



Universidad de San Carlos de Guatemala
Facultad de Ingeniería
Escuela de Estudios de Postgrado
Maestría en Energía y Ambiente

**ELABORACIÓN DE UN PLAN DE MANEJO INTEGRAL DE RESIDUOS
SÓLIDOS PARA EL VERTEDERO CONTROLADO, UBICADO EN EL KM 22,
CARRETERA AL PACÍFICO, VILLA NUEVA, GUATEMALA**

Elizabeth Joanna Girón Brincker

Asesorado por el Ing. Cesar Barrientos

Guatemala, julio de 2017

UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA



FACULTAD DE INGENIERÍA

**ELABORACIÓN DE UN PLAN DE MANEJO INTEGRAL DE RESIDUOS
SÓLIDOS PARA EL VERTEDERO CONTROLADO, UBICADO EN EL KM 22,
CARRETERA AL PACÍFICO, VILLA NUEVA, GUATEMALA**

TRABAJO DE GRADUACIÓN

PRESENTADO A LA JUNTA DIRECTIVA DE LA
FACULTAD DE INGENIERÍA Y LA ESCUELA DE ESTUDIOS DE
POSTGRADO
POR

ELIZABETH JOANNA GIRÓN BRINCKER
ASESORADO POR EL ING. CESAR BARRIENTOS

AL CONFERÍRSELE EL TÍTULO DE
MAESTRO EN ENERGÍA Y AMBIENTE

GUATEMALA, JULIO DE 2017

UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA
FACULTAD DE INGENIERÍA



NÓMINA DE JUNTA DIRECTIVA

DECANO	Ing. Pedro Antonio Aguilar Polanco
VOCAL I	Ing. Angel Roberto Sic García
VOCAL II	Ing. Pablo Christian de León Rodríguez
VOCAL III	Inga. Elvia Miriam Ruballos Samayoa
VOCAL IV	Br. Raúl Eduardo Ticún Córdova
VOCAL V	Br. Henry Fernando Duarte García
SECRETARIA	Inga. Lesbia Magalí Herrera López

TRIBUNAL QUE PRACTICÓ EL EXAMEN GENERAL PRIVADO

DECANO	Ing. Pedro Antonio Aguilar Polanco
DIRECTOR	Ing. Murphy Paiz Recinos
COORDINADOR	Ing. Juan Carlos Fuentes Montepeque
EXAMINADOR	Ing. Pablo de León Rodríguez
SECRETARIA	Inga. Lesbia Magalí Herrera López

HONORABLE TRIBUNAL EXAMINADOR

En cumplimiento con los preceptos que establece la ley de la Universidad de San Carlos de Guatemala, presento a su consideración mi trabajo de graduación titulado:

**ELABORACIÓN DE UN PLAN DE MANEJO INTEGRAL DE RESIDUOS
SÓLIDOS PARA EL VERTEDERO CONTROLADO, UBICADO EN EL KM 22,
CARRETERA AL PACÍFICO, VILLA NUEVA, GUATEMALA**

Tema que me fue aprobado por la Escuela de Estudios de Postgradbs, con fecha 20 de mayo de 2015.



Elizabeth Joanna Girón Brincker



FACULTAD DE
INGENIERÍA - USAC
EP
ESCUELA DE
ESTUDIOS DE POSTGRADO

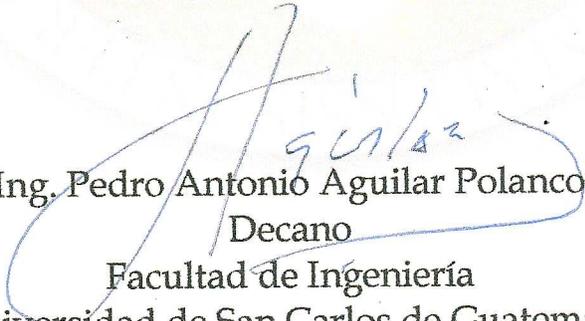
Escuela de Estudios de Postgrado
Facultad de Ingeniería
Teléfono 2418-9142 / 24188000 Ext. 86226

APT-2017-011

El Decano de la Facultad de Ingeniería de la Universidad de San Carlos de Guatemala, luego de conocer la aprobación por parte del Director de la Escuela de Postgrado, al Trabajo de Graduación de la Maestría en Artes en Energía y Ambiente titulado: **"ELABORACIÓN DE UN PLAN DE MANEJO INTEGRAL DE RESIDUOS SÓLIDOS PARA EL VERTEDERO CONTROLADO, UBICADO EN EL KM 22, CARRETERA AL PACÍFICO, VILLA NUEVA, GUATEMALA "** presentado por la Ingeniera en Gestión Ambiental Local Elizabeth Joanna Girón Brincker, procede a la autorización para la impresión del mismo.

IMPRÍMASE.

"Id y Enseñad a Todos"


Ing. Pedro Antonio Aguilar Polanco
Decano

Facultad de Ingeniería
Universidad de San Carlos de Guatemala



Guatemala, julio de 2017.

Co: archivo/la

Doctorado: Sostenibilidad y Cambio Climático. **Programas de Maestrías:** Ingeniería Vial, Gestión Industrial, Estructuras, Energía y Ambiente Ingeniería Geotécnica, Ingeniería para el Desarrollo Municipal, Tecnologías de la Información y la Comunicación, Ingeniería de Mantenimiento. **Especializaciones:** Gestión del Talento Humano, Mercados Eléctricos, Investigación Científica, Educación virtual para el nivel superior, Administración y Mantenimiento Hospitalario, Neuropsicología y Neurociencia aplicada a la Industria, Enseñanza de la Matemática en el nivel superior, Estadística, Seguros y ciencias actuariales, Sistemas de información Geográfica, Sistemas de gestión de calidad, Explotación Minera, Catastro.



Escuela de Estudios de Postgrado
Facultad de Ingeniería
Teléfono 2418-9142 / 24188000 Ext. 86226

APT-2017-011

El Director de la Escuela de Estudios de Postgrado de la Facultad de Ingeniería de la Universidad de San Carlos de Guatemala, luego de conocer el dictamen y dar el visto bueno del revisor y la aprobación del área de Lingüística del Trabajo de Graduación titulado **"ELABORACIÓN DE UN PLAN DE MANEJO INTEGRAL DE RESIDUOS SÓLIDOS PARA EL VERTEDERO CONTROLADO, UBICADO EN EL KM 22, CARRETERA AL PACÍFICO, VILLA NUEVA, GUATEMALA"** presentado por la Ingeniera en Gestión Ambiental Local Elizabeth Joanna Girón Brincker, correspondiente al programa de Maestría en Artes en Energía y Ambiente; apruebo y autorizo el mismo.

Atentamente,

"Id y Enseñad a Todos"

MSc. Ing. Murphy Olympo Paiz Recinos
Director
Escuela de Estudios de Postgrado
Facultad de Ingeniería
Universidad de San Carlos de Guatemala



Guatemala, julio de 2017.

Cc: archivo/la

Doctorado: Sostenibilidad y Cambio Climático. **Programas de Maestrías:** Ingeniería Vial, Gestión Industrial, Estructuras, Energía y Ambiente Ingeniería Geotécnica, Ingeniería para el Desarrollo Municipal, Tecnologías de la Información y la Comunicación, Ingeniería de Mantenimiento. **Especializaciones:** Gestión del Talento Humano, Mercados Eléctricos, Investigación Científica, Educación virtual para el nivel superior, Administración y Mantenimiento Hospitalario, Neuropsicología y Neurociencia aplicada a la Industria, Enseñanza de la Matemática en el nivel superior, Estadística, Seguros y ciencias actuariales, Sistemas de información Geográfica, Sistemas de gestión de calidad, Explotación Minera, Catastro.



FACULTAD DE
INGENIERÍA - USAC
EP
ESCUELA DE
ESTUDIOS DE POSTGRADO

Escuela de Estudios de Postgrado
Facultad de Ingeniería
Teléfono 2418-9142 / 24188000 Ext. 86226

APT-2017-011

Como Coordinador de la Maestría en Artes en Energía y Ambiente del Trabajo de Graduación titulado **"ELABORACIÓN DE UN PLAN DE MANEJO INTEGRAL DE RESIDUOS SÓLIDOS PARA EL VERTEDERO CONTROLADO, UBICADO EN EL KM 22, CARRETERA AL PACÍFICO, VILLA NUEVA, GUATEMALA"** presentado por la Ingeniera en Gestión Ambiental Local Elizabeth Joanna Girón Brincker, apruebo y recomiendo la autorización del mismo.

Atentamente,

"Id y Enseñad a Todos"

MSc. Ing. Juan Carlos Fuentes Montepeque
Coordinador de Maestría
Escuela de Estudios de Postgrado
Facultad de Ingeniería
Universidad de San Carlos de Guatemala



Guatemala, julio de 2017.

Cc: archivo/la

Doctorado: Sostenibilidad y Cambio Climático. **Programas de Maestrías:** Ingeniería Vial, Gestión Industrial, Estructuras, Energía y Ambiente Ingeniería Geotécnica, Ingeniería para el Desarrollo Municipal, Tecnologías de la Información y la Comunicación, Ingeniería de Mantenimiento. **Especializaciones:** Gestión del Talento Humano, Mercados Eléctricos, Investigación Científica, Educación virtual para el nivel superior, Administración y Mantenimiento Hospitalario, Neuropsicología y Neurociencia aplicada a la Industria, Enseñanza de la Matemática en el nivel superior, Estadística, Seguros y ciencias actuariales, Sistemas de información Geográfica, Sistemas de gestión de calidad, Explotación Minera, Catastro.

ACTO QUE DEDICO A:

Dios	Por acompañarme en el recorrido de toda mi vida, por guiarme y derramar la sabiduría necesaria para culminar esta etapa tan importante en mi vida, porque todo lo que soy es gracias a Él.
Mi padre	Claudio Hernán Girón Castillo, por su constante entrega, amor, dedicación y paciencia durante toda la etapa de mi vida, porque me enseñó los valores de la vida, para salir adelante, gracias porque siempre has puesto a tus hijos primero, este triunfo es para ti, TE AMO.
Mi madre	Nydia Elizabeth Brincker de Girón, por tu amor incondicional, esfuerzo, esmero, paciencia, por ser mi amiga y darme los mejores consejos y enseñarme la mejor forma de conducirme en la vida, este triunfo es para ti.
Mis hermanos	Claudio Harold Girón Brincker y Roberto Hernán Girón Brincker, por acompañarme durante esta etapa de formación y su apoyo incondicional.
Mis abuelas	Lupita y Tony, por brindarme su apoyo, entusiasmo y consejos para salir adelante. Las amo.

Mis amigos

Por brindarme su amistad sincera, apoyo y llenar de alegría cada día que pase dentro y fuera de la universidad.

Mi novio

Edgar Toca, por estar a mi lado siempre, brindándome todo su apoyo y amor, te amo.

AGRADECIMIENTOS A:

Dios	Por acompañarme en todo momento en esta etapa tan importante, porque gracias a ti he logrado este triunfo.
Mis padres	Claudio Hernán Girón Castillo y Nydia Elizabeth Brincker de Girón, por su amor y apoyo incondicional, por brindarme el apoyo económico que siempre necesité, este triunfo es para ustedes.
Mis hermanos	Claudio Harold Girón Brincker y Roberto Hernán Girón Brincker, por sus palabras de motivación y apoyo incondicional.
Ing. Cesar Barrientos	Por el apoyo, tiempo y consejos brindados en el transcurso de la investigación.
AMSA	Por permitirme desarrollarme en el ámbito profesional, al aplicar los conocimientos adquiridos, y brindarme el apoyo económico para culminar esta etapa.

ÍNDICE GENERAL

ÍNDICE DE ILUSTRACIONES.....	V
LISTA DE SÍMBOLOS	VII
GLOSARIO	IX
RESUMEN.....	XIII
PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA.....	XV
OBJETIVOS.....	XVII
RESUMEN DE MARCO METODOLÓGICO	XIX
INTRODUCCIÓN	XXI
1. MARCO TEÓRICO.....	1
1.1. Residuos sólidos	1
1.1.1. Desecho	1
1.1.2. Residuo	1
1.2. Clasificación de residuos sólidos	4
1.2.1. Por estado	5
1.2.2. Por su composición química	6
1.2.2.1. Orgánicos	6
1.2.2.2. Inorgánicos	6
1.2.3. Por su utilidad o punto de vista económico	6
1.2.3.1. Reciclables	6
1.2.3.2. No reciclables	7

1.2.4.	Por su origen	7
1.2.4.1.	Domiciliares	7
1.2.4.2.	Comerciales	7
1.2.4.3.	Constructivos	7
1.2.4.4.	Industriales	8
1.2.4.5.	Agrícolas	8
1.2.5.	Por los potenciales efectos derivados del manejo.....	8
1.2.5.1.	Residuos peligrosos	8
1.2.5.2.	Residuos peligrosos no reactivos	8
1.2.5.3.	Residuos inertes	8
1.2.5.4.	Residuos no peligrosos ..	9
1.3.	Características de los residuos sólidos urbanos	9
1.3.1.	Humedad	10
1.3.2.	Densidad	10
1.3.3.	Poder calorífico	11
1.3.4.	Relación carbono/nitrógeno (C/N)	11
1.4.	Importancia del manejo integral de los residuos sólidos urbanos	11
1.5.	Sistema de manejo de los residuos sólidos urbanos	13
1.5.1.	Reciclaje	13
1.5.1.1.	Tipos de reciclado	14
1.5.2.	Compostaje	14
1.5.2.1.	Método natural	14

	1.5.2.2.	Método acelerado	15
1.6.		Operación del vertedero controlado del km 22.....	15
1.7.		Legislación vigente en Guatemala.....	16
	1.7.1.	Constitución Política de la República de Guatemala	16
	1.7.2.	Ley de Protección y Mejoramiento del Medio Ambiente	17
	1.7.3.	Código de Salud	18
	1.7.4.	Decreto número 12-2002 Código Municipal.....	20
	1.7.5.	Acuerdo Gubernativo número 111-2005 Política Nacional para el Manejo Integral de los Residuos y Desechos Sólidos.....	21
	1.7.6.	Acuerdos y Convenios Suscritos	21
1.8.		Lineamientos del manejo de residuos sólidos.....	22
2.		CARACTERIZACIÓN, CUANTIFICACIÓN Y DESCRIPCIÓN DE LOS RESIDUOS SÓLIDOS QUE INGRESAN AL VERTEDERO DEL KM 22.	25
	2.1.	Residuos sólidos en el vertedero	25
	2.2.	Determinación de peso de residuos sólidos	30
	2.3.	Determinación de la composición física de los residuos sólidos	31
3.		PROPUESTA DE PLAN DEL MANEJO	33

4.	PRESENTACIÓN DE RESULTADOS.....	39
4.1.	Opción tecnológica que permita el manejo integral adecuado de residuos sólidos que ingresan al vertedero controlado del km 22...	39
4.1.1.	Separación deseable	39
4.1.2.	Material biodegradable	43
4.1.3.	Aprovechamiento del material inflamable por medio de coprocesamiento.....	46
5.	DISCUSIÓN DE RESULTADOS.....	49
	CONCLUSIONES.....	53
	RECOMENDACIONES	55
	REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS	57
	APÉNDICE	61

ÍNDICE DE ILUSTRACIONES

FIGURAS

1. Ingreso mensual de vehículos al vertedero controlado año 2015.....	27
2. Ingreso diario de vehículos al vertedero controlado	28
3. Ingreso de camiones por municipio al vertedero año 2015	29
4. Composición física de los residuos sólidos	32
5. Manejo integral de residuos sólidos	34
6. Área de caseta de selección y almacenaje	39
7. Selección manual	42
8. Selección manual	42
9. Compostaje por cámaras ventiladas	45
10. Jerarquía de gestión de residuos	46

ÍNDICE DE TABLAS

I. Anexo Comunidad Europea	2
II. Prioridades para la gestión de residuos sólidos	12
III. Lineamientos para la gestión integrada de residuos sólidos.	22
IV. Ingreso promedio de vehículos al vertedero controlado.....	26
V. Ingreso mensual de vehículos al vertedero controlado año 2015	26
VI. Ingreso diario de vehículos al vertedero controlado.....	27
VII. Ingreso de camiones por municipio al vertedero año 2015.....	28
VIII. Ingreso de toneladas de residuos y desechos sólidos al vertedero controlado.....	29

IX. Densidad de residuos sólidos	31
X. Composición física de los residuos sólidos.....	32
XI. Porcentaje de residuo a cada proceso	34
XII. Reciclaje de residuos sólidos.....	35
XIII. Lista de residuos excluidos para el coprocesamiento.....	47
XIV. Lista de utilizados para el coprocesamiento.....	48

LISTA DE SÍMBOLOS

Símbolo	Significado
kcal/kg	Kilocaloría por kilogramo
kg/m³	Kilogramo por metro cúbico
km	Kilómetros
lbs	Libras
lbs/m³	Libras por metro cúbico
ton/m³	Toneladas por metro cúbico
%	Porcentaje

GLOSARIO

Aerobio	Aplica a los organismos o seres vivos que no pueden vivir sin la presencia del oxígeno.
Anaerobio	Son microorganismos capaces de vivir en medios que carecen de oxígeno del aire.
Aprovechamiento	Utilización de los elementos naturales, en forma que resulte eficiente, socialmente útil y procure su preservación y la del hombre.
Biodegradable	Susceptible a pudrirse o descomponerse como materia orgánica. En caso de la basura, la que tiene esta característica es la de origen biológico u orgánico, la que en algún momento ha tenido vida.
Caracterización	Método que permite conocer la composición de los residuos sólidos, permitiendo diseñar una mejor gestión integral, logrando a su vez, una optimización de los recursos disponibles para tales efectos.
Compostaje	Es el proceso biológico, mediante el cual los microorganismos actúan sobre la materia

rápidamente biodegradable, permitiendo obtener abono.

Compost

Es el resultado de un proceso de humificación de la materia orgánica, bajo condiciones controladas y en ausencia de suelo.

Contaminación

La presencia en el ambiente de uno o más contaminantes, o de cualquier combinación de ellos que cause desequilibrio ecológico.

Generación

Cantidad de desechos originados por una determinada fuente en un intervalo de tiempo dado.

Lixiviado

Es un líquido que percola a través de los residuos sólidos, compuesto por el agua proveniente de precipitaciones pluviales, escorrentías, la humedad de la basura y la descomposición de la materia orgánica que arrastra materiales disueltos y suspendidos.

PET

Tereftalato de polietileno, politereftalato de etileno, polietilentereftalato o polietileno tereftalato.

Planta de selección

Es el área en donde se separan los diferentes materiales que componen la basura, para ser clasificados en orgánico biodegradables, reciclables y rechazos.

**Planta de
compostaje**

Es el sitio en donde se manejan por medios mecánicos, manuales o en celdas los residuos orgánicos biodegradables para convertirlos en compost.

RESUMEN

El plan de manejo integral de residuos sólidos en el vertedero controlado del km 22 trata de viabilizar un proyecto modelo por medio de una propuesta en el que se destaque la práctica de separación, compostaje y coprocesamiento, como proceso coadyuvante a la gestión de los residuos sólidos. Esto, como alternativa valedera para disminuir considerablemente la carga diaria de residuos sólidos a enterrar en el vertedero, lo cual permite el aumento de su vida útil, a la vez, que disminuye los trabajos de enterramiento y evita tangiblemente el efecto contaminante por generación de gases (metano principalmente) y de lixiviados.

El vertedero controlado recibe aproximadamente 3,902 vehículos mensuales y 153 diarios, cuya capacidad varía conforme al tipo de los mismos y pueden ser compactadores, 1-5 toneladas, 5 a 9 toneladas, ≥ 10 toneladas y pick ups, los cuales disponen aproximadamente 909 toneladas diarias de residuos, un 79.56 % provienen de los municipios de Villa Nueva, Amatlán, San Miguel Petapa y Villa Canales.

Para proponer una tecnología apropiada para el aprovechamiento de los residuos sólidos, es necesario conocer la composición física de los residuos sólidos que ingresan diariamente al vertedero controlado, la cual muestra que 4.22 % es de papel, 9.81 % es de cartón, 48.78 % es de restos de alimentos, 11.46 % es de plásticos, 4.29 % de metales y un 0.82 % es de vidrio, estos datos permitan conocer que existe potencial comercial aprovechable.

El plan de manejo integral implica tres componentes que permiten una cobertura progresiva a porciones considerables de los residuos que ingresan diariamente al vertedero controlado, los cuales tratan de minimizar la porción de

desecho a enterrar, por medio del procesamiento y re-utilización del material mayoritario presente en las basuras (biodegradable e inflamable seco), además de la segregación y venta del material reciclable con mercado asegurado.

Se propuso la implementación de una caseta de selección y almacenaje orientada hacia el aprovechamiento de los residuos sólidos que ingresan al vertedero, realizando una clasificación de los materiales conforme a sus posibilidades de transformación y mercadeo.

El tratamiento del material biodegradable se planteó con base a la experiencia en la planta piloto de Alameda Norte, en la zona 18 de la ciudad de Guatemala y en las instalaciones del IRTRA, en donde se propuso el uso de cámaras de compostaje desarrolladas en dos etapas para asegurar suficiente homogeneidad en la biodegradación, realizando un volteo para esos efectos, de una cámara a otra (en serie).

Para los residuos que no pueden ser utilizados para comercialización y para aprovechamiento en el tema de compostaje se propuso la búsqueda de los segmentos industriales que utilicen residuos para incorporarlos en sus procesos, que les permitan aumentar tanto rentabilidad como los mayores beneficios ambientales al país.

PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA ORIENTADORAS

Actualmente se vive en una sociedad de consumo, inmersa en una cultura de utilizar y desechar, en donde los residuos sólidos generados se han incrementado notablemente, debido a la aplicación de prácticas inadecuadas de la población en temas ambientales, carencia de equipo de almacenamiento y barrido público, entre otros.

Con el tiempo, los residuos sólidos han cambiado de ser densos, y principalmente orgánicos biodegradables, a voluminosos y no biodegradables (plástico, aluminio, baterías y diferentes equipos electrónicos, entre otros), lo que genera que el volumen incremente cada día, por la falta de control en el tema de reciclaje, esto ocasiona un inapropiado reaprovechamiento de los residuos valorizables.

El poco control y responsabilidad municipal en el cumplimiento del Artículo 68 del Código Municipal (Decreto 12-2002) en el tema de la gestión integral de los residuos sólidos ha impactado al país entero, pero hay áreas especialmente susceptibles como es el caso del lago de Amatitlán y su cuenca, en donde se generan grandes cantidades de residuos sólidos.

El vertedero objeto de la presente propuesta, fue el vertedero controlado del km 22 de la ruta CA-9 Sur, a cargo de AMSA, donde se disponen los residuos de 14 municipios que conforman la cuenca del lago de Amatitlán, principalmente los de Amatitlán, Villa Nueva, San Miguel Petapa y Villa Canales (atendiendo cerca de 1.5 millones de habitantes). Desde el punto de vista técnico, la operación del

vertedero ha sido bastante aceptable durante los 17 años de servicio, aunque no alcanza los estándares de relleno sanitario, por limitaciones presupuestarias.

El sitio donde se ubica el vertedero del Km 22, está ubicado fuera de la cuenca del Lago de Amatitlán, el cual cuenta con frentes de descarga reducidos, con material de cobertura y conformado de celdas que se compactan cotidianamente, lo que mantiene una secuencia de operación ordenada, entre otras cosas.

A pesar que el vertedero controlado del km 22 realiza un trabajo de reciclaje por medio de personas que trabajan directamente en el vertedero, compactación y cobertura, la falta de una gestión integral de residuos sólidos, ha tenido como consecuencia que el colapso del vertedero controlado bajo atención, se aproxime a la terminación de su vida útil, provocando el incremento de basureros clandestinos, aumento de enfermedades gastrointestinales, contaminación ambiental del lago de Amatitlán y su cuenca entre otras, generando así un impacto ambiental que provoca altísimos costos para la sociedad.

Por esto, es de urgencia realizar un manejo integral de los residuos sólidos que ingresan al vertedero, para aumentar la vida útil del mismo. Esta problemática llevó a formular las siguientes preguntas: ¿Se podrá elaborar un plan de gestión integral de residuos sólidos en el vertedero del km 22? ¿Qué tipos de residuos sólidos ingresan al vertedero? ¿Qué tecnología puede ser aplicada para lograr un manejo integral de residuos sólidos?, estas son las interrogantes que se respondieron en la presente investigación como parte de la maestría de Energía y Ambiente, la cual se encuentra bajo la línea de investigación de Gestión Ambiental, en el tema de tratamientos y estrategias en la gestión de residuos.

OBJETIVOS

General

Diseñar un plan de manejo integral de residuos sólidos en el área del vertedero controlado del km 22, Villa Nueva, Guatemala.

Específicos

1. Caracterizar, cuantificar y describir del tipo de residuos sólidos que ingresan al vertedero controlado.
2. Establecer una opción tecnológica que permita el manejo integral adecuado de residuos sólidos que ingresan al vertedero controlado.

RESUMEN DE MARCO METODOLÓGICO

El presente trabajo está catalogado como una investigación de tipo descriptivo, no presenta una hipótesis, no pronostica un hecho o un dato, debido a que fue realizado veces anteriores.

La caracterización y descripción de los residuos, se realizó por medio de la selección de cuatro camiones de recolección de residuos sólidos, utilizando el muestreo de tipo aleatorio simple, los cuales fueron utilizados para establecer el peso de los residuos sólidos. El pesaje se realizó haciendo uso de un recipiente con un volumen de un metro cúbico, en el cual se depositaron los residuos sólidos sin hacer presión, y por medio de una pesa se determinó el dato; posterior a esto, se calculó la tara del recipiente (W_2) y por diferencia, se obtuvo el peso de los residuos (W). La densidad de la basura se obtuvo dividiendo el peso de los residuos (W) entre el volumen del recipiente (V).

La determinación de la composición física de los residuos sólidos, se realizó por medio de la selección de residuos sólidos homogenizados, en donde por medio del método de cuarteo se obtuvo una muestra en donde se separaron los siguientes componentes: papel y cartón, restos de alimentos, plásticos, metales y vidrio. Estos componentes se clasificaron en recipientes pequeños y con ayuda de una balanza se pesaron, una vez concluida la clasificación se pesaron los recipientes y por diferencia se sacó el peso de cada componente. Se calculó el porcentaje de cada componente, teniendo en cuenta los datos del peso total de los residuos recolectados en un día (W_t) y el peso de cada componente. El procedimiento se realizó durante siete días, como lo indica la guía para

caracterización de residuos sólidos domiciliarios, del Centro Panamericano de Ingeniería Sanitaria y Ciencias del Ambiente.

La propuesta tecnológica para el manejo integral adecuado de residuos sólidos, se llevó a cabo por medio de la recopilación y análisis de fuentes primarias y secundarias.

INTRODUCCIÓN

El perfil ambiental de Guatemala del 2006, indica que el crecimiento acelerado de la población, la urbanización y los patrones de producción y consumo de la sociedad han generado un incremento de residuos sólidos y una particular composición de los mismos. Esta producción de residuos es un problema urgente de resolver y que preocupa a la mayoría de sectores (autoridades municipales, gobierno, iniciativa privada, sociedad civil, ONG), y las acciones para abordar la problemática de manera integral, responsable y eficiente son escasas a nivel nacional.

Existen datos que indican que aproximadamente el 75 % de la población mundial, reside en ciudades con tendencia al crecimiento, y por consiguiente, repercute en el aumento de los residuos sólidos urbanos; siendo estos uno de los factores que influyen negativamente en el deterioro del medio ambiente (Fernández Colomina & Sánchez-Osuna, 2007, pág. 27).

En el estudio: Situación de los desechos sólidos en Guatemala del año 2012, el Ingeniero Cesar Barrientos, indica que en Guatemala la generación diaria de residuos sólidos urbanos a nivel nacional se estima alrededor de las 4,242 toneladas, de las cuales el 51 % se producen en el área metropolitana de la ciudad de Guatemala y el restante 49 % en las zonas urbanas del interior de la república.

Según datos del Instituto Nacional de Estadística –INE- en el año 2011 solo el 36.6 % de hogares utilizan el servicio de recolección de residuos, esto quiere

decir que existe un 63.4 de hogares que no lo poseen, lo que influye en el crecimiento acelerado de basureros clandestinos.

En la república de Guatemala existe solamente un vertedero controlado a nivel estatal que se encarga del manejo de aproximado de 909 toneladas de residuos sólidos diarios recolectados en diferentes municipios, este cuenta con un plan para el manejo de residuos sólidos, en el cual se contemplan algunas actividades; sin embargo no con todas las necesarias para hacerlo de forma integral; por esta razón, la presente investigación realizada en el vertedero controlado estatal que se encuentra a cargo de la Autoridad para el Manejo Sustentable de la Cuenca y del lago de Amatitlán, propone un plan de manejo integral de residuos sólidos.

En el primer capítulo, se presenta el marco teórico y el análisis del mismo, relacionado al manejo integral de residuos sólidos y la situación actual que enfrenta Guatemala. En el segundo capítulo, se presenta la caracterización, cuantificación y la descripción del tipo de residuos que ingresan al vertedero (papel, cartón, restos de alimentos, plásticos, metales y vidrio), lo cual permitió realizar una propuesta para aplicar una opción tecnológica que permita el manejo integral adecuado de los residuos sólidos que ingresan al mismo, basada en proyectos realizados en otras áreas del país para poblaciones pequeñas.

En el tercer capítulo, se presenta el plan de manejo integral de residuos sólidos para el vertedero controlado, el cual servirá para promover la prevención de la generación y la valorización de los residuos, así como su manejo integral, permitiendo al sitio de disposición final, a través de la implementación de opciones tecnológicas, contar con medidas que reduzcan los costos de su administración y que faciliten y hagan más efectivos, desde la perspectiva ambiental, económica y social.

En el cuarto capítulo, se detallan las opciones tecnológicas existentes que pueden ser aplicadas en el vertedero controlado enfocándose en la separación, manejo de material biodegradable y del coprocesamiento.

1. MARCO TEÓRICO

1.1. Residuos sólidos

El concepto y la diferencia existente entre los términos: desecho y residuo, ha causado durante varios años una confusión para la población. Según el diccionario de la Real Academia Española, se tienen las siguientes definiciones:

1.1.1. Desecho

Todo lo que queda después que se ha seleccionado lo mejor y más útil de algo. Cualquier objeto que ya no es de uso importante para la persona. Residuo, basura (Rae, 2014).

1.1.2. Residuo

Lo que queda de un todo, lo que resulta de la descomposición o destrucción de alguna cosa (Rae, 2014).

La Guía para la Gestión Integral de Residuos Peligrosos, indica que existen muchos intentos que se han realizado, con el fin de establecer una definición objetiva de residuo, sin embargo, hasta el momento continua un cierto grado de incertidumbre sobre la misma (Martinez, 2005).

Se han adoptado distintas definiciones para el término residuo o desecho para múltiples ámbitos y alcances. Dentro de las definiciones que se pueden mencionar está la de la Organización de las Naciones Unidas, que la establece como un material que no tiene un valor de uso directo y que es desechado por la

persona. Según el Convenio de Basilea, los desechos son sustancias u objetos, cuya eliminación debe realizarse en virtud de lo dispuesto en la legislación nacional (Convenio Basilea sobre el control de los movimientos transfronterizos de los desechos peligrosos y su eliminación adoptado por la conferencia de Plenipotenciarios del 22 de marzo de 1989, 1992).

La comunidad europea ha generado sus propias definiciones, la Directiva 75/442/CEE, dice que se entenderá por residuo cualquier sustancia u objeto desechado por la persona, por voluntad propia o por obligación de las disposiciones nacionales en vigor (Directiva 75/442/CEE del Consejo, relativa a los residuos , 1975) y la Directiva 91/156/CEE, lo define como cualquier sustancia u objeto del cual el propietario se desprenda o del que tenga la intención o la obligación de desprenderse y/o perteneciente a una de las categorías que se recogen en la tabla I:

Tabla I. **Anexo Comunidad Europea**

1	Residuos de producción o de consumo no especificados a continuación.	9	Residuos de procesos anticontaminación (por ejemplo, barros de lavado de gas, polvo de filtros de aire, filtros gastados, entre otros).
2	Productos que no respondan a las normas.	10	Residuos de mecanización/acabado (por ejemplo, virutas de torneado o fresado, entre otros).
3	Productos caducados.	11	Residuos de extracción y preparación de materias primas

			(por ejemplo, residuos de explotación minera o petrolera, entre otros).
4	Materias que se hayan vertido por accidente, que se hayan perdido o que hayan sufrido cualquier otro incidente con inclusión del material, del equipo, etc., contaminado a causa del incidente en cuestión.	12	Materia contaminada (por ejemplo, aceite contaminado con PCB, entre otros).
5	Materias contaminadas o ensuciadas a causa de actividades voluntarias (por ejemplo, residuos de operaciones de limpieza, materiales de embalaje, contenedores, entre otros).	13	Toda materia, sustancia o producto cuya utilización esté prohibida por la ley.
6	Elementos inutilizables (por ejemplo, baterías fuera de uso, catalizadores gastados, entre otros).	14	Q14 productos que no son de utilidad o que ya no tienen utilidad para el poseedor (por ejemplo, artículos desechados por la agricultura, los hogares, las oficinas, los almacenes, los talleres, entre otros).
7	Sustancias que hayan pasado a ser inutilizables (por ejemplo, ácidos contaminados,	15	Materias, sustancias o productos contaminados procedentes de actividades de regeneración de

Continúa tabla I.

	disolventes contaminados, sales de temple agotadas, etc.).		terrenos.
8	Residuos de procesos industriales (por ejemplo: escorias, posos de destilación, etc.).	16	Toda sustancia, materia o producto que no esté incluido en las categorías anteriores.

Fuente: Europeas, C. d. (18 de marzo de 1991). Directiva 91/156/CEE del Consejo.

Obtenido de <http://eurlex.europa.eu/>. Pág. 166.

El Programa Regional de Manejo de Residuos Peligrosos del CEPIS, define el término como todo material que no tiene un valor de uso directo y que es descartado por su propietario y la Agencia de Protección Ambiental de Estados Unidos (EPA) como aquel material que puede estar en estado sólido, semisólido, líquido o contenedor de gases, el cual es descartado, reciclado o considerado de forma residual (Martinez, 2005).

1.2. Clasificación de residuos sólidos

Los residuos sólidos, se encuentran compuestos por residuos orgánicos como el cartón, madera, papel y materiales biodegradables e inorgánicos como el metal, plástico, vidrio y material inerte. Los residuos sólidos provienen de diversas actividades que se desarrollan en el ámbito doméstico, municipal, construcciones, demoliciones, comerciales, así como de residuos industriales que no se deriven de sus procesos (Lichtinger Waisman, 2001).

La guía para la gestión integral de residuos sólidos urbanos elaborada en el año 2007, por el autor Alejandro Fernández Colomina, establece que todos los residuos deben ingresar a un sistema de gestión que incluya manejo, tratamiento,

transporte, disposición final y fiscalización. El sistema de gestión que se implemente dependerá del tipo de residuo, en donde se debe poner especial atención a la gestión de los residuos peligrosos, ya que estos tienen una capacidad inmensa de provocar efectos adversos a la salud y al medio ambiente. Debido a esto, la clasificación de residuos utilizada, debe ser adecuada, con el fin de minimizar los riesgos derivados del ingreso de un residuo peligroso a un sistema de gestión diseñado para otro tipo de residuos.

Los residuos sólidos urbanos se pueden clasificar de diversas formas y criterios, pero es importante mencionar que aproximadamente el 70 % de los residuos sólidos que se generan en las ciudades, son de naturaleza orgánica.

La clasificación puede ser la siguiente:

1.2.1. Por estado

El residuo es clasificado de acuerdo al estado físico en que se encuentra, por lo que se tiene los siguientes grupos: sólidos, semisólidos, líquidos y gaseosos.

En la categoría líquidos muchas veces solamente se incluyen los acuosos diluidos y no otros como los solventes orgánicos, aceites usados, ácidos o álcalis, estos por su naturaleza suelen ser incluidos dentro de la categoría de residuos sólidos. En esto se puede observar que todo va relacionado a un tema de gestión, ya que los residuos acuosos diluidos generalmente son tratados en una planta de tratamiento de efluentes líquidos, mientras que el resto tendrá un tratamiento particular.

De la misma forma ocurre con la categoría de gases, la cual corresponde únicamente a las emisiones gaseosas, mientras que los gases contenidos en recipientes son gestionados como residuos sólidos (Martinez, 2005).

1.2.2. Por su composición química

1.2.2.1. Orgánicos

Estos son aquellos residuos que pueden descomponerse por la acción natural de organismos vivos como hongos, lombrices y principalmente bacterias (Ruiz, 2005, pág. 8).

1.2.2.2. Inorgánicos

Son los residuos que no pueden ser degradados, o bien si esto es fuera posible la descomposición se realiza demasiado lenta, ya que provienen de minerales y productos sintéticos. Ejemplos: metales, plásticos, vidrios, cristales, cartones plastificados, pilas, entre otros (Ruiz, 2005, pág. 8).

1.2.3. Por su utilidad o punto de vista económico

1.2.3.1. Reciclables

Son los residuos que por lo general son reutilizados como materia prima al ser incorporarlos en los procesos productivos.

1.2.3.2. No reciclables

Son aquellos que por su característica o por la carencia de tecnologías de reciclaje, no se pueden reutilizar (Fernández Colomina & Sánchez-Osuna, 2007, pág. 16).

1.2.4. Por su origen

1.2.4.1. Domiciliares

Son aquellos que proceden de las actividades diarias de una población, tal como desecho de las viviendas, de la limpieza vial y residuos comerciales e industriales parecidos a los residuos domiciliarios (Castells, 2000).

1.2.4.2. Comerciales

Son generados por todas las actividades comerciales y de servicios, en este grupo debido a sus características especiales, no se incluyen los residuos de los hospitales (Fernández Colomina & Sánchez-Osuna, 2007, pág. 16).

1.2.4.3. Constructivos

Son los que se obtienen de las remodelaciones, excavaciones, construcciones u otro tipo de actividad destinada a estos fines. Dentro de estos se incluyen los grandes volúmenes de escombros y los restos de materiales en cada obra (Fernández Colomina & Sánchez-Osuna, 2007, pág. 16).

1.2.4.4. Industriales

Estos varían de acuerdo al tipo de industria, pueden ser metalúrgicos, químicos, entre otros; y se pueden presentar en diversas formas como cenizas, lodos, plásticos y restos de minerales originales (Fernández Colomina & Sánchez-Osuna, 2007, pág. 17).

1.2.4.5. Agrícolas

Son los que son generados por las actividades agrícolas. Se agrupan en dos categorías: residuos de cultivos leñosos (generados por podas) y residuos de cultivos. Esos subproductos son utilizados a veces como materia prima en industrias (Castells, 2000)

1.2.5. Por los potenciales efectos derivados del manejo

1.2.5.1. Residuos peligrosos

Son los residuos que por su naturaleza son peligrosos, y pueden causar efectos nocivos para la salud o el ambiente (Martinez, 2005, pág. 18).

1.2.5.2. Residuos peligrosos no reactivos

Son aquellos residuos peligrosos que han sufrido algún tipo de tratamiento por medio del cual han perdido su naturaleza de peligrosos (Martinez, 2005, pág. 18).

1.2.5.3. Residuos inertes

Estos residuos no experimentan transformaciones físicas, químicas o biológicas reveladoras (Martinez, 2005, pág. 18).

1.2.5.4. Residuos no peligrosos

Estos no pertenecen a ninguna de las tres categorías anteriores. Como ejemplos de esta categoría se puede mencionar a los residuos domésticos, los residuos de poda y los de barrido (Martinez, 2005, pág. 18).

1.3. Características de los residuos sólidos urbanos

Las propiedades deben tenerse en cuenta para el desarrollo y el diseño de sistemas de gestión de residuos y sus instalaciones de tratamiento. Dentro de estas se puede mencionar:

Las propiedades físicas no implican un cambio de fase (por ej. sólido a gas), por otro lado, las propiedades químicas implican por lo general un cambio de fase como de sólido a líquido, sólido a gas, entre otros, mientras que las propiedades biológicas como la parte orgánica de los residuos sólidos son utilizadas para reducir el volumen y el peso del material, producir compost y para producir metano (Berent & Vedoya, 2005).

Estas transformaciones físicas, químicas y biológicas son utilizadas para:

- Mejorar la eficacia de las operaciones y los sistemas de gestión de residuos.
- Recuperar materiales reutilizables y reciclables.
- Recuperar productos de conversión y energía.

1.3.1. Humedad

La presencia de agua en los vertederos es promotora de las reacciones químicas y biológicas que se procesan en el medio. En la mayoría de los casos, los residuos sólidos cuando son dispuestos en los vertederos no están saturados; sin embargo, dos factores contribuyen para saturar los residuos, primero el agua proveniente de las lluvias y segundo la presión de las capas superiores sobre las otras. Una vez alcanzada la saturación, la presión del agua libre acelera las reacciones químicas y biológicas.

El contenido de humedad en los vertederos de residuos sólidos urbanos varía, según muchos factores que a su vez están relacionados entre sí, como la composición inicial de los residuos, las condiciones climáticas, la forma de construcción del vertedero, la presencia de sistemas de drenaje de lixiviados, la cobertura del vertedero, la cantidad de humedad generada por los procesos biológicos y la cantidad de humedad eliminada por los gases generados en el vertedero (Henriques Pereira, pág. 2).

1.3.2. Densidad

Este parámetro influye sobre los medios de recogida y sobre las posibilidades de tratamiento. El peso específico de las sustancias que encontramos en los residuos sólidos urbanos, varía notablemente de unos a otros de ahí que existan diferentes técnicas para la separación y clasificación de los elementos, así como de los medios de transportación más idóneos para cada caso, según las dimensiones del volumen de recogida. Este valor soporta grandes variaciones, según el grado de compactación a que están sometidos los residuos (Fernández Colomina & Sánchez-Osuna, 2007, pág. 18).

1.3.3. Poder calorífico

Parámetro fundamental para decidir sobre el sistema de tratamiento a emplear para los residuos sólidos, especialmente si es factible o no emplear el proceso de incineración. El poder calorífico inferior (PCI) de los residuos varía entre 800 y 1600 kcal/kg, esto se debe de tener en cuenta para la generación de energía eléctrica a partir de éstos (Fernández Colomina & Sánchez-Osuna, 2007, pág. 18).

1.3.4. Relación Carbono/Nitrógeno (C/N)

La materia orgánica está constituida fundamentalmente por carbono, hidrógeno y otros elementos como el nitrógeno y el oxígeno. Dependiendo de la proporción en que se encuentren el carbono y el nitrógeno en los residuos, así serán sus propiedades ácidas o básicas, lo cual definirá la calidad del compost que se produzca con los residuos y su potencial uso en los requerimientos del tipo de suelo o cultivo que se vaya a tratar.

El valor óptimo de la relación carbono/nitrógeno para labores de compostaje está entre 25 y 30, con valores superiores a esta cifra, el compost obtenido no es óptimo para el desarrollo de los cultivos (Fernández Colomina & Sánchez-Osuna, 2007, pág. 19).

1.4. Importancia del manejo integral de los residuos sólidos urbanos

La gestión integral de residuos sólidos es definida como la selección y aplicación de técnicas, tecnologías, planes y programas idóneos para lograr objetivos y metas específicos de gestión de residuos (Jaramillo, 1999). Este requiere adoptar todas las medidas posibles en las actividades de prevención,

minimización, separación en la fuente, almacenamiento, transporte, aprovechamiento, valorización, tratamiento y/o disposición final, importación y exportación de residuos peligrosos, no peligrosos y especiales (Díaz, 2011).

La Agencia de Protección del Ambiente de los Estados Unidos (EPA), propone una jerarquización de prioridades que puede ser adoptada por países desarrollados, las cuales pueden ser modificadas para los países en vías de desarrollo como se muestra en la tabla II:

Tabla II. Prioridades para la gestión de residuos sólidos

Estados Unidos (EPA)	Países en vía de desarrollo
Reducción en origen	Reducción en origen
Recuperación	Recuperación
Incineración de residuos	incineración de residuos
Relleno sanitario	Relleno sanitario

Fuente: Jaramillo, J. (1999). *Gestión integral de residuos sólidos municipales GIRSM*. Medellín

Pág. 10.

1.5. Sistema de manejo de los residuos sólidos urbanos

1.5.1. Reciclaje

Se puede definir como la acción de devolver al ciclo de consumo los materiales que ya fueron desechados, y que son aptos para elaborar productos (Capistran, 1994).

Índice máximo de recuperación: Se refiere a reusó o reutilización. Ejemplo: las botellas de refresco o de cerveza en buen estado.

Índice medio de recuperación: Se refiere a la recuperación de ciertos materiales que necesitan de un proceso industrial que los transforme nuevamente en materia prima reutilizable. Como por ejemplo, el papel, vidrio, plásticos y metales.

Recuperación biológica: Este se refiere a la descomposición aeróbica con la producción de composta o abono orgánico estabilizado, que constituye una fuente importante de energía para los cultivos agrícolas, a la vez que se puede obtener combustible gaseoso.

En un relleno sanitario la eficiencia de la separación de la basura que llevan a cabo los pepenadores, se estima en 6 % y puede incrementarse hasta el doble con la instalación de bandas transportadoras en los sitios de tratamiento y confinamiento de los residuos sólidos (Miller, 1994).

1.5.1.1. Tipos de reciclado

El reciclado primario: En este tipo de reciclado el producto se recicla para producir nuevos productos del mismo tipo, es uno de los más deseados, y se le llama también ciclo cerrado (Miller, 1994).

El reciclado secundario: Es llamado de ciclo abierto, en el cual los materiales de desecho se transforman en diversos productos para los que se deben encontrar usos (Miller, 1994).

1.5.2. Compostaje

Es el proceso biológico de descomposición de la materia orgánica contenida en los restos de origen animal o vegetal, lo cual genera como resultado final un producto que se puede aplicar al suelo para mejorar sus características, sin causar riesgos al medio ambiente (Cempre, 1998).

El proceso de compostaje puede ocurrir por dos métodos:

1.5.2.1. Método natural

En este método la fracción orgánica de los residuos sólidos es trasladada a un patio en el cual es colocada en diferentes pilas, las cuales necesitan que se les realice volteos periódicos para generar la aireación necesaria para el desarrollo del proceso de descomposición biológica. El tiempo para que el proceso concluya, varía de tres a cuatro meses.

1.5.2.2. Método acelerado

En este método la aeración es producida a través de tuberías perforadas o reactores rotatorios, sobre las cuales se colocan las pilas de residuos sólidos, que avanzan en sentido contrario al de la corriente de aire, los que posteriormente se apilan, como en el método natural. El tiempo de permanencia dentro del reactor es de unos cuatro días, y el tiempo total del compostaje acelerado es de dos a tres meses.

El grado de descomposición o degradación del material sometido al proceso de compostaje, es un indicador del estado de maduración del compost orgánico. El aspecto del material -color, olor y humedad- da las indicaciones. Así, el color final de la masa es oscuro, casi negro; el olor inicialmente rancio, pasa a ser el de tierra mojada agradable; la humedad se reduce (EPA, 2014).

1.6. Operación del vertedero controlado del km 22

El vertedero del km 22 realiza un manejo controlado de los residuos y desechos sólidos, no un manejo integral de los mismos, las actividades que se realizan dentro del vertedero son las siguientes:

- Control de ingreso de basura: Los metros cúbicos de basura que ingresan al sitio de disposición final se controlan por medio de la capacidad de metros cúbicos, por cada camión que ingresa.
- Reciclaje: El reciclaje es realizado por ciento veintiocho pepenadores autorizados por AMSA, los cuales trabajan en cuatro grupos diferentes: rojo, amarillo, verde y azul, sin contentar con una planta de separación adecuada.

- Descarga y distribución de residuos y desechos: Son seis celdas las que se utilizan para realizar los trabajos de descarga y distribución (ver foto apéndice 1).
- Compactación de basura: La actividad de compactación de desechos sólidos es realizada por vibro compactador de diez toneladas (ver foto apéndice 2).
- Cobertura de la basura: Se realiza con material extraído del zanjón Malena por el Instituto Nacional de Electrificación, material proporcionado por Cementos Progreso y excavaciones de proyectos de construcción. Para ello se utilizan cuatro camiones de volteo de diez metros cúbicos con el fin de mantener mitigados y controlados los malos olores, vectores y disminuir el impacto visual, entre otros, logrando una cobertura promedio de un 90 % diario, con capas con un espesor que oscila entre 20 y 30 centímetros (ver foto apéndice 3).

1.7. Legislación vigente en Guatemala

Actualmente, el problema de la legislación en materia de residuos y desechos sólidos es que no existe una ley específica en la materia, por lo tanto, la regulación del manejo de los residuos y desechos sólidos se realiza con base a varias leyes que presentan algún aspecto relativo a la misma.

1.7.1. Constitución Política de la República de Guatemala

El Artículo 97 preceptúa que: “El Estado, las municipalidades y los habitantes del territorio nacional están obligados a propiciar el desarrollo social, económico y tecnológico que prevenga la contaminación del ambiente y

mantenga el equilibrio ecológico. Se dictarán todas las normas necesarias para garantizar que la utilización y el aprovechamiento de la fauna, de la flora, de la tierra y del agua, se realicen racionalmente, evitando su depredación” (Constitución Política de la República de Guatemala, 1965).

1.7.2. Ley de protección y mejoramiento del medio ambiente

Artículo 6. "El suelo, subsuelo y límites de aguas nacionales no podrán servir de reservorio de desperdicios contaminados del medio ambiente o radiactivos..." (Ley de Protección y Mejoramiento del Medio Ambiente, 1986).

Artículo 8. "Para todo proyecto, obra, industria o cualquier otra actividad que por sus características pueda producir deterioro a los recursos naturales renovables o no, al ambiente, o introducir modificaciones nocivas o notorias al paisaje y a los recursos naturales del patrimonio nacional, será necesario previamente a su desarrollo un estudio de evaluación de impacto ambiental, realizado por técnicos en la materia y aprobado por la Comisión Nacional del Medio Ambiente(Ley de Protección y Mejoramiento del Medio Ambiente, 1986).

El funcionario que omitiere exigir el estudio de impacto ambiental de conformidad con este Artículo será responsable personalmente por incumplimiento de deberes, así como el particular que omitiere cumplir con dicho estudio de Impacto Ambiental será sancionado con una multa de Q.5000.00 a Q.100000.00. En caso de no cumplir con este requisito en el término de seis meses de haber sido multado, el negocio será clausurado en tanto no cumpla."

Los Artículos 14 y 16 contemplan la emisión de reglamentos relacionados con la protección del sistema atmosférico y edáfico, los cuales tendrían íntima

relación con el manejo de desechos hospitalarios, sin embargo, estos reglamentos aún no existen.

Artículo 38. "Las Municipalidades de la República deberán acatar las normas que dicte el Ministerio de Salud Pública y Asistencia Social en todo lo relativo a la organización que den a los servicios de limpieza, recolección, tratamiento y disposición de basuras y desechos sólidos"(Ley de Protección y Mejoramiento del Medio Ambiente, 1986).

Artículo 59. "El Ministerio de Salud Pública y Asistencia Social reglamentará en lo que le corresponda, las condiciones de trabajo para la prevención de enfermedades y accidentes, armonizando sus disposiciones con las de otras leyes y reglamentos de higiene laboral y seguridad social"(Ley de Protección y Mejoramiento del Medio Ambiente, 1986).

1.7.3. Código de Salud

El Artículo 38 del Código de Salud, también contiene normativa relativa a basuras y establece: "Las municipalidades de la República deberán acatar las normas que dicte el Ministerio de Salud Pública y Asistencia Social en todo lo relativo a la organización que den a los servicios de limpieza, recolección, tratamiento y disposición de basuras y desechos sólidos" (Decreto No. 90-97, 1997)

En la sección IV de desechos sólidos el Código de Salud establece:

Artículo 102. **Responsabilidad de las municipalidades** "Corresponde a las Municipalidades la prestación de los servicios; de limpieza o recolección, tratamiento y disposición de los desechos sólidos de acuerdo con las leyes

específicas y en cumplimiento de las normas sanitarias aplicables. Las municipalidades podrían utilizar lugares para la disposición de desechos sólidos o construcción de los respectivos rellenos sanitarios, previo dictamen del Ministerio de Salud y la Comisión Nacional del Medio Ambiente, el que deberá ser elaborado dentro del plazo improrrogable de dos meses de solicitado. De no producirse el mismo será considerado emitido favorablemente, sin perjuicio de la responsabilidad posterior que se produjera, la que recaerá en el funcionario o empleado que no emitió el dictamen en del plazo estipulado” (Decreto No. 90-97, 1997).

Artículo 103. **Disposición de los desechos sólidos** “Se prohíbe arrojar o acumular desechos sólidos de cualquier tipo en lugares no autorizados, alrededor de zonas habitadas y en lugares que puedan producir daños a la salud a la población, al ornato o al paisaje, utilizar medios inadecuados para su transporte y almacenamiento o proceder a su utilización, tratamiento y disposición final, sin la autorización municipal correspondiente, la que deberá tener en cuenta el cumplimiento de las medidas sanitarias establecidas para evitar la contaminación del ambiente, específicamente de los derivados de la contaminación de los afluentes provenientes de los botaderos de basura legales o clandestinos” (Decreto No. 90-97, 1997).

Artículo 104. **Lugares inadecuados.** “Si el Ministerio de Salud comprobara que existen lugares en donde se estén depositando desechos sólidos sin llenar los requisitos de la presente ley, deberán ser transportados a otros lugares que cumplan con los requisitos sanitarios, con base a un programa que de común acuerdo establezcan las municipalidades respectivas y el Ministerio de Salud (Decreto No. 90-97, 1997).

Artículo 107. **Desechos sólidos de la industria y comercio.** “Para el almacenamiento, transporte, reciclaje y disposición de residuos y desechos sólidos, así como de residuos industriales peligrosos, las empresas Industriales o comerciales deberán contar con sistemas adecuados según la naturaleza de sus operaciones, especialmente cuando la peligrosidad y volumen de los desechos no permitan la utilización del servicio ordinario para la disposición de los desechos generales. El Ministerio de Salud y la Municipalidad correspondiente dictaminarán sobre la base del reglamento específico sobre esta materia” (Decreto No. 90-97, 1997).

Artículo 228. "El ejecutivo emitirá los reglamentos necesarios para el desarrollo y aplicación de las normas del presente Código, en el término de un año, a partir de la fecha de vigencia de esta ley; deberá promulgar los siguientes reglamentos:

e) Reglamento para el Saneamiento del Medio Ambiente (Decreto No. 90-97, 1997).

1.7.4. Decreto número 12-2002 Código Municipal

Estable en el Artículo 67 “ El municipio, para la gestión de sus intereses y en el ámbito de sus competencias puede promover toda clase de actividades económicas, sociales, culturales, ambientales, y prestar cuantos servicios contribuyan a mejorar la calidad de vida, a satisfacer las necesidades y aspiraciones de la población del municipio” (Decreto 12-2002, 2002)

Artículo 68. Las competencias propias deberán cumplirse por el municipio, por dos o más municipios bajo convenio, o por mancomunidad de municipios estableciendo en el inciso a).... Formular y coordinar políticas, planes y

programas relativos a la recolección, tratamiento y disposición final de desechos y residuos sólidos hasta su disposición final”.

1.7.5. Acuerdo Gubernativo número 111-2005 Política Nacional para el Manejo Integral de los Residuos y Desechos Sólidos

Esta política tiene como objetivo reducir los niveles de contaminación ambiental que producen los residuos y desechos sólidos, para que Guatemala sea un país más limpio y ordenado que brinde a su población un ambiente saludable.

1.7.6. Acuerdos y Convenios Suscritos

- Acuerdo por Canje de Notas entre el Ministerio de Relaciones Exteriores de la República de Guatemala y la Embajada de la República Federal de Alemania, sobre el proyecto: "Protección del Medio Ambiente en el Ámbito del Tratamiento de Aguas Residuales y Desechos". Firmado en la Ciudad de Guatemala el 7 de julio y 30 de diciembre de 1988.
- "Convenio en Relación al Manejo Adecuado de Desechos Biológicos y Otros Procedentes de Instituciones de Atención Médica y de Diagnóstico, Públicas y Privadas", suscrito entre la Municipalidad de Guatemala y el Ministerio de Salud Pública y Asistencia Social, el 15 de octubre de 1993 (PNUMA, 1999).

1.8. Lineamientos del manejo de residuos sólidos

La gestión integral de residuos sólidos abarca desde la reducción en el origen hasta la disposición final.

Tabla III. Lineamientos para la gestión integrada de residuos sólidos

Componentes	Gestión integrada		Gestión no integrada
	Características	Detalle de los procesos	Características
Con segregación domiciliaria	Separación y clasificación, según distintos tipos de RSU	-Investigación y desarrollo -Evaluación de ciclo de vida - Optimización de diseño y procesos - Sustitución de insumos y tecnología -Rusos y reciclados industriales -Otros	No se asocia a la GRSU
	En consumo: Consumo sostenible	- Compras selectivas - Modificación de hábitos de consumo - Reúso y reciclados hogareños	
Generación	Con segregación domiciliaria	Separación y clasificación según distintos tipos de residuos.	- Generalmente sin segregación domiciliaria - Segregación por operadores informales
Disposición final	Almacenamiento temporal domiciliar, hasta la disposición inicial en los lugares de recolección	Identificación de cada tipo de residuo (según día de la semana, por características de recipientes, por códigos de colores, entre otros)	Almacenamiento temporal domiciliar, hasta la disposición inicial en los lugares de recolección conjunta
Recolección domiciliar y su transporte	Diferenciados	Periodicidad establecida para la recolección según distintos tipos de residuos	Recolección y transporte conjunto
Aseo e higiene urbana	Barrido de calles	Operaciones manuales y/o mecánicas	Operaciones manuales y/o mecánicas
	Podas y limpieza de parques y otros sectores		
	Almacenamiento temporal	Diferenciados	En conjunto, en algunos casos se separan los residuos verdes.
	Recolección y transporte	Se separan para su tratamiento posterior, conforme a los tipos de residuos de aseo e higiene.	
Transferencia y transporte	Diferenciados	Generalmente asociada a plantas de tratamiento, los restos no valorizados van al centro de disposición final	Conjunta

Continúa tabla III.

Tratamiento	Según el tipo y condiciones de residuos recibidos para tratamiento	Segregación industrial: Clasificación y acondicionamiento para reciclado.	- Segregación y compost generalmente no existe o se hace a pequeña escala - La mayoría de residuos van directamente a disposición final
		Biológico: compost/biogás	
		Térmico, físico, químico	
		Los no aprovechables van a disposición final	
Disposición final	Centro de disposición final: relleno sanitario	Todos los controles ambientales y técnicos	Basurero clandestino, a cielo abierto o disposición semicontrolada.

Fuente: *Lineamientos para una propuesta de gestión integral de residuos sólidos urbanos(GIRSU) para la ciudad de Córdoba, S.A. Córdoba. Pág 11.*

En este caso, por tratarse del manejo de residuos dentro del vertedero controlado y teniendo en cuenta que los residuos sólidos que llegan no cuentan con una separación previa, los lineamientos planteados serán los siguientes:

- Minimización y valoración de los residuos sólidos urbanos
- Tratamiento por compostaje del material orgánico
- Coprocesamiento, incineración (>800oc) de materiales inflamables
- Disposición final de rechazos inerte

2. CARACTERIZACIÓN, CUANTIFICACIÓN Y DESCRIPCIÓN DE LOS RESIDUOS SÓLIDOS QUE INGRESAN AL VERTEDERO DEL KM 22

En la caracterización, se realizó un estudio en el que se identificaron los principales componentes de los residuos sólidos que ingresan al km 22, que permitió elaborar una propuesta para implementar mejoras y acciones de los sistemas de manejo del vertedero controlado.

2.1. Residuos sólidos en el vertedero controlado

El vertedero controlado es el lugar donde se disponen los desechos sólidos que se generan en la cuenca del lago de Amatitlán, el cual es manejado técnicamente. Está al servicio de los 14 municipios, entre ellos se puede mencionar a los principales: Villa Nueva, San Miguel Petapa, Villa Canales, Amatitlán, San Lucas Sacatepéquez, Mixco, sur de Guatemala, Santa Catarina Pínula, Santa Lucía Milpas Altas, y fuera de los límites de la cuenca ingresan camiones procedentes de Palín, Puerto de San José, del departamento de Escuintla, como también municipio de Pastores, del departamento de Chimaltenango.

Al vertedero controlado ingresan aproximadamente 3,902 vehículos mensuales y 153 diarios, cuya capacidad varía conforme al tipo de los mismos y pueden ser de 1-5 toneladas, 5 a 9 toneladas, \geq 10 toneladas y pick ups, los cuales disponen aproximadamente 909 toneladas diarias de residuos de las

cuales un 79.56 % provienen de los municipios de Villa Nueva, Amatitlán, San Miguel Petapa y Villa Canales.

Tabla IV. Ingreso promedio de vehículos al vertedero controlado

Ingreso promedio de vehículos al vertedero controlado					
Tipo de vehículo					Total
Compactadores	1-5 toneladas	5 a 9 toneladas	≥ 10 Toneladas	Pick ups	
274	500	853	1887	388	3,902

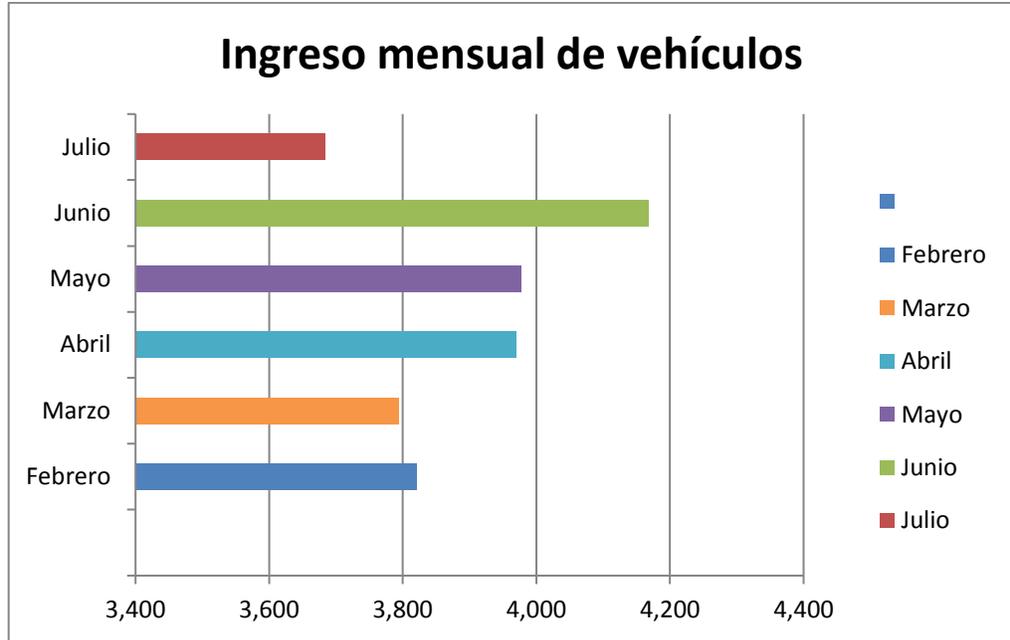
Fuente: AMSA. (2015). División de desechos sólidos

Tabla V. Ingreso mensual de vehículos al vertedero controlado año 2015

Ingreso mensual de vehículos al vertedero controlado						
Mes	Tipo de vehículo					Total
	Compactador	1-5 toneladas	5 a 9 toneladas	≥ 10 Toneladas	Pick ups	
Febrero	279	489	786	1850	417	3,821
Marzo	266	539	780	1830	379	3,794
Abril	271	518	985	1810	386	3,970
Mayo	278	479	869	1970	381	3,977
Junio	298	489	896	2,094	391	4,168
Julio	249	487	803	1770	375	3,684

Fuente: AMSA. (2015). División de desechos sólidos

Figura 1. Ingreso mensual de vehículos al vertedero controlado año 2015



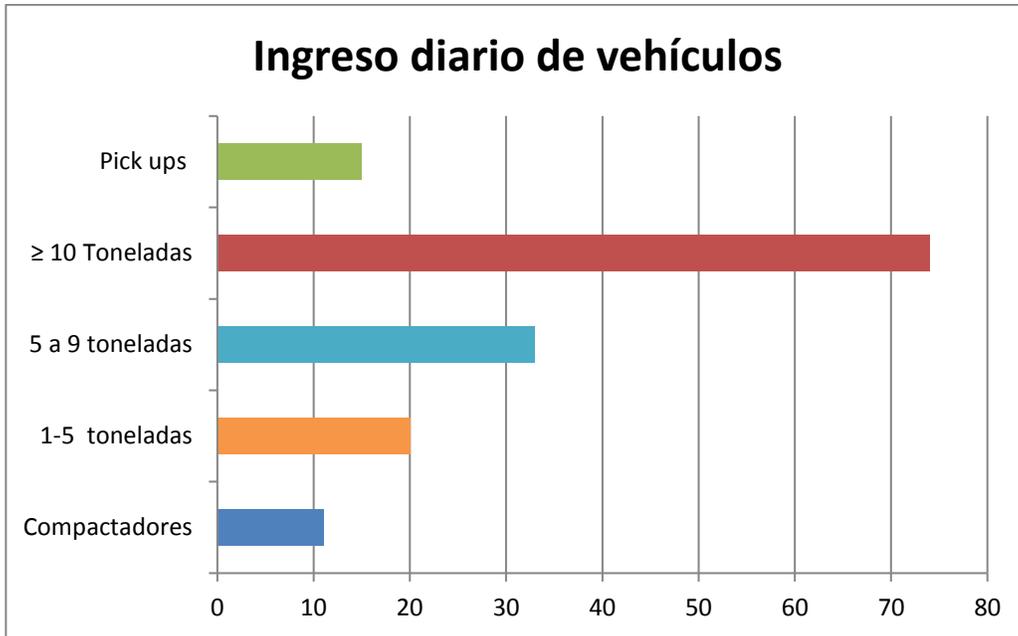
Fuente: AMSA. (2015). División de desechos sólidos

Tabla VI. Ingreso diario de vehículos al vertedero controlado

Ingreso diario de vehículos al vertedero controlado					
Tipo de vehículo					Total
Compactadores	1-5 toneladas	5 a 9 toneladas	≥ 10 Toneladas	Pick ups	
11	20	33	74	15	153

Fuente: AMSA. (2015). División de desechos sólidos

Figura 2. Ingreso diario de vehículos al vertedero controlado



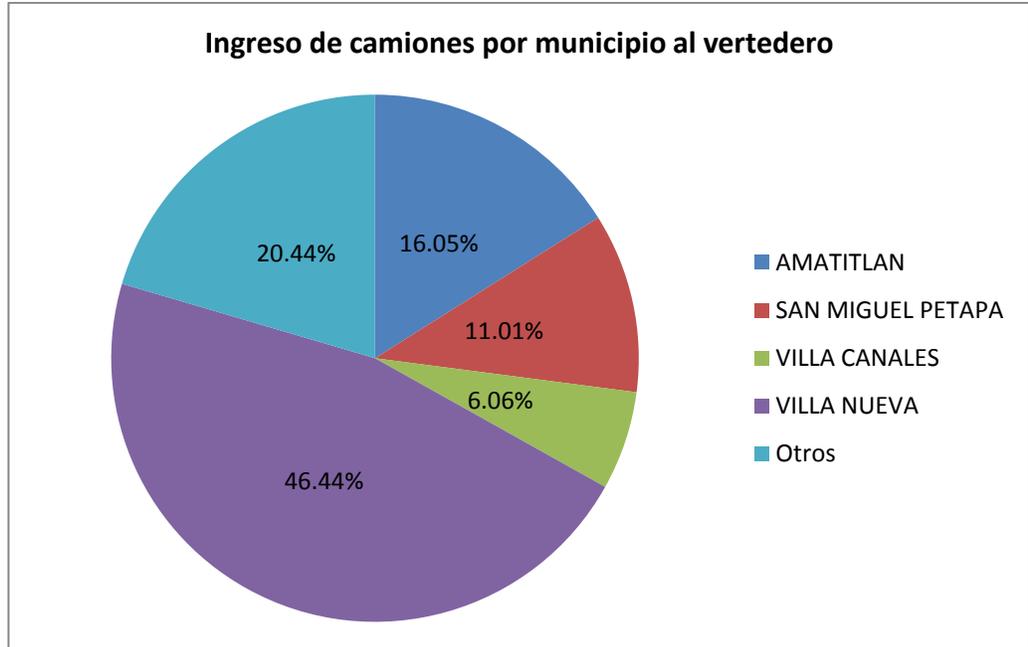
Fuente: AMSA. (2015). División de desechos sólidos

Tabla VII. Ingreso de camiones por municipio al vertedero año 2015

Ingreso de camiones por municipio al vertedero año 2015		
Municipio	Cantidad Promedio	Porcentaje
Amatitlán	626	16.05 %
San Miguel Petapa	430	11.01 %
Villa Canales	236	6.06 %
Villa Nueva	1812	46.44 %
Otros	798	20.44 %

Fuente: AMSA. (2015). División de desechos sólidos

Figura 3. Ingreso de camiones por municipio al vertedero año 2015



Fuente: AMSA. (2015). División de desechos sólidos

Tabla VIII. Ingreso de toneladas de residuos y desechos sólidos al vertedero controlado

Ingreso de toneladas de residuos y desechos sólidos al vertedero controlado año 2015	
Diario	909
Mensual	22,727

Fuente: AMSA. (2015). División de desechos sólidos

2.2. Determinación de peso de residuos sólidos

En el cálculo realizado para determinar el peso de los residuos sólidos, se utilizó un recipiente con las siguientes características:

Volumen = 1 metro cúbico

Tara = 62 libras

Se realizó el pesaje de los residuos sólidos dentro del recipiente para obtener el peso bruto, luego se restó la tara de la caja para obtener el peso neto. Solamente se depositaron residuos hasta la mitad del cajón, por lo que el peso neto se multiplicó por 2 para obtener el peso neto de residuos sólidos en lb/m³.

Estos datos permitieron conocer de manera directa la cantidad de residuos contenida en un determinado volumen.

Se determinó el peso de los residuos sólidos siguientes: cartón, papel, PET, residuos sólidos domiciliarios, residuos de mercado y residuos industriales (ver apéndice 4).

Tabla IX. **Densidad de residuos sólidos**

Tara del recipiente (lbs)		62			
Residuo sólido	Peso Bruto (lbs)	Peso neto (lbs)	Densidad (lbs/m³)	Densidad (kg/m³)	Densidad (ton/m³)
Cartón	135	73	146	66	0.07
Papel	141	79	158	72	0.08
PET	96	34	68	31	0.03
Domiciliar	200	138	276	125	0.14
Mercado	378	316	632	287	0.32
Industrial	136	74	148	67	0.07

Fuente: elaboración propia.

2.3. Determinación de la composición física de los residuos sólidos

La composición física de los residuos sólidos se realizó durante siete días consecutivos en donde se muestrearon camiones provenientes de cuatro municipios: Villa Nueva, Villa Canales, San Miguel Petapa y Amatitlán.

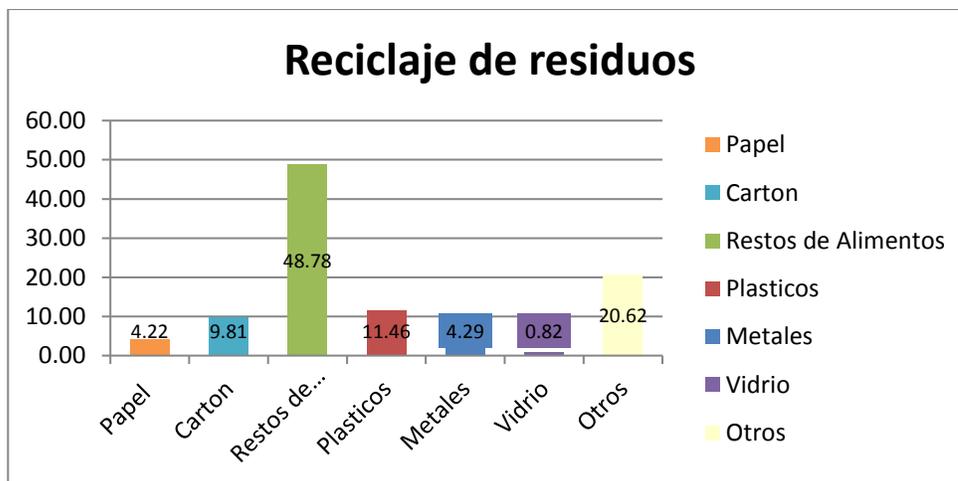
Los residuos que fueron separados para la determinación de la composición física fueron: papel con 4.22 %, cartón 9.81 %, restos de alimentos 48.78 %, plásticos 11.46 %, metales 4.29 % y vidrio 0.82 %. Estos porcentajes permiten determinar que existe un potencial de aprovechamiento comercial en los residuos que ingresan al vertedero controlado.

Tabla X. **Composición física de los residuos sólidos**

Tipo de residuos (%)							
Día	Papel	Cartón	Restos de alimentos	Plásticos	Metales	Vidrio	Otros
Lunes	3.54	9.85	51.23	12.56	4.89	0.89	17.04
Martes	4.3	8.85	46.9	11.76	3.89	0.82	23.48
Miércoles	4.15	9.7	46.74	11.25	4.45	0.77	22.94
Jueves	3.86	9.56	47.89	10.96	4.42	0.73	22.58
Viernes	4.15	9.15	49.3	11.5	3.85	0.81	21.24
Sábado	4.87	10.6	48.2	10.78	3.74	0.82	20.99
Lunes	4.7	10.95	51.2	11.42	4.73	0.9	16.1
% de residuos	4.22	9.81	48.78	11.46	4.29	0.82	20.62

Fuente: elaboración propia.

Figura 4. **Composición física de los residuos sólidos**



Fuente: elaboración propia.

3. PROPUESTA DE PLAN DEL MANEJO

El plan de manejo propone un sistema integral que abarca una separación deseable, aprovechamiento del material biodegradable y un co-procesamiento de los residuos sólidos que permita realizar un aprovechamiento de los materiales valorizables y al mismo tiempo disminuir los residuos que van dirigidos a la disposición final.

El manejo integral de los residuos considera un conjunto de un grupo de tecnologías y procesos orientados básicamente a:

- Maximizar la recuperación, aprovechamiento y valorización de los materiales y energía presente en los flujos de residuos que se generan.
- Minimizar la cantidad de residuos a ser dispuestos finalmente en el vertedero controlado.
- Minimizar el riesgo ambiental y sanitario de los residuos que deben ser finalmente dispuestos.
- Generar nuevos ingresos económicos al sistema mediante la comercialización de los productos.

El manejo integral de residuos sólidos dentro del vertedero controlado del km 22, abarca la selección de las tecnologías a disposición, en la solución de la problemática que se presenta dentro del mismo.

El sistema de tratamiento implica tres componentes que permitan una cobertura progresiva a porciones considerables de las 909 toneladas métricas

que accesan diariamente al vertedero controlado, los cuales tratan de minimizar la porción de desecho a enterrar, por medio del procesamiento y re-utilización del material mayoritario presente en las basuras (biodegradable e inflamable seco), además de la segregación y venta del material reciclable con mercado asegurado.

Tabla XI. **Porcentaje de residuo a cada proceso**

Porcentaje de residuo a cada proceso	
48.78 %	Material biodegradable
30.6 %	Material reciclable
20.62 %	Material inflamable y material no aprovechable

Fuente: elaboración propia.

Los residuos peligrosos no son considerados en esta propuesta, ya que actualmente se prohíbe la entrada de los mismos al vertedero.

Figura 5. **Manejo integral de residuos sólidos**



Fuente: elaboración propia.

Componente 1: Separación deseable

Al vertedero controlado del km 22, según datos proporcionados por la división de desechos sólidos, ingresa diariamente un aproximado de 909 toneladas de residuos sólidos, lo que equivale a 22,727 toneladas mensuales, de esta cantidad se recuperan solamente 186 toneladas de materiales reciclables al mes, lo que equivale al 0.82 % por lo que el 99.18 % es se va directamente a disposición final.

Es importante mencionar que al arribo de los camiones ya se ha hecho la mayor segregación de los materiales reciclables con mercado seguro y que son depositados en centros de acopio particulares.

Tabla XII. Reciclaje de residuos sólidos

Reciclaje de residuos sólidos en libras						
Tipo de residuo	Mes				Promedio	%
	Abril	Mayo	Junio	Julio		
Cartón	37,900	150,500	190,600	124,800	125,950	33.92
Cd	10	322	228	109	167.25	0.05
Cera	0.04	577	483	361	355.26	0.10
Aceite quemado	67.50	277.50	2,595	855	948.75	0.26
Costales	154	263.12	225.94	80.96	181.01	0.05
Vidrio	1,900	14,500	11,528	29,700	14,407	3.88
Chatarra	8,400	38,500	31,078	31,456	27,358.5	7.37
Cobre	281	502	197	148	282	0.08
Aluminio	924.	4,371	3,164.	4,496	3,238.75	0.87
Acero	25	87	44	30	46.50	0.01
Bronce	28.00	60	42	52	45.50	0.01
PET	17,392	57,843	64,104	100,345	59,921	16.14
Plástico duro	6,827	26,746	31,731	58,040	30,836	8.30
Nylon	12,015	38,165	44,963	80,618	43,940.25	11.83

Continúa tabla XII.

Soplado	6,428	23,306	23,179	67,549	30,115.5	8.11
Papel	8,993	30,079	32,544	45,266	29,220.5	7.87
Retazo	375	948	1,580	2,249	1,288	0.35
Cartucho	4.86	16.36	28.78	21.60	17.90	0.00
Electrónico	71	251	338	147	201.75	0.05
Botellas	252.97	1,815.48	1,158.73	740.08	991.82	0.27
Botas de hule	160	2,320	2,764	2,168	1,853	0.50

Fuente: AMSA. (2015). División de desechos sólidos

La cantidad de residuos sólidos que está siendo recuperada es mínima, por lo que es necesario implementar una planta de separación y clasificación de residuos que permiten recuperar los residuos sólidos urbanos para su posterior reciclaje, de esta manera se reduciría la cantidad de residuos que se disponen en el vertedero controlado, permitiendo la recuperación de materiales valorizables.

El análisis de costo-beneficio de la recuperación de materiales deberá incluir el valor del costo que se ahorrará al evitarse la disposición final de estos materiales. Existirá un incremento de ingresos para las personas que trabajen en la planta de separación y clasificación, ya que tendrán la oportunidad de mejorar el proceso de selección para que posteriormente separados todos los materiales, se armen fardos que puedan ser comercializados.

Componente 2: Aprovechamiento del material biodegradable

La opción adoptada de procesamiento, para la reutilización del material biodegradable, es el “compostaje” que consiste en un proceso de biodegradación o estabilización de la materia orgánica, proceso que permitirá la obtención de “abono orgánico” o compost, el cual es necesario para reacondicionar suelos degradados, pero, a su vez, proporcionando otra serie de ventajas al sistema integral de manejo de los residuos sólidos.

El aprovechamiento del material biodegradable por medio del compostaje permitirá al vertedero controlado lo siguiente:

- Eliminar las molestias de malos olores y pestes.
- Evitar problemas de contaminación por los lixiviados (líquidos que percolan a través de la basura orgánica).
- Contar con abono orgánico el cual podrá ser utilizado por la institución, para conservar las diferentes reforestaciones realizadas.

Componente 3: Coprocesamiento

El vertedero controlado recibe materiales inflamables que no pueden ser reciclados por su alto costo de adecuamiento para la venta, pero son considerados inflamables, lo cual permite utilizarlos como residuos que pueden ser sustitutos de combustibles no renovables, lo cual genera grandes ventajas tanto para el generador de los residuos, el vertedero controlado del km 22, así como al coprocesador, los cuales pueden ser industrias cementeras.

4. PRESENTACIÓN DE RESULTADOS

4.1. Opción tecnológica que permita el manejo integral adecuado de residuos sólidos que ingresan al vertedero controlado del km 22.

4.1.1. Separación deseable

El sitio seleccionado para el emplazamiento está ubicado en el predio de AMSA, en donde ya estuvieron ubicadas instalaciones formales de una planta recicladora, el cual presenta las siguientes características:

- Cuenta con una superficie de menos de 1 ha.
- El predio se encuentra localizado dentro de AMSA
- Posee buena accesibilidad.

Figura 6. Área de caseta de selección y almacenaje



Fuente: elaboración propia.

La gestión integral de residuos y desechos sólidos ha venido evolucionando, incorporando opciones de aprovechamiento a los componentes tradicionales de recolección, transporte y disposición final. Entre las alternativas tecnológicas para el impulso del aprovechamiento, se envuelve actualmente la implementación de esquemas centralizados, como las plantas de manejo de residuos sólidos.

En las instalaciones de AMSA, en el año 2007 se instaló una planta de separación privada llamada Alternativas Ecológicas, por medio de una concesión establecida entre la empresa y la Autoridad, sin embargo, la empresa dejó de funcionar a finales del 2012. La institución estatal en ese momento no obtenía ganancias en cuanto a la recuperación del reciclaje. Actualmente la separación de los residuos sólidos es realizada por los pepenadores en el área de descarga y distribución, en donde se estima que el tiempo que se tardan en clasificar 6 personas los materiales es de 40-60 minutos por camión.

La caseta de selección y almacenaje propuesta está orientada hacia el aprovechamiento de los residuos sólidos que ingresan al vertedero, por lo que es necesario establecer o desagregar la clasificación de los materiales conforme a sus posibilidades de transformación y mercadeo, así mismo consiste en una tecnología que permite no solamente traer beneficios ambientales, debido a la recuperación de materiales valorizables si no también beneficios sociales y económicos.

Es necesario que exista una báscula que tenga como objetivo proporcionar el peso de los vehículos al entrar y al salir del relleno sanitario, obteniendo, así como resultado el peso de los residuos que ingresan a dicho sitio. La báscula deberá colocarse en un sitio tal que los vehículos recolectores tengan un fácil acceso a la misma para poder ser pesados.

Los camiones después de ser pesados deberán dirigirse a la zona de recepción y separación de materiales, en donde descargarán los residuos y desechos sólidos que serán deslizados por gravedad por medio de una rampa a la zona de selección.

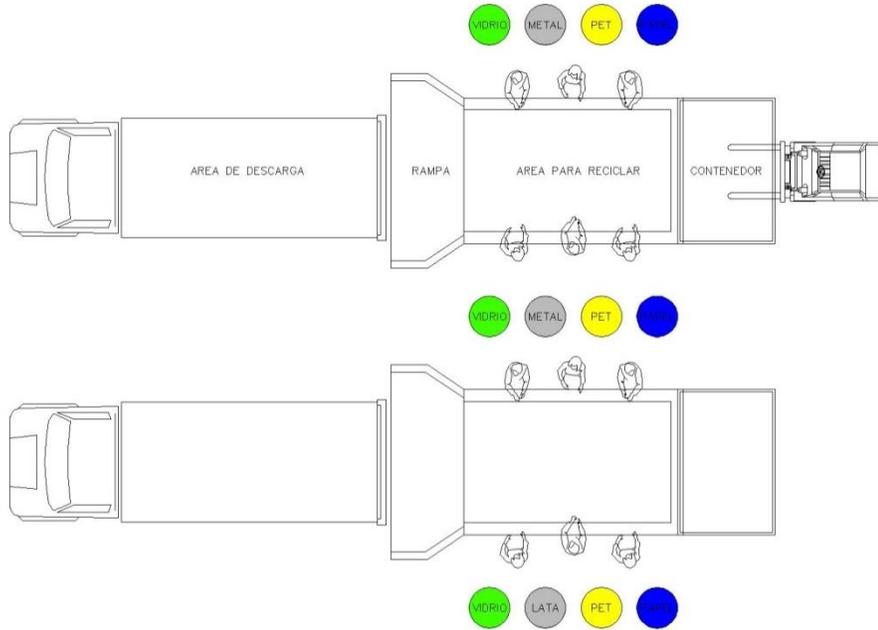
La caseta de selección puede ser de tipo mecánico o manual, en esta propuesta se seleccionó la de tipo manual debido a los altos costos que puede significar una selección mecánica debido al mantenimiento, electricidad entre otros gastos.

En la selección manual las actividades se realizan sobre mesas de concreto que sean una construcción convencional de block, las cuales serán receptoras directas de las basuras frescas, se proponen que existan 10 mesas en donde la idea es que los pepenadores que actualmente trabajan dentro del vertedero sean las personas que se encarguen de la separación en la caseta de selección en grupos de seis personas por mesa trabajando por medio de turnos para que todos puedan tener la misma participación.

Entre cada mesa deberá colocarse contenedores que les permitan depositar los residuos sólidos recolectados de acuerdo a su tipo vidrio, metal, pet y papel incluyendo un contenedor en donde se coloquen los residuos orgánicos y otro en donde se coloquen los materiales inflamables.

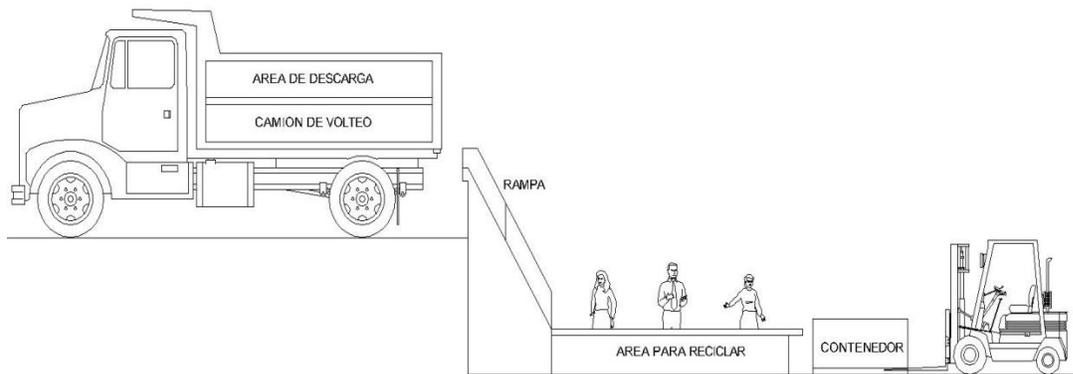
En la caseta de selección-almacenaje se contempla, además del área relacionada con las mesas de selección, un área de almacenamiento dividido en cuatro grupos: metales (ferrosos y no ferrosos), plásticos (duros y suaves), vidrios y papel-cartón y un área de procesamiento de los objetos recuperados para realizar la compactación.

Figura 7. Selección manual



Fuente: elaboración propia.

Figura 8. Selección manual



Fuente: elaboración propia.

4.1.2. Material biodegradable.

El material biodegradable después de ser depositado en los contenedores colocados en la caseta de selección y almacenaje es trasladado hacia las cámaras de compostaje

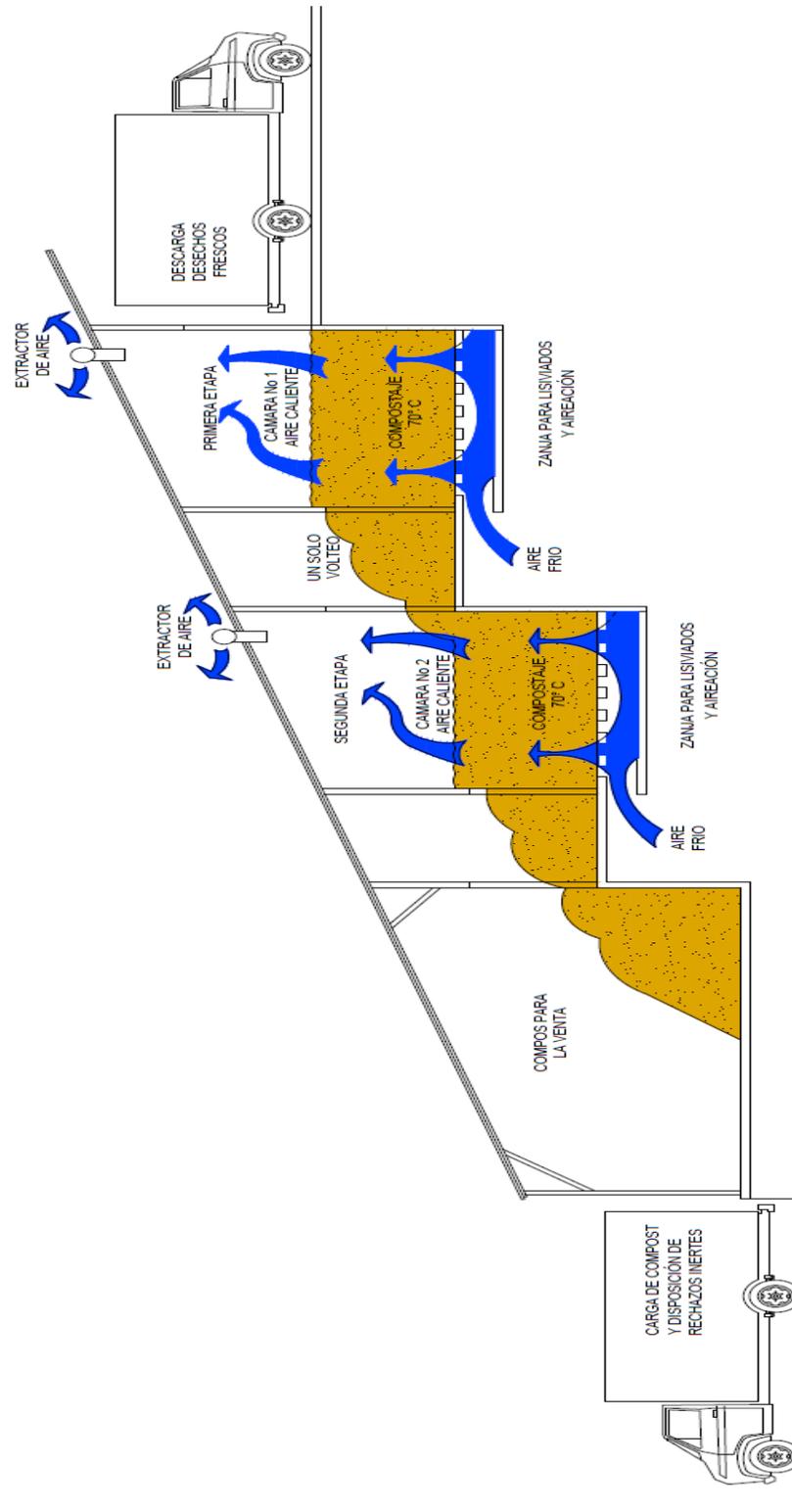
Las cámaras de compostaje se desarrollan en dos etapas para asegurar suficiente homogeneidad en la biodegradación, realizando un volteo para esos efectos, de una cámara a otra (en serie). En paralelo, se desarrolla una serie de cámaras hasta alcanzar el volumen necesario para cubrir de 30 a 50 días de recolección continúa, que corresponden al tiempo de residencia de la primera etapa. Así, antes de terminar de llenar la serie de cámaras de la primera etapa, las segundas se van vaciando después de cubrir ese período de tiempo, dejando espacio para las nuevas remesas. Una vez completada la segunda etapa, con período de tiempo similar, estas cámaras se vacían, descargando el material ya compostado a los patios para su maduración/almacenaje y para su ulterior tamizado (mecánico y/o manual) y ensacado, para la venta. Todas las instalaciones se encuentran bajo techo para evitar los inconvenientes de las variaciones climáticas. El material de rechazo, todavía voluminoso (aunque de poco peso) se traslada al relleno sanitario. El volteo será realizado manualmente por personas que tendrán turnos rotativos para realizar los mismos.

El proceso no causa malos olores, ni mayores problemas (salvo oxidación de compuertas metálicas por el contacto directo) según lo que se demostró en la experiencia en la planta piloto de Alameda Norte, en la zona 18 de la ciudad de Guatemala y en las instalaciones del IRTRA- Retalhuleu.

La extracción del aire caliente se realiza por medio de extractores rotatorios fabricados con piezas de lámina de zinc, tecnología muy común en nuestro medio. Se utilizan dos unidades de estos aparatos por cámara, lo que asegura el proceso convectivo que provee la oxigenación requerida. El aire frío penetra por zanjas ubicadas al fondo de las cámaras, dotadas de rejillas que permiten el paso de aire (proveniente del extremo libre del piso).

El proceso requiere de riego del agua para mantener un proceso eficiente: alrededor del 60 % de humedad, dentro de la biomasa. Este límite no debe excederse para evitar el paso a la biodegradación anaerobia ni para provocar los lixiviados antes referidos.

Las zanjas mencionadas, acceden a canales longitudinales que sirven a los dos propósitos: canalización de posibles lixiviados y acceso del aire fresco. De darse ocasionalmente alguna humedad, dentro de la biomasa.

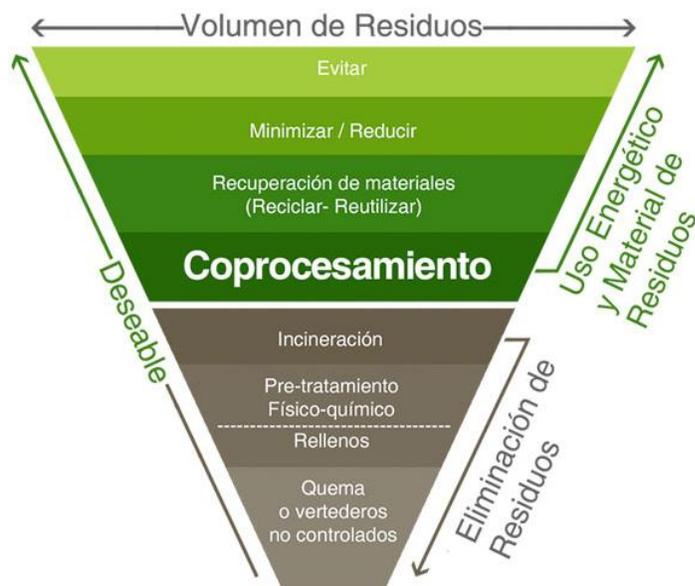


4.1.3. Aprovechamiento del material inflamable por medio de coprocesamiento

Después de realizar los dos pasos mencionados de selección y almacenaje de residuos sólidos y aprovechamiento de material biodegradable existe una última propuesta para los residuos inflamables, con el fin de dar un manejo integral a sus residuos.

El programa de medio ambiente de las Naciones Unidas, reconoce el coprocesamiento dentro de la jerarquización de la gestión de los residuos.

Figura 10. Jerarquía de gestión de residuos



Fuente: GTZ/Holcim. (2006). Guidelines on co-processing Waste Materials in Cement Production. Alemania.

El coprocesamiento en el caso presente, es el proceso de alimentar los hornos con los residuos combustibles provenientes de las basuras, acondicionados de manera segura y compatible con el proceso de fabricación de cemento, lo que permite la eliminación de desechos que requieren métodos no tradicionales para su correcta disposición. En Guatemala, la industria cementera tiene un alto potencial para el coprocesamiento de residuos especiales. El monitoreo estricto de parámetros operativos y emisiones ambientales asegura la completa eliminación, mientras se recupera el contenido energético.

Los residuos tienen diferentes formas y características, algunos de ellos no pueden usarse directamente como lo que se denomina materias primas alternativas, es necesario que la AMSA, someta a un análisis y evaluación los residuos inflamables para que estos puedan ser utilizados en el coprocesamiento.

Tabla XIII. Lista de residuos excluidos para el coprocesamiento

<p>Lista de residuos excluidos para el coprocesamiento</p>	<ol style="list-style-type: none"> 1. Residuos electrónicos. 2. Baterías. 3. Residuos hospitalarios infecciosos y biológicamente activos. 4. Ácidos minerales y corrosivos. 5. Explosivos. 6. Residuos que contengan asbesto. 7. Residuos radioactivos. 8. Residuos municipales no clasificados.
--	--

Fuente: GTZ. (2006). Coprocesamiento una oportunidad. Pág. 25.

Tabla XIV. **Lista de utilizados para el coprocesamiento**

Lista de residuos utilizados para el coprocesamiento	<ol style="list-style-type: none">1- Aceites, lodos industriales, plásticos2- Fondos de tanques, solventes3- Trapos contaminados, empaques4- Plásticos, hules, llantas usadas5- Biomasa
--	---

Fuente: Lafarge. (Junio de 2014). Coprocesamiento en la industria cementera.

Como opciones para el coprocesamiento, se buscan los segmentos industriales que provean, tanto rentabilidad como los mayores beneficios ambientales al país. Por ejemplo, el caso de neumáticos para el cual aunque hay opciones de reciclaje y re-utilización, no hay suficiente capacidad para atender este residuo, por su complejidad y volumen. La opción de coprocesamiento que ofrece Cementos Progreso, S.A., es una solución integral, ya que permite la recuperación de energía y material a partir de los residuos. La empresa cuenta con un laboratorio altamente tecnificado para el análisis de los residuos que ingresan a la planta previo a ser ingresados al horno.

El beneficio más directo es la energía contenida en los combustibles alternativos y sustitución de la demanda de combustibles, generando un ahorro mediante la conservación de los recursos. La cantidad de demanda de combustibles fósiles que se elimina depende, entre otros factores, del poder calorífico y el contenido en agua del combustible alternativo.

Con la implementación de esta alternativa, se tiende a fomentar la creación de economías locales menos dependientes del “exterior”, creando circuitos locales de uso y desuso de residuos, potenciando con ello el desarrollo de emprendimientos, la empleabilidad y el desarrollo local.

5. DISCUSIÓN DE RESULTADOS

Los residuos sólidos que ingresan al vertedero controlado de AMSA, provienen de 14 municipios que conforman la cuenca del lago de Amatitlán, el ingreso diario es de 909 toneladas diarias en donde el mayor porcentaje proviene del municipio de Villa Nueva, con un 46.44 %; seguido de los municipios de Amatitlán, con un 16.05 %; San Miguel Petapa, con 11.01%; y Villa Canales, con un 6.06%. Estos cuatro municipios son los principales aportadores de residuos sólidos a este vertedero.

Los residuos sólidos que ingresan presentan una composición muy variable en donde los restos de alimentos denominados desechos orgánicos son los de mayor porcentaje con un 46.78 %. Esta materia orgánica putrefactible representa la mayor fuente de contaminación del suelo y los cursos de agua, ya que de ella se desprende un líquido conocido como lixiviados el cual arrastra todo tipo de contaminantes, muchos de ellos en concentraciones elevadas. La opción tecnológica apropiada para el tratamiento de esta fracción de residuos es el compostaje por medio de cámaras, ya que conlleva grandes ventajas para disminuir los volúmenes de desechos a enterrar en los vertederos, disminuye la cantidad y peligrosidad de los lixiviados en los mismos, además de evitar la generación de metano, gas de efecto invernadero de impacto severo en el cambio climático. Esto, fuera de constituir un elemento que permite recuperar suelos erosionados y mejorar la producción agroalimentaria a la vez de propiciar puestos de mano de obra que tanto convienen a la economía campesina. Existen proyectos que han implementado este tipo de tecnología, como la Planta de tratamiento de desechos sólidos del IRTRA de Retalhuleu, Rabinal en Baja

Verapaz y en su momento la plata de Alameda Norte, en zona 18. Estos proyectos han integrado en su proceso el tratamiento por medio de compostaje, por convección de aire caliente en cámaras, logrando un desempeño con el mayor grado de efectividad. Se conjugan en estos casos, elementos de costo mesurado de prácticas tecnológicas apropiadas (fácil manejo), financiamientos alcanzables y sobre todo, elementos de gestión ambiental empresarial, municipal, gubernamental y comunitaria, al alcance de nuestra ciudadanía, acorde con las características biofísicas y socioculturales que le son propias.

La determinación de la composición física de los residuos sólidos indica que otra parte de los residuos que ingresan al vertedero controlado pertenecen a materiales que puede ser tomado para el aprovechamiento valorizable conocido generalmente como reciclaje, debido a que se encuentra la siguiente distribución: 4.22 % papel, 9.81 % cartón, 11.46 de plásticos, 4.29 de metales y 0.82 de vidrio esto evidencia que existe un potencial favorable. El aprovechamiento de estos materiales tiene tres funciones importantes: agregar valor monetario a los materiales que se consumen en la economía; disminuir la cantidad de residuos sólidos en la disposición final y cambiar los patrones de consumo de la población. La implementación de una caseta de selección y almacenaje tendrá como objetivo separar las fracciones recuperables de la mezcla de residuo y prepararlas para la comercialización. En el vertedero no se está realizando ningún manejo adecuado de estos materiales, solamente es realizado por los pepenadores conocidos como “guajeros” que solamente logran reciclar 0.89 % del total de lo que ingresa; la implementación de esto permitirá incrementar la capacidad de selección de residuos, por ende incrementará los ingresos económicos de las personas y permitirá cumplir con las normas de seguridad industrial necesarias para realizar este trabajo, permitiendo que las personas estén bajo mejores condiciones. Contar con un área de descarga, de reciclaje y depósitos separados, permitirá que la separación entre residuos orgánicos e inorgánicos sea más organizada, es necesario que exista así también un acuerdo

con las empresas recolectoras que disponen sus desechos en el vertedero para evitar la segregación durante la recolección para aumentar la eficiencia de la caseta de selección en el vertedero. La planta de tratamiento de desechos sólidos del IRTRA de Retalhuleu, Rabinal en Baja Verapaz y en su momento la plata de Alameda Norte, en zona 18, son ejemplos del funcionamiento exitoso y del potencial que se puede alcanzar con este tipo de tecnología, en AMSA, se tiene la ventaja que ya existe un mercado conocido por los pepenadores para la comercialización de los residuos. La experiencia de estos proyectos radica en la capacidad instalada, tanto técnica como administrativa, y en AMSA existe todo a favor personal, maquinaria, terreno para implementar una caseta de este tipo, es necesario realizar a profundidad un estudio de prefactibilidad, para conocer con mayor profundidad la situación del proyecto.

Los proyectos mencionados han tenido una modalidad participativa, desde el principio, demostrando que es factible manejar un sistema integral de manejo de residuos sólidos, incluyendo: selección de objetos para reciclaje, compostaje del material biodegradable, disposición final en relleno sanitario y la comercialización de los productos. Todo, puesto en manos de la gente, mediando acciones de motivación, concienciación y capacitación, fuera de lo adecuado y lo apropiable de la tecnología empleada. Lográndose, además, la autosuficiencia del proyecto para la operación del sistema a través del cobro de una tarifa rebajada de recolección y la venta de todo el material reciclable y compost.

Un 20.62 % de los residuos que ingresan no pueden ser utilizados para ningún proceso de comercialización o para elaboración de compost, pero una opción de tratamiento es el coprocesamiento de las porciones inflamables remanentes y que no tienen usos alternativos (llantas, plásticos de desecho, entre otros) en donde se deberán considerar siempre y cuando se cumpla con los requisitos de seguridad para la salud humana, animal y del medio ambiente. Las cementaras utilizan el coprocesamiento, el cual consistente en la quema de

los desechos en sus altos hornos, a temperatura arriba de los 1200°C, aparece como una magnífica solución que coadyuva a la disminución de del volumen a enterrar en los vertederos, eliminando asimismo algunos elementos potencialmente peligrosos de las basuras (PBC's, dioxinas y furanos, por ejemplo).

CONCLUSIONES

1. La caracterización realizada refleja que los residuos sólidos pueden ser aprovechados por medio de un manejo integral adecuado que permita disminuir la cantidad de residuos en la disposición final, teniendo un destino del 48.78 % de material biodegradable para compostaje, un 30.6 % del material aprovechable y un 20.62 % de material inflamable y material no aprovechable.
2. La opción tecnológica que permita el manejo integral adecuado de residuos sólidos, que ingresan al vertedero controlado, está enfocada principalmente en la separación deseable, aprovechamiento del material biodegradable y un coprocesamiento.
3. La implementación de una caseta de selección y almacenaje de tipo manual, cámaras de compostaje desarrolladas y realizar alianzas con industrias cementaras, que utilicen los residuos como sustitutos de combustibles no renovables, son opciones que pueden ser viables ya que han sido implementados ya en otros proyectos.

RECOMENDACIONES

1. Es necesario mejorar la capacidad instalada en la institución, se debe comenzar por inducir y luego obligar, a través de leyes educativas-punitivas, a las autoridades a tomar las decisiones administrativas y presupuestarias necesarias y suficientes para enfrentar el reto de la gestión adecuada de los residuos sólidos, en el marco de la gestión ambiental en general.
2. El coprocesamiento de las porciones inflamables remanentes y que no tienen usos alternativos (llantas, plásticos de desecho, entre otros) deberá considerarse siempre y cuando se cumpla con los requisitos de seguridad para la salud humana, animal y del medio ambiente.
3. Es importante establecer una educación ambiental dirigida a comunidades, municipalidades e instituciones que se encuentren dentro de la cuenca, generando con esto un efecto multiplicador para concientizar a toda la población, con el fin de disminuir y evitar el incremento de residuos sólidos.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

1. OPS/OMS, C. . (16 de agosto de 2014). *Guía para la caracterización de residuos domiciliarios*. Obtenido de <http://www.bvsde.paho.org/bvsars/fulltext/evaluacion/anexo2.pdf>
2. AMSA. (2015). *Division de Desechos Sólidos*.
3. Barrientos, C. (2014). Manejo integral de residuos sólidos.
4. Berent, M., & Vedoya, D. (2005). Tratamiento de residuos sólidos urbanos en ciudades intermedias del NEA, orígenes, tipos y composición de residuos. Pág 4.
5. Capistran, F. (1994). *Manual de reciclaje, compostaje y lombricompostaje*. Mexico: Instituto de Ecología, A.C.
6. Castells, X. (2000). *Reciclaje de residuos industriales*. Madrid: Diaz de Santos, S.A.
7. CEMPRE. (1998). *Manual de Gestión Integral de Residuos Sólidos Urbanos*. Uruguay. Centro Panamericano de Ingeniería Sanitaria y Ciencias del
8. Código de Salud. *Decreto No. 90-97*. Guatemala: Organismo Legislativo.
9. Código Municipal. (2002). *Decreto 12-2002*. Guatemala: Organismo Legislativo.

10. Constitución Política de la República de Guatemala. (1985). Guatemala: Asamblea Nacional Constituyente.
11. *Convenio Basilea sobre el control de los movimientos transfronterizos de los desechos peligrosos y su eliminación adoptado por la conferencia de Plenipotenciarios del 22 de marzo de 1989.* (5 de mayo de 1992). Obtenido de http://ban.org/about_basel_conv/baselspan.pdf
12. Diaz, G. (2011). *Plan de manejo integral de residuos sólidos.* Medellín.
13. *Directiva 75/442/CEE del Consejo, relativa a los residuos .* (15 de julio de 1975). Obtenido de Consejo de las Comunidades Europeas: <http://eur-lex.europa.eu/LexUriServ/LexUriServ.do?uri=CELEX:31975L0442:ES:HTML>
14. EPA. (28 de febrero de 2014). *Agencia de proteccion Ambiental de Estados Unidos.* Obtenido de <http://www.epa.gov>
15. Europeas, C. d. (18 de marzo de 1991). *Directiva 91/156/CEE del Consejo .* Obtenido de <http://eur-lex.europa.eu/LexUriServ/LexUriServ.do?uri=CELEX:31991L0156:ES:HTML>. Pág 166.
16. Fernández Colomina, A. (2007). *Guía para la gestión integral de residuos sólidos urbanos.* ONUDI, SECO y LARE. Pág 18,19.
17. Fernández Colomina, A., & Sánchez-Osuna, M. (2007). *Guia para la gestion integral de residuos sólidos urbanos.* Recuperado el 19 de junio de 2014, de https://www.unido.org/fileadmin/import/72852_Guía_Gestion_Integral_de_RSU.pdf. Pág 16, 17.

18. GTZ. (2006). *Coprocesamiento una oportunidad*.
19. GTZ/Holcim. (2006). *Guidelines on co-processing Waste Materials in Cement Production*. Alemania.
20. Henriques Pereira, A. (s.f.). Propiedades físicas de los residuos sólidos urbanos del vertedero. Pág 2.
21. Jaramillo, J. (1999). *Gestión integral de residuos sólidos municipales GIRSM*. Medellín. Pág 10.
22. Lafarge. (Junio de 2014). Coprocesamiento en la industria cementera.
23. *Ley de protección y mejoramiento del medio ambiente, Decreto No. 68- 96. Guatemala: Congreso de la República de Guatemala*. Artículo 6.
24. Lichtinger Waisman, V. (2001). *Guía para gestión integral de residuos sólidos municipales*. México: Subsecretaría de Gestión para la Protección Ambiental-SEMARNAT.Pág 7.
25. *Lineamientos para una propuesta de gestión integral de residuos sólidos urbanos(GIRSU) para la ciudad de Córdoba, S.A. Cordoba*. Pág 11.
26. Martinez, J. (2005). *Guía para la gestión integral de residuos peligrosos*. Uruguay: Centro Coordinador del convenio de Brasilea.Pág 16,17,18.
27. Miller, T. (1994). *Ecología y medio ambiente*. México: Iberoamericana.
28. Perfil Ambiental de Guatemala. (2006). *Tendencias y reflexiones sobre la gestión ambiental*. Guatemala: Instituto de Agricultura, Recursos Naturales y Ambiente (IARNA),.

29. PNUMA. (1999). *Manual de legislación ambiental de Guatemala*. Guatemala: Programa de las Naciones Unidas para el Medio Ambiente.
30. RAE. (2014). *Real Academia Española*. Obtenido de <http://www.rae.es/>
31. Ruiz, A. (Agosto de 2005). *Guía técnica para la formulación de planes de minimización de residuos sólidos y recolección segregada en el nivel municipal*. Obtenido de <http://www.bvsde.paho.org/bvsacd/cd51/formulacion.pdf>

APÉNDICE

Apéndice 1

Celdas de distribución



Descarga y distribución celda 4 y 5



Fuente: elaboración propia.

Apéndice 2. Compactación de plataforma



Fuente: elaboración propia.

Apéndice 3. Cobertura de plataforma



Fuente: elaboración propia.

Apéndice 4. Recipiente utilizado para la determinación del peso de residuos sólidos



Fuente: elaboración propia.