

**UNIVERSIDAD RAFAEL LANDÍVAR**  
FACULTAD DE CIENCIAS AMBIENTALES Y AGRÍCOLAS  
LICENCIATURA EN CIENCIAS AMBIENTALES CON ÉNFASIS EN GESTIÓN AMBIENTAL

PROPUESTA TÉCNICA PARA LA IMPLEMENTACIÓN DE UNA PLANTA DE TRATAMIENTO DE  
DESECHOS SÓLIDOS EN EL MUNICIPIO DE SAN JOSÉ PINULA  
TESIS DE GRADO

**NATHALIE ANDREA DUARTE CASTAÑEDA**  
CARNET 11732-13

GUATEMALA DE LA ASUNCIÓN, JULIO DE 2018  
CAMPUS CENTRAL

**UNIVERSIDAD RAFAEL LANDÍVAR**  
FACULTAD DE CIENCIAS AMBIENTALES Y AGRÍCOLAS  
LICENCIATURA EN CIENCIAS AMBIENTALES CON ÉNFASIS EN GESTIÓN AMBIENTAL

PROPUESTA TÉCNICA PARA LA IMPLEMENTACIÓN DE UNA PLANTA DE TRATAMIENTO DE  
DESECHOS SÓLIDOS EN EL MUNICIPIO DE SAN JOSÉ PINULA

TESIS DE GRADO

TRABAJO PRESENTADO AL CONSEJO DE LA FACULTAD DE  
CIENCIAS AMBIENTALES Y AGRÍCOLAS

POR

**NATHALIE ANDREA DUARTE CASTAÑEDA**

PREVIO A CONFERÍRSELE

EL TÍTULO DE INGENIERA AMBIENTAL EN EL GRADO ACADÉMICO DE LICENCIADA

GUATEMALA DE LA ASUNCIÓN, JULIO DE 2018  
CAMPUS CENTRAL

## **AUTORIDADES DE LA UNIVERSIDAD RAFAEL LANDÍVAR**

RECTOR: P. MARCO TULIO MARTINEZ SALAZAR, S. J.  
VICERRECTORA ACADÉMICA: DRA. MARTA LUCRECIA MÉNDEZ GONZÁLEZ DE PENEDO  
VICERRECTOR DE INVESTIGACIÓN Y PROYECCIÓN: ING. JOSÉ JUVENTINO GÁLVEZ RUANO  
VICERRECTOR DE INTEGRACIÓN UNIVERSITARIA: P. JULIO ENRIQUE MOREIRA CHAVARRÍA, S. J.  
VICERRECTOR ADMINISTRATIVO: LIC. ARIEL RIVERA IRÍAS  
SECRETARIA GENERAL: LIC. FABIOLA DE LA LUZ PADILLA BELTRANENA DE LORENZANA

## **AUTORIDADES DE LA FACULTAD DE CIENCIAS AMBIENTALES Y AGRÍCOLAS**

DECANA: LIC. ANNA CRISTINA BAILEY HERNÁNDEZ  
SECRETARIO: MGTR. LUIS MOISES PEÑATE MUNGUÍA  
DIRECTOR DE CARRERA: MGTR. JULIO ROBERTO GARCÍA MORÁN

**NOMBRE DEL ASESOR DE TRABAJO DE GRADUACIÓN**  
MGTR. DANIELA MABEL SANDI INFANTE DE LEMUS

**TERNA QUE PRACTICÓ LA EVALUACIÓN**  
MGTR. ANNA CRISTINA BAILEY HERNÁNDEZ

Guatemala 10 de agosto de 2018

Consejo de Facultad

Ciencias Ambientales y Agrícolas

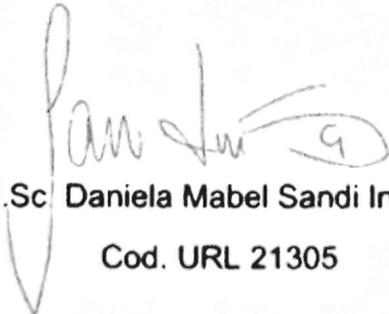
Presente

Estimados miembros del Consejo:

Por este medio hago constar que he asesorado el trabajo de graduación de la estudiante Nathalie Andrea Duarte Castañeda, carné 1173213, titulada: "Propuesta técnica para la implementación de una planta de tratamiento de desechos sólidos en el municipio de San José Pinula".

La cual considero que cumple con los requisitos establecidos por facultad, previo a su autorización de impresión.

Atentamente,



M.Sc Daniela Mabel Sandi Infante  
Cod. URL 21305



### Orden de Impresión

De acuerdo a la aprobación de la Evaluación del Trabajo de Graduación en la variante Tesis de Grado de la estudiante NATHALIE ANDREA DUARTE CASTAÑEDA, Carnet 11732-13 en la carrera LICENCIATURA EN CIENCIAS AMBIENTALES CON ÉNFASIS EN GESTIÓN AMBIENTAL, del Campus Central, que consta en el Acta No. 06117-2018 de fecha 20 de julio de 2018, se autoriza la impresión digital del trabajo titulado:

**PROPUESTA TÉCNICA PARA LA IMPLEMENTACIÓN DE UNA PLANTA DE TRATAMIENTO DE DESECHOS SÓLIDOS EN EL MUNICIPIO DE SAN JOSÉ PINULÁ**

Previo a conferírsele el título de INGENIERA AMBIENTAL en el grado académico de LICENCIADA.

Dado en la ciudad de Guatemala de la Asunción, a los 20 días del mes de julio del año 2018.

LIC. ANNA CRISTINA BAILEY HERNÁNDEZ, DECANO  
CIENCIAS AMBIENTALES Y AGRÍCOLAS  
Universidad Rafael Landívar



## **AGRADECIMIENTOS**

A mi mamá y mi papá, que con su amor incondicional me ayudaron a cumplir un sueño más.

A mi tía por aconsejarme y acompañarme en los momentos buenos y difíciles.

A mis hermosas amistades por creer en mí, aportar amor y felicidad en esta etapa importante de mi vida.

A mi asesora Daniela Sandi que me ha enseñado y alentado a lo largo de esta etapa.

A la Municipalidad de Santa Catarina Pinula por el apoyo que me brindó para realizar este trabajo.

## **DEDICATORIA**

A:

Mi madre Ana Patricia, por enseñarme a ser una mujer fuerte y no dejarme vencer ante las dificultades.

Mi padre José María, por enseñarme a siempre soñar y no tener miedo a ser yo misma.

Mi tía, mi abuela y mi bisabuela, por ser las mujeres que me vieron crecer y creyeron en mí hasta el final.

Daniela Basterrechea, Daniela Flores y Laura Rivadeneira con las que viví las mejores experiencias y pláticas durante toda la carrera, siempre las voy a querer.

Paulina Mendez y Alexandra Lira, mis amigas de toda una vida que me apoyaron y dieron un amor incondicional sin importar los distintos caminos que tomamos al crecer.

A todas las personas que decidieron salir de la zona de confort y luchar por un cambio para proteger al medio ambiente.

# ÍNDICE

	Página
<b>RESUMEN</b> .....	xi
<b>1. INTRODUCCIÓN</b> .....	1
<b>2. MARCO TEÓRICO</b> .....	3
2.1 Desecho sólido.....	3
2.2 Tipos de desechos sólidos.....	3
2.3 Composición de los desechos sólidos municipales .....	5
2.3.1 Características de los desechos sólidos municipales. ....	6
2.3.2 Ciclo de vida de los desechos sólidos urbanos (RSU). ....	8
2.4 Consecuencias por el inadecuado manejo de los desechos sólidos .....	10
2.4.1 Salud humana. ....	10
2.4.2 Medio Ambiente.....	11
2.5 Gestión Integral de los Desechos Sólidos (GIRS).....	12
2.5.1 Elementos que constituyen la Gestión Integral de Desechos Sólidos (GIRS). ....	12
2.5.2 Jerarquía de la Gestión Integral de los Desechos Sólidos. ....	14
2.6 Actividades operacionales del manejo de desechos sólidos .....	15
2.6.1 Recolección y transporte. ....	15
2.6.2 Separación y almacenamiento temporal.....	15
2.6.3 Disposición final de los desechos.....	16
2.7 Planta de tratamiento de desechos sólidos.....	17
2.7.1 Planta de separación de desechos sólidos.....	17
2.7.2 Reutilización de desechos sólidos. ....	18
2.7.3 Tratamiento de desechos orgánicos.....	18
2.7.4 Compostaje.....	19
2.7.5 Reciclaje.....	19
2.8 Marco legal .....	20
2.9 Situación ambiental en Guatemala .....	21
2.9.1 Situación actual de desechos sólidos en Guatemala.....	21
2.10 Situación actual del Municipio de Santa Catarina Pinula.....	22
2.10.1 Aspecto demográfico.....	22
2.10.2 Aspectos socioeconómicos. ....	22

2.10.3	Manejo actual de desechos sólidos.....	23
<b>3.</b>	<b>PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA.....</b>	<b>24</b>
3.1	Planteamiento del problema y justificación del trabajo.....	24
<b>4.</b>	<b>OBJETIVOS.....</b>	<b>25</b>
4.1	General.....	25
4.2	Específicos.....	25
<b>5.</b>	<b>METODOLOGÍA.....</b>	<b>26</b>
5.1	Localización.....	26
5.2	Sujetos y unidades de análisis.....	26
5.3	Tipo de investigación.....	26
5.4	Instrumentos.....	27
5.5	Procedimiento.....	27
5.5.1	Consulta documental.....	27
5.5.2	Análisis de la información.....	28
<b>6.</b>	<b>RESULTADOS Y DISCUSIÓN.....</b>	<b>32</b>
6.1	Análisis de la caracterización de desechos sólidos.....	32
6.1.1	Generación per cápita.....	32
6.1.2	Generación total.....	32
6.1.3	Porcentaje por fracción.....	33
6.1.4	Porcentaje en peso por categoría.....	34
6.2	Propuesta de planta de tratamiento de desechos sólidos.....	36
6.2.1	Generación de desechos sólidos y proyecciones.....	36
6.2.2	Fracción orgánica.....	38
6.2.3	Fracción inorgánica.....	43
6.2.4	Fracción resto.....	48
6.3	Lineamiento de operación de la planta de tratamiento.....	53
6.3.1	Personal.....	53
6.3.2	Seguridad y salud ocupacional.....	53
6.3.3	Registro de entrada y salida de los desechos sólidos a la planta de tratamiento.....	54
6.3.4	Ordenanza para la Gestión de Residuos Sólidos.....	54
6.3.5	Participación social.....	56
6.4	Limitantes del estudio.....	57

<b>7. CONCLUSIONES.....</b>	<b>58</b>
<b>8. RECOMENDACIONES.....</b>	<b>59</b>
<b>9. BIBLIOGRAFÍA.....</b>	<b>60</b>
<b>10. ANEXOS .....</b>	<b>63</b>

## ÍNDICE DE TABLAS

	Página
Tabla 1. Tipo de desechos sólidos según origen. ....	3
Tabla 2. Clasificación de desechos sólidos urbanos.....	5
Tabla 3. Valoración de desechos sólidos urbanos.....	7
Tabla 4. Principales enfermedades transmitidas por ineficiente disposición final de desechos sólidos.....	10
Tabla 5. Generación per cápita de desechos sólidos en Santa Catarina Pinula.....	32
Tabla 6. Generación total de desechos sólidos en Santa Catarina Pinula.....	33
Tabla 7. Porcentaje por fracción de fuente domiciliar en Santa Catarina Pinula.....	33
Tabla 8. Porcentaje por fracción de fuente institucional en Santa Catarina Pinula.....	33
Tabla 9. Porcentaje por fracción de fuente comercial en Santa Catarina Pinula.....	34
Tabla 10. Porcentaje por fracción de todos los tipos en Santa Catarina Pinula.....	34
Tabla 11. Porcentaje en peso por categoría: domiciliar, en Santa Catarina Pinula.....	35
Tabla 12. Porcentaje en peso por categoría: institucional, en Santa Catarina Pinula.....	35
Tabla 13. Porcentaje en peso por categoría: comercial, en Santa Catarina Pinula.....	36
Tabla 14. Proyección de la población de Santa Catarina Pinula en 10 años.....	37
Tabla 15. Proyección de la generación per cápita de Santa Catarina Pinula en 10 años.....	37
Tabla 16. Cantidad de desechos sólidos en Santa Catarina Pinula producidos por día y año.....	38
Tabla 17. Comparación de parámetros para el compostaje en Santa Catarina Pinula.....	39
Tabla 18. Material orgánico por compostar al día y año en planta de Santa Catarina Pinula.....	39
Tabla 19. Precios por peso de productos reciclables en Santa Catarina Pinula.....	43
Tabla 20. Ingreso monetario semanal por producto reciclable de Santa Catarina Pinula.....	44
Tabla 21. Porcentaje de materiales reciclables en la planta de separación.....	44
Tabla 22. Número de personal para el proceso de separación en la planta de tratamiento de desechos sólidos.....	46
Tabla 23. Cálculos para determinar el area requerida del relleno sanitario.....	50
Tabla 24. Registro de entrada y salida de los desechos a la planta de tratamiento.....	63

## ÍNDICE DE FIGURAS

	Página
Figura 1. Ciclo de vida de los RSU.....	9
Figura 2. Ciclo de vida de los RSU desde el punto de vista social .....	9
Figura 3. Prioridad en la Gestión Integral de Desechos Sólidos.....	14
Figura 4. Pirámide de Kelsen para la evaluación del componente político. ....	20
Figura 5. Ubicación del municipio de Santa Catarina Pinula, Guatemala .....	26
Figura 6. Operación de separación de desechos inorgánicos reciclables.....	47
Figura 7. Diseño de relleno sanitario con el método de trinchera.....	49
Figura 8. Plano de construcción para el relleno sanitario .....	49
Figura 9. Operación del relleno sanitario .....	52
Figura 10. Diseño de la planta de tratamiento de desechos sólidos para Santa Catarina Pinula...64	
Figura 11. Propuesta del área para el centro de compostaje de Santa Catarina Pinula. ....	65
Figura 12. Terreno para el centro de compostaje en Santa Catarina Pinula.....	65
Figura 13. Terreno propuesto ara el centro de compostaje en Santa Catarina Pinula.....	65

# PROPUESTA TÉCNICA PARA LA IMPLEMENTACIÓN DE UNA PLANTA DE TRATAMIENTO DE DESECHOS SÓLIDOS EN EL MUNICIPIO DE SAN JOSÉ PINULA

## RESUMEN

La tasa de generación de desechos sólidos incrementa año por año, los niveles actuales de generación hacen más complicada de manejar la recolección, transporte y disposición final en países en desarrollo; por estas razones las actividades de disposición final de los desechos sólidos en Santa Catarina Pinula son básicamente inadecuados, como la quema y vertederos clandestinos. Este estudio propone un análisis técnico de los desechos sólidos con el resultado de reducir o eliminar el daño potencial para la salud humana y el medio ambiente con la ayuda de los procesos de reciclaje, recuperación o reutilización de los desechos. En base de la caracterización y cuantificación de los desechos sólidos municipales, el análisis calcula el tamaño del área, sistemas de operación y los lineamientos de la implementación y operación de la planta, tomando cada proceso del tratamiento como: proceso de separación, proceso de reciclaje, área de compostaje y relleno sanitario. Estos datos ayudarán a crear una nueva estrategia para el manejo de los desechos sólidos de la región y calcular la viabilidad del negocio de reciclaje y compostaje. Se obtuvo que el 54% de los desechos generados pueden pasar por un proceso de compostaje, este se decidió por el método Takakura y el 27% a un proceso de reciclaje mientras que el 19% de la fracción restante llegará a un relleno sanitario.

# 1. INTRODUCCIÓN

La generación de desechos sólidos se ha incrementado y ha llegado a niveles en los cuales su almacenamiento, recolección, transporte y disposición final son más complicados; tomando en cuenta que los sistemas tradicionales (botaderos clandestinos, quemas, entierros, verterlos a fuentes de agua) a tales escalas son dañinas para el medio ambiente y la salud de la persona.

La tasa de generación de desechos es afectada por el desarrollo socioeconómico, el grado de industrialización y el ambiente. Generalmente, mientras mejor sea la prosperidad económica y el porcentaje de población urbana sea más alta, será mayor la cantidad de desecho sólido producido (Hoorweg y Thomas, 1999). En Guatemala en el 2006, más del 98% del volumen de desechos se originó en actividades productivas. Sin embargo, el impacto que causa la basura doméstica urbana en los botaderos clandestinos y en los municipales mal manejados es mucho más notorio por su cercanía a los centros de población a los que están asociados (Instituto de investigación y proyección sobre ambiente natural y sociedad -IARNA-,2009). Es por ello que es indispensable un manejo en la disposición final de los desechos sólidos para prevenir las enfermedades y un mayor impacto en el ambiente.

Actualmente el municipio de Santa Catarina Pinula, situado en el departamento de Guatemala, tiene un déficit en la gestión de manejo de desechos sólidos que se generan dentro del territorio.

El consumo de materiales va ligado con el desecho de los mismos, por lo que la comunidad toma una de las partes más importantes al ser los generadores de desechos. La falta de programas de reducción de consumo, de separación in situ y carencia de sitios de disposición final dentro de la comunidad, promueve a que los grandes volúmenes generados sean los mismos que no se manejan adecuadamente. Sin embargo, la municipalidad tiene a cargo mantener una gestión integral de los desechos municipales para evitar la sobre generación de desechos, quemas, botaderos clandestinos, y sobre todo los efectos a la salud humana y ambiental. En las cuales se agravan las enfermedades por vectores, la contaminación de fuentes hídricas fundamentales para la producción y uso humano, y otros.

Con la determinación de cumplir el acuerdo gubernativo 281-2015 (Política Nacional para la Gestión Integral de Residuos y Desechos Sólidos) y brindarle a la población una mejor calidad de

vida, la presente propuesta de investigación busca crear una propuesta técnica para realizar una planta de tratamiento de desechos sólidos. Esto con el fin de reaprovechar y facilitar la disposición final de los desechos por medio de procesos que permitan modificar sus características o reaprovechar la fracción orgánica e inorgánica para reducir o eliminar su potencial peligro de causar daños a la salud y el ambiente.

## 2. MARCO TEÓRICO

### 2.1 Desecho sólido

Según IARNA (2012), los desechos sólidos son aquellos materiales generados en los procesos de extracción, beneficio, transformación, producción, consumo, utilización, control, reparación o tratamiento, cuya calidad no permite usarlos nuevamente en el proceso que los generó, pero que pueden ser objeto de tratamiento y/o reciclaje.

### 2.2 Tipos de desechos sólidos

Las actividades humanas generan residuos en distintas cantidades y características, por lo que existen diferentes maneras de clasificarlos por: origen, por sus características físicas, químicas y biológicas, por cantidad generada y, nivel de peligrosidad.

A continuación, se muestra en la tabla 1, la separación por el tipo de origen, sus generadores y los desechos por cada uno.

Tabla 1.

*Tipo de desechos sólidos según origen.*

<b>Origen</b>	<b>Generadores típicos</b>	<b>Tipos de desechos sólidos</b>
Residencial	Viviendas simples y multifamiliar	Residuos de comida, papel, cartón, plásticos, textiles, cuero, desechos de patio, madera, vidrio, metal, cenizas, desechos especiales (electrónicos, baterías, aceites, alambres, etc), desechos domésticos peligrosos.

*Tipo de desechos sólidos según origen.*

Industrial	Manufactura pesada y liviana, fabricación, construcciones, plantas químicas y de energía	Desechos de limpieza, paquetería, desechos de comida, materiales de construcción y demolición, desechos peligrosos, ceniza, desechos especiales.
Comercial	Tiendas, hoteles, restaurantes, mercados, edificios de oficinas, etc.	Papel, cartón, plástico, madera, desechos de comida, vidrio, metal, desechos especiales, desechos peligrosos.
Institucional	Escuelas, hospitales, prisiones, centros del gobierno.	Las mismas que lo comercial.
Construcción y demolición	Nuevos lugares de construcción, reparación de calles, renovación de sitios, demolición de edificios.	Madera, acero, concreto, polvo, etc.
Servicios municipales	Barrido en calles, paisaje, parques, playas, etc.	Desechos por barrido de calles, pedazos de árboles, desechos generales de parques, playas y áreas de recreación, lodo.
Procesos (manufactura, etc.)	Manufactura pesada y ligera, refinerías, plantas químicas y de energía, extracciones minerales y de procesos.	Desechos industriales de proceso, chatarra, productos sin especificación, etc.
Agricultura	Granjas, cosechas, lecherías.	Desechos de comida podrida, desechos de agricultura, desechos peligrosos (pesticidas).

(Hoornwe y Thomas, 1999).

## 2.3 Composición de los desechos sólidos municipales

Es importante tener la información sobre la composición de los desechos sólidos, ya que difiere en la evaluación de alternativas sobre necesidades de equipo, sistemas, programas y planes de manejo. Así bien, se deben de tener en cuenta la composición física y química, y sus cambios futuros en composición.

En la tabla 2, se resumen las diferentes terminologías que se les aplican a los desechos sólidos urbanos según el criterio de clasificación que se tome como referencia y la interconexión que existe entre ellos.

Tabla 2.

*Clasificación de desechos sólidos urbanos.*

Por su composición química	Orgánico
	Inorgánico
Por su utilidad o punto de vista económico	Reciclable
	No reciclable
Por su origen	Domiciliarios
	Comerciales
	Constructivos
	Industriales
	Agrícolas
Por el riesgo	Peligrosos
	No inertes
	Inertes

(Organización de las Naciones Unidas para el Desarrollo Industrial -ONU-., 2007)

Muchos de los desechos mencionados pueden ser reutilizables en otras actividades económicas o para la obtención de sustancias orgánicas que se incorporan nuevamente a los ciclos naturales, por la utilidad de estos se pueden clasificar en (ONU-., 2007):

- Reciclables: pueden ser reutilizados como materia prima al incorporarlos a los procesos productivos.
- No reciclables: por su característica o por la no-disponibilidad de tecnologías de reciclaje, no se pueden reutilizar. El tratamiento, en ambos casos, es distinto, cuanto más recuperable pueda hacerse el procesamiento de los residuos sólidos urbanos, tanto mejor será su disposición sanitaria y cuanto más rentable sea o menos gastos implique el proceso, mayor habrá de ser el uso que se pueda dar a sus componentes.

En cualquier medida tanto los desechos orgánicos como los inorgánicos, constituyen un problema de alta peligrosidad la que se hace mayor cuanto más sea el volumen de residuos que se generan, de ahí que los residuos peligrosos son los que representan mayor riesgo para la salud humana, los seres vivos y/o los restantes componentes del medio ambiente, si no se manejan adecuadamente, tienen características tales como inflamabilidad, corrosividad, reactividad, y toxicidad. Dentro de este grupo, existen algunos que son muy difíciles de degradar, por lo que se les considera como inertes o persistentes (ONUUDI, 2007).

### **2.3.1 Características de los desechos sólidos municipales.**

La información y datos sobre la composición física y química de desechos sólidos son importantes en la selección y operación del equipo e instalaciones, en la evaluación de la factibilidad de la recuperación de recursos y energía y en el análisis y diseño de las instalaciones de disposición. Los porcentajes de los componentes de los desechos sólidos municipales varían con la localización, la estación, la condición económica y muchos otros factores.

A continuación, en la tabla 3, se determina una valoración de la relación propiedad/característica/manejo de los desechos sólidos urbanos.

Tabla 3.

*Valoración de desechos sólidos urbanos.*

---

Densidad	Este parámetro influye sobre los medios de recogida y sobre las posibilidades de tratamiento. El peso específico de las sustancias que se encuentran en los RSU, varía notablemente de unos a otros de ahí que existan diferentes técnicas para la separación y clasificación de los elementos, así como de los medios de transportación más idóneos para cada caso, según las dimensiones del volumen de recogida.
Solubilidad	Se debe tener en cuenta esta propiedad ya que puede considerarse una vía de ingreso de contaminantes al suelo y acuíferos, en dependencia de la solubilidad en agua de los productos que forman los RSU. Otros productos son liposolubles y se acumulan en el tejido adiposo de ciertos animales incluyendo el hombre, provocando efectos negativos en estos que pueden durar varios años pues quedan insertados en las cadenas de alimentación, provocando su acumulación y la generación de enfermedades.
Humedad	El grado de humedad de los RSU depende, además del propio residuo, del clima y de las estaciones del año. Los residuos orgánicos, son los más húmedos y se descomponen con facilidad y por la cantidad de materiales que incorporan al medio se utilizan generalmente para tareas de compostaje. Los inorgánicos por el contrario, son generalmente secos aunque algunas sustancias químicas que los componen, tienen un alto poder higroscópico por lo que absorben la humedad, favoreciendo el proceso de descomposición de otros elementos que estén a su alrededor y provocando reacciones químicas colaterales en las que se pueden formar otros agentes contaminantes. Debido a esta propiedad de los RSU es que se requiere rapidez en su recogida.

---

### *Valoración de desechos sólidos urbanos.*

---

Poder calorífico	Parámetro fundamental para decidir sobre el sistema de tratamiento a emplear para los RSU, especialmente si es factible o no emplear el proceso de incineración. Durante la descomposición de los RSU, el desprendimiento de energía en forma de calor es elevado y su valor depende de la cantidad y el tipo de sustancia que se descompone, este aumento de temperatura promueve otras reacciones colaterales en la que otros elementos, térmicamente inestables, también se descomponen, contribuyendo a la putrefacción de los residuos y generando condiciones de insalubridad. El poder calorífico inferior (PCI) de los RSU varía entre 800 y 1600 kcal/kg, elemento a tener en cuenta para la generación de energía eléctrica a partir de éstos.
Relación Carbono/Nitrógeno (C/N)	La materia orgánica está constituida fundamentalmente por carbono, hidrógeno y otros elementos como el nitrógeno y el oxígeno. En dependencia de la proporción en que se encuentren el carbono y el nitrógeno en los residuos, serán sus propiedades ácidas o básicas, esto definirá la calidad del compost que se produzca con estos residuos y su potencial uso en dependencia de los requerimientos del tipo de suelo o cultivo que se vaya a tratar. El valor óptimo de la relación Carbono/Nitrógeno para labores de compostaje está entre 25 y 30, puesto que con valores superiores a esta cifra, el compost resultante no es óptimo para el desarrollo de los cultivos.

---

(ONU, 2017)

### **2.3.2 Ciclo de vida de los desechos sólidos urbanos (RSU).**

El ciclo de vida de los residuos está compuesto de una serie de etapas que abarcan desde la generación, el transporte, el almacenaje y la disposición final de estos. El conocimiento de este ciclo, permite determinar los momentos en el que se puede actuar correctamente en el manejo y

gestión de los residuos, ayuda, además, a tomar conciencia sobre la responsabilidad ciudadana al respecto (ONUDI, 2007).

Se presenta en la figura 1, el ciclo de vida de los desechos sólidos urbanos.

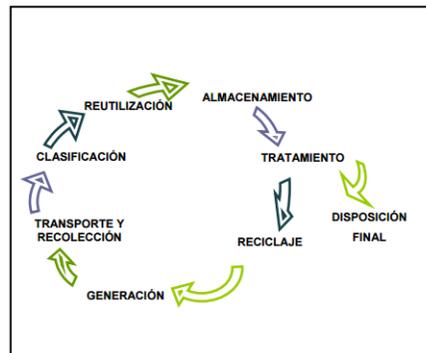


Figura 1. Ciclo de vida de los RSU (ONUDI, 2007).

Existen varios puntos de vista en las cuales se forman distintos ciclos de vida para los desechos sólidos urbanos, uno de los más usados es el ciclo de vida desde el punto social. Como se puede ver en la figura 2, este es más amplio, ya que empieza desde la producción de los bienes incluyendo los materiales para envases y embalajes, los que posteriormente se convertirán en desechos. Este punto de vista considera la cultura del consumidor ya que este es el que decide en qué momento desea desecharse del producto. Este ciclo demuestra que existen actores distintos dentro del proceso, estos son: los productores, los consumidores, los recolectores y transportistas, y los recuperadores.

En la figura 2, se representa el ciclo de vida de los desechos sólidos urbanos desde un punto de vista social.

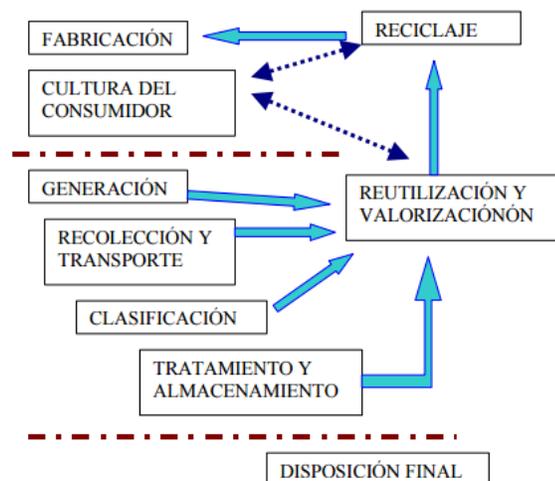


Figura 2. Ciclo de vida de los RSU desde el punto de vista social (ONUDI, 2007)

## 2.4 Consecuencias por el inadecuado manejo de los desechos sólidos

Cuando los desechos sólidos no tienen un buen manejo dentro de toda su gestión, especialmente en la parte de la disposición final, en base a sus características emiten consecuencias que repercuten tanto en la salud humana como en el ambiente.

### 2.4.1 Salud humana.

El contacto directo o indirecto de los humanos con los desechos los hacen estar expuestos a contraer distintos tipos de enfermedades. El inadecuado manejo de los desechos sólidos provoca una cadena de catástrofes en el ambiente que repercute en los humanos que hacen uso de ellos para poder sobrevivir; desde ríos sucios que provocan enfermedades gastrointestinales, hasta vertederos clandestinos que aumenta las plagas consigo, como las ratas, moscas, mosquitos, cucarachas, etc. que llevan enfermedades consigo como: dengue, malaria, chikungunya, diarrea, etc (tabla 4).

Tabla 4.

*Principales enfermedades transmitidas por ineficiente disposición final de desechos sólidos.*

Vectores	Principales enfermedades
Ratas	Peste bubónica Tifus murino Leptospirosis
Mosca	Fiebre tifoidea Salmonelosis Cólera Amebiasis Disentería Giardiasis

*Principales enfermedades transmitidas por ineficiente disposición final de desechos sólidos.*

Mosquitos	Dengue Malaria Filariasis Leishmaniasis Fiebre amarilla
Cucarachas	Cólera Giardiasis Fiebre tifoidea
Cerdos y ganado	Cisticercosis Toxoplasmosis Triquinosis Teniasis
Aves	Toxoplasmosis

(Fundação Estadual do Meio Ambiente -FEAM/MG-, 1995).

## **2.4.2 Medio Ambiente.**

Uno de los resultados más evidentes del mal manejo de los desechos sólidos es el cambio y deterioro del paisaje en sus factores estéticos, tanto la parte urbana como rural. Esta degradación, es ocasionada por la basura que es desechada, sin control, en cualquier parte, tomando en cuenta que esta acción provoca basureros clandestinos que van creciendo y viéndose en varios lugares por el aumento de desechos que se están generando. Además del paisaje, existen otros recursos que se van degradando por el mal manejo de desechos sólidos, estos son (Jaramillo, 2002):

**2.4.2.1 Agua.** Es uno de los efectos ambientales más serios, pero menos reconocidos. Estos se dan en la superficie y subterráneo, dados por el vertimiento de basura o lixiviados (producto de la descomposición de desechos sólidos de basureros clandestinos) a cuerpos de agua. El deterioro de este recurso implica consecuencias para la salud pública ya que el agua se vuelve impotable.

La descarga de desechos sólidos en corrientes de agua incrementa la carga orgánica que disminuye el oxígeno disuelto, aumenta los nutrientes que propician el desarrollo de algas y dan lugar a la eutrofización; causando la muerte de peces y desequilibrando al ecosistema acuático, afectando así al consumo humano o de recreación. Por último, también trae consigo la disminución de cauces y la obstrucción de estos y de redes de alcantarillado, siendo así un problema con las inundaciones en los periodos de lluvias, ocasionando pérdida de cultivos, bienes materiales e incluso vidas humanas (Jaramillo, 2002).

**2.4.2.2** *Suelo.* El deterioro estético de las ciudades y pueblos, son desvalorizados, más que todo aquellos terrenos en donde se localizan los botaderos o si están alledaño a estos. También, los botaderos con sus descargas de sustancias tóxicas y lixiviado provoca la acidificación, aumento de microorganismos, envenenamiento, etc, de los suelos (Jaramillo, 2002).

**2.4.2.3** *Aire.* Los desechos en los basureros clandestinos, al deteriorarse o por quemas, reducen la visibilidad, el aire puede transportar microorganismos que producen infecciones respiratorias, se dan molestias por olores pestilentes y además, los desechos a la hora de descomponerse emiten gases de infecto invernadero como el metano (Jaramillo, 2002).

## **2.5 Gestión Integral de los Desechos Sólidos (GIRS)**

### **2.5.1 Elementos que constituyen la Gestión Integral de Desechos Sólidos (GIRS).**

La gestión integral de los desechos sólidos es "una articulación de los diversos componentes de un servicio de aseo, con una visión holística del servicio (Castillo y Hardter, 2014). Aunque en palabras de, Jaramillo (2002), la gestión de desechos sólidos urbanos consiste en toda una serie de actividades asociadas al control de la generación, separación, presentación, almacenamiento, recolección, transporte, barrido, tratamiento y disposición final, a fin de que se armonicen con los

mejores principios de la salud pública, la economía, la ingeniería y la estética y otras consideraciones ambientales, y respondan a las expectativas públicas.

Así bien tomando los distintos conceptos, los objetivos clave se representan en: aceptación social, ahorro en la economía, beneficios ambientales y una salud digna ante la población de una zona. Teniendo en cuenta que estos deben de ser lógicos y acoplarse a la realidad de cada zona (tomar en cuenta debilidades y fortalezas), así como también generar una participación social para beneficiarlos por las aportaciones que logran como comunidad.

El sistema de gestión integral presenta un avance en las características cualitativas y cuantitativas dentro del manejo de los desechos sólidos, el cual pretende un manejo racional a través de la incorporación de nuevas acciones como (Castillo y Hardter, 2014):

- Normas que soporten la operatividad y sostenibilidad del nuevo sistema
- Optimización de los servicios en todos sus componentes
- Recuperación de costos
- Una planificación y administración adecuada para el nuevo sistema
- Inclusión de aspectos sociales, al incorporar a la comunidad como actor clave en el funcionamiento y sostenibilidad del servicio.

Además, según la realidad de cada zona, se pueden incorporar nuevos componentes en el servicio de aseo; a continuación, se muestran las características deseadas por tema (Castillo y Hardter, 2014):

- Generación: Creación de políticas y normas que propicien la minimización de desechos como normas de embalajes de productos, incentivos a la reutilización o reducción de envases.
- Operativo: Sistema debidamente planificado y diseñado de manera técnica en los distintos componentes de un servicio de aseo, en el cual se permita la optimización de recurso humano y equipos, además de una fácil implementación y control junto a la población.
- Social: Los ciudadanos deben estar involucrados e informados sobre la implementación del manejo adecuado, en el cual deben de participar activamente desde la separación en la fuente hasta el pago de las tarifas, estas son para la sostenibilidad financiera del servicio.

- Comercial: Debe de existir un catastro actualizado del servicio, adecuada definición de tasas y tarifas que cubran los costos reales totales del servicio, además un eficiente sistema de facturación y recaudación.
- Administrativo: Cumplir con un manejo del sistema en el cual exista una eficiente gestión del personal y atención al cliente, con una planificación y manejo técnico del servicio, con el objetivo de optimizar los costos del servicio y brindar un servicio de calidad.
- Financiero: Implementar sistemas de costos por componente del servicio y manejo de indicadores para que permita los menores costos reflejados en las tarifas que pagará la comunidad atendida.
- Salud y ambiente: Se debe de cumplir la normativa local y nacional en los temas de salud y ambiente. El cual debe de cumplir con los requisitos de licenciamiento ambiental y salud del personal.
- Legal: Normativa actualizada, la cual sostiene legalmente los componentes del servicio en conjunto con el marco legal nacional y regional.

### 2.5.2 Jerarquía de la Gestión Integral de los Desechos Sólidos.

Es necesario jerarquizar los distintos componentes del GIRS para así priorizar los factores clave dentro del servicio de aseo y obtener resultados distintivos ante los problemas de salud y contaminación (figura 3).

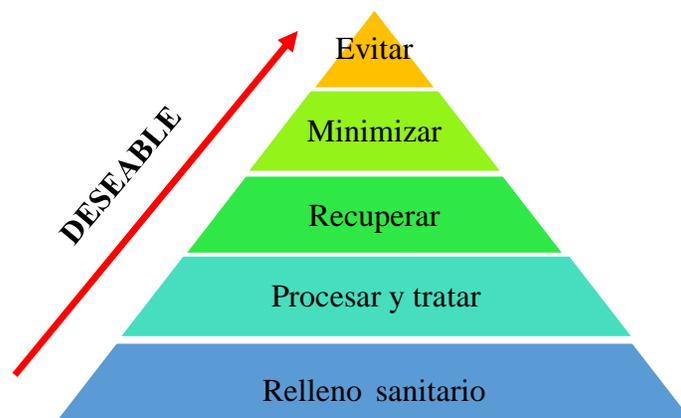


Figura 3. Prioridad en la Gestión Integral de Desechos Sólidos. (Castillo y Hardter, 2014).

El orden de prioridad demuestra lo que se debe abordar en las primeras decisiones, sin embargo, se debe tener en cuenta la realidad en la que se encuentra por lo que se toma el tiempo debido y según los recursos que se tienen. Al priorizar, se obtiene una base para poder planificar y desarrollar un plan a implementarse luego de obtener información sobre los desechos sólidos y los componentes del servicio (Castillo y Hardter, 2014).

## **2.6 Actividades operacionales del manejo de desechos sólidos**

### **2.6.1 Recolección y transporte.**

La recolección de desechos sólidos en áreas urbanas es difícil y compleja debido a que la producción de desechos sólidos residenciales, comerciales e industriales es un proceso disperso que tiene lugar en cada casa, cada edificio, apartamento y cada instalación comercial e industrial, lo mismo que en las calles, parques y aún áreas libres de cada comunidad. El rápido desarrollo del área urbana en todo el país ha complicado más la tarea de recolección (Tchobanoglous, 1982). Sin embargo, es vital para poder llevar los desechos al lugar dispuesto y mantener las condiciones de salud de la población.

### **2.6.2 Separación y almacenamiento temporal.**

El almacenamiento temporal permite acumular los residuos en condiciones higiénicas entre los períodos de recolección de los mismos. Esto depende de la cantidad de residuos a almacenarse, del tipo y de la frecuencia del servicio de recolección de los residuos (Castillo y Hardter, 2014). En algunas situaciones se da la separación in situ, esto quiere decir que se separan los desechos en el lugar en donde se recoge, esto facilitado por distintos contenedores, algunos con los colores para el reciclaje; siendo así un método más eficaz para la hora de la separación en los vertederos o plantas de tratamiento.

### **2.6.3 Disposición final de los desechos.**

La disposición final es la última etapa operacional del servicio de aseo urbano. Sin embargo, en países en desarrollo se determinan prácticas inadecuadas de disposición final, entre ellas están: la descarga de basura en cuerpos de agua, el abandono en botaderos a cielo abierto, la quema al aire libre y el entierro. En las ciudades se encuentran las prácticas inadecuadas de: disposición en la vía pública y local, botaderos municipales sin control, relleno controlado y el relleno sanitario.

El método de disposición final de todos los desechos sólidos municipales lo constituye el relleno sanitario. Es el único admisible, ya que no representa peligro alguno ni riesgos para la salud pública. Además, minimiza la contaminación y otros impactos negativos en el ambiente (Jaramillo, 2002).

**2.6.3.1 *Relleno sanitario.*** El relleno sanitario es una técnica de disposición final de los desechos sólidos en el suelo que no causa molestia ni peligro para la salud o la seguridad pública; tampoco perjudica el ambiente durante su operación ni después de su clausura. Esta técnica utiliza principios de ingeniería para confinar la basura en un área lo más estrecha posible, cubriéndola con capas de tierra diariamente y compactándola para reducir su volumen. Además, prevé los problemas que puedan causar los líquidos y gases producidos por efecto de la descomposición de la materia orgánica (Jaramillo, 2002).

**2.6.3.2 *Lixiviado en rellenos sanitarios.*** El lixiviado se puede definir como el líquido que ha percolado a través del desecho sólido y ha extraído materiales disueltos o suspendidos de ellos. En la mayoría de los rellenos sanitarios la porción líquida del lixiviado está compuesta del líquido producido de la descomposición de los desechos y líquido que ha entrado al relleno de fuentes externas tales como: drenaje superficial, precipitación, agua subterránea y agua de manantiales subterráneos (Tchobanoglous, 1982).

## **2.7 Planta de tratamiento de desechos sólidos**

La planta de tratamiento de desechos sólidos es aquella infraestructura en la que se puede aprovechar y facilitar la disposición final de residuos sin que ello afecte el medio ambiente y la salud de las personas. El tratamiento de desechos ha sido definido como cualquier proceso, método o técnica que permita modificar la característica física, química o biológica del desecho sólido, a fin de reducir o eliminar su potencial peligro de causar daños a la salud y el ambiente, y reaprovecharlo mediante su reciclaje, recuperación o reutilización (Organismo de Evaluación y Fiscalización Ambiental -OEFA-, 2014).

Una manera de concretar los principios y políticas para un manejo ambiental más apropiado de los desechos sólidos, es implementando un sistema de recuperación y aprovechamiento de estos, tomando en cuenta las 3R (reducir, reusar y reciclar). Esta forma de valoración permite que el aprovechamiento de los recursos contenidos en los desechos, debiendo realizarse en condiciones que no causen perjuicios a la salud humana y al ambiente (Castillo y Hardter, 2014).

Los desechos sólidos, dependiendo de las condiciones locales, pueden tener valor como materia prima para la industria, combustible para la producción de energía, y material que se puede usar para compostaje (Tchobanoglous, 1982).

### **2.7.1 Planta de separación de desechos sólidos.**

La separación de componentes es una operación necesaria en la recuperación de desechos sólidos. La recuperación necesaria se puede realizar manual o mecánicamente (Tchobanoglous, 1982).

**2.7.1.1 *Sistemas manuales de separación de materiales.*** Los sistemas manuales son utilizados para recuperación artesanal o de pequeña escala. El flujo de estos sistemas es tipo de parada, es decir, que se recibe un lote para ser procesado y se debe esperar a finalizar las actividades de separación para procesar un nuevo lote (Castillo y Hardter, 2014).

Este tipo de separación se puede llevar a cabo en la fuente donde se producen los desechos o el sitio de disposición. El número y tipo de componentes recuperados o clasificados depende de la localidad. Típicamente, los componentes incluyen papel periódico, aluminio y vidrio de procedencia residencial; cartón y papel de alta calidad, metales y madera de procedencia comercial e industrial; y metales, madera y objetos voluminosos de valor de estaciones de transferencia y sitios de disposición (Tchobanoglous, 1982).

**2.7.1.2 *Sistemas mecanizados de separación de materiales.*** Estos sistemas funcionan de manera continua: los desechos son seleccionados conforme van llegando a la planta con el apoyo de bandas transportadoras mecánicas y de otros equipos que facilitan las actividades de separación, aprovechando determinadas características de los materiales contenidos en los desechos sólidos (Castillo y Hardter, 2014)

## **2.7.2 Reutilización de desechos sólidos.**

La reutilización de desechos sólidos contempla volver a utilizar el producto recuperado de los desechos sólidos de manera directa, sin someterlo a ningún proceso de transformación (Castillo y Hardter, 2014).

## **2.7.3 Tratamiento de desechos orgánicos.**

Los desechos orgánicos se refieren todos aquellos que tienen su origen en los seres vivos, animales o vegetales. En general y dependiendo de la localidad, los residuos orgánicos oscilan entre el 50% y el 70% del total de los desechos sólidos urbanos. En varios casos, se ha utilizado alternativas de tratamiento de estos: como fuente de alimento animal, como fuente energética y como fuente de abonos (Castillo y Hardter, 2014).

Para el primer caso, en zonas rurales la costumbre es utilizar los desechos orgánicos de cocina para alimentar al ganado porcino. Esta práctica no es recomendable cuando se utilizan desechos

sólidos urbanos en lugares en donde no existe separación en fuente por la presencia de todo tipo de residuos ya que puede afectar a los animales y sus consumidores. En las industrias alimenticias se utilizan para transformarlos en alimento de animales con productos garantizados y libres de contaminantes (Castillo y Hardter, 2014).

Para el caso de la utilización de los desechos como fuente de energía se trata de aprovechar la presencia de macromoléculas de estos desechos con un alto potencial energético almacenado como energía química de enlace. Esta fuente de energía se denomina biomasa (Castillo y Hardter, 2014).

El último caso se conoce como abonos orgánicos o bioabonos que se producen por medio del compost o lombricultura.

#### **2.7.4 Compostaje.**

El compostaje es un proceso mediante el cual el contenido orgánico de la basura se reduce por la acción bacteriológica de microorganismos contenidos en los mismos residuos orgánicos, de lo que resulta un producto denominado compost. El compost es un material similar al humus (tierra); mejora los suelos pero no es un fertilizante y puede tener un valor comercial (Jaramillo, 2002).

El método de compostaje puede ser beneficioso para los países en desarrollo, ya que mediante este proceso es posible recuperar el gran porcentaje de materia orgánica que contienen los desechos sólidos municipales y, dado que exige la separación del resto de desechos sólidos, se convierte en una buena oportunidad para iniciar el reciclaje de otros materiales (Jaramillo, 2002).

#### **2.7.5 Reciclaje.**

Reciclaje es la actividad de recuperar los desechos sólidos para reintegrarlos al ciclo económico, reutilizándolos o aprovechándolos como materia prima para nuevos productos, con lo que se puede lograr varios beneficios económicos, ecológicos y sociales (Roben, 2002).

El reciclaje está ligado a la reincorporación de fracciones de los residuos, que tendrían por destino la disposición final, e integrarlos nuevamente a los ciclos productivos. Esto es rentabilizarlos o darles un costo, con beneficios inicialmente de tipo económico, pero principalmente con ventajas de tipo ambiental y social (Castillo y Hardter, 2014).

## 2.8 Marco legal

La Constitución Política de la República de Guatemala de 1985 es el principal Marco Institucional que rige y debe regir el accionar ambiental del país, ya que contiene los aspectos normativos generales que conforman al Estado nacional (IARNA, 2012).

A pesar de los avances en cuanto al incremento de la Legislación Ambiental, es cuestionable el impacto en la protección real del ambiente y los recursos naturales (IARNA, 2012).

A continuación, en la figura 4, se representa por medio de la pirámide de Kelsen la evaluación del componente político.



Figura 4. Pirámide de Kelsen para la evaluación del componente político.

## **2.9 Situación ambiental en Guatemala**

El uso insostenible y deterioro del patrimonio natural camina a paso acelerado en Guatemala. La brecha entre lo que se extrae de la naturaleza y lo que esta puede continuar brindándonos sin dañarla crece cada día; también aumenta la brecha entre los desechos que devolvemos al ambiente y la capacidad de los ecosistemas de absorberlos. De seguir así, el vulnerable y frágil sistema colapsará y junto a él, los otros pilares, la economía, el tejido social y nuestra dignidad (MARN, 2015).

### **2.9.1 Situación actual de desechos sólidos en Guatemala.**

Hoy en día los ríos, barrancos, calles y carreteras son grandes basureros clandestinos. Según MARN (2015), la generación de desechos sólidos asciende 2.3 millones de toneladas métricas de al año, de los cuales solamente el 30% se recolecta. Así bien, la preservación de las bellezas paisajísticas, la limpieza de los barrios, la generación de empleo, la salud de la población y el turismo son anhelos y necesidades colectivas como sociedad que induce a una movilización para encontrar soluciones que guíen a un mejor manejo de los desechos generado.

MARN (2015), indica que se tiene planeado para el 2030 reducir significativamente la contaminación por desechos sólidos, mantener limpios los ríos, lagos, caminos, rutas escénicas y terrenos municipales y privados. Por lo que es necesario que: (a) el Ministerio de Ambiente y Recursos Naturales y los gobiernos municipales que son los responsables de gestionar los desechos sólidos, cuentan con capacidades, tecnología y presupuesto para aplicar la legislación y los modelos de gestión de desechos sólidos; (b) los principales municipios generadores, manejan sus desechos adecuadamente; (c) la mayoría de ciudadanos y las empresas pagan por los servicios de colecta y tratamiento adecuado de desechos sólidos; y (d) los departamentos de Guatemala, Sacatepéquez y otros emblemáticos son modelos de gestión de sus desechos.

## **2.10 Situación actual del Municipio de Santa Catarina Pinula**

El Municipio de Santa Catarina Pinula, se encuentra ubicado a una distancia de 9 kilómetros de la capital, está conformada por 10 zonas, cada una de las cuales está integrada por la cabecera municipal, 16 aldeas y 5 caseríos (Secretaría de Planificación y Programación de la Presidencia - SEGEPLAN-, 2010).

El escaso servicio de redes de alcantarillado sanitario y escasa cobertura de sistemas de tratamiento de aguas residuales provoca directamente la disminución de la calidad de vida de los habitantes por afecciones a la salud, debido a la generación de vectores y proliferación de enfermedades. Además, se da el deterioro de los suelos, contaminación de cuerpos de agua y cuenca, y el abastecimiento de agua para consumo humano, se ve afectado por la deforestación provocada por la construcción de complejos habitacionales y contaminación de recursos hídricos y de suelo (SEGEPLAN, 2010).

### **2.10.1 Aspecto demográfico.**

La población del municipio fue de 67,695 habitantes para el 2002, y con una tasa de crecimiento poblacional de 3.6% anual a nivel nacional se estima que para el año 2010 fue de 85,292 habitantes. De estos, el 70.53% vivían en área urbana y el 29.47% en área rural. Es uno de los municipios con más población por kilómetro cuadrado del departamento con una densidad poblacional de 1,294 habitantes/km<sup>2</sup>, conformando aproximadamente el 2.8% de la población del departamento de Guatemala (SEGEPLAN, 2010).

### **2.10.2 Aspectos socioeconómicos.**

La actividad económica principal del municipio es el comercio. Sin embargo, pocas personas se dedican a la agricultura, y existe una gran movilidad por fines laborales hacia la ciudad capital, para desempeñarse en áreas diversas de servicio, industria y comercio. Esto genera las condiciones de un municipio dormitorio.

La agricultura es de subsistencia. Se dedica al cultivo del maíz y frijol. Los rendimientos son bajos, por el sistema de producción empleado y porque los suelos no tienen la vocación. Se cuenta con poca producción industrial. Existen actividades de manejo forestal productivo de madera y leña, se ubica en el área de algunas aldeas. Entre otras, existe una alta producción de porcicultura, caracterizando al municipio como uno de los mejores en el mercado.

En las actividades comerciales, se cuentan con empresas. Además, se ha originado un mercado inmobiliario que es significativo, ya que un 17% del crecimiento económico del municipio es generado por este sector (SEGEPLAN, 2010).

### **2.10.3 Manejo actual de desechos sólidos.**

El manejo de los desechos sólidos en el municipio se realiza por medio de un tren de aseo municipal que cubre la cabecera y otros sectores, así como recolectores privados que cubren el resto de los residenciales y centros comerciales. Con esta actividad se ha tratado de atenuar el problema de basureros a cielo abierto, ya que constantemente se hacen recorridos para identificar los lugares y eliminarlos. Los desechos sólidos del tren de aseo municipal son trasladados a los depósitos de desechos administrados por AMSA y las empresas privadas disponen de los depósitos de la zona 3 de la capital.

Según SEGEPLAN (2010), los tipos de disposición final de residuos sólidos en el municipio según el censo de lugares poblados realizado en el 2002 se hace de la siguiente forma: por servicio municipal se registran 1467 viviendas lo cual corresponde a un 15.42% del total, 3223 por servicio privado lo cual equivale a un 33.87%, 3373 la queman lo cual corresponde a un 35.45%, 802 la tiran en cualquier lugar lo cual equivale a 8.43%, 366 la entierran y este corresponde a un 3.85%, y 284 de otro tipo equivale a 2.98% del total.

### **3. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA**

#### **3.1 Planteamiento del problema y justificación del trabajo**

Santa Catarina Pinula está dentro de la subcuenca del Río Pinula, este municipio ha sido contaminado no solo por aguas residuales sino también por la mala disposición de desechos sólidos, como la incineración, entierro y con basureros clandestinos. Además, existen viviendas aledañas en donde la salud de la población puede ser afectada por la propagación de vectores a consecuencia de este manejo inadecuado. Las comunidades urbanas, así como las rurales, no cuentan con servicio adecuado para la gestión integral de desechos sólidos, afectando así el desarrollo del municipio en los pilares económicos, sociales y ambientales.

Tomando en cuenta que para el año 2018 existen 104,735 habitantes según la proyección efectuada por el INE en el 2002, y cada habitante genera 0.50 ton de desechos al año (IARNA, 2003), se estima entonces, que en total se producen 52,367.5 toneladas anuales de desechos sólidos, que deberían ser tratadas por medio de sistemas de separación, valorización y aprovechamiento del cual derivan beneficios ambientales y económicos que resultan en la aceptación social por su versatilidad. Este municipio se conoce por tener una gran cantidad de viviendas y comercios; por lo que es elemental que los desechos sean manejados adecuadamente para reducir la contaminación de cuerpos de agua importantes como el del Río Pinula.

Actualmente existe un servicio concesionado, por parte del municipio, de recolección de desechos sólidos, los cuales son depositados en el vertedero de la zona 3, y además está el tren de aseo municipal que deposita los desechos en AMSA, localizado en el km 22 de Amatitlán, estos se trasladan incurriendo en todos los gastos de recolección y transporte que implican.

Con esta investigación se pretende generar una propuesta técnica de una planta de tratamiento de desechos sólidos eficiente y óptima que permita modificar las características de los desechos sólidos a fin de reducir o eliminar su potencial peligro de causar daños a la salud y ambiente, y mediante su reciclaje, recuperación o reutilización, obtener ganancias (por la venta de desechos reciclables, y aboneras) para beneficiar económicamente a la planta y garantizar su sostenibilidad.

## **4. OBJETIVOS**

### **4.1 General**

- Generar una propuesta técnica de implementación de una planta de tratamiento de desechos sólidos para el municipio de Santa Catarina Pinula.

### **4.2 Específicos**

- Interpretar las características cuantitativas y cualitativas de los desechos sólidos que se generan en el municipio de Santa Catarina Pinula.
- Proponer el diseño operativo de una planta de tratamiento de desechos sólidos que trate la generación total producida en el municipio de Santa Catarina Pinula.
- Establecer y describir los lineamientos mínimos necesarios para facilitar el manejo integral de desechos sólidos dentro de la planta de tratamiento.

## 5. METODOLOGÍA

### 5.1 Localización

El municipio de Santa Catarina Pinula cuenta con una extensión territorial de 50 km<sup>2</sup>. Se localiza en la latitud 14°34'13'' y en la longitud 90°29'45''. Cuenta con una altitud de 1550msnm. Presenta límites territoriales en la parte norte con Guatemala, al este con San José Pinula, al sur con Fraijanes y Villa Canales, y al oeste con Villa Canales y Guatemala, todos los municipios son parte del departamento de Guatemala (SEGEPLAN, 2010). (Figura 5).



Figura 5. Ubicación del municipio de Santa Catarina Pinula, Guatemala (Motta, 2013)

### 5.2 Sujetos y unidades de análisis

El principal sujeto de análisis fueron los desechos sólidos, sobre sus características cuantitativas y cualitativas, producidos en el municipio de Santa Catarina Pinula.

### 5.3 Tipo de investigación

La investigación fue de tipo descriptiva.

## **5.4 Instrumentos**

- Se utilizaron bibliografías de las cuales se obtuvo información sobre metodologías, maquinarias y procesos que apliquen de mejor manera para el planteamiento y desarrollo de la planta de tratamiento de desechos sólidos, por cada etapa que este integra.
- Se realizó una entrevista semiestructurada a actora clave como: encargada del departamento Ambiental de la municipalidad de Santa Catarina Pinula, que tiene el seguimiento en el ámbito ambiental y del manejo de desechos sólidos del municipio, para ver el estado actual.
- Se investigaron recicladoras en Guatemala, entre ellas: Interfisa y Diso S.A. para determinar los materiales aceptables para el reciclaje y obtener información de costos y servicios.
- Se utilizó información, como el Plan de Desarrollo del municipio e informes catastrales, para recolectar datos poblacionales, mapas de la región y otros, que sean clave para la elaboración del plan de manejo de desechos sólidos.

## **5.5 Procedimiento**

### **5.5.1 Consulta documental.**

Se revisó una caracterización de desechos sólidos realizada en el municipio de Santa Catarina Pinula documentado en la tesis de grado "Modelo de gestión integral de residuos sólidos en el área urbana del Municipio de Santa Catarina Pinula" del año 2012, por Mgtr. Rommel Josué Raudales Osorto y Mgtr. Marvin Ovidio Grádiz Caceres, de la Facultad de Ingeniería Sanitaria de la Universidad San Carlos de Guatemala.

Se cuenta con los datos necesarios para analizarlos y determinar los procesos de tratamiento para cada fracción (orgánica, inorgánica y resto). Además, se utilizaron diversos documentos basados en el tema de manejo de desechos sólidos para su consulta y uso de procedimientos para la realización de la investigación.

## 5.5.2 Análisis de la información.

**5.5.2.1 Fase 1. Análisis de caracterización.** Con la información de la caracterización se determinaron datos por medio de fórmulas para la toma de decisiones sobre los procesos de tratamiento. Los datos calculados fueron:

5.5.2.1.1 *Generación per cápita.*

$$GPC = \frac{P}{H}$$

Donde:

GPC= generación de la producción per cápita del sector en kg/persona/día

P= kg recolectados diariamente kg/día

H= número de personas

(Castillo y Hardter, 2014)

5.5.2.1.2 *Generación total.* Es la suma de los desechos por fuente generados en el sector.

$$GT = (A + B + C + \dots)$$

Donde:

GT= Generación total

A = Fuente 1

B = Fuente 2

C = Fuente 3

5.5.2.1.3 *Porcentaje por fracción.* En este paso se sacó el porcentaje por fracción de orgánico, inorgánico reciclable y resto, por separado.

$$\%F = \left[ \frac{A}{(A + B + C)} \right] * 100$$

Donde:

A= fracción orgánica

B= fracción inorgánica

C= fracción resto

(Castillo y Hardter, 2014)

5.5.2.1.4 *Porcentaje en peso por categoría.* Se calculó el porcentaje por cada categoría dentro de la caracterización.

$$\%P = \left[ \frac{P}{P_{tot}} \right] * 100$$

%p= porcentaje en peso

P= peso

Ptot= peso total

(CEPIS, 1997)

**5.5.2.2 *Fase 2. Determinación de tratamientos.*** Luego de obtener los datos, se determinaron las alternativas viables de tratamiento para cada fracción, siendo esta la orgánica, inorgánica y resto. En el cual se propuso el diseño operativo de la planta de tratamiento de desechos sólidos.

5.5.2.2.1 *Fracción orgánica.* En función a sus características biológicas y físicas, se evaluó el tratamiento conveniente para así diseñar la parte operativa en función al análisis. En lo cual conllevó a la toma de decisión del tipo compostaje propicio para esta situación

en particular, y todo el flujo de operación desde la llegada del material, hasta su empaque. Esto implicó también la determinación de dimensiones de cada proceso.

5.5.2.2.2 *Fracción inorgánica.* Se realizó un análisis de la demanda de materiales reciclables en Guatemala y se determinaron los materiales reciclables que genera el Municipio, aptos para la venta dentro del país. En función a la cantidad y peso por material que se determinó reciclable, se realizó el diseño operativo del lugar físico para tratar condicionar el material para posteriormente su venta. Dentro de esto se determinó el tipo de maquinaria y tamaño del área por proceso (compactación, embalaje, almacenamiento).

5.5.2.2.3 *Fracción resto.* En función a sus características se determinó la alternativa más viable y con menos impacto para su disposición final. Se realizó el diseño operativo del relleno sanitario, según los datos de cantidad y calidad obtenidos de la primera parte.

Área necesaria para el relleno sanitario

Con el volumen se estimó el área requerida para la construcción del relleno sanitario, con la profundidad o altura que tendría. Ésta solo se conoció si se tiene una idea general de la topografía (Jaramillo, 2002).

El relleno sanitario se proyectó para un mínimo de años y un máximo de años. Este tiempo se llama vida útil o periodo de diseño (Jaramillo, 2002).

A partir de la ecuación se pudo estimar las necesidades de área:

$$A_{RS} = \frac{V_{RS}}{h_{RS}}$$

En donde:

$V_{RS}$ = volumen de relleno sanitario ( $m^3/año$ )

$A_{RS}$ = área por rellenar sucesivamente ( $m^2$ )

$H_{RS}$ = altura o profundidad media del relleno sanitario (m)

(Jaramillo, 2002)

Y el área total requerida fue:

$$A_T = F \times A_{RS}$$

Donde:

$A_T$ = Área total requerida ( $m^2$ )

F= Factor de aumento del área adicional requerida para las vías de penetración, áreas de retiro a linderos, caseta para portería e instalaciones sanitarias, patio de maniobras, etc. Este es entre 20-40% del área que se deberá rellenar.

(Jaramillo, 2002)

### **5.5.2.3 Fase 3. Lineamientos para el manejo integral de desechos sólidos dentro de la planta y el municipio.**

5.5.2.3.1 *Diseño operacional.* Fue necesario realizar un diseño organizacional de la planta y se decidió el número de trabajadores por cada etapa según la cantidad de desechos que se estarán trabajando. En este punto también se realizó el registro para el control de todas las actividades, que incluyó: horarios de la recepción de desechos, salida de material reciclable y control de material reciclado en la planta.

5.5.2.3.2 *Ordenanza para la Gestión de desechos sólidos.* Se denominó una serie de normativas para implementar y así ayudar a la participación social dentro de la Gestión de los desechos sólidos del municipio.

## 6. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

En las siguientes secciones se discute la información analizada a través de la caracterización de desechos sólidos del municipio Santa Catarina Pinula. Con la cual se realiza una propuesta que incluya las distintas características de la planta de tratamiento de desechos sólidos en cada fase según el tipo de fracción de desecho.

### 6.1 Análisis de la caracterización de desechos sólidos

#### 6.1.1 Generación per cápita.

La generación de desechos sólidos domiciliarios por habitante (GPC) dentro del municipio fue de 0.83 kilogramo/persona (tabla 5).

Tabla 5.

*Generación per cápita de desechos sólidos en Santa Catarina Pinula*

<b>Descripción</b>	<b>Valor</b>
Tamaño de la muestra	153
Número de personas	891
Recolección (kg)	1546.7
GPC Promedio (kg/hab/día)	0.83

(Radales, R. y Grádiz, M, 2012)

#### 6.1.2 Generación total.

La suma de los desechos por fuente generados en el sector incluyendo fuente domiciliar, institucional, comercial y de barrido de calles fue de 640.83 kg/m<sup>3</sup> (tabla 6).

Tabla 6.

*Generación total de desechos sólidos en Santa Catarina Pinula.*

<b>Fuente</b>	<b>Densidad (kg/m<sup>3</sup>)</b>
Domiciliar	233.23
Institucional	70.89
Comercial	174.68
Barrido de calles	162.03
<b>Generación total</b>	<b>640.83</b>

(Radales, R. y Grádiz, M, 2012)

### 6.1.3 Porcentaje por fracción.

Para determinar el área de proyecto, tipo de tratamiento y operaciones de cada fase de la planta se sacó el porcentaje de cada fracción dentro de cada fuente caracterizada (tabla 7, 8, 9 y 10).

Tabla 7.

*Porcentaje por fracción de fuente domiciliar en Santa Catarina Pinula.*

<b>Fracción</b>	<b>Peso (kg)</b>	<b>%</b>
Orgánica	158.5	58.4
Inorgánica reciclable	51.5	19.0
Resto	61.5	22.7
<b>Total</b>	<b>271.5</b>	<b>100</b>

Tabla 8.

*Porcentaje por fracción de fuente institucional en Santa Catarina Pinula.*

<b>Fracción</b>	<b>Peso (kg)</b>	<b>%</b>
Orgánica	26.7	43.4
Inorgánica reciclable	28.6	46.5
Resto	6.2	10.1
<b>Total</b>	<b>61.5</b>	<b>100</b>

Tabla 9.

*Porcentaje por fracción de fuente comercial en Santa Catarina Pinula.*

<b>Fracción</b>	<b>Peso (kg)</b>	<b>%</b>
Orgánica	20.9	39.9
Inorgánica reciclable	23.7	45.2
Resto	7.8	14.9
<b>Total</b>	<b>52.4</b>	<b>100</b>

Tabla 10.

*Porcentaje por fracción de todos los tipos en Santa Catarina Pinula.*

<b>Fracción</b>	<b>Peso (kg)</b>	<b>%</b>
Orgánica	206.1	53.5
Inorgánica reciclable	103.7	26.9
Resto	75.5	19.6
<b>Total</b>	<b>385.3</b>	<b>100</b>

Dentro de las tres fuentes se determinó que la fracción que más porcentaje posee es la orgánica, seguida de la inorgánica reciclable y resto. Esto dio a conocer que la parte más productiva dentro de la planta será la del compostaje.

#### **6.1.4 Porcentaje en peso por categoría.**

Con la información del porcentaje de peso por categoría se enfocó en señalar aquellos materiales reciclables para la posterior venta, en donde se encuentra: papel y cartón, plástico, PET, metales, vidrio y electrónicos. Y se estableció que en su mayoría están compuestos por los desechos orgánicos, categorizado como restos de comida y madera. Dentro del menor porcentaje se encuentra la fracción resto que son papel higiénico y pañales, textiles y hule, e inertes (tabla 11, 12 y 13).

Tabla 11.

*Porcentaje en peso por categoría: domiciliar, en Santa Catarina Pinula.*

<b>Categorías</b>	<b>Peso (kg)</b>	<b>%</b>
Papel y cartón	20.7	7.6
Plástico	17.4	6.4
PET	4.5	1.7
Restos de comida	157.1	57.9
Metales	2.9	1.1
Duroport	1.3	0.5
Textiles y hule	16.9	6.2
Vidrio	6	2.2
Papel higiénico y pañales	43.3	15.9
Madera	1.4	0.5
<b>Total</b>	<b>271.5</b>	<b>100</b>

Tabla 12.

*Porcentaje en peso por categoría: institucional, en Santa Catarina Pinula.*

<b>Categorías</b>	<b>Peso (kg)</b>	<b>%</b>
Papel y cartón	20.4	33.2
Plástico	5.6	9.0
PET	2.1	3.4
Restos de comida	26.7	43.4
Metales	0.3	0.6
Duroport	2.1	3.4
Textiles y hule	0.3	0.6
Vidrio	0.2	0.3
Papel higiénico y pañales	3.8	6.2
Madera	0.0	0.0
<b>Total</b>	<b>61.5</b>	<b>100</b>

Tabla 13.

*Porcentaje en peso por categoría: comercial, en Santa Catarina Pinula.*

<b>Categorías</b>	<b>Peso (kg)</b>	<b>%</b>
Papel y cartón	8.7	16.6
Plástico	12.7	24.2
PET	1.5	2.9
Restos de comida	20.8	39.7
Metales	0.5	0.9
Duroport	0.8	1.5
Textiles y hule	0.9	1.8
Vidrio	0.2	0.3
Papel higiénico y pañales	3.1	5.8
Madera	0.2	0.3
Desechos electrónicos	0.2	0.3
Inertes	3.1	5.8
<b>Total</b>	<b>52.4</b>	<b>100</b>

## 6.2 Propuesta de planta de tratamiento de desechos sólidos

### 6.2.1 Generación de desechos sólidos y proyecciones.

Para satisfacer la demanda de la población en base a la generación de desechos sólidos, se realizó una serie de cálculos de proyecciones para facilitar la toma de decisiones en base a las dimensiones de la propuesta.

**6.2.1.1 Proyección de la población.** Se calculó la población proyectada para estimar las necesidades de los próximos 10 años (tabla 14). Con una tasa del 3.6% (INE, 2002).

$$P_f = P_1(1 + r)^n$$

$P_f$  = Población final

$P_1$  = Población inicial

r = tasa de crecimiento

n= número de años

(Jaramillo, 2002)

Tabla 14.

*Proyección de la población de Santa Catarina Pinula en 10 años.*

<b>Año</b>	<b>Habitantes</b>
2017	101,096
2027	143,990

**6.2.1.2 Estimación de GPC en 10 años.** Se estima que la producción per cápita aumentará en 1% anual (tabla 15). Entonces para cada año será:

$$Gpc_2 = gpc_1 + (1\%)$$

(Jaramillo, 2002)

Y así sucesivamente.

Tabla 15.

*Proyección de la generación per cápita de Santa Catarina Pinula en 10 años.*

<b>Año</b>	<b>GPC</b>
2017	0.83
2018	0.84
2019	0.85
2020	0.86
2021	0.86
2022	0.87
2023	0.88
2024	0.89
2025	0.90
2026	0.91
2027	0.92

**6.2.1.3 Cantidad de desechos sólidos.** Se calculó la producción diaria y anual por fracción (Tabla 16).

$$DS_d = Pob \times gpc$$

$$DS_a = DS_d \times 365 \text{ días}$$

$$DS_f = DS \times \% \text{fracción}$$

DS<sub>d</sub> = desechos sólidos diarios

DS<sub>a</sub> = desechos sólidos anuales

DS<sub>f</sub> = desechos sólidos por fracción

Pob = número de habitantes

Gpc = generación per cápita

(Jaramillo, 2002)

Tabla 16.

*Cantidad de desechos sólidos en Santa Catarina Pinula producidos por día y año.*

Fracción	Producción diaria (ton/día)	Producción anual (ton/año)
Orgánica	44.9	16380.1
Inorgánica	22.6	8245.3
Resto	16.4	6001.6

### 6.2.2 Fracción orgánica.

Lo que más se genera en el municipio de Santa Catarina Pinula son los desechos orgánicos siendo producida 44.9 ton/día. En estos desechos se consideran los restos de comida y la madera. Al ser un municipio mayormente urbano se presencié un gran porcentaje de fracción orgánica.

El compostaje es el tratamiento que permite a las autoridades municipales la reducción de hasta un 50% de los desechos que vayan a ser depositados en el sitio de disposición final. Por ello esta es una de las fases dentro del tratamiento más importante.

Para que un material sea compostable, debe de cumplir ciertos parámetros. En la tabla 17 se puede ver la comparación entre los componentes de la fracción orgánica según la caracterización y los parámetros para un compost. El cual indicó que el material orgánico es ideal para compostar.

Tabla 17.

*Comparación de parámetros para el compostaje en Santa Catarina Pinula.*

<b>Parámetro</b>	<b>Unidad</b>	<b>Valor Santa Catarina Pinula</b>	<b>Valor de referencia (OPS)</b>	<b>Valor de referencia (Tchobanoglous-Theisen-Vigil)</b>
pH	-	5,60	-	5 - 7
Contenido de humedad	-	71,19	-	50 - 60
Fósforo	%	0,44	0,2 – 1,5	-
Potasio	%	4,99	0,4 – 1,3	-
Manganeso	ppm	40	430 – 600	-
NT	%	1,76	0,6 – 1,7	-
C:N	-	25,9 : 1	-	20-50 : 1

(Radales y Grádiz, 2012)

Para la realización del compostaje se utiliza la fracción orgánica generada en el municipio, sin embargo, se consideró una eficiencia del 70% en el proceso de separación para determinar el tipo de tratamiento. En la tabla 18 se indica las toneladas por día de material orgánico que estarían en el proceso de compost de la planta.

Tabla 18.

*Material orgánico por compostar al día y año en planta de Santa Catarina Pinula.*

<b>Categorías</b>	<b>%</b>	<b>Eficiencia separación domiciliaria</b>	<b>% de material a la planta</b>	<b>ton/día</b>	<b>ton/año</b>
Material orgánico	53.5	70%	37.45	16.8	6137.5

**6.2.2.1 Operación del compostaje.** El método Takakura para compostaje ha sido de los más utilizados en países en vías de desarrollo como Surabaya en Indonesia y otros países

como Filipinas, Malasia y Nepal gracias a su gran potencial, eficiencia, y su bajo costo económico para realizarlo (JICA, 2010). Es por ello que es el método más apto para el tratamiento de desechos orgánicos del municipio.

Comparado con otros métodos convencionales, este método produce el composte en una o dos semanas. Además, requiere como precondition el uso de microorganismos que descomponen los residuos orgánicos y lo hacen en un corto tiempo (los residuos de comida pueden ser descompuestos en 48 horas). Este método utiliza todo tipo de desechos incluso aceite residual de cocina (Honobe, 2013).

**6.2.2.2 Metodología.** Se debe de iniciar laborando dos soluciones, una salada en la que se incluye sal, residuos de hojas de hortaliza o cáscara de frutas (estas para mayor eficiencia) y se mezcla con agua. Además, se hace una de solución dulce en la que se coloca levadura, yogurt, melaza y agua. Estas dos soluciones se dejan reposar durante 8 días.

Luego de obtener las soluciones, se crea la semilla del compost para ello se coloca la base (cascarilla de arroz, harina de maíz o pan molido) y se mezcla con harina, esto para que los microorganismos se desarrollen mejor. También se le agrega hojarasca para propiciar la destrucción de microorganismos patógenos y la multiplicación de microorganismos benéficos encargados de la descomposición.

Al tener la mezcla de todos los componentes, se ajusta el nivel de humedad recomendado, este es entre el 40 y 60%, si al apretar la semilla con la mano se mantiene compacta significa que es adecuada. Se deja reposar durante siete días, se recomienda que esté ubicada en un lugar en donde pueda respirar. Durante estos días se hace una mezcla diaria, si está seca se le agrega agua.

Luego de los siete días se mezcla la semilla junto con los residuos orgánicos, ya que es una gran cantidad se debe de triturar con una chipeadora la mezcla para homogeneizarla e intensificar la fermentación. Debe tener relación 1:1 entre compostaje semilla y residuos orgánicos.

La mezcla debe ser apilada en forma trapezoidal con una altura de aproximadamente 0.6 a 1.5 metros. Al siguiente día empieza a subir la temperatura, debe de mantenerse entre 60

y 80°C. Debe de ser mezclado diariamente. Ya cuando el compost está maduro, se saca para el almacenamiento y se deja durante más de dos semanas hasta que alcance una madurez total para ya ser utilizado.

**6.2.2.3 Condiciones básicas.** Debe estar situado en un lugar que proteja contra la lluvia, vientos fuertes, sin filtración del agua de lluvia, sin luz solar directa y con buen drenaje.

Es apropiado que el piso sea de hormigón y este tenga un gradiente para el drenaje, además de que posea un techo que lo proteja de las condiciones que puedan dañar el proceso de compostaje.

**6.2.2.4 Dimensionamiento.** Según, JICA (2010), una de las características principales del método es su operabilidad en un espacio reducido comparado con los otros métodos, debido a su corto período de fermentación de alrededor de 10 días. A continuación, se definen cuatro dimensionamientos para los distintos centros de compostaje.

El compostaje de una tonelada de residuos orgánicos diarios puede realizarse en un espacio de 100m<sup>2</sup> incluyendo el espacio de oficinas. Igualmente, para 3t/día se requieren 200 m<sup>2</sup> y para 5t/día se requieren 300 m<sup>2</sup>. Cabe mencionar que en un espacio de 100 m<sup>2</sup>, puede procesarse una tonelada diaria o 30t/mes de desecho orgánico reduciendo así 6 toneladas de composte (JICA, 2010).

Con estos dimensionamientos, se recomienda un espacio de 1200 m<sup>2</sup> para compostar 16.8 ton/día. Sin embargo, tomando en cuenta la propuesta del "Programa Takakura para compostaje comunitario" se es capaz de reducir hasta la mitad de este espacio ya que se incorporan centros de compostaje pequeños en puntos determinados y además del compostaje en hogares.

**6.2.2.5 Programa "Takakura" para el compostaje comunitario.** Este programa consiste en que la población reduzca la generación de desechos orgánicos. Por lo que se hace la promoción del compostaje Takakura a los hogares, escuelas, instituciones o comunidades.

En el cual se busca la manera de que sea por hogar y también mediante un centro de compostaje.

Como iniciativa, se busca hacer una distribución gratuita de cestos para composte hogareño. Este es el inicio para el compostaje por hogar. Junto a esto se imparte charlas sobre el método, tipos de desechos orgánicos, preguntas frecuentes y los resultados que benefician a la comunidad. Esta etapa requiere de un pequeño espacio y un poco de atención ya que, si se tratan 500 gramos diarios de desechos sólidos utilizando un contenedor de 60litros, este se demora de tres a seis meses en llenarse (JICA,2010); siendo efectivo para el hogar.

Como segunda fase, se requiere de centros de compostaje. Estos pueden ser varios y localizados en puntos clave para mayor facilidad en acceso y manejo. Deben estar situados cerca de mercados, establecimientos comerciales o escuelas. Estos centros de compostaje favorecen económicamente a la comunidad, ya que se vende el compost que se genera y estos son manejados por la misma comunidad.

Como tercera fase, se requiere de un centro de compostaje a mayor escala. En este llegan todos los desechos orgánicos, previamente separados, para que se les dé el manejo adecuado. Estos son de todos los hogares e instituciones que no tienen canasta o pequeño centro de compostaje.

Para que este programa funcione, es necesario como municipalidad promover los beneficios. Más que la generación de ingresos por venta en mercados agrícolas o de jardinería privada, los principales incentivos para la mayoría de personas son: la mejora del ambiente, la disminución de desechos orgánicos, mejora de las condiciones higiénicas, calles más verdes y limpias, restauración de suelos municipales y parques o jardines.

Si se realiza de buena manera el proyecto, la cantidad de desechos orgánicos que lleguen a la planta de tratamiento será menos. Por lo tanto se reducirán costos, área de trabajo y se tendrá un municipio consiente por el medio ambiente.

**6.2.2.6 Localización del centro de compostaje.** Como propuesta para el centro de compostaje, se tiene un terreno localizado en la latitud 14°34'18''N y longitud 90°29'55''O; situado

en el Sector Las Moritas, 6<sup>ta</sup> Avenida 0 calle de la Zona 1, detrás del Rastro Municipal de Santa Catarina Pinula. Consta con una extensión de 1,235 m<sup>2</sup>. Presentando las condiciones óptimas de espacio y cercanía en la comunidad para crear un centro de compostaje.

### 6.2.3 Fracción inorgánica.

Se es necesario el reciclaje de los desechos sólidos, es por medio de la operación de separación de la planta de tratamiento se puede hacer uso de los desechos reciclables para poder reintegrarlos al ciclo económico. Siendo así un proceso que aumentará la rentabilidad de la planta. Además de darle un beneficio económico adicional, se da el aumento de la vida útil del relleno sanitario al reducir el volumen de desechos vertidos anualmente.

Para esta etapa del sistema, se realizó un estudio de cantidad de los desechos sólidos con los datos de una caracterización previa de la basura del municipio. Identificando así la cantidad probable de reciclables a separarse.

En la tabla 19 se identifican los materiales que tienen demanda en el mercado junto a los datos de precios encontrados en el estudio realizado. Teniendo en cuenta los pesos generados por producto en el municipio de Santa Catarina Pinula en la tabla 20 se muestra el ingreso aproximado que puede representar la venta de cada material, siendo un total de Q2191 por semana, y Q8762 mensual.

Tabla 19.

*Precios por peso de productos reciclables en Santa Catarina Pinula.*

<b>Producto</b>	<b>Precio del material por kilogramo</b>
PET	Q0.20
Cartón	Q0.20
Papel	Q0.43
Metal	Q0.05

Tabla 20.

*Ingreso monetario semanal por producto reciclable de Santa Catarina Pinula.*

<b>Producto</b>	<b>Peso generado en una semana (kg)</b>	<b>Valor total de una semana</b>
PET	700	Q140
Cartón y papel	6300	Q2016
Metal	700	Q35
<b>Total</b>	<b>11925</b>	<b>Q2191</b>

**6.2.3.1 Sistema de separación.** Luego de analizar los materiales reciclables se determinaron los sistemas para la separación de materiales.

6.2.3.1.1 *Dimensionamiento de la separación de materiales.* De la caracterización realizada se tomaron solo los materiales reciclables que llegarán a la planta de separación para realizar un dimensionamiento e indicar el procedimiento, longitud y velocidad de la banda de separación más viable para el sistema. De los valores descritos, tomando en cuenta la dependencia al grado de colaboración de la población, se tendrá un porcentaje de eficiencia en la separación. Se asumirá que tendrá una eficiencia del 70% según (Castillo y Hardter, 2014).

En la tabla 21 se muestran los materiales que llegarían a la planta de separación.

Tabla 21.

*Porcentaje de materiales reciclables en la planta de separación.*

<b>Categorías</b>	<b>%</b>	<b>Eficiencia separación domiciliaria</b>	<b>% de material a la planta</b>	<b>% del total</b>
Papel y cartón	12.9	70%	9.1	48.0
Plástico	9.2	70%	6.5	34.3
PET	2.1	70%	1.5	7.8
Metales	1.0	70%	0.7	3.6
Vidrio	1.6	70%	1.1	6.1
Desechos electrónicos	0.1	70%	0.0	0.2
<b>Total</b>	<b>26.9</b>		<b>18.9</b>	<b>100</b>

Según la cantidad de material que se introduzca a la planta, se dimensiona la longitud de la banda de separación para optimizar el proceso, esto con base de los rendimientos establecidos que se implantaron en la planta de Ciudad de Loja en Ecuador (DED, 2002).

Para calcular el personal requerido en la fase de selección se calculó de acuerdo con la cantidad de residuos generados, los porcentajes de material apto para ser reciclado y el rendimiento de separación (tabla 22). Junto a esto se estimó la longitud total de la banda de separación.

$$n = \frac{(d)(1000kg)}{(r)(8hrs)}$$

En donde:

n= número de personal por categoría

d= desechos en tonelada/día

r= rendimiento en kilogramo/hora

(Castillo y Hardter, 2014)

$$L = (n \div 2) + 2$$

En donde:

L= longitud mínima de la banda separadora

n= número total de personal

(Castillo y Hardter, 2014)

Tabla 22.

*Número de personal para el proceso de separación en la planta de tratamiento de desechos sólidos.*

<b>Categorías</b>	<b>% de material a la planta</b>	<b>Ton/día</b>	<b>Rendimiento (KG/H)*</b>	<b>Personal calculado</b>	<b>Personal asumido</b>
Papel y cartón	9.1	0.9	15.4	7.3	8
Plástico	6.5	0.6	12	6.7	7
PET	1.5	0.1	50	0.4	1
Metales	0.7	0.1	45	0.2	0
Vidrio	1.1	0.1	120	0.1	0
Desechos electrónicos	0.0	0.0	45	0.0	0
<b>Total</b>	<b>18.9</b>	<b>1.9</b>	<b>120</b>		<b>16</b>

Se determinó así que el personal asumido para este proceso es de 16 personas, tomando en cuenta una jornada de 8 horas y 10 toneladas al día. Y la longitud de la banda es de 10 metros, esta puede ser una sola o dos bandas de 5 metros cada una, en el cual se considera que habrá un trabajador a cada lado de la banda y aproximadamente un metro entre trabajadores para que se tenga un espacio de maniobra.

### **6.2.3.2 Operación de la separación.**

6.2.3.2.1 *Llegada de materiales.* Los camiones de recolección van llegando a la tolva de recepción, esta área tiene el piso inclinado para que el ingreso de los desechos hacia la siguiente unidad sea más efectivo. En este proceso se puede aprovechar para realizar una separación previa de desechos voluminosos.

6.2.3.2.2 *Selección.* Los desechos son seleccionados conforme van llegando a la planta. Se recomienda que en el primer paso de selección se tenga una criba para separar los materiales por tamaño para facilitar el siguiente proceso. Luego los desechos pasarán por medio de las bandas transportadoras mecánicas, este es el paso más importante ya que se realiza la separación de aquellos materiales recuperables. Se puede utilizar electroimanes para realizar la separación de materiales ferrosos.

6.2.3.2.3 *Almacenamiento temporario.* En recipientes para almacenamiento se van dejando todos los reciclados separados por materia y aquellos no reciclables para posteriormente transportarlos al área que se les designe. Esos recipientes pueden ser carritos de transporte por las grandes cantidades de material, o recipientes.

6.2.3.2.4 *Compactación y enfardado.* En esta fase los materiales separados se transportan a las prensas hidráulicas para la formación de pacas para la venta. El tamaño de la prensa se determina dependiendo de la cantidad de materiales, las más comunes son las pequeñas. Es importante para reducir el volumen y así tener más optimización del espacio de almacenamiento previamente a la venta. Se recomienda tener dos compactadoras hidráulicas para usar con los materiales siguientes: papel, cartón, plástico y PET.

6.2.3.2.5 *Almacenamiento.* Las pacas de materiales reciclados se mantienen en una pequeña área de bodega mientras se llega al peso deseado para la venta. Se toma en cuenta que debe ser un lugar cubierto para mantener la calidad del producto.

En la figura 6 se describe la operación de separación de desechos inorgánicos reciclables.

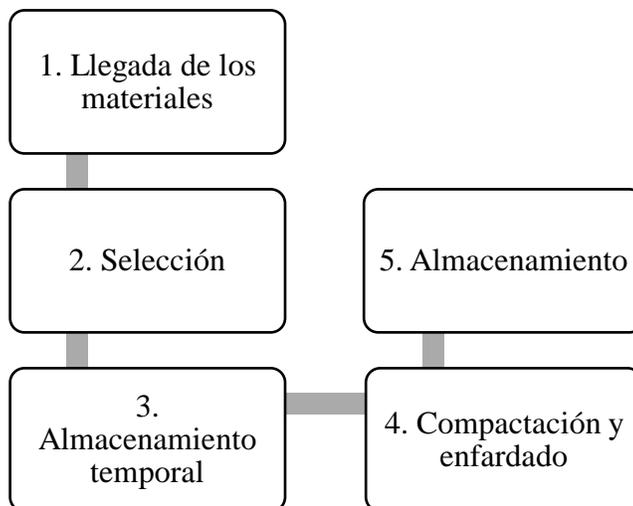


Figura 6. Operación de separación de desechos inorgánicos reciclables.

#### **6.2.4 Fracción resto.**

Para la fracción resto se propuso un relleno sanitario semi-mecanizado, tomando en cuenta los resultados del análisis de datos de la caracterización, siendo producido 16 ton/día. Este tratamiento se aplica para poblaciones que generan entre 16 a 40 toneladas de desechos por día. Se tiene apoyo de equipo mecánico para actividades de compactación de los residuos y las restantes son manualmente.

El aspecto clave para aumentar la vida útil de un relleno sanitario es la compactación de los residuos sólidos dentro de las plataformas preparadas para este fin (Castillo y Hardter, 2014). Para ello se requiere de maquinaria que permitan aumentar la compactación, se busca que se utilice equipo que tenga valores semejantes a los  $700 \text{ kg/m}^3$  o más (Jaramillo, 2002). Esta maquinaria no tendrá inconvenientes en manejar celdas de hasta 5m de altura.

Ya que se definió el tipo de operación del relleno sanitario, basado en la generación por día de los residuos, se realizó el dimensionamiento del mismo para encontrar el área requerida para implementar el relleno.

En la tabla 23 se visualiza la serie de cálculos para un relleno de 20 años de vida útil y de operación semi-mecanizada. Al ser del tipo trinchera, las celdas tendrán una altura máxima de 6 m y tendrá una cobertura diaria con 2% de materia inerte. Además, se consideró un 20% de área para vías para beneficiar el paso del personal (figura 7 y 8).

Según el cálculo realizado, se requeriría un terreno de 5.5 hectáreas, tomando en cuenta la proyección de habitantes y del GPC para un relleno sanitario de 20 años de vida y con 16 toneladas de fracción resto ingresando diariamente.

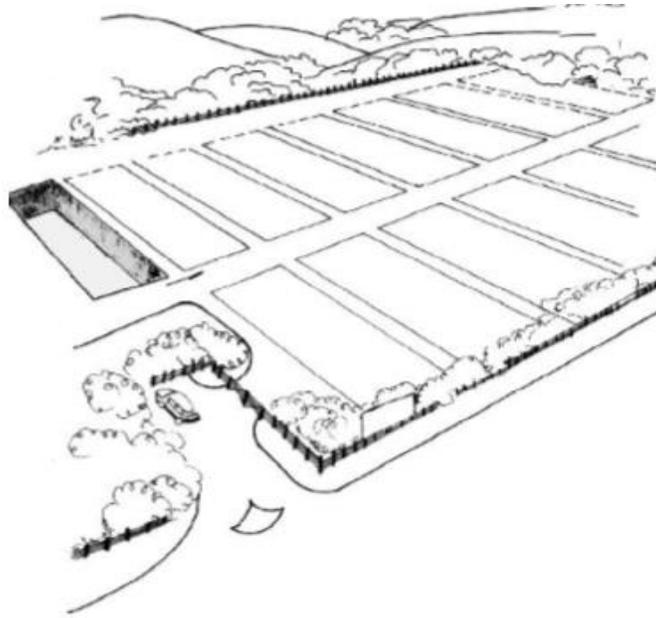


Figura 7. Diseño de relleno sanitario con el método de trinchera (Jaramillo, 2002).

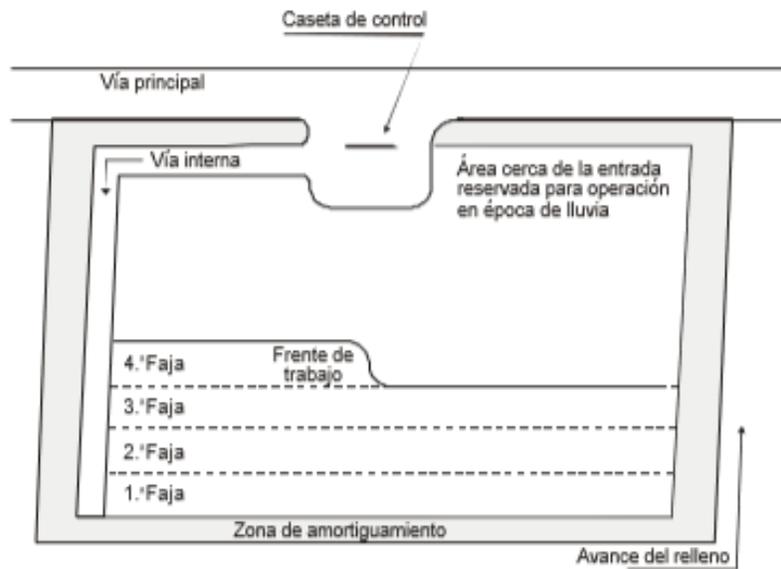


Figura 8. Plano de construcción para el relleno sanitario (Jaramillo, 2002).

Tabla 23.

*Cálculos para determinar el área requerida del relleno sanitario.*

Año	Año	Población (hab)	GPC kg/hab/día	CANTIDAD DESECHOS SÓLIDOS			VOLUMEN DESECHOS SÓLIDOS						ÁREA REQUERIDA			
				D.S. Total ton/día	D.S. Total ton/año	Acumulado ton/año	Compactados			Relleno Sanitario			Relleno Sanitario m2	Área total m2		
				2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14
2018	2018	104735	0.84	17.2	6293.9	6293.9	25	8991	1798.3	10463.3	12261.6	10463.3	1743.9	2267.0		
2019	2019	108506	0.85	18.0	6585.7	12879.6	26	9408	1881.6	10950.0	12831.6	23294.9	3882.5	5047.2		
2020	2020	112412	0.86	18.9	6891.0	19770.6	27	9844	1968.9	11497.5	13466.4	36761.3	6126.9	7964.9		
2021	2021	116459	0.87	19.8	7210.5	26981.1	28	10301	2060.1	12045.0	14105.1	50866.4	8477.7	11021.1		
2022	2022	120652	0.87	20.7	7544.8	34525.9	30	10778	2155.7	12592.0	14747.7	65614.1	10935.7	14216.4		
2023	2023	124995	0.88	21.6	7894.6	42420.5	31	11278	2255.6	13140.0	15395.6	81009.7	13501.6	17552.1		
2024	2024	129495	0.89	22.6	8260.5	50681.0	32	11801	2360.2	13748.3	16108.5	97118.1	16186.4	21042.3		
2025	2025	134157	0.90	23.7	8643.5	59324.5	34	12348	2469.6	14417.5	16887.1	114005.2	19000.9	24701.1		
2026	2026	138986	0.91	24.8	9044.2	68368.7	35	12920	2584.1	15086.7	17670.8	131676.0	21946.0	28529.8		
2027	2027	143990	0.92	25.9	9463.5	77832.3	37	13519	2703.9	15755.8	18459.7	150135.6	25022.6	32529.4		
2028	2028	149173	0.93	27.1	9902.2	87734.5	39	14146	2829.2	16485.8	19315.0	169450.6	28241.8	36714.3		
2029	2029	154544	0.94	28.4	10361.3	98095.8	41	14802	2960.4	17276.7	20237.1	189687.7	31614.6	41099.0		
2030	2030	160107	0.95	29.7	10841.7	108937.4	42	15488	3097.6	18067.5	21165.1	210852.8	35142.1	45684.8		
2031	2031	165871	0.96	31.1	11344.3	120281.7	44	16206	3241.2	18919.2	22160.4	233013.2	38835.5	50486.2		
2032	2032	171842	0.97	32.5	11870.2	132151.9	46	16957	3391.5	19770.8	23162.3	256175.5	42695.9	55504.7		

#### **6.2.4.1 Operación del relleno.**

6.2.4.1.1 *Ingreso.* El ingreso es restringido a personas ajenas al personal del relleno. Siendo así que debe existir un control de ingreso. Los trabajadores deben indicar el trayecto hacia la celda que se encuentre en operación.

6.2.4.1.2 *Celda de operación.* Diariamente se va estableciendo el orden de llenado de las celdas y plataformas del relleno posteriormente al dimensionamiento. La manera en la que se va alojando los residuos es importante ya que de este paso depende el grado de consolidación y estabilidad del relleno.

Se realiza la compactación por medio de maquinaria que tenga valores de  $700 \text{ kg/m}^3$  para asegurar la vida útil especificada del relleno. Al término de la jornada, se debe de poner la cobertura de material inerte para que no se corra el riesgo de que se convierta en un vertedero controlado.

6.2.4.1.3 *Control de vectores.* A causa de las actividades con manejo de cantidades grandes de basura, se presentan vectores como roedores, insectos y aves de carroña. Es por ello que se deben de tomar medidas de prevención. Se realizará por medio de la fumigación, el recubrimiento diario de los desechos, utilización de venenos y cebos; todo esto según a las recomendaciones para el uso del producto.

6.2.4.1.4 *Cerca viva.* Se debe contar con una cerca viva para el aislamiento visual y la mitigación de olores del relleno. Es necesario que tengan un mantenimiento rutinario.

6.2.4.1.5 *Medidas de control.* Es necesario establecer medidas de control para un mejor manejo del relleno y obtención de resultados. Se deben establecer:

- Estadísticas de cantidad de ingreso diario de desechos al relleno.
- Determinar el estado de avance del relleno y de las celdas.
- Mantener un stock de material de cobertura y de equipos de protección.
- Controlar la señalización y vías.
- Registro de mantenimiento de equipos.
- Monitorear el tratamiento para verificar el cumplimiento de las normas ambientales.

6.2.4.1.6 *Mantenimiento.* Esta actividad debe ser rutinaria y en función a la utilización de las distintas unidades y equipos. Se establecen sobre el estado estructural, los procesos de limpieza de las unidades y la contratación de reparaciones correctivas.

6.2.4.1.7 *Capacitación.* Es importante la capacitación del personal para la correcta operación del relleno sanitario para evitar accidentes y que la vida útil del relleno se minimice. Estas se dan sobre el uso de equipos, medidas de seguridad, conformación de celdas, monitoreo ambiental, etc. En la figura 9 se describe la operación del relleno sanitario.

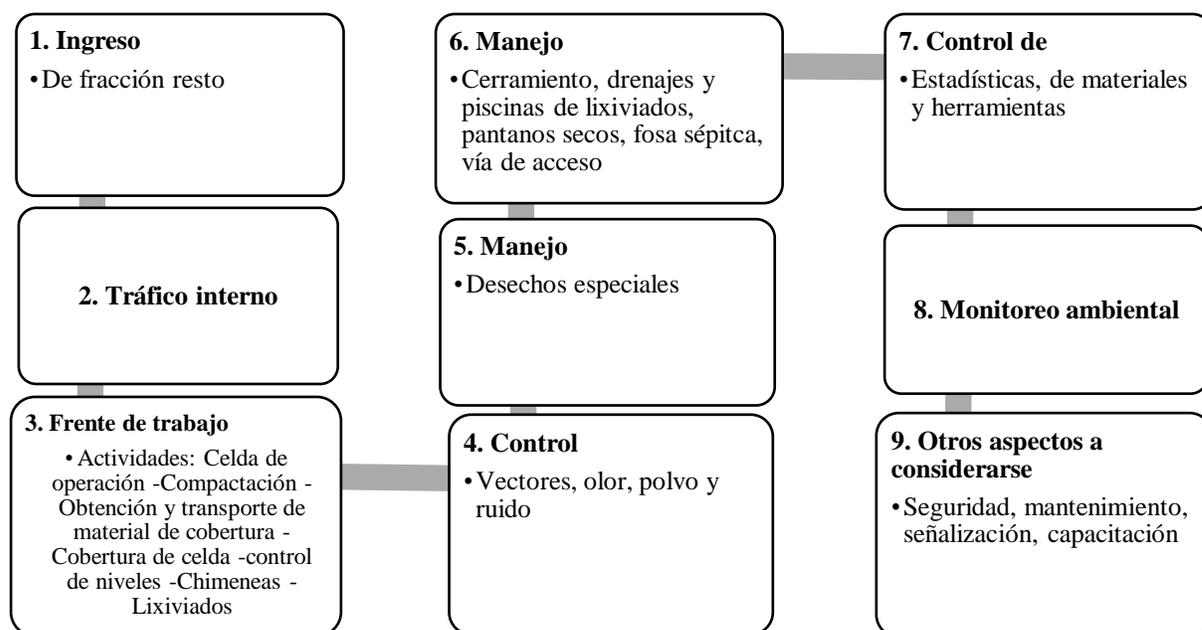


Figura 9. Operación del relleno sanitario

### **6.3 Lineamiento de operación de la planta de tratamiento**

La planta de tratamiento de desechos sólidos debe tener una serie de guías para que todos los tratamientos sean eficientes y tener un mejor control de estos. Es necesario tener en cuenta que se requiere de un supervisor con conocimientos del tema para analizar los datos, organizar, capacitar, controlar y que sepa solucionar problemas.

#### **6.3.1 Personal.**

6.3.1.1 *Encargado de la planta.* Llevará el registro de todas las actividades que se lleven a cabo de la manera adecuada, el volumen de desechos que ingresan y que se coloquen en los tratamientos correspondientes según el tipo de desecho. Debe tener un libro en que detalle las operaciones, datos, sugerencias y notas.

6.3.1.2 *Acondicionadores de desechos.* Ellos están a cargo de que se realicen los tratamientos de la manera correcta (separación, compostaje, limpieza, etc).

6.3.1.3 *Guardianes.* Llevarán el control del ingreso de las personas y vehículos, además de cuidar que no existan personas ajenas dentro de la planta.

#### **6.3.2 Seguridad y salud ocupacional.**

Dentro de la planta de tratamiento es necesario un programa de seguridad y salud ocupacional para la protección del personal. Para ello es necesario una serie de capacitaciones que se basan en primeros auxilios, control de incendios, seguridad de uso de maquinaria pesada, control y limpieza de derrames de desechos peligrosos. Ya que se trabaja con desechos, es necesario tener un programa médico para la administración de vacunas.

Los trabajadores deben vacunarse contra el tétanos y otras enfermedades que puedan ser causadas por el contacto con desechos, además deben de tener un chequeo médico periódico.

Para la protección física de los trabajadores es necesario mantener equipo de protección, entre ellos: palas, piochas, rastrillos, guantes, botas, protectores de orejas, casco, uniforme y mascarilla. Estos deben permanecer en la instalación al finalizar la jornada; en caso de las herramientas, estas deben lavarse con agua limpia antes de guardar.

Dentro de la planta debe haber fuente de agua limpia, jabón y cloro, junto con toallas desechables para que se limpien las manos los trabajadores y así evitar enfermedades por contacto con los desechos.

Se debe contar con un botiquín de emergencias que incluya lo necesario en caso de accidentes, como: gasas, algodón, alcohol, agua oxigenada, tijeras, pinzas, antiinflamatorios, pastillas para dolor de cabeza, etc.

A la hora de la comida, los trabajadores deben lavarse las manos. Queda prohibido comer dentro de los lugares de trabajo, para ello se designa un área para ese fin y evitar el contacto de los desechos con la comida.

### **6.3.3 Registro de entrada y salida de los desechos sólidos a la planta de tratamiento.**

Por lo tanto, es importante recomendar que las plantas tengan un registro detallado de las cantidades, frecuencia y algunas características mínimas de los materiales de entrada y salida. No se trata simplemente de recopilar datos con finalidades administrativas, sino de que éstos ayuden a una mejor planificación del trabajo y a detectar situaciones que puedan condicionar negativamente su funcionamiento, ya sea por motivos externos o por anomalías en el desarrollo del proceso (tabla 24).

### **6.3.4 Ordenanza para la Gestión de Residuos Sólidos.**

Para que se tengan mejores resultados es necesario implementar una norma en la cual se establezca los desechos a clasificar en el lugar de origen. Este tendrá la siguiente clasificación:

#### **6.3.4.1 *Desechos orgánicos.***

- Restos de comida: como cáscaras de verduras, frutas y sobras de comida
- Restos de plantas: como desechos de jardinería
- Restos de madera: como madera de construcción, viruta, aserrín, restos de embalajes

#### **6.3.4.2 *Materiales reciclables.***

- Papel: papel de oficinas, periódico, revistas, cartulinas, cuadernos y libros
- Cartón: cajas de cartón para embalar, empaques de productos
- Plásticos: envases de bebidas gaseosas, agua y refrescos; utensilios de cocina limpios, muebles, otros; bolsas plásticas, baldes, juguetes, tubos PVC; cubetas, cuerdas plásticas, y otros tipos de plásticos
- Vidrio: Envases de cervezas, envases de refrescos, frascos de mermeladas, salsas o conservas limpio.

#### **6.3.4.3 *Otros materiales (no reciclables).***

- Metales
- Ropa y trapos
- Artículos de espuma

#### **6.3.4.4 *Desechos tóxicos y peligrosos (no reciclables).***

- Plásticos y baterías
- Aceites usados
- Desechos hospitalarios
- Otros desechos tóxicos
- Artículos de goma y hule
- Artículos explosivos

#### **6.3.4.5 *Chatarra y desechos voluminoso.***

- Metales
- Electrodomésticos

- Equipos de computación
- Automotores, repuestos y partes

#### **6.3.4.6 *Material de escombros (no reciclable).***

- Materiales pétreos
- Cerámicos, etc.

Los recipientes que serán utilizados para la recolección de desechos son los siguientes:

- Recipiente plástico color verde: Para desechos orgánicos sin ningún tipo de material que no sea biodegradable.
- Recipiente plástico color azul: Para materiales reciclables, sin restos orgánicos.
- Recipiente plástico color negro: Para otros desechos, como: desechos de baño, pañales, toallas sanitarias, envolturas de golosinas; sin restos orgánicos, tóxicos o reciclables.
- Recipiente plástico color rojo: Para desechos tóxicos y peligrosos, estos deben de ser entregados a la empresa especializada en este tipo de desecho.

La recolección debe de ser tipo diferenciado. En este se establece frecuencias y horarios para la recolección de desechos sólidos por sectores del municipio y por tipos de desechos (reciclables, no reciclables y orgánicos). Las frecuencias del servicio son:

- Lunes, miércoles y viernes se recolecta y transporta los residuos orgánicos y reciclables.
- Martes, jueves y sábado se recolecta desechos no reciclables
- Sábado se recolecta chatarra y llantas

#### **6.3.5 Participación social.**

Es importante por parte de la municipalidad motivar la responsabilidad social de la población, incluyendo organizaciones, vecinos e instituciones. De la mano debe de existir una constante proporción de información y las herramientas necesarias para ejercer de la mejor manera el manejo de desechos sólidos.

La municipalidad debe de enfocarse en los siguientes puntos para lograr mejores resultados:

- Organización de las comunidades y determinación de líderes para una mejor comunicación con la municipalidad.
- Capacitaciones sobre la minimización, separación en fuente y recolección.
- Formación de comités de limpieza.
- Involucrar a las compañías privadas y a los medios de comunicación.
- Constante gestión de los diferentes proyectos en el municipio.
- Programa Takakura para compostaje comunitario
- Trabajar estrechamente con recolectores independientes para implementar nuevos programas o mejorarlos.

#### **6.4 Limitantes del estudio**

En la caracterización utilizada se debe de considerar el margen de error ya que los resultados son afectados en base a la metodología aplicada, época (festejos, lluvias), estratificación de lugares de muestreo, tipo de materiales a caracterizar, evaluación y procesamiento de datos. Por lo que es necesario recrear una caracterización nueva y reciente, tomando en cuenta el nuevo número de habitantes, y con metodologías más actualizadas que tengan las características del municipio.

Una de las mayores limitantes ha sido que el municipio no tiene los recursos económicos para poder mantener una planta de tratamiento de desechos sólidos, ni el espacio necesario para construirlo. Es por ello que se debe considerar crear por lo menos el centro de compostaje con método Takakura ya que en el municipio se podría compostar una cantidad de 22,977.5 ton/año, reduciendo considerablemente el volumen de desechos sólidos que se disponen en el vertedero de la ciudad, tomando en cuenta que se tiene un espacio óptimo para la construcción de este.

Sin embargo, es importante para la municipalidad crear este espacio de tratamiento de desechos sólidos. En el cual, se puede considerar la ayuda económica y técnica de otras instituciones que busquen el mejoramiento del medio ambiente. Además, la comunidad es también parte importante de este proceso, por lo que deben de estar incluidos dentro de la toma de decisiones y proyectos de manejo de desechos sólidos.

## 7. CONCLUSIONES

El análisis de la caracterización de desechos sólidos del municipio de Santa Catarina Pinula determinó que la generación per cápita es demasiado alto, este de 0.83kg/hab. Además, se conoce que la fracción que más porcentaje presenta dentro de los desechos caracterizados es la fracción orgánica seguida de la inorgánica reciclable y de último la fracción resto.

Para la fracción orgánica, se determinó que se estarían tratando 16.8 ton/día, es totalmente compostable y se propone el método de compostaje Takakura. En la fracción inorgánica reciclable, se reconocieron seis tipos de materiales reciclables en el cual por semana se estarían separando 11925 kg para la venta. Para la disposición de fracción resto es necesario un relleno sanitario de 5.5 hectáreas, siendo un área sumamente extensa, se considera que este no se tome dentro del proyecto y que esta fracción sea la única que se traslade al vertedero de la ciudad.

Es necesario tener un control de la planta en todos los aspectos, para evitar daños y tener mejores resultados en cada proceso. Además, es importante que se implemente en el municipio una iniciativa sobre la separación en fuente. Por lo que la municipalidad debe de velar por una Gestión Integral de Desechos Sólidos que se cumpla y así mejorar la condición del ambiente y la vida de su población.

## **8. RECOMENDACIONES**

Realizar una caracterización reciente de los desechos sólidos del municipio, enfatizado en los desechos reciclables, tomando en cuenta la metodología de La Agencia de Protección Ambiental de Estados Unidos (USEPA).

Si la administración municipal tiene la intención de construir una planta de esta naturaleza, deberá verificar que se cuenta con la continuidad institucional necesaria para mantener el proyecto a largo plazo.

Crear un diseño autosostenible de la planta de separación y la planta de compostaje, enfocado en el costo-beneficio de la venta de materiales y la planta de tratamiento.

Es importante implementar la separación de los desechos en la fuente de generación para tener mejores resultados en la planta de tratamiento.

Generar composta desde el hogar, institución, escuela o centros de compostaje, para que sea menor la fracción orgánica que llega a la planta.

Se necesita una educación comunitaria continua ya que el concepto de clasificación de desechos es muy nuevo y la población sigue creciendo.

## 9. BIBLIOGRAFÍA

- Castillo, A. (2012). Diseño de una planta de tratamiento de desechos sólidos y plan de contingencia para el relleno sanitario El Choconal, Municipio de la Antigua Guatemala, Sacatépequez. (Tesis de grado). Universidad San Carlos de Guatemala.
- Castillo, M. y Hardter, U. (2014). Gestión integral de residuos sólidos en regiones insulares. Ed. Irma Larrea Oña. WWF y Toyota, Galápagos, Ecuador. 188 pp.
- CEPIS. (1997). Guía para el manejo de residuos sólidos en ciudades pequeñas y zonas rurales. Lima, Perú. 70 pp.
- Consejo Municipal de Desarrollo del Municipio de Santa Catarina Pinula. Secretaría de Planificación y Programación de la Presidencia. Dirección de Planificación Territorial. Plan de Desarrollo Santa Catarina Pinula, Guatemala. SEGEPLAN/DPT, 2010.
- Consenza Barillas, R. (2013). Propuesta de un plan de manejo de desechos sólidos para el edificio del centro cultural metropolitano de la ciudad de Guatemala. (Tesis de grado). Universidad Rafael Landívar.
- DED. (2002). El reciclaje: Oportunidades para reducir la generación de los desechos sólidos y reintegrar materiales recuperables en el círculo económico. Recuperado el 9 de febrero de 2018 de:  
[http://www.bvsde.paho.org/bvsacg/guialcalde/3residuos/d3/062\\_reciclaje/reciclaje.pdf](http://www.bvsde.paho.org/bvsacg/guialcalde/3residuos/d3/062_reciclaje/reciclaje.pdf)
- Hernández, R., Torres, R. y Ramírez, Y. (2015). Implementación del método de compostaje Takakura para el reciclaje de desechos en la ciudad de Loja, Ecuador. *Centro de Biotecnología*, 4, 36-41.
- Hoornwe, D. y Thomas, L. (1999). What a Waste: Solid waste Management in Asia. Recuperado el 3 de febrero de 2017 de:  
<http://web.mit.edu/urbanupgrading/urbanenvironment/resources/references/pdfs/WhatAWasteAsia.pdf>
- IARNA. (2009). Gestión local y Gobernabilidad local. Guatemala. INGEP. Recuperado el 28 de enero de 2017 de [http://biblio3.url.edu.gt/IARNA/INGEP-URL/Pub\\_comp\\_coed\\_14.pdf](http://biblio3.url.edu.gt/IARNA/INGEP-URL/Pub_comp_coed_14.pdf)

- IARNA. (2003). Perfil Ambiental de Guatemala: Generación y Manejo de Desechos Sólidos en Guatemala.
- IARNA. (2012). Perfil Ambiental de Guatemala 2010-2012: Vulnerabilidad Local y Creciente Construcción de Riesgo.
- Jaramillo, J. (2002). Guía para el diseño y construcción y operación de rellenos sanitarios manuales (En red), Colombia. Recuperado el 9 de febrero de 2017 en: <http://www.bvsde.ops-oms.org/bvsars/e/fulltext/rellenos/rellenos.pdf>
- JICA. (2010). Compostaje para la reducción de residuos: juego de informaciones. Japón. Recuperado el 9 de febrero de 2018 en: [https://www.jica.go.jp/kyushu/office/ku57pq000009v1mc-att/comp\\_kit\\_low.pdf](https://www.jica.go.jp/kyushu/office/ku57pq000009v1mc-att/comp_kit_low.pdf)
- Manual de Saneamiento e Proteção Ambiental para os Municípios, Departamento de Engenharia Sanitária e Ambiental (DESA/UFMG). Fundação Estadual do Meio Ambiental (FEAM/MG),1995.
- MARN. (2015). Documento base del pacto ambiental en Guatemala 2016-2020. Recuperado el 28 de enero de 2017 de <http://www.marn.gob.gt/Multimedios/2547.pdf>
- Motta, D. (2013). Revitalización y expansión urbana de la cabecera de Santa Catarina Pinula. (Tesis de grado). Universidad Rafael Landívar.
- Municipalidad de Venado Tuerto. (2008). Plantas de tratamiento de residuos sólidos urbanos y relleno sanitario. Recuperado el 9 de febrero de 2017 de: [https://www.venadotuerto.gov.ar/1\\_secretarias/08\\_planificacion/2008\\_proyecto\\_ejecutivo\\_rsu\\_planta\\_2008.pdf](https://www.venadotuerto.gov.ar/1_secretarias/08_planificacion/2008_proyecto_ejecutivo_rsu_planta_2008.pdf)
- OEFA. (2014). Fiscalización ambiental en residuos sólidos de gestión municipal provincial. Informe 2013-2014. Recuperado el 13 de marzo de 2017 en: [https://www.oefa.gob.pe/?wpfb\\_dl=13926](https://www.oefa.gob.pe/?wpfb_dl=13926)
- ONUDI. (2007). Guía para la gestión integral de los residuos sólidos urbanos. Recuperado el 17 de febrero de 2017 en: [https://www.unido.org/fileadmin/import/72852\\_Gua\\_Gestin\\_Integral\\_de\\_RSU.pdf](https://www.unido.org/fileadmin/import/72852_Gua_Gestin_Integral_de_RSU.pdf)

- Ramírez, A. (2016). Diagnóstico del manejo de desechos sólidos y propuesta de planta de tratamiento en San Andrés Semetabaj, Sololá. (Tesis de grado). Universidad Rafael Landívar.
- Raudales, R. y Grádiz, M. (2012). Modelo de gestión integral de residuos sólidos en el área urbana del municipio de Santa Catarina Pinula. (Tesis de grado). Universidad San Carlos de Guatemala.
- Röben, E. (2002). El Reciclaje. Oportunidades Para Reducir la Generación de los Desechos Sólidos y Reintegrar Materiales Recuperables en el Círculo Económico. Municipio de Loja/ DED.
- Santiago Morales, R. (2016). Programa de recolección de desechos sólidos para el casco urbano de Purulhá, Baja Verapaz. (Tesis de grado). Universidad Rafael Landívar.
- Tchobanoglous, G., Theissen, H. y Eliassen, R. (1989). Desechos sólidos, principios de ingeniería y administración (En red) (Traducción A. Cubillos), Venezuela. Recuperado el 17 de febrero de 2017 en: <http://www.bvsde.paho.org/acrobat/desechos.pdf>

## 10. ANEXOS

Tabla 24.

*Registro de entrada y salida de los desechos a la planta de tratamiento.*

Fecha: \_\_\_\_\_

Encargado: \_\_\_\_\_

<b>Hora de entrada</b>	<b>Hora de salida</b>	<b>Placa de camión</b>	<b>Tipo de desecho</b>	<b>Peso Neto de Desechos kg</b>

Total diario kg:

Total diario toneladas:

### Leyenda

1. Garita (entrada/salida)
2. Oficina
3. Área para trabajadores
4. Parqueo de camiones
5. Área de separación
6. Área de lavado, compactación y almacenamiento de materiales reciclables
7. Área de compostaje Takakura
8. Almacén de compostaje
9. Salida de compostaje/materiales reciclables para venta

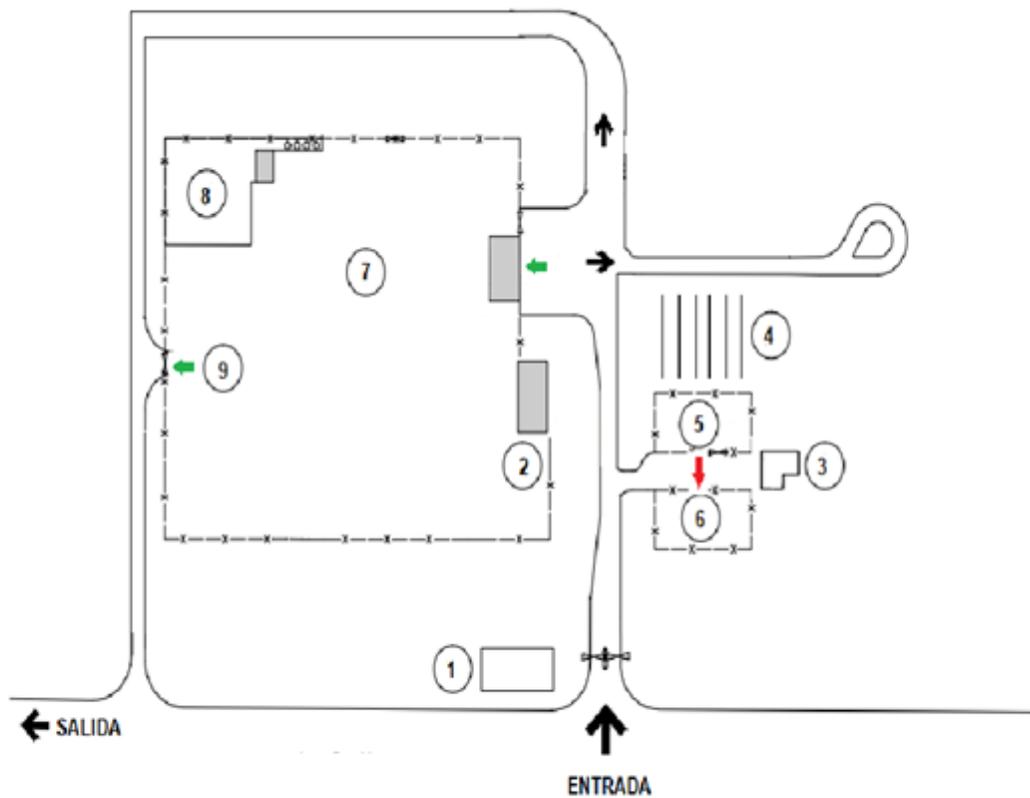


Figura 10. Diseño de la planta de tratamiento de desechos sólidos para Santa Catarina Pinula.

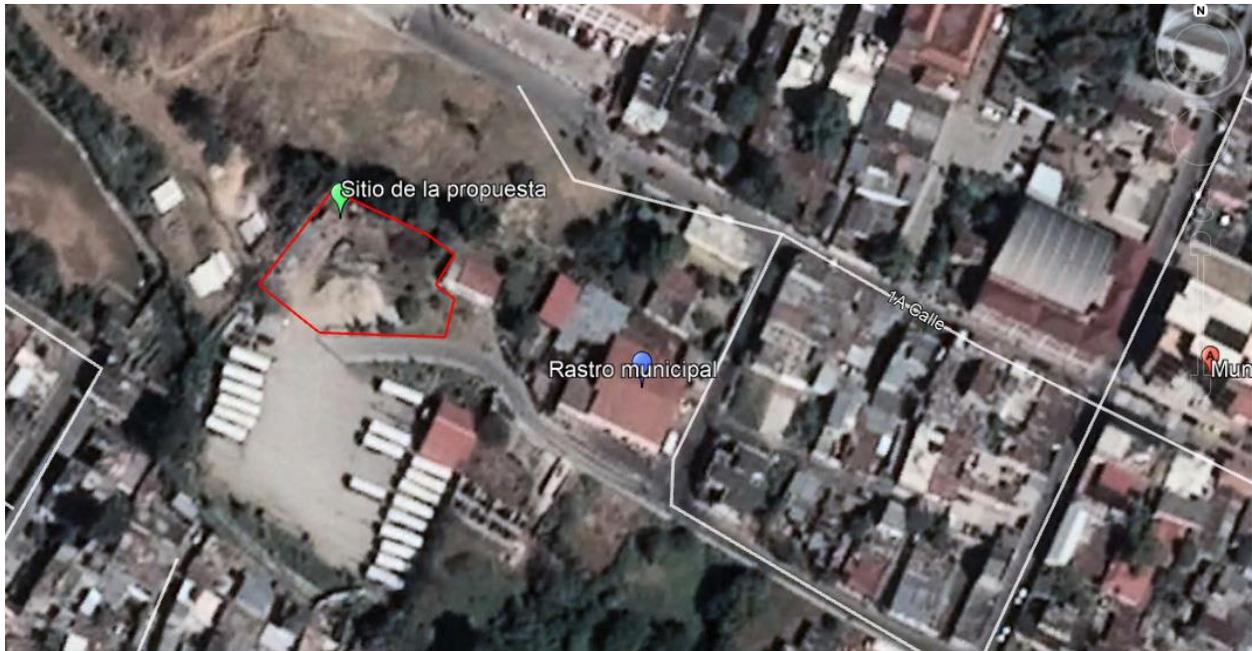


Figura 11. Propuesta del área para el centro de compostaje de Santa Catarina Pinula (Google Maps, 2018).



Figura 13. Terreno para el centro de compostaje en Santa Catarina Pinula.



Figura 12. Terreno propuesto para el centro de compostaje en Santa Catarina Pinula.

*Encuesta a Jefa del Departamento de Ambiente de la Municipalidad de Santa Catarina Pinula.*

1. ¿Usan servicio privado o municipal para la recolección de desechos sólidos? ¿En dónde es la disposición final?
2. ¿Existen basureros clandestinos u otro tipo de disposición final dentro del municipio?
3. ¿Cuál piensa que es el mayor obstáculo para la implementación de una planta de tratamiento de desechos sólidos?
4. ¿Existe algún terreno por parte de la municipalidad para localizar la planta de tratamiento de desechos sólidos?