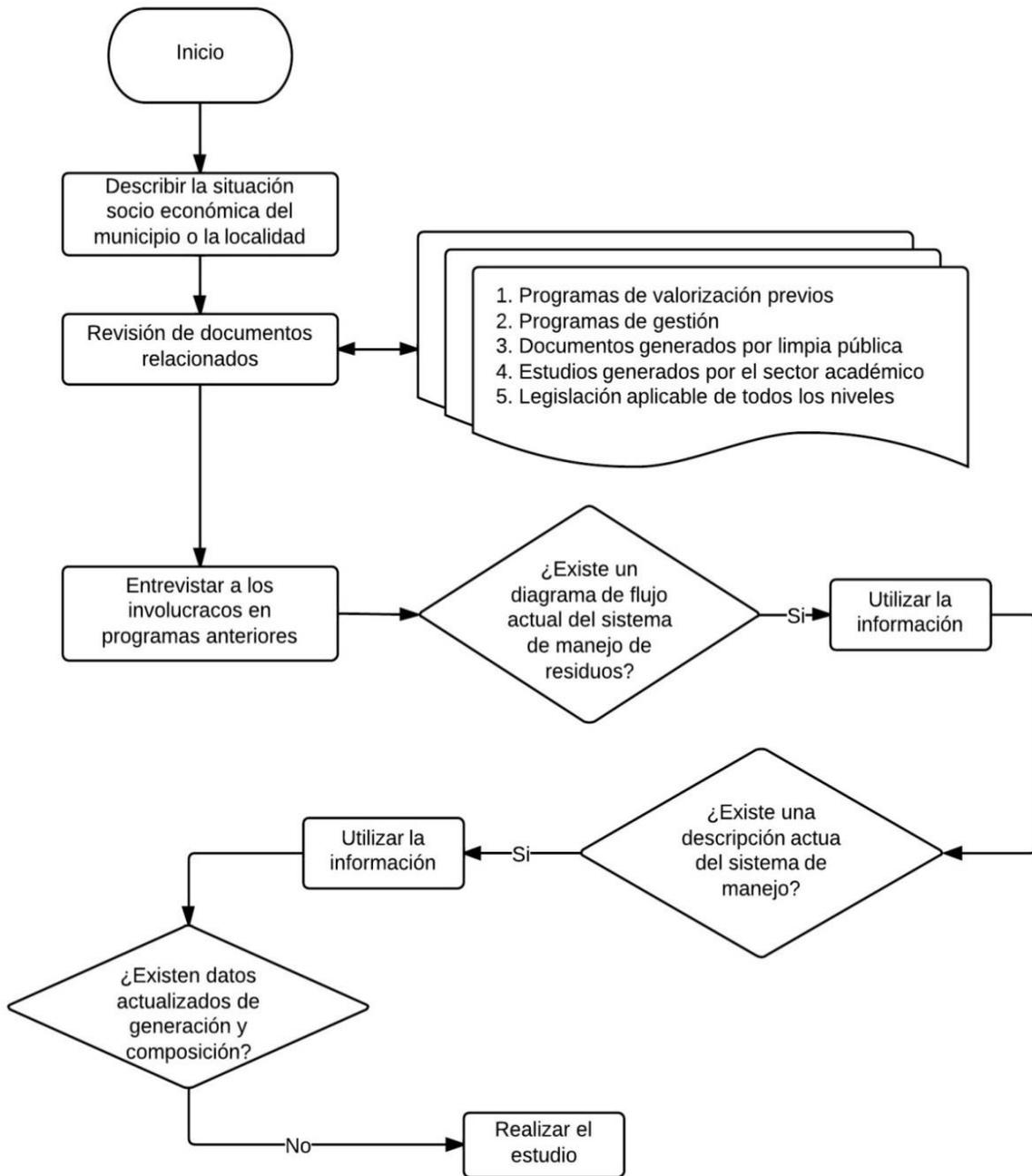


Imagen 23 Diagrama para la generación de antecedentes de Atlacomulco de Fabela

Elaboración propia

4. Durante el año 2013 se inició el proyecto del relleno sanitario y planta de composta regional de Atlacomulco, donde llegarán los residuos del mismo municipio así como de los municipios de Acambay, Ixtlahuaca, Jocotitlán, Morelos, El Oro, San Felipe del Progreso, San José del Rincón, Temascalcingo y Timilpan (Secretaría Medio Ambiente Edo.de México, 2013).

5. De igual manera durante el 2013 se desarrolló en coordinación con GIZ y el Posgrado en Ingeniería Ambiental de la Universidad Nacional Autónoma de México (UNAM) el PMPGIRSU del municipio cuyo objetivo general es (Ayuntamiento Atlacomulco, 2013):

“El Ayuntamiento de Atlacomulco promoverá y aplicará la prevención y gestión integral de los residuos sólidos urbanos para contribuir a la conservación de los recursos naturales y minimizar los impactos y riesgos a la salud y medio ambiente, mediante esquema de responsabilidad compartida de los diferentes actores de la sociedad, para el bienestar de la población y el desarrollo sustentable”.

6. Actualmente se está desarrollando la consulta para el desarrollo del Programa Nacional para la Prevención y Gestión Integral de los Residuos (PNPGIR) 2013-2018, el cual será el sucesor del PNPGR 2006-2012, en donde se plantea el desarrollo de PMPGIRSU bajo los principios de minimización en la fuente como el de aprovechamiento y valorización de residuos.

De igual manera actualmente se lleva a cabo la estrategia de Prevención y Gestión Integral de Residuos 2013-2018, la cual busca fortalecer el manejo de los residuos sólidos urbanos y de manejo especial a través del aumento en las capacidades operativas y de infraestructura de las entidades federativas y municipales en todo el sistema de manejo de residuos previo a la disposición final, buscando la máxima valorización de estos (SEMARNAT, 2014).

Legislación aplicable

1. La Constitución Política de los Estados Unidos Mexicanos en sus artículos, 25, 26 y 27 establece las bases de protección ambiental enfocada en la conservación de los recursos naturales, y en el 73 se establece la idea de prevención y control de la contaminación ambiental dentro del rubro de salubridad general.
2. La Ley General del Equilibrio Ecológico y la Protección al Ambiente en el artículo 137 establece que corresponde a los municipios la gestión de los residuos sólidos municipales. En el artículo 134 establece la necesidad de prevenir y reducir la generación de estos e incorporar técnicas y procedimientos para su reutilización y reciclaje.

3. La Ley General para la Prevención y Gestión Integral de los Residuos (LGPGIR) en su artículo 10 establece que los municipios tienen a su cargo las funciones de manejo integral de residuos sólidos urbanos así como la facultad de formular los Programas Municipales para la Prevención y Gestión Integral de Residuos Sólidos Urbanos.

En su artículo 26 establece que los estados y municipios de acuerdo a sus competencias deberán elaborar e instrumentar los programas locales para la prevención y gestión integral de los residuos sólidos urbanos. En su artículo 96 indica que debe establecer programas para mejorar los sistemas de manejo y valorización de residuos.

4. El RLGPGR en su artículo 15 establece que las autoridades de todos los niveles podrán coordinarse para fomentar convenios que permitan reducir la generación o buscar la valorización de los residuos sólidos urbanos, así como evitar la contaminación que los mismos ocasionan.
5. En el nivel estatal se cuenta con el Código para la Biodiversidad del Estado de México, el cual en su Libro Cuarto establece todo lo relativo a la prevención y gestión integral de los residuos sólidos urbanos. En este se contempla el establecimiento de programas de gestión integral, el fomento del desarrollo de mercados de reciclaje, la elaboración de inventarios de residuos, entre otros.
6. A nivel estatal se cuentan con varias Normas Técnicas Estatales Ambientales (NTEA), la primera de ellas es la NTEA-006-SMA-RS-2006 que establece los requisitos para la producción de mejoradores de suelos elaborados a partir de residuos orgánicos. Los requisitos detallados corresponden a los sitios donde se desarrolle la planta, la infraestructura necesaria, las medidas de control del proceso, así como los físicos, químicos, físico-químicos y sanitarios del producto final.
7. La segunda norma estatal es la NTAE-010-SMA-RS-2008 que establece los requisitos para la instalación, operación y mantenimiento de infraestructura para el acopio, transferencia, separación y tratamiento de residuos sólidos urbanos y de manejo especial. Dichos requisitos varían de acuerdo al tipo de instalación, sus dimensiones y en caso de las plantas de tratamiento el tipo del mismo aplicable.
8. El último documento estatal considerado fue la NTEA-013-SMA-RS-2011, que establece las especificaciones para la separación en la fuente de origen, almacenamiento separado y entrega separada al servicio de recolección de residuos sólidos urbanos y de manejo especial, para el estado de México. En esta se establece que los RSU deben separarse, almacenarse y recolectarse al menos en las siguientes categorías:

- a. Reciclables limpios y secos.
 - b. Orgánicos húmedos y composteables.
 - c. Sanitarios y otro.
9. En el nivel municipal existe la Ley Orgánica que establece como atribución del municipio en su artículo 31 la de preservar y restaurar el medio ambiente, así como en el 125 se establece que los municipios tienen a su cargo la prestación, conservación y administración de servicios públicos así como su explotación.
10. Finalmente el Bando Municipal de Atlacomulco que entró en vigor durante el 2013 establece que los vecinos y habitantes del municipio tienen el derecho de recibir el servicio de limpia y recolección, traslado, tratamiento y disposición final de residuos sólidos urbanos.

Diagrama de flujo, descripción de etapas, generación y composición

En los programas y actividades de valorización desarrolladas para el municipio se buscaron los siguientes elementos:

- Diagrama de flujo del manejo de residuos
- Descripción de las etapas de manejo de los residuos
- Estudio de generación y composición

Aunque estos elementos son abordados de manera individual en los apartados siguientes, es fundamental definir si dichos estudios deberán de realizarse o si pueden utilizarse estudios de la misma índole existentes. Estos elementos son clave para integrar un diagnóstico completo del sistema de gestión de residuos del municipio.

6.3.2 Generación, composición y peso volumétrico

Como se detectó en el apartado anterior es necesario desarrollar el estudio de generación y composición para los residuos sólidos urbanos en el municipio. Como puede observarse en la imagen 24 se tomó la decisión de utilizar la metodología propuesta en las NMX con la adaptación de la NMX-AA-022-1985 de selección y cuantificación de sub productos, la adaptación ubicada en el ANEXO I amplía los sub productos para contar con información más detallada y mejorar la toma de decisiones durante el proceso. Dicho estudio fue desarrollado durante el 2013 en la localidad de Cuendo.

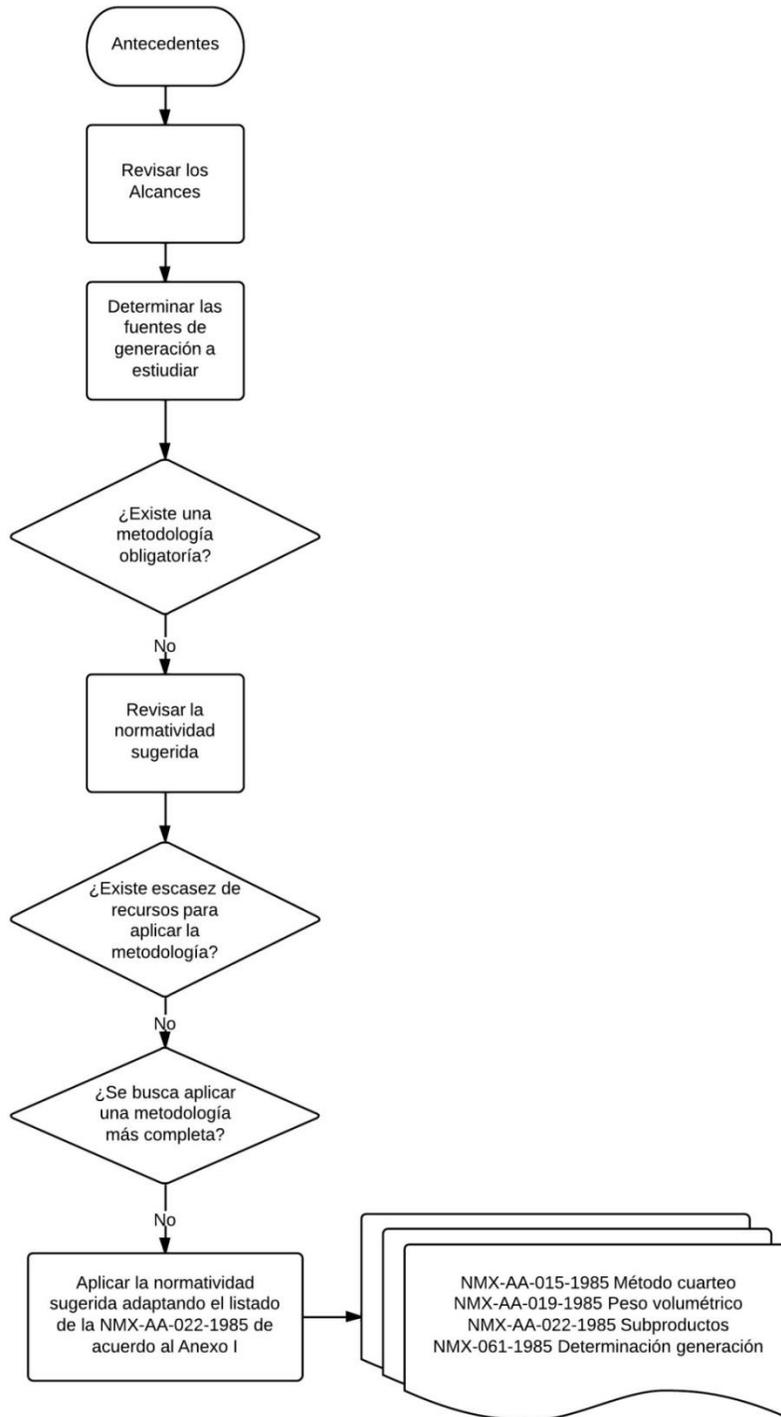


Imagen 24 Diagrama para desarrollo del estudio de generación y composición del municipio de Atacomuldo

Elaboración propia

Durante el mes de Junio del 2013 se llevó a cabo un estudio de generación y composición para conocer las características de los residuos generados en el municipio. Para desarrollar el estudio se tomó como modelo la comunidad de Cuendo con una población de 1,473 habitantes con un nivel socioeconómico medio.

La comunidad se encuentra ubicada en la carretera Atlacomulco-El Oro, tiene un estimado total de 368 casas habitación, solo participan en la realización del estudio 63 hogares de esta comunidad. Al momento del estudio la comunidad contaba con una Telesecundaria, Escuela Primaria y un Jardín de Niños, escuelas de nivel básico de carácter público. Le generación per cápita del estudio se determinó en 0.709 kg/hab día y la composición del flujo de residuos se muestra en la tabla 11.

Tabla 11 Composición de los residuos generados en la comunidad de Cuendo, Atlacomulco, Estado de México

Subproducto	Porcentaje	Diario (Kg)	Semanal (Kg)	Mensual (Kg)
Residuos alimenticios	24.37%	7.30	51.11	219.04
Pañal desechable	14.19%	4.25	29.76	127.54
Sanitarios	8.81%	2.64	18.48	79.20
PEBD	6.47%	1.94	13.57	58.16
Residuos fino	6.00%	1.80	12.58	53.91
Cartón	5.75%	1.72	12.06	51.69
Otros	4.41%	1.32	9.26	39.69
Botellas de vidrio incoloro	3.26%	0.98	6.84	29.31
PP	3.46%	1.04	7.26	31.11
Papel	3.53%	1.06	7.40	31.71
PET Incoloro	3.03%	0.91	6.35	27.21
Envases multicapas	2.76%	0.83	5.78	24.77
PEAD	2.60%	0.78	5.45	23.36
Trapo	1.95%	0.58	4.08	17.49
Cuero	1.73%	0.52	3.63	15.56
Vidrio plano incoloro	1.21%	0.36	2.53	10.84
Loza y cerámica	1.08%	0.32	2.26	9.69
Material ferroso	1.26%	0.38	2.64	11.31
PS	0.85%	0.25	1.78	7.63
Algodón	0.65%	0.20	1.37	5.87
Hueso	0.58%	0.17	1.21	5.19
Material no ferroso	0.39%	0.12	0.82	3.51
PET de distinto color	0.32%	0.10	0.68	2.91
Aluminio	0.30%	0.09	0.62	2.66
Fibras sintéticas	0.28%	0.08	0.58	2.49
Envases de cartón encerado	0.20%	0.06	0.41	1.76

Residuos de jardinería	0.18%	0.05	0.38	1.63
Vidrio plano de color	0.14%	0.04	0.29	1.24
Madera	0.12%	0.04	0.25	1.07
Botellas de vidrio ámbar	0.05%	0.02	0.11	0.47
Hule	0.05%	0.01	0.10	0.43
Material de construcción	0.03%	0.01	0.07	0.30
Poliuretano	0.02%	0.01	0.05	0.21

Elaboración propia

En la imagen 25 pueden observarse los residuos que representen el 1% en peso o con un porcentaje mayor en la composición de los residuos generados del municipio, en esta se puede apreciar que los residuos alimenticios son los que se generan en mayor cantidad, seguidos de los pañales y los sanitarios.

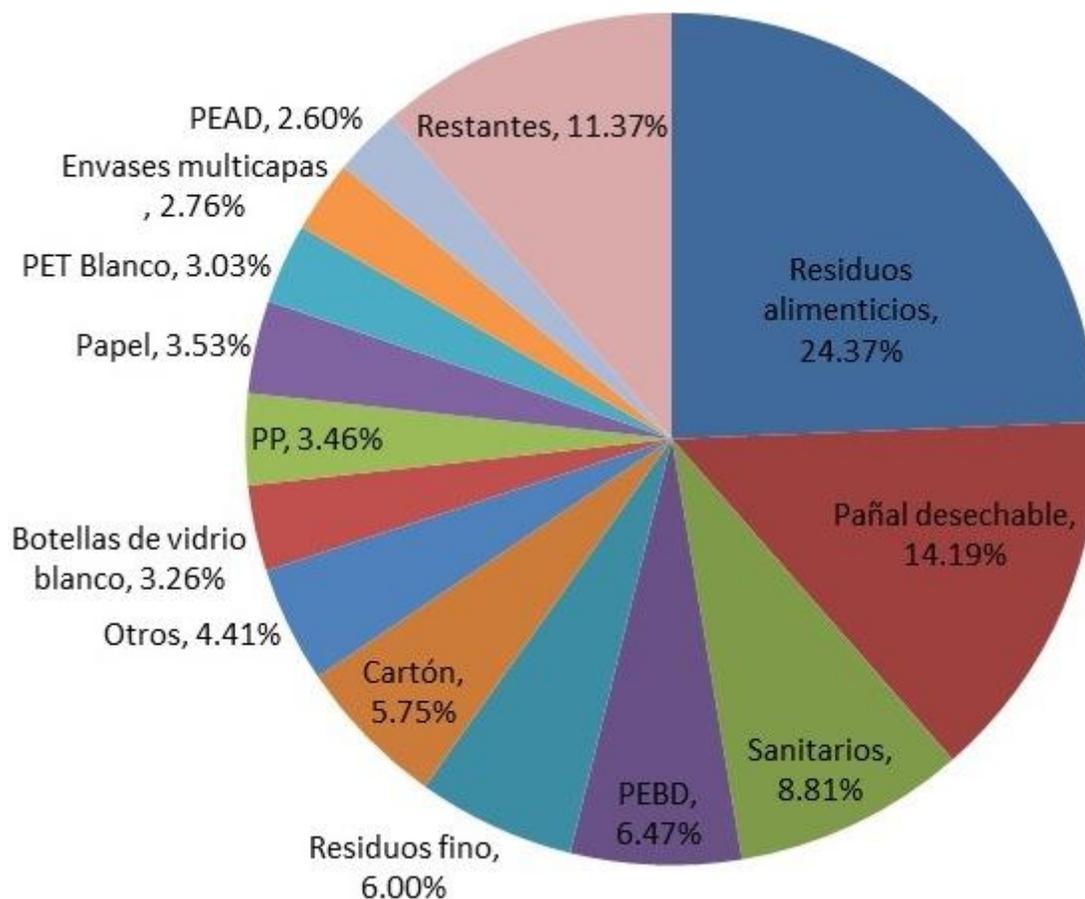


Imagen 25 Gráfica de la composición de residuos

Elaboración propia

6.3.3 Proyección de la población y la generación

Un dato fundamental para el desarrollo de cualquier programa que involucre la gestión de residuos es la proyección de la generación a lo largo de varios años para el dimensionamiento de las instalaciones y el equipo necesario para el manejo de los residuos.

En la tabla 12 se muestra la proyección de la generación de residuos de origen domiciliario del año 2013 al 2030 a partir de la generación per cápita calculada en el estudio. La proyección de la población utilizada fue calculada por Consejo Nacional de Población (CONAPO) durante el período actual.

Para determinar el incremento en la generación per cápita de la población se utilizó el 1% anual que suele ser típico en estos estudios. Lo referente a parques, jardines y avenidas es constante debido a que los reportes del sistema de barrido del municipio indican que se ha mantenido a lo largo de varios años.

Tabla 12 Proyección de la población y la generación de residuos en la localidad de Cuendo, Atlacomulco, Estado de México

Atlacomulco de Fabela* Habitantes	Año	Generación (Kg/ hab día)	Generación (Kg/día)	Parques, jardines y avenidas	Generación (Ton/día)	Generación (Ton/año)	Acumulado (Ton)
24,509	2013	0.71	17,376.41	4,725.00	22.10	8,067.01	8,067.01
24,765	2014	0.72	17,733.47	4,725.00	22.46	8,197.34	16,264.36
24,980	2015	0.72	18,066.33	4,725.00	22.79	8,318.84	24,583.19
25,161	2016	0.73	18,379.50	4,725.00	23.10	8,456.25	33,039.44
25,314	2017	0.74	18,676.33	4,725.00	23.40	8,541.49	41,580.92
25,443	2018	0.75	18,958.87	4,725.00	23.68	8,644.61	50,225.54
25,549	2019	0.75	19,228.52	4,725.00	23.95	8,743.04	58,968.57
25,636	2020	0.76	19,486.75	4,725.00	24.21	8,861.50	67,830.07
25,705	2021	0.77	19,734.50	4,725.00	24.46	8,927.72	76,757.79
25,757	2022	0.78	19,972.42	4,725.00	24.70	9,014.56	85,772.35
25,794	2023	0.78	20,200.85	4,725.00	24.93	9,097.93	94,870.28
25,816	2024	0.79	20,419.95	4,725.00	25.14	9,203.05	104,073.33
25,822	2025	0.80	20,629.63	4,725.00	25.35	9,254.44	113,327.77
25,814	2026	0.81	20,829.24	4,725.00	25.55	9,327.30	122,655.07
25,791	2027	0.81	21,018.27	4,725.00	25.74	9,396.29	132,051.36
25,752	2028	0.82	21,196.76	4,725.00	25.92	9,487.36	141,538.73
25,699	2029	0.83	21,364.66	4,725.00	26.09	9,522.73	151,061.46
25,631	2030	0.84	21,521.57	4,725.00	26.25	9,580.00	160,641.46

* (CONAPO, 2014)

Fuente: Elaboración propia

Dentro de la tabla 13 también se encuentra el valor en toneladas de los residuos generados diariamente tanto por casa habitación como por la actividad de barrido diariamente. Adicionalmente se presenta el cálculo de los residuos manejados anualmente y la acumulación de estos sin ningún tipo de valorización hasta el año 2030.

6.3.4 Descripción del sistema actual de manejo

En este apartado se muestra el sistema de manejo de los residuos y en segunda instancia se describen las condiciones de la etapa de manejo y las características del sistema dentro de ella. En la imagen 26 se muestra el sistema de manejo actual de la localidad, en donde se observa que mayormente es un sistema tradicional, pero actualmente presenta algunas etapas para alcanzar la valorización de algunos residuos.

Dicho diagrama se establece a partir de los alcances establecidos anteriormente, los residuos generados solo corresponden a los de casa habitación y limpia pública, que corresponden a parques, jardines, avenidas y oficinas públicas. El municipio dispone en un tiradero a cielo abierto, el cual se pretende habilitar en sus siguientes celdas como relleno sanitario.

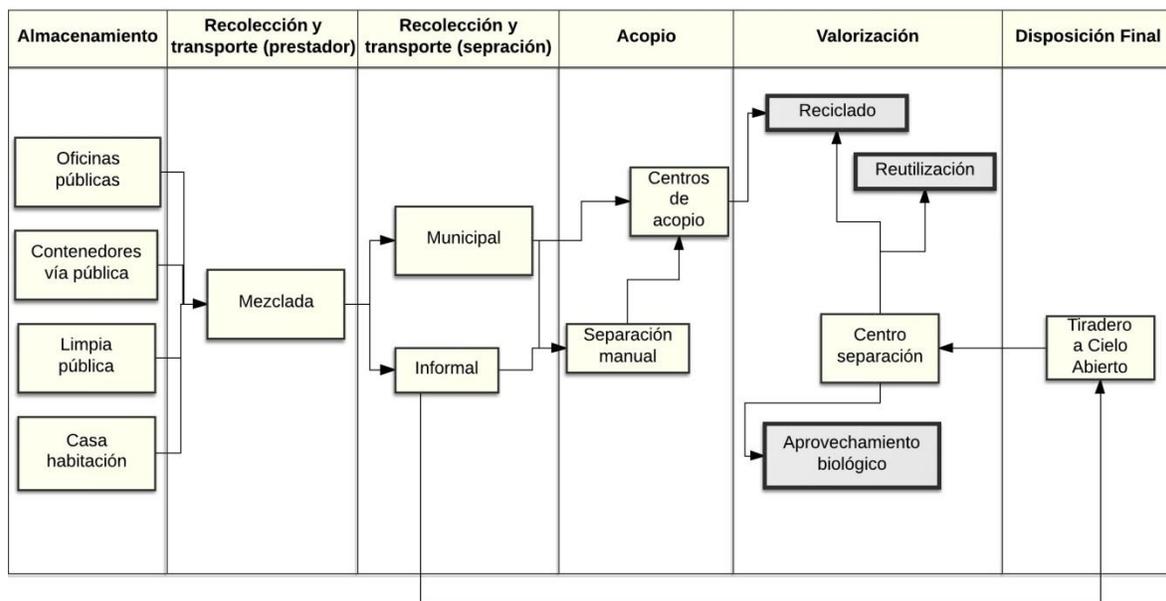


Imagen 26 Diagrama de manejo de residuos de Atlacomulco de Fabela

Elaboración propia

Existen dos puntos fundamentales en el sistema donde se recuperan los residuos para ser valorizados, el primero de ellos es durante la recolección, ya sea formal o informal, en esta etapa los recolectores separan los residuos para comercializarlos posteriormente en alguno de los tres sitios de acopio del municipio.

El segundo punto es el sitio de disposición final, en este existe un grupo de separadores que operan con el permiso del municipio para recuperar distintos sub productos para comercializarlos posteriormente con acopiadores de alto volumen o reutilizarlos personalmente. Anteriormente se contaba con una planta de composta, la cual se espera se reactive próximamente.

En la imagen 27 se muestra un diagrama organizacional donde indica que la coordinación de Limpia Pública pertenece a la Dirección de Servicios Públicos que a su vez es parte de la Octava Regiduría y en la imagen 28 se muestra la organización de la Dirección de Servicios Públicos.

En la tabla 16 se muestra la división del personal dentro de la Dirección de Servicios Públicos del acuerdo a las funciones desarrolladas dentro del sistema de manejo de residuos. En las tabla 17 se encuentra el detalle de la distribución del departamento de limpia y en la tabla 18 la distribución del departamento de recolección (Ayuntamiento Atlacomulco, 2013).

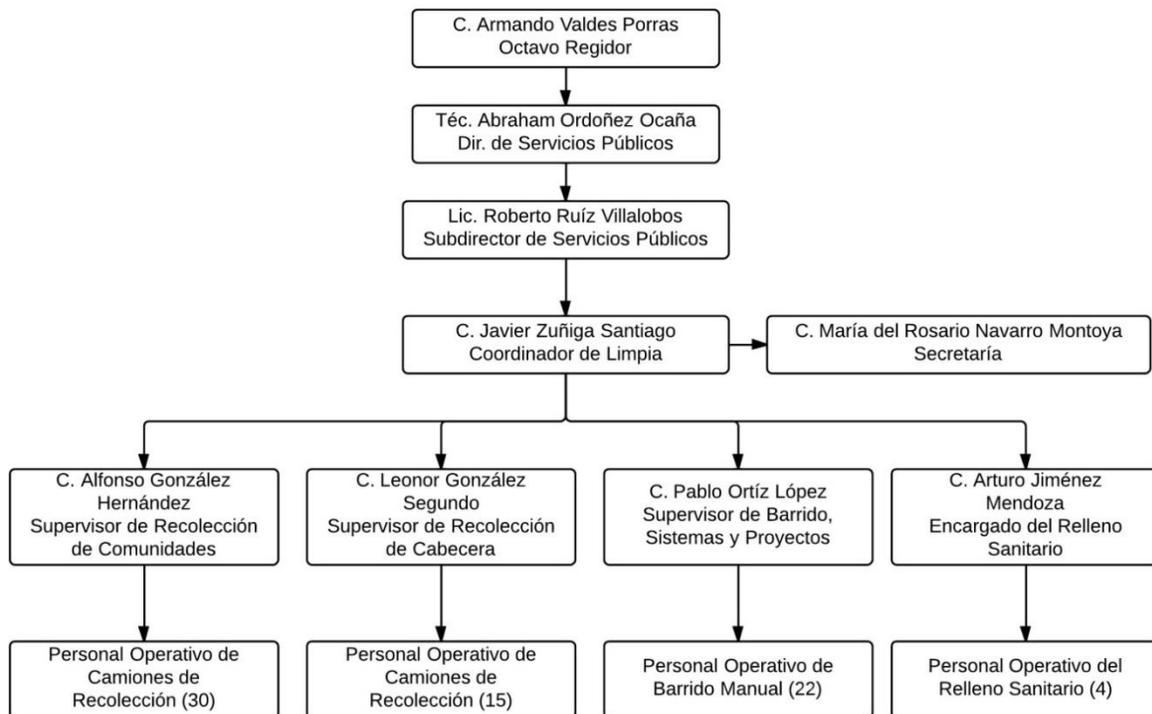


Imagen 27 Diagrama de la Dirección de Servicios Públicos

(Ayuntamiento Atlacomulco, 2013)

Los contenedores para almacenamiento temporal utilizados por la población es variable, estos se encuentran ligados al estrato socioeconómico, entre menor el estrato el contenedor es menos manejable y adecuado para las características de los residuos almacenados siendo contrario a mayor estrato, esta relación se presenta en la tabla 13.

Adicionalmente a las casas habitación la generación de limpia pública proviene de las actividades de barrido. En promedio el desempeño de un barrendero en vía pública en la cabecera municipal es de 3.08 km/barrendero día, mientras que en explanadas públicas asciende a 34.27

km/barrendero día. Para desarrollar las actividades de barrido se cuenta con 14 rutas de barrido, las cuales se dividen de la siguiente manera:

- 7 para avenidas principales
- 5 para avenidas secundarias
- 2 para plazas y explanadas de edificios públicos

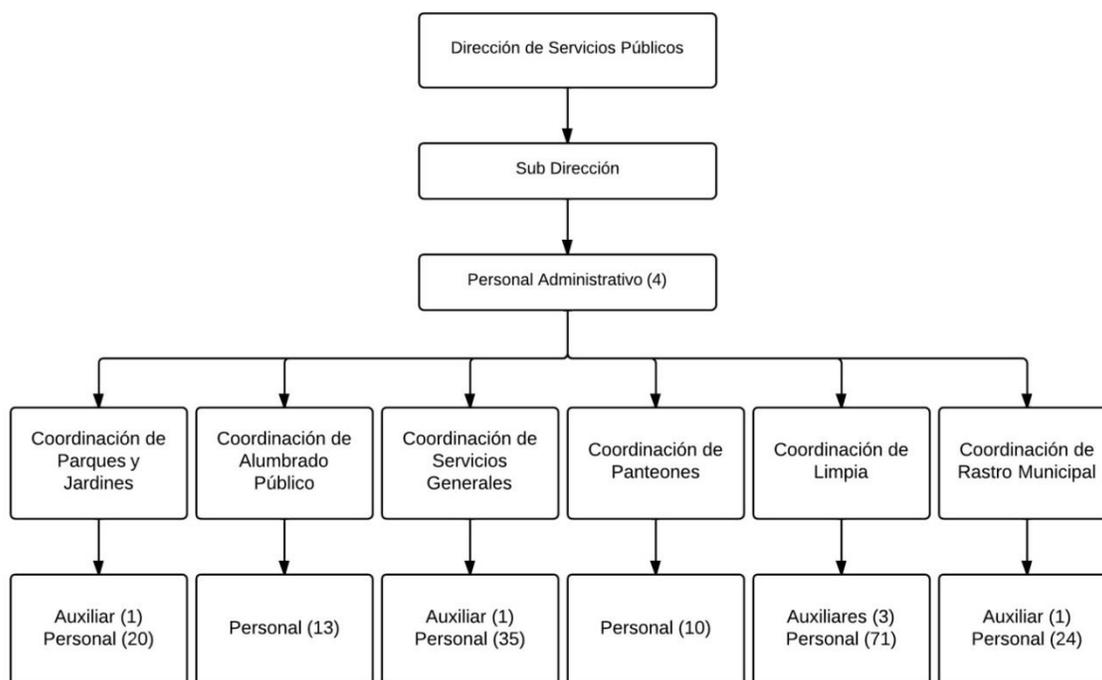


Imagen 28 Organigrama de la Dirección de Servicios Públicos del municipio de Atlacomulco

(Ayuntamiento Atlacomulco, 2013)

Tabla 13 Tipo de contenedor utilizado en Atlacomulco de Fabela de acuerdo al estrato socioeconómico

Tipo de contenedor	Estrato Bajo	Estrato Medio Bajo	Estrato Medio Alto	Estrato Alto
Costal	24%	-	-	-
Bolsa de plástico	27%	69%	37%	17%
Contenedor de plástico	28%	28%	56%	71%
Contenedor de metal	21%	2%	7%	12%
Otro	-	1%	-	-

(Ayuntamiento Atlacomulco, 2013)

El método a utilizar para la recolección de residuos así como la frecuencia en el municipio se rige de acuerdo a la tabla 14; en esta se aprecia la aplicación de cada una así como una breve mención

de las ventajas y desventajas de cada uno. En las tablas 15, 16 y 17 se detalla el personal en cada sección involucrada en el manejo de residuos sólidos.

Tabla 14 Aspectos para la recolección de residuos en Atlacomulco de Fabela

	Aspecto	Aplicación	Particularidades
Método	Acera-Banqueta	Fraccionamientos y vialidades complicadas	Mayor tiempo y desgaste, mayor comodidad para el usuario
	Contenedores	Instituciones, escuelas y fraccionamientos	Ahorro mayor de tiempo y desgaste; mantenimiento permanente de contenedores
Frecuencia	Diaria	Condominios, zonas residenciales y avenidas	Poca cobertura (Atención de zonas incompletas)
	Cada tercer día	Colonias populares, comunidades y zonas residenciales	Mayor saturación de vehículos en recorridos más cortos (39 comunidades)
	Dos veces por semana	Zonas con poca generación	Períodos largos; riesgo de tiraderos clandestinos
	Semanal	Zonas con poca generación y grandes generadores	Períodos muy prolongados (3 colonias); riesgo de tiraderos clandestinos

(Ayuntamiento Atlacomulco, 2013)

Tabla 15 Personal de la Dirección de Servicios Públicos involucrados en la gestión de residuos

Función	Personal
Dirección de Servicios Públicos	1
Subdirección de Servicios Públicos	1
Coordinación de Limpia	1
Administración	
S. Administrativa	1
S. Limpia	3
S. Relleno Sanitario	1
Operación	
D. Barrido	23
D. Recolección	47
S. Sitio Disposición	3
TOTAL	81

(Ayuntamiento Atlacomulco, 2013)

Tabla 16 Personal del Departamento de Barrido

Puesto	Cantidad
Coordinador	1
Supervisor	1
Operador	1
Almacén	1
Barrendero	22
TOTAL	26

(Ayuntamiento Atlacomulco, 2013)

Tabla 17 Personal del Departamento de Recolección

Puesto	Cantidad
Coordinador	1
Supervisores	2
Choferes	17
Auxiliares	30
TOTAL	50

(Ayuntamiento Atlacomulco, 2013)

En la tabla 18 se muestran las características de los vehículos de recolección de acuerdo a su tipo y año, en donde 7 de las cajas son chicas con una capacidad aproximada de 3.5 toneladas cada una, 4 son de caja grande con capacidad de 5 toneladas y se estima que cada compactador tiene capacidad para 8 toneladas.

Tabla 18 Vehículos de recolección de residuos del municipio

Tipo	Año					TOTAL
	1994	2002	2008	2010	2013	
Caja Basurera		2	1	3	1	7
Compactador	2	2	3			5
Tubular						2
Remolque			2			2
TOTAL	2	4	6	3	1	16

(Ayuntamiento Atlacomulco, 2013)

Lo que respecta la valorización de los residuos en la comunidad se lleva a cabo de manera informal, durante la recolección los auxiliares de los vehículos rompen las bolsas de residuos para la recuperación de determinados materiales que serán comercializados en los centros de acopio posteriormente. Otro proceso de recuperación de residuos se presenta en el sitio de disposición final, en donde posterior a las descarga de residuos en el frente de trabajo los pepenadores seleccionan los residuos a comercializar previo a que sean cubiertos.

El sitio de disposición final se encuentra ubicado en la zona norte del municipio, en la localidad de San Ignacio de Loyola, colindando con el municipio de Acambay a una distancia de 7 km de la cabecera municipal. El sitio cuenta con una superficie de 18.5 hectáreas. En la imagen 29 en la zona central superior ligeramente a la izquierda se puede observar la localización del sitio de disposición dentro del municipio.



Imagen 29 Ubicación del sitio de disposición final dentro del municipio de Atlacomulco

(Ayuntamiento Atlacomulco, 2013)

Actualmente el sitio de disposición final cuenta con un funcionamiento cercano al de un sitio controlado, exceptuando algunas características como la presencia de una báscula para determinar el ingreso de los residuos al sitio. De acuerdo a estudios previos el suelo tiene una capacidad de carga de 35 ton/m².

6.3.5 Demanda de materiales

No es viable la valorización de todos los residuos generados en la localidad, algunos de los factores que limitan este proceso es una baja de la demanda de los residuos de los aprovechadores para reincorporarlos a la cadena de producción y consumo, esto debido a su bajo atractivo económico o baja viabilidad técnica, por ello una fracción deberá de ser enviada al sitio de disposición final.

En la imagen 30 se muestra el esquema para determinar la demanda de los materiales en la zona. Primeramente se identificó dentro del sistema actual los procesos de valorización llevados a cabo al momento, posteriormente se revisaron el listado del Directorio de Recicladores de la SEMARNAT, el listado del parque industrial de Atlacomulco y finalmente los proyectos de valorización implementados por el municipio.

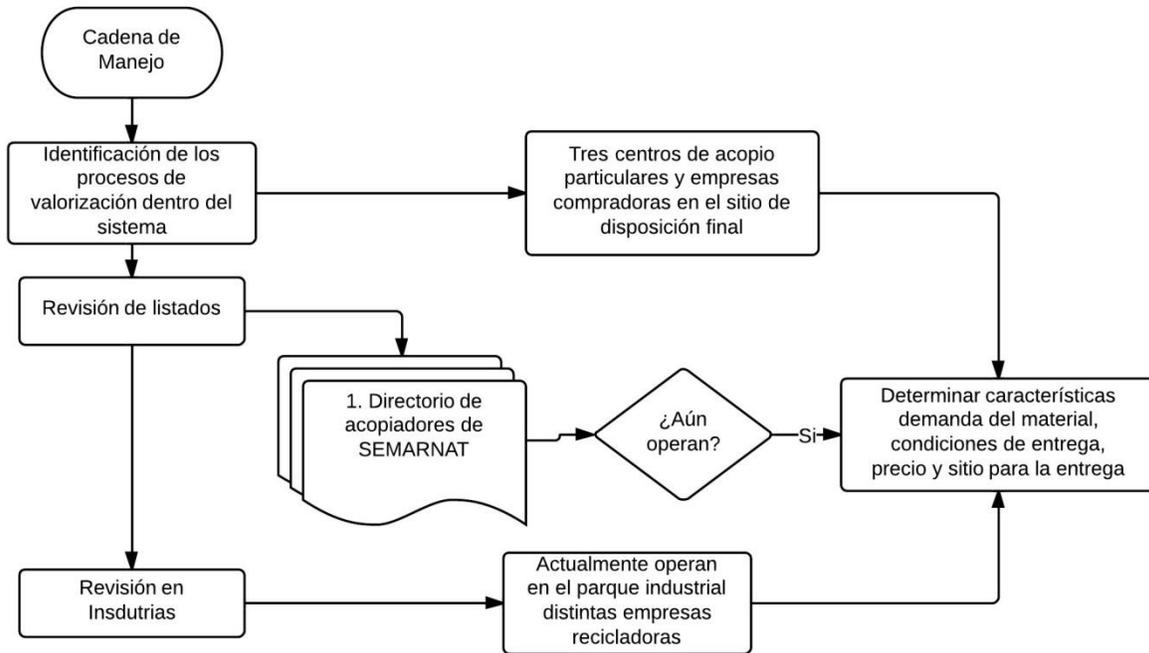


Imagen 30 Diagrama para ubicar la demanda de materiales en la zona

Fuente: Elaboración propia

En primer lugar se buscaron los residuos valorizados actualmente en el sistema de gestión, una parte de estos son recuperados en los camiones recolectores y la segunda durante una selección de residuos desarrollada por pepenadores en el sitio de disposición final. Los compradores de los residuos recuperados en el sitio de disposición final no fueron revelados por los pepenadores de la zona. Por lo cual sólo se identifican plenamente 3 centros de acopio particulares, los cuales ofertan de acuerdo a la tabla 19.

Posteriormente en el listado de SEMARNAT se encontraron los siguientes aprovechadores de materiales dentro del municipio o el más cercano por material, dichos aprovechadores y sus datos se encuentran en la tabla 20.

Tabla 19 Precio de compra de materiales en la localidad

Material	Precio de compra (\$/tonelada)
Cartón	\$1,150
Papel	\$1,300
PET	\$4,000
Vidrio	\$750
Aluminio	\$1,800
Chatarra/ferro	\$400*
*(Metales Z. I., 2014)	

(Ayuntamiento Atlacomulco, 2013)

Tabla 20 Empresas para la valorización de materiales en el listado Directorio de Recicladores de SEMARNAT en Atlacomulco y cercanos

Material	Empresa	Dirección	Distancia
Envase multicapa	REPAK México, S.A. de C.V.	Av. Alfonso Gómez de Orozco No. 100. Col. San Pedro Totoltepec, Toluca	67 km
Metales	Metales Vanin, S.A. de C.V.	Col. San Andrés Cuexcontitlan, Toluca	70.1 km
Papel y cartón	Cartonera Tláloc, S.A. de C.V.	Paseo Adolfo López Mateos 148 B Fracc. Ojuelos, Toluca	69.6 km
PET	Industria Mexicana de Reciclaje	Blvd. Miguel Alemán Km. 7 Mzn. 53 Lote 6. Parque Industrial Exportec I, Toluca	75.1 km
Plásticos general	en Reciclind, Reciclajes Industriales	Emiliano Zapata 2ª Col. San Juanico el Alto, Temascalcingo	33.6 km
Vidrio	Captación y reciclaje de materiales	Carretera Texcoco – Lechería s/n, Tequisistlán	139 km

Elaboración propia

Después se consultaron las empresas dentro del Parque Industrial de Atlacomulco para verificar cuales de estas pueden recuperar y valorizar los residuos generados por la localidad, los resultado se encuentran en la tabla 21. Por último se revisaron los proyectos que maneja el municipio que demandan residuos.

Actualmente los proyectos que se buscan desarrollar en el municipio son la valorización de residuos de alta tasa de degradación por medio de un biodigestor anaerobio y por medio de la generación de composta. Debido a estos dos proyectos toda la materia de alta tasa de será canalizada a dichos proyectos.

Tabla 21 Relación de empresas aprovechadores en el parque industrial de Atlacomulco

Material	Empresa	Dirección
PS	Dart Container Corporation Dar de México, S. de R.L. de C.V.	Av. Máximo Montiel Olmos, Mza. 18 Lote 2. P.I. Atlacomulco
PEAD	Plásticos Don Pepé	Mz. 2ª Lote 2 P. I. Atlacomulco, 50450, Atlacomulco, México
Varios	Recicлинд	Carr. Atlacomulco – El Oro Km 3.5 MZ 22 Lote 4 P. I. Atlacomulco, Atlacomulco, México

Fuente: Elaboración propia

6.4 Determinación de la valorización por material

De acuerdo al estudio de generación y composición de residuos y la demanda de los materiales se determinará el proceso de valorización de los residuos por sus distintos medios en coordinación con los distintos aprovechadores de residuos detectados en la zona, es fundamental establecer que se buscará que el desplazamiento de los residuos sea el menor posible para reducir costos.

En la imagen 31 encontramos el diagrama de toma de decisiones para la valorización de residuos generados en el municipio. Lo que corresponde a los residuos de alta tasa de degradación serán incluidos directamente al proceso de composta y digestión anaerobia, en caso de que la cantidad de residuos no sea suficiente para ambos procesos se dará preferencia al biodigestor debido a que uno de sus subproductos son mejoradores de suelo. No se plantea el uso para ganado debido a que en la zona no cuenta con dicha actividad.

Para los residuos de media y baja tasa de degradación en primer lugar se propone la generación de campañas para la reutilización de estos previo a su integración en el flujo general de manejo, entre ellos el calzado, los textiles y los anteojos en buen estado. De igual manera se sugiere el desarrollo de campañas para la reutilización en la fuente de algunos residuos como el papel y el cartón.

Para los residuos de media y baja tasa de degradación generados se propone su recuperación y posterior comercialización; en caso de que no puedan ser valorizados serán ingresados al sitio de disposición final. En la tabla 22 se muestran los destinos de los distintos residuos recuperados durante el proceso.

Los residuos a los que se propone someter a una valorización alterna son los siguientes:

- Los pañales desechables pueden valorizarse por un método que ha generado resultados positivos, el cual consiste en utilizar el pañal como medio de cultivo para hongos, logrando una reducción en peso del residuos hasta en un 71.5% (Espinosa Valdemar, Turpin Marion, Delfín Alcalá, Maldonado Alejandro, & Almanza veloz, 2005).
- El cuero y el hueso pueden ser empleados para la fabricación de cola para carpintería (EcuRed, 2014)

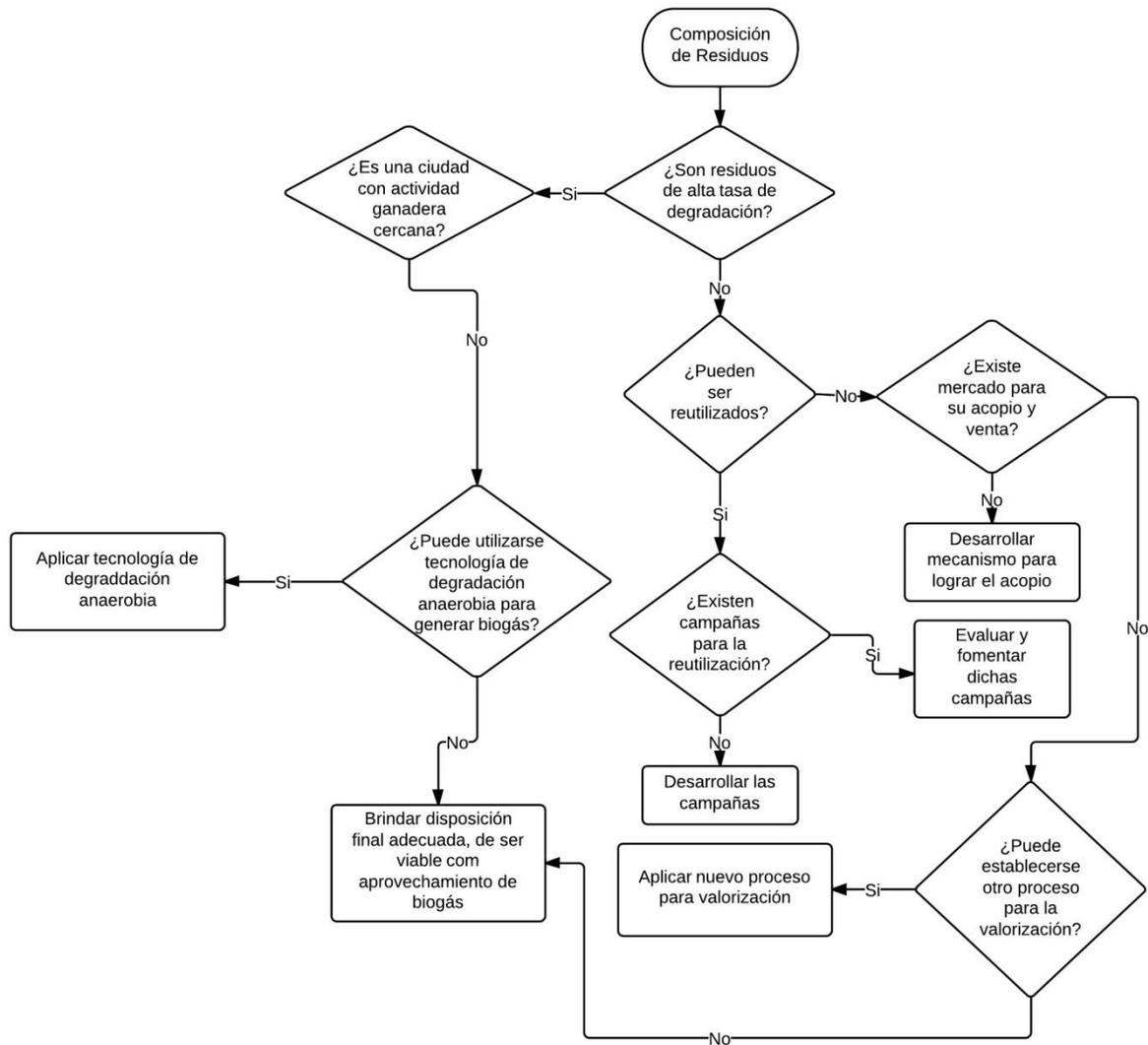


Imagen 31 Determinación del proceso de la valorización de residuos

Elaboración propia

Los residuos a enviar al sitio de disposición final del municipio son aquellos de difícil valorización como el vidrio plano, los residuos finos y otros. En esta propuesta se envían a disposición finales distintos materiales que pueden ser valorizados energéticamente, pero debido a las condiciones de infraestructura dicho proceso no es viable.

Tabla 22 Propuesta para el manejo de los residuos generados en Atlacomulco de Fabela

Destinos	Residuos	Porcentaje	Ton/día
Biodigestor y composta	Residuos de alimentos y jardinería	24.73%	4.30
Sitio Disposición Final	Residuos fino	6.03%	1.05
	Otros	4.29%	0.75
	Vidrio blanco plano	1.38%	0.24
	Loza y cerámica	1.02%	0.18
	Vidrio plano de color	0.16%	0.03
	Material de construcción	0.04%	0.01
Con potencial energético	Sanitarios	8.75%	1.52
	Trapo	1.77%	0.31
	Algodón	0.75%	0.13
	Fibras sintéticas	0.26%	0.05
	Envases de cartón encerado	0.22%	0.04
	Madera	0.12%	0.02
	Hule	0.05%	0.01
	TOTAL	24.84%	4.32
			0.00
Aprovechamiento alternativo	Pañal desechable	14.31%	2.49
	Cuero	1.98%	0.34
	Hueso	0.43%	0.07
	TOTAL	16.77%	4.30
Reciclind	Polietileno de baja densidad	6.48%	1.13
	Polipropileno	3.45%	0.60
	Poliuretano	0.03%	0.01
	TOTAL	9.96%	1.73
Cartonera Tláloc	Cartón	5.12%	0.89
	Papel	3.49%	0.61
	TOTAL	8.61%	1.50
Industria Mexicana del Reciclaje	Tereftalato de polietileno blanco	3.13%	0.54
	Tereftalato de polietileno distinto color	0.37%	0.06

	TOTAL	3.50%	0.61
Centros de acopio particulares	Botellas vidrio blanco	3.25%	0.56
	Botella de vidrio ámbar	0.06%	0.01
	TOTAL	3.31%	0.58
REPAK	Envases multicapa	2.77%	0.48
Plásticos Don Pepé	Polietileno de Alta Densidad	2.51%	0.44
Metales Vanin	Material ferroso	1.22%	0.21
	Material no ferroso	0.39%	0.07
	Aluminio	0.27%	0.05
	TOTAL	1.88%	0.33
Dart Container Corpotarion	Poli estireno	0.84%	0.15

6.5 Definición de la motivación social

El municipio ha decidido utilizar la motivación reglamentaria como eje de su sistema de valorización de residuos, dicha decisión busca reducir los costos en etapas previas a la valorización y aumentar la rentabilidad del proyecto permitiendo un control total de los residuos generados por la comunidad para su valorización.

Esta decisión está sustentada en la Ley Orgánica del municipio de Atlacomulco que establece en su artículo 125 que tienen a su cargo la prestación, conservación y administración de servicios públicos así como su explotación. De igual manera los ciudadanos están obligados a participar en las disposiciones de manejo de residuos que plantee el municipio.

De manera secundaria se utilizará la motivación ambiental por medio de campañas de concientización a la población para elevar la participación ciudadana en esta iniciativa. Las motivaciones comunitarias y económicas se descartan debido a la naturaleza del programa que se pretende instalar donde no se brindará una retribución directa a la población por participar en el programa.

6.6 Determinación del sistema de separación de residuos

En la imagen 32 se aprecia el diagrama de toma de decisiones para determinar el sistema de separación de residuos dentro del municipio, dicho diagrama parte de la motivación social establecida previamente, la cual se decidió fuera la reglamentaria donde el usuario es obligado a participar de manera legar apoyada por una campaña de concientización basada en la motivación social ambiental.

Las motivaciones sociales de retribución directa a la población, la económica y la comunitaria, cuentan con la ventaja de contar con un alto grado de separación de residuos desde la recepción de los mismos, pero las cantidades que se manejar pueden ser bajas, en cambio la reglamentaria genera una etapa previa que es la recolección diferenciada binaria de residuos, evitando la contaminación de los biodegradables de alta tasa con aquellos de media o baja tasa y viceversa.

De esta manera algunos materiales como el papel y el cartón no serán contaminados por la humedad presente en los residuos de alimentos, como desventaja está genera la necesidad de brindar una separación posterior de estos para poder valorizar los distintos flujos de residuos potenciales de la comunidad.

Debido a que no puede adquirirse equipo especializado para la recolección diferenciada de residuos el proceso a desarrollar será el rediseño de las rutas de recolección de los residuos, para informar a la población se utilizó el volante que se observa en la imagen 33. Se busca generar dos flujos para posteriormente separarlos en los distintos materiales seleccionados para su valorización.

Los vehículos llegaran a un centro de separación de residuos, el cual idealmente deberá estar a un costado del sitio de disposición final para reducir los costos de transporte. La separación de los residuos se llevará a cabo en bandas de manera manual, para esto se plantea que los pepenadores del sitio de disposición final se regularicen y participen de manera formal como empleados en el sistema de gestión.

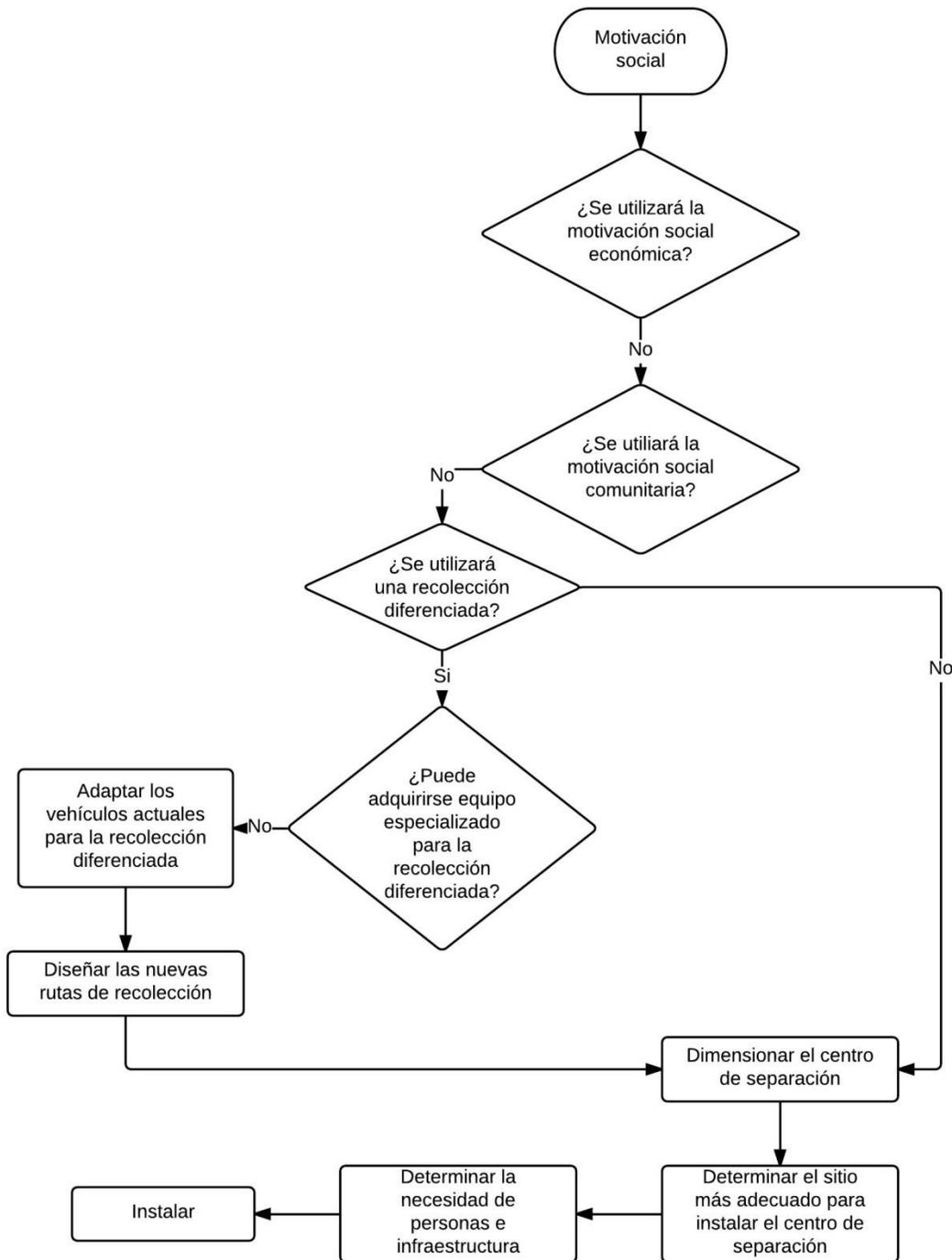


Imagen 32 Diagrama para el sistema de separación de residuos en Atlacomulco de Fabela

Elaboración propia



Imagen 33 Volante para la campaña de publicidad

(Ayuntamiento Atlacomulco, 2014)

Capítulo VII. Conclusiones

La valorización de los RSU en México siempre ha estado presente en los sistemas de gestión, en zonas ganaderas los residuos de alta tasa de degradación han sido utilizados como alimento para los animales, y con la aparición de nuevos materiales en la corriente de residuos la recuperación informal se ha desarrollado como un medio de autoempleo.

Con el fortalecimiento de los mercados de materiales recuperados de los residuos a lo largo del tiempo tanto por el desarrollo institucional como por representar una oportunidad de negocios reales el porcentaje de recuperación se ha incrementado, así como se han desarrollado infraestructura para residuos que previamente no eran valorizados, como es el caso del poli estireno.

Dentro de la valorización de residuos existen múltiples participantes, siendo los responsables de la división de limpia pública los que tienen mayor participación a lo largo de todo el ciclo del manejo de residuos, debido a esto debe ser fundamental que cuenten con herramientas y preparación adecuada para desempeñar sus funciones tanto de planeación como operativas.

Otros participantes fundamentales son las empresas, las cuales solo participaran en el proceso por medio de un contrato en donde se definan sus responsabilidades, cuando participa una empresa es necesario establecer entre ellas su participación para alcanzar la valorización. A menor escala el sector informal participa por motivación económica en el proceso, el cual se recomienda sea integrado de manera formal dentro del proceso, ya sea como parte del sistema de limpia o como micro, pequeñas o medianas empresas o cooperativas.

Las autoridades forman parte de los tomadores de decisiones por lo que deben estar bien informados del sistema, basándose en los responsables de limpia pública y los documentos y asesorías brindados por el sector académico que funge el papel de consultor en este proceso. Adicionalmente las organizaciones de la sociedad civil soportan el proceso por medio de actividades de difusión y participación ciudadana en el proceso.

Aunque intervienen en escasas etapas del proceso de valorización los usuarios o el denominado factor social son fundamentales, la participación de la población permite alcanzar altos niveles de separación, lo cual reduce la necesidad de procesos posteriores a la recolección de los residuos y por lo tanto los costos asociados. Si se cuenta con una alta participación social los materiales recuperados cuentan con menor cantidad de contaminantes mejorando su valor en el mercado.

Los tomadores de decisiones tienen la responsabilidad de seleccionar el esquema de valorización a implementar en la zona, siendo regularmente los procesos más simples, los que cuenten con menos variables en su proceso, como lo son los procesos de composta por medio de pilas o la recuperación de residuos de media o baja tasa de degradación de manera manual, dejando de lado los procesos que requieren mayor inversión en infraestructura como la digestión anaerobia, la separación mecanizada o la incineración.

Esta jerarquía demanda el desarrollo de técnicas y tecnología aptas para la condición de los municipios en el país, buscando la mayor simplificación y los menores montos de inversión para facilitar alcanzar niveles de valorización de residuos más altos a las actuales permitiendo que el proceso sea completamente sostenible.

De acuerdo a los estudios desarrollados se determinó que el proceso general para plantear un programa de valorización de residuos inicia con un diagnóstico de las características geográficas y las socio-económicas de la zona de estudio así como del sistema de gestión de residuos actual. Esto permite contar con una base para el desarrollo del resto de las etapas del programa.

De acuerdo al diagnóstico debe determinarse como valorizar cada uno de los residuos que se genera en la zona, adicionalmente la definición de la motivación social tiene que establecer en relación a los objetivos e infraestructura con la que cuenta el municipio, para finalmente determinar el sistema de separación de residuos.

Para el caso de Atlacomulco de Fabela los elementos propuestos para la separación de residuos mantienen una baja complejidad, permitiendo al municipio utilizar los elementos presentes en su sistema actual, como los vehículos con los que cuentan actualmente y la integración de los recuperadores informales presentes en el sitio de disposición final.

De igual manera las propuestas de comercialización de algunos de los residuos se centran en encontrar el consumidor más cercano a la zona de generación para evitar incurrir en mayores gastos debido al transporte, aunque estos destinos deben de analizarse cuando los precios de compra varíen para determinar si aún son viables.

También dentro del desarrollo de esta propuesta debido al poco tiempo con el que cuenta el municipio para el desarrollo de su sistema de separación en fuente la buena relación con las autoridades permiten que la instalación de la motivación reglamentaria sea la más adecuada en el municipio, lo cual evita la inversión que demandaría una motivación económica o comunitaria.

El programa de valorización propuesto estima los residuos que es necesario enviar al sitio de disposición final representan menos del 15% de los generados en la zona de estudio aumentando así su tiempo de vida útil y reintegrando distintos materiales en la cadena de producción y consumo, lo cual también reduce la necesidad de extracción de materias primas.

Debe ser prioridad reducir la dependencia de los sitios de disposición final para el manejo de residuos fortaleciendo los procesos de valorización. Algunas de estas estrategias deben de ser el mejoramiento de las condiciones del mercado para la comercialización de los materiales recuperados así como ampliar las opciones tecnológicas para la separación y valorización.

De igual manera debe alentarse un cambio en el esquema de producción, donde los productos generados estén diseñados de tal manera que faciliten su desmantelamiento en piezas que sean completamente valorizables de manera individual.

Aunque la atribución del manejo de los residuos recae sobre los municipios es fundamental que se desarrolle una línea estratégica nacional de capacitación continua a los operadores de limpia pública tanto en la gestión general de los residuos como en la valorización de los mismos para fortalecer la planeación de los programas.

Finalmente es necesario el mejoramiento de la información relacionada a los programas de gestión y valorización, de tal manera que se dé un mayor seguimiento los programas desarrollados para evaluar sus resultados y contar con registros directos acerca de la valorización de los residuos. Al respecto es importante mejorar el intercambio de información y experiencias entre los desarrolladores y operadores de programas a nivel nacional.

Bibliografía

- Aguado Flores, R. G. (08 de Noviembre de 2012). Visita a la Estación de Transferencia de Iztapalapa. (J. O. Avilés Sayas, Entrevistador)
- Ambientum. (2012). *Ambientum*. Recuperado el 19 de Octubre de 2012, de Enciclopedia medio ambiental / Suelos y residuos / Composición de los RSU:
http://www.ambientum.com/enciclopedia_medioambiental/suelos/composicion_de_los_rsu.asp
- Andaluz, W. C. (2006). *Manual de derecho ambiental*. Lima, Perú: PROTERRA.
- Avilés Sayas, J. O. (2011). *Estudio del aprovechamiento energético del biogás generado en el relleno sanitario de Xalapa*. (F. d. Ambiental, Ed.) Xalapa: Universidad Veracruzana.
- Ayuntamiento Atlacomulco. (2013). *Programa municipal para la prevención y gestión integral de residuos sólidos urbanos y de manejo especial*. Atlacomulco, Estado de México: Ayuntamiento Atlacomulco 2013 - 2015.
- Ayuntamiento Atlacomulco. (2014). Volante "Separación de residuos sólidos urbanos". Atlacomulco.
- Ayuntamiento Tianguistenco. (2013). *Programa municipal para la gestión de residuos sólidos urbanos y de manejo especial de Tianguistenco*. Tianguistenco: GIZ.
- Bagchi, A. (2004). *Design of landfills and integrated solid waste management* (Tercera ed.). New Jersey, E.U.A.: John Wiley & Sons, Inc.,.
- Biodisol. (2010). *Digestión Anaerobia. Proceso de Producción de Gas*. Recuperado el 2013, de Biodisol: <http://www.biodisol.com/que-es-el-biogas-digestion-anaerobia-caracteristicas-y-usos-del-biogas/digestion-anaerobia-proceso-de-produccion-de-biogas-biocombustibles-energias-renovables/>
- BMU. (2011). *Closed-loop waste management_ Recovering wastes - conserving resources*. Niestetal: Federal Ministry for the Environment, Nature Conservation and Nuclear Safety (BMU).
- Bullock, D. R., & Salvador, R. (1993). Setting recycling goals and priorities. En H. F. Lund, *The McGraw-Hill Recycling Handbook* (pág. 4.16). EUA: McGraw-Hill, Inc.
- Callan, S. J., & Thomas, J. M. (1996). *Environmental Economics & Management. Theory, Policy, and Applications*. (G. Nelson, Ed.) Estados Unidos de América: IRWIN.

- Cámara del Papel. (2012). *SEMARNAT. Planes de Manejo*. Recuperado el 2014, de Plan de Manejo para los Residuos de Papel y Cartón en México:
<http://www.semarnat.gob.mx/archivosanteriores/temas/residuos/solidos/Documents/pm-papelycarton.pdf>
- Castro, R., & Perez, R. (Diciembre de 2009). Saneamiento rural y salud. Guía para acciones a nivel local. Guatemala: OPS/OMS Guatemala.
- CCE. (21 de Diciembre de 2005). Comunicación de la comisión al consejo, al parlamento europeo y al comité económico y social europeo y al comité de las regiones. *Un paso adelante en el consumo sostenible de recursos: estrategia temática sobre prevención y reciclado de residuos*. Bruselas: Comisión de las Comunidades Europeas.
- Chen, X., Geng, Y., & Fujita, T. (20 de Noviembre de 2009). An overview of municipal solid waste management in China. *Elsevier*.
- City of Sydney. (27 de Marzo de 2012). *Recycling*. Recuperado el 30 de Octubre de 2012, de City of Sydney 20 30:
<http://www.cityofsydney.nsw.gov.au/Residents/WasteAndRecycling/Recycling/default.aspx>
- City of Sydney. (Marzo de 2012). Residuos y su reciclado Su Guía. *Zero Waste*. Sydney, Australia: City of Sydney.
- Cockram, J. (2008). Composting in the comfort of home. *Chartered Institutions of Wastes Management*, 24 - 25.
- Colomer Mendoza, F. J., & Gallardo Izquierdo, A. (2007). *Tratamiento y gestión de residuos sólidos*. Valencia: Universidad Politécnica de Valencia.
- CONAPO. (2014). *Consejo Nacional de Población*. Obtenido de CONAPO:
<http://www.conapo.gob.mx/>
- CORFO. (2014). *Centro de Energías Renovables*. Recuperado el 13 de Julio de 2014, de Tecnologías:
<http://cer.gob.cl/tecnologias/biomasa/bioquimica/digestion-anaerobica/>
- DGN. (18 de Marzo de 1985). Norma Mexicana NMX-AA-22-1985. Protección al ambiente - Contaminación del Suelo - Residuos Sólidos Municipales - Selección y Cuantificación de Sub Productos. (D. G. Normas, Ed.) Dirección General de Normas. Diario Oficial de la Federación.
- DGN. (1985). Norma Mexicana NMX-AA-61-1985. Protección al ambiente - Contaminación del Suelo - Residuos Sólidos Municipales - Determinación de la generación. Dirección General de Normas. Diario Oficial de la Federación.

- DGN. (s.f.). Norma Mexicana NMX-AA-091-1987. Calidad del suelo - Terminología. Distrito Federal, México: Dirección General de Normas. Diario Oficial de la Federación.
- Di Maria, F., & Micale, C. (14 de Junio de 2014). *2nd International Conference on Sustainable Solid Waste Management*. Recuperado el 13 de Julio de 2014, de Impact of difeferent management options for organic waste: a life cycle analysis: http://athens2014.biowaste.gr/pdf/di_maria_micale.pdf
- Dixon Webb, N., Jiménez, J. A., Benjamin, N., Torrez, T., & López Calero, R. (Marzo de 2012). *Primera propuesta técnica del plan municipal para el manejo de los residuos sólidos urbanos de Puerto Cabezas 2012-2016*. Obtenido de Agencia de cooperación internacioanl del Japón: http://www.jica.go.jp/nicaragua/espanol/office/topics/pdf/realizados_03.pdf
- E.S.P. (2010). *Programa de aprovechamiento de residuos sólidos reciclables en la zona urbana del municipio de Santander de Quilichao*. Recuperado el 20 de Noviembre de 2012, de Empresas municipales Santander de Quilichao: http://www.emquilichao.gov.co/archivos_proyectos/programadeaprovechamientoderesiduosolidosreciclables.pdf
- ECE DG. (Mayo de 2003). *Preparaing a waste management plan: A methodological guidance note*. European Topic Center on Waste Material Flows.
- ECOCE. (2014). *ECOCE*. Recuperado el 27 de Marzo de 2014, de Programas: <http://www.ecoce.org.mx/programas.php>
- EcuRed. (2014). *Cola de Carpintería*. Obtenido de Ecu Red: http://www.ecured.cu/index.php/Cola_de_carpinter%C3%ADa#Cola_de_huesos
- Edoho, F., & Dibie, R. (s.f.). *Executing enviromental policy and waste management in Ghana and Nigeria*. Recuperado el 26 de Noviembre de 2012, de Integrated Waste Management in Western Africa: http://www.iwwa.eu/images/stories/PDF/Waste_Management_in_Ghana_and_Nigeria.pdf
- EPAM S.A. . (2008). *Construcción de criterios técnicos para el aprovechamiento y valorización de residuos sólidos orgánicos con alta tasa de biodegradación, plásticos, vidrio, papel y cartón*. Bogotá D.C.: Ministerio de ambiente, vivienda y desarrollo territorial.
- Espinosa Valdemar, R. M., Turpin Marion, S., Delfín Alcalá, I., Maldonado Alejandro, P. R., & Almanza Veloz, M. (2005). *Biblioteca virtual de desarrollo sostenible y salud ambiental*. Recuperado el 27 de Marzo de 2014, de Análisis de la eficiencia de biodegradación del pañal desechable y estudio de la eficiencia biológica de este residuos como sustrato para el cultivo de la seta: <http://www.bvsde.paho.org/bvsaidis/mexico2005/espinosa.pdf>

- Espinosa Valdemar, R. M., Turpin Marion, S., Delfín Alcalá, I., Maldonado Alejandro, P. R., & Almanza veloz, M. (2005). *BVSDE.PAHO*. Recuperado el 2014, de Análisis de la eficiencia de biodegradación del pañal desechable y estudio de la eficiencia biológica de este residuos como sustrato para el cultivo de la seta:
<http://www.bvsde.paho.org/bvsaidis/mexico2005/epinosa.pdf>
- FERIOLI ECO. (s.f.). *Tecnología*. Recuperado el 24 de Noviembre de 2012, de FERIOLI ECO. Soluciones ecológicas: <http://www.feriolieco.com.ar/tecnologia/es-Introduccion>
- Fernández Landa, L. (Julio de 2011). Propuesta del programa para la prevención y gestión integral de los residuos sólidos urbanos del municipio de Acatlán, Veracruz, México. Xalapa, Veracruz, México: Universidad Veracruzana. Facultad de Ingeniería Química.
- GIRE SOL. (09 de Septiembre de 2012). *Noticias_ México: crean norma de composta*. Recuperado el 04 de Noviembre de 2012, de Gestión Integral de Residuos Sólidos:
http://www.giresol.org/index.php?option=com_k2&view=item&id=2433:m%C3%A9xico-crean-norma-de-composta&Itemid=5
- GIZ. (2012). *Guía para la implementación de proyectos de separación de residuos sólidos urbanos. Dirigida a los municipios de Guerrero, México y Quintana Roo*. México, D.F.: GIZ.
- GIZ. (2013). *Curso para la elaboración de Programas Municipales para la Prevención y Gestión Integral de Residuos Sólidos Urbanos*. Tlalnepantlá de Baz: GIZ.
- Gobierno Orizaba . (2014). *Ayuntamiento Orizaba*. Recuperado el Marzo de 2014, de Coordinación de limpia pública. BYP Módulos y horarios: http://www.orizaba.gob.mx/?page_id=409
- González Martínez, A. A. (2009). *Estudio de generación y composición de los residuos sólidos urbanos de la localidad de Xico, municipio de Xico, Veracruz, México*. Xalapa, Veracruz, México: Universidad Veracruzana. Facultad de Ingeniería Química - Xalapa.
- Google. (2014). *Google* . (Google) Recuperado el 2014, de Google Maps.
- GTZ. (2003). *División 44. Medio Ambiente y Infraestructura. Sector Prject Mechanical-biological Waste Treatment. Final Report*. Eschborn: GTZ.
- Gusman López, S., Salazar Alzate, W. A., & Mesa, F. (30 de Mayo de 2006). Aprovechamiento de los residuos sólidos en el Municipio de Pereira. *Scientia Et Technica*, XII(30), 411 - 414.
- Gutiérrez Avedoy, V. (2006). *Diagnóstico básico para la gestión integral de residuos*. D.F.: SEMARNAT/INE.

- Gutiérrez Galicia, F. (2008). *Análisis del sistema de recolección de residuos sólidos urbanos en el Centro Histórico de Morelia, aplicando Sistema de Información Geográfica (SIG)*. D.F.: UNAM Programa de Maestría y Doctorado en Ingeniería Facultad de Ingeniería.
- Hernández Jiménez, N. D. (Abril de 2009). Estudio de generación y composición de los residuos sólidos urbanos de la localidad de Dos Ríos, Municipio de Emiliano Zapata, Veracruz, México. Xalapa, Veracruz, México: Universidad Veracruzana. Facultad de Ingeniería Química Xalapa.
- IDAE. (2007). *Instituto para la Diversificación y Ahorro de la Energía*. Obtenido de Energías Renovables/ Energía de la Biomasa/ Digestores anaerobios:
http://www.idae.es/uploads/documentos/documentos_10737_Biomasa_digestores_07_a996b846.pdf
- IE EPA. (2012). *Best Available Techniques (BAT)*. Recuperado el 04 de Noviembre de 2012, de Environmental Protection Agency Ireland: <http://www.epa.ie/downloads/advice/bat/>
- IES. (2007). *Environmental Assessment of Municipal Waste Management Scenarios: Part II - Detailed Life Cycle Assessments*. Ispra: Joint Research Centre/ Institute for Environment and Sustainability.
- INECC. (2012). *Diagnóstico básico para la gestión integral de los residuos*. INECC.
- INEGI. (2009). *Prontuario de información geográfica municipal de los Estados Unidos Mexicanos*. Recuperado el 22 de Mayo de 2013, de Coatepec, Veracruz de Ignacio de la Llave: <http://www3.inegi.org.mx/sistemas/mexicocifras/datos-geograficos/30/30038.pdf>
- INEGI. (2009). *Prontuario de información geográfica municipal de los Estados Unidos Mexicanos. Atlacomulco, México. Calve geoestadística 15014*.
- INEGI. (2010). *Censo de población y vivienda 2010*. Aguascalientes, Aguascalientes: INEGI.
- JICA. (2011). *División de residuos en el municipio de Teocelo*. Obtenido de <http://www.coatepecanos.com/nota/1573/akina-yokota-voluntaria-de-la-jica-rinde-ultimo-informe-en-teocelo.html>
- Juárez, C., Güereca, L., & Gassó, S. (2008). *Análisis de ciclo de vida del sistema de gestión de residuos municipales de la Ciudad de México*. Castellón: REDISA.
- Katz, S. A., & Spring, S. W. (1993). Quality control monitoring for recyclable materials. En H. F. Lund, *The MacGraw-Hill Recycling Handbook* (pág. 34.9 y 34.10). EUA: McGraw-Hill, Inc.

- Leyes y poderes estatales. (28 de Marzo de 2012). *Leyes y poderes estatales*. Recuperado el 04 de Noviembre de 2012, de Cámara de diputados_ LXII Legislatura:
<http://www.diputados.gob.mx/LeyesBiblio/gobiernos.htm>
- Lions Club International. (Marzo de 2014). *Lions Club International Club*. Recuperado el 27 de Marzo de 2014, de Reciclaje de gafas: <http://www.lionsclubs.org/SP/our-work/sight-programs/eyeglass-recycling/index.php>
- Marmolejo, L. F., Torres, P., Oviedo, E. R., Bedoya, D. F., Amezcua, C. P., Klinger, R., y otros. (2009). Flujo de residuos: elementos base para la sostenibilidad del aprovechamiento de residuos sólidos municipales. *Ingeniería y competitividad*, 11(2), 79-93.
- Melgarejo, A. D. (2009). *CARACTERIZACIÓN DE LA GENERACIÓN Y COMPOSICIÓN DE LOS RESIDUOS SÓLIDOS URBANOS DE LA LOCALIDAD DE COATEPEC, VERACRUZ, MÉXICO*. Xalapa, Veracruz, México: Universidad Veracruzana.
- Metales Z. I. (2014). *Metales Z.I.* Recuperado el 31 de Agosto de 2014, de Lista de precios compra: http://www.metaleszi.com.mx/sistema/pdf/precios_compra.php
- MSEA. (Marzo de 1999). *Solid waste management strategy for Dakahleya Governorate*. Recuperado el 29 de Octubre de 2012, de Ministry os State for Environmental Affairs: <http://www.eeaa.gov.eg/seam/Manuals/DakahSolidWaste/Chapter1.pdf>
- Munguía Tabares, E. (2009). *Estudio de generación y composición de los residuos sólidos urbanos de la localidad de Teocelo, municipio de Teocelo, Veracruz, México*. Xalapa, Veracruz, México: Universidad Veracruzana. Facultad de Ingeniería Química - Xalapa.
- OECD. (2009). *OECD Environmental Data Compendium 2006 - 2008. Waste*.
- OPDS/JICA. (2009). *Manual para Plan de Reducción de Residuos Sólidos Urbanos Provincia de Buenos Aires*. Provincia de BUenos Aires: Gobierno de la Provincia de Buenos Aires.
- Ordaz Avilés, M. L. (2003). *Autorregulación de empresas mexicanas en materia de medio ambiente*. (D. M. Beristain, Ed.) Cholula, Puebla, México: Universidad de las Américas Puebla.
- Orta de Velásquez, M. T., Yáñez Noguez, I., Monje Ramírez, I., Rojas Valencia, N. R., Toscano Vélez, L., Rentería Martínez, J., y otros. (2009). *Estudio de evaluación de tecnologías alternativas o complementarias para el tratamiento o disposición final de los residuos sólidos urbanos*. Instituto de Ingeniería UNAM / SEMARNAT.
- Ortiz Alegría, L. F. (Abril de 2010). Propuesta del programa para la prevención y gestión integral de los residuos sólidos urbanos del municipio de Coatepec, Veracruz, México. Xalapa, Veracruz, México: Universidad Veracruzana. Facultad de Ingeniería Química Xalapa.

- Osorio Hernández, C. (2013). *Programa Internacional de Becas de Posgrado para Indígenas. Fundación FORD*. Recuperado el Octubre de 2013, de Manejo ecológico de residuos sólidos en la península de Atasta, Campeche:
http://ford.ciesas.edu.mx/downloads/2do_2_05.pdf
- REPSA. (2014). *Remolques y plataformas de Toluca S.A. de C.V.* Recuperado el 23 de Noviembre de 2012, de Productos: <http://www.carroceriasrepsa.com/productos.html>
- Robson, B. (2008). Energy from waste Solid Sustainability. *Chatered Institution of Wastes Management*, 28 - 29.
- Rodríguez Melgarejo, A. D. (2009). *Caracterización de la generación y composición de los residuos sólidos de la localidad de Coatepec, Veracruz, México*. Xalapa, Veracruz, México: Universidad Veracruzana. Facultad de Ingeniería Química - Xalapa.
- Rodríguez Salinas, M. A., & Córdova y Vázquez, A. (2006). *Manual de compostaje municipal. Tratamiento de residuos sólidos urbanos*. México, D.F.: SEMARNAT/INE/GTZ.
- Rodríguez Salinas, M. A., & Domínguez Mares, M. (21 al 26 de Abril de 2008). *GIRESOL. XVI Congreso nacional de ingeniería sanitaria y ciencias ambientales*. Recuperado el 2014, de Experiencias de la GTZ en los procesos de elaboración y ejecución de programas municipales para la prevención y gestión integral de residuos sólidos urbanos:
http://www.giresol.org/documentos/Experiencia_GTZ_PMGIRSU.pdf
- Secretaría Medio Ambiente Edo.de México. (2013). *Información Pública de Oficio Mexiquense*. Recuperado el 2014, de Pograma Anual de Obra 2013 Medio Ambiente:
<http://www.ipomex.org.mx/ipo/archivos/downloadAttach/149211.web;jsessionid=2CBF23CC5081AE72A1A15692FCC1AE44>
- SEDESOL. (s.f.). *Normateca SEDESOL*. Recuperado el 23 de Noviembre de 2012, de Secretaría de Desarrollo Social:
<http://www.normateca.sedesol.gob.mx/work/models/SEDESOL/Resource/1592/1/images/ManualTecnicosobreGeneracionRecoleccion.pdf>
- SEMARNAT. (28 de Enero de 1988). Ley General del Equilibrio Ecológico y Protección al Ambiente. México: Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales.
- SEMARNAT. (2001). *Guía para la gestión integral de los residuos sólidos municipales*. Álvaro Obregón, D. F., México: SEMARNAT.
- SEMARNAT. (2001). *Guía para la gestión integral de los residuos sólidos municipales*. México, D.F.: SEMARNAT.

- SEMARNAT. (2003). *Ley general para la prevención y gestión integral de los residuos*. Ciudad de México: Cámara de diputados del H. Congreso de la unión.
- SEMARNAT. (20 de Octubre de 2004). Norma Oficial Mexicana NOM-083-SEMARNAT-2003. *Especificaciones de porteccción ambiental para la selección del sitio, diseño, construcción, operación, monitoreo, clausura y obras complementarias de un sitio de disposición final de residuos sólidos urbanos y de manejo especial*. D.F., México: Diario Oficial de la Nación (México).
- SEMARNAT. (2004). *Norma Oficial Mexicana NOM-083-SEMARNAT-2003, Especificaciones de protección ambiental para la selección del sitio, diseño, construcción, operación, monitoreo, calusura y obras complementarias de un sitio de disposición final de RSU y de ME*. México: SEMARNAT.
- SEMARNAT. (2006). *Reglamento de la Ley General para la Prevención y Gestión Integral de los Residuos*. México; D.F.: Diario Oficial de la Federación.
- SEMARNAT. (2007). *INECC*. Obtenido de Política y estrategias para la prevención y gestión integral de residuos en México:
http://siscop.inecc.gob.mx/novedades/politica_y_estrategias_gir.pdf
- SEMARNAT. (2009). *Programa Nacional para la Prevención y Gestión Integral de los Residuos 2009-2012*. Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales.
- SEMARNAT. (28 de Septiembre de 2010). *Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales*. Recuperado el 11 de Agosto de 2012, de
<http://www.semarnat.gob.mx/conocenos/Paginas/antecedentes.aspx>
- SEMARNAT. (2013). *Programa presupuestario U012*. SEMARNAT.
- SEMARNAT. (03 de Enero de 2014). *SEMARNAT*. Recuperado el 2014, de Prevención y gestión integral de residuos 2013-2018: <http://www.semarnat.gob.mx/temas/residuos-solidos-urbanos/prevencion-y-gestion-integral-de-residuos-2013-2018>
- SEMARNAT-GTZ. (2006). *Guía para la elaboración de programas municipales para la prevención y gestión integral de los residuos sólidos urbanos*. México: SEMARNAT-GTZ.
- Servicios Públicos de Bogotá, D.C. (2010). *Programa para la gestión de los residuos sólidos orgánicos para la ciudad de Bogotá, D.C*. Bogotá: Unidad Adminsitrativa Especial de Servicios Públicos Bogotá, D.C.
- SMA DF. (10 de Septiembre de 2010). *Programa de gestión integral de los residuos sólidos para el Distrito Federal*. Distrito Federal, México: Gaceta Oficial del Distrito Federal.

- SMA DF. (2010). *Programa de Gestión Integral de los Residuos Sólidos para el Distrito Federal*. México; D.F.: Gaceta Oficial del Distrito Federal.
- SMA Estado de México. (9 de Octubre de 2006). *NTEA-006-SMA-RS-2006 Que establece los requisitos para la producción de los mejoradores de suelos elaborados a partir de residuos orgánicos*. Recuperado el 10 de Septiembre de 2014, de Gaceta del Gobierno del Estado de México.
- SMA Estado de México. (30 de Marzo de 2008). *NTEA-010-SMA-RS-2008 Que establece los requisitos para la instalación, operación y mantenimiento de infraestructura para el acopio, transferencia, separación y tratamiento de residuos sólidos urbanos y de manejo especial, para el Estado de México*. Recuperado el 10 de Septiembre de 2014, de Gaceta del Gobierno del Estado de México:
<http://www.edomex.gob.mx/legistelfon/doc/pdf/gct/2009/may211.PDF>
- SMA Estado de México. (21 de Mayo de 2009). *NTEA-011-SMA-RS-2008 Que establece los requisitos para el manejo de los residuos de la construcción para el Estado de México*. Recuperado el 10 de Septiembre de 2014, de Gaceta del Gobierno del Estado de México:
<http://www.edomex.gob.mx/legistelfon/doc/pdf/gct/2009/may212.PDF>
- SMA Estado de México. (17 de Abril de 2009). *Programa para la prevención y gestión integral de residuos sólidos urbanos y de manejo especial del Estado de México*. Recuperado el 10 de Septiembre de 2014, de Gaceta del Gobierno del Estado de México:
http://www.semarnat.gob.mx/sites/default/files/documentos/gestionresiduos/pepgir_estado_de_mexico.pdf
- SMA Estado de México. (16 de Agosto de 2011). *NTEA-013-SMA-RS-2011 Que establece las especificaciones para la separación en la fuente de origen, almacenamiento separado y entrega separada al servicio recolección de residuos sólidos urbanos y de manejo especial, para el Estado de México*. Recuperado el 10 de Septiembre de 2014, de Gaceta del Gobierno del Estado de México:
http://portal2.edomex.gob.mx/sma/empresas_instituciones/normatividad_materia_ambiental/residuos_solidos/groups/public/documents/edomex_archivo/sma_pdf_proyntea013sma_rs_2011.pdf
- Sound Resource Management. (2009). *Environmental Life Cycle Assessment of Waste Management Strategies with a Zero Waste Objective. Study of the Solid Waste Management System in Metro Vancouver, British Columbia*. British Columbia: Sound Resource Management.

- Sundqvist, J.-O. (2005). *How should municipal solid waste be treated - a system study of incineration, material recycling, anaerobic digestion and composting*. Estocolmo: Swedish Environmental Research Institute.
- Tchobanoglous, G. (1993). *Integrated Solid Waste Management. Engineering Principles and Management Issues*. Singapore: McGraw-Hill International Editions.
- Tchobanoglous, G., & Kreith, F. (2002). *Handbook of solid waste management* (Segunda edición ed.). EUA, EUA: McGraw-Hill.
- Tchobanoglous, G., Theisen, H., & Vigil, S. A. (1994). *Gestión integral de residuos sólidos Volumen II*. Madrid, España: McGraw-Hill/Interamericana de España, S.A.
- Trow. (2010). *Guidebook for creating municipal waste recycling strategy*. Ontario: Continuous Improvement Fund.
- UNED. (04 de Noviembre de 2012). *Gestión y tratamiento de los residuos urbanos*. Recuperado el 04 de Noviembre de 2012, de Universidad Nacional de Educación a Distancia: <http://www.uned.es/biblioteca/rsu/pagina1.htm>
- UNEP. (2005). *Solid waste management*. United Nations Environmental Programme.
- UNEP. (2009). *Developing Integrated Solid Waste Management Plan. Training Manual. Volume 2: Assessment of Current Waste Management System and Gaps therein*. Osaka, Shiga, Japón: United Nation Environment Program. International Environmental Technology Center.
- US EPA. (2002). *How to establish recycling and composting programs*. EUA: United State Environmental Protection Agency.
- Veracruz, G. d. (2005). *Enciclopedia de los municipios de México*. (Instituto Nacional para el Federalismo y el Desarrollo Municipal, Gobierno del Estado de Veracruz) Recuperado el 28 de Octubre de 2012, de Coatepec, Estado de Veracruz de Ignacio de la Llave: <http://www.e-local.gob.mx/work/templates/enciclo/veracruz/municipios/30038a.htm>
- Wehenpohl, G., & Hernández Barrios, C. P. (Noviembre de 2002). *Guía en elaboración de planes maestros para la gestión integral de los residuos sólidos municipales (PMGIRSM)*. Estado de México, México: Secretaría de Ecología del Estado de México/Deutsche Gesellschaft für Technische Zusammenarbeit (GTZ) GmbH.
- Wildblood, R. (Abril de 2008). *The cambodian way. Chatered Institution of Wastes Management*, 38 - 40.

Zaman, A. U. (2009). Life cycle environmental assessment of municipal solid waste to energy technologies. *Global Journal of Environmental Research*, 155-163.

Zaman, A. U. (2010). *Comparative study of municipal waste treatment technologies using life cycle assesment method*. Estocolmo: Int. J. Environ. Sci. Tech.

Anexo I Propuesta de tabla modificada de la NMX-AA-022-1985 Selección y clasificación de subproductos

Sub producto	Peso	Porcentaje
01 Algodón		
02 Aluminio		
03 Botellas de vidrio ámbar		
04 Botellas de vidrio incoloro		
05 Botellas de vidrio verde		
06 Botellas de vidrio azul		
07 Cartón		
08 Cuero		
09 Residuos fino		
10 Envases de cartón encerado		
11 Envases multicapas		
12 Fibra dura vegetal		
13 Fibras sintéticas		
14 Hueso		
15 Hule		
16 Loza y cerámica		
17 Madera		
18 Material de construcción		
19 Material ferroso		
20 Material no ferroso		
21 Papel bond		
22 Papel periódico		
23 Papel de revistas		
24 Papel de color		
25 Pañal desechable		
26 PET Incoloro		
27 PET Salmón		
28 PET Verde		
29 PET Distinto color		
30 PEAD)		
31 PVC		
32 PEBD		
33 PP		
34 Poliuretano		

35	PS
36	Residuos alimenticios
37	Residuos de jardinería
38	Residuos peligrosos
39	Sanitarios
40	Trapo
41	Vidrio plano incoloro
42	Vidrio plano de color
43	Otros
TOTAL	
