



Universidad de San Carlos de Guatemala
Facultad de Ingeniería
Escuela de Ingeniería Mecánica Industrial

**DISEÑO DE AUTOMATIZACIÓN Y CONTROL DEL PROCESO EN LA
PLANTA DE TRATAMIENTO DE DESECHOS SÓLIDOS DEL MUNICIPIO
DE SAN ANTONIO AGUAS CALIENTES, SACATEPÉQUEZ**

Brayan Isaí Sagché Hernández

Asesorado por el Ing. Carlos Humberto Pérez Rodríguez

Guatemala, enero de 2014

UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA



FACULTAD DE INGENIERÍA

**DISEÑO DE AUTOMATIZACIÓN Y CONTROL DEL PROCESO EN LA
PLANTA DE TRATAMIENTO DE DESECHOS SÓLIDOS DEL MUNICIPIO
DE SAN ANTONIO AGUAS CALIENTES, SACATEPÉQUEZ**

TRABAJO DE GRADUACIÓN

PRESENTADO A LA JUNTA DIRECTIVA DE LA
FACULTAD DE INGENIERÍA
POR

BRAYAN ISAÍ SAGCHÉ HERNÁNDEZ

ASESORADO POR EL ING. CARLOS HUMBERTO PÉREZ RODRÍGUEZ

AL CONFERÍRSELE EL TÍTULO DE

INGENIERO MECÁNICO INDUSTRIAL

GUATEMALA, ENERO DE 2014

UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA
FACULTAD DE INGENIERÍA



NÓMINA DE JUNTA DIRECTIVA

DECANO	Ing. Murphy Olympo Paiz Recinos
VOCAL I	Ing. Alfredo Enrique Beber Aceituno
VOCAL II	Ing. Pedro Antonio Aguilar Polanco
VOCAL III	Inga. Elvia Miriam Ruballos Samayoa
VOCAL IV	Br. Walter Rafael Véliz Muñoz
VOCAL V	Br. Sergio Alejandro Donis Soto
SECRETARIO	Ing. Hugo Humberto Rivera Pérez

TRIBUNAL QUE PRACTICÓ EL EXAMEN GENERAL PRIVADO

DECANO	Ing. Murphy Olympo Paiz Recinos
EXAMINADOR	Ing. Carlos Humberto Pérez Rodríguez
EXAMINADORA	Inga. Aurelia Anabela Córdova Estrada
EXAMINADORA	Inga. Sigrid Alitza Calderón de León
SECRETARIO	Ing. Hugo Humberto Rivera Pérez

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:

**DISEÑO DE AUTOMATIZACIÓN Y CONTROL DEL PROCESO EN LA
PLANTA DE TRATAMIENTO DE DESECHOS SÓLIDOS DEL MUNICIPIO
DE SAN ANTONIO AGUAS CALIENTES, SACATEPÉQUEZ**

Tema que me fuera asignado por la Dirección de la Escuela de Ingeniería Mecánica Industrial, con fecha 26 de marzo de 2012.


Brayan Isai Sagché Hernández

Guatemala, 31/07/13

Ing.

César Ernesto Urquizú Rodas

Director de Escuela

Ingeniería Mecánica Industrial

Estimado Ingeniero César Urquizú:

De esta manera doy por aprobado el trabajo de graduación del estudiante Brayan Isai Sagché Hernández, quien se identifica con su DPI número de CUI 2325 18556 0301 y carné No. 2005-15907, titulado: **DISEÑO DE AUTOMATIZACIÓN Y CONTROL DEL PROCESO EN LA PLANTA DE TRATAMIENTO DE DESECHOS SÓLIDOS DEL MUNICIPIO DE SAN ANTONIO AGUAS CALIENTES, SACATEPÉQUEZ**, el cual cumple con los requisitos y criterios necesarios para su presentación.

Agradeciendo su atención a la presente, me despido de usted.

Muy Atentamente,


Carlos Humberto Pérez Rodríguez
INGENIERO MECÁNICO INDUSTRIAL
Colegiado 3071

Ing. Carlos Humberto Pérez Rodríguez

Ingeniero Mecánico Industrial

Colegiado No. 3071



REF.REV.EMI.198.013

Como Catedrático Revisor del Trabajo de Graduación titulado **DISEÑO DE AUTOMATIZACIÓN Y CONTROL DEL PROCESO EN LA PLANTA DE TRATAMIENTO DE DESECHOS SÓLIDOS DEL MUNICIPIO DE SAN ANTONIO AGUAS CALIENTES, SACATEPÉQUEZ**, presentado por el estudiante universitario **Brayan Isaí Sagché Hernández**, apruebo el presente trabajo y recomiendo la autorización del mismo.

“ID Y ENSEÑAD A TODOS”

Nora Leonor Elizabeth García Tobar
Ingeniera Industrial
Colegiado No. 8121

Inga. Nora Leonor Elizabeth García Tobar
Catedrático Revisor de Trabajos de Graduación
Escuela de Ingeniería Mecánica Industrial

Guatemala, octubre de 2013.

/mgp



REF.DIR.EMI.011.014

El Director de la Escuela de Ingeniería Mecánica Industrial de la Facultad de Ingeniería de la Universidad de San Carlos de Guatemala, luego de conocer el dictamen del Asesor, el Visto Bueno del Revisor y la aprobación del Área de Lingüística del trabajo de graduación titulado **DISEÑO DE AUTOMATIZACIÓN Y CONTROL DEL PROCESO EN LA PLANTA DE TRATAMIENTO DE DESECHOS SÓLIDOS DEL MUNICIPIO DE SAN ANTONIO AGUAS CALIENTES, SACATEPÉQUEZ**, presentado por el estudiante universitario **Brayan Isai Sagché Hernández**, aprueba el presente trabajo y solicita la autorización del mismo.

“ID Y ENSEÑAD A TODOS”


Ing. César Ernesto Urquizú Rodas
DIRECTOR

Escuela de Ingeniería Mecánica Industrial



Guatemala, enero de 2014.

/mgp



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 Ingeniería Mecánica Industrial, al trabajo de graduación titulado: **DISEÑO DE AUTOMATIZACIÓN Y CONTROL DEL PROCESO EN LA PLANTA DE TRATAMIENTO DE DESECHOS SÓLIDOS DEL MUNICIPIO DE SAN ANTONIO AGUAS CALIENTES, SACATEPÉQUEZ**, presentado por el estudiante universitario: **Brayan Isaí Sagché Hernández**, autoriza la impresión del mismo.

IMPRÍMASE.

Ing. Murphy Olympo Paiz Recinos
Decano



Guatemala, enero de 2014

ACTO QUE DEDICO A:

- Dios** A mi supremo creador, de quien provienen todas las cosas y por quien puedo lograr todo lo que me propongo.
- Mis padres** Josué Caleb Sagché y Nora Elizabeth Hernández. Por su amor, cuidado, quienes me encaminaron desde muy pequeño en alcanzar mis metas.
- Mis hermanos** David, Allan y Noé Sagché Hernández, cada uno de ellos aporta una alegría, amor y motivación distinta a mi vida para seguir esforzándome.
- Mis sobrinos** Sofía y Juan Esteban Sagché Ignacio, me recuerdan la inocencia y la diversión con la que se debe vivir.
- Mis pastores** Hugo García y Beatriz de García, quienes se preocupan de que mi crecimiento vaya más allá de lo terrenal y anhele cada día más el crecimiento espiritual.

Mis amigos

A todos aquellos amigos con los que tuve el privilegio de compartir experiencias dentro de los salones y distintos cursos.

Mi asesor

Ing. Carlos Pérez quien tuvo la paciencia y profesionalismo para apoyarme en la asesoría del presente trabajo de graduación.

USAC

Mi tricentenaria y gloriosa Universidad de San Carlos de Guatemala, alma máter que me brindo esta bonita experiencia.

Facultad de Ingeniería

La Facultad de Ingeniería por hacerme participe de este prestigioso y exclusivo gremio.

Mi patria, Guatemala

Lugar donde fui predestinado para cumplir y desarrollar mis metas.

AGRADECIMIENTOS A:

La Universidad de San Carlos de Guatemala

Por enseñarme que estudiar es un privilegio que lo obtiene solo el que lucha desde el principio hasta el final.

Facultad de Ingeniería

Por formar a un profesional que sabe que cualquier proyecto y trabajo que desarrolle será respaldado por una gran Facultad.

Mis amigos de la Facultad

A ese montón de amigos que su mejor influencia fue motivarme hasta lograr el preciado título.

Mi asesor

Profesional de alta categoría, que me orientó y formó para lograr este gran paso.

	1.2.6.3.	Producción final de compost	12
	1.2.6.4.	Producción de lixiviados	12
1.3.		Diseño del subsistema de disposición final	13
	1.3.1.	Teoría básica del compostaje.....	13
	1.3.2.	El proceso del compostaje	14
	1.3.3.	Condiciones atmosféricas	14
	1.3.4.	Equipo de operación	15
	1.3.5.	Operación.....	15
1.4.		Situación actual de la planta de tratamiento.....	17
	1.4.1.	Instalaciones	17
	1.4.2.	Tanques de procesamiento	17
	1.4.3.	Maquinaria y equipo	18
2.		EVALUACIÓN	19
2.1.		Manejo de desechos sólidos	19
	2.1.1.	Recolección.....	19
	2.1.2.	Transporte	20
	2.1.3.	Clasificación	20
	2.1.4.	Reciclaje.....	24
	2.1.5.	Proceso de degradación microbiana	24
2.2.		Tratamientos	25
	2.2.1.	Reutilización y reciclaje	25
	2.2.2.	Compostaje biológico	25
	2.2.3.	Lombricultura biológico	26
	2.2.4.	Biogás proceso biológico.....	27
2.3.		Disposición.....	28
	2.3.1.	Vertederos de atenuación y dispersión	28
	2.3.2.	Vertederos de contención.....	29
2.4.		Tareas a realizar por personas y maquinas	29

3.	PROPUESTA	33
3.1.	Entrada de desechos sólidos.....	33
3.1.1.	Preacondicionamiento	34
3.1.2.	Clasificación manual.....	36
3.1.3.	Trituración de desechos	36
3.2.	Proceso de compostaje	39
3.2.1.	Proceso biológico del compostaje	39
3.2.2.	Manejo del proceso de compostaje	41
3.2.3.	Mezcla, revuelta y movimiento.....	41
3.2.4.	Aireación.....	43
3.2.5.	Humedecimiento o riego.....	44
3.2.6.	Ajuste general de la planta de compostaje	45
3.3.	Condicionamiento del proceso	46
3.3.1.	Separación de materiales foráneos	46
3.3.2.	Clasificación del producto en fracciones.....	48
3.4.	Tratamiento del aire y de las aguas lixiviadas	49
3.4.1.	Tratamiento del aire.....	49
3.4.2.	Tratamiento de las aguas lixiviadas.....	51
3.5.	Diagrama de flujo de la planta de tratamiento	51
3.6.	Determinación del plan de inversión.....	54
3.7.	Definición de costos fijos	55
3.8.	Determinación de los ingresos	57
3.9.	Análisis económico de la propuesta	58
4.	IMPLANTACIÓN	61
4.1.	Compostaje en pilas	61
4.1.1.	Lombricultura	65
4.1.1.1.	Principios generales de la lombricultura	65

	4.1.1.1.1.	Principios biológicos de la lombricultura.....	65
	4.1.1.1.2.	Cuidado de las lombrices.....	68
4.1.1.2.		Lombricultura intensiva y compostaje con lombrices coqueta	69
4.1.1.3.		Diseño y construcción inicial de la planta de tratamiento.....	71
4.1.1.4.		Manejo de la planta de tratamiento	74
	4.1.1.4.1.	Manejo de la planta de tratamiento por medio de biodegradación.....	74
	4.1.1.4.2.	Manejo de la planta de tratamiento por medio de biodegradación intensiva.....	75
	4.1.1.4.3.	Operación como la planta de compostaje con ayuda de lombrices.....	76
	4.1.1.4.4.	Operación con carga continua de materia cruda	76
	4.1.1.4.5.	Uso de las lombrices.....	78
4.2.		Operadores del sistema seleccionado	78
4.3.		Los perfiles de trabajo y sus condiciones.....	80
	4.3.1.	Los puestos de trabajo	80

	4.3.1.1.	Características de formación	80
	4.3.1.2.	Ambiente de trabajo.....	81
	4.3.1.3.	Relaciones	85
	4.3.2.	Complejidad y dificultad intrínseca	86
4.4.		Riesgos, prevención y corrección.....	88
5.		SEGUIMIENTO	89
5.1.		Calidad del material crudo.....	89
	5.1.1.	Criterios de calidad para materiales biodegradables	89
	5.1.2.	Mejoramiento de la calidad por optimización del proceso.....	91
	5.1.2.1.	Clasificación domiciliaria.....	92
		5.1.2.1.1. Principios generales de la clasificación domiciliaria.....	92
		5.1.2.1.2. Como clasificar la basura biodegradable...	93
		5.1.2.1.3. Como hacer la clasificación domiciliaria más confortable para los usuarios.....	95
		5.1.2.1.4. Factores de éxito para un programa de clasificación domiciliaria.....	98
	5.1.2.2.	Preacondicionamiento de los desechos domiciliarios mixtos	99

5.2.	Aplicación del compost.....	101
5.3.	Calidad del compost.....	104
5.3.1.	Calidad del compost como abono orgánico.....	104
5.3.2.	Contenido de metales pesados	105
5.3.3.	Madurez y experimento de auto calentamiento	106
5.3.4.	Clasificación en fracciones	108
5.4.	Mecanización de la planta.....	108
5.4.1.	Lombricultura o compostaje convencional.....	109
5.4.2.	Cuales unidades de la planta se pueden o deben mecanizar	109
5.4.2.1.	Compostaje mecanizado en pilas....	110
5.4.2.2.	Compostaje en túneles o contenedores.....	111
5.4.2.3.	Lombricultura mecanizada	113
5.4.3.	Presupuesto necesario para inversión y operación de las alternativas consideradas.....	114
5.4.4.	Ventajas y desventajas técnicas	114
5.4.5.	Capacidad financiera del municipio para asumir los costos	115
5.4.6.	Cotizaciones de diferentes productores para las unidades mecanizadas.....	116
6.	ESTUDIO DE MEDIO AMBIENTE	117
6.1.	Informe ambiental - identifica los impactos más significativos.....	117
6.2.	Sugerencia para el diseño del sistema.....	121
6.2.1.	Aire	122
6.2.1.1.	Emisiones olfatorias	122

6.2.1.2.	Medidas para limitar el impacto de las emisiones	123
6.2.1.2.1.	Selección del lugar	123
6.2.1.2.2.	Tratamiento del aire....	124
6.2.2.	Aguas lixiviadas	126
6.3.	Legislación ambiental aplicable al proyecto.....	128
CONCLUSIONES		131
RECOMENDACIONES		135
BIBLIOGRAFÍA.....		137
ANEXOS.....		139

ÍNDICE DE ILUSTRACIONES

FIGURAS

1. Composición de los residuos sólidos	30
2. Funcionamiento del electroimán	35
3. Molino con tornillo sin fin	38
4. Funcionamiento del molino con tornillo sin fin.....	38
5. Planta mecanizada con máquina de mezcla/ revuelta	43
6. Separador balístico o ciclón	47
7. Tamiz aireada	48
8. Diagrama de bloque de la planta de compostaje semimecanizada	52
9. Diagrama de operaciones de flujo.....	53
10. Compostaje en montones o pilas	62
11. Cubierta del área de compostaje	63
12. Construcción del área de lombricultura con lechos.....	73
13. Bosquejo de planta mecanizada con pilas continuas.....	110
14. Control de parámetros técnicos en un contenedor de compostaje	112
15. Funcionamiento del contenedor de compostaje.....	113

TABLAS

I. Composición de la basura	7
II. Memoria de cálculo	11
III. Tiempo aproximado de compostaje	12
IV. Plan de inversión.....	54
V. Gastos de operación	56

VI.	Salarios	56
VII.	Ingresos	57
VIII.	VPN, TIR	58
IX.	Lombricultura intensiva y compostaje con lombrices	70
X.	Cantidad necesaria de lechos.....	72
XI.	Tareas y puestos de trabajo.....	79
XII.	Formación requerida	81
XIII.	Ambiente de trabajo.....	82
XIV.	Acciones y funciones de puestos.....	85
XV.	Complejidad y dificultad de puesto	86
XVI.	Riesgos operacionales.....	88
XVII.	Característicos de desechos biodegradables	90
XVIII.	Parámetros de aptitud de desechos biodegradables para el compostaje.....	91
XIX.	Criterios recomendados para la clasificación domiciliaria	94
XX.	Uso del compost en el agricultura.....	102
XXI.	Uso del compost para la horticultura, silvicultura y arquitectura del paisaje	102
XXII.	Uso del compost para hortalizas.....	103
XXIII.	Criterios de calidad para el compost.....	105
XXIV.	Riesgos para la salud causados por metales pesados	106
XXV.	Categorías de madurez para compost.....	106
XXVI.	Fracciones estándar del compost	108
XXVII.	Matriz de impactos significativos	119
XXVIII.	Parámetros para construcción de filtros biológicos.....	126
XXIX.	Contaminación de las aguas lixiviadas	127
XXX.	Área necesaria para la laguna de tratamiento de las aguas lixiviadas...	127

LISTA DE SÍMBOLOS

Símbolo	Significado
cm	Centímetros
°C	Grados Celsius
g	Gramos
g/m ³	Gramos por metro cúbico
kg	Kilogramos
kg/ m ³	Kilogramos por cada metro cúbico
kg/día	Kilogramos por día
kg/ hab/día	Kilogramos por habitante cada día
km	Kilometro
lt	Litro
lt/kg*h	Litros de aire sobre kilogramos de material seco por Cada hora
mg/kg	Miligramos por kilogramo
m	Metros
m ²	Metros cuadrados
m ³	Metros cúbicos
m ³ /día	Metros cúbicos cada día
m ³ /h	Metros cúbicos por hora
m/s	Metros por cada segundo
mm	Milímetros
N	Número de lechos
%	Porcentaje
pH	Potencial de hidrógeno

P.L.	Producción de lixiviados
C/N	Relación carbono nitrógeno
rpm/min	Revoluciones por minuto
ST	Sólidos totales
STm	Sólidos totales mojados
STs	Sólidos totales secos
SVB	Sólidos volátiles biodegradables
SVBc	Sólidos volátiles biodegradables convertidos
ton	Tonelada
ton/ m3	Tonelada por cada metro cúbico
V	Volumen acumulado de desechos sólidos

GLOSARIO

Ambiente aerobio	Un "ambiente aerobio" es aquel rico en oxígeno, a diferencia de uno anaerobio, donde el oxígeno está ausente.
Biogás	Gas combustible que se genera en medios naturales o en dispositivos específicos, por las reacciones de biodegradación de la materia orgánica, mediante la acción de microorganismos, y otros factores, en ausencia de aire.
Compost	Humus obtenido de manera natural por descomposición bio-química al favorecer la fermentación aeróbica de los residuos orgánicos.
Digestión anaeróbica	Es el proceso por el cual microorganismos descomponen material biodegradable en ausencia de oxígeno. Este proceso genera diversos gases, entre los cuales el dióxido de carbono y el metano son los más abundantes (dependiendo del material degradado).

Lombricultura	Operaciones y actividades relacionadas con la cría y producción de lombrices y el tratamiento, por medio de estas, de residuos orgánicos, para su reciclaje en forma de abonos y proteínas.
Reciclaje	Recuperar para otro uso un material que de otra manera sería considerado un desecho.
Servicio	La relación o convenio entre un sistema ofertante que proporciona unas salidas, y un sistema receptor que las admite como entradas.
Sistema	Conjunto organizado de componentes que interactúan entre sí o son independientes, formando un todo complejo, identificable y distinto, con un objetivo común.
Usuario	Toda persona natural o jurídica, que en algún momento cualquiera de las etapas del ciclo de vida, y bajo algún aspecto entra a formar parte de la trilogía hombre-sistema artificial-ambiente.
Vertederos	Lugares donde se depositan finalmente los residuos. Se clasifican en clandestinos y municipal o urbano.

RESUMEN

En el inicio del estudio se desarrolla un diagnóstico de la situación actual consecuente de la problemática del manejo de los residuos sólidos en el municipio de San Antonio Aguas Calientes del departamento de Sacatepéquez, dentro del contexto del lugar, tiempo y las personas afectadas. Asimismo, se exponen las características de una mejor situación muy distinta a la actual, concebida por la ausencia de la problemática, y se describen las tecnologías y métodos posibles de utilizar en esta solución.

Seguidamente, se avanza en el estudio de la posible solución, considerando las limitaciones en el manejo de los desechos sólidos como el reciclaje, transporte, disposición las cuales podrían delimitar el desarrollo del proyecto. Luego, se estudian las características del servicio o producto que los usuarios esperan y se determina el grado de interferencia entre las expectativas y las limitaciones, tanto ambientales como tecnológicas.

Como resultado de los análisis anteriores, se presenta el sistema solución escogido que habrá de ser desarrollado, para el cual se describe su composición interna, mediante tablas y cualidades del personal y diagramas de flujos, y su nivel de flexibilidad y adaptabilidad con respecto a los servicios deseados por los usuarios identificados.

Asimismo, se determina la estructura organizacional del proyecto, mediante el estudio los puestos, perfiles y la asignación de roles y actividades a los operadores del sistema.

Un informe ambiental es la herramienta con la que se identifican los posibles impactos del proyecto en sus diferentes etapas, con dichos resultados y dentro de la legislación ambiental aplicable al proyecto, se determinan las sugerencias pertinentes para profundizar el estudio y reducir así el impacto al ambiente.

Por último, en base al alcance poblacional del proyecto, se desarrolla un estudio financiero, que establece la inversión inicial, los flujos económicos dados por los niveles de ventas, y precios en el mercado, y los indicadores económicos que dan la pauta de la rentabilidad del proyecto.

Todo esto con el fin de que la propuesta de automatizar la planta de tratamiento con medios mecánicos que faciliten el proceso y las demás operaciones que envuelve el proceso y las actividades propias de la planta de tratamiento para un control del proceso exacto y eficiente.

OBJETIVOS

General

Proponer el diseño de automatización y control del proceso de la planta de tratamiento de desechos sólidos del municipio de San Antonio Aguas Calientes, Sacatepéquez.

Específicos

1. Evaluar los distintos procesos de tratamiento, para el adecuado manejo de los desechos sólidos de la planta de tratamiento.
2. Diseñar las especificaciones técnicas para el adecuado manejo de la planta de tratamiento, así como la conservación y mantenimiento del lugar.
3. Establecer las distintas actividades del proceso del abono creando el diagrama de operaciones del proceso, para el tratamiento de los desechos sólidos en la planta.
4. Mejorar el funcionamiento de la planta de tratamiento diseñando un sistema automatizado que facilite el manejo de los desechos sólidos.
5. Proporcionar un área de trabajo adecuado para el personal que labora dentro de la planta de tratamiento y tener un óptimo control del proceso.

6. Definir el funcionamiento óptimo bajo el cual la planta de tratamiento operará de acuerdo a la administración municipal.
7. Evaluar la inversión que producirá la venta de abono orgánico y los beneficios que estos traen a la Municipalidad.

INTRODUCCIÓN

En todo municipio las autoridades locales deben de garantizar y cumplir con el desarrollo y bienestar de toda la comunidad sin importar el grupo o sector al que pertenezcan, entre las principales áreas de acción en que las autoridades municipales deben intervenir, se encuentra la de salud y asistencia social, ornato y medio ambiente, previniendo la contaminación que se podría provocar dentro de la comunidad, esto se logra con un buen control higiénico y sanitario en todo el municipio.

Ya que una comunidad que padece de altos índices de contaminación debido al mal manejo de elementos contaminantes como basura, desechos, drenajes. Debe de revertir este efecto lo más pronto posible, antes que este aumente o provoque otros efectos debido a la falta de atención como enfermedades y contaminación ambiental.

Una comunidad donde se tenga un mal manejo de desechos sólidos y demás residuos domiciliarios puede ocasionar daños a la salud de los habitantes así como también al medio ambiente y demás recursos naturales del municipio, es por eso que es de importancia que en el municipio de San Antonio Aguas Calientes se revierta este efecto, reactivando la planta de tratamiento para poder garantizar la buena disposición y tratamiento adecuado a los desechos del municipio.

La planta de tratamiento con la que se cuenta dentro del municipio a la vez de poder brindar el servicio de disipación de basura también cuenta con el gran beneficio de poder desarrollar abono orgánico (compost) para su utilización posterior en cultivos y demás usos, lo cual beneficia a la municipalidad, aportándole un ingreso extra que permite que la planta sea auto sostenible y genere a la vez más empleo y un gran beneficio a la comunidad.

La implementación de un proceso controlado que aumente la eficiencia y facilidad de manejo para el personal por medio de sistemas mecánicos, que permitan la automatización del mismo, es la opción que mejor le conviene a la planta ya que de esta forma se puede volver a reutilizar la planta mejorando el proceso y desarrollando un ambiente de trabajo más ordenado y con menor contacto para los operadores de la planta, contando con un ambiente controlado y mitigando la posible contaminación al medio ambiente por el manejo y tratamiento de los desechos sólidos.

1. ANTECEDENTES GENERALES

1.1. Información del municipio

Municipio de San Antonio Aguas Calientes

Ubicación y localización geográfica

San Antonio Aguas Calientes se encuentra situado en la parte sudoeste del departamento de Sacatepéquez, en la región V o región central. Se localiza en la latitud 14° 32' 12" y en la longitud 90° 46' 24". Limita al norte con el municipio de Santa Catarina Barahona (Sacatepéquez); al sur con el municipio de ciudad Vieja (Sacatepéquez); al este con los municipios de ciudad Vieja y Antigua Guatemala (Sacatepéquez); y al oeste con el municipio de Santa Catarina Barahona (Sacatepéquez). Cuenta con una extensión territorial de 17 kilómetros cuadrados y se encuentra a una altura de 1 550 metros sobre el nivel del mar, por lo que generalmente su clima es templado. Se encuentra a una distancia de 8 kilómetros de la cabecera departamental de Sacatepéquez.

La Municipalidad es de 4a categoría, cuenta con un pueblo, que es la cabecera San Antonio Aguas Calientes y dos caseríos. Los caseríos son: San Andrés Caballos y Santiago Zamora.

Datos históricos

San Antonio Aguas Calientes lleva este nombre en honor a una laguna que se encontraba en sus cercanías, cuyas aguas se mantenían a una temperatura mayor a la temperatura ambiental, y que fue secándose a mediados de 1928, hasta desaparecer.

No se conoce la fecha en que fue fundado este pueblo, pero se puede decir que es progresista, sus moradores son de carácter sencillo y placentero, son muy adictos al trabajo. En la cabecera se establecieron durante algún tiempo muchas familias de Parramos que buscaron refugio con motivo de los temblores ocasionados al haber reventado el cerro El Tigre, habiendo bajado de dicho cerro torrentes de agua que arrasaron con la antigua población de Parramos.

Costumbres y tradiciones

La feria titular de este municipio es movable, ya que aquí se conmemora el Corpus Christi de acuerdo a las fechas de la Iglesia Católica. En este pueblo se celebra también el 13 de junio el día de San Antonio de Padua, patrono del lugar. Para darle realce a estas festividades se realizan bailes folklóricos de gigantes y cabezones.

Idiomas

Toda la población domina el idioma español y ya solo un 30 % de esta habla cakchiquel en su mayoría adultos.

Economía

Su economía se basa en la producción agrícola, siendo sus principales productos: café, maíz, frijol, verduras como zanahoria, remolacha, repollo y brócoli, así como diversas especies de frutas. En su producción industrial, se puede mencionar la fabricación de productos de hierro, hojalatería y muebles de madera. La producción artesanal se basa en la confección de tejidos típicos de algodón, petates de tul, productos de jarcia.

Centros turísticos y arqueológicos

Este pueblo es considerado como un centro turístico digno de ser visitado, todas las agencias de viajes en sus recorridos con turistas nacionales y extranjeros lo incluyen, porque para ellos no debe pasar desapercibida la oportunidad de visitar este lugar.

Hidrografía

Este pueblo posee una laguna llamada Quilisimate, aparte de los riachuelos que la irrigan, siendo estos Nimayá y Palax.

Orografía

Por ser un bello lugar digno de visitarse, cuenta además entre sus riquezas naturales con la montaña El Astillero y el Cerro El Tigre, los cuales rodean gran parte del municipio.

1.2. Información del proyecto inicial

La planta de tratamiento fue construida inicialmente con el fin de poder procesar los desechos producidos en los hogares en el 2002 con una vida útil de 20 años por medio del método de biodegradación microbiana y lombrices.

1.2.1. Propuesta inicial

Es necesario modificar las áreas de trabajo y el proceso productivo de compost dentro de la planta de tratamiento para optimizar el proceso y modificar las operaciones para que estas funciones de forma automatizada con un control de proceso eficiente y muy productivo para la planta.

1.2.1.1. Vida útil estimada del proyecto

Respecto al análisis poblacional, referido a las estimaciones de cantidad de desechos sólidos producidos en la cabecera municipal de San Antonio Aguas Calientes y sus proyecciones para cubrir la vida útil del proyecto (20 años o posibles más años).

Los resultados del análisis se muestran a continuación:

2012-----→ 10 215 habitantes

2033-----→ 12 560 habitantes

La tasa de crecimiento anual para Sacatepéquez es del 2 %

Producción diaria de basura: el promedio per cápita diario de generación de desechos sólidos adoptados para poblados de esta naturaleza en Sacatepéquez es de 0,446 kg/hab./día.

Cantidad de desechos sólidos, en kg/día:	4 555,89 kg/día actual
Cantidad de desechos sólidos, en kg/día:	5 601,76 kg/día futura

1.2.1.2. Zonificación del área de influencia del proyecto

El lugar de San Antonio Aguas Calientes, relativamente pequeña como lo es, no sugiere mayores necesidades de zonificación, relacionado con la recolección de los desechos sólidos. Sin embargo, la frecuencia sugerida para la recolección, de tres veces a la semana y se plantea la división de la población en dos zonas equivalentes en número para la recolección.

1.2.1.3. Tren de aseo y plan general de recolección y transporte

Se realiza una recolección domiciliar, en donde sus basuras están mezcladas, en donde es ideal la separación de basuras esto para simplificar y abaratar los procesos o etapas subsiguientes, fuera de representar economías que redundarían en una rebaja de la cuota o tarifa propuesta.

Para el período de diseño de la planta es necesario verificar las camionadas durante los periodos de cinco años, es decir verificar a cada cinco años las camionadas de recolección con la siguiente fórmula:

$$\text{Volumen m}^3/\text{día} = (\text{Núm. habitantes}) (\text{Producción per cápita})/\text{densidad}$$

Donde la densidad de basura suelta, para Sacatepéquez se tendrá que investigar con relación a la información que se recolecta en la planta de tratamiento para ver si esta es capaz de procesar el total de desechos

recolectados que se proyecten para ese período. También se recomienda dar por concesión el tren de aseo, es decir que la recolección sea privada.

1.2.2. Sistema tarifario y forma de cobro

Actualmente no existe un normativo de investigación económico sobre las cuotas por recolección domiciliar de basuras, por otra parte, en este tipo de poblados se aplican tasas municipales por servicio de agua potable, recolección de basuras y luz eléctrica entre otras y son bastante bajas, más la alta morosidad en el pago de los servicios, siendo estos considerados como vitales, ya que perjudicaría el presupuesto municipal. Por tal razón se recomienda un reglamento de basuras para el municipio de San Antonio Aguas Calientes, en donde se debe establecer el pago de una tarifa por recolección de basuras y así mismo, se tendrá que proponer tarifas subsidiarias y tarifas de exceso.

1.2.3. Composición de la basura

Los desechos sólidos están constituidos de dos tipos de basura, la orgánica y la inorgánica, de estos dos tipos de desechos es necesario conocer la composición de cada una para definir cuál es útil para el proceso de producción de compost y cuál puede ser reciclado y reutilizado esto se muestra en la tabla I.

Tabla I. **Composición de la basura**

Composición de la basura	Comercial	Altos	Medios	Bajos	Promedio
1. Orgánicos					
Textiles Orgánicos	0%	0%	0%	0%	0%
Papel y Cartón	5%	10%	3%	2%	8%
Madera	10%	5%	3%	2%	5%
Desechos de Comida	50%	11%	14%	10%	25%
Total Orgánicos	75%	62%	54%	54%	58%
2. Inorgánicos					
Vidrios	8%	3%	4%	1%	4%
Metales	5%	1%	2%	2%	3%
Plásticos	10%	3%	5%	2%	5%
Textiles Sintéticos	2%	0%	1%	1%	2%
Total Inorgánicos	25%	38%	46%	46%	42%
TOTAL	100%	100%	100%	100%	100%

Fuente: elaboración propia.

1.2.4. Diseño del subsistema de tratamiento de desechos

El tratamiento se diseñó, siguiendo un proceso de biodegradación aerobio o compostaje por sus características de termófila (60-70 grados Celsius) que eliminan agentes patógeno y produce compost, un acondicionador de suelos degradados, con cierta demanda comprobada.

El conjunto de la planta de tratamiento –cámaras de compostaje pilas, se ubican preferentemente, en la parte alta topográficamente, debiendo contar con una pequeña edificación para oficina o como garita de control, además de las pilas (módulos de cámaras de compostaje). No se considera necesario contar con una báscula, dado la escala del proyecto, bastará con conocer los volúmenes y pesos de la basura por camión, inicialmente.

En la planta de tratamiento se contemplan mesas de selección, un área de procesamiento de los objetos recuperados (prensado, quebrado, molido, sobre selección,) y almacenaje dividido en varios grupos: metales (ferrosos y no ferrosos), plásticos (duros y suaves o nuzados/aglomerados), vidrios y papel y cartón.

La porción orgánica remanente, todavía con abundante material inorgánico pasa la separación y luego pasa a las cámaras de compostaje pilas, por medio de un sistema de bandas transportadoras que permitirán trasladar los elementos ya seleccionados hacia los depósitos, donde se desarrolla el proceso de biodegradación aerobia (compostaje).

1.2.5. Clasificación y separación de materiales

Al haber concebido y diseñado un sistema centrado en el tratamiento de la porción orgánica putrescible, por ser está mayoritario (cerca del 75 % en peso del total de las basuras producidas) y por otro lado, en la reutilización del material orgánico e inorgánico, hasta donde sea posible, el proceso de selección de las basuras se hace indispensable.

Así, sean separados los desechos sólidos en el origen o no, el sistema conlleva una selección de objetos recuperables, previo tratamiento, sobre mesas de concreto receptoras directas de las basuras frescas. La selección se efectúa a mano, separando, plásticos, metales, vidrios y papel / cartón, principalmente (baterías eléctricas y otro tipo de desechos peligrosos, especialmente separados y dispuestos adecuadamente).

1.2.6. Compostaje de desechos orgánicos

El compostaje se desarrolla en dos etapas para asegurar suficiente homogeneidad en la biodegradación, mediando varios volteos para esos efectos, en una pila a otra (en serie). En paralelo, se desarrolla una serie de pilas hasta alcanzar el volumen necesario para cubrir de 30 a 45 días de recolección continúa, que corresponden al tiempo de residencia de la primera etapa.

Así, antes de terminar de llenar la serie de pilas de la primera etapa, las primeras 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 pilas se vacían, descargando el material ya compostado se almacena y para su ulterior tamizado (mecánico y / o manual) y ensacado, para la venta. El material de rechazo, todavía voluminoso (aunque de poco peso) se traslada en carretón, al relleno (pozo ciego) aledaño. Los volúmenes, resultantes de los cálculos para las cámaras, vistas unitariamente o en su conjunto, son las siguientes:

Basuras ingresadas cada día en los primeros 5 años: 4 370,80 kilogramos por día. El volumen correspondiente sería de 84,89 metros cúbicos por semana.

Al considerar la merma de volumen, conforme avanza el proceso de compostaje, lo cual deja mayor capacidad en la segunda etapa del proceso, principalmente, los volúmenes y áreas de construcción proyectadas resultan más que suficientes para los efectos del tratamiento.

Así, la producción de compost se ve mermada por las siguientes pérdidas en peso:

Por evaporación / reducción de la humedad y gasificación (producción de CO₂). Por volumen que ocupan los residuos no aprovechables.

El total recuperable se estima, entonces, es un 25 a 30 por ciento del total recolectado (en peso) o sea entre 51,48 y 55 metros cúbicos por semana de compost.

1.2.6.1. Tratamiento inicial de los desechos

Para determinar cuál será la producción total de compost dentro de la planta de tratamiento es necesario estimar, en base a la población y producción de desechos generados en el origen para poder tener una base estimada de producción total de compost y los factores que están relacionadas con la composición y elementos que influyen en el tratamiento.

Tabla II. **Memoria de cálculo**

Datos	Cantidad
Población Actual	10 215 hab.
Camionadas por Semana	4 a la semana
Volumen por camionada	7 m ³
Clima	Templado
Producción Per Cápita Por día de basura (para Sacatepéquez)	0,466 kg/hab./día
Densidad de basura suelta (para Sacatepéquez)	270,226 kg/m ³
Tipos de Basura:	Porcentajes
Orgánica	75% de la producción
Inorgánica	25% de la producción
Cantidad de desechos sólidos, en Kg/día(P):	4 760,19 kg/día

Fuente: elaboración propia.

Tratamiento a la basura:

Frecuencia de volteo: 4 meses

Humedad: vueltas a intervalos de tres días con un total entre 40 y 60 por ciento de 3 a 4 vueltas. Abajo del 40 por ciento agregar agua. Voltear todos los días hasta bajarla a un 70 o arriba del 70 por ciento.

1.2.6.2. Tiempo requerido para efectuar la estabilización del compost

El compost logra una estabilización óptima durante el proceso de producción a los 21 días de estar dentro de los vertederos de contención y

alcanzar un porcentaje de relación carbono nitrógeno de un 78 por ciento, esto va evolucionando como se muestra a continuación.

Tabla III. **Tiempo aproximado de compostaje**

% C/N	Días
20	9-12
30-50	10-16
78	21

Fuente: elaboración propia.

1.2.6.3. Producción final de compost

La masa de sólidos totales (ST): 12 238,24 kg

La masa de sólidos volátiles biodegradables (SVB): 7 024,75 kg.

Sólidos volátiles biodegradables convertidos (SVBc): 6 673,51 kg.

Sólidos totales secos (STs): 5 564,73 kg.

Sólidos totales mojados (STm): 13 911,83 kg.

Masa final de compost: volumen = 51,48 m³/semanal

1.2.6.4. Producción de lixiviados

Masa de solidos: 11 626,33 kg

Volumen del agua: 18 969,27 lt.

FC = 6 975,8 lt. De agua

P.L. = Volumen del agua - FC

P.L. = (18 969,27 - 6 975,8) Lt.

P.L. = 11 993,47 lt.

1.3. Diseño del subsistema de disposición final

El compostaje se define en términos generales, como la descomposición biológica de la materia orgánica y que tiende a producir un humus estabilizado que se puede aprovechar para mejorar la fertilidad de los terrenos agrícolas. Se le conoce también con el nombre de digestión bacteriana.

1.3.1. Teoría básica del compostaje

El compostaje o sea el proceso de degradación microbiana de sólidos orgánicos por medio de una respiración aeróbica, pasando por una fase termofilica, tiene los siguientes objetivos.

-Reducción de masa y volumen de los residuos, al volatilizarse parte del carbono orgánico como dióxido de carbono y compactarse el conjunto convirtiéndose en un material más homogéneo.

Mejoramiento de la calidad de vida de la población al eliminarse focos de contaminación dentro de la comunidad.

Conversión de materiales de desecho en productos útiles con un significativo valor económico agregado, y la reutilización de otros materiales.

Cierre del ciclo de la materia orgánica, permitiendo reincorporar materiales que actualmente se pierde.

1.3.2. El proceso del compostaje

Prácticamente el proceso se inicia en el momento en que se dispone de un material orgánico listo para fermentarse. El material orgánico preparado contiene una población grande de hongos y bacterias. Estos microorganismos se desarrollan e inician el proceso de descomposición en el momento en que se presentan condiciones favorables de humedad, temperatura y aireación.

La misma actividad microbiana producirá un aumento en la temperatura como consecuencia de las oxidaciones biológicas exotérmicas. La temperatura irá en aumento a medida que el proceso biológico se desarrolle y la escasa conductividad térmica de la masa en fermentación permitirá su conservación. La pila se irá enfriando posteriormente a medida que disminuya la descomposición.

1.3.3. Condiciones atmosféricas

Las condiciones atmosféricas que más influyen en el proceso de compost son, la temperatura, el viento y la lluvia.

La temperatura: puede causar algún tipo de problema ya que para una baja temperatura se recomienda proponer al respecto, variar el volumen dentro de las pilas, reduciendo la pérdida de calor en tiempo frío por aumento del tamaño de las pilas o montones a más del doble de basura.

Viento: un viento muy fuerte tiene un doble efecto en el proceso del compost, baja la temperatura y aumenta la evaporación y en consecuencia, el secado del material, especialmente del lado donde pega el viento, esto se puede controlar de dos formas, mojando la superficie de la pila que recibe directamente la acción del viento.

Lluvia: esta no causa un efecto serio en el proceso y si acaso llega a penetrar, lógicamente aumenta el contenido de humedad, con las consecuencias ya descritas. La lluvia se puede evitar ya sea rodeando la parte superior de la pila para permitir un rápido escurrimiento por la superficie y que la pila tenga un drenaje apropiado para una eliminación rápida y evitar la acumulación del agua de lluvia y la otra forma es poner una cubierta de protección.

1.3.4. Equipo de operación

Herramientas y equipos: para la operación del sistema de compostaje, el equipo necesario se reduce al empleo de herramientas o utensilios de albañilería, tales como: coches de llantas neumáticas (carretones), palas, azadones, pisones de madera, y al uso de horquillas o rastrillos, la cantidad de estas herramientas es función del número de trabajadores, y éstos a su vez dependen de la cantidad de desechos sólidos.

1.3.5. Operación

Operación de la planta: para la exitosa operación del sistema proyectado, debe programarse y realizarse aisladamente la clausura de botaderos tradicionales existente.

Para la operación de clausuras de botaderos, deben seguirse las siguientes instrucciones:

Realizar un programa de exterminio de roedores y artrópodos, si esta etapa no se realiza, es posible que estos roedores al no disponer de guardia, por la clausura, emigren a las viviendas vecinas, con las consiguientes riesgos y problemas.

Colocar avisos informando a la comunidad sobre la rehabilitación de la existente planta de tratamiento de desechos sólidos.

Comunicar en especial a aquellos comerciantes que ocasionalmente contratan un vehículo para que les boten los desechos domiciliarios que en gran cantidad pueden producir, y así se dirijan nuevamente a este sitio y depositen allí sus desechos.

Colocar avisos informando a la ciudadanía de las sanciones que se aplicarán a quienes infrinjan las normas dictadas al respecto.

Disciplina dentro de la planta de tratamiento: los trabajadores de la planta de tratamiento de desechos sólidos, deben ser organizados y mantenidos con disciplina, para alcanzar los objetivos propuestos. Esto se logra a través de:

- Control del ingreso de residuos sólidos (entrada principal),
- Separación de los residuos sólidos (vidrio, plástico, papel), control del flujo de vehículos y personas,
- Orientación del tráfico y descarga,
- Control del tamaño de residuos sólidos,
- Distribución adecuada del programa de trabajo (tener un supervisor),
- Velar por el buen mantenimiento de las herramientas y dotación de implementos de protección de los trabajadores (supervisor).

Las vías de acceso, patio de separación y pilas de compostaje, deben mantenerse en buenas condiciones operativas. Al llegar al patio de separación, los vehículos deben ser orientados para descargar lo más cerca posible al frente del área de trabajo, el patio debe ser organizado y limpio.

La vigilancia debe impedir el ingreso de animales y personas extrañas, hacia las planta de trabajo y hacia el sistema de compostaje.

Uno de los elementos más importantes en la planta de tratamiento de desechos sólidos, es un supervisor que organice, dirija y controle las operaciones y que cuente además con todo el respaldo de la administración municipal.

1.4. Situación actual de la planta de tratamiento

Esta se encuentra en rehabilitación debido al abandono sufrido por una mala administración municipal en un período anterior, esta no tuvo el uso adecuado ni se continuó con la producción de compost por lo que se convirtió en un vertedero de desechos sólidos, los cuales ya no fueron tratados.

1.4.1. Instalaciones

Las instalaciones de la planta de tratamiento del municipio de San Antonio Aguas Calientes, fueron diseñados inicialmente para el procesamiento de los desechos sólidos domiciliarios para la producción de compost con una calidad aceptable dentro del mercado en el cual se pretende comercializar.

Estas presentan actualmente un desorden, destrucción y contaminación derivada de la falta de mantenimiento y mala utilización de la misma.

1.4.2. Tanques de procesamiento

Los tanques que inicialmente fueron construidos para el almacenamiento y procesamiento de los desechos domiciliarios que ingresaran a la planta de

tratamiento para que ingresaran al proceso de compostaje, se encuentra deshabilitados debido a la mala utilización de las mismas.

Estos debían mantener la capacidad máxima en cada tanque para que el proceso de composta de fuera dando de manera ordenada, llevando el control de cada una de las operaciones e inspecciones hasta que este llegara a su estado de producción final.

Al no utilizar de manera adecuada los tanques estos pasaron a ser depósitos de basura sin poder tratarla de una manera adecuada, estos deben ser primeramente desocupados y darles el tratamiento adecuado para adaptarlos al nuevo sistema a instalar, ya que en su estado actual estos impiden que se inicie un nuevo proyecto de tratamiento de desechos sólidos.

1.4.3. Maquinaria y equipo

La planta de tratamiento de desechos sólidos, cuenta con un camión para la recolección de los mismos, a la vez dentro de las instalaciones se encuentra una procesadora de desechos la cual en su estado inicial ayudaba a desmenuzar los desechos para que estos ingresaran a los tanques en una cantidad más reducida y casi desecha.

Estos equipos al igual que las herramientas de campo como palas, azadones, carretas. Al dejar de ser utilizados necesitan de un mantenimiento para volverlos a reactivar dentro de la planta de tratamiento, estos equipos no se descartan para el manejo del nuevo sistema de producción de compost, ya que son necesarios dentro del proceso, solo se necesitan volverlos a poner en funcionamiento previo a una revisión y mantenimiento de los mismos.

2. EVALUACIÓN

2.1. Manejo de desechos sólidos

De ser ejecutada una solución eficaz para el manejo de desechos sólidos por un medio automatizado que permita el control eficiente del proceso, ¿Cuáles serían las posibles herramientas a utilizar? a continuación se abordan algunos aspectos relevantes a considerar de cada una estas herramientas.

2.1.1. Recolección

Es necesario establecer que para el proceso de recolección de desechos, se tomara en cuenta la demanda exigida por los usuarios, otra parte importante es el grado de tecnificación o especialización de los equipos a utilizar para la recolección. Los métodos que se adaptan para el proceso de recolección se clasifican en mecanizados, semimecanizados y métodos manuales.

Los métodos mecanizados y semimecanizados, se utilizan mayormente en zonas altamente urbanizadas, mientras que los métodos manuales son más utilizados en áreas de difícil acceso, así como en ubicaciones meramente rurales.

Debido a la ubicación de la planta de tratamiento y a la distribución de las principales calles de la población el método de recolección que mejor se adapta al proyecto es el de tipo manual.

2.1.2. Transporte

El traslado de los desechos sólidos desde las fuentes de origen hacia la planta de tratamiento se realizara con equipos no convencionales para la recolección de residuos sólidos, estos tipos de vehículos se utilizaran para la prestación del servicio de recolección, los cuales no presentan las características de ser equipos especializados y de alta tecnificación.

La ubicación de la planta de tratamiento y la distribución y tamaño de las calles del no permite utilizar equipos especializados debidos al tamaño de estos y por la falta de una cultura de reciclaje dentro de la población no es factible usar vehículos de alta tecnificación ya que en estos se depositan los residuos domiciliarios ya clasificados y son tratados directamente dentro de ellos.

Los vehículos a usar son 2 camiones con una capacidad de 2,5 toneladas los cuales dispondrán de una carrocería trasera de madera para la fácil disipación de olores dentro del camión.

2.1.3. Clasificación

El proceso de clasificación puede ser efectuada, tanto desde el origen de los desechos (vivienda, industria) como en el destino luego de la recolección y transporte del mismo. Si los residuos se separan desde el origen, se elimina la etapa de clasificación, lo cual genera ahorros en los costos de operación manual o mecánica.

Algunos de los residuos que se deberían separar desde el origen son:

- Residuos alimenticios: separación en vivienda

- Papel cartón: separación en vivienda
- Plástico: separación en vivienda
- Metales ferrosos: separación en vivienda
- Metales no ferrosos: en centros de reciclaje local o en un centro de acopio.
- Vidrio: reciclado comunitario en centros de acopio, con la debida separación desde la vivienda.

Los demás desechos domésticos que pueden ser depositados en centros de acopio son:

- Residuos voluminosos (muebles, cubiertas de vehículo)
- Residuos de jardín
- Residuos domésticos peligrosos

La separación desde el origen del desecho permite un manejo menos complicado de los residuos previo a las etapas de tratamientos, sin embargo la complejidad de todo el proceso se traslada a las funciones de recolección y transporte.

El nivel y el tipo de separación desde el origen dependerán de la actitud de la personas y del uso final dentro de la planta de tratamiento. Idealmente, el papel, vidrio y los metales no ferrosos pudieran ser reciclados.

Si el tratamiento a seguir sobre los desechos es el de incineración, estos se deben separar según su comportamiento a la incineración como combustibles y no combustibles. Si la fracción alimenticia se va a transformar en biogás y compost, entonces esta tendrá que ser separada de los plásticos y

de las fracciones no biodegradables ya que estos no son capaces de adaptarse al proceso de descomposición y compostaje.

La separación dentro de la planta de tratamiento de desechos implica ciertos riesgos sanitarios asociados con la separación manual. La separación por un medio mecánico, por otro lado, funciona mejor si estos tienen conjuntos de residuos con propiedades físicas similares bien definidas, por ejemplo, tamaño, material, densidad,

Por otra parte, en la práctica se presentan muchas dificultades para la separación dentro de la planta de tratamiento de desechos, sobre todo con los residuos húmedos. El sistema de separación principal tanto si es mecánica o manual, produce distintos tipos de residuos que no son tan limpios, como cuando estos se separan desde el origen.

Un método de separación sería utilizando separadores magnéticos para separar los componentes ferrosos de los no ferrosos. También se utilizan sistemas como pantallas vibratorias o rotatorias para separar los residuos por tamaño. Para separar los materiales de mayor peso de los ligeros se usan mecanismos de pantallas de aire o de balística.

Para facilitar la clasificación desde el origen y la recolección de los materiales para su apropiado tratamiento, se tienen distintos sistemas, también existen entidades que optan por establecer su propio sistema de clasificación, unos de estos métodos muy útil y simple está basado en colores, como ejemplo, se puede citar la clasificación NTC ICONTEC GTC 024:

Aprovechables o reciclables: (recipiente de color azul, blanco o gris); los desechos a depositar en este recipiente son: cartón, papel de archivo, periódico, envases plásticos, envases de vidrio, latas,

No reciclables (recipiente de color verde): en este se depositan desechos como: polvo, servilletas sucias, papel metalizado, papel contaminado.

Orgánicos (recipiente de color beige): en este van todos los desechos a utilizar para realizar el proceso de compostaje: restos de alimento sin procesar, restos de alimento procesado, plantas, restos de poda.

Peligrosos (recipiente de color rojo): en estos están incluidos los medicamentos vencidos, cuchillas de afeitar, baterías usadas, vidrios rotos.

Asimismo, la clasificación puede hacerse en las siguientes categorías:

Papel y cartón, latas de aluminio (bebidas gaseosas); botellas plásticas (PET); residuos orgánicos (fruta, hojas, residuos de jardinería, polvillo, papel no reciclable,); residuos de vidrio (envases, bombillas); residuos metálicos; aceites usados.

Para otro tipo de residuos, más voluminosos, se sugiere un destino específico: madera (de muebles, jardinería, pallets); restos de demolición (conocido como ripio) estos pueden ser depositados en algún terreno para relleno o acumulación del mismo.

2.1.4. Reciclaje

Entre los elementos que son aptos para el reciclaje se pueden mencionar: latas de aluminio, metales, papel y cartón, vidrio, plásticos, PET, residuos de jardín, restos de alimentos.

Con el reciclaje de los elementos mencionados ya sea desde la fuente de origen o el preacondicionamiento dentro de la planta de tratamiento los elementos clasificados se recuperan con el fin de reutilizarlos de otra manera o muy bien venderlos para su reproceso en las fábricas donde estos puedan ser útiles.

2.1.5. Proceso de degradación microbiana

La agricultura dentro del municipio se encuentra en una etapa de cambio debido, principalmente, al desarrollo de una mayor conciencia ambiental dentro de la sociedad. En este sentido el empleo de biofertilizantes ha ganado un buen campo dentro de este sector de la comunidad. Dentro de las diversas opciones de biofertilizantes, por su facilidad de manufactura y bajo costo, la composta es la más beneficiosa para la agricultura local.

La composta es un abono orgánico el cual se pretende formar dentro de la planta de tratamiento por medio del proceso de degradación microbiana de materiales acomodados en capas y sometidas a un proceso de descomposición; los microorganismos que llevan a cabo la descomposición o mineralización de los materiales ocurren de manera natural en el ambiente; el método para producir este tipo de abono es económico y fácil de implementar, ya que la materia prima son residuos orgánicos los cuales al acomodar en pilas generan un ambiente de digestión anaeróbica, este ambiente genera

microorganismos que descomponen el material biodegradable en ausencia de oxígeno.

2.2. Tratamientos

Se pretende realizar tratamientos a los desechos desde la recepción de los mismos en el origen de estos, con esto se pretende desarrollar operaciones que garanticen un proceso de producción eficiente y una clasificación óptima de los desechos para obtener la materia adecuada para el proceso y así separar todos aquellos materiales foráneos que no beneficien el proceso de producción de compost.

2.2.1. Reutilización y reciclaje

Entre los residuos domiciliarios e industriales que son aptos para el reciclaje se pueden mencionar: latas de aluminio, papel y cartón, vidrio, plásticos, residuos de jardín, restos de alimentos.

2.2.2. Compostaje biológico

Es un proceso aerobio, en el que los microorganismos subsisten en un medio oxigenado, estos descomponen los residuos orgánicos de los alimentos y demás desechos orgánicos. Los nutrientes inorgánicos esenciales para el desarrollo de este proceso son nitrógeno, fósforo, azufre, potasio, magnesio, calcio y sodio.

Estos aparecen normalmente si se utilizan las mezclas correctas de residuos.

El método más adecuado para la producción de este sería la utilización en serie de la pila estática aireada, en el que los residuos se agrupan en pilas de 1 a 2 metros de altura, 4 metros de ancho y 15 metros de longitud, se ponen sobre suelos con sistemas de ventilación por tubos perforados para su aireado el cual se suministra a intervalos regulares, para reducir los olores, el compost se cubrirá con un estabilizador.

El producto final es un compost que consta de minerales y humus (material orgánico complejo).

2.2.3. Lombricultura biológico

Esta técnica consiste en la crianza y producción de lombrices, el tratamiento, que se produce por medio de estas para la descomposición de los residuos orgánicos para su reciclaje se da en forma de abonos y proteínas ricos en nutrientes para el suelo.

Dicha proceso se basa en la crianza intensiva de lombrices para la producción de humus a partir de un compuesto orgánico. Es un proceso de descomposición natural, similar al compostaje, en el que la materia orgánica, no solamente es atacada por los microorganismos existentes en el medio natural como hongos, bacterias, actinomiceto, levaduras, sino también lo es por el complejo sistema digestivo de la lombriz a utilizar.

Dentro del organismo de estos, específicamente en el intestino de la lombriz ocurren procesos de fraccionamiento, desdoblamiento, síntesis y enriquecimiento enzimático y microbiano, lo cual aumenta la velocidad de degradación y mineralización de los residuos, obteniendo un producto de alta calidad. Los niveles de pérdida de nutrientes como nitrógeno, potasio, son

mínimos con relación a los sistemas tradicionales de compostaje. El resultado son dos productos de alta calidad: el humus y las lombrices.

El humus se compone de enzimas, ácidos húmicos, ácidos fúlvicos, huminas y ulminas, que permiten mejorar la estructura del suelo, debido a que actúan como cementantes de unión entre las partículas del suelo, dando origen a estructuras granulares uniformes que permiten un óptimo desarrollo radicular mejora el intercambio gaseoso, aumenta la oxidación de la materia orgánica y por ello la disponibilidad de nutrientes en formas asimilables, estimulando así el crecimiento vegetal. Su relación carbono/nitrógeno es muy favorable, esto lo diferencia de la variedad de abonos orgánicos, permitiendo una mejor disponibilidad de nitrógeno para la planta, reduciendo también su lixiviación.

2.2.4. Biogás proceso biológico

Uno de los beneficios que presenta el proceso de compostaje es que dentro del mismo se presenta un proceso de digestión anaerobia el cual es afectado si la clasificación de los residuos sólidos es inadecuada, debido a la presencia de plásticos, vidrios, textiles, metales, Por lo que es muy importante una correcta separación de la materia orgánica.

El producto final de mayor beneficio en el proceso biológico producido por la digestión anaerobia es el metano, aunque también se obtienen otros productos como lodos que puede utilizarse como abonos fertilizantes y como a condicionantes de suelos, dióxido de carbono, trazas de amoníaco, sulfuro de hidrógeno.

2.3. Disposición

El vertedero es el espacio donde se llevará a cabo la descomposición de los residuos sólidos este es el método más tradicional para la eliminación de residuos. En las prácticas modernas de vertido se contemplan programas de seguimiento de los residuos entrantes, para gases, lixiviado, esto, con el fin principal de controlar la contaminación de los alrededores, especialmente las aguas subterráneas, las superficiales y de la atmósfera.

El parámetro clave a tomar en cuenta dentro de la planta de tratamiento en los vertederos es obtener una impermeabilidad de diez a nueve metros sobre segundo, para así prevenir la penetración de lixiviado. El lixiviado es el líquido acuoso que se filtrará de los vertederos, ya que este se produce por las infiltraciones de lluvia y de las porciones húmedas del residuo. Existen dos tipos de vertederos, dadas sus características de ingeniería: vertederos de atenuación y dispersión y vertederos de contención, ambos serán utilizados dentro de la planta de tratamiento.

2.3.1. Vertederos de atenuación y dispersión

La disposición inicial de los residuos sólidos al ingresar dentro de la planta de tratamiento tendrán una disposición inicial antes de iniciar la etapa de degradación microbiana para generar el compost, esto se llevará a cabo dentro de un vertedero de atenuación y dispersión ya que esta tiene la característica que en su forma de vertido tradicional, los mecanismos de atenuación son de dilución y dispersión, a través de poros y de microfisuras en las zonas saturadas subyacentes. En este vertedero no es posible controlar o rastrear los contaminantes del lixiviado, es por eso que se seguirá manejando con los vertederos que ya cuenta la planta para la preparación de los residuos sólidos.

2.3.2. Vertederos de contención

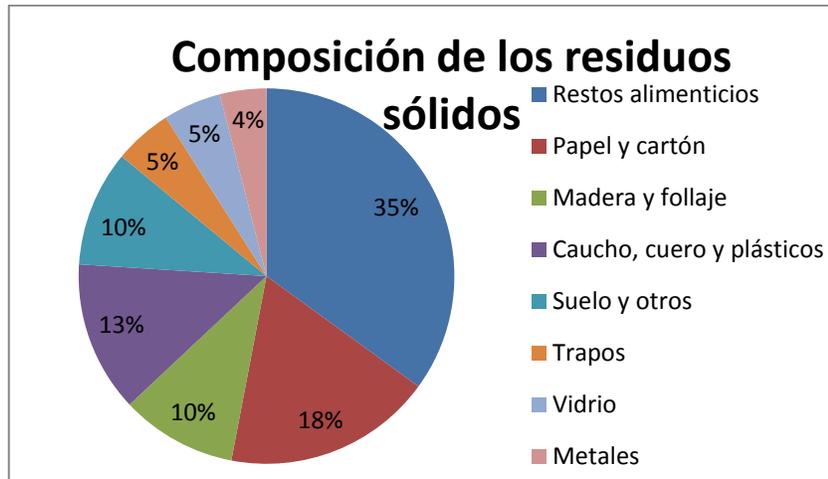
Previo a la dilución y dispersión obtenida de lixiviados y demás elementos que no son provechos para la creación de compost se trasladan los desechos al vertedero de contención, los cuales están conectados por medio de una compuerta para su vertido final. Luego los residuos, su lixiviado y el gas se aíslan del ambiente. La contención se logra, tanto por un recubrimiento con fondo de arcilla. Cuenta con instalaciones para la recogida de gas y su eliminación, y esto debe ser controlado periódicamente, dependiendo de la producción de gas en el día.

2.4. Tareas a realizar por personas y maquinas

La solución a poner en práctica, tiene la finalidad de contribuir con la administración integral del manejo de los desechos sólidos mediante la implementación de procesos de efectividad y productividad a comprobar, inicialmente, este sistema trabajara en conjunto con la municipalidad a cargo de la planta de tratamiento la cual se encarga de la gestión integrada como recolección, transporte y reciclaje.

La implementación del proyecto se desarrollará en el área rural del municipio de San Antonio Aguas Calientes del departamento de Sacatepéquez, en este se determinará un punto geográfico estratégico, en el que converjan rutas, cuente con vías de acceso y permita el alcance a las distintas zonas del municipio. Un primer informe actual sobre residuos domiciliarios expone que la composición de los residuos de la siguiente manera:

Figura 1. **Composición de los residuos sólidos**



Fuente: elaboración propia.

Se puede observar que de la cantidad total, los residuos orgánicos son los que ocupan el 45 por ciento (restos alimenticios y madera y follaje) de los desechos y los inorgánicos reciclables llegan al 40 por ciento (papel y cartón, caucho, cuero y plásticos, vidrio y metales), de manera que, las prestaciones que este sistema va a proporcionar se ven encaminadas al manejo de estos residuos, para los que se han determinado opciones de tratamiento bastante viables y que aportan grandes beneficios.

Una vez se haya materializado la iniciativa, podrán obtenerse resultados positivos en el medio ambiente, logrados por la cantidad de residuos que el sistema sea capaz de manejar y tratar. Económicamente habrá beneficios, logrados por la comercialización de los subproductos resultantes de los procesos y por los potenciales servicios a prestar a otras entidades activas en el mismo mercado.

De la misma manera, se pretende iniciar un cambio a nivel social, promoviendo hábitos de separación de los residuos en el origen, es decir, desde las viviendas e instituciones, e inyectar esa responsabilidad individual en los habitantes del municipio.

El éxito técnico de la solución implementada se medirá, primeramente con la cantidad de procesos o unidades operativas validadas en sus etapas de diseño, instalación y operación. Seguidamente se evaluará la productividad del desempeño de los procesos, a través de índices numéricos de eficiencias y cantidades de producto procesado.

Se calificarán las relaciones que el proyecto tenga con otras entidades que desarrollen funciones complementarias, así como los índices de cumplimiento en el caso que el sistema propuesto se convierta en proveedor de insumos.

También se tendrá como parámetro de evaluación el alcance que el sistema logre dada su localización estratégica, la participación dentro del mercado y la cobertura de servicio.

3. PROPUESTA

3.1. Entrada de desechos sólidos

Sería necesaria la existencia de una balanza y de un registro para los materiales que llegan a la planta de compostaje (para esto también se recomienda una construcción junto al relleno para la instalación de la balanza y el centro de registro de residuos).

Los vertederos de descarga de residuos pueden ser construidos con profundidad o en la superficie. La operación de los vertederos superficiales o áreas planas de descarga se realiza con cargadores a ruedas (para plantas grandes) o manualmente (en plantas pequeñas). Para vertederos profundos se necesita una grúa, para el caso particular la descarga se puede desarrollar de forma manual desde el vehículo que transporta los mismos.

La ventaja de un vertedero profundo consiste en mejores condiciones higiénicas, un mejor ambiente de trabajo para los operadores y el asunto que los recolectores no impidan la operación. Para plantas pequeñas y medianas, no se justifican los costos de operación con un vertedero profundo y grúa.

La ventaja de vertederos superficiales o áreas abiertas de descarga son:

- Supervisión más fácil
- Menores costos en su construcción
- Menor generación de aguas lixiviadas
- Posibilidad de trabajar manualmente

Algo que si hay que tener presente es que la contaminación olfativa es más elevada para este tipo de sistema ya que la exposición de los residuos está abierta al medio ambiente.

La municipalidad tiene que hacer la selección según sus propios criterios (especialmente: aspectos de presupuesto contra necesidades ambientales). Para evitar una contaminación demasiado alta de olor, hay que vaciar los vertederos o áreas de descarga al menos una vez por día. La capacidad de los vertederos o áreas de descarga puede variar entre 100 a 300 por ciento de la capacidad diaria. La decisión sobre la redundancia necesaria debe hacerse según el horario de recolección y descarga, la disponibilidad del terreno y los costos de rehabilitación de esta, considerando la eventualidad de que la planta de compostaje pueda encontrarse fuera de servicio durante uno o más días.

3.1.1. Preacondicionamiento

El preacondicionamiento consiste en la clasificación manual adecuada de los desechos a procesar y los materiales reciclables, para que estos no dañen el proceso ni tampoco generen líquidos lixiviados en cantidades elevadas, es necesario darle el trato adecuado a los residuos para que los desechos ingresen al proceso en un tamaño y dimensión adecuada.

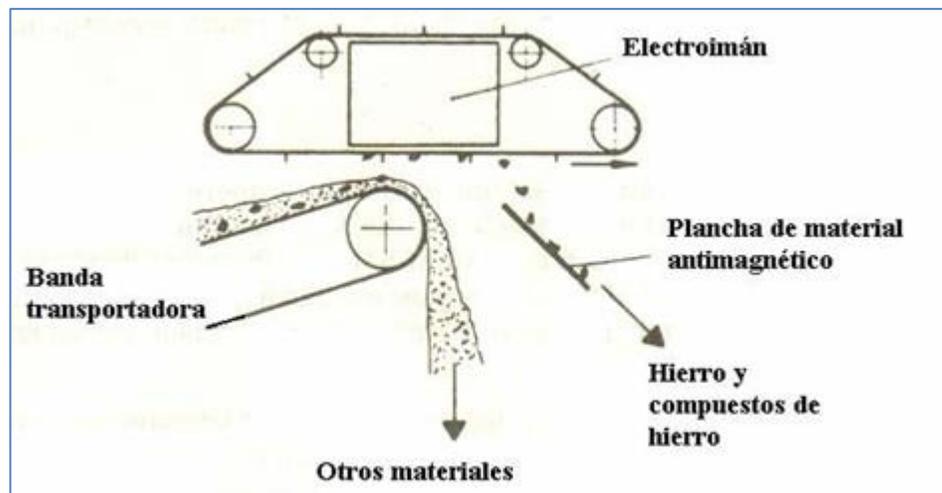
Es importante tomar en cuenta que si existiera una separación desde el origen de los desechos, esto cambia fundamentalmente la composición de los desechos que ingresan. Además de la clasificación en fracciones, se deben separar los siguientes materiales de la fracción compostable:

- Ceniza (la ceniza aumenta la tasa de relación carbono-nitrógeno, impide al proceso de compostaje y perjudica a la calidad del producto)

- Plásticos (no son compostables y disminuyen la calidad del abono)
- Vidrio (por la misma razón de los plásticos)
- Metales (razón similares que los plásticos)
- Materiales voluminosos (en general, estos materiales forman la fracción reciclable)

Los metales se pueden separar con ayuda de un electroimán. El principio de la función del electroimán se muestra en la figura 2.

Figura 2. **Funcionamiento del electroimán**



Fuente: images.google.es. Consulta: 13 de febrero de 2013.

En este proceso los plásticos y vidrios gruesos se separan generalmente con la fracción reciclable; los finos se pueden separar mecánicamente o manualmente del producto listo después del proceso terminado.

3.1.2. Clasificación manual

En el vertedero o el área de descarga se puede realizar una clasificación previa de los residuos, donde se recogen materias de dimensiones grandes no biodegradables (productos eléctricos, recipientes de plástico o metal, botellas). Para este tipo de planta de compostaje completamente manual, es recomendable que se recojan todos los materiales no biodegradables antes de que se desmenucen los desechos.

También se necesita abrir los costales y las bolsas de plástico donde va depositada la basura y sacar los materiales metálicos. Se puede utilizar un imán manual junto a un palo para ese trabajo. Se necesita separar de la fracción a compostar toda clase de desechos peligrosos (los más comunes a dentro de los desechos domiciliarios: baterías alcalinas, residuos de medicamentos, pinturas, solventes).

3.1.3. Trituración de desechos

Para el compostaje de residuos domiciliarios, es necesario desmenuzar los trozos más grandes que podrían obstruir durante el proceso de biodegradación. La trituración de los elementos más grandes es especialmente importante para desechos groseros extraídos de los terrenos o parques.

La objetivo es reducir el tamaño de los desechos es el de aumentar la superficie específica y, por consecuencia. La capacidad de contener aire y agua para facilitar el proceso de biodegradación realizado por los microorganismos.

Además, es importante que residuos foráneos (pedazos de plástico, tapas de botella,) no sean picados juntos con los desechos compostables para evitar

una concentración alta de contaminantes en el compost. Las herramientas, la maquinaria y el equipo para trozar deben ser capaces de resistirse a piedras, madera dura y materiales agresivos. Para bajar los costos y facilitar la operación, el sistema de trituración tiene que ser lo más sencillo posible y consumir un mínimo de energía.

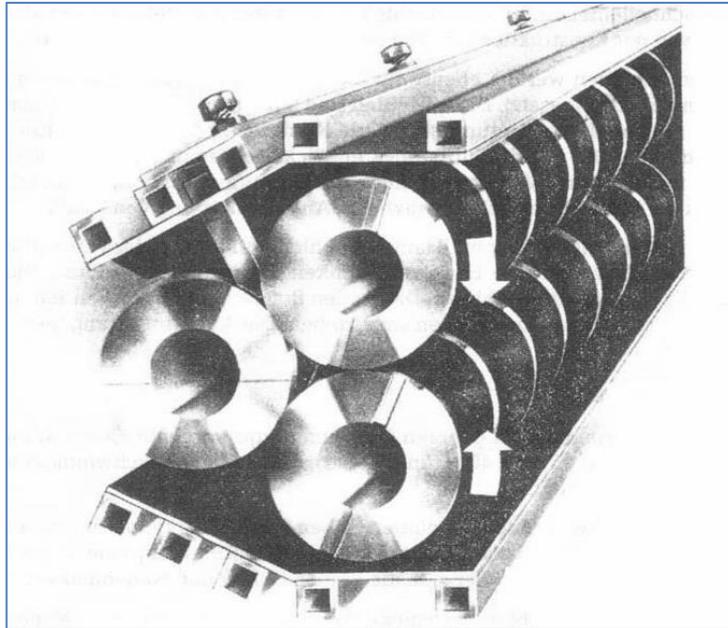
Para plantas de compostaje de tipo mecanizadas que es el objetivo al cual se destina la planta de tratamiento actual, el equipo estándar con el que se debe contar para la operación se consideran los siguientes equipos:

- Molinos trozadores (molinos con tornillo sin fin, molinos de cuchillo)
- Cribas tambores
- Cribas troceadores
- Troceadores cilíndricos

En su mayoría el material a triturar es húmedo y blando, hay que utilizar troceadores de baja velocidad (menor a 400 revoluciones por minuto), para el presente análisis no se consideran las cribas tambores, cribas troceadores ni los troceadores cilíndricos ya que estos equipos no son necesarios dado el tamaño y la falta de espacio físico para instalar estos mecanismos.

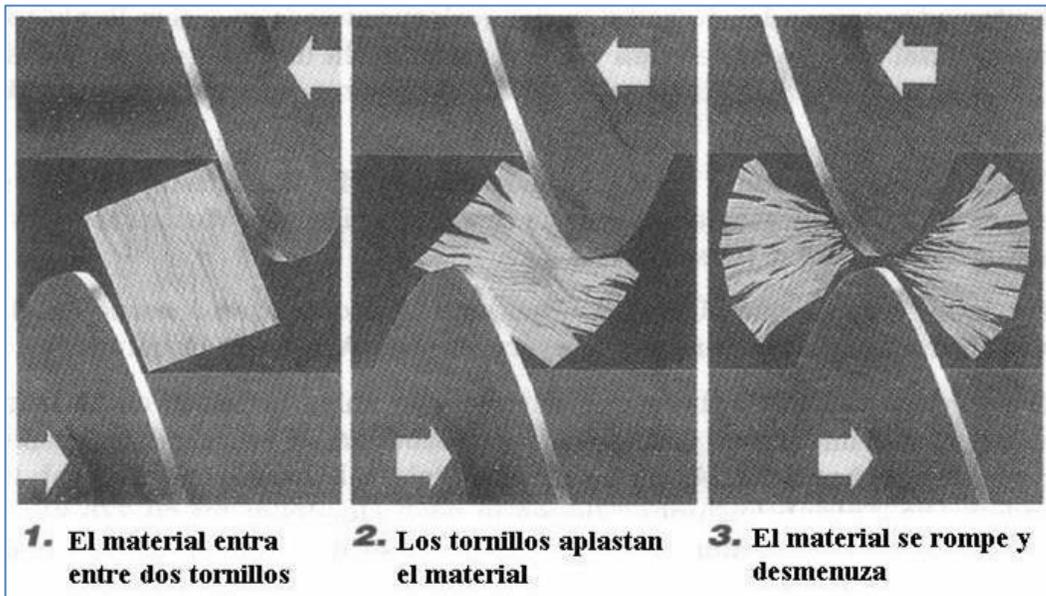
El principio del molino con tornillo sin fin se presenta en la figura 3 y 4:

Figura 3. **Molino con tornillo sin fin**



Fuente: images.google.es. Consulta: 21 de febrero de 2013.

Figura 4. **Funcionamiento del molino con tornillo sin fin**



1. El material entra entre dos tornillos

2. Los tornillos aplastan el material

3. El material se rompe y desmenuza

Fuente: images.google.es. Consulta: 21 de febrero de 2013.

Si dentro de la planta se diera el caso que todas las operaciones se realizaran completamente a mano, se pueden desmenuzar los trozos grandes con machetas o martillos.

3.2. Proceso de compostaje

La unidad de compostaje forma el sistema principal de la planta de tratamiento. Existen tres tipos diferentes de procesos que son fundamentales para la producción de compostaje:

- El compostaje manual con o sin ayuda de organismos aditivos (lombrices, enzimas.)
- El compostaje semimecanizado
- El compostaje mecanizado

Aunque las operaciones técnicas sean distintas para estos tres tipos de compostaje, el proceso biológico no cambia en ninguno de estos, la operaciones necesarias de mezcla/ revuelta, movimiento, aireación y humedecimiento del material y los parámetros de ajuste de la planta. Estos temas se trataran a detalle en el subcapítulo 3.2.2. al 3.2.6. Y en el capítulo 4. Se explicarán diferentes sistemas de compostaje manual que ayudaran a tomar la decisión para implementarlo dentro del nuevo sistema de producción dentro de la planta de tratamiento.

3.2.1. Proceso biológico del compostaje

Como primer paso del proceso de compostaje se tiene la pre-fermentación de los desechos sólidos, este inicia bajo el impacto de bacterias mesófitas.

En esta etapa, se tendrá que la temperatura de los residuos aumentara rápidamente y el proceso de biodegradación principia. La temperatura puede subir hasta un máximo de 75°. Esto es equivalente al grado 1 de madurez (ver subcapítulo 5.3.3.).

La operación de prefermentación se debe realizar durante los primeros días de iniciado el proceso de compostaje.

Durante la segunda etapa se continua con la operación de la fermentación de los desechos que es lo principal en el proceso durante esta etapa, la temperatura se sigue manteniéndose en un nivel elevado por causa del calor producido por la actividad microbiológica el cual debe estar controlado para no excederse del valor máximo permitido. En esta etapa, la biodegradación se realiza por bacterias termófilas (grado 2 a 3 de madurez). La etapa central del proceso de compostaje puede durar entre 4 a 8 dentro de los vertederos de contención establecidos para este proceso.

La velocidad que se pretende alcanza durante el proceso de compostaje para llegar a su nivel más alto se debe producir durante las primeras dos etapas descritas anteriormente. Paralelamente, la emisión y la necesidad de aireación y humedecimiento también se encuentran sobre su nivel más alto. Por esta situación, el control del proceso es muy importante durante el tiempo que dure cada una de las etapas.

La opción para impedir que hayan muchas emisiones al exterior se realizara con un recubrimiento de tierra y grama sobre laos vertederos ya que esta opción es eficiente y muy económica. La última etapa que tendrá el proceso de compostaje es la maduración e higienización. En este proceso de biodegradación se desarrolla de forma más lenta y las emisiones se reducen

dentro de los contenedores de desechos sólidos, en esta etapa no hay necesidad de aireación o humedecimiento.

En esta última etapa es beneficioso continuar la mezcla/ revuelta y el movimiento del material para obtener un producto homogéneo e higiénico. Al fin de la última etapa, el compost tiene el grado 4 o 5 de madurez (ver subcapítulo 5.3.3.). Un porcentaje aproximado del 50 por ciento del material inicial se pierde durante la etapa de fermentación por causa de la evaporización y digestión microbológica.

3.2.2. Manejo del proceso de compostaje

Los factores de mayor importancia para el proceso compostaje son los siguientes:

- Mezcla/ revuelta y movimiento
- Aireación
- Humedecimiento

3.2.3. Mezcla, revuelta y movimiento

Al principio del proceso de compostaje, la materia tiene un cuerpo de desechos el cual contiene poros de varias tamaños que son dispersados en forma heterogénea.

El aire (proveniente de un sistema de aireación natural o artificial) pasa por las aperturas más grandes. Por consecuencia, pueden ocurrir condiciones anaeróbicas en lugares con alta densidad y poros pequeños. La biodegradación anaeróbica no es la condición deseable en una planta de compostaje, ya que

produce olores muy fuertes y este impide que se desarrolle el proceso de biodegradación aeróbico.

Es necesario mezclar, revolver y mover los residuos sólidos con una frecuencia constante y con regularidad para evitar la putrefacción anaeróbica. En esta planta, la mezcla-revuelta y el movimiento del material se realizara con ayuda de cargadores; ya que si esta fuera una planta operadas completamente a mano, ese trabajo se realiza con palas, aunque este trabajo en algún momento determinado se necesitara que se efectuó por medio de trabajo manual con palas. En las plantas de lombricultura (ver subcapítulo 4.1.1), las lombrices garantizan una mezcla y revuelta continua del material a micro-escala debido a su fácil digestión.

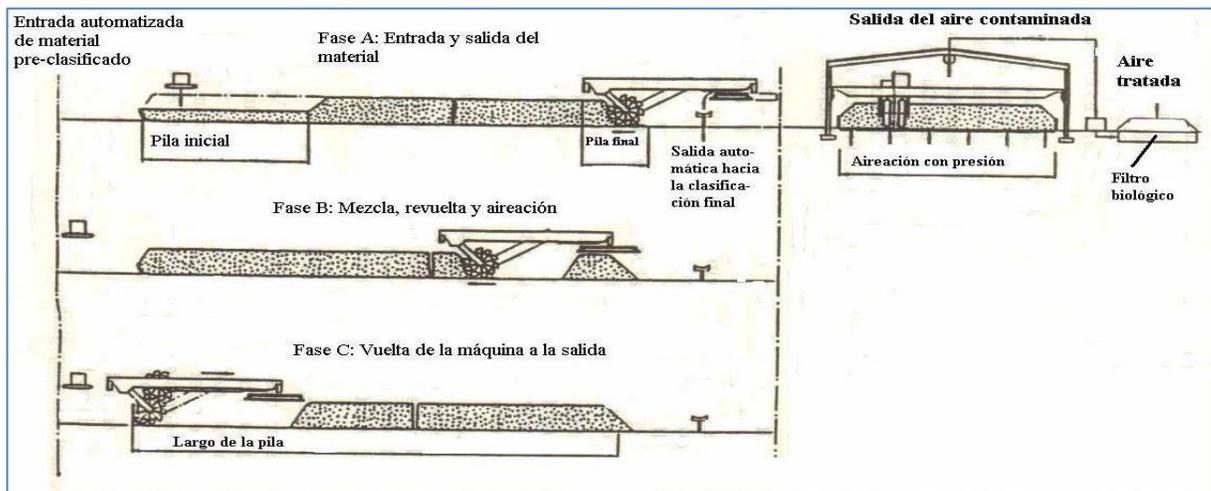
Esta aplicación es más barata y más sencilla que la operación con máquinas automáticas y asegura un mejor ambiente de trabajo para los obreros que la mezcla/ revuelta con palas. Sin embargo, el compostaje con ayuda de lombrices puede ser aplicado solamente en plantas pequeñas (o plantas que dispongan de un área muy extendida). Además, es un método muy apropiado para el compostaje individual en el hogar, jardín o incluso sobre la terraza o el balcón (ver subcapítulo 4.1.1.4.2.1). Una renovación adecuada del aire se puede asegurar solamente si se garantiza una dispersión homogénea del cuerpo de todos los residuos. Por eso, la mezcla/ revuelta y el movimiento del material son imprescindibles no obstante el sistema de compostaje.

Un impacto secundario positivo que produce esta operación es que la temperatura también se homogeniza dentro del cuerpo de material. Eso es muy importante para obtener un grado de higiene importante. Dentro de la planta donde la operación de mezcla/ revuelta del material se puede realizar con máquinas cargadoras, máquinas automáticas o por obreros con palas, el

material se mueve según el avance del proceso de compostaje desde la entrada hasta la salida del área de compostaje.

Si el compostaje se realiza con montones (pilas) triangulares, el material es transportado de la primer pila (desechos en bruto) al segundo, después de un cierto tiempo (en general: una semana), al tercero hasta el último (compost maduro). En la planta, el material se quedara en la misma área durante el proceso entero (ver subcapítulo 4.1.1.). Un ejemplo práctico de un sistema automático que realiza la operación de mezcla/ revuelta y movimiento se muestra en figura 5.

Figura 5. **Planta mecanizada con máquina de mezcla/ revuelta**



Fuente: images.google.es. Consulta: 05 de marzo de 2013.

3.2.4. Aireación

Para tener una buena operación de aireación, hay que agregar un cierto porcentaje de material con dimensiones grandes y gruesas. Los materiales gruesos deben agregarse específicamente para estructurar la basura cuando la

densidad de los desechos es elevada (mayor a 700 kilogramos por metro cúbico) y, por consecuencia, no se realiza una libre circulación del aire. En general, el suministro de material grueso se puede realizar con la fracción gruesa que había sido separada antes o con la fracción gruesa del compost ya listo.

Para la planta de compostaje el método de aireación se realizara por medio del método de lombricultura ya que en este el material está expuesto en su mayoría de tiempo al ambiente, es suficiente la operación de mezcla/revuelta del material para garantizar la aireación. Como el proceso de compostaje se desarrolla en su mayor parte en los contenedores, la tubería para la aireación se integra en el suelo donde se ubica el área de fermentación.

Como las instalaciones de la planta de tratamiento se encuentran en su mayoría expuestas al ambiente la aireación de tipo artificial ayudará a la disipación de olores.

3.2.5. Humedecimiento o riego

Es necesario tener una humedad entre 40 y 60 por ciento de humedad relativa (contenido de agua del material) para asegurar un proceso de biodegradación óptima. Si el material se llegare a encontrar demasiado seco, esto provocara que el proceso de biodegradación se detenga; si es demasiado húmedo, se transforma el proceso en putrefacción anaeróbica incontrolada y afecta el proceso de compostaje.

El humedecimiento se llevará a cabo en el inicio del proceso con regadora manual o con aspersor puesto sobre las pilas o lechos de material. La planta al encontrarse en una región con poca precipitación pluvial esta se aprovechará

en las instalaciones de la planta de compostaje para que la lluvia funcione como riego natural.

3.2.6. Ajuste general de la planta de compostaje

Para poder mantener el proceso de compostaje de forma homogénea dentro de las instalaciones de la planta de tratamiento, es necesario mantener la humedad (contenido de agua) del cuerpo del material entre un 40 y 60 por ciento para asegurar un estado óptimo de compostaje dentro de los vertederos.

Si se alcanza una temperatura más alta dentro de los vertederos, se puede dar el caso de que la materia entre a un estado de putrefacción anaeróbica y se debe controlar para que este estado no llegue a afectar la materia. Para esto, la planta de compostaje cuando se encuentre en el período de mayor lluvia en el año se debe cubrir al menos durante este periodo.

Cuando se encuentra muy húmedo el material para compostar, se puede añadir material con menor cantidad de humedad (papel no reciclable, desechos de parques y jardines, desechos de carpintería).

La temperatura de estos materiales se deben mantener al menos en una semana sobre los 65 °C o durante 2 semanas sobre los 55 °C para lograr una higienización suficiente (eliminación de organismos nocivos al suelo o a plantas).

Uno de los factores a controlar es la tasa C/N (relación carbono-nitrógeno) es otro parámetro importante que debe ser controlado. Este parámetro no es de gran importancia para poder determinar el proceso de fermentación de la materia pero si es de mucha utilidad conocerlo para asegurar la calidad del

abono para la fertilización. Para utilizar el compost como abono, la tasa C/N no debe exceder en una relación de 35:1 o ser menor en una relación de 15:1.

3.3. Condicionamiento del proceso

Un factor importante antes de iniciar con el proceso productivo es el acondicionamiento adecuado del material, para que vaya evolucionando de manera adecuada y en el tiempo óptimo de cada operación el proceso de producción de compost, sin que este tenga un retraso y cause efectos adversos dentro del proceso.

3.3.1. Separación de materiales foráneos

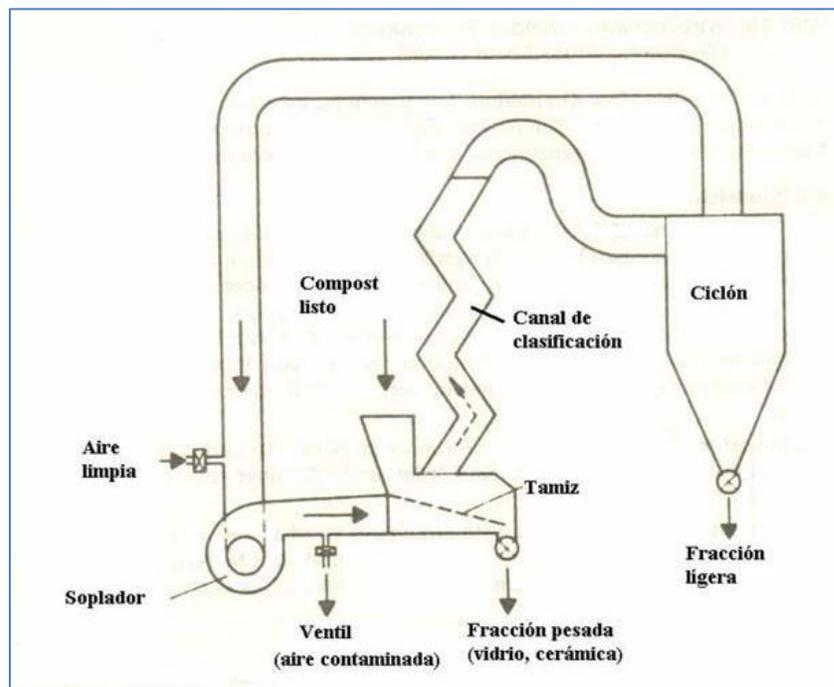
Será muy común encontrar elementos foráneos introducidos en el compost el cual es producido por los desechos domiciliarios (clasificados en el origen o mezclados). Estos elementos son pedazos de plástico, vidrio o metal que son de tamaño insignificante que no se pueden separar anteriormente de forma manual y es necesario eliminarlo para que este no se encuentre en el compost ya procesado.

Es más fácil separar estos materiales del compost ya listo, ya que se encuentra más homogéneo que los desechos crudos introducidos en el inicio del proceso.

Dentro del proceso de compostaje es esencial separar los materiales foráneos de forma manual. Esta resultara ser una operación lenta y difícil, como son generalmente pedazos de pequeñas dimensiones.

Dentro de la planta de tratamiento es necesaria la separación de cualquier materiales foráneo para no afectar el proceso, como equipo necesario para realizar una separación inicial de materiales foráneos se utilizara un equipo balístico o ciclones que separan los materiales más pesados (piedras, trozos de vidrio) de los más ligeros (abono). El principio de un separador balístico se muestra en la figura 6.

Figura 6. **Separador balístico o ciclón**

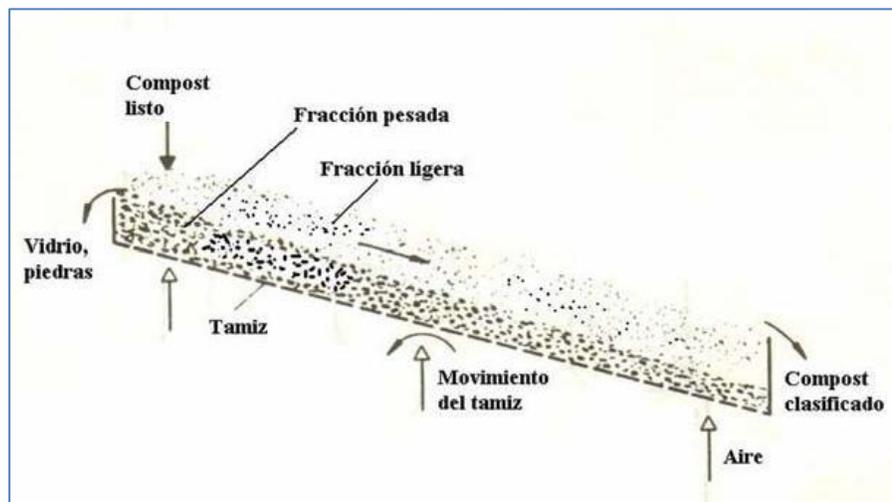


Fuente: images.google.es. Consulta: 07 de marzo de 2013.

Luego de circular por el equipo balístico o ciclón los elementos de menor peso (papel, plástico) se separan con ayuda de tamices aireados o separadores donde fluyen corrientes de aire. El tamiz aireado se debe adecuar para fracciones diferentes de aire (1. Ajuste: fracción pesada: vidrio, piedras.

Fracción ligera: compost; 2. Ajuste: fracción pesada: compost, fracción ligera: plástico, papel). La idea de un tamiz aireado se presenta en la figura 7.

Figura 7. Tamiz aireada



Fuente: images.google.es. Consulta: 07 de marzo de 2013.

3.3.2. Clasificación del producto en fracciones

El abono que ya se encuentra listo se traslada a la operación de clasificación por medio de unos tamices en 2 o 3 fracciones. Las dimensiones estándar de las fracciones se presentan en la tabla XXIV, del subcapítulo 5.3.4.

Las dimensiones de fracción fina y mediana son utilizadas como abono, esto con el objeto de aumentar la calidad o estabilidad del suelo y agregarle nutrientes. La fracción más gruesa es utilizada como material de filtro biológico, también como cobertura del relleno sanitario, como material de relleno en la arquitectura del paisaje o como material de estructura dentro de la planta de compostaje.

La operación de clasificación en fracciones se realizara con tamices manuales o muy bien con tamices tambor. Si la clasificación manual resulta muy eficiente, no se recomendable utilizar el tamiz tambor. Un tamiz manual estándar se muestra en el anexo 1.

3.4. Tratamiento del aire y de las aguas lixiviadas

Dentro de las operación fundamentales para el proceso de producción de compost se encuentra el tratamiento adecuado del aire, para que este tenga una aireación óptima y con las condiciones establecidas para el proceso así como también un tratamiento adecuado de las aguas lixiviadas para que esta no causen daño dentro del proceso.

3.4.1. Tratamiento del aire

Para darle tratamiento al aire contaminado se necesita que la planta de tratamiento mecanizada (con aireación artificial) se encuentre cerca de una zona habitada. El aire también se puede tratar con ayuda de filtros biológicos o de columnas de lavaje (ver: subcapítulo 6.2.1.2.2.).

El método de aireación de tipo artificial acelera el proceso de biodegradación sin embargo produce contaminación del tipo olfatoria de una forma muy elevada, en comparación con la contaminación generada en plantas sin aireación de tipo artificial.

La cantidad de contaminación más elevada se produce en el área donde se lleva el proceso de fermentación principal.

Si se realiza una aireación con succión, el aire pasa por el cuerpo de la basura y se conduce por los conductos subterráneos que se dirigen directamente al filtro biológico o a la columna de lavaje.

Es necesario tener cerrada completamente el área donde se produce el proceso de fermentación si se realiza la aireación del tipo artificial con presión. Para este caso, se debe sacar el aire usado por medio de un ventilador y este se conduce a la unidad de tratamiento. Esta opción es mucho más costosa que la aireación con succión y es recomendable solo si no hubiera un terreno adecuado fuera de las zonas habitadas, y si es garantizado que el presupuesto municipal permita asumir los costos operativos a largo plazo.

En la planta de tratamiento es necesario contar con un tratamiento tecnológico del aire. Esto debido a que existen emisiones olfatorias muy fuertes durante las primeras dos etapas de descomposición de la basura y cada vez que se remueve el material, esto se puede minimizar en el impacto negativo con métodos sencillos y más económicos.

Se pueden cubrir los lechos o pilas de material con monte o con una capa fina (5 a 10 centímetros) de abono ya listo obtenido de la fracción gruesa. Estos dos materiales sirven como un filtro biológico y también pueden añadirse al material a compostar cuándo se termine su vida útil.

3.4.2. Tratamiento de las aguas lixiviadas

La producción de aguas lixiviadas se da en todas las planta de compostaje.

Este tipo de aguas se generan con los líquidos que contiene la basura y que se desintegra por causa de la presión y la descomposición de los mismos, también provocado por el agua de lluvia y el agua de riego (manual o artificial).

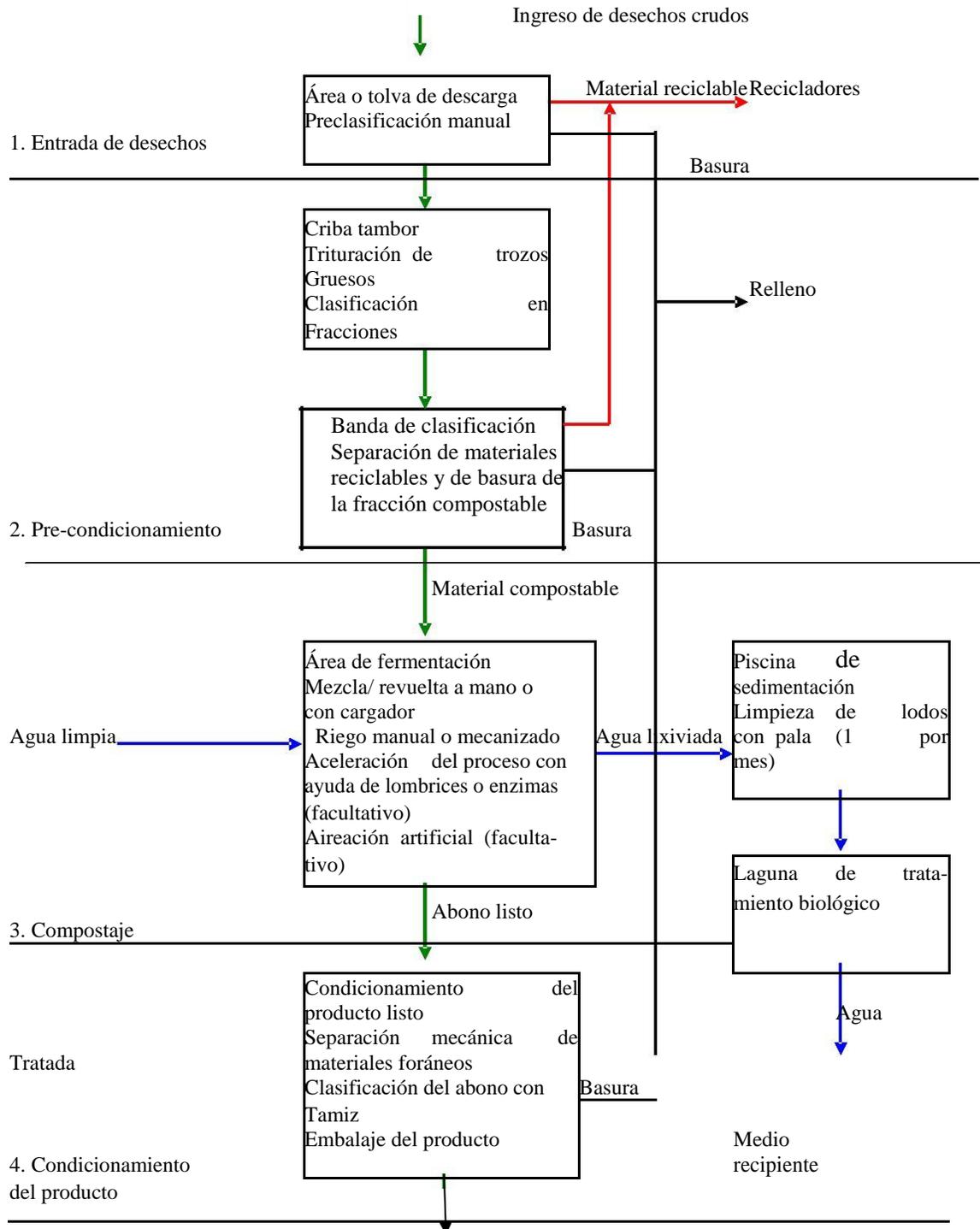
Las aguas que se producen en el sector donde el compost se fermenta están excesivamente contaminadas. Se requiere un tratamiento para cuidar el recipiente medio (aguas superficiales, alcantarillado) que produce el impacto de esta contaminación.

Es recomendable que la planta cuente con una piscina de sedimentación que permita aplicar un tratamiento en laguna, esto viene siendo la alternativa más económica y más sencilla. El tratamiento de las aguas lixiviadas se explica con más profundidad en el subcapítulo 6.2.2.

3.5. Diagrama de flujo de la planta de tratamiento

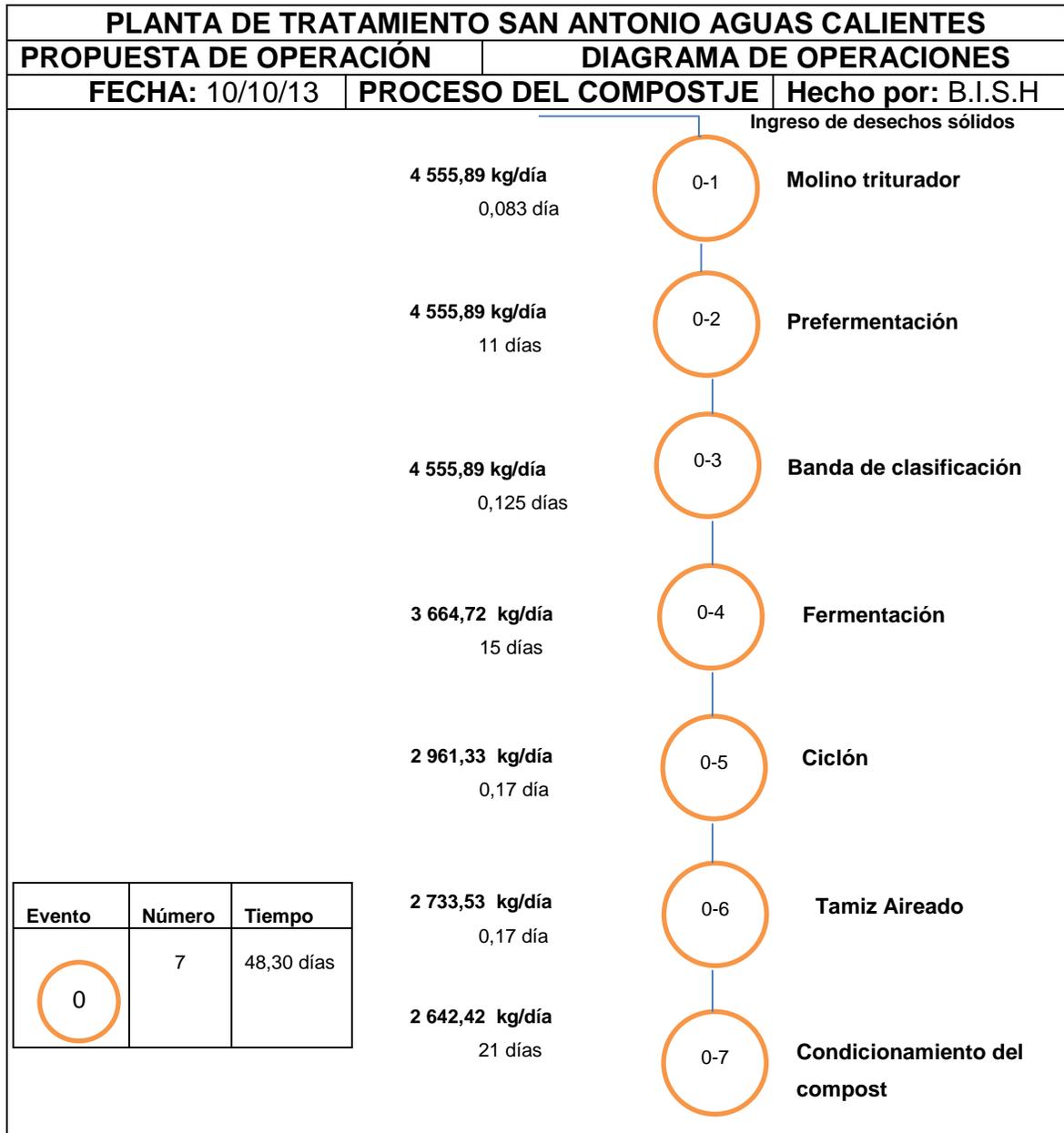
En la figura 8, se representa por medio de un diagrama de bloque el método a implantar dentro de la planta de compostaje trabajando de forma semimecanizada, y en la figura 9, se representa por medio de un diagrama de operaciones de flujo el método a implantar dentro de la planta utilizando equipos semimecanizados.

Figura 8. Diagrama de bloque de la planta de compostaje semimecanizada



Fuente: elaboración propia.

Figura 9. Diagrama de operaciones de flujo



Fuente: elaboración propia.

3.6. Determinación del plan de inversión

La estructura de costos que a continuación se describe fue realizada con el objetivo de satisfacer la demanda de 10 250 habitantes, del municipio de San Antonio Aguas Calientes del departamento de Sacatepéquez.

Se estima que la capacidad de la planta de tratamiento es para un volumen de 4,5 toneladas diarias de residuos, producidas a razón de 0,466 kilogramos por habitante por día (memoria de cálculo del subcapítulo 1.2.6.1).

Para determinar la cantidad de producto a generar, se han tomado las proporciones de la clasificación de los residuos, según sus características.

Asimismo, la planta de tratamiento tendrá 2 invernaderos de lombricultura.

Tabla IV. **Plan de inversión**

PLAN DE INVERSIÓN

			Cantidad	Valor
1	Área a Reconstruir			
	1.1	Edificio de oficinas área administrativa		Q 150 000,00
	1.2	Instalaciones de áreas de producción		Q 400 000,00
2	Maquinaria y Equipo			
	2.1	Báscula para camiones, 30 ton, 3 x 10 m	1	Q 15 000,00
	2.2	Faja transportadora, 6m largo, 0,88m ancho	2	Q 46 500,00

Continuación de la tabla IV.

	2.3	Tolva receptora 2,5 ton (Vertedero)	1	Q	12 500,00
	2.4	Molino triturador de plásticos, 350-400 kg, 530 rpm	1	Q	62 500,00
	2.5	Triturador de residuos orgánicos, capacidad de 10 m3/hora, motor eléctrico 10CV	1	Q	96 800,00
	2.6	Trómel (tamiz) para compost 2 m largo x 0,6 m diámetro	2	Q	48 750,00
	2.7	Compactador de residuos no reciclables	1	Q	12 650,00
	2.8	Tractor, John Deere 110 LTB	1	Q	235 400,00
	2.9	Básculas de laboratorio	1	Q	6 500,00
	2.1	Herramientas manuales	1	Q	23 450,00
	2.11	Vehículo de envíos y repartición	1	Q	125 650,00
	2.12	Separador balístico o ciclón	1	Q	37 500,00
	2.13	Electroimán	1	Q	67 450,00
3	Mobiliario y equipos de oficina				
	3.1	Escritorios	4	Q	3 400,00
	3.2	Computadoras	3	Q	15 675,00
	3.3	Accesorios		Q	17 500,00
4	Lombriz (Coqueta) (kg)		286	Q	86 944,00
5	Mano de Obra			Q	450 000,00
Inversión Inicial					Q1 914 169,00

Fuente: elaboración propia.

3.7. Definición de costos fijos

Dentro de los costos fijos a considerar se tiene los que van afectar a las operaciones del proceso como agua, luz, recolección, materia prima y teléfono y los salarios a integrar por departamento y por el tipo de actividad que desarrollara cada colaborador dentro de la planta de tratamiento

Tabla V. **Gastos de operación**

GASTOS DE OPERACIÓN

	Valor
Agua	Q 1 300,00
Energía eléctrica	Q 8 500,00
Servicio de recolectores	Q 3 500,00
Materias primas	Q 3 400,00
Teléfono	Q 2 000,00
Total gastos mensuales	Q 18 700,00
TOTAL ANUAL	Q 224 400,00

Fuente: elaboración propia.

Tabla VI. **Salarios**

SALARIOS MENSUALES

Salarios Mensuales	Cantidad	Salario Individual	Incentivos	Salario Total
Piloto	2	Q 2 171,75	Q 250,00	Q 4 843,50
Operarios	8	Q 2 171,75	Q 250,00	Q 19 374,00
Auxiliares	4	Q 2 171,75	Q 25,00	Q 9 687,00
Mecánico	1	Q 2 171,75	Q 25,00	Q 2 421,75
Contador	1	Q 2 500,00	Q 250,00	Q 2 750,00
Encargado de ventas	1	Q 2 500,00	Q 250,00	Q 2 750,00
Ingeniero Supervisor	1	Q 6 000,00	Q 250,00	Q 6 250,00
Total Salarios Mensual				Q 48 076,25
Total Salarios Anual				Q 576 915,00

Fuente: elaboración propia.

3.8. Determinación de los ingresos

Las cantidades que a continuación se estimaron, son producto de las siguientes condiciones que anteriormente se mencionaron: prestar el servicio de procesamientos de los residuos a una población de 10 250 personas aproximadamente en el presente periodo.

El cálculo de producción se realizó con base en lo descrito en la memoria de cálculo (tabal II) con una tasa de producción de 0,466 kilogramo por habitante por día. Dos invernaderos para lombricultura, cada invernadero con 143 kilogramo de lombrices, cada kilogramo contienen 4 000 lombrices; 40 000 lombrices son capaces de producir dos kilogramos de humus por día. Todos los precios están actualizados de acorde al mercado Guatemalteco.

Tabla VII. **Ingresos**

Productos	Volumen de Producción		Precio/Quintal	Valor
	Kg	Quintales		
Compost	15 424,2	339,3324	Q 95,00	Q 32 236,58
Humus	879,45	19,3479	Q 70,00	Q 1 354,35
Aluminio	1 752,75	38,5605	Q 550,00	Q 21 208,28
Otros Metales	4 089,75	89,9745	Q 300,00	Q 26 992,35
PET	8 179,5	179,949	Q 100,00	Q 17 994,90
Otros Plásticos	3 505,5	77,121	Q 80,00	Q 6 169,68
Papel	16 826,4	370,1808	Q 12,00	Q 4 442,17
Vidrio	5 842,5	128,535	Q 25,00	Q 3 213,38
Otros Reciclables	21 033	462,726	Q 10,00	Q 4 627,26
Ingresos	Potencial Mensual			Q 118 238,94
Ingresos Anuales				Q 1 418 867,29

Fuente: elaboración propia.

3.9. Análisis económico de la propuesta

Conociendo el plan de inversión planteado para la propuesta del diseño automatizado de la planta de tratamiento, se pasa a evaluar el beneficio económico y financiero en base a los costos fijos y los ingresos que se estimar producirá el proyecto de producción de compost.

Tabla VIII. **VPN, TIR**

AÑOS	Costo de Inversión (-)	Costo de Operación (-)	Total Costos (-)	Ingresos de Operación (+)	Ganancia/Perdida (NETA)
1	-Q 1 914 169,00	-Q 801 315,00	-Q 2 715 484,00	Q 1 418 867,29	-Q 1 296 616,71
2		-Q 801 315,00	-Q 801 315,00	Q 1 418 867,29	Q 617 552,29
3		-Q 801 315,00	-Q 801 315,00	Q 1 418 867,29	Q 617 552,29
4		-Q 801 315,00	-Q 801 315,00	Q 1 418 867,29	Q 617 552,29
5		-Q 801 315,00	-Q 801 315,00	Q 1 418 867,29	Q 617 552,29
6		-Q 801 315,00	-Q 801 315,00	Q 1 418 867,29	Q 617 552,29
7		-Q 801 315,00	-Q 801 315,00	Q 1 418 867,29	Q 617 552,29
8		-Q 801 315,00	-Q 801 315,00	Q 1 418 867,29	Q 617 552,29
9		-Q 801 315,00	-Q 801 315,00	Q 1 418 867,29	Q 617 552,29
10		-Q 801 315,00	-Q 801 315,00	Q 1 418 867,29	Q 617 552,29
11		-Q 801 315,00	-Q 801 315,00	Q 1 418 867,29	Q 617 552,29
12		-Q 801 315,00	-Q 801 315,00	Q 1 418 867,29	Q 617 552,29
13		-Q 801 315,00	-Q 801 315,00	Q 1 418 867,29	Q 617 552,29
14		-Q 801 315,00	-Q 801 315,00	Q 1 418 867,29	Q 617 552,29
15		-Q 801 315,00	-Q 801 315,00	Q 1 418 867,29	Q 617 552,29
16		-Q 801 315,00	-Q 801 315,00	Q 1 418 867,29	Q 617 552,29
17		-Q 801 315,00	-Q 801 315,00	Q 1 418 867,29	Q 617 552,29
18		-Q 801 315,00	-Q 801 315,00	Q 1 418 867,29	Q 617 552,29
19		-Q 801 315,00	-Q 801 315,00	Q 1 418 867,29	Q 617 552,29
20		-Q 801 315,00	-Q 801 315,00	Q 1 418 867,29	Q 617 552,29
TIR					48%
VAN					Q2 531 115,14

Fuente: elaboración propia.

Los resultados del análisis indican que, el alcance económico del sistema se proyecta para una población de 10 250 habitantes, es positivo, ya que un Valor Presente Neto proyectado a 20 años nos presenta cifras de Q 2 531 115,14 aproximadamente. Esto indica que se podrá tener un beneficio económico atractivo para poner a funcionar la planta, dado el valor de la inversión inicial y los costos anuales de producción.

La TIR refleja un 48 por ciento, esto refleja una tasa mayor a la activa actual en el sistema económico de Guatemala, esto es un factor muy importante para la decisión de la inversión (13,67 % al 04/07/2013).

4. IMPLANTACIÓN

4.1. Compostaje en pilas

El proceso de compostaje en pilas es el sistema de producción de compost más antiguo y más sencillo. La operación de este sistema es muy fácil. Después de que se halla separado todo material foráneo (materiales no biodegradables) de la basura biodegradable que llega al vertedero, el material se coloca en montículos triangulares.

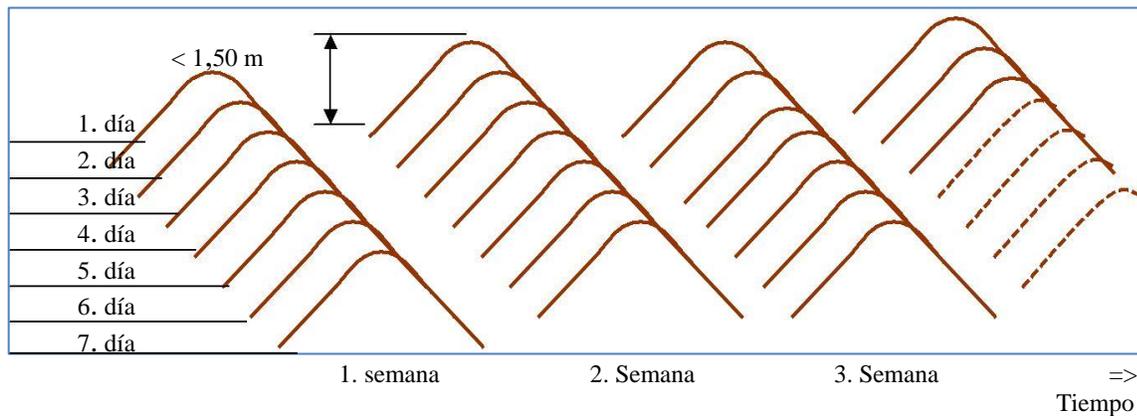
Las dimensiones de las pilas es una parte muy importante para el proceso de compostaje. No debe superar la máxima capacidad, y tampoco debe quedarse bajo un volumen mínimo. Para que se asegure la proliferación de los microorganismos que realizan el compostaje, es necesario una "masa crítica" mínima de 50 a 100 kilogramos de residuos domiciliarios biodegradable. Con esa masa, se puede iniciar y mantener durante un tiempo necesario la reacción exotérmica del proceso de forma aeróbico que asegura las temperaturas necesarias para la higienización del material a producir. Esta "masa crítica mínima" es especialmente importante para el compostaje de forma individual.

Es muy importante no superar el tamaño máximo de la pila. Si las pilas tuvieran una altura superior a los 1,50 metros, la aireación de tipo natural se bloquea y pueden ocurrir condiciones anaeróbicas. (Para sistemas de compostaje con aireación artificial, ese límite es de 2,50 a 3,00 metros).

Con una tonelada de desechos que corresponde aproximadamente a la capacidad una pila (pila no aireada de 1,50 metros altura).

Se deberán formar filas con los montones de basura; una fila correspondiente al material de una semana. El sistema se muestra en el figura 10

Figura 10. **Compostaje en montones o pilas**



Fuente: elaboración propia.

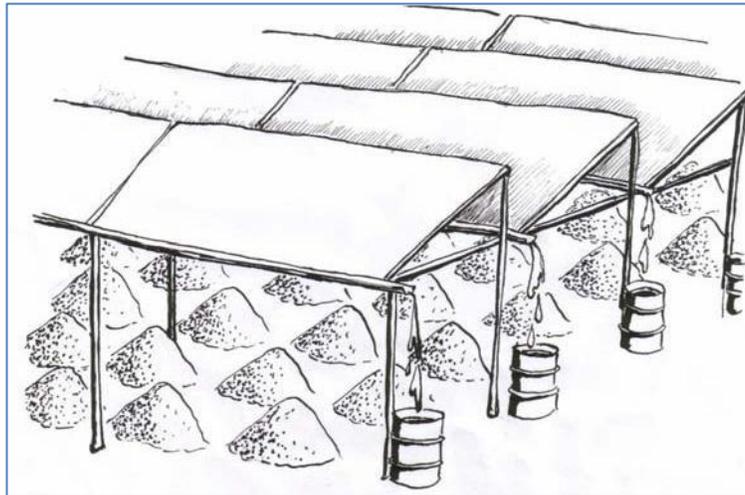
Las pilas realizadas de material biodegradable deben ser cubiertas con monte u otro material similar como hojas de planta de banano o material similar para evitar el problema de olor y no atraer moscas. Se debe mezclar una vez por semana el material en las pilas para airear y homogenizar las pilas. La mezcla/ revuelta del material se puede hacer manualmente con palas. Se debe remover el material de cobertura (monte, hojas de banano) para poder realizar la operación de mezcla, revuelta.

Dada la ubicación de la planta, es importante tomar en consideración las condiciones climáticas que predominan en la región. Dado que el municipio se encuentra es una región de alta pluviosidad, se estima que la precipitación será demasiado alta para permitir un compostaje sin techo en el período de invierno.

Si el material se moja demasiado, pueden ocurrir condiciones anaeróbicas, lo que significa que el proceso sufra una putrefacción sin oxígeno. Bajo condiciones anaeróbicas, se los malos olores aumentan y existe una alta producción del gas metano.

La construcción del techo en el área de las pilas, es importante que este no impida el ingreso del viento. Lo recomendable es mantener la construcción existente que cumple con las características principales en techo y entradas de aire, solo será necesario reconstruir las paredes y reemplazar las partes del techo dañados. El techo se puede cubrir con láminas de zinc o con materiales naturales de construcción (pasto, hojas de palma, helecho, fronda, bananero.). La figura 11 muestra un ejemplo de cómo se podría cubrir el área de compostaje.

Figura 11. **Cubierta del área de compostaje**



Fuente: images.google.es. Consulta: 16 de abril de 2013.

En las instalaciones se pueden poner canales para conducir el agua de lluvia a recipientes. De esta manera, se acumula el agua de lluvia para el riego de las pilas (si se necesitara riego), en lugar de utilizar agua municipal, lo que sería difícil y costoso. El riego se puede hacer con regadoras manuales, como se utilizan en la horticultura (ciencia en la producción de hortalizas).

El proceso de biodegradación principal ocurre en los primeros 3 meses de empezado este. Es muy importante que se haga regularmente la operación de mezcla/ revuelta del material y que se mantenga controlada la humedad. La humedad se puede medir con un método muy simple, sin instrumentos. Este consiste en tomar una pequeña cantidad del material en la mano y se aprieta el material. Si salen un promedio de 2 a 5 gotas de agua, la humedad se puede tomar como buena. Si sale menos agua, es necesario regar; si sale más, el riego deberá ser interrumpido o, si es por causa de demasiada lluvia, se debe construir un techo distinto para la planta de compostaje.

Es necesario que el compost sea humedecido durante los primeros 3 meses del proceso de biodegradación. El tiempo de duración total del proceso será de 6 meses. Después de este periodo, el compost estará en una condición de madurez excelente y no contendrá ingredientes fitotóxicos, bacterias patógenas y otros materiales nocivos. Si se cosecha el compost antes del periodo de 6 meses, no es posible garantizar que el producto esté completamente higienizado. Se recomienda construir el techo de manera que toda el área de compostaje este cubierta bajo el techo.

Como la cantidad de volumen inicial del material disminuye con el progreso de la biodegradación microbiana, se pueden combinar dos pilas para hacer una, con el fin de economizar el espacio.

Si se combinan pilas, es importante que sean pilas que tengan aproximadamente el mismo comienzo del proceso, para no mezclar compost maduro con compost inmaduro.

4.1.1. Lombricultura

Como proceso de producción del compost la lombricultura es un método eficiente y productivo para la realización de este, ya que al tener un sistema de tratamiento por medio de lombrices reduce el uso de mecanismos para acelerar la producción de compost.

4.1.1.1. Principios generales de la lombricultura

Dentro de los principios a observar en la lombricultura debemos considerar aquellos que estarán presentes durante el tratamiento de los desechos sólidos y los cuales servirán como parámetro para que este se mantenga homogéneo en todo el proceso y la variación en el tiempo de producción sea estándar.

4.1.1.1.1. Principios biológicos de la lombricultura

Dentro de la planta es necesario tener un espacio para la crianza de lombrices que es el principio de la lombricultura, se crían las lombrices para apoyar al proceso de compostaje o para darle el proceso completo. Los tipos de lombrices que se utilizan en la lombricultura son los siguientes:

- Lumbricus rubellus
- Eisenia Foetida (lombriz roja californiana o coqueta)
- Eisenia Andrei

Entre estos tipos de lombrices, la lombriz roja californiana es la más común en América Latina.

Las lombrices de la especie Eisenia Foétida, (lombriz roja californiana o coqueta), Eisenia Andrei o Lumbricus Rubellus, ingieren grandes cantidades de materia orgánica descompuesta.

De esta ingesta, hasta un 60 por ciento se excreta en una sustancia llamada humus de lombriz, lombricompuesto o vermicompuesto, que constituye un sustrato ideal para la proliferación de microorganismos útiles. Las lombrices transforman los minerales no asimilables presentes en los desechos y residuos animales, en nitratos y fosfatos directamente asimilables por las plantas.

El humus de lombriz es inodoro, no se pudre ni fermenta y su apariencia general es similar a la borra del café. En los análisis químicos realizados al humus de lombriz se detecta la presencia de hasta un 5 por ciento de nitrógeno, 5 por ciento de fósforo, 5 por ciento de potasio, un 4 por ciento de calcio, una carga bacteriana de 2 billones por gramo y un pH entre 7 y 7,5. De todos los estudios realizados se concluye que el lombricompuesto es un fertilizante orgánico de altísima calidad, acción prolongada, fácil y económica producción.

La producción de lombricompuesto está directamente ligada a la cantidad de lombrices operando y al cuidado que se dispense. Si se comienza, por ejemplo, con un núcleo de 10 000 lombrices, se podría obtener unos 50 kilogramos mensuales durante los primeros meses.

Pero tomando en cuenta el aumento en la población de lombrices, al cabo de un año la producción asciende a una cantidad que oscila entre 1,5 y 2,5 toneladas mensuales. Y si continúa manteniendo su población de lombrices, en

seis meses más podrá recolectar unas 20 toneladas mensuales. Cuanto mayor sea el número de lombrices, mayor será la producción de humus y las ganancias.

Las lombrices son animales invertebrados del tipo anélidos, o sea, gusanos segmentados. Son hermafroditas y depositan sus huevos protegidos en una cápsula llamada cocón.

Hasta la actualidad se conocen entre 6 y 7 mil especies diferentes de lombrices, siendo la más conocida la *Lumbricus Terrestris* (lombriz de tierra); ésta vive exclusivamente en la tierra y se alimenta de la materia orgánica descompuesta presente en los suelos.

En estado adulto llega a medir entre 9 y 30 centímetros de largo. Su apareamiento se produce generalmente cuando asoman a comer a la superficie. La puesta de huevos se realiza a razón de un cocón por animal cada 45 a 60 días. Vive de 4 a 5 años. No todas las especies son aptas para la cría. La mayoría, requiere condiciones muy precisas y difíciles de lograr.

Sin embargo existe una especie, llamada *Eisenia Foétida*, conocida como lombriz roja californiana, que no sólo es la que mejor se adapta al cautiverio, sino que posee características sorprendentes. En estado adulto mide entre 3,5 cm y 8,5 cm de largo, y en raros casos llega hasta 13 centímetros. Su peso oscila entre 0,4 y 0,6 gramos, si bien en condiciones apropiadas de cría, se logran ejemplares que pueden alcanzar 1 gramo.

De naturaleza estiércolera, es capaz de ingerir también grandes cantidades de materia celulósica, como rastrojos, aserrines, pulpas de celulosa, y en general cualquier desecho orgánico en descomposición. Es muy voraz,

llegando a comer hasta el 90 por ciento de su propio peso por día. De esta ingesta, excreta entre el 50 y 60 por ciento convertido en un nutriente natural de altísima calidad, conocido como lombricomposteo o humus de lombriz.

Estas lombrices son muy prolíficas. Se aparean semanalmente, poniendo un cocón por lombriz cada diez días, refiriéndonos siempre a lombrices adultas.

Estos huevos eclosionan a las 2 o 3 semanas de puestos y dan a luz entre 2 y 20 lombrices cada uno.

Estas recién nacidas alcanzan la madurez sexual luego de 6 a 10 semanas. Son inmunes a las enfermedades y tienen una increíble capacidad de regeneración. La longevidad de esta especie se estima en alrededor de 15 o 16 años. Cuando la cría se realiza con todos los cuidados, se obtienen los mejores resultados.

4.1.1.1.2. Cuidado de las lombrices

Las lombrices son capaces de soportar temperaturas en rangos de 0 a 45 °C. Es recomendable que se mantengan en temperaturas entre 20 y 25 °C para asegurar la mayor eficiencia del sistema. Para no matar a las lombrices, no se pueden sembrar durante la fase de prefermentación o al comienzo de la fermentación principal.

Las lombrices necesitan un ambiente húmedo pero no demasiado húmedo para evitar que se ahoguen. Es imprescindible asegurar que no ocurran condiciones anaeróbicas a dentro del cuerpo de basura. Las lombrices no pueden realizar el compostaje bajo condiciones anaeróbicas y se van de una

región anaeróbica hacia regiones con oxígeno. Se puede realizar la lombricultura con un pH entre 3 a 8; el óptimo es un pH entre 6 a 7.

Las lombrices prefieren un ambiente oscuro. Para asegurar que se dispersen homogéneamente por todo el cuerpo de basura, se recomienda cobrar el área de lombricultura. Eso se puede hacer con pasto, con hojas de banano, tierra humus o con compost listo.

4.1.1.2. Lombricultura intensiva y compostaje con lombrices coqueta

Se pueden diferenciar dos tipos de lombricultura. Esta el compostaje con ayuda de lombrices, y el de la lombricultura intensiva. La diferencia que existe entre ambas es la siguiente: si se hace el compostaje con ayuda de lombrices, las lombrices ayudan con su movimiento a mezclar, mover y airear el cuerpo de basura. En la lombricultura intensiva, las lombrices comen los materiales compostables completamente.

El producto de la lombricultura son las heces fecales de las lombrices (lombricompuesto) que son un humus extremadamente fino, sin elementos tóxicos y con característicos excelentes de fertilizador.

Si se siembran pocas lombrices al cuerpo de basura, se realiza el compostaje con ayuda de lombrices. Si se siembra una cantidad alta al cuerpo de basura, se produce el compost de heces de lombrices. Las diferencias entre los dos métodos y el compostaje estándar se muestran en la tabla IX:

Tabla IX. **Lombricultura intensiva y compostaje con lombrices**

Asunto	Lombricultura Intensiva	Compostaje con Lombrices	Compostaje estándar manual
Objetivo	<ul style="list-style-type: none"> •Cría de lombrices como alimento agropecuario. •Producción de humus como fertilizador. •Valoración de la basura •Orgánica. •Economía de terreno 	<ul style="list-style-type: none"> •Producción de humus como fertilizador. •Valoración de la basura orgánica. •Economía de terreno 	<ul style="list-style-type: none"> •Producción de humus como Fertilizador. •Valoración de la basura orgánica
Cantidad de compost Producido	Aproximadamente 40 % del peso de la basura cruda	Aproximadamente 50 % del peso de la basura cruda	Aproximadamente 50 % del peso de la basura cruda
Siembra de lombrices	4 000 lombrices por m ³ o 1 - 2 kg de lombriz para 1 kg de basura producida diariamente (sembrar 1 vez al comienzo de la implementación)	600 - 700 lombrices o 200 g de lombrices por m ³ (sembrar antes de cada implementación)	
Tiempo necesario	3 meses	5 - 6 meses	6 - 9 meses
Producto	Heces de lombriz (humus arcilloso)	Compost	Compost
Valor nutritivo	Tabla XXII	Tabla XXII	Tabla XXII
Materiales que se pueden compostar	Desechos de cocina (salvo carne), papel, heces fecales humanos o animales, no obstante la composición	Desechos de cocina (salvo carne), papel, heces fecales humanos o animales	Desechos de cocina (salvo carne), papel, heces fecales humanos o animales
Cosecha de lombrices	2 meses después del comienzo de la implementación; entonces cada mes	Paralelamente a la cosecha del producto	
Problema de olores	No hay	Poco (durante la descarga de material y la mezcla/ revuelta)	Durante la descarga de material y la mezcla/ revuelta
Aptitud para compostaje Individual	Si	Si	Si
Productos colaterales	Lombrices (comida para pollo, polluelo, pescado, camarones.)	Compost grueso (material de filtro biológico, material de estructura o relleno)	Compost grueso (material de filtro biológico, material de estructura o relleno)

Fuente: elaboración propia.

4.1.1.3. Diseño y construcción inicial de la planta de tratamiento

Hay diferentes modelos comunes para construir una planta de lombricultura. El principio de construcción no es diferente si se trata de una lombricultura intensiva o del compostaje con ayuda de lombrices. El primero es el compostaje en pilas como esta descrito en el subcapítulo No. 4.1. (Ver figura 11).

En esta aplicación, las lombrices se añaden simplemente a la superficie de la pila, de donde migran al interior del cuerpo de basura.

La opción que mejor se adapta a la planta de tratamiento es a la de construcción de lechos, los cuales son construidos de ladrillos, madera, cemento o de otro material conveniente y económico. Los lechos no deben tener una profundidad de más que 50 centímetros, para evitar que ocurran condiciones anaeróbicas. De la misma manera, deben tener un ancho de no más que 1 metro para 1.

Es necesario facilitar el trabajo de los obreros que hacen la cosecha del material y de las lombrices, el mantenimiento y la operación de la planta. El largo de los lechos es técnicamente sin importancia. Se recomienda construir los lechos considerando la producción de basura.

En la planta de tratamiento por medio de lombricultura, el lugar donde se descargan algunas toneladas de basura diariamente, se recomienda seleccionar el largo de los lechos de tal manera que cada lecho contenga el volumen de la basura que se produce diariamente.

Como se puede cargar la basura cruda hasta 50 centímetros arriba del lecho, el volumen del lecho tiene que ser la mitad del volumen de la basura. Para una producción diaria de 4 toneladas de desechos biodegradables, el cálculo del volumen del lecho sería el siguiente: 4 toneladas de basura biodegradable con una densidad de $270,226 \text{ kg/m}^3 = 0,27 \text{ ton/m}^3 = 14,81 \text{ m}^3$ de basura.

$$\text{Volumen necesario del lecho} = \frac{1}{2} \text{ del volumen de la basura} = 7,41 \text{ m}^3$$

$$V = \text{Volumen del lecho}$$

$$\text{Ancho del lecho} = 1 \text{ m (fijo)}$$

$$\text{Profundidad del lecho} = 0,5 \text{ m (fijo)}$$

$$V = A * P * L$$

$$\rightarrow 7.41 = 1 * 0,5 * L$$

$$\Rightarrow \text{Largo del lecho} = 14,81 \text{ m (seleccionado: 15 m)}$$

La cantidad de lechos debe ser suficiente para asegurar que se quede el material durante 3 a 4 meses al tratarse de una lombricultura intensiva. Considerando la pérdida de aproximadamente 50 por ciento del material y volumen durante el proceso de biodegradación, se puede calcular la cantidad necesaria de lechos como se muestra en el la tabla X:

Tabla X. **Cantidad necesaria de lechos**

Tipo lombricultura	de	Lechos contienen el volumen diario de basura	Lechos contienen el volumen de basura que se produce en 2 días	Lechos contienen el volumen de basura que se produce en 1 semana
Lombricultura intensiva		50	25	8
Compostaje con ayuda de lombrices		90	45	13

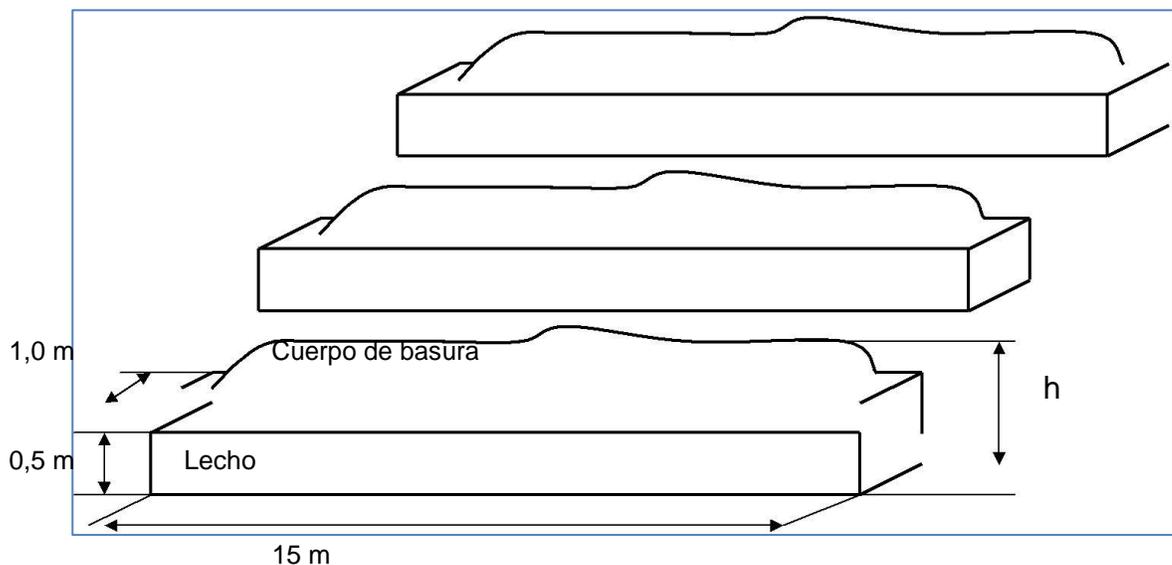
Fuente: elaboración propia.

La fórmula de cálculo para el número de lechos es:

$$N = \frac{0,5 * \text{No. de días que tarda el proceso}}{\text{No. de descargas que se pueden hacer a un lecho por semana}}$$

Se muestra un esquema de construcción del área de lombricultura en la figura 12 a base de lechos la cual estará ubicada cerca del sector de los vertederos para una crianza acelerada.

Figura 12. **Construcción del área de lombricultura con lechos**



Fuente: elaboración propia.

La altura del lecho puede ir desde 1,5 metros y no exceder la altura de 2,5 metros, debido a la acumulación de lixiviados y la el proceso se puede convertir en anaeróbico por tener una gran cantidad acumulada en cada pila.

Para un desagüe fácil de las aguas lixiviadas, se debe construir el lecho con una inclinación de 1 a 2 por ciento y un orificio de desagüe.

Con esa medida, se impide la putrefacción del material dentro del lecho.

4.1.1.4. Manejo de la planta de tratamiento

Existe una diferencia en el manejo de las plantas de lombricultura intensiva y de las plantas donde se realiza el compostaje con ayuda de lombrices. Por esta razón, se trata el manejo en dos subcapítulos diferentes.

4.1.1.4.1. Manejo de la planta de tratamiento por medio de biodegradación

La operación de la planta de compostaje con ayuda de lombrices se realiza en un principio como está descrito en la figura 9 (subcapítulo 3.5).

Lo que es importante es que no se ponga la lombriz durante el primer mes del compostaje. Ya que se realiza la prefermentación y comienza la fermentación principal, la temperatura es muy elevada y se puede morir la lombriz. Se recomienda compostar el material durante un mes antes de sembrar las lombrices. Durante ese tiempo, se puede mezclar el material una vez por semana para airear y homogenizar.

Las lombrices se siembran cuando haya bajado la temperatura del material a unos 30 a 35 °C. Se necesita al menos una cantidad de 600 a 700 lombrices por metro cúbico, lo que corresponde a 200 gramos por metro cúbico. No hay inconveniente si se ponen más lombrices. Si se hace el compostaje con

lechos largos, se recomienda sembrar las lombrices en diferentes lugares del lecho, para que se desarrolle el proceso de biodegradación homogéneamente.

Cuando esté listo el compost, se pueden cosechar las lombrices. La cosecha se puede hacer poniendo pasto húmedo arriba del material. Como el material ya está compostado, no ofrece mucha comida para las lombrices que prefieren irse hacia el pasto húmedo. Otra alternativa es poner basura cruda a un lado del lecho. Las lombrices se van en dirección de la basura cruda, abandonando el producto listo. Esta migración tarda entre 2 días y semanas.

Cuando se hace el compostaje con ayuda de lombrices, el producto es un compost normal, mezclado con un cierto porcentaje de heces de lombrices (lombricompost). Ese compost contiene partículas de diferentes dimensiones que se deben clasificar como está descrito en el subcapítulo 3.3.

4.1.1.4.2. Manejo de la planta de tratamiento por medio de biodegradación intensiva

Al operar la planta por medio de biodegradación intensiva, requiere de una cantidad más grande de lombrices, lo cual incrementa los lechos para la crianza de esta, así como el cuidado y tratamiento de la materia, la cual cambiaría el tiempo de producción intensificando la producción debido al incremento de lombrices.

4.1.1.4.3. Operación como la planta de compostaje con ayuda de lombrices

La planta de lombricultura intensiva se puede a grosso modo operar como la planta de compostaje con ayuda de lombrices. Hay algunas diferencias, estas son:

- La cantidad de lombrices a sembrar es mucho más elevada
- Las lombrices se cosechan regularmente (1 por mes o 1 por dos meses)
- El producto contiene solamente lombricompost homogéneo que no tiene que ser clasificado en fracciones
- El compost se puede cosechar después de 3 a 4 meses, cuando esté transformado todo el material en lombricompost.

4.1.1.4.4. Operación con carga continua de materia cruda

Este tipo de lombricultura se puede operar con los dos modelos descritos en el subcapítulo 4.1.1.3. La diferencia es que no se pone todo el material a digerir desde el comienzo pero que se añaden sucesivamente capas flacas de material nuevo, siguiendo el proceso de digestión por las lombrices.

La diferencia es que al inicio de la operación se carga una cierta cantidad de basura prefermentada de un mes (por ejemplo, 50 kilogramos), a la cual se agrega una cantidad de lombrices de 100 a 200 por ciento del peso de la basura. Entonces se puede agregar cada día la misma cantidad de basura, que se digiere durante el día.

Aproximadamente a los dos meses de comenzada la actividad, la población de lombrices habrá aumentado al doble. Entonces será tiempo de duplicar el espacio del área de lombricultura y también la cantidad de alimento diario.

Cuando transcurran otros dos meses, se deberá duplicar nuevamente el espacio y el alimento y así, sucesivamente hasta que se logre la capacidad diaria deseada. Para mantener estable la población de lombrices, se deben cosechar las lombrices cada mes o cada 2 meses.

Si se hace la cosecha cada mes, se debe cosechar un 25 por ciento de la población de lombrices para asegurar que haya bastantes lombrices para continuar el proceso de lombricultura. Si se cosechan las lombrices cada 2 meses, se puede cosechar hasta el 50 por ciento. Antes de comenzar con la primera carga de basura, se debe preparar una "cuna" para las lombrices, para que puedan retirarse de la superficie. Esta cuna puede consistir de heces animales (prefermentadas) sino, se mueren las lombrices, de paja, pasto, papel, tierra o compost.

Se debe humedecer el material como esta descrito en el capítulo 4.1.1.1.2. Después se puede sembrar la cantidad de lombrices correspondiente a la cantidad diaria de basura que se intenta poner a la lombricultura. Se puede comenzar a cargar la basura una semana más tarde.

La basura que se agrega regularmente a la lombricultura se debe poner en capas delgadas, no más que 8 a 10 centímetros de profundidad. Con esto se asegura que las lombrices puedan comer rápidamente el material, antes que se realice la prefermentación.

Después se debe cubrir el área de lombricultura (con pasto, paja, hojas de plátano) para oscurecer el ambiente de lombricultura y proteger las lombrices del sol. Antes de cargar nuevo material se debe controlar si ya se digirió el material puesto el día anterior.

Sino, se debe reducir la cantidad diaria de basura hasta que crezca la población de lombrices y pueda comer una cantidad más.

Se puede agregar basura diariamente, cada 2 días o una vez por semana. No se recomienda dejar las lombrices sin suministro de comida durante más que 2 semanas. Si se composta heces fecales de animales, se recomienda cargar el material 1 vez por semana.

4.1.1.4.5. Uso de las lombrices

Las lombrices cosechadas se pueden utilizar como alimento para animales en la agricultura. El contenido alto de proteínas en las lombrices las convierte en un alimento de mucho valor para el pollo, polluelo, pescado u otros mariscos.

Especialmente la lombriz *Lombricus rubellus* es muy apropiada como alimento para pescado. Con el uso de lombrices secadas como alimento de pollos y polluelos se puede evitar la contaminación de la carne de pollo con salmonella.

4.2. Operadores del sistema seleccionado

Cada una de los departamentos estará compuesto por procesos, roles, máquinas, y los protagonistas principales serán los operadores de cada proceso, por tal razón, se asignarán y definirán los puestos de trabajo correspondientes a las tareas que compondrán los procesos técnicos y

administrativos del proyecto, para cada puesto, se especificará una denominación, la cantidad de operadores y el área operativa al que pertenece.

Tabla XI. Tareas y puestos de trabajo

Unidad Operativa	Tarea	Puesto de trabajo	
		Denominación	Cantidad
Producción	Recibir, coordinar y determinar peso de vehículos recolectores	Operador de báscula	1
Producción	Ordenar vehículos y supervisar descarga de residuos	Operador de descarga	1
Producción	Identificar, seleccionar y separar los residuos según su tipo	Separador	2
Producción	Trasladar residuos inorgánicos a área de embalaje y prensado	Separador	1
Producción	Comprimir, empacar y almacenar residuos inorgánicos no procesables	Preparador de no procesables	2
Producción	Prensar, empacar y almacenar residuos para reciclaje	Preparador de reciclables	1
Producción	Cargar, transportar y apilar productos orgánicos para compostaje y lombricultura	Cargador	1
Producción	Transportar compost a área de tamizado, operar tamizador, separar el compost obtenido de sus residuos y trasladar compost a área de empaque	Tamizador	1
Producción	Empacar, etiquetar producto obtenido de Compostaje Empacar, etiquetar humus obtenido de Lombricultura	Empacador	1
Producción	Administrar bodega de producto terminado, despachar producto a clientes	Despachador	1
Producción	Ejecutar mantenimientos y reparaciones a maquinaria y equipo	Mecánico	1
Ventas	Cargar, transportar y entregar producto vendido	Pilotos	2
Ventas	Visitar, promocionar, negociar, vender, cobrar	Vendedor	1
Finanzas	Facturar, ingresar a sistema, llevar libros, y otras funciones contables	Contador	1
Gerencia	Supervisar las gestiones administrativas y de producción	Gerente administrativo	1

Fuente: elaboración propia.

4.3. Los perfiles de trabajo y sus condiciones

Para cada rol se describirán ciertas características relevantes, como, la tarea que habrá de realizar y la carga de responsabilidad que conlleva.

Asimismo, se establecerá la diferenciación entre los operadores que realizan acciones directas determinadas por otros operadores y los que tienen funciones de gobierno interno, lo cual se refiere a funciones de mando y toma de decisiones.

4.3.1. Los puestos de trabajo

Cada actividad dentro del proceso productivo así como la administración y supervisión de la planta de tratamiento, debe ser considerada como una operación específica la cual debe estar cubierta por el personal idóneo y adecuado, dependiendo del puesto así se define el perfil de trabajo.

4.3.1.1. Características de formación

En el siguiente análisis serán definidas las características de formación o de tipo profesional que requerirán para cada puesto de trabajo, éstas son las características de formación que se definen dentro del sistema educativo de Guatemala.

Tabla XII. **Formación requerida**

Puesto de trabajo	¿Acción directa o función de gobierno?	Características de formación requerida
Operador de báscula	Directa	Educación media básica
Operador de descarga	Directa	Educación media básica
Separador	Directa	Educación media básica
Separador	Directa	Educación media básica
Preparador de no procesables	Directa	Educación media básica
Preparador de reciclables	Directa	Educación media básica
Cargador	Directa	Educación media básica
Tamizador	Directa	Educación media básica
Empacador	Directa	Educación media básica
Despachador	Directa	Educación media básica
Mecánico	Directa	Educación media diversificado, nivel técnico
Pilotos	Directa	Educación media básica
Vendedor	Gobierno	Con estudios universitarios
Contador	Directa	Educación media diversificado
Gerente de manufactura	Gobierno	Educación universitaria

Fuente: elaboración propia.

4.3.1.2. Ambiente de trabajo

Dentro de la planta de tratamiento de residuos sólidos, cada puesto de trabajo estará caracterizado por aspectos físicos de la tarea y del área en el que se ejecuta la tarea, también de situaciones sociales, ambos factores dados por la naturaleza del puesto, el siguiente análisis establece estos aspectos:

Naturaleza del trabajo: caracterización de la tarea y responsabilidad,
 Ambiente físico: se refiere a condiciones térmicas, acústicas, lumínicas, lugares abiertos o cerrados, exposición a contaminación.

Ambiente social: si es formal, informal, aislado, integrado, tranquilo, estresante; y el grado de contacto que el empleado tendrá con otros tipos de usuarios del sistema completo.

Tabla XIII. **Ambiente de trabajo**

Puesto de trabajo	Naturaleza del trabajo	Ambiente físico	Ambiente social
Operador de báscula	Atenderá a recolectores y determinará el peso de las cargas	Temp. – Ambiente 21-23 °C Nivel de ruido – 90 dB Iluminación natural y artificial Exposición a emisiones de combustión	Informal; aislado; tranquilo; contacto con transportistas y operadores de descarga; Ing. De Producción,
Operador de descarga	Coordinará la descarga de residuos a tolvas de recepción	Temp. – Ambiente 21 - 23 °C Nivel de ruido – 90-95 dB Iluminación natural y artificial Exposición a emisiones de combustión	Informal; aislado; tranquilo; contacto con transportistas y Operador de Báscula; Ing. De Producción
Separador	Separarán en banda transportadora los distintos tipos de residuos	Temp. – Altas 23 – 27 °C Nivel de ruido –75 – 85 dB Iluminación natural y artificial Contacto con residuos Lugares cerrados	Informal; integrado; estresante; contacto con compañeros, Ing. de Producción
Separador	Trasladará materiales separados hacia áreas de embalaje y compactación	Temp. – Altas 23 – 27 °C Nivel de ruido –75 – 85 dB Iluminación natural y artificial Contacto con residuos lugares parcialmente cerrados	Informal; integrado; estresante; contacto con compañeros, Ing. De Producción

Continuación de la tabla XIII.

Puesto de trabajo	Naturaleza del trabajo	Ambiente físico	Ambiente social
Preparador de reciclables	Compactará, acondicionará y empacará el producto listo para ser comercializado para su reciclaje	Temp. – Altas 23 – 27 °C Nivel de ruido – 80-90 dB Iluminación natural y artificial Contacto con residuos que pudieran representar riesgos Lugares parcialmente abiertos	Informal; integrado; estresante; contacto con cargadores y separadores, Ing. De Producción
Cargador	A cargo de cargar, transportar y apilar los residuos orgánicos para el compostaje y lombricultura por medio de tractor o vehículo de carga	Temp. – Ambiente 21 –23 °C Nivel de ruido – 90 - 95 dB Iluminación natural Contacto con residuos que pudieran representar riesgos	Informal; aislado; estresante; contacto con separadores, Ing. de Producción,
Tamizador	Encargado de la operación del tamiz y la recolección de residuos del compostaje y compost tamizado	Temp. – Altas 23 – 27 °C Nivel de ruido – 80 - 90 dB Iluminación natural y artificial Riesgos por maquinaria Lugares parcialmente cerrados	Informal; integrado; estresante; empacadores e Ing. de Producción,
Empacador	Traslado del producto de los procesos al empaque, operación de empaque, colocación de etiquetas	Temp. – Altas 23 – 27 °C Nivel de ruido – 80 - 90 dB Iluminación natural y artificial Riesgos por maquinaria Lugares parcialmente cerrados	Informal; integrado; estresante; tamizadores, Ing. de Producción
Despachador	Encargado del almacenamiento, y despacho de producto final para su venta	Temp. – Ambiente 21 – 23 °C Nivel de ruido – 50 - 60 dB Iluminación natural y artificial Lugares parcialmente cerrados	Informal; integrado; estresante; empacadores, Pilotos, Ing. de Producción, Clientes

Continuación de la tabla XIII.

Puesto de trabajo	Naturaleza del trabajo	Ambiente físico	Ambiente social
Mecánico	Tendrá a su cargo la ejecución de rutinas de mantenimientos correctivos y preventivos a los equipos	Temp. – Altas 23 – 27 °C Nivel de ruido – 75 - 85 dB Iluminación natural y artificial Riesgos en maquinaria y herramientas Lugares cerrados	Informal; integrado; estresante; Operadores de Planta, Ing. De Producción
Pilotos	Entregarán los pedidos de los clientes	Temp. – 21 – 27 °C Nivel de ruido – 60 - 70 dB Iluminación natural y artificial Lugares abiertos y rutas	Informal; integrado; estresante; en contacto con Vendedores, y clientes
Vendedor	Encargado del crecimiento en niveles de ventas, negociaciones con clientes potenciales y consolidación de nuevos clientes	Temp. – 21 – 27 °C Nivel de ruido – 60 - 70 dB Iluminación natural y artificial Oficinas y rutas	Formal; integrado, estresante; se relacionará con Clientes, Contador Ing. de Producción, Gerentes
Contador	Digitar información, generación de reportes	Temp. – 21 – 24 °C Nivel de ruido – 50 - 60 dB Iluminación artificial oficinas	Formal; integrado; estresante; reportando a Gerente y en relación con vendedores
Gerente administrativo e Ing. de producción	Será el responsable de la planificación estratégica en materias administrativas y de negociación con clientes grandes, autoridades nacionales	Temp. – 21 – 24 °C Nivel de ruido – 50 - 60 dB Iluminación artificial oficinas	Formal; Integrado; estresante; Se relacionará con Ingenieros, Coordinadores y otros miembros de la Gerencia y administración municipal.

Fuente: elaboración propia.

4.3.1.3. Relaciones

Las relaciones de dependencia se refieren al nivel de influencia y responsabilidad que un puesto vaya a tener sobre otro, dichas relaciones se muestran en la forma de dependencia entre las acciones directas y las funciones de gobierno interno o de toma de decisiones.

Tabla XIV. **Acciones y funciones de puestos**

Puesto de trabajo	Relación entre acciones directas y funciones de gobierno interno
Personal operativo de área de producción	Acciones directas que afectarán calidad de producto, nivel de eficiencia operacional y desempeño de los equipos. Dependientes de acciones de gobierno de Ingenieros de Producción y Mantenimiento
Despachador	Acciones directas que afectarán índices de cumplimiento de entregas, disposición de productos en inventarios, dependientes de acciones de gobierno de vendedores y gerentes
Ing. de producción	Funciones de gobierno que determinarán procedimientos normas y métodos del área de Producción del proyecto, alineadas a objetivos organizacionales estratégicos establecidos por gerentes.
Pilotos	Acciones directas que afectarán entregas y satisfacción de clientes, determinadas por funciones de gobiernos de vendedores y gerentes
Vendedor	Funciones de gobierno orientadas por los niveles de demanda y necesidades de crecimiento de la organización, determinadas por objetivos estratégicos comerciales establecidos por gerentes
Contador	Acciones directas que afectarán la integridad de la información financiera de la compañía y la posible interpretación de resultados, dependientes de funciones de gobierno y gerentes.
Gerente	Funciones de gobierno que establecerán los objetivos estratégicos dependiendo de las situaciones, y rumbo del negocio, deberá fungir como Ing. de producción.

Fuente: elaboración propia.

4.3.2. Complejidad y dificultad intrínseca

Para cada puesto, existirá una complejidad diferente a la de otro puesto, así mismo, la dificultad tanto física como mental será distinta dependiendo del nivel de destreza intelectual o motriz que requiera la tarea. Los aspectos que se tomarán en cuenta en este inciso son definidos a continuación:

Carga mental: complejidad y dificultad de las instrucciones y de la toma de decisiones para todas las actividades correspondientes a cada puesto de trabajo.

Carga física: implicada en todas las acciones directas correspondientes a cada puesto de trabajo, puede suponer esfuerzos con distintas frecuencias y duraciones.

Estimación de las tolerancias de errores admisibles: representa el riesgo que un error pueda representar en el servicio o proceso que se lleva a cabo, en cada actividad, en los horarios y en los ritmos de trabajo fijados a las personas.

Tabla XV. **Complejidad y dificultad de puesto**

Puesto de trabajo	Complejidad y dificultad	Cargas físicas	Tolerancia de errores admisibles
Personal operativo de área de producción	Capacitarse y reaccionar ante señales de las maquinas. Poco cualificado. Puede ser repetitivo.	Carga dinámica. Posible fatiga muscular, lumbalgias por manejo de cargas pesos y posiciones incomodas durante lapsos de tiempo prolongado.	15% (los errores en operación son casi inevitables, sin embargo pueden prevenirse mediante procedimientos bien establecidos, medios de trazabilidad)

Continuación de la tabla XV.

Puesto de trabajo	Complejidad y dificultad	Cargas físicas	Tolerancia de errores admisibles
Despachador	Identificar y almacenar productos. Cumplir con tiempos de preparación y entrega de pedidos. Trabajo repetitivo poco cualificado.	Carga dinámica. Fatiga muscular, lumbalgias, manejo de pesos, trabajo manual, repetitivo.	5% (algún error en el almacenamiento no pondría mayores riesgos al sistema, sin embargo podría causar problemas en las entregas a clientes)
Ing. de producción	Analizar e interpretar información, transmitir conocimientos adquiridos, resolución de problemas y toma de decisiones técnicas. Cualificado	Carga estática, posible tensión prolongada	3% (posibles errores procesos de producción pueden ocasionar pérdidas financieras)
Pilotos	Transporte de productos terminados para entrega a clientes. Posible sobrecarga de mecanismos senso-motores. Trabajo poco cualificado repetitivo.	Carga estática. Posibles posturas forzadas e incómodas.	5% (El manejo del producto terminado es sumamente importante dentro del sistema)
Vendedor	Analizar mercados, lograr negociaciones rentables. Trabajo Cualificado.	Carga dinámica, posible fatiga muscular. Viajes frecuentes.	3% (Errores en las negociaciones con clientes equivalen a pérdidas financieras)
Contador	Analizar, clasificar y ordenar (sistematizar) información financiera. Trabajo medianamente cualificado.	Carga estática, posible tensión prolongada	9% (en caso de error contable, es posible enmendarse y recalcularse la información generada)
Gerente manufactura	Informarse, analizar, interpretar y decidir situaciones complejas, sumamente cualificado.	Carga estática, posible tensión prolongada. Viajes frecuentes	0% (Una mala decisión gerencial pone en serio riesgo al sistema)

Fuente: elaboración propia.

4.4. Riesgos, prevención y corrección

A continuación se identificarán los riesgos y peligros para los operadores de la planta, durante el cumplimiento de las funciones de su puesto. Asimismo, se declaran las especificaciones y toma de decisiones de prevención y de corrección.

Tabla XVI. **Riesgos operacionales**

Puesto de trabajo	Riesgos y peligros para los operadores en el cumplimiento de sus roles	Decisiones para la prevención y corrección
Personal operativo del área de producción	Manipulación de objetos cortantes, irritantes, punzantes, riesgo eléctrico por maquinaria, riesgos de fluidos hidráulicos por maquinaria, vapores orgánicos, ruido, vibración, compresiones neumáticas, maquinaria en altas temperaturas, piezas en rotación.	Conocimiento e información de peligros, equipo de protección personal (tapones auditivos, guantes, gafas, mascarillas, zapatos), capacitación de riesgos específicos (ruido, correcto levantamiento de cargas, manejo de materiales peligrosos .).
Despachador	Manejo de cargas pesadas, contaminación por productos	Información de peligro, capacitación de riesgos específicos
Ingeniería de producción	Estrés, posición estática, fatiga mental, manipulación de objetos, riesgos de fluidos hidráulicos, ruido, vibración, vapores	Técnicas afrontamiento de estrés, pausas activas, equipo de protección personal, capacitación sobre riesgos específicos
Pilotos	Manejo manual de cargas, atropellamiento, accidentes de tránsito	Información de peligro, capacitación de riesgos específicos (ruido, correcto levantamiento de cargas, manejo defensivo), mantenimiento continuo de vehículos
Vendedor	Riesgo vial, eléctrico manejo manual de cargas	Información de peligro, capacitación de riesgos específicos, manejo defensivo
Contador	Estrés, posición estática, fatiga mental	técnicas afrontamiento de estrés, pausas activas
Gerente manufactura	Estrés, posición estática, fatiga mental	técnicas afrontamiento de estrés, pausas activas

Fuente: elaboración propia.

5. SEGUIMIENTO

5.1. Calidad del material crudo

La materia prima principal serán los desechos sólidos obtenidos en el origen, los cuales deben ser cuidadosamente seleccionados e inspeccionados ya que no solo pueden contar con materiales foráneas que puedan obstruir el proceso, si no también que este no este contaminado con algún químico que pueda dañar el tratamiento por medio de lombrices.

5.1.1. Criterios de calidad para materiales biodegradables

Se necesita asegurar las condiciones siguientes para una biodegradación óptima de los desechos crudos:

- Contenido suficiente de materia orgánica
- Buena relación de elementos nutritivos ($20 < C/N < 40$)
- Humedad apropiada (25 % - 70 %)

El contenido de materia orgánica se mesura con el experimento de ignición. La cantidad de materia perdida (en porcentaje de peso) es igual a la materia orgánica.

Además, es importante la forma de las partículas de los desechos. Para asegurar una biodegradación bajo condiciones aeróbicas, las partículas no deben ser muy pequeñas (mayor de 5 a 8 milímetros) y la estructura del cuerpo

de desechos debe permitir un aireación fácil (mecánica, manual o a través de lombrices).

Si se composta solamente una fracción (solamente desechos de cocina o solamente papel), en general no se pueden asegurar todas condiciones necesarias. Se recomienda entonces el compostaje de varias fracciones mezcladas. Las características de los desechos biodegradables y varios parámetros de aptitud para el compostaje se presentan en las tablas XVII y XVIII.

Tabla XVII. **Característicos de desechos biodegradables**

Desecho	Materia Orgánica (%)	Tasa C/N	N (mg/kg)	P ₂ O ₅ (mg/kg)	K ₂ O (mg/kg)	CaO (mg/kg)	MgO (mg/kg)
Desechos de cocina	20 – 80	12 - 20	0,6 – 2,2	0,3 – 1,5	0,4 – 1,4	0,5 – 4,8	0,5 - 2,1
Desechos biodegradables mixtos	30 – 70	10 - 25	0,6 – 2,7	0,4 – 1,4	0,5 – 1,6	0,5 – 5,5	0,5 - 2
Desechos de parques y jardines	15 – 75	20 - 60	0,3 – 2,0	0,1 – 2,3	0,4 – 3,4	0,4 – 1,2	0,2 - 1,5
Desechos domiciliarios mixtos	25 – 50	30 - 40	0,8 – 1,1	0,6 – 0,8	0,5 – 0,6	4,4 - 5,6	0,8
Desechos celulósicos (Papel, desechos de madera)	75	170 - 800	0,2 – 1,5	0,2 – 0,6	0,02 – 0,1	0,5 – 1,5	0,1 - 0,4
Estiércoles de:							
vaca	20,3	20	0,6	0,4	0,7	0,6	0,2
Puerco	25,4	25	0,7	0,3	0,8	0,4	0,2
pollo	10 - 15		9,8	8,3	4,8	17,3	1,7
Heces fecales humanos	15 - 25	6 – 10	2	1,8	0,4	5,4	2,1
Paja		100	0,4	2,3	2,1	0,4	0,2

Fuente: <http://lombricomposta.com>. Consulta: 16 de abril de 2013.

Tabla XVIII. **Parámetros de aptitud de desechos biodegradables para el compostaje**

Desecho	Aptitud de forma y estructura para el compostaje (homogeneidad, Aptitude para aireación)	Aptitud del contenido de agua para el compostaje	Porcentaje máximo del material respectivo permisible para el compostaje	Pre-condicionamiento necesario
Desechos de cocina	Mala (material fino, pegajoso y húmedo; densidad alta)	Demasiado alto	< 50 %	Mezcla con material seco y material grueso; separación de materiales foráneos
Desechos biodegradables mixtos	Buena - mala (depende de la composición)	Bueno - alto	50 % - 100 %	Trituración, homogenización, separación de materiales foráneos
Desechos de parques y jardines	Buena	Bueno - bajo	100 %	Trituración, homogenización
Desechos domiciliarios mixtos	Buena	Bueno	100 %	Trituración, homogenización, separación de materiales foráneos
Desechos celulósicos (Papel, desechos de madera)	Buena	Demasiado bajo	< 60 % (menos si es muy alto el tasa C/N)	Trituración, separación de materiales foráneos
Estiércoles animales	Mala	Demasiado alto	< 30 %	No se necesita
Heces Fecales humanos	Mala	Demasiado alto	< 60 %	Secar
Paja	Buena	Demasiado bajo	< 50 %	Cortar

Fuente: <http://lombricomposta.com>. Consulta: 21 de abril de 2013.

5.1.2. **Mejoramiento de la calidad por optimización del proceso**

Para obtener un material rico en nutrientes para la tierra y que garanticen que el abono se encuentre en su estado óptimo, es necesario contar con una calidad de materia para la producción de compost y esto se logra mejorando el tratamiento de este, haciendo una buena selección y procesándolo de forma adecuada.

5.1.2.1. Clasificación domiciliaria

Como la mayoría de desechos sólidos son generados dentro de los hogares, es necesario implementar una cultura de reciclaje y clasificación adecuada de la basura dentro de los hogares para que esto facilite la operación de clasificación dentro de la planta de tratamiento.

5.1.2.1.1. Principios generales de la clasificación domiciliaria

La clasificación domiciliaria es la medida más importante para aumentar la calidad de los materiales crudos que ingresan a la planta de compostaje. Aquí es muy importante que se clasifiquen positivamente los desechos biodegradables (recipiente y recolección separada de los desechos biodegradables), que no se mezclen la basura biodegradable con los desechos del barrido, que son altamente contaminados con metales pesados (abrasión de llantas, contaminación con gasolina y lubricantes).

Con la clasificación domiciliaria de los desechos biodegradables se reduce considerablemente el contenido de metales pesados dentro del compost, lo que es lo más importante para la salud de la población. Desechos altamente contaminados como pilas, algunos plásticos (OPP) que contienen metales pesados como cobre, níquel o cadmio, no se mezclan con la basura desde la fuente y por consecuencia, se evita completamente la contaminación con estos metales.

Es muy importante que no se mezcle el papel impreso (especialmente: papel de periódico) con los desechos biodegradables, por causa del alto contenido de metales pesados de las tintas de impresión.

Además, estos papeles son reciclables y tienen un valor económico importante. En contra, se puede compostar el papel de higiénico que no es reciclable por causa de la contaminación fecal (lo que no daña al compost) pero que no tiene alta contaminación con metales pesados.

Además, el contenido de materiales foráneos baja considerablemente con la clasificación domiciliaria. Esto es especialmente importante para plantas manuales donde el acondicionamiento del material crudo y el acondicionamiento del producto son las tareas más difíciles y más duras para el personal.

5.1.2.1.2. Como clasificar la basura biodegradable

Se recomienda tomar varios criterios para la clasificación domiciliaria de desechos biodegradables para poder tener distintas referencias que se adapten al lugar. Como el visto en el subcapítulo 2.1.3., y el que se presenta en la tabla XIX.

Tabla XIX. **Criterios recomendados para la clasificación domiciliaria**

Recipiente Verde (Basura biodegradable que será compostado)	Recipiente Negro (Otra basura)
<p><u>Desechos Biodegradables</u></p> <ul style="list-style-type: none"> • Cáscaras de verduras, granos, legumbres y • Frutas • Cáscaras de huevos, nueces. • Desechos de horchata, té o café • Papel de servicio usado (papel de baño, papel de cocina) • Cabello cortado, plumas • Desechos de jardín o huerto • Desechos de plantas decorativas (con o sin tierra), flores decorativas • -Desechos sólidos de la cocina (pan podrido, cáscaras de queso .) • -Desechos de madera sin laqueado o pintura, astillas, acepilladura, viruta, . • -Paja usada de animales domésticos 	<p><u>Desechos Reciclables:</u></p> <ul style="list-style-type: none"> • Metales • Plásticos • Papel de periódico, papel bond, cuadernos. • Aceites minerales, lubricantes • Residuos de pintura o solventes <p><u>Desechos no reciclables:</u></p> <ul style="list-style-type: none"> • Comida cocinada, líquida o pastosa • Desechos de carne, piltrafa • Aceites minerales, lubricantes • Desechos de madera pintada o laqueada • Pañales desechables, compresas higiénicas, algodón • Cenizas, colillas, fósforos usados • Desechos de barrido • Medicamentos • Pilas • Desechos químicos, detergentes

Fuente: programa de la clasificación domiciliaria de la ciudad de Stuttgart, Alemania.

5.1.2.1.3. Como hacer la clasificación domiciliaria más confortable para los usuarios

Los siguientes factores son los más importantes para los ciudadanos que participan en un programa de clasificación domiciliaria:

- Sistema sencillo

No le gusta a la mayoría de la población que sea muy complicado el sistema de clasificación domiciliaria. No tienen tiempo, ganas ni espacio físico para separar los desechos domésticos en tres, cuatro o más fracciones.

Si se realiza un sistema de clasificación con dos diferentes fracciones - la basura biodegradable y la basura no biodegradable - ya es bastante para asegurar la calidad de los desechos a compostar (que no se mezclan con metales pesados, plásticos) y de los desechos reciclables (son más fáciles de reciclar si no se contaminan con basura húmeda en putrefacción) y no es un sistema muy exigente para los participantes.

- Sistema barato

Es muy importante que la introducción de un sistema nuevo de manejo de desechos sólidos no cause gastos importantes a la población que, en este caso, iría a resistir al sistema nuevo.

Se pueden imaginar las alternativas siguientes para tener bajos los costos de la clasificación domiciliaria:

- Clasificación en recipientes estándar de color diferente (verde y negro, como se lo realiza en la ciudad de Loja), que se confeccionan especialmente para el programa de clasificación domiciliaria.
 - Clasificación en recipientes estándar que pertenezcan al municipio y que se alquilen a la población a costo bajo (se puede cobrar con la factura de agua como rubro separado).
 - Bajar la frecuencia de la recolección para compensar los costos adicionales de la clasificación domiciliaria (esto se puede hacer en la Sierra donde son favorables las condiciones climáticas pero no en la costa o el oriente, por causa de la putrefacción rápida de los desechos biodegradables). No se necesita la recolección diaria de basura; se pueden recoger las fracciones biodegradable y no biodegradable 1 x vez por semana cada una.
 - Clasificación domiciliaria sin compra de recipientes diferentes pero con monitoreo permanente para asegurar que se saquen las fracciones respectivas en el día que corresponda (esto se recomienda para pequeños municipios que no tienen un gran presupuesto pero que se pueden monitorear fácilmente).
- Sistema limpio

Lo que preocupa muchas personas es el problema de olores por causa del comienzo de la putrefacción de los desechos biodegradables. Esto es un problema grave especialmente en grandes ciudades, urbanizaciones modernas o en las regiones céntricas de ciudades medianas, donde hay una población densa, no hay jardines o patios y los ciudadanos tienen que mantener los recipientes dentro de la casa.

Es posible con unas medidas simples reducir el problema de olor al mínimo. Se necesita comunicar estos métodos desde el inicio del proyecto. Las medidas más importantes son:

- No comprimir los desechos biodegradables
- Mezclar los desechos biodegradables con papel higiénico usado y, después de la recolección de basura biodegradable, echar una capa de desechos gruesos (trozos de madera, tronchos de banano .) al fondo del recipiente, arriba de esto use papel usado
- No echar desechos líquidos al recipiente de la basura biodegradable
- No poner el recipiente de basura biodegradable al sol
- Cerrar el recipiente
- No dejar los desechos biodegradables abiertos antes de ponerles al recipiente.

Se deben echar los desechos biodegradables al recipiente inmediatamente después de su generación.

- Limpiar el recipiente de basura biodegradable después de cada recolección.
 - Si no hay como desembarazarse del tufo, se puede añadir cal apagada a los desechos. La cal no daña al proceso de compostaje, es barata y elimina todo tipo de malos olores.
- Sistema cómodo

Las experiencias han mostrado que no les gusta a las personas transportar los desechos hacia un lugar fijo donde hay un contenedor.

Si la participación de los ciudadanos depende de su propia iniciativa (en sistemas donde se utilizan contenedores centrales), es mucho más baja que en sistemas donde todo el trabajo es organizado por el municipio.

El mejor sistema es la recolección de la basura biodegradable desde los hogares, con la ayuda máxima que puede brindar el sistema municipal. Si se utilizan recipientes, fundas estandarizados, es mejor que los suministre el municipio que dejar la responsabilidad de comprarlos a los ciudadanos.

5.1.2.1.4. Factores de éxito para un programa de clasificación domiciliaria

Para obtener resultados satisfactorios de la clasificación domiciliaria, los siguientes factores son muy importantes.

- Capacitación intensiva (lo óptimo es la capacitación personal puerta a puerta) al inicio del proyecto.
- Capacitación continua durante la implementación del proyecto (repetición de la capacitación, entrevistas para obtener ideas y críticas de la población, publicación de los resultados del proyecto).
- Sistema sencillo, barato, fácil a aplicar para el municipio y cómodo para las habitantes.
- Monitoreo continuo de la clasificación.
- Implementación con consecuencia y persistencia por parte del municipio.

La experiencia que tienen en otros países, ciudades y de culturas diferentes nos muestran como denominador común que los resultados de la clasificación permanecen a un nivel muy bajo durante los primeros meses. Es

muy importante que no se desesperen entonces los iniciadores del proyecto pero que continúen con la capacitación y la implementación del proyecto. Se necesita un tiempo de dos años o más para que la clasificación domiciliaria se haga costumbre en la población.

5.1.2.2. Preacondicionamiento de los desechos domiciliarios mixtos

Hay que darse cuenta que no es barata la introducción de la clasificación domiciliaria de los desechos sólidos. Ya que aún no existe un sistema suficiente para retribuir los gastos de manejo de desechos sólidos de los beneficiarios del sistema, la población, se puede recomendar el compostaje de desechos domiciliarios mixtos a municipios pequeños, sin recursos financieros y personales para realizar exitosamente la clasificación domiciliaria de desechos biodegradables.

Los característicos de biodegradación de los desechos domiciliarios mixtos no son muy diferentes de los desechos biodegradables clasificados en el hogar. La gran diferencia es el contenido de metales pesados y de materiales foráneos dentro de la materia cruda.

Es muy importante que estos materiales se separen de la mejor manera posible antes del proceso de compostaje. Para esto se recomiendan las siguientes operaciones:

- Separación minuciosa de materiales foráneos

Es importante que se separen todos los metales, plásticos y papel de periódico. Para ello, se puede cooperar con recicladores privados que tienen su

beneficio propio de separar la cantidad máxima de estos materiales. Además, se deben separar todas las pilas y restos de medicamentos que pueden seriamente contaminar el compost. Se recomienda que se haga este trabajo por obreros municipales. Todos los trabajos de separación deben hacerse bajo supervisión municipal para asegurar una calidad permanentemente alta del material ingresante.

- Separación de la fracción fina

La fracción fina de los desechos domiciliarios mixtos es la fracción más contaminada por causa de los desechos de barrido. Si la logística le permite, se recomienda no mezclar los desechos del barrido con los desechos domiciliarios. Para ello, se necesita un recorrido separado para recoger los desechos del barrido. Esta aplicación es más fácil en municipios que disponen de una cantidad suficiente de recolectores y que pueden dedicar un recolector solamente a esta tarea, o en municipios donde se realiza manualmente el servicio de la recolección y del barrido.

Si no hay la suficiente capacidad para realizar un recorrido separado de los desechos de barrido, se recomienda una clasificación en fracciones de los desechos mixtos durante el acondicionamiento. Esta se puede realizar con tamices manuales o una criba tambor con aperturas finas (8 a 12 milímetros).

Si un municipio tiene el presupuesto para una planta semimecanizada e intenta agregar una criba tambor para la separación de la fracción fina, se recomienda hacer un estudio si no se puede introducir la clasificación domiciliaria al menos un recorrido separado de los desechos de barrido en lugar de invertir en una criba tambor. Cuando se trata de minimizar la contaminación de la basura biodegradable, la clasificación domiciliaria y la separación de los

desechos de barrido desde la fuente dan resultados mucho mejores que una clasificación mecánica de desechos mixtos.

5.2. Aplicación del compost

El compost producido en una planta de compostaje, se puede utilizar como abono o como tierra humus para las siguientes aplicaciones:

- Agricultura
- Silvicultura
- Reforestación
- Mantenimiento de parques y jardines
- Arquitectura de paisaje
- Producción de filtros biológicos para el tratamiento industrial del aire usado.
- Cobertura diaria y rehabilitación de rellenos sanitarios

El uso del compost en la agricultura se resume en la tabla XX; el uso en la silvicultura, cultura de árboles frutales y arquitectura de paisaje se presenta en la tabla XXI, y el uso en la horticultura se presenta en la tabla XXII.

Tabla XX. **Uso del compost en el agricultura**

Aplicación	Objetivo	Cantidad necesaria de compost (kg/m ²)	Frecuencia de aplicación	Forma de aplicación
Preparación Del Terreno	Mejorar la calidad de la tierra	< 15 kg/m ²	Una vez	Mezcla del compost Con la Tierra Profundamente
Cultivo de papas, zanahoria y legumbres semejantes	Enriquecimiento de la tierra	3 - 5 kg/m ²	1 cada 2 años	Mezcla superficial del compost con la tierra
	Uso como abono	3 - 6 kg/m ²	1 al año	
Trigo, avena, cebada, centeno, maíz	Enriquecimiento de la tierra, uso como Abono	2 - 4 kg/m ²	1 cada 2 años	Mezcla superficial del compost con la tierra
Pasto, pradera	Enriquecimiento de la tierra	3 - 6 kg/m ²	1 cada 2 años	Dispersar sobre la superficie

Fuente: <http://lombricomposta.com>. Consulta: 12 de mayo de 2013.

Tabla XXI. **Uso del compost para la horticultura, silvicultura y arquitectura del paisaje**

Aplicación	Cantidad necesaria De compost (m ³ /ha)	Frecuencia de Aplicación
Viveros y planteles	10 – 14	1 en 2 años
Cultivo de arboles frutales	10 – 14	1 en 3 años
Arquitectura de paisaje, siembra de plantas al lado de calles y caminos	500 – 700	Una vez
Mantenimiento del césped	10 – 14	1 al año
Mantenimiento de áreas de deporte	25 – 35	1 al año
Mantenimiento de macizos	15 – 21	1 al año
Floricultura	6 -8,5	1 al año

Fuente: <http://lombricomposta.com>. Consulta: 14 de mayo de 2013.

Tabla XXII. **Uso del compost para hortalizas**

Tipo de hortaliza	Unidad	Cantidad necesaria	Período de aplicación
Col (cabezas)	g/planta	500	Trasplante
Culantro	kg/m ²	5	Siembra directa
Tomate	g/planta	750	Trasplante y en la floración
Vainita	g/planta	500	Siembra directa
Zanahoria	kg/m ²	5	Siembra al aporque
Cebolla	g/planta	250	Siembra directa
Pepino	g/planta	1 000	Siembra directa
Nabo	kg/m ²	4	Siembra directa
Rabanito	kg/m ²	4	Siembra directa
Col china	g/planta	500	Trasplante
Ají	g/planta	500	Trasplante y con 3 meses

Fuente: <http://lombricomposta.com>. Consulta: 18 de mayo de 2013.

Además, se puede utilizar el compost para la construcción de filtros biológicos. Los filtros biológicos se pueden utilizar para el tratamiento del aire usado de las industrias siguientes:

- Industria alimentaria
- Industria química (producción de plásticos y de solventes)
- Industria de cuero
- Ganadería y avicultura industrial
- Plantas mecanizadas de tratamiento de desechos sólidos

La densidad de los filtros biológicos debe ser entre 0,4 a 0,5 tonelada por metro cúbico; la dimensión de las partículas tiene que ser más que 4 milímetros. Las dimensiones de los filtros biológicos se diseñan según la aplicación industrial, la cantidad y la contaminación del aire tratado.

5.3. Calidad del compost

La calidad del compost está definida de acuerdo a la proporción de carbono-nitrógeno obtenida durante el tiempo de proceso y la cantidad de elementos ricos en nutrientes necesarios para la tierra, si este no cumple con estos dos aspectos se debe seguir tratando los desechos hasta obtener los estándares establecidos.

5.3.1. Calidad del compost como abono orgánico

Los criterios de aptitud del compost como abono orgánico se resumen en la tabla XXIII. Se trata del contenido de materias nutritivas y de criterios generales de calidad. Si se encuentran más del 75 por ciento de las muestras analizadas del producto de una planta de compostaje dentro de los márgenes indicados, se considera como compost de buena calidad fertilizador. Si el contenido de materias nutritivas es muy bajo, el compost no sirve como fertilizador.

En el caso inverso, puede ocurrir una sobrefertilización que puede lixiviar el suelo a largo plazo y que puede causar graves daños a las aguas subterráneas.

Tabla XXIII. **Criterios de calidad para el compost**

Parámetro	Unidad	Mínimo	Promedio	Máximo
Perdida de ignición	% TS	25	35	45
Residuo de ignición	% TS	55	65	75
Contenido de agua	%	35	36	50
Contenido de proteínas	%	30	33	35
Contenido de celulosa	%	3	4	5
Densidad	kg/m ³	550	680	850
Contenido de sal soluble	kg/m ³	2	4	8
Conductividad eléctrica	mnhos/cm	2	2,5	4
pH	-	7,0	7,6	8,3
N total	% TS	0,8	1,1	1,5
N mínimo	mg/l compost	100	150	400
Fósforo (P ₂ O ₅ total)	% TS	0,4	0,7	1,0
Fósforo (P ₂ O ₅ soluble)	mg/l compost	500	1 200	2 000
Potasio (K ₂ O total)	% TS	0,6	1,2	1,5
Potasio (K ₂ O soluble)	mg/l compost	1 000	2 500	5 000
Magnesio (MgO total)	% TS	0,2	0,4	0,7
Magnesio (MgO soluble)	mg/l compost	150	250	500
Calcio (CaO total)	% TS	2	3	6

Fuente: <http://lombricomposta.com>. Consulta: 21 de mayo de 2013.

5.3.2. Contenido de metales pesados

Otro parámetro muy importante es el contenido de metales pesados. Si se aplica un compost con alto contenido de metales pesados al suelo, los metales pesados pasan a las aguas subterráneas y a las plantas cultivadas en esa área.

Los metales pesados ingeridos por seres humanos o animales aumentan considerablemente el riesgo de algunas enfermedades graves, dentro de las cuales el cáncer es una de las más importantes. Se resumen los riesgos que provocan los metales pesados en la tabla XXIV.

Tabla XXIV. **Riesgos para la salud causados por metales pesados**

Metal	Riesgo para la salud
Plomo	anemia, tóxico para los riñones (causa lesiones y cáncer de riñón), reducción del periodo de gestación, problemas de desarrollo intelectual del niño, problemas del desarrollo del oído del niño, afecta el sistema nervioso central (saturnismo), Hipertensión
Cromo	Cáncer, infecciones de sangre, leucemia
Mercurio	daños neurológicos, especialmente peligroso para niños
Cadmio	Afecta el riñón, hipertensión, afecciones de tipo vascular, cáncer de próstata, infertilidad, bronquitis

Fuente: <http://lombricomposta.com>. Consulta: 23 de mayo de 2013.

5.3.3. **Madurez y experimento de auto calentamiento**

Además, un parámetro importante es la madurez del compost. Es muy importante que sea maduro para que no contenga materias fitotóxicas. La madurez es un parámetro que muestra si se ha completado el proceso de biodegradación y de higienización del compost. Se mide con la temperatura que se obtiene en el experimento de autocalentamiento. Los grados de madurez se muestran en la tabla XXV:

Tabla XXV. **Categorías de madurez para compost**

Grado de madurez	Temperatura obtenida en el experimento de Auto-calentamiento (°C)	Categoría de producto
I	> 60	Materia cruda (basura)
II	50 – 60	Compost tierno
III	40 – 50	Compost tierno
IV	30 – 40	Compost maduro
V	< 30	Compost maduro

Fuente: <http://lombricomposta.com>. Consulta: 25 de mayo de 2013.

Se debe alcanzar el grado de madurez IV, mejor V, en la planta de compostaje antes de que se venda el compost. Si se vende compost tierno, el producto contiene todavía gérmenes patógenos o fitotóxicos y puede causar daños tanto a la salud de la persona que lo maneja como al suelo o a las plantas donde se aplica.

Se puede realizar el experimento de autocalentamiento con dos tipos de basura:

- Con basura cruda para ver si es posible compostar un cierto tipo de basura
- Con el producto listo para verificar el grado de madurez del compost.

Para realizar la prueba de autocalentamiento, este se seca hasta una temperatura de 105 °C. Se toman 3 muestras de 600 gramos cada una y se humedecen hasta que tengan una humedad de 35, 40 y 45 por ciento respectivamente. Se añaden 30 gramos de compost maduro o de tierra humus para iniciar el proceso de fermentación. Las muestras se mezclan algunas veces, se dejan 30 minutos abiertas y entonces se ponen dentro de recipientes dewar. Se cierran los recipientes dewar con una tapa de caucho que tiene 3 huecos; uno para poner un termómetro eléctrico en el centro de la muestra, uno para la aireación y el tercero para la evacuación del aire sucio a través de succión.

Se pueden utilizar bombas estándar de acuario para la aireación. Si se realiza el experimento con basura cruda y no se aumenta la temperatura, la basura en cuestión no se puede compostar (esto puede ocurrir para algunos desechos de la industria alimentaria). Si pasa los 40 °C, muy probablemente se

puede compostar. Si se realiza el experimento con compost listo, se pueden determinar los grados de madurez según las categorías dadas en la tabla XXIII.

5.3.4. Clasificación en fracciones

Se clasifica el compost listo en fracciones con diferentes diámetros de partículas. Las fracciones estándar se presentan en tabla XXVI:

Tabla XXVI. **Fracciones estándar del compost**

Fracción	Diámetro de las partículas	Aplicaciones del compost
Compost fino	< 12 mm	Abono, mejoramiento del suelo
Compost mediano	12 - 25 mm	Abono, mejoramiento del suelo, material de filtros Biológicos
Compost grueso	> 25 mm	Material de estructura para mejoramiento del suelo, material de estructura para compostaje, material de cobertura del relleno sanitario, material de relleno para trabajos de construcción o de arquitectura de paisaje.

Fuente: <http://lombricomposta.com>. Consulta: 27 de mayo de 2013.

5.4. Mecanización de la planta

Para facilitar las operaciones a realizar dentro del proceso productivo se implementarán equipos automatizados que permitirán un tratamiento de tipo mecánico, lo que ahorra trabajo manual y de esfuerzo físico con el fin de optimizar y hacer más eficiente el proceso productivo.

5.4.1. Lombricultura o compostaje convencional

En la lombricultura o compostaje convencional se utilizan las lombrices para acelerar la transformación de desechos orgánicos con la finalidad de generar productos naturales tales como el abono de lombriz, material rico en microorganismos; también se puede aprovechar la carne de la lombriz de altos contenidos de proteína, vitaminas y aminoácidos.

5.4.2. Cuales unidades de la planta se pueden o deben mecanizar

Existen diferentes sistemas mecanizados para el compostaje. Los más importantes se presentan en los subcapítulos siguientes.

- Compostaje en pilas con ayuda de maquinaria (con cargadores o con una máquina de mezcla/ revuelta).
- Compostaje en contenedores
- Compostaje en túneles
- Lombricultura mecanizada

En general, todos los sistemas mecanizados disponen de aireación artificial (con presión o succión) y de un sistema automático de riego.

Se realiza generalmente la fase de prefermentación y de fermentación intensiva con el sistema mecanizado. Después, se deja el compost tierno para la maduración completa en pilas que ya no deben ser aireadas o humedecidas.

La primera fase acelerada tarda en general unas 4 a 6 semanas. La

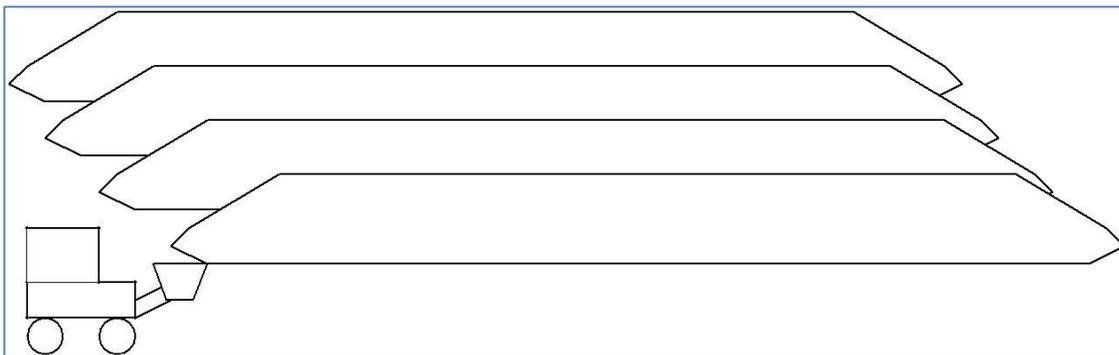
higienización del material tierno necesita unas 6 a 8 semanas más.

5.4.2.1. Compostaje mecanizado en pilas

El compostaje mecanizado en pilas es un sistema muy parecido al compostaje manual en pilas. Las diferencias más importantes son:

- La basura biodegradable se la puede colocar en pilas más altas (hasta 2,50 a 3 metros)
- Si se utilizan cargadores para la mezcla/ revuelta, se pueden utilizar pilas continuas; si se utiliza una máquina especial de mezcla, revuelta, la basura puede colocarse en una sola pila muy extendida (ver: Figura 13).
- Con las pilas más altas y más concentradas, se necesita menos espacio.
- Con la aireación y el riego automático, el tiempo necesario para el compostaje se reduce a aproximadamente 3 meses.

Figura 13. **Bosquejo de planta mecanizada con pilas continuas**



Fuente: elaboración propia.

5.4.2.2. Compostaje en túneles o contenedores

Para este sistema, se carga la basura cruda en contenedores de un volumen de 20 a 70 metros cúbicos. Los contenedores son unidades móviles que se pueden levantar y mover con ayuda de grúas. Tienen equipo para medir las condiciones atmosféricas dentro del contenedor, con el fin de obtener aireación y humedecimiento de manera óptima. Con este ajuste, se acelera el proceso de prefermentación y de fermentación intensiva.

Existen contenedores con maquinaria de mezcla/ revuelta y otros que se operan sucesivamente. Los desechos se quedan en el contenedor para 1 a 2 semanas. Después, el compost tierno será dejado a una larga fermentación en pilas.

El compostaje en contenedores se puede realizar muy flexiblemente. Ya que se pueden operar varios contenedores independientes, es posible realizar el compostaje de diferentes materiales en diferentes contenedores y arreglar los parámetros (aire, agua) según las necesidades específicas. Las emisiones se pueden controlar muy bien.

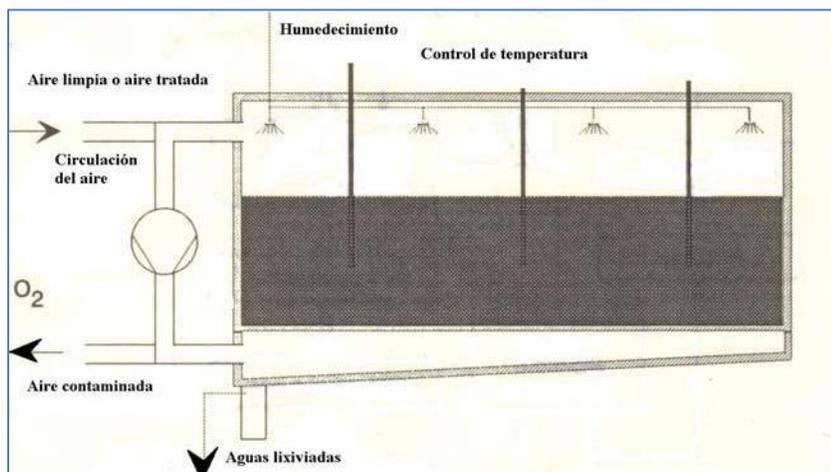
Del otro lado, el sistema tiene algunas desventajas. Por ejemplo, el costo de inversión para los contenedores es muy alto. Además, los contenedores son sistemas susceptibles a daños mecánicos. Son aptos para compostar basura biodegradable con procedencia de la clasificación domiciliaria, desechos de parques y jardines, desechos mezclados con estiércoles, pero no se pueden utilizar para el compostaje de basura doméstica no clasificada. El contenido alto de materiales foráneos causaría muy probablemente daños al equipamiento.

El compostaje en contenedores es un sistema apto para municipios de tamaño medio, que tienen bastantes recursos para la inversión, la capacidad técnica para operar los contenedores y que ya tienen establecido un sistema de clasificación domiciliaria.

Los túneles de compostaje son un sistema muy parecido a los contenedores. Es la variante apropiada para grandes municipalidades.

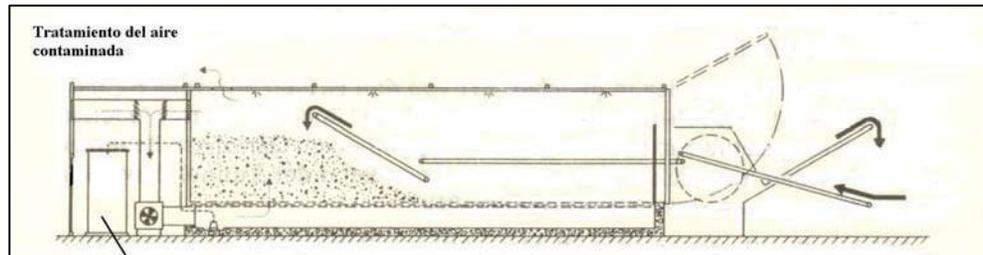
Son contenedores más largos, mejor equipados y no móviles. Ya que los túneles tienen generalmente equipo automático de mezcla/ revuelta, que en el mismo tiempo compensa la pérdida de volumen durante la fermentación, necesitan muy poco espacio. Las otras características, ventajas y desventajas técnicas son los mismos que la de los contenedores. El principio de funcionamiento de un contenedor de compostaje se muestra en las figuras 14 y 15.

Figura 14. **Control de parámetros técnicos en un contenedor de compostaje**



Fuente: images.google.es. Consulta: 30 de mayo de 2013.

Figura 15. **Funcionamiento del contenedor de compostaje**



Fuente: images.google.es. Consulta: 30 de mayo de 2013.

5.4.2.3. Lombricultura mecanizada

El objetivo principal es poder transformar el sistema de procesamiento manual actual a un sistema de procesamiento de lombricultura mecanizada, utilizando los mecanismos que mejor se adapten al área ya existente y las necesidades actuales de la planta de tratamiento.

Para ello se tendrá una báscula donde se tendrá el registro del peso a depositar en cada tanque de compostaje, los residuos tendrán una preclasificación previa, donde luego serán trasladados por medio de una banda transportadora hacia las pilas de compostaje.

Antes de ingresar a las pilas se realizara una clasificación por medio de un electroimán que eliminará todo material foráneo que impida el proceso de degradación microbiana, y se procederá a moler.

Luego ingresará a las pilas donde la lombriz coqueta realizará el proceso de biodegradación, los líquidos lixiviados se eliminarán continuamente por medio de ductos para que no se acumulen y causen un medio anaeróbico que dañe el proceso (ver anexo II).

5.4.3. Presupuesto necesario para inversión y operación de las alternativas consideradas

La municipalidad cuenta con un plan de inversión de desarrollo sostenible y autosostenible para el municipio en el cual tiene contemplado invertir de acuerdo a la propuesta planteada la cual adoptarán para su posterior proyección presupuestaria anual.

Ya que las alternativas planteadas para la mecanización y automatización de los equipos y el proceso favorecen al proceso de producción de compost y a la vez tienen ellos la proyección económica que les garantiza que la inversión en la adaptación de un nuevo proceso dentro de la planta de tratamiento traerá un beneficio enorme para la comunidad y la higiene del municipio.

5.4.4. Ventajas y desventajas técnicas

Ventajas:

- Se cuenta con las instalaciones ya definidas y las áreas de trabajo establecidas de acuerdo al anterior proceso de compostaje realizado en forma manual durante todo el proceso de producción.
- Se cuenta con alternativas muy favorables y adaptables al área de trabajo actual establecido previamente desde la construcción de la planta de tratamiento.
- El personal actual tiene conocimientos acerca del manejo y producción del compost por ser operarios que ya han trabajado en plantas similares y a la vez estuvieron desde la apertura de la planta de tratamiento.

Desventajas:

- El desalojamiento de la basura acumulada dentro de la planta debido a que en las administraciones anteriores no se le dio el proceso adecuado a los desechos que ingresaron, obstaculizando en la actualidad las áreas de trabajo y demás instalaciones.
- Volver a obtener nuevos clientes y mercados de venta del compost, se debe volver a plantear una nueva estrategia de mercadeo para poder comercializar el producto a realizar dentro de la planta de tratamiento.
- Adaptar al personal al manejo de los equipos y herramientas a implantar dentro de la planta de tratamiento, si bien ellos conocen el proceso de producción de compost, es necesario capacitarlos para utilizar y manejar de forma adecuada el equipo siendo estas personas con un nivel educativo bajo y poca experiencia en el manejo de maquinaria automática.

5.4.5. Capacidad financiera del municipio para asumir los costos

El municipio de San Antonio Aguas Calientes siendo uno de los más pequeños dentro del departamento de Sacatepéquez, tiene una capacidad financiera muy buena ya que cuenta con todos los servicios básicos comunitarios así como con la infraestructura necesario para el buen desplazamiento y recreación de la población.

Para asumir los costos que este proyecto implica no será necesario recortar los rubros de otros servicios, ni tampoco realizar transferencias ya que se tiene contemplada una asignación específica para este proyecto debido a

que es de gran importancia para el manejo de la basura y el beneficio de la producción y venta del compost.

5.4.6. Cotizaciones de diferentes productores para las unidades mecanizadas

Las cotizaciones de las unidades mecanizadas se reservan para el presente trabajo debido a que estas aún tienen que entrar a consideración por el consejo municipal y la aprobación de las mismas, para ello en el análisis económico solo se tomaron referencias de algunas de las propuestas, debido a que aún no se tiene de forma formal la negociación con las diversas entidades que se dedican a la venta de los equipos necesarios para el proceso de producción automatizado.

6. ESTUDIO DE MEDIO AMBIENTE

Para este capítulo, será necesario establecer la relación que existe entre las actividades que implica el manejo integral de los residuos sólidos, tanto en sus etapas de implementación y desarrollo como en su funcionamiento estable y los factores ambientales que puedan verse afectados por tales actividades. La producción de compost tiene los siguientes impactos ambientales:

- Contaminación olfatoria
- Contaminación del agua (por aguas lixiviadas)
- Contaminación del suelo (si se aplica compost que contiene metales pesados).

La contaminación olfatoria y la contaminación del agua se tratan aquí. Las informaciones sobre la contaminación del suelo se dan en el subcapítulo 5.3., ya que este tema es directamente relacionado con la calidad del compost.

6.1. Informe ambiental - identifica los impactos más significativos

El informe ambiental que a continuación se desarrollará es un estudio muy elemental de los efectos del proyecto. El objetivo de realizar este estudio, es determinar si existe o no la necesidad de desarrollar una Evaluación de Impacto Ambiental, la cual contiene un nivel de profundidad mucho mayor e implica la valoración de los impactos. Para el desarrollo de este informe ambiental se utilizará una matriz en la cual se ingresarán las actividades que implique el proyecto y los aspectos ambientales que puedan estar afectados por tales actividades.

Aspectos a considerar:

- Medio físico-natural
 - Tierra
 - Agua
 - Aire
 - Clima
 - Flora
 - Fauna
 - Suelos
 - Paisaje
- Medio socioeconómico y cultural
 - Demografía
 - Estructura urbana
 - Equipamiento
 - Infraestructura y servicios
 - Uso del suelo
 - Salud Pública
 - Aspectos humanos
 - Patrimonio cultural
 - Patrimonio histórico y artístico
 - Economía

Actividades a considerar: todas las actividades desarrolladas por el los usuarios, que ejerzan alteraciones ambientales. Para el desarrollo de la matriz, se considerarán sólo las actividades potencialmente impactantes en el proyecto, considerando tanto las actividades a desarrollar en la fase de construcción como las actividades a desarrollar en la fase de funcionamiento del proyecto.

Continuación de la tabla XXVII.

Planta de Manejo Integral de Residuos Sólidos			ACCIONES IMPACTANTES AL AMBIENTE												
			PREPARACIÓN Y PUESTA EN MARCHA							FASE DE FUNCIONAMIENTO					
			Accesos viales	Movimiento de Tierras	Acopio de Materiales	Excavaciones	Pavimentación y Recubrimiento	Emisión de Polvo	Tráfico de vehículos	Incremento de la Mano de Obra	Migración Poblacional	Maquinaria	Tráfico de Vehículos	Emisión de gases y polvo	Producción de ruidos y vibraciones
Medio Biótico	Flora	Densidad													
		Diversidad		-		-	-						-		-
Medio Biótico	Fauna	Cantidad													-
		Diversidad													
	Paisaje	Calidad Intrínseca													
		Servicios	-	-	-										
Medio Urbano	Estructura Urbana	Equipamientos	+												
		Red Transporte	+				+		+				+		
	Infraestructura	Equipamientos	+				+								
		Equipamientos													
Medio Socio-Cultural	Humanos	Calidad de Vida								+					-
		Salud													-
	Población	Integración Social									+	+			
		Estructura Poblacional									+	+			
Económico	Economía	Actividad económica									+				
		Renta									+				

Fuente: elaboración propia.

6.2. Sugerencia para el diseño del sistema

Los resultados de la matriz del informe ambiental, permiten observar unos impactos negativos sobre el medio ambiente inerte y biótico, específicamente en el aire, durante la etapa de preparación y puesta en marcha del proyecto, los aspectos con mayor relevancia son el nivel de polvos que pueda generarse con los movimientos de tierras, acopio de materiales, excavaciones, pavimentación y tráfico de vehículos, de igual forma y sin lugar a dudas, la erosión del suelo será inminente con la ejecución de dichas actividades.

Asimismo, durante la puesta en marcha y el funcionamiento normal del proyecto, las emisiones de humo por maquinaria, el tráfico de vehículos y los gases a causa de los procesos químicos, serán de impacto para la calidad del aire, esto podrá tener repercusiones en la salud de las comunidades aledañas y de los mismos empleados.

Respectos a los medios bióticos, la diversidad de flora y fauna podrán sufrir impactos a causa de los movimientos de tierras, la producción de ruidos y vibraciones, los productos orgánicos que se utilicen llamarán la atención de insectos, roedores y aves que no son parte de la fauna natural y original de la zona, lo cual puede causar un desequilibrio.

Dentro de los beneficios, podemos mencionar las posibles mejoras en la infraestructura de la zona, las redes de transporte podrán ser ampliadas con accesos a nuevos lugares.

El proyecto como una fuente de empleo beneficiará a la población, debido a un incremento de mano de obra a causa de la migración poblacional desde zonas rurales hacia estas zonas urbanas.

Estos resultados parciales, nos dan la conclusión que será sumamente necesario realizar una Evaluación de Impacto Ambiental.

6.2.1. Aire

Como parámetro para verificar que el proceso de producción y tratamiento de los desechos sólidos se encuentra en un estricto control, se debe verificar que el aire que predomina en el ambiente no genere mucha contaminación y que este a la vez fluya para obtener un proceso aeróbico dentro de la planta.

6.2.1.1. Emisiones olfatorias

Se pueden distinguir tres tipos de emisiones en forma de gas que se producen en una planta de compostaje:

- Emisiones olfatorias provenientes de la basura cruda
- Emisiones olfatorias biógenas
 - Productos gaseiformes de la fermentación
 - Productos del metabolismo de la fermentación (ellos dependen de la tecnología que se utiliza)
 - Productos de la transición anaeróbico - aeróbico (no es técnicamente posible impedir la generación de esas emisiones)
- Emisiones olfatorias abiógenas
 - Productos de pirolisis, productos Maillard y productos de auto-oxidación

Los gases más importantes para el impacto olfatorio son limonen, pentan, campher, alcanes y pentilfuran.

Las emisiones olfatorias no son peligrosas, patógenas o contaminantes en la concentración emitida, que es muy baja, pero estos gases ya se sienten en una concentración de unos ppm. El impacto de estas emisiones es una molestia para la población de habitaciones vecinas.

Este impacto se aumenta con la capacidad de la planta de compostaje. Además, las emisiones olfatorias de las plantas mecanizadas son más elevadas que las de las plantas manuales (por causa de la mezcla/ revuelta más intensa y del aireación artificial).

6.2.1.2. Medidas para limitar el impacto de las emisiones

Como es difícil controlar que los desechos no emitan malos olores y esto dañe el medio ambiente y la salud de los trabajadores, es necesario tomar criterios para evitar este tipo de inconvenientes y así prevenir futuras enfermedades y daños al ambiente.

6.2.1.2.1. Selección del lugar

Los parámetros más importantes para la selección de un sitio para una planta de compostaje son la distancia entre este lugar y las habitaciones más cercanas, y la dirección prioritaria del viento. Se recomienda que la distancia entre la planta de compostaje y las habitaciones más cercanas sea más de 1 kilómetro, y más que 2,5 kilómetros en la dirección de viento prioritaria. La distancia puede ser hasta 50 por ciento menos si la planta de compostaje se encuentra encima de una colina o si una barrera natural (loma, bosque).

Esos números son válidos para plantas municipales, donde se compostea la basura de toda una ciudad. El compostaje individual no debe hacerse tan lejos del lugar de la generación de la basura pero se recomienda también instalar el lecho o la pila de compostaje en el rincón más alejado del lote.

Se recomienda que los obreros de la planta de compostaje no trabajen sin mascarillas. Si se opera una gran planta de compostaje con cargador, es preferible un cargador con cabina climatizada.

6.2.1.2.2. Tratamiento del aire

No hay necesidad de tratamiento del aire en las plantas manuales o en las plantas semimecanizadas sin aireación artificial. Es suficiente cubrir las pilas o los lechos con pasto, compost grueso u otro material adecuado. Ese material absorbe las emisiones que difunden afuera durante el proceso de compostaje. Es diferente para las plantas mecanizadas con aireación artificial. Aquí el caudal de aire es demasiado alto. Para una reducción eficaz del tufo se necesitan las medidas siguientes:

- Reducción de la cantidad del aire sucio (recirculación del aire)
- Reducción de la concentración de gases fétidos en el caudal remanente (con filtro biológico).
- Impedir el intercambio entre el área de compostaje y la atmósfera (por aireación con un sistema de succión).
- Dilución suficiente del aire descargado (con chimenea o construyendo la planta de compostaje en un lugar elevado y abierto al viento).

Los filtros biológicos se construyen del material mismo que sobre de la producción del compost: con compost grueso. Este material orgánico y poroso retiene los componentes fétidos, que también son orgánicas, por ayuda de microorganismos que se encuentran dentro del compost grueso.

Un filtro biológico se compone de las siguientes unidades:

- Sistema de distribución del aire
- Capa activa de filtro (compost grueso)
- Sistema de humedecimiento (manual o con riego automático)
- Sistema de drenaje de las aguas lixiviadas del filtro biológico

El aire sucio se inyecta a la capa de filtro por un sistema adecuado de distribución (por ejemplo: tubería con huecos para la salida del aire). La capa de compost grueso debe tener una altura de 1 a 1,5 m.

El filtro biológico no debe secarse, debe tener la humedad del compost nuevamente cosechado, que se puede mantener con riego manual o automático. Las dimensiones del filtro biológico se calculan según la cantidad de aire contaminada.

Los parámetros más importantes para la construcción de filtros biológicos se presentan en la tabla XXVIII:

Tabla XXVIII. **Parámetros para construcción de filtros biológicos**

Parámetro	Necesidad
Area del filtro	1 m ² para 10 m ³ de aire contaminada
Personal	0,8 - 1 hora de trabajo/(m ² del área del filtro * año)
Consumo de agua	1 – 1,5 m ³ /(m ² del área del filtro * año)
Consumo de energía	1,8 - 2,5 kW/1 100 m ³ de aire contaminada

Fuente: <http://lombricomposta.com>. Consulta: 4 de junio de 2013.

6.2.2. Aguas lixiviadas

Las aguas lixiviadas se producen especialmente durante las primeras semanas del compostaje (prefermentación y comienzo de la fermentación intensiva), debido al alto contenido de agua de los desechos sólidos y al riego necesario para mantener la humedad suficiente. Para evitar la contaminación del suelo y, por consecuencia, de las aguas subterráneas, se recomienda seleccionar un terreno con suelo arcilloso para la planta de compostaje.

La cantidad de aguas lixiviadas varía según la composición de los desechos sólidos. Si se compostan desechos biodegradables domiciliarios, se puede estimar una cantidad de aguas lixiviadas entre 15 a 35 litros/ t basura cruda. Se puede bajar considerablemente la cantidad de aguas lixiviadas si se añade papel de servicio o de periódico a la basura cruda. Como se ve en la tabla XXIX, es muy alta la contaminación de las aguas lixiviadas. Para evitar la contaminación del suelo o del medio recipiente, es imprescindible un tratamiento de las aguas lixiviadas. No se recomienda el reciclaje de las aguas lixiviadas para el riego del compost. Con estas aguas altamente contaminadas, se pone en peligro la higienización del material compostado.

Tabla XXIX. **Contaminación de las aguas lixiviadas**

Contaminante	Concentración (mg/l)	Contaminante	Concentración (mg/l)
DBO ₅	30 000-50 000	Cr ⁶⁺	4
CDO	60 000-120 000	Pb	1
TSS	7 500-30 000	CN ⁻	1
NH ₄	400-1 100	Cd	5
N total	500-2 100	Fe	1
N orgánico	250-800	Cu	15
Grasa	250	Zn	2
P total	80-260		

Fuente: elaboración propia.

Las aguas lixiviadas se pueden purificar con un tratamiento biológico. Si se dispone de un terreno bastante largo, lo más recomendable sería un tratamiento en laguna, ya que esto es lo más fácil y menos costoso.

La laguna de tratamiento biológico tiene que ser muy superficial para evitar condiciones anaeróbicas y una putrefacción de las aguas lixiviadas. Una profundidad entre de 10 centímetros al máximo es ideal. Para lograr una buena purificación, las aguas deberían quedarse en la laguna por lo menos 30 días; lo ideal serían 50. El área necesaria para la laguna de tratamiento biológico se da en la tabla XXX.

Tabla XXX. **Área necesaria para la laguna de tratamiento de las aguas lixiviadas**

Cantidad de las aguas Lixiviadas	Tratamiento mínimo (30 días) Área requerida (m ² /ton basura compostado)	Tratamiento mínimo (50 días) Área requerida (m ² /ton basura compostado)
Baja (15 l/t basura cruda)	45	75
Mediana (25 l/t basura cruda)	75	125
Alta (35 l/t basura cruda)	105	175

Fuente: <http://lombricomposta.com>. Consulta: 06 de junio de 2013.

Si se composta por ejemplo, una cantidad de 30 toneladas diarias, se reduce la cantidad de las aguas lixiviadas por adición de papel usado, y se desea una purificación óptima, se necesitaría una piscina con una superficie de 2 250 metros cuadrados (por ejemplo: 45 metros por 50 metros) para el tratamiento biológico en laguna.

Para optimizar la eficiencia del tratamiento en laguna, se puede hacer un tratamiento con plantas. El fondo de la piscina de laguna se debería cubrir con una mezcla de humus y arena (ambos 50 por ciento) de espesor de 10 centímetros. La misma planta de compostaje puede suministrar el humus.

El tratamiento de plantas se puede realizar con varias plantas que serían totora y otras plantas acuáticas, dependiente del clima y de la flora local. Se recomienda hacer experimentos con totora, carrizo, eucalipto o aliso durante un año, supervisando el crecimiento de las plantas, su adaptación a las condiciones y el rendimiento del tratamiento.

6.3. Legislación ambiental aplicable al proyecto

En la Constitución de la República (1985), el artículo 97 define 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." También menciona que "...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". En el mismo sentido, la Ley General del Ambiente de 1986 (Decreto 68-86) intenta definir las capacidades y competencias del gobierno en torno a varios temas ambientales. Por lo que, en el artículo 12, inciso B, menciona como un objetivo

de esa ley “...la prevención, regulación y control de cualesquiera de las causas o actividades que originen deterioro del medio ambiente y contaminación de los sistemas ecológicos, y excepcionalmente, la prohibición en casos que afecten la calidad de vida y el bien común”. Más específicamente, en el artículo 16, inciso B, define que se emitirán reglamentos para regular “...la descarga de cualquier tipo de sustancias que puedan alterar la calidad física, química o mineralógica del suelo o del subsuelo que le sean nocivas a la salud o a la vida humana, la flora, la fauna y a los recursos o bienes”.

En el 2000, la Ley que crea al Ministerio de Ambiente y Recursos Naturales (Decreto 90-2000) define como una función principal de dicho ente “...formular participativamente la política de conservación, protección y mejoramiento del ambiente y de los recursos naturales, y ejecutarla en conjunto con las otras autoridades con competencia legal en la materia correspondiente, respetando el marco normativo nacional e internacional vigente”.

Luego en el Reglamento de esta Ley, en el Acuerdo Gubernativo 186-2001 se menciona como una “atribución” del Ministro “...formular e impulsar la implementación de la política ambiental y de recursos naturales especialmente en... ..el manejo de residuos (entre otros)...”. Aquí se constituye al Ministerio como el ente rector de las políticas al respecto.

El Código Municipal (Decreto 12-2002), el artículo 68 define las competencias municipales y en el inciso A, menciona como una de ellas la “...recolección, tratamiento y disposición de residuos sólidos; limpieza y ornato...” aquí es donde se menciona de forma clara y legal esta responsabilidad.

El Código de Salud, Decreto número 90-97, establece en el artículo 102 la competencia de las municipalidades en la prestación de los servicios de limpieza o recolección, tratamiento y disposición de los residuos sólidos de acuerdo con las leyes específicas y en cumplimiento de las normas sanitarias aplicables. De igual manera menciona que para que una municipalidad pueda utilizar un lugar o construir un relleno sanitario, tiene que tener la autorización del Ministerio de Salud y de La Comisión Nacional del Medio Ambiente, quienes deberán elaborar el dictamen en el plazo improrrogable de 2 meses.

Por su parte el artículo 103, se refiere a la disposición de los residuos sólidos de cualquier tipo en lugares no autorizados, definiendo que es la municipalidad quien debe dar la autorización correspondiente, cumpliendo las medidas sanitarias establecidas. De los artículos 104 al 108 se menciona la prohibición de arrojar o acumular residuos sólidos en sitios no autorizados, el establecimiento de reglamentos y normas para la regulación de los residuos hospitalarios, de la industria y el comercio y los residuos de empresas agropecuarias.

CONCLUSIONES

1. El proceso de compostaje puede ser desarrollado por el método de biodegradación microbiana con el que se pretende envolver los desechos sólidos en un medio aeróbico en el cual los microorganismos procesan los desechos sólidos en presencia de un ambiente rico en oxígeno. También es posible realizar el proceso de compostaje por medio de la lombricultura ya que estas procesan los desechos y transforman los minerales no asimilables presentes en los desechos sólidos y residuos animales, en nitratos y fosfatos directamente asimilables por las plantas.
2. El manejo de los desechos sólidos dentro de la planta de tratamiento se desarrolló tomando en cuenta el origen de los desechos sólidos, la forma de recolección de los mismos, el transporte y clasificación que estos llevaran dentro de la planta, el reciclaje que será una actividad secundaria pero muy necesaria y el respectivo proceso de degradación que se realizará para obtener compost de los desechos que ingresen, así como los perfiles de trabajo y las actividades a realizar para mantener el orden respectivo del proceso y el mantenimiento del lugar de trabajo así como el de la planta.
3. El proceso de creación de compost o abono orgánico se estableció por medio de el diagrama de flujo que se implantará en la planta de tratamiento para tener el orden y seguimiento de las actividades que envuelven el proceso desde el ingreso de los desechos sólidos, el pre-acondicionamiento utilizando elementos mecánicos, el desarrollo del compostaje dentro de las piscinas de sedimentación hasta finalmente

tener un acondicionamiento adecuado del producto y posteriormente el proceso de venta.

4. El diseño preliminar de la planta de tratamiento de desechos sólidos del municipio de San Antonio Aguas Calientes era adecuado durante sus inicios, luego del abandono y mala utilización de esta, las instalaciones y el equipo de procesamiento se hizo rudimentario y ya no es adaptable a las necesidades presentes del proceso de compost, para esto se propone reemplazar la forma de trabajo y del proceso introduciendo equipo manual y automático que reemplace en gran parte el trabajo manual y muy antihigiénico para el personal, así como reconstruir las áreas de trabajo y las instalaciones de la planta en general.
5. La reconstrucción y mejoras a las áreas de trabajo son fundamentales para crear un ambiente de trabajo agradable y seguro para el personal, ya que contando con unas instalaciones adecuadas para el proceso de producción de compost se puede garantizar que tanto el trabajador como el producto estén en las mejores y buenas condiciones de trabajo.
6. La administración municipal tendrá el control y la administración total de la planta de tratamiento ya que esta es propiedad de la misma, por lo que el funcionamiento de la planta de tratamiento de desechos sólidos estará bajo su responsabilidad absoluta debiendo contratando el personal adecuado y calificado para que opera la misma, siguiendo las especificaciones del manejo de los desechos sólidos y el proceso de producción de compost para obtener el beneficio y sostenibilidad de la planta.

7. La inversión que se realizará para implementar la propuesta de automatización de la planta y controlar por completo el proceso dará un beneficio económico muy atractivo para la municipalidad, reflejado por el análisis económico ya que en este se obtuvo una TIR del 48 % superior a la tasa activa actual, obteniendo un rendimiento amplio por la venta del compost y a la vez obteniendo ingresos extras por la venta del material reciclado que se pueda obtener de la basura clasificada dentro de la planta.

RECOMENDACIONES

1. Para poder implementar la propuesta de automatización y control del proceso de la planta de tratamiento de desechos sólidos del municipio de San Antonio Aguas Calientes en el departamento de Sacatepéquez es esencial primeramente desocupar y adecuar las instalaciones para empezar a desarrollar la nueva propuesta, limpiando los sectores dañados y mal utilizados, reconstruyendo las áreas y las instalaciones en general destruidas por su mal manejo.
2. Beneficiar por completo a la comunidad no solo brindando el servicio de recolección y manejo de los desechos domiciliarios sino también brindarles la compra del abono a un precio más accesible, para que por medio de este la comunidad tenga una forma más económica y excelente para la producción agrícola local.
3. Realizar análisis y estudios constantes en el manejo de la planta de tratamiento, así como la medición de la eficiencia y productividad de la misma para poder implementar nuevas tecnologías y formas de manejo de la planta de tratamiento.

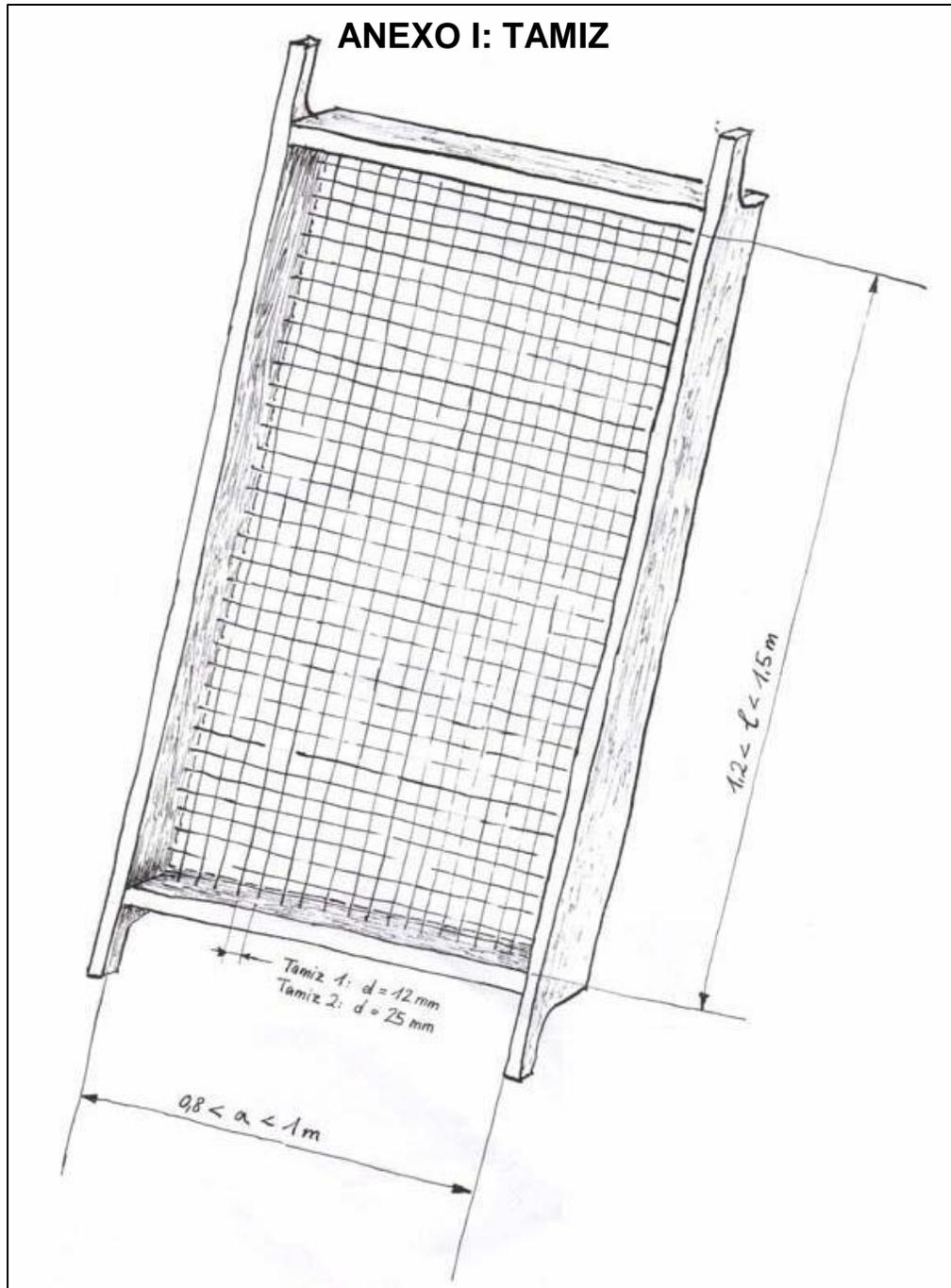
BIBLIOGRAFÍA

1. CÁRCAMO HICHOS, Maynor Estuardo. *Estudio de factibilidad para el manejo, disposición y tratamiento de los desechos sólidos, para el municipio de Usumatlán, departamento de Zacapa*. Trabajo de graduación de Ing. Industrial. Facultad de Ingeniería, Universidad de San Carlos de Guatemala, 2003. 242 p.
2. Defensores. *Manejo de los desechos sólidos. Reciclaje*. [en línea]. Disponible en <<http://www.defensores.org.gt>>. [Consulta: 12 de febrero de 2013].
3. FLORES LÓPEZ, Mario Alberto. *Estudio de factibilidad para la instalación de una planta de tratamiento de desechos sólidos en el municipio de Rabinal, Baja Verapaz*. Trabajo de graduación de Ing. Industrial. Facultad de Ingeniería, Universidad de San Carlos de Guatemala, 2003. 182 p.
4. Instituto Nacional de Estadística. *Datos y estadísticas poblacionales del municipio de San Antonio Aguas Calientes, Sacatepéquez*. [en línea]. Disponible en <<http://www.ine.gob.gt>>. [Consulta: 12 de enero de 2013].
5. Lombricultura. *Compostaje convencional y lombricultura intensiva*. [en línea]. Disponible en <<http://www.lombricultura.com>>. [Consulta: 22 de febrero de 2013].

6. LUCH CASTILLO, Rita María. *Estudio de factibilidad para el manejo, disposición y tratamiento de los desechos sólidos, para el área urbana del municipio de San Miguel Petapa, Guatemala*. Trabajo de graduación de Ing. Industrial. Facultad de Ingeniería, Universidad de San Carlos de Guatemala, 2011. 194 p.
7. Manual de lombricultura. *Lombriz roja californiana o coqueta*, [en línea]. Disponible en <<http://www.manualdelombricultura.com>>. [Consulta: 27 de febrero de 2013].
8. REYES, Blanca Rosa. *Guía sobre el manejo de desechos sólidos orgánicos para el tratamiento del suelo y protección del medio ambiente del Instituto Nacional de Educación Diversificada, San Pedro Pinula, Jalapa*. Trabajo de EPS de Licenciatura En Pedagogía y Administración Educativa. Facultad de Humanidades, Universidad de San Carlos de Guatemala, 2011. 133 p.
9. SOTO RAXÓN, Luis Oswaldo. *Sistema de recolección y disposición de desechos sólidos del municipio de Santa María de Jesús, departamento de Sacatepéquez*. Guatemala. Trabajo de graduación de Ing. Civil. Facultad de Ingeniería, Universidad de San Carlos de Guatemala, 2003. 102 p.

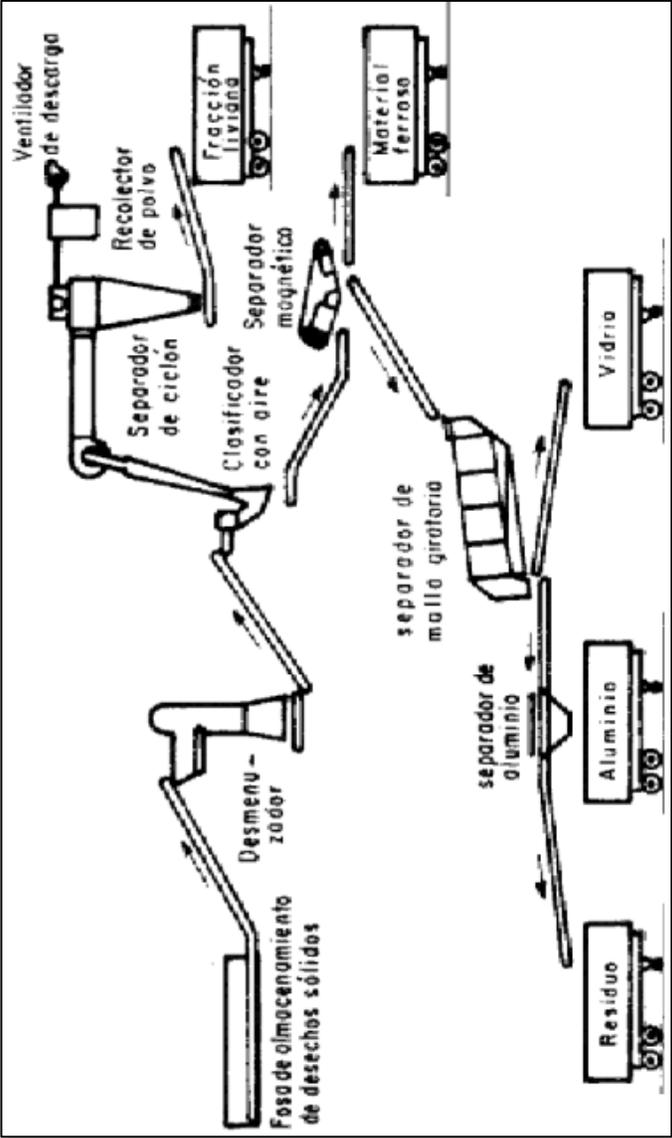
ANEXOS

ANEXO I: TAMIZ



Fuente: images.google.es Consulta: 16 de mayo de 2013

ANEXO II: DISEÑO AUTOMATIZADO DE PLANTA DE TRATAMIENTO DE DESECHOS SÓLIDOS



Fuente: images.google.es Consulta: 16 de mayo de 2013