

UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA  
FACULTAD DE AGRONOMÍA

ÁREA INTEGRADA

DOCUMENTO DE GRADUACIÓN



CARACTERIZACIÓN DE ABONOS SOMETIDOS A TRES TIEMPOS DE COMPOSTAJE,  
DIAGNÓSTICO Y SERVICIOS REALIZADOS EN LA PLANTA DE TRATAMIENTO DE  
RESIDUOS SÓLIDOS, SAN PEDRO SACATEPÉQUEZ, SAN MARCOS, GUATEMALA,

VICTOR JOSUÉ OROZCO GODÍNEZ

Guatemala, abril de 2014



**UNIVERSIDAD SAN CARLOS DE GUATEMALA**

**FACULTAD DE AGRONOMÍA**

**ÁREA INTEGRADA**

**TRABAJO DE GRADUACIÓN**

**REALIZADO EN LA PLANTA DE TRATAMIENTO DE RESIDUOS SÓLIDOS DE SAN  
PEDRO SACATEPÉQUEZ, SAN MARCOS, GUATEMALA, C. A.**

**PRESENTADO A LA HONORABLE JUNTA DIRECTIVA DE LA FACULTAD DE  
AGRONOMÍA DE LA UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA**

**POR**

**VICTOR JOSUÉ OROZCO GODÍNEZ**

**EN EL ACTO DE INVESTIDURA COMO**

**INGENIERO AGRÓNOMO**

**EN**

**SISTEMAS DE PRODUCCIÓN AGRÍCOLA**

**EN EL GRADO ACADÉMICO DE**

**LICENCIADO**

**Guatemala, abril de 2014.**



**UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA**

**FACULTAD DE AGRONOMÍA**

**RECTOR MAGNIFICO**

**DR. CARLOS ESTUARDO GÁLVEZ BARRIOS**

**JUNTA DIRECTIVA DE LA FACULTAD DE AGRONOMÍA**

<b>Decano</b>	<b>Dr. Lauriano Figueroa Quiñonez</b>
<b>Vocal I</b>	<b>Dr. Ariel Abderramán Ortiz López</b>
<b>Vocal II</b>	<b>Ing. Agr. MSc. Marino Barrientos García</b>
<b>Vocal III</b>	<b>Ing. Agr. Erberto Raúl Alfaro Ortíz</b>
<b>Vocal IV</b>	<b>P. For. Sindi Benita Simón Mendoza</b>
<b>Vocal V</b>	<b>Br. Sergio Alexander Soto Estrada</b>
<b>Secretario</b>	<b>Ing. Agr. Carlos Roberto Echeverría Escobedo</b>

**Guatemala abril de 2014**

Guatemala de la Asunción abril de 2014

Honorable junta Directiva  
Honorable Tribunal Examinador  
Facultad de Agronomía  
Universidad San Carlos de Guatemala

Honorables miembros:

De conformidad con las normas establecidas por la Ley Orgánica de la Universidad de San Carlos de Guatemala, tengo el honor de someter a vuestra consideración, el trabajo de Graduación: **REALIZADO EN LA PLANTA DE TRATAMIENTO DE RESIDUOS SÓLIDOS DE SAN PEDRO SACATEPÉQUEZ, SAN MARCOS, GUATEMALA, C. A.**, como requisito previo a optar al título de Ingeniero Agrónomo en Sistemas de Producción Agrícola, en el grado académico de Licenciado.

Esperando que el mismo llene los requisitos necesarios para su aprobación, me es grato suscribirme,

Atentamente,

“ID Y ENSEÑAD A TODOS”

Victor Josué Orozco Godínez

## **ACTO QUE DEDICO**

**A:**

**DIOS**

Por la vida que me ha regalado al lado de mi familia y por tanta misericordia derramada sobre mi vida.

**A MI PADRE**

Osberto G. Orozco, Por ser en mi vida un ejemplo de humildad y todo su apoyo incondicional, en las buenas y las malas.

**A MI MADRE**

Por ser ejemplo de lucha, y entrega a las cosas que anhelamos en la vida, y por nunca dejar de doblar sus rodias por mi vida, te amo madre mía.

**A MI HIJA**

Ana Camila Orozco Godínez, ángel de luz en mi vida te amo mi hermosa niña, que mis logros sean de orgullo para ti así como de ejemplo.

**A MI ESPOSA**

Brendy Godínez, Por su apoyo y motivación, que Dios te bendiga y guarde.

**MIS ABUELITOS**

Fausto Orozco y Zoila Miranda (Q.E.P.D.); Mario Godínez y Marina Velásquez (Q.E.P.D.), por sus sabios consejos en todos los momentos de la vida.

**MIS HERMANOS**

Zoila Marina, Noelia Verónica, Juan Pablo, gracias por su cariño compañía, en todos los momentos de mi vida.

**A MIS CUÑADOS**

Josué Velásquez y Roberto Fuentes por su amistad y apoyo.

**MIS TIOS**

Cada uno con un cariño muy especial y por ejemplo de unidad.

**MIS PRIMOS**

éxitos en todo lo que se propongan.

**MIS AMIGOS**

kisha, Anita Bravo, Claudia y Gaby Gordillo, Alejandra Bautista, Luis Emilio, Erick García, Byron Fuentes, Jorge Orozco, Henry Orozco, Roy Bautista, Heber Castañón, Cesar Aníbal, y muchos

más con los que hemos caminado juntos en la vida y son de bendición.

## **Agradecimientos**

**A:**

El Ing. Juan Carlos Díaz Flores, coordinador de la unidad de obras y servicios intermunicipales de la MANCUERNA Juan Santisteban, Inga. Viviana López y Oscar de León, y todas aquellas personas que fueron parte de la unidad, gracias por esa confianza y fe en mi trabajo y en creer siempre que todas las cosas son posibles.

El Dr. Iván Dimitri Santos y Ing Silvel Elías por su apoyo en la elaboración de este documento, que Dios los bendiga.

La familia Godínez Velásquez, por ese cariño, que Dios los bendiga siempre.

A la Mancomunidad de Municipios de la Cuenca del Rio Naranjo (MANCUERNA), en especial al Ing. Agro. Ediberto Fuentes, por la oportunidad de Crecer y darme la libertad de formarme en esta institución prestigiosa que dirige. Dios los bendiga.



## ÍNDICE GENERAL

<b>CONTENIDO</b>	<b>PÁGINA</b>
Resumen.....	1
CAPÍTULO I .....	2
1.1    Presentación .....	3
1.2    Marco referencial .....	4
1.2.1    Ubicación y límites.....	4
1.2.2    Clima .....	4
1.2.3    Temperatura .....	4
1.2.4    Humedad Relativa .....	4
1.2.5    Suelo .....	5
1.2.6    Precipitación pluvial.....	5
1.3    Objetivos .....	6
1.3.1    General.....	6
1.3.2    Específicos .....	6
1.4    Metodología .....	7
1.5    Resultados .....	8
1.5.1    Reseña histórica:.....	8
1.5.2    Diagnostico Biofísico .....	10
1.5.3    Diagnóstico Forestal y Ambiental .....	11
1.5.4    Diagnostico Agrícola.....	13
1.5.5    Producción de Abonos Orgánicos (compost). .....	13
1.5.6    Diagnóstico Socioeconómico.....	14
1.5.7    Diagnóstico financiero .....	16

	PÁGINA
1.5.8 Análisis FODA .....	18
1.6 Conclusiones.....	19
1.7 Bibliografía .....	20
2 CAPÍTULO II.....	21
CARACTERIZACIÓN DEL ABONO DE RESIDUOS ORGÁNICOS SÓLIDOS SOMETIDOS A TRES TIEMPOS DE COMPOSTAJE DE LA PLANTA DE TRATAMIENTO MUNICIPAL, SAN PEDRO SACATEPÉQUEZ, SAN MARCOS, GUATEMALA, C. A.....	21
2.1 Introducción.....	22
2.2 Planteamiento del problema.....	23
2.3 Justificación.....	24
2.4 Marco Teórico .....	25
2.4.1 Materia orgánica.....	25
2.4.2 Compost .....	25
2.4.3 Compostaje de desechos sólidos .....	26
2.4.4 Calidad del compost .....	26
2.4.5 Tipos de compostaje.....	27
2.4.6 Tipos de compost .....	28
2.4.7 Fases del compostaje.....	28
2.4.8 Factores que intervienen en el proceso de compostaje.....	30
2.4.9 Valor nutricional del compost.....	31
2.4.10 Valor nutricional químico. ....	32
2.4.11 Relación Nitrógeno/Carbono (N/C).....	34
2.4.12 El pH en el compost. ....	34
2.4.13 Impacto ambiental .....	35
2.4.14 Problemas relacionados con el compostaje .....	37

2.4.15	Antecedentes .....	37
2.5	Marco Referencial .....	42
2.5.1	Vías de Acceso y Área de Planta de Desechos Sólidos.....	42
2.5.2	Situación del terreno con respecto a los centros poblados.....	43
2.5.3	Propiedad del terreno .....	43
2.5.4	El manto freático.....	43
2.5.5	Clima .....	43
2.5.6	Temperatura .....	44
2.5.7	Humedad Relativa .....	44
2.5.8	Los vientos dominantes .....	44
2.5.9	Precipitación anual .....	44
2.5.10	Localización Geográfica .....	44
2.5.11	Tipo de suelo.....	44
2.6	Objetivos .....	46
2.6.1	General.....	46
2.6.2	Específicos .....	46
2.7	Hipótesis .....	46
2.8	Metodología .....	47
2.8.1	Localización de la investigación.....	47
2.8.2	Material experimental .....	47
2.8.3	Tratamientos.....	47
2.8.4	Diseño experimental .....	48
2.8.5	Modelo estadístico.....	48
2.8.6	Unidad experimental.....	48

	PÁGINA
2.8.7 Manejo experimental .....	49
2.8.8 Variables de respuesta. ....	49
2.8.9 Análisis de la información .....	51
2.9 Resultados y discusión.....	51
2.9.1 Propiedades físicas .....	51
2.9.2 Propiedades químicas. ....	55
2.9.3 Análisis económico.....	61
Cuadro 21: Valor de presupuesto asignado por residuo. ....	62
Cuadro 22: Costo de operación por tratamiento.....	62
2.10 Conclusiones. ....	63
2.11 Recomendación .....	63
2.12 Bibliografía .....	64
3 CAPÍTULO III.....	66
3.1 Presentación .....	67
3.2 Título .....	67
3.2.1 Objetivos.....	67
3.2.2 Metodología .....	67
3.2.3 Resultados.....	68
3.3 Presentación .....	70
3.4 Título .....	70
3.4.1 Objetivos.....	70
3.4.2 Metodología .....	70
3.4.3 Resultados.....	71
3.4.4 Evaluación .....	76

## Índice de figuras

		Página
Figura 1.	Recipientes para la clasificación de residuos sólidos en San Pedro Sacatepéquez, San Marcos	10
Figura 2.	Diagrama de recolección de desechos que actualmente se desarrolla dentro de la planta de desechos sólidos.	11
Figura 3.	Especies forestales presentes en la planta de tratamiento de residuos, cipres ( <i>Cupressus sempervirens</i> ), y aliso ( <i>Alnus glutinosa</i> ).	12
Figura 4.	Relleno Controlado establecido en la planta de desechos sólidos, y la liberación de lixiviados.	12
Figura 5.	Incineración de compuestos derivados de carbono, liberados al ambiente.	13
Figura 6.	Pila de desecho orgánico con 5 meses de compostaje, a la intemperie.	14
Figura 7.	Ciclo de distribución social de la planta de desechos sólidos de San Pedro Sacatepéquez. S. M.	15
Figura 8.	Rango de temperatura en las fases compostaje.	30
Figura 9.	Vista distribuciones de procesos de la planta de desechos sólidos .	42
Figura 10.	Area de pilas de compost, planta de desechos sólidos.	43
Figura 11.	Valor de pH de cada tratamiento.	57
Figura 12.	Valores de medias de la relación C:N por tratamientos.	58
Figura 13.	Entrega de compost a grupo de agricultores de caserío llano grande, San Pedro.	69
Figura 14.	Recolección de residuo orgánico.	72
Figura 15.	a) Camión separativo; b) Plástico de alta densidad a cielo abierto; c) Plástico de baja densidad en pacas; d) Compost maduro.	73
Figura 16.	Camión compactador inorgánico al momento de su descarga.	74
Figura 17.	Mini cargador compactando la cobertura aplicada al relleno.	75
Figura 18.	Relleno cubierto después de la descarga diaria de residuos sólidos.	75

## INDICE DE CUADROS

		Página
Cuadro 1.	Estimación de Producción diaria de desechos por ente generador, área urbana del Municipio de San Pedro Sacatepéquez	9
Cuadro 2.	Proyección de la producción y composición de los desechos sólidos generados por los habitantes del área urbana del municipio de San Pedro Sacatepéquez.	9
Cuadro 3.	Valores de costos de producción por mes realizados por la planta de desechos sólidos.	17
Cuadro 4.	Déficit de los ingresos y egresos de producción de la planta de desechos sólidos.	17
Cuadro 5.	Análisis FODA de la planta de desechos sólidos.	18
Cuadro 6.	Tipos de compost y sus características.	29
Cuadro 7.	Cuadro de valores nutricionales físico-químicos del compost.	32
Cuadro 8.	Contenido en metales pesados en las normas europeas.	33
Cuadro 9.	Impactos ambientales negativos por acumulación de desecho orgánico.	36
Cuadro 10.	Impactos ambientales positivos causados por la acumulación de desecho orgánico.	37
Cuadro 11.	Problemas y soluciones relacionados con la elaboración de compost.	39
Cuadro 12.	Tratamientos a evaluar para producción de compost	47
Cuadro 13.	Características de la coloración de sustratos.	50
Cuadro 14.	Propiedades Químicas a caracterizar del compost.	50
Cuadro 15.	Resultados de las densidades de cada tratamiento con respectiva repetición.	52
Cuadro 16.	Características de la coloración de compost por tratamientos.	53
Cuadro 17.	Resultados de la porosidad del compost por cada tratamiento.	54
Cuadro 18.	Rango de suelos con respecto al porcentaje de porosidad.	55
Cuadro 19.	Resultados de análisis químico de cada tratamiento de compost.	56
Cuadro 20.	Elementos menores presentes en los tratamientos de compost	61
Cuadro 21.	Valor de presupuesto asignado por residuo.	62
Cuadro 22.	Costo de operación por tratamiento.	62
Cuadro 23.	Comunidades beneficiadas con compost.	68
Cuadro 24.	Producción de compost por pila establecida para donación a productores agrícolas.	69

## Resumen

Dentro del margen del manejo integrado de residuos sólidos, existe una problemática todos creemos que es sencillo, cuando en realidad es un problema de grandes magnitudes, dentro de los municipios de la Mancomunidad de Municipios de la Cuenca del río Naranjo (MANCUERNA), esta problemática es real y requiere acciones inmediatas.

Al momento de desempeñar el trabajo que se desarrolla por medio de la MANCUERNA, en el municipio de San Pedro Sacatepéquez, San Marcos, se diagnosticó que este tema, envuelve temas **biofísicos**: la cual determinó las condiciones de la planta de tratamiento y cada uno de los procesos en el manejo integrado; **ambientales**: define las características forestales y ambientales existentes en el entorno; **socioeconómicos**: del impacto económico que representa el manejo de residuos en el municipio; **financieros**: evaluación de los costos del manejo integrado de residuos sólidos; presentando también fortalezas y debilidades en cada uno de estos aspectos.

El problema es, en el manejo de los residuos orgánicos, es que el proceso de elaboración de compost es muy lento, por lo que se integró una investigación para definir los tiempos de compostaje más acertados, entre ellos tratamientos de, 50, 100, 120, 150 días, con tres repeticiones cada uno, en los que definió el tratamiento que acelerara el proceso sin perder la calidad del compost, o en todo caso mejora.

Se determinó que el tratamiento con características aceptables es el de 50 días pues la calidad del compost se mantuvo y se efectuó en el menor tiempo. Así como también reduce los costos por el poco tiempo que se emplea para su producción.

Así mismo se desarrollaron dos servicios técnicos: manejo integrado de residuos sólidos, y producción de compost para grupos de agricultores, estos servicios como parte de la integración al equipo de trabajo, donde se inició desde la generación de los residuos hasta su disposición final, determinando que en el manejo integrado de residuos sólidos se debe a tres factores: Recolección, Tratamiento, y disposición final siendo esta última la más importante en todos los aspectos ya que si no existe un lugar adecuado para disponer los residuos, no se cerraría el ciclo del trabajo.

## **CAPÍTULO I**

DIAGNÓSTICO DE LA PLANTA DE TRATAMIENTO DE RESÍDUOS SÓLIDOS DEL  
MUNICIPIO DE SAN PEDRO SACATEPEQUEZ SAN MARCOS



## **1.1 Presentación**

El desarrollo de las comunidades es un actividad que día con día se está incrementando, y los municipios que se encuentran dentro de los límites de la cuenca del río el Naranjo, no son la excepción y se encuentran en el camino de mejorar e invertir en la regeneración los recursos vitales que son indispensables para vivir.

La Mancomunidad de Municipios de la Cuenca del Ríos Naranjo (MANCUERNA) desempeña un papel importante en el aporte técnico y económico en la regeneración de los recursos, tal es el caso del Municipio de San Pedro Sacatepéquez, San Marcos, el cual estableció desde hace ya un año (agosto de 2010) una planta de desechos sólidos, en donde la finalidad es dar un manejo integrado a los desechos, por medio de la clasificación, ya sea inorgánicos como orgánicos.

La clasificación se lleva a cabo desde la recolección hasta llegar a la planta, pasando por una disposición de material. Todo esto es posible, gracias que intervienen varios factores que van desde Biofísicos, ambientales, agronómicos, forestales, financieros como sociales, interactuando cada uno entre sí para hacer este proyecto eficiente y factible.

## **1.2 Marco referencial**

### **1.2.1 Ubicación y límites**

La planta de desechos de la municipalidad de San Pedro Sacatepéquez, S.M. se encuentra ubicada a 11 Km. De la cabecera municipal, con vías de comunicación asfaltada, esta planta cuenta con un área total de 7,527.88 m<sup>2</sup>, con una latitud de 15°0'42.89" Norte, longitud 90°47'39.06" respectivamente.

Limita al norte con astillero municipal del municipio de San Pedro Sacatepéquez, San Marcos, así mismo al este y al oeste, mientras que en el sur limita con una propiedad privada.

### **1.2.2 Clima**

La Planta de desechos, presenta un clima muy característico de la región, Según el INSIVUMEH el municipio de San Pedro Sacatepéquez, San Marcos, se encuentra clasificado dentro de la Meseta y Altiplano de Guatemala (Insivumeh, 2011), caracterizando por climas fríos, y utilizando el ordenamiento de Kopeen (Inzunza, 2005) donde se indica la caracterización de este clima en zonas altas, clima frío E (T) H.

### **1.2.3 Temperatura**

Las temperaturas registradas en el municipio principalmente en la Planta de desechos, oscila entre 14.4 °C promedio anual, (Insivumeh, 2011), con una mínima de 2-5 °C, y una máxima de 19.7 °C variando en la época del año registrando los meses de noviembre a marzo como los más fríos.

### **1.2.4 Humedad Relativa**

La humedad relativa registrada en la planta de desechos, del Municipio de San Pedro Sacatepéquez. S.M. oscila entre los 80% a 85%, característica de la meseta y altiplano de Guatemala, (Insivumeh, 2011).

### **1.2.5 Suelo**

En cuanto al suelo característico de la planta de desechos son suelos pobres en cuanto al laboreo, particularmente de áreas deforestadas únicamente para el uso de desechos, lo cual produce una degradación total, de acuerdo al trabajo efectuado, por el mantenimiento de la planta y de las cantidades de desechos que ingresan diariamente.

El orden del suelo que caracteriza la planta de desechos, tentativamente se puede decir que es de orden: SPODOSOL que son suelos forestales húmedos y frecuentemente bajo plantaciones de coníferas. Con un horizonte B enriquecido en hierro y/o en materia orgánica y comúnmente un horizonte A gris-ceniza, lixiviado.

### **1.2.6 Precipitación pluvial**

La precipitación anual registrada para el municipio oscila entre los 125 mm/anuales.

La mayor cantidad de agua pluvial que se reporta al año, comprende de los meses de julio a octubre, siendo el causante de la mayoría de lavados del suelo dentro de la planta, así como la proliferación de enfermedades respiratorias.

### **1.3 Objetivos**

#### **1.3.1 General**

- Identificar los componentes de las áreas de trabajo y los diferentes procesos que ejecuta la planta de desechos sólidos de la municipalidad de San Pedro Sac. S.M. Y la relación directa con la Mancomunidad de Municipios de la Cuenca del Rio Naranjo (MANCUERNA).

#### **1.3.2 Específicos**

- Observar los diferentes factores Biofísicos, forestales, socioeconómicos y financieros, que permiten la ejecución de labores.
- Identificar la relación de cada factor, a manera de determinar problemas o deficiencias en cada una de las áreas en que se desempeña la planta de tratamiento.
- Elaborar una propuesta de investigación y servicios directos a la planta de desechos de la municipalidad de San Pedro Sacatepéquez, S.M. tomando como referencia las deficiencias de una de las áreas ejecución.

## 1.4 Metodología

Al momento de realizar el diagnóstico, consideramos la observación de cada uno de los componentes y procesos de la separación de basura que la planta realiza todo esto a partir del convenio Mancomunidad de Municipios de la Cuenca del Rio Naranja (MANCUERNA) y la municipalidad de San Pedro Sacatepéquez, San Marcos, a fin de realizar un manejo integrado.

Para lograr este diagnóstico partimos a través de los siguientes puntos:

- Obtener la información necesaria en MANCUERNA a fin conocer el apoyo técnico generado por la institución.
- Entrevista de campo a trabajadores de la planta.
- Entrevista ha encargado de la planta de desechos sólidos.
- Actualización de datos por medio de Diagnósticos:
  - Biofísicos
  - Forestal
  - Agrícola
  - Socioeconómico
  - Financiero
- Revisión de documentos elaborados para los procesos de la planta a fin de encontrar problemas y debilidades.
- Elaboración de Diagnóstico de las actividades actuales de la planta de desechos de la municipalidad de San Pedro Sacatepéquez, S.M.
- Determinar un problema en específico a fin de desarrollar una investigación adecuada para posibles soluciones.

## 1.5 Resultados

### 1.5.1 Reseña histórica:

La Mancomunidad de Municipios de la cuenca del Río el Naranjo según (Aguirre) surgió en el año 2003, formado por ese entonces 8 municipios, 3 del departamento de Quetzaltenango: Palestina de los Altos, San Juan Ostuncalco y San Martín Sacatepéquez; así como 5 municipios del departamento de San Marcos siendo estos: San Pedro Sacatepéquez, San Marcos, San Antonio.

Cada uno de estos municipios presentaba problemáticas en común, principalmente el agua, el cual es el enfoque principal de la MANCUERNA, tomando en cuenta temas como saneamiento, medio ambiente, Desarrollo local y residuos sólidos. Por medio de esta mancuerna, se verían apoyados con el financiamiento en este caso de la cooperación española para crear proyectos de desarrollo que beneficiarían de alguna manera.

En el año 2007 el municipio de San Pedro, implementó el tren de aseo, a fin de prestar el servicio social de recolección de residuos sólidos, sin ningún tratamiento el cual tuvo consecuencias sociales muy graves ya que el botadero en ese momento se encontraba en el sector conocido como Hierba Buena de la zona 1 de ese municipio, lugar muy cercano al casco urbano,

No fue hasta el año de 2010 cuando se firma un convenio integral entre la MANCERNA y la municipalidad de San Pedro Sacatepéquez, en el manejo de residuos sólidos, los cuales se trabajarían en el lugar hoy conocido como planta de tratamiento de residuos sólidos ubicado a 11 km del casco urbano.

En este convenio se acordó trabajar los residuos sólidos por medios de la clasificación en casa de 5 residuos (ilustración 1): orgánico, plástico, vidrio, papel, inorgánico, en particular los cuales fueron caracterizados en el año 2008. Según (Teodolito S. A.) en el municipio de San Pedro Sacatepéquez, se caracteriza por ser un municipio de amplia generación de residuos.

Según (A., 2008), en el cuadros 1 y 2 siguientes se presenta el resultado las muestras de basura en viviendas, comercios y edificios de instituciones (oficinas), realizado en el mes

de noviembre de 2008; las proyecciones de cantidades y volúmenes estimados de desechos y residuos sólidos para veinte años.

Cuadro 1. Estimación de Producción diaria de desechos por ente generador, área urbana del Municipio de San Pedro Sacatepéquez

No.	Entes generadores	No. De Entes Generadores	ton/día	% de generación
1	Viviendas	7,131	14.86	82%
2	Edificios de instituciones	40	0.45	2%
3	Mercado	3	1.53	8%
4	Barrido de calles y parques	4.5 (kms) 1	0.65	4%
6	Comercios	340	0.66	4%
	Total		18.16	100%

Fuente: TEODOLITO S.A.; Noviembre 2008

Cuadro 2. Proyección de la producción y composición de los desechos sólidos generados por los habitantes del área urbana del municipio de San Pedro Sacatepéquez.

No.	año	población	Número de viviendas	PPC total Kg/hab/día	Domiciliar [ton/día]	Domiciliar [ton/año]	Edificios de instituciones [ton/año]	Comercios [ton/año]	Mercado [ton/año]	Barrido de calles + parques	Producción ton/día	Producción ton/mes	Producción [Ton/año]
1	2008	35,654	7,131	0.417	14.86	5,424.64	165.00	243.58	558.45	237.25	18.16	544.84	6,628.92
2	2009	36,517	7,303	0.421	15.37	5,611.47	166.65	246.02	564.03	239.62	18.71	561.19	6,827.80
3	2010	37,400	7,480	0.425	15.90	5,804.74	168.32	248.48	569.67	242.02	19.27	578.07	7,033.23
4	2011	38,305	7,661	0.429	16.45	6,004.67	170.00	250.96	575.37	244.44	19.85	595.52	7,245.44
5	2012	39,232	7,846	0.434	17.02	6,211.48	171.70	253.47	581.13	246.88	20.45	613.53	7,464.66
6	2013	40,182	8,036	0.438	17.60	6,425.42	173.42	256.01	586.94	249.35	21.07	632.15	7,691.13
7	2014	41,154	8,231	0.442	18.21	6,646.72	175.15	258.57	592.81	251.85	21.71	651.38	7,925.09
8	2015	42,150	8,430	0.447	18.84	6,875.65	176.90	261.15	598.73	254.36	22.37	671.24	8,166.80
9	2016	43,170	8,634	0.451	19.49	7,112.46	178.67	263.76	604.72	256.91	23.06	691.77	8,416.53
10	2017	44,215	8,843	0.456	20.16	7,357.43	180.46	266.40	610.77	259.48	23.77	712.98	8,674.53
11	2018	45,285	9,057	0.460	20.85	7,610.83	182.26	269.06	616.88	262.07	24.50	734.89	8,941.11
12	2019	46,381	9,276	0.465	21.57	7,872.97	184.09	271.75	623.04	264.69	25.25	757.52	9,216.54
13	2020	47,503	9,501	0.470	22.31	8,144.13	185.93	274.47	629.28	267.34	26.03	780.92	9,501.14
14	2021	48,653	9,731	0.474	23.08	8,424.63	187.79	277.22	635.57	270.01	26.84	805.09	9,795.21
15	2022	49,830	9,966	0.479	23.88	8,714.79	189.66	279.99	641.92	272.71	27.67	830.06	10,099.08
16	2023	51,036	10,207	0.484	24.70	9,014.94	191.56	282.79	648.34	275.44	28.53	855.87	10,413.08
17	2024	52,271	10,454	0.489	25.55	9,325.44	193.48	285.62	654.83	278.19	29.42	882.54	10,737.55
18	2025	53,536	10,707	0.494	26.43	9,646.62	195.41	288.47	661.37	280.98	30.34	910.10	11,072.86
19	2026	54,832	10,966	0.499	27.34	9,978.87	197.36	291.36	667.99	283.79	31.29	938.58	11,419.37
20	2027	56,159	11,232	0.504	28.28	10,322.56	199.34	294.27	674.67	286.62	32.27	968.01	11,777.47

Estimación realizada por Teodolito S.A, con base a Proyecciones de población INE 2008;

Tasa inter censal anual 2.42%; generación de desechos sólidos de noviembre 2008.

Crecimiento del PPC, considerado 1% anual<sup>1</sup>.

Fuente: Teodolito S. A.

<sup>1</sup> Índice de crecimiento de PPC aumenta 1% anual; véase, Residuos Sólidos Municipales, Guía para el diseño, construcción y operación de rellenos sanitarios manuales. Programa de Salud Ambiental, Serie técnica No. 28; OPS/OMS (Washington, 1991). Autor. Ing. Jorge Jaramillo

Luego de esta caracterización se inició el manejo integrado de los residuos sólidos, proceso que va desde la recolección de residuos previamente clasificados, tratamiento de recuperación en planta y disposición final el relleno a cielo abierto.



Figura 1. Recipientes para la clasificación de residuos sólidos en San Pedro Sacatepéquez, San Marcos

### 1.5.2 Diagnostico Biofísico

Este diagnóstico permite observar las condiciones actuales de la Planta de desechos y caracterizar los factores ya sea climático y edáfico, que contribuyen a la ejecución de las labores, figura 2 diagrama del proceso de recolección de desechos, esta planta tiene un año de funcionamiento, en donde intervino MANCUERNA, para apoyar técnicamente en este proceso implementando un manual de procesos (Orozco, 2011).



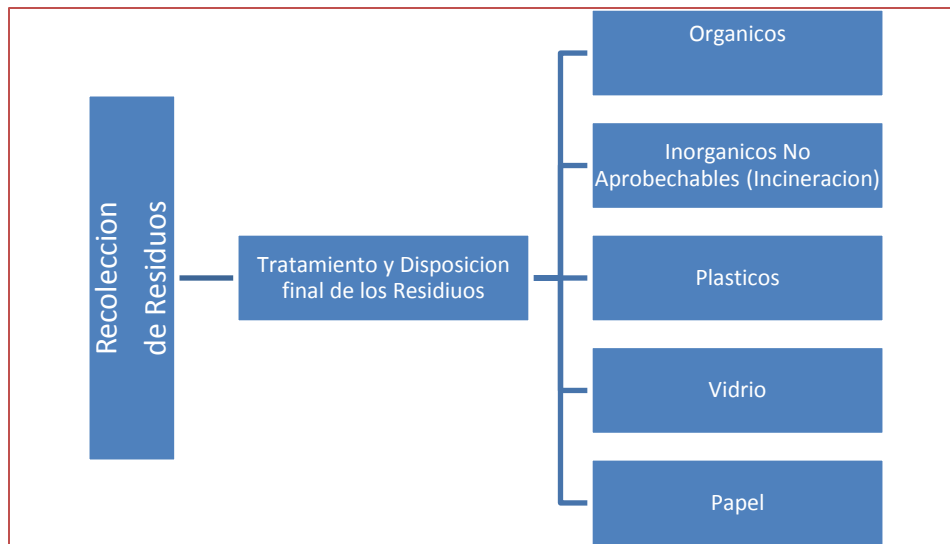


Figura 2. Diagrama de recolección de desechos que actualmente se desarrolla dentro de la planta de desechos sólidos.

La planta de desechos sólidos de la municipalidad de San Pedro Sacatepequez, S.M. se encuentra dentro de la jurisdicción de la cuenca del río el naranjo por lo que es tomado en cuenta para su estudio por la Mancomunidad de Municipios de la cuenca del Río Naranjo (MANCUERNA)

### 1.5.3 Diagnóstico Forestal y Ambiental

#### 1.5.3.1 Forestal

Las principales referencias forestales que se encuentran dentro de la planta de desechos del municipio de San Pedro Sacatepéquez. S.M. son muy escasas pues solo existen dos especies forestales siendo ciprés (*Cupressus sempervirens*), y aliso (*Alnus glutinosa*) figura 2.



Figura 3. Especies forestales presentes en la planta de tratamiento de residuos, cipres (*Cupressus sempervirens*), y aliso (*Alnus glutinosa*).

Estas especies son características de regiones frías y se adaptan muy bien a las bajas temperaturas, por lo que su clasificación oscila entre bosques de coníferas.

Existen un total de 153 árboles de los cuales 123 son cipreses y 30 alisos, los cipreses que se encuentran en el relleno controlado presentan quemaduras por emisión de gases metano.



Figura 4. Relleno Controlado establecido en la planta de desechos sólidos, y la liberación de lixiviados.

### **1.5.3.2 Ambiental**

Este distingue las condiciones que se presentan actualmente en la planta de desechos, donde la mayor parte de la contaminación ambiental la genera el relleno controlado figura 3, el cual cuenta con un área de 1,308.68 m<sup>2</sup>, así mismo área asignada para la incineración de desechos cuenta con un total de 394.56 m<sup>2</sup>, en esta se produce la liberación de gases, que principalmente son de compuestos derribados de carbono lo cual genera una acumulación de gases blancos figura 5.



Figura 5. Incineración de compuestos derivados de carbono, liberados al ambiente.

La acumulación de basura en la planta de desechos provoca, un efecto derivado de la descomposición de residuos de carácter orgánico, produciendo gas Metano (CH<sub>2</sub>), Óxido nitroso (N<sub>2</sub>O) producto de excesivo fertilizante presente en productos orgánicos, Dióxido de carbono (CO<sub>2</sub>) por la quema de productos derivados del petróleo.

El efecto de estos gases provoca un efecto invernadero el cual contribuye al cambio climático, así como el mal olor de la planta.

### **1.5.4 Diagnostico Agrícola**

En la caracterización agrícola de la planta de desechos no se establece la productividad agrícola, sin embargo se ha podido establecer una producción de abonos orgánicos

### **1.5.5 Producción de Abonos Orgánicos (compost).**

La producción de compost es una actividad que se realiza en menor escala, pues hasta la fecha no se registran datos precisos de los costos de producción.

El compostaje que en la planta produce no tiene contenido de nutrientes, por lo que no se sabe el valor nutritivo de este compostaje, así mismo se hace a una escala significativa de ingreso de residuo orgánico.

El compostaje tiene fases de producción que comienza desde la recolección de fracciones orgánicas húmedas, pasando por el tratamiento, luego el acumulado de aboneras. Actualmente este proceso está tardando alrededor de 5 meses, desde el acumulado de residuo orgánico figura 5, hasta obtener la compost.



Figura 6. Pila de desecho orgánico con 5 meses de compostaje, a la intemperie.

### 1.5.6 Diagnóstico Socioeconómico

En este aspecto la planta de desechos sólidos de la municipalidad de San Pedro Sacatepéquez, S. M. juntamente con MANCUERNA brindan un servicio social que integra varios factores, económico técnico, administrativo y social, como por ejemplo el de

emplear a 12 cabezas de familia, que trabajan como clasificadores de desechos dentro de la planta, así como un servicio a la sociedad en la recolección de la basura doméstica.

La planta de desechos mantiene una estructura social que se ajusta al trabajo que se desarrolla diariamente según la figura 7.

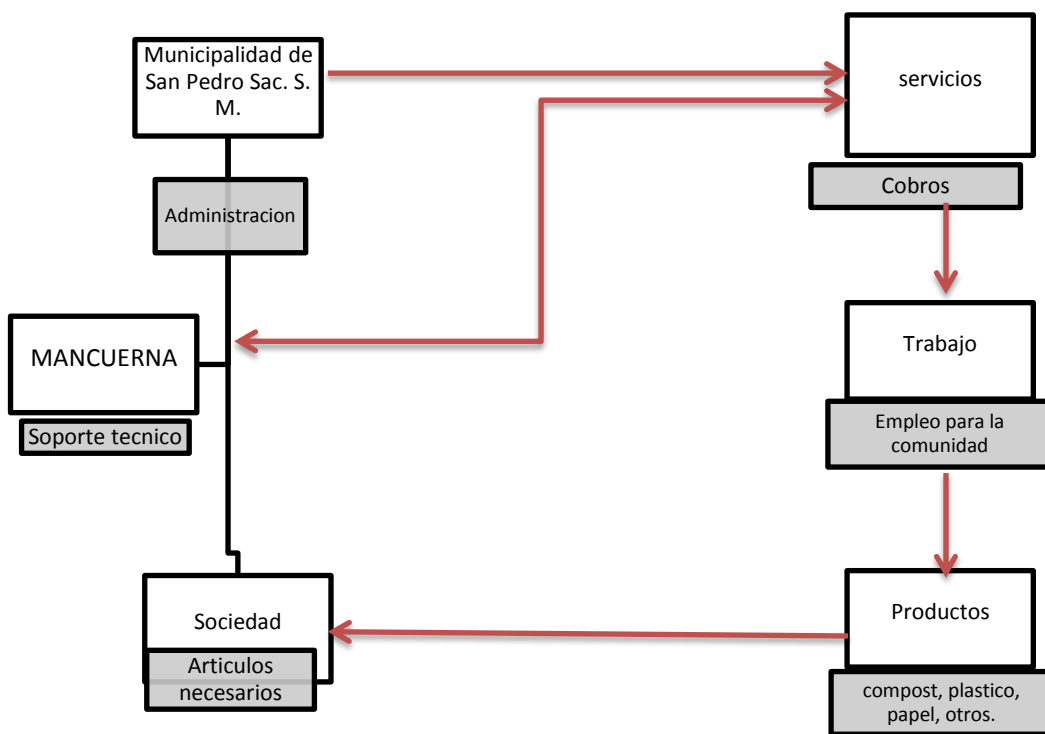


Figura 7. Ciclo de distribución social de la planta de desechos sólidos de San Pedro Sacatepéquez. S. M.

Para este diagrama se establece que existe un ciclo de producción por medio de los servicios, que presta la municipalidad por medio de la planta de desechos así como de MANCUERNA en los que se genera un servicio para producir un bien el cual es utilizado por la sociedad.

La planta de desechos sólidos contribuye con un servicio dentro de la sociedad en las que se observan ventajas y desventajas:

- Ventajas:
  - Uso eficiente de los recursos
  - Centralización de los desechos
  - Cobros económicos para recolección
  - Producción de abonos orgánicos como de material reciclable.
  
- Desventajas:
  - No existe un manual de operaciones
  - Acumulación de desecho, sin clasificar
  - Cobro no compensado con el trabajo que se realiza
  - Productos sin control de calidad.

En base a estas ventajas y desventajas se puede realizar un Diagnóstico de la relación que vinculan a la municipalidad de desechos sólidos con la MANCUERNA y su aporte a la sociedad del municipio de San Pedro Sacatepéquez, S. M.

### **1.5.7 Diagnóstico financiero**

Para el diagnóstico financiero se tomaron valores de costo de producción que actualmente se utilizan en la planta de desechos.

El financiamiento de la misma es cubierto por la Municipalidad de San Pedro y el aporte técnico y de infraestructura es brindado por la cooperación Española así como de MANCUERNA (Mancomunidad de Municipios de la Cuenca del Río Naranjo) por lo que solo puede hacer mención de costos de recolección así como de ingresos por venta de productos resultado de la clasificación de desechos.

Por otra parte las políticas de la Municipalidad de San Pedro no permiten que estos datos sean de vista pública, solo con la debida autorización, del alcalde Municipal.

Costos de producción por mes:

Cuadro 3. Valores de costos de producción por mes realizados por la planta de desechos sólidos.

<b>Actividad</b>	<b>Unidad de Medida</b>	<b>Cantidad</b>	<b>Precio por unidad (Q)</b>	<b>Precio total (Q)</b>
<b>Recolección</b>	casa	4,318	5.6	24180.8
<b>combustible</b>	Galón	200	32	6400
<b>personal</b>	Jornaleros	28	1,569.99	43959.72
<b>Transporte</b>	Camión	3	1,000	3000
<b>Compost</b>	Costal	10	20	200
<b>Plástico</b>	Quintal	20	70	1400
<b>Papel</b>	Quintal	20	70	1400

Fuente: Registros de la Municipalidad De San Pedro Sac. S. M.

Balance de ingresos y egresos:

Cuadro 4. Déficit de los ingresos y egresos de producción de la planta de desechos sólidos.

<b>Actividades</b>	<b>Ingresos (Q)</b>	<b>Egresos (Q)</b>
<b>Recolección</b>	24180.8	
<b>Compost</b>	200	
<b>Plástico</b>	1400	
<b>Papel</b>	1400	
<b>Combustible</b>		6400
<b>Personal</b>		43959.72
<b>Trasporte</b>		3000
<b>Total</b>	27180.8	53359.72
<b>Déficit (Q)</b>		<b>-26178.92</b>

Fuente: Registros de la Municipalidad De San Pedro Sac. S. M.

### 1.5.8 Análisis FODA

Este análisis nos permite contribuir con algunas características que presenta la planta de desechos sólidos del Municipio de San Pedro Sacatepéquez, San Marcos. De este análisis se detalla en los aspectos más importantes cuadro 5.

Cuadro 5. Análisis FODA de la planta de desechos sólidos.

<b>Fortalezas</b>	<b>Oportunidades</b>	<b>Debilidades</b>	<b>Amenazas</b>
<ul style="list-style-type: none"> <li>• Es un proyecto que resulta factible a largo plazo.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Es un generador de oportunidades de desarrollo social.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Existe falta de planificación.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Descontrol de labores varias.</li> </ul>
<ul style="list-style-type: none"> <li>• El desecho que ingresa, cumple con las condiciones de clasificación.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Centralización de desechos según su clasificación de descomposición.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Existe una contaminación del desecho ya clasificado.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Perdidas por no clasificar el desecho.</li> </ul>
<ul style="list-style-type: none"> <li>• El área es apropiada para, el manejo de desechos sólidos.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Mejor acondicionamiento de los desechos, en áreas específicas de la planta.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Descontrol en las entradas de los desechos a la planta.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Destrucción de áreas protegidas</li> </ul>
<ul style="list-style-type: none"> <li>• Personal con experiencia en la selección de los desechos.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Aprovechamiento de experiencia laboral para eficiencia del trabajo.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• No existe personal definido para un desecho en específico</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Muy poco personal.</li> </ul>
<ul style="list-style-type: none"> <li>• Obtención de material reciclable.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Comercialización de material reciclable, plástico, papel, etc.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Perdida de material reciclable por contaminación de los desechos.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Perdidas por falta de registros, de producción de reciclables.</li> </ul>
<ul style="list-style-type: none"> <li>• Producción de compost</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Producción de fertilizante (compost) de buena calidad.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• No se tiene un registro de calidad de nutrientes del compost.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Producción de compost de baja calidad nutritiva.</li> </ul>



## 1.6 Conclusiones

- La planta de desechos constituye en varios factores los cuales influyen en la ejecución de las labores, como por ejemplo se encuentra ubicada dentro de áreas protegidas, presenta condiciones biofísicas adaptables, y en cuanto a lo financiero es sostenible por un presupuesto municipal.
- Presenta varios problemas de manejo, control, como de registro de datos, los cuales son incididos de formas indirecta por las condiciones donde se encuentra la planta.
- Existe una propuesta de investigación la cual es la medición de la descomposición y calidad de compost que se produce, evaluando 4 formas de descomposición, esto medido por la función de rendimiento relativo en un cultivo.

## 1.7 Bibliografía

1. Aguirre, D. 2012. Manejo integrado de residuos sólidos (en línea). San Marcos, Guatemala, Mancomunidad de Municipios de la Cuenca del rio El Naranjo, MANCUERNA. Consultado 5 feb 2012. Disponible en <http://mancuerna.org/>
2. Aguirre, D. s.f. MANCUERNA (en línea). Guatemala, MANCUERNA. Consultado 4 feb 2012. Disponible en <http://mancuerna.org/>
3. INSIVUMEH (Instituto Nacional de Sismología, Vulcanología, Meteorología e Hidrología, GT). 2011. Metereologia estación San Marcos (en línea). Guatemala. Consultado 12 ago 2011. Disponible en <http://www.insivumeh.gob.gt/meteorologia/zonas%20climaticas.htm>
4. Inzunza, JC. 2005. Clasificacion de los climas de Koppen. Ciencia Ahora 3:388-400.
5. Orozco, J. 2011. Manual de procesos planta de tratamiento de residuos solidos San Pedro: manual de procesos. San Marcos, Guatemala. Informe EPS. San Marcos, Guatemala, USAC, Facultad de Ingenieria USAC. v. 1, 42 p.
6. Teodolito, GT. 2008. Estudios integral de desechos solidos en los municipios de San Marcos y San Pedro. San Marcos, Guatemala. 235 p.

## **2 CAPÍTULO II**

**CARACTERIZACIÓN DEL ABONO DE RESIDUOS ORGÁNICOS SÓLIDOS SOMETIDOS A TRES TIEMPOS DE COMPOSTAJE, DE LA PLANTA DE TRATAMIENTO MUNICIPAL, SAN PEDRO SACATEPÉQUEZ, SAN MARCOS, GUATEMALA, C. A.**

## 2.1 Introducción

La planta de desechos sólidos de San Pedro Sacatepéquez, San Marcos, se encarga del procedimiento de los desechos sólidos, recolectados por el servicio de tren de aseo municipal, durante el proceso se concientiza a la población sobre la importancia de la clasificación de los desechos, papel, plástico, vidrio y orgánicos; cada uno de estos desechos sufre un proceso de reciclaje con excepción del orgánico, este se utiliza para la producción de compost de forma empírica.

Socialmente, la planta de desechos sólidos cumple un papel importante al momento de elaborar compost, ya que implementa la contratación de mano de obra para el respectivo manejo de los desechos orgánicos; así mismo da un servicio de recolección de los desechos.

La elaboración de compost utilizando desechos orgánicos, es un tema muy importante debido a la aplicabilidad como fertilizante, presentando un alto contenido de nutrientes que son elementales para cualquier cultivo agrícola. Con la elaboración de fertilizante orgánico, se contempla la integración de varios factores que intervienen en el proceso de producción.

Ambientalmente, la producción de compost reduce el impacto de la liberación de gases, producto de la descomposición de los desechos orgánicos.

El trabajo que se realiza con respecto a la elaboración de compost, es de forma sencilla y práctica utilizando los desechos orgánicos que llegan a la planta, haciendo de este un proceso rentable si se cumplen con las condiciones de productividad aceptadas y que representen el menor costo, ya que las cantidades de desecho sólido orgánico que ingresan a la planta son aceptables.

El objetivo de la investigación es determinar el tiempo de compostaje para obtener un compost con características físicas, químicas y biológicas aceptables, para su uso como abono agrícola, utilizando los desechos sólidos orgánicos, de la planta de tratamiento municipal, San Pedro Sacatepéquez, San Marcos. La evaluación y caracterización se inició en el mes de agosto de 2011, y finalizó en el mes de abril del año 2012.

## **2.2 Planteamiento del problema**

El proceso de descomposición de la materia orgánica, en la Planta de desechos Sólidos de la Municipalidad de San Pedro Sacatepéquez, se realiza de forma lenta sin el control de los factores que intervienen en la producción de compost para determinan así la calidad física y química del abono orgánico producido.

Actualmente se produce compost en un tiempo de 5 meses después de haber iniciado el proceso, siendo este un problema por acumulación del desecho orgánico y sin conocer el tiempo de compostaje exacto en el cual los elementos nutritivos estén presentes, disponibles y aprovechables para cualquier forma de cultivo.

Actualmente el compost no cuenta con registro nutricional que describa el contenido de los elementos nutricionales, que son importantes en el desarrollo de una planta, y al no contar con este registro limita comercializarlo y sea una alternativa en el mercado para la nutrición de cultivos.

### **2.3 Justificación**

Esta investigación se basó en el ordenamiento del proceso de producción de compost, al implementar un método efectivo para el compostaje, medido en tiempo para acelerar la obtención de abono orgánico, integrando los factores tecnológicos, sociales, económicos y ambientales..

La producción de compost es una vía importante para la utilización de los desechos orgánicos que a diario se reciclan en la planta de desechos sólidos de la Municipalidad de San Pedro Sacatepéquez, ya que no se cuenta con los recursos necesarios para tecnificar el proceso de manera industrial.

Desde el punto de vista tecnológico es un proceso sencillo y práctico, en el que se utiliza todos los recursos disponibles de la planta de tratamiento de desechos sólidos, ayudando a la reducción del impacto que produce la acumulación de los desechos al ambiente, creando así un lugar de trabajo agradable y ordenado.

Socialmente contribuir con el manejo integrado de los residuos orgánicos involucrando mano de obra calificada ya que al reducir el tiempo de compostaje, el manejo de pilas será cada vez más exigente, teniendo como resultado un abono aceptable por el productor agrícola para su implementación en cultivos, cumpliendo como un servicio a la población

Por otro lado al producir compost en un menor tiempo este será económicamente rentable si es aceptado de buena manera en el mercado local, y el manejo ordenado y controlado permitirá hacer rentable el funcionamiento de la planta.

## **2.4 Marco Teórico**

### **2.4.1 Materia orgánica**

Según (Silva, 1995) la materia orgánica contribuye al crecimiento de las plantas a través de sus efectos sobre las propiedades físicas, químicas y biológicas del suelo. Este último tiene una función Nutricional en la que sirve como una fuente de Nitrógeno (N), Fosforo (P) y Azufre (S) para el crecimiento de las plantas, una Biológica en la que afecta profundamente la actividad de la micro flora y la micro fauna, y una función Física en lo que promueve una buena estructura, con lo cual mejora las labores de labranza, aireación y la retención de humedad.

El humus también juega un rol indirecto en el suelo a través de sus efectos sobre la absorción de micro nutrientes por las plantas y la performance de los herbicidas y otros productos químicos de uso agrícola.

Las propiedades químicas del humus del suelo y efectos asociados sobre el suelo y tienen la importancia de cada factor dado variando de un suelo a otro y dependerá sobre todo de las condiciones ambientales como clima y la historia de cultivos anteriores.

### **2.4.2 Compost**

Desde los inicios de la civilización occidental (Roma y Grecia) los granjeros amontonaban estiércol para utilizarlo como fertilizante. Esta práctica continuó en la Edad Media y en el Renacimiento. En el nuevo mundo elaboraban composta para darle nutrientes a sus cultivos. Este proceso permaneció inalterado hasta 1920 cuando el científico británico Alberth Howard, quien residió en la India, desarrolló el método de capas o estratos de material, convirtiéndose en el estándar para elaborar composta (Asociados, 2,008).

La composta es un producto con valor potencial como acondicionador del terreno, obtenido de la biodegradación controlada de desechos orgánicos.

La palabra composta según (Asociados, 2,008) viene del latín *componere*, que significa “juntar”. Una composta es la aglomeración de restos de materia orgánica (vegetal o animal) que se descomponen de manera controlada por la actividad de los

microorganismos (hongos y bacterias). Luego intervienen organismos como hormigas, lombrices, cucarachas, moscas, caracoles, grillos y otros.

Éstos convierten los residuos orgánicos en un material de color marrón oscuro, con olor similar al de la tierra. El material resultante puede ser reutilizado como acondicionador de suelo.

### **2.4.3 Compostaje de desechos sólidos**

Según (Residuos, 2007) Las materias que son de naturaleza orgánica, tales como el material vegetal, trozos de alimentos, y productos de papel, pueden ser reciclados mediante el compostaje. Mediante procesos biológicos de digestión se descomponen en materia orgánica. Este material orgánico resultante es reciclado posteriormente como mantillo o compost y destinado para la agricultura o la jardinería. Además, los residuos gaseosos obtenidos del proceso (como el metano) pueden ser capturados y utilizados para la generación de electricidad.

Existe una gran variedad de compostaje y de métodos de digestión, así como diversas tecnologías a escala industrial. Los métodos de descomposición biológica se dividen en dos tipos: aeróbico y anaeróbico. Aunque una mezcla entre los dos métodos también existe.

### **2.4.4 Calidad del compost**

Según (Soliva & Marga, 2004) el concepto de calidad es difícil de definir ya que ha de tener en cuenta múltiples aspectos y, además, puede ser siempre muy subjetivo.

Siempre debería considerarse la calidad del compost a partir de aquellas características que resulten de aplicar un tratamiento respetuoso con el medio ambiente, acorde con una gestión racional de los residuos y que tenga como objetivo fabricar un producto destinado para su uso en el suelo o como sustrato.

Dentro de los niveles de calidad deben o pueden establecerse distintas exigencias según el mercado al que vaya destinado; pero siempre habrá unos mínimos a cumplir para cualquier aplicación. Es necesario definir una calidad general del compost (de acuerdo con los usuarios potenciales) y además establecer unos parámetros diferenciados para usos



diversos, sin querer significar esta afirmación que los máximos permitidos de contaminantes se puedan sobrepasar según el destino.

La calidad del compost viene determinada por la suma de las distintas propiedades y características. Los criterios relevantes en la evaluación de la calidad son: destino del producto, protección del entorno, requerimientos del mercado.

Los productores de compost encuentran ciertas normas innecesariamente restrictivas y los usuarios puede ser que innecesariamente permisivas; no siempre tienen que coincidir la exigencia de los usuarios del compost con las de la sociedad y del entorno.

Al plantear las características finales óptimas para un compost según (Ambiente, 1999) es difícil establecer niveles para el contenido en materia orgánica (MO) y nutrientes, ya que dependen mucho de los materiales tratados, En la mayoría de normativas o legislaciones, frecuentemente, sólo se fijan los contenidos en metales pesados, siendo poco exigentes en los parámetros más agronómicos. La calidad del compost viene determinada por la suma de las distintas propiedades y características. En cualquier caso debe hablarse de:

- Calidad física: granulometría, capacidad de retención de agua, humedad, presencia de partículas extrañas, olor.
- Calidad química, en la que aparecen tres vertientes: contenido y estabilidad de la materia orgánica, contenido y velocidad de mineralización de los nutrientes vegetales que contenga y presencia de contaminantes inorgánicos u orgánicos.
- Calidad biológica: presencia de semillas de malas hierbas y patógenos primarios y secundarios.

## **2.4.5 Tipos de compostaje**

### **2.4.5.1 *En montón o pila***

Según (Roben, 2002) el compostaje en pilas es el sistema más antiguo y más sencillo, La operación de este sistema es muy fácil. Tiene la ventaja de que permite ir controlando todas las fases, con lo cual podremos obtener un compost con las características más acordes al uso que pretendamos darle. En cultivos biodinámicos, permite conseguir una

estimulación energética que mejora el resultado final, gracias a la inoculación en el montón, de preparados hechos a bases de plantas medicinales (Ecosalvia, 2006).

#### **2.4.5.2 En superficie**

La materia orgánica se esparce directamente en el mismo lugar donde crecen las plantas, con la ventaja de que supone mucho menos trabajo y además, al cubrir el suelo, lo protegemos de la radiación solar. Debido a la lenta y progresiva descomposición en este método, resulta muy apropiado para plantaciones de árboles frutales y cultivos plurianuales. También resulta apropiado para el cultivo de cereales y en los bancales de hortalizas, en los cuales se puede realizar una cobertura permanente con paja, restos orgánicos, hojas, estiércol y cualquier otra materia orgánica (Ecosalvia, 2006).

#### **2.4.6 Tipos de compost**

Según (InfoAgro, 1998) el compost se clasifica atendiendo al origen de sus materias primas, (cuadro 1) así se distinguen los siguientes tipos:

#### **2.4.7 Fases del compostaje**

##### **2.4.7.1 Fase de latencia y crecimiento**

Según (Cabezas Martin, 2008) Es el período de aclimatación de los microorganismos a su nuevo medio y el inicio de la multiplicación y colonización de residuos. Esta fase viene durando de dos a cuatro días y, se inicia con la degradación por parte de las bacterias de los elementos más biodegradables. Como consecuencia de la acción de estas primeras bacterias mesófilas (Actúan a baja temperatura aproximadamente 50° C) se comienza a calentar la pila de residuo y se observa la emanación de vapor de agua en la parte superior de la materia vegetal.

**Cuadro 6: Tipos de compost y sus características.**

Tipo de compost	Características
<b>Maleza</b>	El material empleado es vegetación de sotobosque, arbustos, etc., excepto coníferas, zarzas, cardos y ortigas. El material obtenido se utiliza generalmente como cobertura sobre la superficie del suelo (acolchado o "mulching")
<b>Maleza y broza</b>	Similar al anterior, pero al que se le añade broza (restos de vegetación muertos, evitando restos de especies resinosas). Es un compost de cobertura.
<b>Material vegetal y estiércol</b>	Procede de restos de vegetales, malezas, plantas aromáticas y estiércol de équidos o de pequeños rumiantes. Este tipo de compost se incorpora al suelo en barbecho, dejándolo madurar sobre el suelo durante varios días antes de incorporarlo mediante una labor.
<b>Rápida recuperación</b>	Está compuesto por restos vegetales, a los que se les ha añadido rocas en polvo, cuernos en polvo, algas calcáreas, activador de recuperación rápida*, paja y tierra.
<b>Activado con levadura de cerveza</b>	Es una mezcla de restos vegetales, levadura fresca de cerveza, tierra, agua tibia y azúcar.

\*El activador de recuperación rápida es

#### **2.4.7.2 Fase termófila**

Dependiendo del material de partida y de las condiciones ambientales, el proceso puede durar entre una semana, en sistemas acelerados, y uno o dos meses en sistemas de fermentación lenta (Cabezas Martin, 2008).

Como consecuencia de la intensa actividad de las bacterias y el aumento de la temperatura alcanzado en la pila de residuos, provoca la aparición de organismos termófilos (bacterias y hongos). Estos organismos actúan a temperaturas mayores (entre 60 y 70° C) figura 1, produciendo una rápida degradación de la materia. La temperatura alcanzada durante esta fase del proceso garantiza la higienización y eliminación de gérmenes patógenos, larvas y semillas. Pasado este tiempo disminuye la actividad biológica y se estabiliza el medio.

### 2.4.7.3 Fase de maduración

Según (Cabezas Martin, 2008) es un período de fermentación lenta (puede llegar a durar 3 meses), en el que la parte menos biodegradable (la más resistente) de la materia orgánica se va degradando. La temperatura de la pila va disminuyendo lentamente al igual que la actividad de las bacterias (fig. 1), produciéndose la colonización de la pila por todo un mundo de organismos y microorganismos que ayudan a la degradación de esas partes menos biodegradables del residuo.

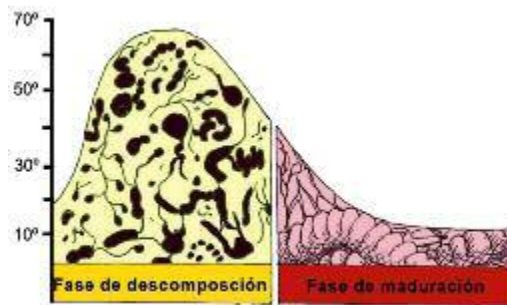


Figura 8. Rango de temperatura en las fases compostaje.

### 2.4.8 Factores que intervienen en el proceso de compostaje

Considerando que en el proceso de compostaje, los responsables o agentes de la transformación son seres vivos, todos aquellos factores que puedan limitar su vida y desarrollo, limitarán también al propio proceso.

Los factores que intervienen son complejos, pero se pueden señalar como importantes la temperatura, la humedad y la aireación.

#### 2.4.8.1 Temperatura

Como se comentó anteriormente, en cada fase del proceso intervienen una serie de microorganismos, cada uno de ellos con un rango de temperatura diferente.

- Fase de latencia y crecimiento: 15 – 45° C
- Fase termófila: 45 – 70° C
- Fase de maduración: inferior a los 40° C

#### **2.4.8.2 Humedad**

Este factor es indispensable para los microorganismos, ya que el agua es el medio en el que viven, se desplazan y se alimentan. En la práctica del compostaje, siempre se ha de evitar una humedad elevada porque desplazaría al oxígeno y, en consecuencia, el proceso pasaría a ser anaeróbico (ausencia de aire) o, lo que es lo mismo, una putrefacción.

Por otra parte si la cantidad de humedad de la pila de residuo es baja, se produce la disminución de la actividad de los microorganismos y en consecuencia el proceso se retrasa. Hemos de tener en cuenta, que el propio calor generado en el proceso provoca la disminución de la humedad (Cabezas Martin, 2008).

Consideramos como niveles óptimos, humedades del 40 al 60%, dependiendo de la mezcla de materiales más o menos fibrosos del contenido de la pila.

#### **2.4.8.3 Aireación**

El oxígeno es fundamental para que los microorganismos puedan descomponer eficazmente la materia orgánica. Por ello, el aporte de aire en todo momento debe ser idóneo para mantener la actividad microbiana, sin que aparezcan condiciones anaerobias, que, además de entorpecer el proceso, dan lugar a la aparición de olores y a un producto de inferior calidad (Cabezas Martin, 2008).

Para que no se inicie el proceso anaeróbico, debe superarse un mínimo del 10% de aireación. Por ello es importante controlar los materiales introducidos en la pila, ya que, muchos de los restos vegetales, en especial el césped, tienden a apelmazarse y provocar putrefacciones.

#### **2.4.9 Valor nutricional del compost**

Según (Bioagro, 2010), revela un cuadro nutricional de la composición físico-química del compost, producido bajo condiciones controladas. (Cuadro 2) disponibilidad de nutrientes en el compost.

**Cuadro 7: Cuadro de valores nutricionales físico-químicos del compost.**

<b>Factor nutritivo</b>	<b>Rangos</b>
PH H <sub>2</sub> O	7,8-8
M.O. (Materia Orgánica)	35-40%
C/N	16-20
Humedad	40-45%
Nitrógeno Total	1,5-1,8%
Fósforo total	0,8-1%
Potasio (K)	1%
Calcio (Ca)	1%
Magnesio (Mg)	0,9-1%
Cobre (Cu)	4%
Zinc (Zn)	3-4%
Manganeso (Mn)	0,5%
Germinación	Inferior al 8%
Presentación	Granos inferiores a 10 mm
Densidad	0,48-0,5 ton./m <sup>3</sup>
Nematodos	Ausentes

Fuente: Bioagro, biofertilizantes 100% orgánicos,

[http://www.bioagro.com.uy/composicion\\_quimica.htm](http://www.bioagro.com.uy/composicion_quimica.htm)

#### **2.4.10 Valor nutricional químico.**

Según (Ochoa Soto) plantea características químicas así como un cuadro ilustrativo de características químicas de los metales pesados. Así como las normas de contenido de metales según normas europeas (Cuadro 3).

- pH: Este parámetro ha sido considerado como indicador de la evolución. De forma general el pH desciende inicialmente por la formación de ácidos orgánicos y a medida que avanza sube para estabilizarse en valores de 6.5 a 8.5

- CE: Determina la cantidad de sales presentes en el compost. Depende del cultivo pero lo apropiado es que no suba de 1.5 dSm-1
- Relación C/N: Depende de la naturaleza del material. Aunque muchos autores la estiman entorno a los 20
- CIC: Las cargas de la materia dependen del pH, de forma general tenemos que la CIC aumenta con el pH y el proceso de compostaje
- Nt: Está relacionado con los materiales iniciales, el proceso de compostaje y las condiciones de maduración y almacenaje. La cantidad máxima recomendada no debe superar los 170 kg/ha
- Elementos potencialmente tóxicos: Metales pesados

**Cuadro 8: Contenido en metales pesados en las normas europeas.**

Metales pesados	Valores de las normas (*)	Compost MSW (†)	Compost MSW sin materia prima (‡)	Compost de residuos biológicos (‡)
Cd	1,2-4,0	4,4	1,22	0,84
Cr	50-750	90,8	34,9	35,8
Cu	60-1200	298,1	72,4	46,8
Pb	120-1200	455,0	147,4	83,1
Hg	0,3-25	—	—	0,38
Ni	20-400	76,3	17,5	20,5
Zn	200-4000	919,8	326,6	249,6

\* Según Gies, 1997.

† Según Genevini *et al.*, 1997

‡ Según Vogtmann *et al.*, 1993.

Fuente:

[http://www.uam.es/personal\\_pdi/ciencias/eeymar/default\\_archivos/7.TIPOS%20DE%20COMPOST.pdf](http://www.uam.es/personal_pdi/ciencias/eeymar/default_archivos/7.TIPOS%20DE%20COMPOST.pdf)

#### 2.4.11 Relación Nitrógeno/Carbono (N/C)

Es necesario, para que ocurra un proceso adecuado de compostaje, un balance entre materiales con una concentración alta de Carbono (residuos de color marrón), empleados para generar energía, y materiales con una concentración alta de Nitrógeno (residuos color verde), que son necesarios para el crecimiento y la reproducción. Si hay poco Nitrógeno la descomposición se retarda y el exceso causa olores objetables. Parte del arte del compostaje consiste en balancear los verdes y los marrones. Se recomienda preparar mezclas con la misma cantidad de cada residuo.

#### 2.4.12 El pH en el compost.

El **pH** según (Valencia, 2013) es un valor que nos indica si un producto o material es ácido (pH inferior a 7), alcalino (pH superior a 7) o neutro (pH igual a 7). Conviene que el compost **sea lo más neutro posible** porque los microorganismos responsables de la descomposición de los restos orgánicos no toleran valores muy alejados del 7. Si esto se produjese, el proceso de compostaje se detendría o se ralentizaría notablemente.

En general, los restos de monda de los cítricos (naranjas, limones, mandarinas, etc.) y las hojas secas de los pinos, entre otros materiales, suelen aportar valores bajos de pH al ser ricos en ácidos orgánicos. En cambio, el césped, los restos verdes de cocina o de jardín y las cenizas de maderas o leñas naturales pueden incrementar el pH, puesto que liberan compuestos alcalinos.

Los restos vegetales frescos (los de cocina, del jardín o del huerto, el césped, etc.) son ricos en nitrógeno. Cuando se descomponen, este elemento puede escaparse del compost (y por tanto perderse) en forma de amoníaco ( $\text{NH}_3$ ), que es un gas de marcado carácter alcalino y cuyo olor característico le delata cuando se forma en las pilas.

La formación de amoníaco tiene un doble efecto: por un lado alcaliniza ligera y temporalmente el compost (incrementa un poco el pH) y por otro lado supone una pérdida de nitrógeno, el cual, como es sabido, es un gran fertilizante de los suelos. Por tanto, este segundo efecto es más grave que el primero al afectar a la calidad final del compost como abono para nuestras plantas.



En cambio, la alcalinización que supone la formación de  $\text{NH}_3$  es poco importante, porque es muy limitada en el tiempo y la subida de pH es escasamente significativa, con lo cual no afecta el producto final, el compost maduro.

Tanto la pérdida de nitrógeno como la ligera alcalinización pueden evitarse si los restos verdes se mezclan, en el momento de depositarlos en las pilas, con materiales secos (ricos en carbono), puesto que éstos son capaces de combinarse con las moléculas de los restos frescos, retener el nitrógeno que se libera y compensar la alcalinización que los materiales verdes puedan producir.

Si queremos compostar una gran cantidad de un determinado material de pH extremo o muy acusado, tanto si es ácido como alcalino, corremos el riesgo de alterar las condiciones óptimas de trabajo de las bacterias y hongos que descomponen los restos orgánicos y esto afectaría, por tanto, el proceso de compostaje.

#### **2.4.13 Impacto ambiental**

Según (Jaramillo Henao & Zapata Márquez, 2008) el manejo de los residuos orgánicos tiene un efecto directo con el ambiente, principalmente por la emisión de gases causados por la degradación del material, los impactos son medidos de acuerdo al problema que se identifica en el proceso de descomposición, ya sean negativos o positivos.

##### **2.4.13.1 Impactos negativos**

Existen varios factores negativos dentro de los cuales describimos (cuadro 4).

**Cuadro 9: Impactos ambientales negativos por acumulación de desecho orgánico.**

<b>Impacto</b>	<b>Descripción</b>
<b>Enfermedades sanitarias</b>	Están relacionadas en la forma directa con la ejecución inadecuada de alguna de las etapas del manejo de los residuos sólidos orgánicos, esto debido a la composición de los mismos y a la “facilidad” en la descomposición de los mismos.
<b>Contaminación de aguas</b>	La disposición no apropiada de residuos orgánicos puede provocar la contaminación de los cursos superficiales y subterráneos de agua, además de contaminar la población que habita en estos medios.
<b>Contaminación atmosférica</b>	El olor generado por la descomposición y la acción microbiana representa las principales causa de contaminación atmosférica.
<b>Contaminación de suelos</b>	Los suelos pueden ser alterados en su estructura debido a la acción de los líquidos percolados (lixiviados) dejándolos inutilizados por largo tiempo o disponiéndolos indebidamente sobre el recurso.
<b>Vectores</b>	La proliferación de vectores (moscas, roedores y demás insectos). Pueden ser evitados a través del volteo frecuente de pilas y la realización e implementación de un programa para el control de vectores y plagas. La utilización de trampas, control biológico, cintas con agar, son algunas de las opciones de manejo.
<b>Olores</b>	La producción de olores es proporcional a la presión de vapor y a la temperatura. Por lo tanto la única forma de evitar la producción de olores en el compostaje, es evitar que la temperatura subiera. Mientras, la mayoría de los problemas por olores se deben al proceso de descomposición.
<b>Ruido</b>	El uso de maquinaria para la trituración, el cernido, el transporte, la ventilación, ocasionará en muchos casos, ruidos molestos. Esto afecta especialmente al personal de la planta y a la población de las cercanías

#### **2.4.13.2 Impactos positivos**

Según (Jaramillo Henao & Zapata Márquez, 2008) Se cree que la acumulación de desechos tiene solo efectos negativos sobre el ambiente, pero eso no es cierto pues si los residuos se manejan de manera correcta también tiene efecto positivos (cuadro 5).

#### 2.4.14 Problemas relacionados con el compostaje

Los problemas que pueden presentarse durante el proceso de compostaje son mínimos y de fácil solución, entre los más significativos destacamos (cuadro 6) problemas y soluciones (Asociados, 2,008).

#### 2.4.15 Antecedentes

- **Compost De Residuos Sólidos Orgánicos Urbano**

Según (Soto Aburto, 2006) en el perfil elaborado a cerca del producción de compost utilizando los residuos sólidos urbanos, puede ser un proyecto rentable si se implementa. La importancia del reciclaje empieza a adquirir una mayor dimensión por el acelerado crecimiento urbanístico y la necesidad de reutilizar materias primas desechadas.

El aprovechamiento de los residuos urbanos tiene diferentes líneas, los residuos orgánicos constituyen cerca del 55% del volumen total de desechos y su reutilización puede darse en compostaje o en otras actividades.

**Cuadro 10: Impactos ambientales positivos causados por la acumulación de desecho orgánico.**

<b>Impacto</b>	<b>Descripción</b>
<b>Conservación de recursos</b>	El manejo apropiado de las materias primas, la minimización de residuos, las políticas de reciclaje y el manejo apropiado de residuos orgánicos traen como uno de sus beneficios principales la conservación y en algunos casos la recuperación de los recursos naturales a través del compostaje.
<b>Reciclaje</b>	Recuperación de los recursos a través de la producción de Abonos utilizados como fuente de nutrientes para plantas principalmente, en otros casos como biogás.
<b>Intercambio catiónico</b>	El compostaje contribuye a la capacidad de intercambio catiónico del suelo, y retención de los nutrientes, su función, una fuente importante de nitrógeno, fósforo y su rol en el mantenimiento de la agregación, estructura física y retención del agua en el suelo.
<b>Productividad</b>	El compostaje mejora la productividad y la sostenibilidad de los agro-ecosistemas
<b>Producción en viveros</b>	Producción de viveros y jardines en zonas urbanas o poblaciones en proceso de crecimiento que no cuenten con terrenos fértiles para ello.

<b>Aumento de oferta</b>	Se aumenta el nivel de la oferta de abonos orgánicos existentes para poblaciones rurales.
<b>Conciencia ambiental</b>	Se crea una conciencia ambiental en la población en cuanto a los hábitos de separación de desechos en origen y la utilización que estos pueden tener.
<b>Beneficio social</b>	Incluye a todos los sectores de un poblado, para que formen parte de reciclaje y producción de un bien que será útil para cada uno de los miembros de la población.
<b>Relleno sanitario</b>	Disminuye la cantidad de basura dispuesta en los rellenos sanitarios. Acción que prolonga el tiempo de vida útil del mismo, minimizando posibles impactos sociales a largo plazo

<b>Mejoramiento de suelos</b>	la utilización de compost, permite en el suelo aumentar la disponibilidad favorable de nitrógeno para las plantas (pues la materia tiene una mayor relación C/N), disminuir la rapidez del flujo suplementario de sustancias nutritivas del suelo y por lo tanto mejorar la capacidad de crecimiento de las especies vegetales
-------------------------------	--

**Cuadro 11: Problemas y soluciones relacionados con la elaboración de compost.**

Situación	Problema	Solución
La pila está mojada y huele a una mezcla de vinagre, mantequilla fermentada y huevos podridos.	<ul style="list-style-type: none"> <li>* No hay suficiente aire.</li> <li>* Demasiado nitrógeno</li> <li>* Muy mojada.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>* Voltear la pila.</li> <li>* Añadir heno, aserrín o viruta de madera.</li> <li>* Voltear la pila, añadir heno, aserrín o viruta; proveerle desagüe.</li> </ul>
La pila no se calienta.	<ul style="list-style-type: none"> <li>* La pila es muy pequeña.</li> <li>* La pila está muy seca.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>* Hacer una pila mas grande.</li> <li>* Añadir agua y voltear.</li> </ul>
La pila está húmeda, tiene olor dulce, pero no se calienta.	<ul style="list-style-type: none"> <li>* No hay suficiente nitrógeno.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>* Añadir cortes de grama y otras fuentes de nitrógeno.</li> </ul>
El centro está muy seco y contiene material duro.	<ul style="list-style-type: none"> <li>* No hay suficiente agua.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>* Añadir agua y voltearla.</li> </ul>
La pila está atrayendo animales grandes.	<ul style="list-style-type: none"> <li>* Las carnes y otros productos de animales están presentes en la pila.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>* Mantener la carne y otros productos de animales fuera de la pila, construir una barrera en la pila para evitar que los animales lleguen a ella.</li> </ul>

Fuente: (Asociados, 2,008)

El proyecto parece ser rentable, con la información recopilada hasta el momento de la elaboración de este perfil, por tanto es imprescindible realizar los estudios pertinentes (preparación y factibilidad).

Una planta de compostaje de pilas con volteo sería una buena alternativa de inversión para el municipio o para una empresa privada, pues le daría una solución técnica a la disposición de los residuos sólidos urbanos (RSU) con beneficios sociales, por la mano de obra generada, y económica, por la rentabilidad mostrada.

- **Experiencias de compostaje de lodos de digestión aeróbica y anaeróbica**

Según (Castillo & Maria, 2002) respecto a la operación de las pilas, la dificultad para obtener una temperatura de 55°C durante la etapa termofílica pudo deberse a diferentes factores. Entre éstos, se estima que la razón C/N de la mezcla, calculada en forma teórica, puede no representar en forma adecuada la bio-disponibilidad de estos elementos durante el proceso; diferencias en la transferencia de oxígeno y en las pérdidas de calor debido a las distintas características de las pilas; déficit de oxígeno por falta de homogeneidad en el volteo; exceso de humedad asociado a la operación y/o condiciones climáticas. Aun cuando no se verificaron los niveles de oxígeno en las pilas, se estima que la Pila 1 operó en condiciones aeróbicas, dado que no se registró condiciones de olores durante el volteo; en la Pila 2 en cambio, se produjeron olores especialmente durante la etapa de compostaje. Este efecto explicaría la mayor reducción de coliformes fecales observada en la Pila 1 durante el compostaje.

- **Compost de Mortalidad Porcina**

Según (Porcinocultores, 2007) El compost de mortalidad de porcinos es un compuesto rico en materia orgánica y en nutrientes; por lo tanto, su uso en la agricultura como enmienda o mejorador de suelos tiene un gran potencial.

Las caracterizaciones fisicoquímicas y microbiológicas realizadas en el compost de mortalidad de las granjas ubicadas en el Eje Cafetero muestran que con el proceso descrito en esta cartilla, se obtiene un compost maduro después de 90 días de poner la primera capa de mortalidad. Los ensayos también mostraron que estos compost no son Fito tóxicos, con ausencia total de levaduras, nematodos, protozoos y salmonella. Hay presencia muy baja de entero-bacterias y mohos y contenido alto de bacterias benéficas.

- **Producción de compost con cascara de arroz**

Según (Leconte M. C. - Mazzarino M. J. 2009) en Argentina se generan grandes cantidades de residuos ricos en C a partir de agroindustrias como aserraderos y molinos arroceros. Ambos residuos son difíciles de compostar por su alta relación C/N ( $> 100$ ), alto contenido en celulosa y lignina y muy bajo contenido en N y otros nutrientes. El estiércol de gallina tiene alto contenido de N, P y cationes, y baja relación C/N (5-9), por lo tanto, el compostaje de cascarilla de arroz y aserrín con estiércol de gallina constituye una alternativa viable desde el punto de vista económico y ambiental. Se realizó un estudio del efecto del tipo y proporción de material carbonado (aserrín y/o cascarilla de arroz) en la eficiencia del proceso de compostaje. Para ello se prepararon 5 pilas con dos proporciones en volumen, 1:1 y 2:1, de material carbonado a gallinaza. Se midieron diferentes indicadores de estabilidad del proceso de compostaje: respiración, carbono soluble en agua (CSA), CSA/N total, amonio, entre otros. La etapa termofílica fue más corta con cascarilla de arroz (60 días vs. 100 días con aserrín).

El tiempo requerido para la estabilidad fue similar para ambos materiales carbonados (alrededor de 180 días). Las pilas con aserrín perdieron más C orgánico que las pilas con cascarilla de arroz, pero todos los tratamientos mostraron alta conservación de N.

## 2.5 Marco Referencial

La Planta de Tratamiento de Desechos Sólidos (PTDS) se encuentra ubicada en la aldea San Andrés Chapil, del Municipio de San Pedro Sacatepéquez, San Marcos, dentro de la cuenca del río Naranjo.

### 2.5.1 Vías de Acceso y Área de Planta de Desechos Sólidos

La vía de acceso hacia donde se localiza la PDS según (S.A, 2009) es por carretera asfaltada tipo D; en el kilómetro 261.5 carretera al altiplano ruta nacional 12-N. Se puede ingresar por los municipios de San Marcos, San Pedro Sacatepéquez, Tejutla y San Lorenzo.

Según (S.A, 2009) el área total de la PDS es de 7,559.0638 m<sup>2</sup>, este terreno ya tienen ocupada parte de su área 393.2342 m<sup>2</sup>, por la planta de incineración, quedando un área para la acumulación de los desechos sólidos orgánicos (DSO) de 696.50 m<sup>2</sup>, con un perímetro de 125.91 m. (fig. 2), área total de la PDS.

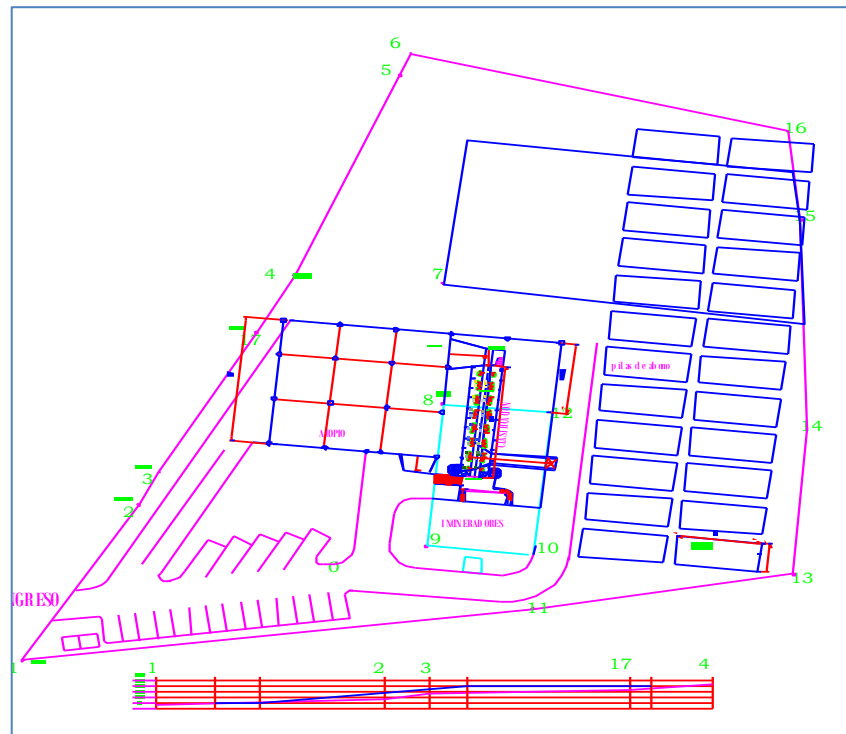


Figura 9. Vista distribuciones de procesos de la planta de desechos sólidos.



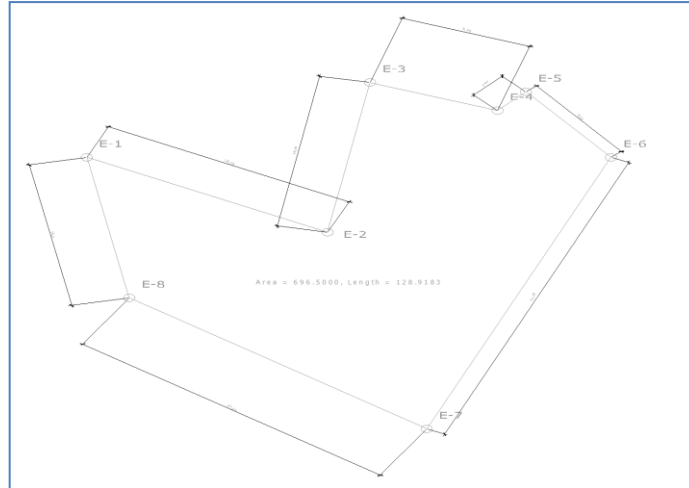


Figura 10. Area de pilas de compost, planta de desechos sólidos.

### 2.5.2 Situación del terreno con respecto a los centros poblados

La distancia de la PDS a la cabecera municipal de San Pedro Sacatepéquez. Es de 11 Km. Y a la población más cercana la aldea San Andrés Chapil es de 6 Km.; esta aldea cuenta con una población de 4,265 habitantes.

La vivienda más próxima a la planta se encuentra a una distancia de 300 m; y pertenece al caserío la Laguna, Aldea San Andrés Chapil, donde se localizan de 16 a 18 viviendas.

### 2.5.3 Propiedad del terreno

El terreno donde se encuentra la planta de tratamiento y donde se emplazaría el área de desechos sólidos orgánicos (DSO) es propiedad de la Municipalidad de San Pedro Sacatepéquez.

### 2.5.4 El manto freático

Se encuentra a una profundidad de 10.5 m, pero varía en el invierno donde puede subir.

### 2.5.5 Clima

La Planta de desechos, presenta un clima muy característico de la región, Según el INSIVUMEH el municipio de San Pedro Sacatepéquez. San Marcos, se encuentra clasificado dentro de la Meseta y Altiplano de Guatemala (Insivumeh, 2011), caracterizando por climas fríos, y utilizando el ordenamiento de Kopeen (Inzunza, 2005) donde se indica la caracterización de este clima en zonas altas, clima frío E (T) H.

### **2.5.6 Temperatura**

Las temperaturas registradas en el municipio principalmente en la Planta de desechos, oscila entre 14.4<sup>0</sup> C promedio anual, (INSIVUMEH, 2011), con una mínima de 2-5 °C, y una máxima de 19.7<sup>0</sup> C variando en la época del año registrando los meses de noviembre a marzo como los más fríos.

### **2.5.7 Humedad Relativa**

La humedad relativa registrada en la planta de desechos, del Municipio de San Pedro Sacatepéquez, S.M. oscila entre los 80% a 85%, característica de la meseta y altiplano de Guatemala, (Insivumeh, 2011).

### **2.5.8 Los vientos dominantes**

Predominan los vientos De norte a Sur, en época de Fin de año se incrementa hasta alcanzar velocidades a más de 25 Km/h.

### **2.5.9 Precipitación anual**

La precipitación oscila entre 1542 a 1592 mm. De lluvia por año, un promedio de 1567 mm, y 4.29 mm por día de evapotranspiración.

### **2.5.10 Localización Geográfica**

(Coordenadas Norte 15.0173 y N 15.9977, las coordenadas oeste W 091.8235 y W 091.7901) Coordenadas GTM X 360824.593 Y 1660406.705.

### **2.5.11 Tipo de suelo**

Los suelos pertenecen a la unidad fisiográfica: Tierras altas Volcánicas y el gran paisaje. Se identifican como montañas volcánicas altas de occidente.

De acuerdo a Simmons, Tarano y Pinto, los suelos del área pertenecen a las series: Ostuncalco, Quetzaltenango, Totonicapán y Camancha de las montañas volcánicas caracterizados por relieves fuertemente ondulados a escarpado con drenaje rápido y con una profundidad relativamente mínima (S.A, 2009).

Altura sobre nivel de mar es de 3,400 msnm; pertenecen a la serie Ostuncalco: pertenecen a un drenaje excesivo debido a la textura franco-arenosa o arenosa muy gruesa en

algunos casos, el color del horizonte superior es grisáceo. El pH de estos suelos es ligeramente ácido (5.7 aproximadamente) y su fertilidad suele ser algo escasa (S.A, 2009).

## **2.6 Objetivos**

### **2.6.1 General**

- Generar un abono orgánico con características físicas y químicas aceptables para uso agrícola, a partir de desechos sólidos orgánicos de la planta de tratamiento municipal, San Pedro Sacatepéquez.

### **2.6.2 Específicos**

- Caracterizar física y químicamente el abono producido en tres tiempos de compostaje.
- Estimar los costos de producción de cada uno de los tratamientos evaluados para producir abono orgánico a través de compostaje.

## **2.7 Hipótesis**

- Al menos uno de los tiempos de compostaje produce un abono con características físicas y químicas para uso agrícola.
- Al menos uno de los tiempos de compostaje produce un abono de bajo costo, comparado con los precios del mercado nacional.

## 2.8 Metodología

### 2.8.1 Localización de la investigación

- El material se origina de la separación y clasificación de residuos en cada uno de los hogares del municipio.
- La producción del compost se realizó en la planta de desechos sólidos de la Municipalidad de San Pedro Sacatepéquez, San Marcos.
- La diferenciación física del compost se realizó en las instalaciones de la planta de desechos sólidos de la Municipalidad de San Pedro Sacatepéquez, San Marcos.
- La diferenciación, química se realizó en el laboratorio de suelos de la Facultad de Agronomía (FAUSAC).

### 2.8.2 Material experimental

El material experimental con el cual se realizó la elaboración del compost, es el desecho sólido orgánico formado en pilas con capas de suelo y ceniza (Producto de la incineración del desecho inorgánico).

### 2.8.3 Tratamientos

Se emplearon tres tratamientos y un testigo (cuadro 7), midiendo el tiempo en días de compostaje.

Cuadro 12: Tratamientos a evaluar para producción de compost

Tratamientos	Tiempos (Días)	Criterio
T1	50	Pila con orgánico triturado mezclado con tierra-ceniza.
T2	100	Pila con desecho orgánico mezclado con tierra-ceniza.
T3	120	Pila con desecho orgánico mezclado con tierra-ceniza.
T4 Testigo	150	Pila con desecho orgánico, mezclado con tierra-ceniza.

### **2.8.3.1 Descripción de los tratamientos**

- T1: se dejó en proceso de compostaje de 50 días (1 3/4 meses)\*.
- T2: se dejó en proceso de compostaje de 100 días (3 ½ meses)\*.
- T3: se dejó en proceso de compostaje de 120 días (4 meses)\*.
- Testigo: se dejó en proceso 150 días (5 meses), que es el tiempo que se maneja dentro de la planta de desechos.

\*Nota: El método que se desarrolló para cada tratamiento es de pilas cubiertas con plástico de color negro u oscuro

### **2.8.4 Diseño experimental**

Los tratamientos se distribuyeron en un diseño completamente al azar, el cual se desarrolló de 4 tratamientos con 3 repeticiones.

### **2.8.5 Modelo estadístico**

El modelo estadístico que se utilizó corresponde a un diseño completamente al azar siendo este:

$$Y_{ij} = U + T_i + E_{ij}$$

Dónde:

- $Y_{ij}$  = Variable respuesta de la ij-ésima unidad experimental.
- $U$  = Media general.
- $T_i$  = Efecto del i-ésimo tratamiento (tiempo de compostaje).
- $E_{ij}$  = Error experimental asociado a la i-j-unidad experimental.

### **2.8.6 Unidad experimental**

Se utilizó pilas o aboneras de 9 metros cúbicos, 1.5m de ancho \* 1m de alto \* 6m de largo, con un total de 120 carretadas de desecho sólido orgánico, con un peso promedio de 29.54 Kg. Cada carretada.

## **2.8.7 Manejo experimental**

### **2.8.7.1 Medición de temperatura**

Se registraron las temperaturas 2 veces por semana, para tener un control de variación de temperatura en los niveles de compostaje.

### **2.8.7.2 Volteos**

Los volteos se realizaron cada 15 días, para ventilar y oxigenar el proceso evitando los malos olores del proceso anaeróbico del compostaje.

### **2.8.7.3 Medición de humedad**

Se determinó la humedad en el proceso por lo menos una vez por semana, por el método del puñado, o por el diferencia de peso.

## **2.8.8 Variables de respuesta.**

### **2.8.8.1 Variables Físicas.**

#### 2.8.8.1.1 Densidad.

Se consideró el método de la probeta en donde, se tomaron 30 gramos peso compost, por 50 ml de agua volumen este valor está en relaciona la porosidad, considerando que un compost poco poroso será más denso, y un compost muy poroso será menos denso.

#### 2.8.8.1.2 Color

La intensidad de color en un sustrato nos indicara la presencia de algunos elementos presentes en proceso de descomposición, según el cuadro 8, de comparación de coloración.

Cuadro 13: Características de la coloración de sustratos.

Coloración de los suelos	
Color	Característica
<b>Rojo</b>	Presencia de Hierro y manganeso
<b>Amarillo</b>	óxidos de hierro hidratado
<b>Blanco</b>	Presencia de cuarzo, yeso y caolín.
<b>Negro* y Marrón</b>	Alta presencia de Materia orgánica
<b>*cuanto más negro es un suelo más productivo será.</b>	

Fuente: [http://www.peruecologico.com.pe/lib\\_c18\\_t03.htm](http://www.peruecologico.com.pe/lib_c18_t03.htm).

#### 2.8.8.1.3 Porosidad

La porosidad del suelo deriva de la relación entre la densidad real y la densidad aparente, se expresa en % y se calcula:

$$EP = [100 (Dr - Da)]/Dr$$

#### 2.8.8.2 Propiedades químicas

Las variables consideradas en la evaluación de compost químicamente se describen en el cuadro 14, siendo estas las más importantes al momento de evaluar un abono orgánico.

Cuadro 14: Propiedades Químicas a caracterizar del compost.

Propiedades Químicas del Compost		
Propiedad	Método	Descripción
pH	Peachimetro	Medición de las reacciones Acidas y alcalinas del compost
Conductividad Eléctrica	Conductimetro, Por la formula $ST=0.64*CE$	Concentración de salinidad, $ST=$ sales totales, $Ce=$ conductividad



		eléctrica
Relación C/N	C%/N%	Carbono presente por nitrógeno disponible
Elementos mayores	Solución extractora Carolina del Norte	
elementos menores	Solución extractora Carolina del Norte	

## 2.8.9 Análisis de la información

### 2.8.9.1 Estadística

Se utilizó el análisis de varianza del diseño experimental de bloques al azar con tres repeticiones, para estudiar el efecto de los bloques y los tratamientos para la respuesta de las variables evaluadas. A demás se realizó una prueba de comparación de medias (Tukey), para establecer la diferencia entre los tratamientos.

### 2.8.9.2 Económica

Se realizó un análisis de costo de producción, y rentabilidad para determinar el tratamiento con propiedades tanto físicas y químicas que aporte el nivel adecuado de nutrientes en un cultivo para mejorar los gastos de producción de abono enfocado en el mercado local.

## 2.9 Resultados y discusión.

Se establecieron pruebas para la caracterización química y física del compost producido en la Planta de Tratamiento de Residuos Sólidos de la municipalidad de San Pedro, Sac. S. M. Esta se manejó por medio de tratamientos ya establecidos, como también sus respectivas repeticiones.

### 2.9.1 Propiedades físicas

#### 2.9.1.1 La densidad

La densidad de cada uno de los tratamientos se observa en el cuadro 10, en los cuales la densidad fue homogénea, generalmente un compost es muy denso cuando es poco poroso, y es menos denso cuando es muy poroso, esto por el tamaño de la partícula

obtenida al final del proceso de descomposición, y de acuerdo al tipo de material utilizado. Se define que el compost obtenido de los residuos sólidos orgánicos es altamente poroso (cuadro 15).

Cuadro 15: Resultados de las densidades de cada tratamiento con respectiva repetición.

Tratamiento	Peso (gr.)	Vol. (ml.)	Densidad gr/ml
T1R1	30	35	<b>0.86</b>
T1R2	30	34	<b>0.88</b>
T1R3	30	35	<b>0.86</b>
Promedio			<b>0.87</b>
T2R1	30	40	<b>0.75</b>
T2R2	30	45	<b>0.67</b>
T2R3	30	50	<b>0.60</b>
Promedio			<b>0.67</b>
T3R1	30	42	<b>0.71</b>
T3R2	30	48	<b>0.63</b>
T3R3	30	30	<b>1.00</b>
Promedio			<b>0.78</b>
T4R1	30	50	<b>0.60</b>
T4R2	30	30	<b>1.00</b>
T4R3	30	50	<b>0.60</b>
Promedio			<b>0.73</b>

### **2.9.1.2 Color**

El color de un compost determina la cantidad de elementos nutritivos esenciales, y se define por su intensidad, en esta evaluación el color de los diferentes tratamientos fue similar para cada uno, esta es característica es determinada por alto contenido de material orgánico, (cuadro 16).

Cuadro 16: Características de la coloración de compost por tratamientos.

<b>Color de compost</b>		
<b>Tratamiento</b>	<b>color</b>	<b>Descripción</b>
T1	Negro	Alto contenido de materia orgánica
T2	Negro	Alto contenido de materia orgánica
T3	Negro	Alto contenido de materia orgánica
T4	Negro	Alto contenido de materia orgánica

En este resultado interviene la calidad y tipo de material que se utilizó, como ya se sabe la materia prima fue residuos sólidos orgánicos.

### **2.9.1.3 Olor**

Los olores en el compostaje es un factor de la materia orgánica, y es proporcional a la presión de vapor y temperatura, actividades que hacen posible este proceso. Por lo tanto la única forma de evitar la producción de olores en el compostaje, es evitar que la temperatura suba del rango permitido ( $70^{\circ}\text{C}$ ). Mientras, la mayoría de los problemas por olores se deben al proceso de descomposición. Por lo que al final del proceso todos los tratamientos presentaron un olor agradable a tierra.

### **2.9.1.4 Porosidad**

La porosidad es la cantidad de espacios entre las partículas sólidas, espacios que en el compost tienden a proporcionar alta porosidad, esta característica física es muy importante al momento de elaborar abono orgánico tomando en cuenta que este compost contiene residuo orgánico, tierra y cenizas lo que incrementa este factor. En el cuadro 17 se representan los valores de porcentaje de porosidad de cada tratamiento obteniendo características físicas adecuadas para el compost.

Cuadro 17: Resultados de la porosidad del compost por cada tratamiento.

<b>Prueba</b>	<b>Densidad gr/ml</b>	<b>Densidad Aparente</b>	<b>% de Porosidad</b>
T1R1	<b>0.86</b>	<b>0.09</b>	<b>89.53</b>
T1R2	<b>0.88</b>	<b>0.08</b>	<b>90.91</b>
T1R3	<b>0.86</b>	<b>0.08</b>	<b>90.70</b>
Promedio	<b>0.87</b>	<b>0.08</b>	<b>90.38</b>
T2R1	<b>0.75</b>	<b>0.07</b>	<b>90.67</b>
T2R2	<b>0.67</b>	<b>0.07</b>	<b>89.55</b>
T2R3	<b>0.60</b>	<b>0.07</b>	<b>88.33</b>
Promedio	<b>0.67</b>	<b>0.07</b>	<b>89.52</b>
T3R1	<b>0.71</b>	<b>0.07</b>	<b>90.14</b>
T3R2	<b>0.63</b>	<b>0.07</b>	<b>88.89</b>
T3R3	<b>1.00</b>	<b>0.07</b>	<b>93.00</b>
Promedio	<b>0.78</b>	<b>0.07</b>	<b>90.68</b>
T4R1	<b>0.60</b>	<b>0.08</b>	<b>86.67</b>
T4R2	<b>1.00</b>	<b>0.07</b>	<b>93.00</b>
T4R3	<b>0.60</b>	<b>0.08</b>	<b>86.67</b>
Promedio	<b>0.73</b>	<b>0.08</b>	<b>88.78</b>

Se observó que los tratamientos se mantienen dentro del rango de porcentaje tabla 13, similar al de los suelos turbos que van de 75 a 90%, que son suelos constituidos en su mayoría por restos de materia orgánica o restos de materia en descomposición.

Cuadro 18: Rango de suelos con respecto al porcentaje de porosidad.

<b>Tipo de suelo</b>	<b>% de porosidad</b>
Suelos ligeros	30 – 45
Suelos medios	45 – 55
Suelos pesados	50 – 65
Suelos turbosos	75 – 90

### **2.9.2 Propiedades químicas.**

Según Bioagro 2010, Al evaluar químicamente los tratamientos de compost producido en tiempos de compostaje (cuadro 14), para obtener los factores que caracterizan este abono orgánico, fue importante realizar un manejo adecuado del proceso, y determinar que cada uno esté dentro de los rangos requeridos. Esto permitió que el compostaje bajo condiciones controladas tenga los valores nutricionales aceptables para nutrición y comercialización.

Según (Bioagro, 2010) presenta un cuadro de valor nutricional de compost (cuadro 2) en el que se observan los parámetros permitidos en la producción de abonos orgánicos.

Cuadro 19: Resultados de análisis químico de cada tratamiento de compost.

Análisis de laboratorio de muestras de compost														
prueba	pH	mS/cm	P	K	Ca	Mg	Cu	Zn	Fe	Mn	Na	C.O.	NT	C:N
T1R1	9.20	16.85	0.35	0.81	4.56	0.27	90.00	500.00	4200.00	265.00	2700.00	5.35	0.99	5.4:1
T1R2	8.80	16.65	0.42	0.69	0.25	0.33	140.00	550.00	5350.00	315.00	2750.00	4.47	1.08	4.6:1
T1R3	8.80	16.25	0.42	0.63	0.23	0.34	200.00	650.00	5650.00	325.00	2750.00	5.73	1.20	4.8:1
Promedio	8.93	16.58	0.40	0.71	1.68	0.31	143.30	566.70	5067.00	301.70	2733.00	5.18	1.09	
T2R1	8.20	9.10	0.34	0.38	4.69	0.25	55.00	850.00	5300.00	425.00	1300.00	8.60	1.01	8.5:1
T2R2	8.00	13.35	0.38	0.56	0.24	0.33	150.00	1000.00	5150.00	450.00	1950.00	7.26	0.91	8.0:1
T2R3	8.30	10.95	0.31	0.31	4.31	0.23	60.00	450.00	4650.00	370.00	1300.00	7.45	0.96	7.8:1
Promedio	8.17	11.13	0.34	0.42	3.08	0.27	88.33	766.70	5033.00	415.00	1517.00	7.77	0.96	
T3R1	8.60	7.31	0.40	0.50	4.75	0.32	135.00	400.00	4450.00	295.00	1250.00	6.88	1.00	6.9:1
T3R2	8.80	16.00	0.41	0.69	4.94	0.31	120.00	550.00	4650.00	300.00	2650.00	5.73	1.13	5.1:1
T3R3	8.50	4.15	0.44	0.38	4.81	0.35	85.00	950.00	4800.00	315.00	950.00	6.88	1.10	6.3:1
Promedio	8.63	9.15	0.42	0.52	4.83	0.33	113.30	633.30	4633.00	303.30	1617.00	6.50	1.08	
T4R1	8.40	13.75	0.24	0.38	3.50	0.17	25.00	200.00	3550.00	335.00	1500.00	12.99	1.05	12.4:1
T4R2	8.40	14.50	0.24	0.44	3.50	0.16	25.00	200.00	3550.00	340.00	1500.00	6.30	1.01	6.2:1
T4R3	8.40	14.85	0.23	0.38	3.13	0.15	20.00	200.00	3650.00	345.00	1450.00	5.73	0.96	6.0:1
Promedio	8.40	14.37	0.24	0.40	3.38	0.16	23.33	200.00	3583.33	340.00	1483.33	8.34	1.01	

Químicamente cada uno de los tratamientos fue caracterizado, a fin de determinar el compost que medido en tiempos de compostaje, se encuentre disponible dentro de los valores requeridos en la nutrición de las plantas,

Factores químicos analizados:

- pH
- conductividad eléctrica
- relación carbono nitrógeno
- elementos mayores
- Elementos menores

Cada uno de estos Factores cumple un efecto muy importante que permite encontrar el rango ideal para que los abonos orgánicos cumplan su función nutritiva (anexos cuadro 1), se analiza cada una de las especificaciones químicas requeridas y estadísticamente determinar el tratamiento en tiempos de compostaje adecuado para producir abonos.

Los valores están medidos en:

- Bajo: los valores obtenidos son insuficientes para cumplir con las funciones.
- Aceptables: Los valores del análisis, son adecuados para cumplir con las funciones nutritivas.
- Alto: los valores sobrepasan los requerimientos para y pueden causar toxicidad.

### 2.9.2.1 PH del compost

Como parte del manejo del compost se determinó el grado de acides, o de alcalinidad para cada uno de los tratamientos propuestos; El compost necesita estar en lo más neutral posible, garantizando así un medio adecuado de supervivencia donde los microorganismos responsables de la descomposición realizarán su trabajo según (Valencia, 2013), encada uno de los tratamientos se observó una variación muy significativa entre cada uno de ellos, obteniendo valores de escala pH entre 8,0 y 9,20 (Ilustración 4).

En base a estos valores consideramos que el tratamiento 2 (100 días), se encuentra dentro de los rangos permitidos (anexo cuadro 1), para optar por este compost como nutriente agrícola.

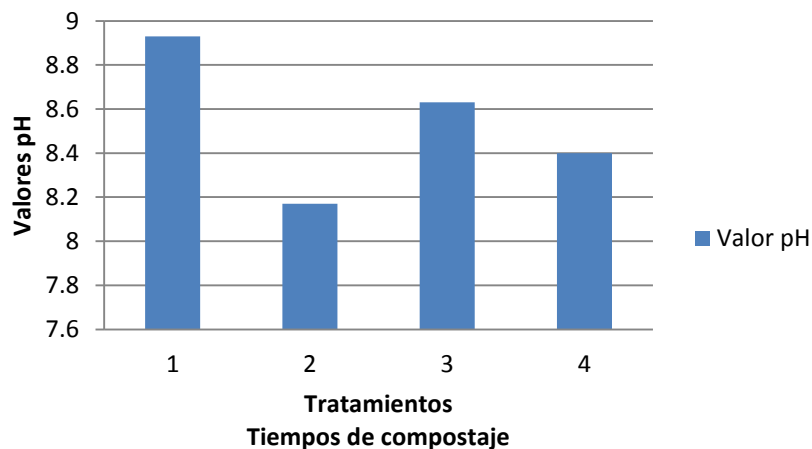


Figura 11: Valor de pH de cada tratamiento.

Al observar estos valores se determina que debido a que los residuos sólidos lo constituye todo tipo de producto orgánico, y al manejo ya que para elevar temperatura reducir olor se aplica cal lo que hace que eleve la alcalinidad.

### 2.9.2.2 Conductividad Eléctrica.

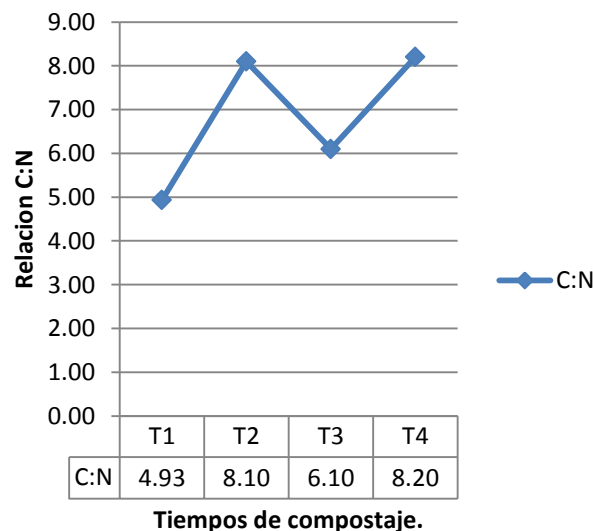
La salinidad interfiere con la germinación y crecimiento de las plantas no solo por efectos tóxicos de algunos iones sino porque aumenta la presión osmótica de la solución del compost, lo cual hace más difícil la absorción de agua.

Este efecto es posible por los valores de pH, dentro del rango de salinidad en los tratamientos es altamente toxica, en la cual muy pocos cultivos presentan un rendimiento adecuado por lo que no es satisfactorio utilizar un abono de alto contenido de sales.

Estadísticamente no se tiene un valor aceptable del mismo por lo que no cuenta con características significativas.

### 2.9.2.3 Relación Carbono/Nitrógeno.

Para la relación carbono/nitrógeno el rango indica que el compost de los tratamientos es aceptable en cuando a los índices de la relación de estos elementos, por lo que están en el balance necesario para una homogénea descomposición de residuos.



**Figura 12: Valores de medias de la relación C:N por tratamientos.**



Estadísticamente se considera que el compost producto del tratamiento 1 (50 días). Cuenta con el balance más estable y aceptable entre elementos C: N. cabe mencionar que al tener una alta concentración de carbono en el compost, se debe a que en el manejo de pilas se aplicó ceniza como cobertura, incrementando el contenido de carbono.

#### **2.9.2.4 Elementos Mayores**

Estos son los de mayor importancia en el desarrollo de una planta, de los cuales deben estar presentes en cantidades proporcionales en todo tipo de fertilizante, al momento de producir compost estos elementos están presentes al realizar un análisis químico de compost los elementos presentes son:

- Fosforo (P)
- Potasio (k)
- Calcio (Ca.)
- Magnesio (Mg).

Según el rango de comparación de resultados el nivel óptimo de cada elemento influye en la nutrición de la planta por lo que tiene una gran importancia al estar presente en un abono orgánico.

Estadísticamente cada uno de los tratamientos están evaluados en el cuadro 16, conforme al contenido en porcentaje de cada elemento.

**Cuadro 15: Análisis de resultados tratamientos con elementos mayores.**

<b>NT</b>	<b>C.O.</b>	<b>Fosforo</b>	<b>Potasio</b>	<b>Calcio</b>	<b>Magnesio</b>
T1 1.09	T4 8.34	T3 0.42	T1 0.71	T3 4.83	T3 0.33
T3 1.08	T3 7.77	T1 0.40	T3 0.52	T4 3.38	T4 8.40
T4 1.01	T2 7.77	T2 0.34	T2 0.42	T2 3.08	T3 8.63
T2 0.96	T1 5.18	T4 0.24	T4 0.24	T1 1.68	T1 8.93

- Nitrógeno total: Recomendando el tratamiento 1 (50 días).

- Fosforo: todos los tratamientos contienen alto porcentaje del elemento, por lo que para poder utilizarlo es necesario corregir el valor desde el manejo. Para este caso es más acertado el tratamiento 3 (120 días). Por su acercamiento al rango óptimo.
- Potasio: todos los tratamientos están en el rango aceptable por lo que se pueden recomendar todos.
- Calcio: los tratamientos 3 (120 días) y 4 (150 días), son aceptables por lo que se recomienda el tratamiento 3 por su importancia estadística nutricional.
- Magnesio: Todos los tratamientos son aceptables en su contenido nutricional.

#### **2.9.2.5 Elementos menores**

Estos elementos se encuentran presente dentro del compost como un complemento nutritivo producido, por lo que en cada tratamiento se presentan en menor cantidad

La presencia de estos elementos conocidos también como metales pesados complementa el valor nutricional del compost en la nutrición vegetal, pues aporta elementos de a menor escala pero importantes en el desarrollo de las plantas.

Para esta evaluación tomamos en cuenta los siguientes elementos:

- Cobre (Cu)
- Zinc(Zn)
- Hierro (Fe)
- Molibdeno (Mo)
- Sodio (Na)

Alguno de estos clasificados como metales pesados, y son tóxicos al momento de generar lixiviados, por lo que se realizó el manejo de los mismos a manera de evitar toxicidad del compost, según (Ochoa Soto) , presenta una tabal la cual comparamos los valores de obtenidos del análisis químico.

Cuadro 20: Elementos menores presentes en los tratamientos de compost

Prueba	Cu ppm	Zn ppm	Fe ppm	Mn ppm	Na ppm
T1	143,30	566,70	5067,00*	301,70	2733,00
T2	88,33	766,70	5033,00*	415,00	1517,00
T3	113,30	633,30	4633,00*	303,30	1617,00
T4	23,33*	200 *	3583,33*	340,00	1483,33
<b>* dentro de los limites según (Ochoa Soto) norma europea</b>					

Al comparar estos elementos dentro del rango de resultados se determina que todos los tratamientos presentan porcentajes aceptables de elementos a excepción del cobre pues se encanta en un nivel bajo de requerimiento.

Estadísticamente se puede recomendar todos los tratamientos, considerando que estos elementos son requeridos en menor escala.

### 2.9.3 Análisis económico.

El análisis económico de la producción de compost por cada uno de los tratamientos, está asignado conforme al ingreso por servicio de recolección de residuos, el cual se asigna a la Planta de tratamiento de residuos sólidos. Inicialmente la planta cuenta con un estimado de Q 51,088.88 obtenido de un aproximado de 4318 usuarios, con un cobro de Q 11.6, por cada usuario, el cuadro 17, nos indica el porcentaje asignado a cada residuo para su debido tratamiento.

Para efectos de conocer cuánto se invierte por cada tratamiento consideramos:

- Mano de obra por la duración de tratamiento.
- Insumos para cada uno de los tratamientos.
- Recuperación.

Teniendo en cuenta que se inició con el porcentaje asignado para cada tratamiento, y el tiempo que se empleó para formar cada repetición.

Cuadro 21: Valor de presupuesto asignado por residuo.

<b>Costo de producción por residuo</b>		
<b>Residuo</b>	<b>Valor %</b>	<b>Presupuesto Q</b>
<b>Plástico</b>	20	10217.76
<b>Vidrio</b>	10	5108.88
<b>Papel</b>	20	10217.76
<b>Inorgánico</b>	30	15326.64
<b>Orgánico</b>	20	10217.76
<b>Total valor</b>	100	51088.8

Cuadro 22: Costo de operación por tratamiento.

<b>Operaciones mensuales</b>	<b>Ingreso Q</b>	<b>Egreso Q</b>
Mano de obra por la duración de tratamiento mensual.		7200
Insumos para cada uno de los tratamientos.		500
Venta compost	1000	
Ingreso por recolección	10217.76	
<b>Totales</b>	11217.76	7700
<b>Rendimiento</b>	<b>3,517.76</b>	

La inversión por cada tratamiento es la misma ya que cada tratamiento se desarrolló de la misma forma variando los insumos, para los cuales se mantuvo lo asignado.

Del presupuesto asignado para la el tratamiento de compost, se obtuvo un rendimiento de Q3517.76. Que es la ganancia que se obtuvo por cada uno de los tratamientos, considerando lo anterior en que cada tratamiento tubo el mismos costo de producción únicamente variando el tiempo para su comercialización ya que varía de acuerdo al tiempo

de compostaje. Por lo que en este caso el tratamiento 1 (50 días), en el cual la recuperación de lo invertido es en menor tiempo.

### **2.10 Conclusiones.**

- Al caracterizar el compost de los diferentes tratamientos, cada uno presenta características físicas y químicas adecuadas en sus respectivas etapas de compostaje, El tiempo de compostaje que presento los mejores resultados en su respectivo análisis es el tratamiento 1 (50 días), reduciendo el proceso de descomposición en 2 meses.
- Económicamente cada uno de los tratamientos tiene el mismo costo de producción (Q 3, 517.76), y si consideramos el tiempo de producción de abonos, el tratamiento 1 (50 días) es el que presenta una recuperación económica en menor tiempo.

### **2.11 Recomendación**

- Se recomienda evaluar el compost del tratamiento 1 (50 días), para verificar su empleo en la producción agrícola.
- Se recomienda una evaluación de mercado para definir la línea de comercialización del compost producido así como la aceptación como alternativa en abono orgánico.

## 2.12 Bibliografía

1. Autoridad de Desperdicios Sólidos, PR. 2011. Composta (en línea). Puerto Rico, Reciclaje. Consultado 9 ago 2011. Disponible en <http://www.ads.gobierno.pr/reciclaje/composta/pasos.htm>
2. Cabezas Martin, J. 2008. Manual de compost. España, Amigos de la Tierra. 60 p.
3. Castillo, G; María, PM. 2002. Experiencias sobre compostaje de lodos de digestión. México, Mundi-Prensa. 40 p.
4. CNMA (Comisión Nacional de Medio Ambiente, Departamento de Descontaminación, Planes y Normas, ES). 2009. Norma de calidad del compost (en línea). España. 45 p.
5. Comunidad Ecosalvia, ES. 2006. El compost y los abonos orgánicos (en línea). España. Consultado 21 set 2011. Disponible en [http://www.holistika.net/agroecologia/el\\_huerto\\_ecologico/el\\_compost\\_y\\_los\\_abonos\\_organicos.asp](http://www.holistika.net/agroecologia/el_huerto_ecologico/el_compost_y_los_abonos_organicos.asp)
6. DeshechosSólidos.com. 2007. Tratamiento de desechos sólidos (en línea). España. Consultado 11 ago 2011. Disponible en <http://www.desechos-solidos.com/tratamiento-desechos-solidos.html>
7. InfoAgro.com. 1998. Compostaje (en línea). España. Consultado 22 set 2011. Disponible en <http://www.infoagro.com/abonos/compostaje.htm>
8. INSIVUMEH (Instituto Nacional de Sismología, Vulcanología, Meteorología e Hidrología, GT). 2011. Meteorología (en línea). Guatemala. Consultado 3 ago 2011. Disponible en: <http://www.insivumeh.gob.gt/meteorologia/zonas%20climaticas.htm>
9. Inzunza, JC. 2005. Clasificación de los climas de Koppen. Ciencia Ahora 1:388-400.
10. Jaramillo Henao, G; Zapata Márquez, LM. 2008. Aprovechamiento de los residuos sólidos orgánicos en Colombia. Colombia, Universidad de Antioquia. 210 p.
11. Leconte, MC; Mazzarino, F; Satti, MJ; Iglesias, P; Laos, MC. 2009. Compostaje con cascarilla de arroz y gallinaza. Argentina, Universidad del Noreste. 250 p.
12. Ochoa Soto, I. 2012. Tipos de compost (en línea). España. Consultado 23 nov 2012. Disponible en [http://www.uam.es/personal\\_pdi/ciencias/eeymar/default\\_archivos/7.TIPOS%20DE%20COMPOST](http://www.uam.es/personal_pdi/ciencias/eeymar/default_archivos/7.TIPOS%20DE%20COMPOST)
13. Roben, E. 2002. Manual de compostaje para municipios. Ecuador, DED Ilustre. 50 p.

14. Silva, A. 1995. La materia orgánica del suelo. Montevideo, Uruguay, Universidad de la República de Uruguay, Facultad de Agronomía. 20 p. (Publicaciones AEA).
15. Soliva, M; Marga, L. 2004. Calidad del compost (en línea). España. Consultado 24 set 2011. Disponible en <http://gidr.gesfer.cat/tractaments/els-principals-tractaments/calidad-compost-lodos.pdf>
16. Soto Aburto, E. 2006. Compost de residuos sólidos orgánicos urbano. México, Mundi Prensa. 220 p.
17. Stoffella, PJ. 2004. Utilización de compost en los sistemas de cultivo hortícola. México, Mundi Prensa. 310 p.
18. Teodolito, GT. 2009. Estudio integral de desechos sólidos en el municipio de San Pedro Sac. territorio de MANCUERNA. San Marcos, Guatemala. 350 p.
19. Valencia, AC. 2013. Compostaje (en línea). España. Consultado 23 nov 2012. Disponible en [www.compostadores.com](http://www.compostadores.com)

### **3 CAPÍTULO III**

**EJECUCIÓN DE SERVICIOS DENTRO DE LA PLANTA DE TRATAMIENTO DE RESIDUOS SÓLIDOS DE LA MUNICIPALIDAD DE SAN PEDRO SACATEPÉQUEZ, SAN MARCOS.**



### **3.1 Presentación**

La producción de compost dentro de la planta es una de las actividades que lleva una gran labor, ya que es necesaria implementar la mayoría de mano de obra a fin de obtener un compost que sea aceptable por el agricultor.

Este compost en muchas ocasiones se almacena y se acumula, viéndose en la necesidad de donarlo, a manera de limpiar áreas para posteriores producciones de compost, es así que este servicio permitió tener contacto con grupos de agricultores organizados, los cuales estaban interesados en este compost, el cual serviría para reducir de alguna manera sus costos de producción agrícola.

### **3.2 Título**

Entrega de abono orgánico Producido en planta de tratamiento de residuos sólidos, a comunidades de San Pedro Sacatepéquez, San Marcos

#### **3.2.1 Objetivos**

##### **3.2.1.1 General**

- a) Elaborar compost de calidad, a fin de utilizarse en cultivos domésticos.
- b) Distribuir el compost a grupos comunitarios para ejecución en cultivos.

#### **3.2.2 Metodología**

- Establecer pilas de compostaje según metodología utilizada por la planta de tratamiento de residuos sólidos.
- Definir los tiempos de compostaje, estos se desarrollaran tomando en cuenta las pilas utilizadas en la investigación definida en el capítulo II de este documento
- Al momento de que el compost se encuentre en el punto óptimo de su maduración se procederá a su tamizado y almacenaje.

### 3.2.3 Resultados

Formación grupos beneficiados:

Por medio de la Unidad De Desarrollo Económico Local (UDEL) de la MANCUERNA y de la municipalidad de San Pedro Sacatepéquez, se incluyeron grupos beneficiarios con compost.

Estos grupos están constituidos por sectores rurales del municipio, que buscan el desarrollo de su comunidad, cada uno está integrado por un presidente, secretario, tesorero y vocales, en este caso el presidente del comité realizo las gestiones necesarias para la donación de abono producido en la planta de tratamiento, en la que se obtuvo una respuesta positiva.

Cuadro 23. Comunidades beneficiadas con compost.

<b>Comunidad</b>	<b>beneficiados</b>
Llano grande 1	30
Llano grande 2	20
Corral Grande	25
San José caben	24

Obtención de compost:

La producción de compost se estableció dentro del parámetro de 5 meses, realizando el debido manejo en cada una de las pilas que se formaron un total de 6 con una capacidad de 20 metros cúbicos cada una, obteniendo un total de 2400 costales de compost con un promedio de 85 libras cada uno según cuadro 24.

Cuadro 24. Producción de compost por pila establecida para donación a productores agrícolas.

No. pila	Capacidad (mts <sup>3</sup> )	Costales obtenidos	Peso (Ton.)
1	20	240	10.2
2	19	228	9.69
3	20	240	10.2
4	20	240	10.2
5	20	240	10.2
6	18	216	9.18

Del total producido se distribuyó a las comunidades beneficiadas con un total de 30 costales por cada uno, lo cual contribuirá con el desarrollo de sus cultivos así como la regeneración de los suelos en los cuales ellos establecen sus cultivos.

Cada comunitario se encargó de la preparación de su compost figura 13, y del transporte a su lugar de origen



Figura 13. Entrega de compost a grupo de agricultores de caserío llano grande, San Pedro.

### 3.3 Presentación

El presente servicio detalla lo realizado en base a las actividades diarias dentro de la unidad de obras y servicios intermunicipales, enfocados en el manejo integral de residuos sólidos.

El control de estas actividades diarias nos permitió establecer un trabajo efectivo, en este caso dentro de la planta de tratamiento del municipio de San Pedro Sacatepéquez, San Marcos, en el que se trabaja todo el residuo que ingresa a la planta a fin de no acumular, evitando con esto proliferación de mal olor así como efecto al ambiente

### 3.4 Título

Participación en el los trabajos realizados dentro de la Mancomunidad de Municipios de la Cuenca del Rio Naranjo para el manejo integrado de Residuos Solidos

#### 3.4.1 Objetivos

General

- Participación en los procesos técnicos relacionados en el manejo integral de residuos sólidos de la MANCUERNA.

Específicos

- Realizar el ciclo completo del manejo integrado de residuos sólidos, dentro de la planta de tratamiento de residuos del municipio de San Pedro Sacatepéquez, San Marcos.
- Inicio del manejo integrado de residuos sólidos en el municipio de San Marcos.

#### 3.4.2 Metodología

Fase de campo:

- Recorrer las rutas trazadas para el tren de aseo municipal.
- Reconocer cada subproducto de los residuos que son reciclables.
  - Plástico
    - Pet

- 
- Vidrio
  - Verde
  - Café
  - Blanco
- Orgánico
- Papel
  - Blanco
  - Revista
  - Cartón
  - Impreso
  - Periódico
  - Revuelto
- Inorgánico
  - Aluminio
  - Cobre
  - Etc.
- Separación de residuos, aprovechables y no aprovechables.
  - Incineración
  - Relleno
  - reciclado
- Manejo de relleno
- Producción de compost

#### Fase gabinete

- Implementación de manual de procesos

### **3.4.3 Resultados**

Supervisión de recolección de residuos

Dentro del proceso del manejo integrado de residuos, la recolección de estos es una de las fases fundamentales, ya que nos permite conocer los volúmenes de ingreso, por otra parte los residuos están clasificados en un 45%.

Para la implementación del sistema de recolección separativo, se organizaron los camiones en la siguiente forma, 1 camión compactador se encarga de la recolección de los residuos orgánicos, otro camión compactador de los residuos inorgánicos no aprovechables y el camión con compartimentos de los residuos de vidrio, papel y plástico.



Figura 14. Recolección de residuo orgánico.

#### Separación y clasificación de residuos aprovechables

Una vez ingresa el camión separativo, se empieza por re-clasificar:

- a) por densidad en caso de los residuos plásticos y por color en el caso del vidrio y el papel el que se encuentre sin suciedad.
- b) Los plásticos de mayor densidad se disponen a cielo abierto y se espera el camión que los recoge.

- c) Los plásticos de baja densidad (PET), se compactan y se dejan en pacas de 100 Lbs. A 160 Lbs.
- d) Los residuos orgánicos luego de pasar por un proceso de compostaje que dura aproximadamente 6 meses se convierten en abono orgánico que actualmente abastece al vivero forestal.



Figura 15. a) Camión separativo; b) Plástico de alta densidad a cielo abierto; c) Plástico de baja densidad en pacas; d) Compost maduro.

#### Manejo de relleno controlado

Los residuos inorgánicos no aprovechables, se tienden y se compactan, posteriormente se aplica cobertura de tierra y se vuelve a compactar esto con el propósito de no dejar

residuos a cielo abierto para evitar la proliferación de vectores, degradar el ambiente, causar un deterioro paisajístico.

En la primera fase se descargan los residuos del camión compactador que transporta los inorgánicos no aprovechables, para su reclasificación para que al finalizar estos son llevados al relleno.

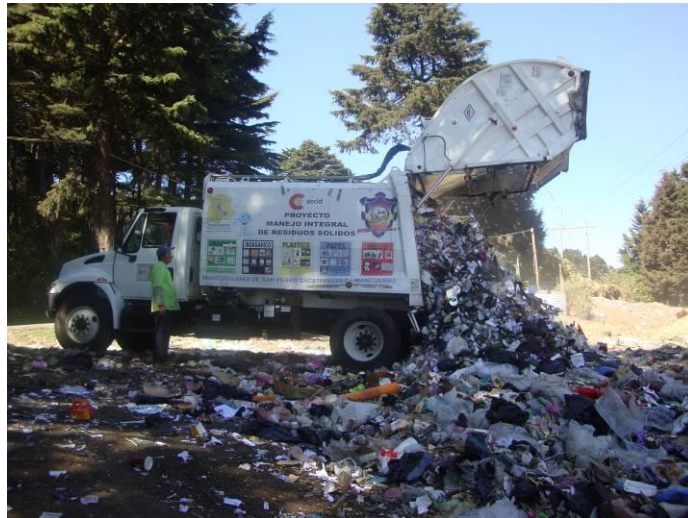


Figura 16. Camión compactador inorgánico al momento de su descarga.

Los residuos una vez tendidos se compactan a manera de reducir aún más su volumen y se les aplica suelo de cobertura de preferencia suelo arcilloso ya que estos suelos tienen propiedades de impermeabilidad que evitan la generación de lixiviados y se vuelve a compactar.





Figura 17. Mini cargador compactando la cobertura aplicada al relleno.

En la figura se observa la disposición final de los residuos que no son aprovechables, ya cubiertos y compactados.



Figura 18. Relleno cubierto después de la descarga diaria de residuos sólidos.

#### **3.4.4 Evaluación**

Al finalizar el ejercicio profesional supervisado, y habiendo cumplido con los servicios establecidos, podemos decir que al hablar de residuos sólidos, y su manejo hablamos de un sistema complejo, y la experiencia de conocer el ciclo de trabajo de estos materiales.

Al observar los volúmenes que a diario ingresan a la planta de tratamiento, estos van de la mano con el crecimiento poblacional, y que es necesaria la mejora continua a fin de estabilizar el proceso y ser más efectivos.