

UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA
FACULTAD DE AGRONOMÍA
ÁREA INTEGRADA



TRABAJO DE GRADUACIÓN

EVALUACIÓN DEL FUNCIONAMIENTO DE LA PLANTA DE TRATAMIENTO DE
RESIDUOS Y DESECHOS SÓLIDOS. DIAGNÓSTICO Y SERVICIOS EN LA DIRECCIÓN
DE GESTIÓN AMBIENTAL MUNICIPAL DEL MUNICIPIO DE SAN PEDRO LA LAGUNA,
SOLOLÁ, GUATEMALA, C.A.

LENIN ALEXIS RODRÍGUEZ ALMENGOR
201015231

GUATEMALA, NOVIEMBRE DE 2019

UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA
FACULTAD DE AGRONOMÍA
ÁREA INTEGRADA

TRABAJO DE GRADUACIÓN

EVALUACIÓN DEL FUNCIONAMIENTO DE LA PLANTA DE TRATAMIENTO DE
RESIDUOS Y DESECHOS SÓLIDOS. DIAGNÓSTICO Y SERVICIOS EN LA DIRECCIÓN
DE GESTIÓN AMBIENTAL MUNICIPAL DEL MUNICIPIO DE SAN PEDRO LA LAGUNA,
SOLOLÁ, GUATEMALA, C.A.

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

POR

LENIN ALEXIS RODRÍGUEZ ALMENGOR
201015231

EN EL ACTO DE INVESTIDURA COMO
INGENIERO EN GESTIÓN AMBIENTAL LOCAL
EN EL GRADO ACADÉMICO DE LICENCIADO

GUATEMALA, NOVIEMBRE DE 2019

UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA
FACULTAD DE AGRONOMÍA

RECTOR MAGNÍFICO

ING. M.Sc. MURPHY OLYMPO PAIZ RECINOS

JUNTA DIRECTIVA DE LA FACULTAD DE AGRONOMÍA

DECANO	ING. AGR. WALDEMAR NUFIO REYES
VOCAL PRIMERO	DR. MARVIN ROBERTO SALGUERO BARAHOMA
VOCAL SEGUNDO	DRA. AGR. GRICELDA LILY GUTIÉRREZ ALVAREZ
VOCAL TERCERO	ING. AGR. M. A. JORGE MARIO CABRERA MADRID
VOCAL CUARTO	P. AGR. MARLON ESTUARDO GONZÁLEZ ALVAREZ
VOCAL QUINTO	Br. SERGIO WLADIMIR GONZALES PAZ
SECRETARIO	ING. AGR. WALTER ARNOLDO REYES SANABRIA

GUATEMALA, NOVIEMBRE DE 2019

Guatemala, noviembre de 2019

Honorable Junta Directiva
Honorable Tribunal Examinador
Facultad de Agronomía
Universidad de San Carlos de Guatemala
Presente.

Honorables miembros:

De conformidad con la Ley Orgánica de la Universidad de San Carlos de Guatemala tengo el honor de someter a vuestra consideración, el trabajo de graduación titulado “Evaluación del funcionamiento de la planta de tratamiento de residuos y desechos sólidos. Diagnóstico y servicios en la Dirección de Gestión Ambiental Municipal del municipio de San Pedro La Laguna, Sololá, Guatemala, C.A.”, como requisito previo a optar el título de Ingeniero en Gestión Ambiental Local, en el grado académico de Licenciado.

Esperando que la presente investigación llene los requisitos necesarios para su aprobación, me suscribo

Atentamente

“ID Y ENSEÑAD A TODOS”

LENIN ALEXIS RODRÍGUEZ ALMENGOR
201015231

ACTO QUE DEDICO

A:

DIOS: por las bendiciones derramadas sobre mi persona.

MIS PADRES: Jorge Adalberto Rodríguez Tánchez y Celia Violeta Almengor de la Cruz por el apoyo, el amor, la educación, los valores que me han inculcado y por enseñarme a seguir adelante ante cualquier circunstancia para cumplir mis metas.

MIS ABUELAS: Thelma Consuelo Tánchez García y Telma Hortensia de la Cruz Juárez, por el amor, la motivación, el apoyo y los consejos brindados incondicionalmente.

MIS HERMANOS: Gilce María, Ramiro Arturo, Diana Marcela y Rodrigo Javier por ser parte importante en mi vida.

MIS SOBRINOS

MI FAMILIA: Tíos y primos

MIS AMIGOS

TRABAJO DE GRADUACION QUE DEDICO

A:

MI FAMILIA

MI PATRIA

UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA

FACULTAD DE AGRONOMIA

AGRADECIMIENTOS

A:

MI ABUELA: Thelma Consuelo Tánchez García, por su apoyo y motivación en todas las líneas de mi vida, por ser un pilar fundamental en mi formación académica y permitir que el sueño de concluir una carrera universitaria se haga posible.

MI TERNA EVALUADORA: Dr. Marco Vinicio Fernández, Dr. Adalberto Rodríguez e Ing. Ricardo Catalán, por la dedicación y los conocimientos brindados para la realización de este documento.

LA MUNICIPALIDAD DE SAN PEDRO LA LAGUNA Y AL PROGRAMA EPSUM: por brindar un espacio para la ejecución del Ejercicio Profesional Supervisado -EPS-.

LOS CATEDRATICOS DE LA FACULTAD DE AGRONOMIA: por brindar los conocimientos y herramientas en el proceso de formación profesional.

MIS COMPAÑEROS DE LA FACULTAD DE AGRONOMIA: por el apoyo a lo largo de la carrera universitaria.

ÍNDICE DE CONTENIDO

	Página
CAPÍTULO I.....	8
DIAGNÓSTICO DEL MANEJO DE LOS RESIDUOS Y DESECHOS SÓLIDOS EN SAN PEDRO LA LAGUNA, SOLOLÁ, GUATEMALA, C.A.....	8
1.1. PRESENTACIÓN.....	9
1.2. MARCO REFERENCIAL	10
1.2.1. Localización geográfica.....	10
1.2.2. Extensión territorial	10
1.2.3. Colindancias	10
1.2.4. Vías de acceso	10
1.2.5. Latitud	10
1.2.6. Población	11
1.2.7. División política administrativa	11
1.2.8. Bosque.....	12
1.2.9. Clima y temperatura.....	13
1.2.10. Hidrografía	13
1.3. OBJETIVOS.....	14
1.3.1. Objetivo general	14
1.3.2. Objetivos específicos	14
1.4. METODOLOGÍA.....	15
1.4.1. Consulta fuentes primarias y secundarias de información.....	15
1.4.2. Fase de reconocimiento	15
1.4.3. Fase de gabinete	15
1.4.4. Fase de análisis	15
1.5. RESULTADOS.....	16
1.5.1. Administrador del manejo de los residuos y desechos sólidos en San Pedro La Laguna.....	16
1.5.2. Situación del manejo de los residuos y desechos sólidos	16
1.5.3. Análisis de problemas	21
1.6. CONCLUSIONES.....	27
1.7. RECOMENDACIONES	28
1.8. BIBLIOGRAFÍA	29
1.9. ANEXOS	31
CAPÍTULO II.....	36
EVALUACIÓN DEL FUNCIONAMIENTO DE LA PLANTA DE TRATAMIENTO DE RESIDUOS Y DESECHOS SÓLIDOS DEL MUNICIPIO DE SAN PEDRO LA LAGUNA, SOLOLÁ, GUATEMALA, C.A.....	36
2.1. INTRODUCCIÓN	37
2.2. MARCO TEÓRICO.....	39

	Página
2.2.1. Marco conceptual.....	39
A. Basura	39
B. Residuo	39
C. Desecho	39
D. Desechos sólidos	39
E. Clasificación de los desechos y residuos sólidos	40
F. Residuos sólidos orgánicos biodegradables	40
G. Desechos sólidos orgánicos e inorgánicos	40
H. Residuos orgánicos e inorgánicos reciclables	40
I. Planta de tratamiento de desechos sólidos.....	40
J. Tratamiento de desechos y residuos sólidos	40
K. Compostaje	41
L. Microorganismos eficientes	42
M. Relleno sanitario	42
N. Lixiviados.....	43
O. Recuperación de residuos sólidos	43
P. Vertedero de residuos y desechos sólidos.....	43
Q. Evaluación de impacto ambiental	44
R. Impactos ambientales	45
S. Matriz de Leopold	45
T. Ámbito legal en la gestión de desechos y residuos sólidos en Guatemala....	46
2.2.2. Marco referencial.....	49
A. Localización geográfica	49
B. Extensión territorial.....	49
C. Colindancias	49
D. Vías de acceso	49
E. Población.....	49
F. División política administrativa.....	50
G. Bosque	51
H. Clima y temperatura	52
I. Hidrografía.....	52
J. Manejo de los residuos y desechos sólidos	52
K. Situación del manejo de los residuos y desechos sólidos.....	53
2.3. OBJETIVOS.....	57
2.3.1. Objetivo general	57
2.3.2. Objetivos específicos.....	57
2.4. METODOLOGÍA	58
2.4.1. Operaciones del manejo de los desechos sólidos.....	58

	Página
A. Recopilación de información primaria y secundaria	58
B. Monitoreo de operaciones ejecutadas	58
2.4.2. Eficiencia en la recuperación y tratamiento de los residuos que ingresan a la planta de tratamiento	59
A. Eficiencia total de la planta de tratamiento	59
B. Eficiencia por material reciclable	59
2.4.3. Evaluación de impacto ambiental	60
2.5. RESULTADOS Y DISCUSIÓN	61
2.5.1. Evaluación del funcionamiento de la planta de tratamiento de residuos y desechos sólidos	61
2.5.1.1. Personal laboral	61
2.5.2. Servicios básicos	62
2.5.3. Maquinaria y equipo	62
2.5.4. Ingreso de residuos y desechos sólidos	63
2.5.5. Recuperación de residuos sólidos	63
2.5.6. Compostaje	65
2.5.7. Relleno sanitario	67
2.5.8. Lixiviados	69
2.5.2. Eficiencia de la planta de tratamiento de desechos sólidos	69
A. Eficiencia de la planta de tratamiento promedio/semana	73
B. Entradas y salidas de desechos sólidos	74
C. Eficiencia en el manejo y recuperación de residuos orgánicos	75
D. Eficiencia en el manejo y recuperación de residuos inorgánicos	76
E. Eficiencia en el manejo y recuperación de residuos de tereftalato de polietileno (PET)	77
F. Eficiencia en el manejo y recuperación de residuos plásticos	78
G. Eficiencia en el manejo y recuperación de residuos de aluminio	79
H. Eficiencia en el manejo y recuperación de residuos metálicos	80
I. Eficiencia en el manejo y recuperación de residuos de vidrio	81
J. Eficiencia en el manejo y recuperación de cartón y papel	82
K. Residuos valorizables descartados	83
L. Eficiencia por componente	84
M. Eficiencia económica de la planta de tratamiento de residuos y desechos sólidos	85
2.5.3. Evaluación del impacto ambiental generado por el vertedero establecido dentro de la planta de tratamiento de residuos y desechos sólidos	85
A. Descripción del lugar	85
B. Evaluación de impacto ambiental por medio de la matriz de Leopold	86
C. Análisis de la matriz de Leopold	88

	Página
2.6. CONCLUSIONES.....	90
2.7. RECOMENDACIONES	92
2.8. BIBLIOGRAFÍA	95
2.9. ANEXOS	99
CAPÍTULO III.....	100
SERVICIOS REALIZADOS EN LA DIRECCIÓN DE GESTIÓN AMBIENTAL MUNICIPAL (DIGAM) DE LA MUNICIPALIDAD DE SAN PEDRO LA LAGUNA, SOLOLÁ, GUATEMALA, C.A.	100
3.1. PRESENTACIÓN	101
3.2. SERVICIO 1. Plan integral de manejo de residuos y desechos sólidos en el municipio de San Pedro La Laguna, Sololá.	102
3.2.1. OBJETIVOS	102
A. Objetivo general	102
B. Objetivo específico	102
3.2.2. METODOLOGÍA	103
3.2.3. RESULTADOS.....	104
3.2.4. CONCLUSIONES	106
3.3. SERVICIO 2. Capacitación de educación ambiental con énfasis en manejo de residuos y desechos sólidos al sector educativo del municipio de San Pedro La Laguna, Sololá.	107
3.3.1. OBJETIVOS	107
A. Objetivo general	107
B. Objetivos específicos.....	107
3.3.2. METODOLOGÍA	108
3.3.3. RESULTADOS.....	109
3.3.4. CONCLUSIONES	110

ÍNDICE DE FIGURAS

	Página
Figura 1. Distribución de habitantes por sexo en San Pedro La Laguna.	11
Figura 2. Distribución de habitantes por cantón en San Pedro La Laguna.	12
Figura 3. Principales residuos y desechos sólidos generados en San Pedro La Laguna. .	17
Figura 4. Ubicación de la planta de tratamiento de residuos y desechos sólidos	19
Figura 5. Distribución de áreas de la planta de tratamiento	20
Figura 6. Árbol de problemas: acumulación desordenada de residuos y desechos sólidos en la planta de tratamiento.	22
Figura 7. Árbol de problemas: mano de obra no calificada en la planta de tratamiento.	23
Figura 8. Árbol de problemas: deficiente programas de control y seguimiento para que se cumpla lo establecido en el acuerdo municipal 111-2016	24
Figura 9A. Almacenamiento temporal por tipo de residuo y desecho.	31
Figura 10A. Tipo de residuos y desechos sólidos recolectados por día.	31
Figura 11A. Mapa de rutas del tren de aseo municipal.	32
Figura 12A. Servicio de tren de aseo municipal.	33
Figura 13A. Área de tratamiento de residuos orgánicos.	33
Figura 14A. Relleno sanitario.	34
Figura 15A. Depósito de residuos reciclables.	34
Figura 16A. Pilas receptoras de lixiviados.	35
Figura 17A. vertedero a cielo abierto dentro de la planta de tratamiento.	35
Figura 18. Distribución de habitantes por sexo en San Pedro La Laguna.	50
Figura 19. Distribución de habitantes por cantón.	51
Figura 20. Principales residuos y desechos sólidos generados en San Pedro La Laguna.	53
Figura 21. Ubicación de la planta de tratamiento de residuos y desechos sólidos	55
Figura 22. Organigrama de la planta de tratamiento de residuos y desechos sólidos.	61
Figura 23. Planta del área de compostaje.	65
Figura 24. Promedio de entradas y salidas de residuos y desechos sólidos mensuales en la planta de tratamiento.	70
Figura 25. Composición de los residuos y desechos sólidos que ingresan a la planta de tratamiento municipal.	71
Figura 26. Composición de los residuos por componente.	72
Figura 27. Promedio semanal (feb/2019) de entradas y salidas de residuos y desechos sólidos a la planta de tratamiento.	73
Figura 28. Promedio semanal (feb/2019) de entrada y salidas de desechos sólidos a la planta de tratamiento.	74
Figura 29. Promedio semanal (feb/2019) de entradas y salidas de residuos orgánicos a la planta de tratamiento.	75

	Página
Figura 30. Promedio semanal (feb/2019) de entradas y salidas de residuos sólidos a la planta de tratamiento.	76
Figura 31. Promedio semanal (feb/2019) de entradas y salidas de residuos de tereftalato de polietileno (PET) a la planta de tratamiento.	77
Figura 32. Promedio semanal (feb/2019) de entradas y salidas de residuos plásticos a la planta de tratamiento.	78
Figura 33. Promedio semanal (feb/2019) de entradas y salidas de residuos de aluminio a la planta de tratamiento.	79
Figura 34. Promedio semanal (feb/2019) de entradas y salidas de residuos metálicos a la planta de tratamiento.	80
Figura 35. Promedio semanal (feb/2019) de entradas y salidas de residuos de vidrio a la planta de tratamiento.	81
Figura 36. Promedio semanal (feb/2019) de entradas y salidas de residuos de papel y . cartón a la planta de tratamiento.	82
Figura 37. Residuos valorizables contaminados y descartados.	83
Figura 38. Eficiencia en la recuperación y tratamiento de residuos de la planta de tratamiento.	84
Figura 39. Vertedero a cielo abierto de la planta de tratamiento de residuos y desechos sólidos.	86
Figura 40A. Distribución de áreas de la planta de tratamiento de residuos y desechos sólidos.	99
Figura 41. Plan integral de manejo de residuos y desechos sólidos, en el municipio de San Pedro La Laguna, Sololá.	105
Figura 42. Jornadas de capacitación en escuelas del municipio.	109

ÍNDICE DE CUADROS

Cuadro 1. Centros poblados de San Pedro La Laguna, Sololá.	11
Cuadro 2. Distribución de áreas de la planta de tratamiento.	19
Cuadro 3. Matriz de priorización de problemas en el manejo de los desechos sólidos.	26
Cuadro 4. Características y tipo de procesos de reciclaje de los residuos.	44
Cuadro 5. Marco legal de la gestión de desechos y residuos sólidos.	47
Cuadro 6. Centros poblados de San Pedro La Laguna, Sololá.	50
Cuadro 7. Distribución de áreas de la planta de tratamiento.	55
Cuadro 8. Valoración de los impactos ambientales generados por el vertedero.	60
Cuadro 9. Clasificación y comercialización de materiales reciclables.	64
Cuadro 10. Evaluación de los impactos ambientales generados por el vertedero de la planta de tratamiento.	87
Cuadro 11. Cantidad de alumnos capacitados por centro educativo.	109

EVALUACIÓN DEL FUNCIONAMIENTO DE LA PLANTA DE TRATAMIENTO DE RESIDUOS Y DESECHOS SÓLIDOS DEL MUNICIPIO DE SAN PEDRO LA LAGUNA, SOLOLÁ, GUATEMALA, C.A.

RESUMEN

El presente documento describe las actividades llevadas a cabo durante el Ejercicio Profesional Supervisado de la Facultad de Agronomía (EPSA), desarrollado en la “Dirección de Gestión Ambiental Municipal de la municipalidad” de San Pedro La Laguna. En su contenido se integran los resultados conseguidos del diagnóstico, investigación y servicio prestados durante el periodo de agosto de 2018 a mayo 2019.

El Capítulo I, muestra el diagnóstico en cuanto al manejo de los residuos y desechos sólidos en el municipio de San Pedro La Laguna, Sololá. Donde se pudieron conocer los procesos desarrollados y los principales problemas en gestión y manejo de las basuras municipales, considerando los procesos desde la generación hasta la disposición final. Los principales problemas identificados fueron: acumulación desordenada de residuos y desechos sólidos en la planta de tratamiento y el escaso presupuesto asignado al manejo de los residuos y desechos sólidos. Dichos problemas fueron considerados para establecer la investigación y los servicios a desarrollar.

La investigación realizada se presenta en el Capítulo II, esta consiste en evaluar el funcionamiento de la planta de tratamiento de residuos y desechos sólidos de San Pedro La Laguna, con el propósito de establecer parámetros de funcionamiento y eficiencia, donde se determina que la eficiencia total de la planta de tratamiento en cuanto al manejo y recuperación de los residuos sólidos es de 83.80 %. Además, se desarrolla una evaluación de impacto ambiental, a través de la matriz de Leopold, del vertedero establecido en la ladera final de la planta de tratamiento, donde se determina que el medio físico-químico es el medio con mayor magnitud de impacto sufrido por la inadecuada disposición de los residuos y desechos sólidos en el área.

Esta investigación permitió conocer pesos, volúmenes y composición de los residuos y desechos sólidos que ingresan y egresan de la planta de tratamiento, los cuales pueden ser considerados para el desarrollo de proyectos o diseño de infraestructura con dimensiones que permitan el funcionamiento adecuado de la planta.

El Capítulo III, presenta los servicios desarrollados durante el Ejercicio Profesional Supervisado (EPS). Con dichos servicios se buscó mejorar la gestión ambiental de la municipalidad, específicamente en cuanto al manejo adecuado de los residuos y desechos sólidos.

CAPÍTULO I

DIAGNÓSTICO DEL MANEJO DE LOS RESIDUOS Y DESECHOS SÓLIDOS EN SAN PEDRO LA LAGUNA, SOLOLÁ, GUATEMALA, C.A.

1.1. PRESENTACIÓN

El municipio de San Pedro La Laguna está ubicado en la región Suroccidental de la Republica de Guatemala, en la parte sur del departamento de Sololá. Se localiza en la latitud 14°41'25" Norte, longitud 91°16'21" Oeste, a una altitud de 1,610 m s. n. m. Colinda al Norte con San Juan La Laguna y el lago de Atitlán; al Sur con Santiago Atitlán, y Chicacao; al Este con Santiago Atitlán y el lago de Atitlán; y al Oeste con San Juan La Laguna y Chicacao, Suchitepéquez.

El municipio se encuentra organizado territorialmente en 4 cantones y 2 sectores, los cuales representan una población, aproximada, de 15,600 habitantes, quienes son los principales generadores de basuras en el municipio.

Conscientes del problema que representan los residuos y desechos sólidos a nivel nacional e internacional, la municipalidad de San Pedro La Laguna es la encargada de educar a la población sobre el cuidado del ambiente, estableciendo una clasificación de los residuos y desechos sólidos en orgánico e inorgánico desde el origen, prestar el servicio de tren de aseo cubriendo el 95 % de la población, recuperar y comercializar los materiales reciclables y disponer los desechos en el relleno sanitario de la planta de tratamiento del municipio.

A través de consultas de fuentes de información primarias y secundarias, entrevistas, visitas guiadas y una matriz de priorización de problemas fue posible evidenciar la existencia de problemas en el manejo adecuado de los residuos y desechos sólidos, debido a la carencia de mano de obra calificada contratada por la municipalidad, falta de programas de educación ambiental y de monitoreos para el cumplimiento de la legislación ambiental vigente, escases de presupuesto asignado al manejo de las basuras y procesos inadecuados en la planta de tratamiento de residuos y desechos sólidos, lo cual provoca una acumulación acelerada y desordenada de basuras en la planta de tratamiento.

1.2. MARCO REFERENCIAL

1.2.1. Localización geográfica

El municipio de San Pedro La Laguna está ubicado en la región Suroccidental de la Republica de Guatemala, en la parte Sur del departamento de Sololá, a una altitud promedio de 1,610 m s.n.m. (SEGEPLAN, 2005)

1.2.2. Extensión territorial

El municipio es uno de los territorios más grandes del departamento de Sololá, con una extensión de 24 km², lo cual representa el 2.26 % del departamento. San Pedro La Laguna se encuentra conformado por los cantones Pacucha, Chuacanté, Chuasanahi, Tzanjay, y por los sectores Bella Vista y Chepacoral. (López, 2008).

1.2.3. Colindancias

Al Norte	San Juan La Laguna y el lago de Atitlán.
Al Sur	Santiago Atitlán y Chicacao
Al Este	Santiago Atitlán y el lago de Atitlán
Al Oeste	San Juan La Laguna y Chicacao

1.2.4. Vías de acceso

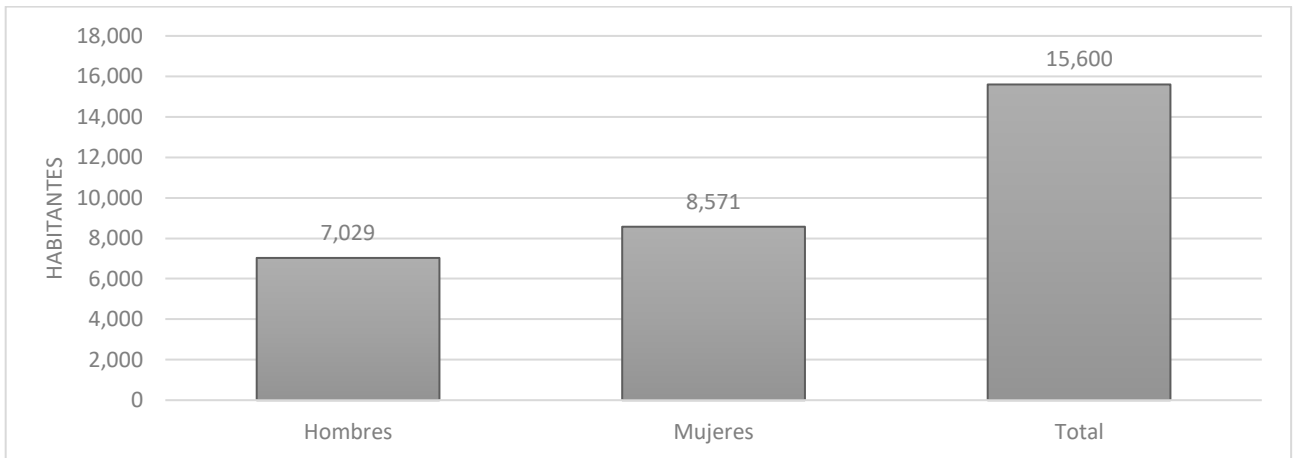
El municipio se encuentra a una distancia de 178 km de la capital del país ingresando por el km 148 de la carretera ruta interamericana CA-1, con un recorrido adicional de 30 km de carretera asfaltada. Además, Se puede tener acceso a San Pedro La Laguna a través del lago de Atitlán con en el uso del servicio de transporte de lanchas colectivas y privadas. Otra vía de acceso es por carretera de terracería desde Santiago Atitlán, con 21 km de distancia. (Gaitán, 2008)

1.2.5. Latitud

Se localiza en la latitud 14°41'25" Norte, longitud 91°16'21" Oeste.

1.2.6. Población

Según los datos proporcionados por la municipalidad de San Pedro La Laguna, el municipio cuenta con 15,600 habitantes, en donde el sexo predominante es el femenino. La distribución de la población por sexo se presenta en la figura 1.



Fuente: elaboración propia con base en datos proporcionados por la municipalidad de San Pedro La Laguna. 2018.

Figura 1. Distribución de habitantes por sexo en San Pedro La Laguna.

1.2.7. División política administrativa

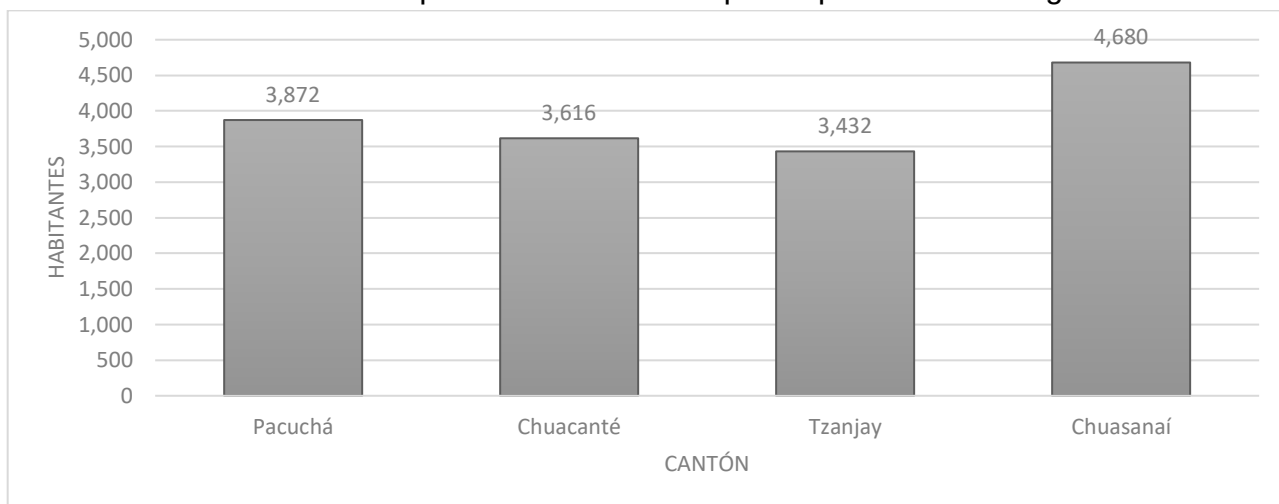
El municipio de San Pedro La Laguna está conformado por 4 cantones y 2 sectores, los cuales se enlistan en el cuadro 1.

Cuadro 1. Centros poblados de San Pedro La Laguna, Sololá.

Nombre	Categoría
Pacucha	Cantón
Chuacanté	Cantón
Chuasanahi	Cantón
Tzanjay	Cantón
Bella Vista	Sector
Chepacoral	Sector

Fuente: elaboración propia con base en SEGEPLAN, 2005.

La distribución de habitantes por cantón del municipio se presenta en la figura 2.



Fuente: elaboración propia con base en datos proporcionados por la municipalidad de San Pedro La Laguna. 2018.

Figura 2. Distribución de habitantes por cantón en San Pedro La Laguna.

Según los datos proporcionado por la municipalidad, el cantón Chuasanahí es el más poblado, con 4,680 habitantes; siendo el cantón Tzanjay el menos poblado con 3,432 habitantes.

1.2.8. Bosque

En San Pedro La Laguna se encuentran bosques de coníferas, latifoliadas y mixtos, donde cierta parte de estas áreas están incluidas dentro de sistema eco regionales únicos. De acuerdo a la vocación de los suelos del municipio, el territorio debería contar con aproximadamente el 70 % de sus suelos cubiertos de bosques.

La deforestación de los bosques es una de las principales razones de la disminución del área boscosa, derivado del crecimiento poblacional, la expansión de la frontera agrícola, incendios y por el uso de leña como combustible. Las especies más utilizadas y solicitadas por los consumos familiares son el pino, ciprés, encino, pino colorado, aliso, canoj y taxiscobo. (SEGEPLAN, 2005)

1.2.9. Clima y temperatura

El clima del municipio generalmente es templado. La temperatura oscila entre los 13 °C y los 20 °C. Los meses más fríos son enero y febrero con temperaturas menores a los 10 °C. (SEGEPLAN, 2005)

1.2.10. Hidrografía

El municipio de San Pedro La Laguna pertenece a la cuenca del Lago de Atitlán, la cual tiene un área de 541 km² de los cuales 130 km² son abarcados por el cuerpo de agua, el cual posee un desagüe subterráneo dirigido al río Madre Vieja. El agua del lago es utilizada para riego de siembras de hortalizas, que se encuentran en las orillas de este. Además, a través de bombeo, el recurso hídrico se traslada a los pozos de agua para su posterior distribución y así estar disponible para el consumo humano.

Las principales causas de contaminación de este cuerpo de agua provienen de las descargas de aguas grises domiciliarias, detergentes utilizados para lavar ropa a las orillas del lago y residuos de producción agrícola que por escorrentía son depositados en el cuerpo de agua. (García S, 2008)

1.3. OBJETIVOS

1.3.1. Objetivo general

Conocer el manejo de los residuos y desechos sólidos en el municipio de San Pedro La Laguna, para identificar la problemática principal que afecta el buen funcionamiento de la gestión de los desechos sólidos.

1.3.2. Objetivos específicos

1. Identificar el tipo de residuos y desechos sólidos que son generados en el municipio.
2. Conocer las operaciones de manejo de los residuos y desechos desde la fuente generadora hasta la disposición final de los desechos sólidos.
3. Identificar la problemática principal en el manejo de los residuos y desechos sólidos en San Pedro La Laguna.

1.4. METODOLOGÍA

1.4.1. Consulta fuentes primarias y secundarias de información

- Esta fase se llevó a cabo a través de entrevistas que permitieron conocer la forma en que se realiza el manejo de residuos y desechos sólidos, desde la generación de las basuras hasta la disposición final y recuperación de los residuos, conociendo la caracterización de los residuos y desecho generados por la comunidad e identificación de procesos inadecuados y debilidades en el proceso de manejo de las basuras domiciliarias.
- A través de las fuentes de información digitales de la municipalidad de San Pedro La Laguna, fue posible obtener datos registrados que permitieron ampliar la información obtenida a partir de las fuentes primarias.

1.4.2. Fase de reconocimiento

Se realizaron visitas de campo para corroborar datos obtenidos de las distintas fuentes de información.

1.4.3. Fase de gabinete

Se redactó la información obtenida en el presente documento, con el propósito de conocer ordenadamente las diferentes etapas del manejo de los residuos y desechos sólidos, y así poder identificar los problemas dentro de los procesos.

1.4.4. Fase de análisis

La información obtenida a través de las fuentes primarias, secundarias y visitas de campo, fue analizada y priorizada con el propósito de identificar los problemas principales en el manejo de los residuos y desechos sólidos en el municipio.

1.5. RESULTADOS

1.5.1. Administrador del manejo de los residuos y desechos sólidos en San Pedro La Laguna

El ente encargado de administrar el manejo de los residuos y desechos sólidos en el municipio, es la municipalidad de San Pedro La Laguna, siendo la Dirección de Gestión Ambiental Municipal (DIGAM) la oficina a cargo de llevar a cabo el manejo adecuado de las basuras generadas en el municipio.

La municipalidad de San Pedro La Laguna fue condecorada con la medalla presidencial del medio ambiente, por la aprobación del acuerdo municipal 111-2016, el cual prohíbe el uso de bolsas plásticas, duroport, pajillas y tetra pack.

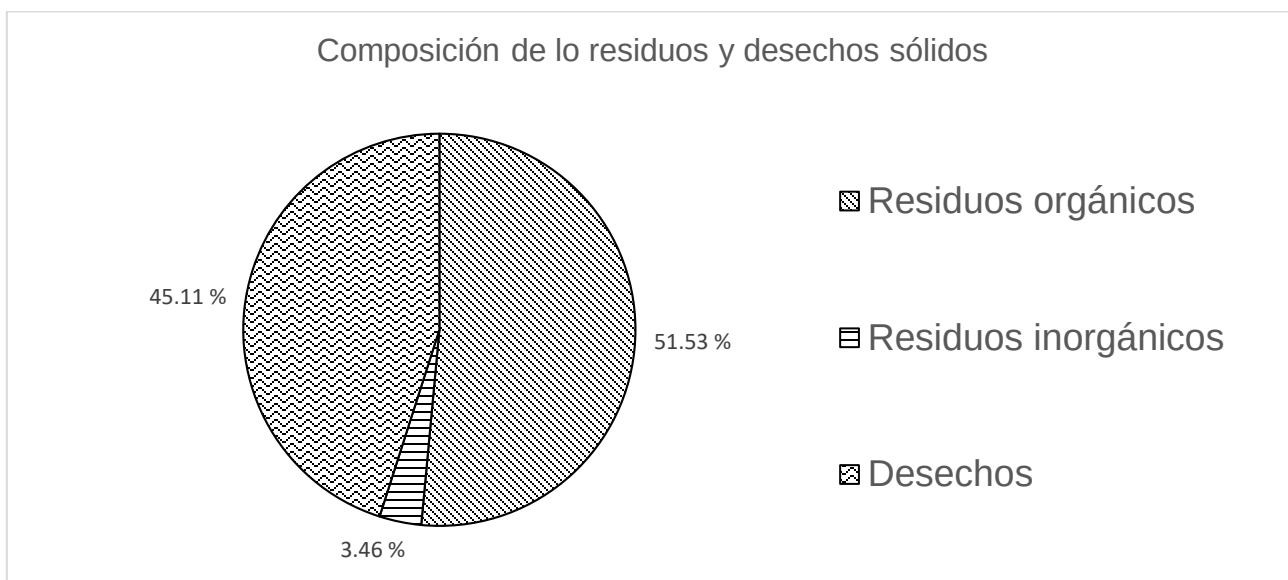
A. Educación ambiental sobre el manejo de residuos y desechos sólidos

La municipalidad de San Pedro La Laguna en asociación con la Autoridad para el Manejo Sustentable del lago de Atitlán y su Entorno (AMSCLAE) promueven programas y campañas de concientización ambiental a grupos de mujeres y niños, con el propósito de establecer un sistema de clasificación de los residuos y desechos sólidos desde el origen para una adecuada disposición final y eficiente recuperación de materiales reciclables.

1.5.2. Situación del manejo de los residuos y desechos sólidos

A. Generación de residuos y desechos sólidos

Según ProAtitlán, 2017, en la caracterización de los residuos y desechos sólidos del municipio de San Pedro La Laguna, un habitante genera 0.37 kg/día. En la figura 3, se puede observar el porcentaje cada tipo de residuos y desechos sólidos generado.



Fuente: elaboración propia con base en ProAtitlán, 2017.

Figura 3. Principales residuos y desechos sólidos generados en San Pedro La Laguna.

A pesar de la promulgación del acuerdo municipal 111-2016, aproximadamente el 25 % de la población sigue utilizando bolsas plásticas, duroport y pajillas. Los cuales, a través de monitoreos son identificados y sancionados por parte de la municipalidad, quienes, a través del acuerdo en mención, establecen lo siguiente:

- “Toda persona individual y jurídica que haga uso de estos productos de único uso, inútiles y no reusables, pajillas, duroport y sus derivados, será sancionada con una multa de trescientos quetzales exactos (Q. 300.00)”. (Acuerdo municipal 111-2016. 2016)
- “A las empresas que comercialicen y distribuyan bolsas plásticas, duroport, pajillas y derivados, dentro del municipio de San Pedro La Laguna, se le sancionara con una multa de quince mil quetzales exactos (Q. 15,000.00)”. (Acuerdo municipal 111-2016. 2016)

B. Almacenamiento temporal

Los residuos y desechos sólidos son clasificados en orgánicos e inorgánicos desde la fuente, almacenándolos en recipientes plásticos o costales, para luego entregarlos al personal del tren de aseo.

C. Recolección y transporte

La municipalidad de San Pedro La Laguna está equipada con dos camiones utilizados en el tren de aseo, un camión marca KIA, modelo 2014, de 5 t y un camión marca HINO, modelo 2010 de 4.50 t, los cuales prestan el servicio de lunes a domingo en horario de 7:00 a 17:00 horas.

Para la operación del tren de aseo existen seis personas contratadas por la municipalidad, dos conductores de camión y cuatro ayudantes recolectores (dos por camión). Este servicio cubre aproximadamente al 95 % de la población del municipio. El costo del servicio es de Q. 1.00 por costal, el cual se paga en el momento que se lleva a cabo la recolección. La Dirección de Gestión Ambiental Municipal (DIGAM) reporta que únicamente el 70 % de personas que utilizan el servicio pagan la tarifa.

a. Barrido de calles

La limpieza de las calles es realizada por tres empleados municipales, los cuales se encargan de barrer las calles del municipio de lunes a viernes de 7:00 a 17:00 horas. Actualmente no se cuenta con una caracterización de los desechos sólidos generados del barrido de calles.

b. Vertederos ilegales a cielo abierto

En el año 2016 se tenían identificados treinta y cuatro basureros ilegales, los cuales han ido siendo eliminados través de obras de limpieza y acuerdos establecidos con los propietarios de los terrenos, donde eran depositados los residuos y desechos. Para el año 2018 se tiene registro de diez basureros ilegales, representando una disminución del 70.58 % de lugares contaminados.

D. Tratamiento y disposición final

Los residuos y desechos sólidos generados en el municipio son transportados a la planta de tratamiento ubicada a 4.50 km del casco urbano, en el sector Tik'bel'ya, la cual se referencia en la figura 4. La cual fue construida, en el año 2016, con fondos proporcionados por la Mancomunidad de municipios Kakchiquel, Chichoy, Atitlán (MANKATITLAN), Autoridad para el Manejo Sustentable de la Cuenca del Lago de Atitlán y su Entorno (AMSCLAE) y el Programa de las Naciones Unidas para el Desarrollo (PNUD). La

distribución de áreas de la planta de tratamiento se enlista en el cuadro 2 y se grafican en la figura 5.

Cuadro 2. Distribución de áreas de la planta de tratamiento.

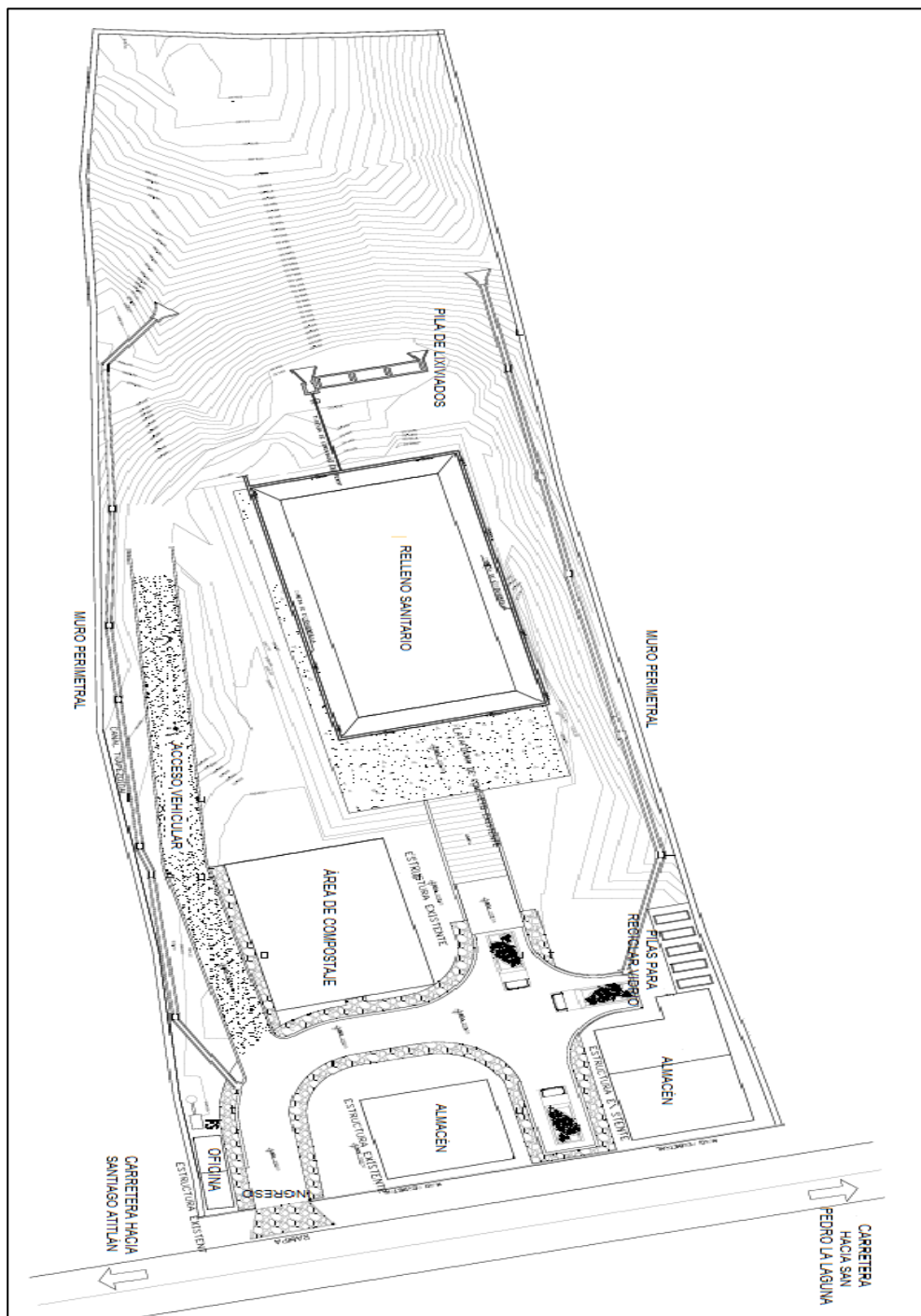
Distribución de áreas	Área (m ²)
Planta de tratamiento	4,712.65
Bodega para almacenar PET	150.00
Piletas para separación de vidrios	12.60
Oficina	97.00
Área de compostaje	150.00
Área de clasificación	115.00
Área para compactadoras	100.00
Oficina de recepción	97.00

Fuente: elaboración propia con base en ProAtitlán, 2017.



Fuente: elaboración propia utilizando el programa Google Earth Pro, 2018.

Figura 4. Ubicación de la planta de tratamiento de residuos y desechos sólidos



Fuente: elaboración propia con base en Polo, M. 2005.

Figura 5. Distribución de áreas de la planta de tratamiento.

En la planta de tratamiento de residuos y desechos sólidos, se cuenta con once personas contratadas para el funcionamiento de la planta de tratamiento municipal, de las cuales

cuatro trabajan en el área de desechos orgánicos y compostaje, seis en el relleno sanitario y una persona en el área de reciclaje. Es importante mencionar que no existen guajeros que estén retirando materiales reciclables de la planta de tratamiento.

Diariamente se transportan 1.50 t de residuos y desechos que son depositadas a través del tren de aseo. Según menciona el encargado de la planta de tratamiento, Caniz L, 2018. Existen personas que no entregan los residuos y desechos clasificados a los camiones recolectores, lo cual no permite que estas basuras sean tratadas adecuadamente y solamente sean depositadas en la ladera final del terreno de la planta de tratamiento, lo que favorece la acumulación de desechos, proliferación de plagas, propagación de vectores transmisores de enfermedades, malos olores y contaminación ambiental.

E. Compostaje

Los residuos orgánicos que se recolectan son integrados en los procesos de compostaje que realizan los trabajadores de la municipalidad dentro de la planta de tratamiento, donde se producen, aproximadamente, treinta sacos de compost por semana, el cual es utilizado por los acreedores como abono orgánico en producciones agrícolas y jardinería.

F. Relleno sanitario

El relleno sanitario fue diseñado para un periodo de 10 años de vida, este tiene una capacidad de 6,986 m³. En este se disponen todos los desechos sólidos, los cuales no son compactados y cubiertos para su adecuada disposición. Actualmente el relleno sanitario se encuentra cerca de la saturación, lo cual se debe a la acumulación desordenada y acelerada de residuos no recuperados y desechos dispuestos en él. Por otro lado, los lixiviados generados dentro del relleno sanitario son transportados a las pilas de almacenamiento establecidas dentro de la planta.

1.5.3. Análisis de problemas

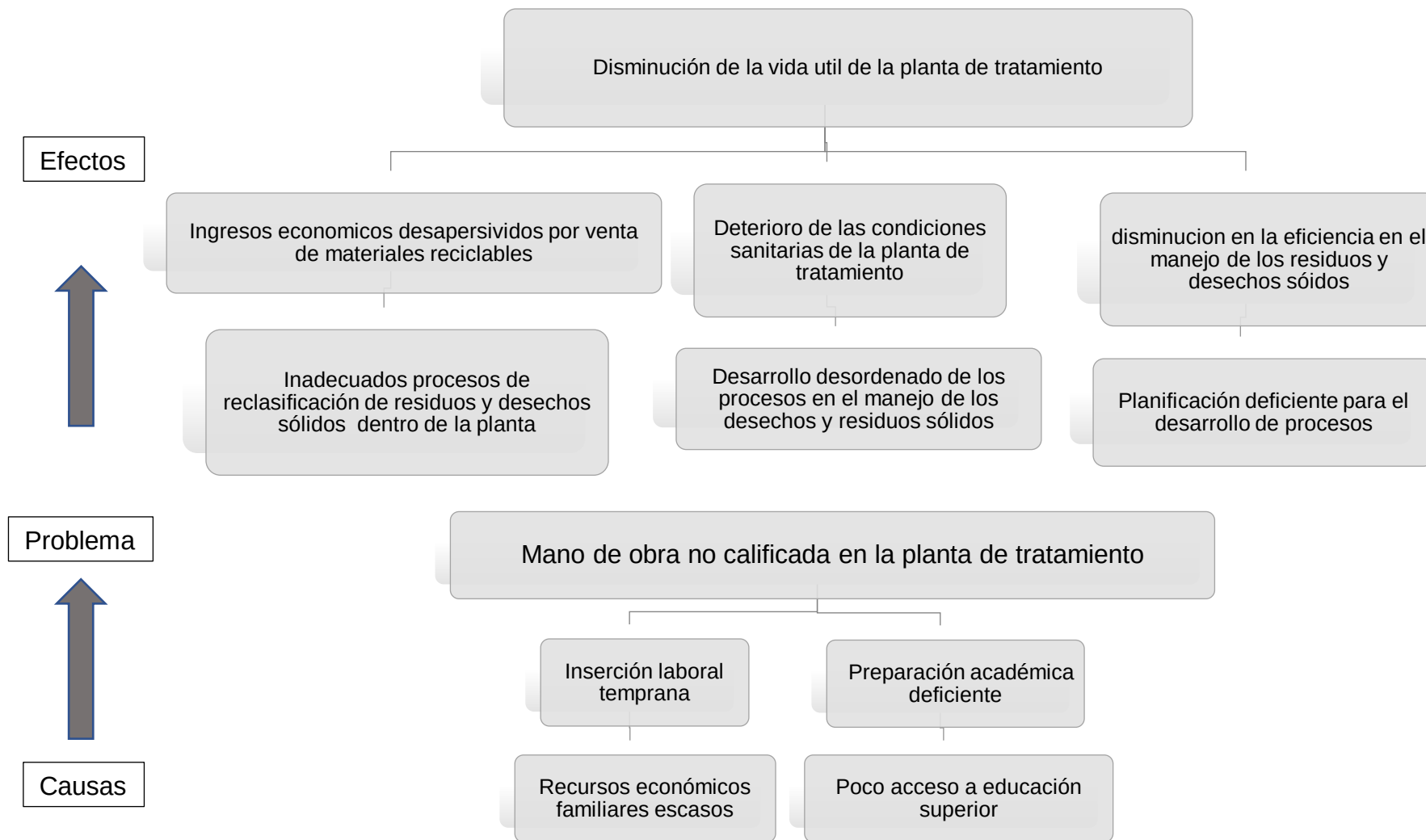
A. Problemas identificados

1. Acumulación desordenada de residuos y desechos sólidos en la planta de tratamiento municipal.
2. Mano de obra no calificada en la planta de tratamiento.
3. Deficientes programas de control y seguimiento para que se cumpla lo establecido en el acuerdo municipal 111-2016.



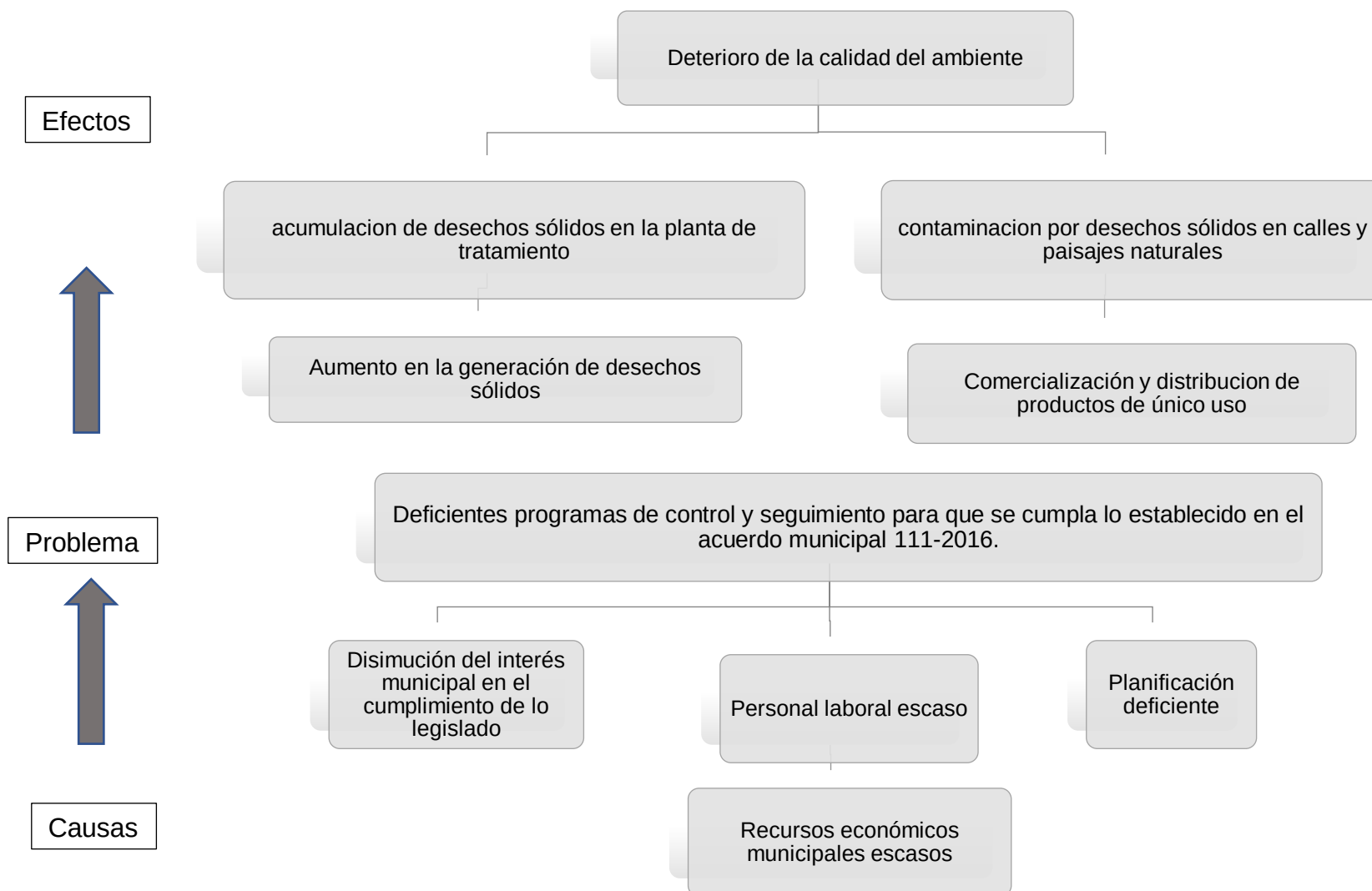
Fuente: elaboración propia, 2018.

Figura 6. Árbol de problemas: acumulación desordenada de residuos y desechos sólidos en la planta de tratamiento.



Fuente: elaboración propia, 2018.

Figura 7. Árbol de problemas: mano de obra no calificada en la planta de tratamiento.



Fuente: elaboración propia, 2018.

Figura 8. Árbol de problemas: deficiente programas de control y seguimiento para que se cumpla lo establecido en el acuerdo municipal 111-2016

B. Árbol de problemas del manejo de los residuos y desechos sólidos en el municipio

A través del diagnóstico realizado, para desarrollar la presente investigación, se elaboró un árbol de problemas por cada problema identificado, los cuales se presentan en la Figura 6, Figura 7 y Figura 8. Los cuales se analizarán a continuación:

a. Acumulación desordenada de residuos y desechos sólidos en la planta de tratamiento

Partiendo de las causas que provocan la acumulación desordenada de las basuras urbanas en la planta de tratamiento, se puede identificar la escases de presupuesto asignado a la planta de tratamiento, una cultura débil de reciclaje, reúso y reducción de materiales y la falta de personal capacitado para el manejo de los procesos dentro de la planta.

Los efectos son notables, ya que de este problema se incrementan los riesgos en la salud de la población del municipio, así como, en la integridad física de los trabajadores de la planta de tratamiento. Así mismo, derivado de este problema se impacta directamente en el ambiente, a través de la infiltración de los lixiviados al suelo, se reduce la capacidad adquisitiva de ingresos por no poder recuperar residuos sólidos que pudiesen ser comercializados.

b. Mano de obra no calificada en la planta de tratamiento

Este problema tiene sus causas en la poca accesibilidad a la educación superior en el municipio, lo cual no permite que los habitantes desarrollen una profesión académica que favorezca al correcto funcionamiento de la planta de tratamiento. Además, este problema se deriva de la necesidad de los habitantes por generar ingresos económicos a las familias por lo que deben abandonar a temprana edad los estudios para entrar al mercado laboral formal o informal.

Este problema afecta directamente al correcto funcionamiento de la planta de tratamiento ya que no existe personal que desarrollen una planificación que permita desarrollar procesos adecuados para el correcto funcionamiento de la planta, disminuyendo la eficiencia en el manejo, tratamiento y recuperación de los residuos y desechos sólidos.

c. Deficiente programas de control y seguimiento para que se cumpla lo establecido en el acuerdo municipal 111-2016.

Las deficiencias en el control y seguimiento para que se cumpla lo establecido en el acuerdo municipal 111-2016 son causadas principalmente a la mala planificación de la municipalidad, a los escasos recursos económicos que permitan la contratación de personal que se dedique a estas operaciones y a la disminución del interés de la municipalidad para que se cumpla lo establecido en dicho acuerdo.

Esto tiene un efecto directo en el aumento de la generación de desechos sólidos los cuales serán acumulados en el relleno sanitario de la planta de tratamiento. Además, se incrementa la contaminación del municipio y del paisaje natural derivado de la comercialización y distribución de materiales de único uso, lo cual deteriora la calidad del ambiente.

C. Análisis de priorización de problemas identificados

El análisis de los problemas identificados en el manejo de los residuos y desechos sólidos se establece en el cuadro 3. para los fines del presente análisis se utilizará la siguiente escala de medición:

0= Nivel bajo

1= Nivel medio

2= Nivel alto

Cuadro 3. Matriz de priorización de problemas en el manejo de los desechos sólidos.

Problemas identificados	Magnitud (personas afectadas)	Gravedad (cuánto daño causa)	Capacidad (que posibilidad de solución)	Beneficio / impacto (cuanto nos beneficia su solución)	Tiempo (a corto, mediano y largo plazo)	Puntaje	Orden de prioridad
1	1	2	1	1	1	6	3
2	2	2	1	2	1	8	2
3	2	2	2	2	1	9	1

Fuente: elaboración propia, 2018.

1.6. CONCLUSIONES

1. En el año 2018 el Centro de Cooperación Internacional, a través de ProAtitlán, llevó a cabo la caracterización de los residuos y desechos sólidos de San Pedro La Laguna, en el cual se determinó que la producción per cápita de residuos y desechos sólidos es de 0.37 kg/día. El estudio de la composición de las basuras generadas en el municipio demuestra que los materiales más generados son los residuos orgánicos en un 51.53 %, los desechos en un 45.11 % y los residuos inorgánicos 3.46 %, los cuales son recuperados y comercializados.
2. El manejo de los residuos y desechos sólidos en el municipio de San Pedro La Laguna está a cargo de la corporación municipal. Quien a través de programas de concientización ambiental han logrados avances en la clasificación de los residuos y desechos, desde el origen, en orgánico biodegradable, reciclable y desechos; el servicio de tren de aseo es un servicio proporcionado por la municipalidad y es utilizado por el 95 % de la población del municipio; las basuras recolectadas son transportadas a la planta de tratamiento de residuos y desechos sólidos en donde son recuperados los residuos y dispuestos los desechos.
3. Los problemas identificados en el municipio, relacionados al manejo de los residuos y desechos sólidos, son: deficientes programas de control y seguimiento para que se cumpla lo establecido en el acuerdo municipal 111-2016, mano de obra no calificada en la planta de tratamiento y procesos desarrollados desordenadamente en la planta de tratamiento municipal en donde se acumulan aceleradamente los desechos generados, reduciendo la vida útil de la misma y generando impactos al ambiente lo cual deteriora la calidad de vida de los habitantes del municipio.

1.7. RECOMENDACIONES

1. Se recomienda llevar a cabo una nueva caracterización de los residuos y desechos sólidos del municipio, a partir de los resultados publicados del censo realizado en el año 2017. Para poder ejecutar proyectos en los que sean manejados adecuadamente todas las basuras generadas en el municipio de San Pedro La Laguna.
2. Establecer y fortalecer el apoyo interinstitucional con organismos nacionales e internacionales, con el propósito de generar relaciones que permitan alcanzar los objetivos establecidos por la corporación municipal para el manejo adecuado de los residuos y desechos sólidos.
3. Establecer monitoreos continuos en los comercios, puestos de mercado y ventas de alimentos para velar por que se cumpla lo establecido en el acuerdo 111-2016 y así evitar la generación de desechos sólidos en el municipio.
4. Fortalecer los programas de sensibilización y educación ambiental en los centros educativos del municipio, haciendo énfasis en el manejo adecuado de los residuos y desechos sólidos.
5. Establecer capacitaciones continuas para los trabajadores municipales encargados del manejo de los residuos y desechos sólidos, con el propósito de mejorar el proceso de compostaje, recuperación de materiales reciclables y disposición final de los desechos sólidos.
6. Establecer programas de incentivos, a través de tarifas diferenciadas, y monitoreos en el servicio de tren de aseo, con el propósito de dar continuidad y fortalecer las prácticas de clasificación de las basuras desde las fuentes generadoras.
7. Los materiales recolectados y transportados por el tren de aseo hacia la planta de tratamiento, deben ser reclasificados en un área externa al relleno sanitario, con el objetivo de evitar que los residuos inorgánicos se contaminen con los desechos dispuestos en el relleno y así aumentar la eficiencia en la recuperación de estos materiales y aumentar los ingresos económicos percibidos por la comercialización de estos.
8. Establecer relaciones directas de comercialización con empresas recicladoras, con el propósito de aumentar los ingresos derivados de la venta de residuos recuperados.

1.8. BIBLIOGRAFÍA

1. Caníz, L. 2018. Procesos del funcionamiento de la planta de tratamiento de residuos y desechos sólidos de San Pedro La Laguna, Sololá, Guatemala (entrevista). San Pedro La Laguna, Sololá, Guatemala, Planta de tratamiento de de residuos y desechos sólidos, Encargado de la planta.
2. Alvarado, E. 2010. Evaluación y propuesta de mejora de la situación actual del manejo de los desechos sólidos en el municipio de Palencia, departamento de Guatemala. Tesis Ing. Industrial. Guatemala, Universidad de San Carlos de Guatemala, Facultad de Ingeniería. 172 p.
3. Gaitán, M. 2008. Financiamiento de unidades turísticas (hotelería) y proyecto: Producción de apio, municipio de San Pedro La Laguna, departamento de Sololá. Tesis Cont. Púb. Audit. Guatemala, Universidad de San Carlos de Guatemala, Facultad de Ciencias Económicas. 169 p.
4. García, S. 2008. Diagnóstico socioeconómico, potencialidades productivas y propuestas de inversión, municipio de San Pedro La Laguna, departamento de Sololá. Tesis Cont. Púb. Audit. Guatemala, Universidad de San Carlos de Guatemala, Facultad de Ciencias Económicas. 749 p.
5. López, J. 2008. Organización empresarial (producción de café) y proyecto: producción de melocotón, municipio de San Pedro La Laguna, departamento de Sololá. Tesis Admon. Emp. Guatemala, Universidad de San Carlos de Guatemala, Facultad de Ciencias Económicas. 166 p.
6. Municipalidad de San Pedro La Laguna, Sololá, Guatemala. 2016. Acuerdo municipal no. 111-2016: prohibir el uso, venta y distribución de bolsas plásticas, duroport, pajillas y derivados, en el municipio de San Pedro La Laguna, Sololá, a fin de minimizar los graves perjuicios que el exceso de ese tipo de productos está generando en el ambiente y el lago de Atitlán. Diario de Centro América, Guatemala, octubre 7: 3. Disponible en: www.marn.gob.gt/Multimedios/13052.pdf
7. Polo, M. 2005. Plano conjuntos, construcción infraestructura tratamiento de desechos sólidos relleno sanitario controlado, para el municipio de San Pedro La Laguna, Sololá. San Pedro La Laguna, Sololá, Guatemala, Municipalidad de San Pedro La Laguna. Esc. 1:250.

8. ProAtitlán, Guatemala. 2017a. Diagnóstico municipal del manejo de desechos sólidos, municipio de San Pedro La Laguna, Sololá, Guatemala. San Pedro La Laguna, Sololá, Guatemala, Centro de Estudios y Cooperación Internacional –CECI– / Consultora Multiprofesional S.A. –Multipsa–. 23 p.
9. _____. 2017b. Informe de cuantificación, caracterización de residuos y desechos sólidos, municipio de San Pedro La Laguna, Sololá, Guatemala. San Pedro La Laguna, Sololá, Guatemala, Centro de Estudios y Cooperación Internacional –CECI– / Consultora Multiprofesional S.A. –Multipsa–. 19 p.
10. SEGEPLAN (Secretaría General de Planificación y Programación de la Presidencia de la República, Guatemala). 2005. Plan de desarrollo municipal con enfoque territorial 2008-2018, municipio de San Pedro La Laguna, departamento de Sololá. 63 p.

1.9. ANEXOS



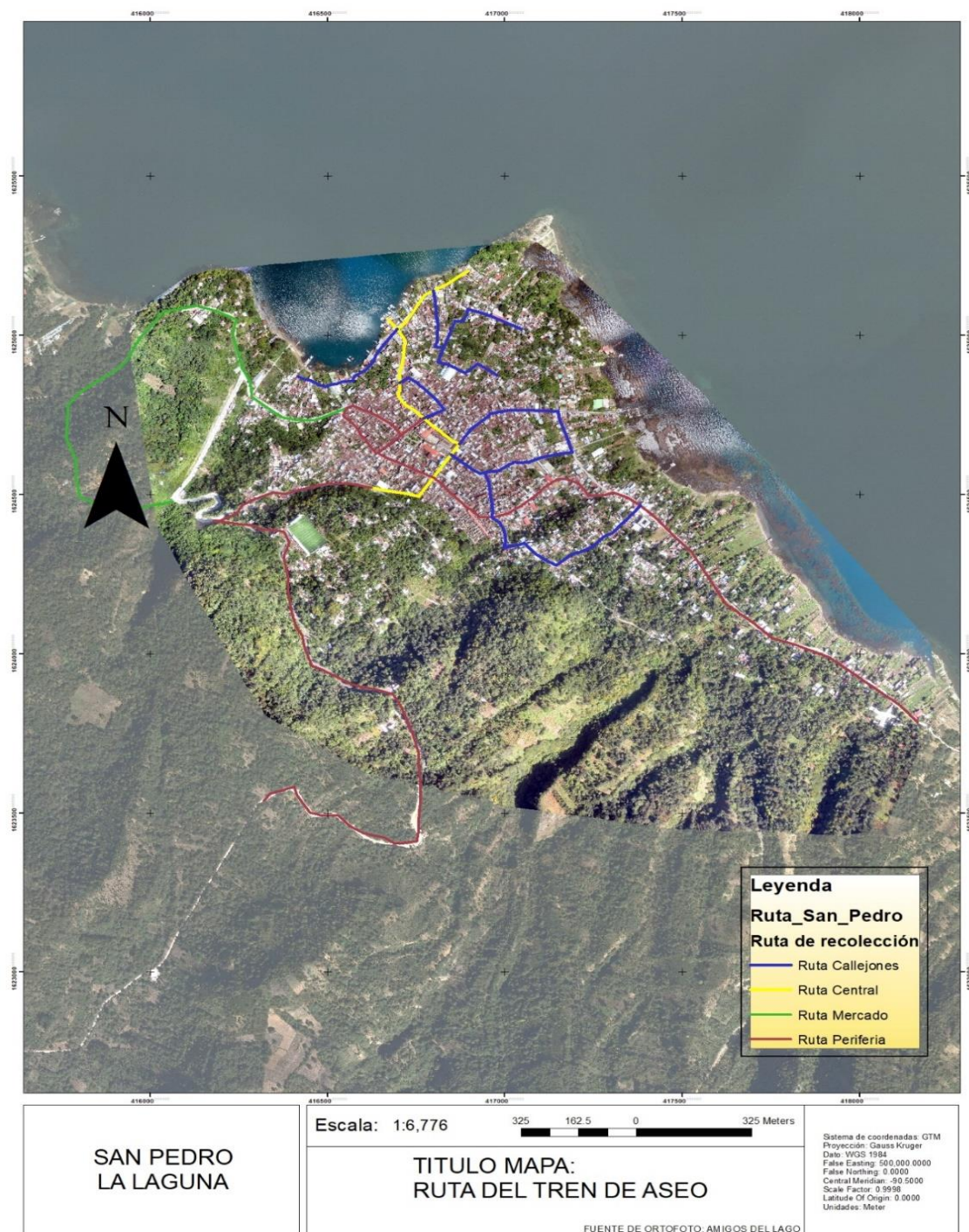
Fuente: elaboración propia, 2018.

Figura 9A. Almacenamiento temporal por tipo de residuo y desecho.

CENTRO DE ACOPIO DE DESECHOS SOLIDOS	
DIAS DE RECOLECCIÓN	TIPO DE DESECHOS
LUNES	ORGÁNICO E INORGÁNICO
MARTES	ORGÁNICO E INORGÁNICO
MIÉRCOLES	RECICLABLE
JUEVES	ORGÁNICO E INORGÁNICO
VIERNES	ORGÁNICO E INORGÁNICO
SÁBADO	ORGÁNICO E INORGÁNICO
DOMINGO	ORGÁNICO E INORGÁNICO
NO SE RECIBIRÁ OTRO TIPO DE DESECHO QUE NO CORRESPONDA AL DIA DE RECOLECCIÓN	

Fuente: elaboración propia, 2018.

Figura 10A. Tipo de residuos y desechos sólidos recolectados por día.



Fuente: ProAtitlán. 2017.

Figura 11A. Mapa de rutas del tren de aseo municipal.



Fuente: elaboración propia, 2018.

Figura 12A. Servicio de tren de aseo municipal.



Fuente: elaboración propia, 2018.

Figura 13A. Área de tratamiento de residuos orgánicos.



Fuente: elaboración propia, 2018.

Figura 14A. Relleno sanitario.



Fuente: elaboración propia, 2018.

Figura 15A. Depósito de residuos reciclables.



Fuente: elaboración propia, 2018.

Figura 16A. Pilas receptoras de lixiviados.



Fuente: elaboración propia, 2018.

Figura 17A. vertedero a cielo abierto dentro de la planta de tratamiento.

CAPÍTULO II

EVALUACIÓN DEL FUNCIONAMIENTO DE LA PLANTA DE TRATAMIENTO DE RESIDUOS Y DESECHOS SÓLIDOS DEL MUNICIPIO DE SAN PEDRO LA LAGUNA, SOLOLÁ, GUATEMALA, C.A.

2.1. INTRODUCCIÓN

A través del Ejercicio Profesional Supervisado, se desarrolló una evaluación del funcionamiento de la planta de tratamiento del municipio de San Pedro La Laguna, la cual es administrada por la Dirección de Gestión Ambiental Municipal (DIGAM).

Los desechos y residuos sólidos en el municipio representan una problemática por la alta contaminación al ambiente, motivo por el cual es importante realizar una evaluación del funcionamiento de la planta de tratamiento, con el propósito de proveer información que permita a la municipalidad u otras instituciones, diseñar e implementar proyectos que busquen la disminución de impactos al ambiente generados por la disposición inadecuada de los residuos y desechos sólidos dentro de la planta, la cual empezó a funcionar en el año 2016.

Este documento muestra el estado actual de la planta de tratamiento, la eficiencia en los procesos de recuperación y tratamiento de residuos sólidos, eficiencia económica de la planta de tratamiento y los impactos generados al ambiente por el vertedero establecido dentro de las instalaciones.

Con respecto a la eficiencia de manejo y recuperación de los residuos orgánicos compostables, se recupera únicamente el 4.52 % de los materiales que ingresan en un día, pudiéndose alcanzar valores de eficiencia del 90 % si el área de compostaje tuviera las dimensiones adecuadas para el manejo de los residuos compostables. El valor de eficiencia determinado, permitió identificar la necesidad de proponer mejoras técnicas y así acelerar el proceso de degradación y evitar la acumulación de residuos en el área de compostaje y la disposición de materia orgánica en el vertedero de la planta de tratamiento.

La recuperación de los residuos no compostables (tereftalato de polietileno (PET), plástico duro, plástico soplado, aluminio, metales varios, papel y cartón) responde al 97.38 % de eficiencia, estos materiales recuperados por los trabajadores municipales son comercializados con empresas recicladoras a través de un intermediario. Los materiales que se rechazan en la recuperación se descartan principalmente a que se encuentran contaminados con gasolina, aceites, grasas o pinturas.

Como parte de la evaluación realizada se determinó la eficiencia económica de la planta de tratamiento a través de la relación beneficio/costo, la cual es igual a Q. 0.17. Haciendo mención de que la planta de tratamiento fue creada con fines de servicios ecológicos para el cuidado del ambiente y no con fines de lucro.

La disposición representa la última y una de las más importantes fases del manejo de los residuos y desechos sólidos. esta fase se lleva a cabo en un relleno sanitario en donde los materiales son dispuestos desordenadamente y sin técnicas de manejo adecuado de rellenos sanitarios.

Uno de los problemas identificados en la planta de tratamiento es la nula planificación para el desarrollo de actividades para el manejo, recuperación y disposición de los residuos y desechos sólidos. Lo cual no permite obtener información precisa para elaborar diseños que se adecuen a los volúmenes y pesos de residuos y desechos sólidos que ingresan diariamente a la planta de tratamiento. Debido a esto, la capacidad de la infraestructura diseñada y construida para el relleno sanitario y del área de compostaje no tiene la capacidad para almacenar temporal o permanentemente los residuos y desechos sólidos que ingresan, teniendo un efecto negativo en la vida útil de la planta de tratamiento.

Derivado de la ineficiencia del proceso de compostaje y del colapso del relleno sanitario, se ha llevado a cabo la disposición de materiales orgánicos y desechos sólidos en la ladera que se encuentra ubicada en la parte final de la planta de tratamiento, lo cual genera impactos en el medio físico-químico, biótico y social, impactos que fueron evaluados a través de la matriz de Leopold.

2.2. MARCO TEÓRICO

2.2.1. Marco conceptual

A continuación, se presentan las bases conceptuales que darán los fundamentos para el análisis del funcionamiento de la planta de tratamiento de desechos sólidos del municipio de San Pedro La Laguna. Además, se establecen principios conceptuales que permitan soportar las acciones propuestas para mejorar el funcionamiento de la misma.

A. Basura

Es todo material que suele ser excluido por no tener más vida útil y no ser más provechoso para las personas, este término se utiliza para describir tanto a los desechos como a los residuos sólidos. (Alegría, 2015)

B. Residuo

Se considera residuo a los restos de materiales producto de las actividades humanas, los cuales no poseen valor económico para el generador. Estos materiales pueden ser reincorporados a procesos productivos a través de la recuperación de residuos reciclables y asignarles un valor económico. (Sepúlveda, 2010)

C. Desecho

Los desechos se definen como todo material, sustancia, mezcla u otros objetos descartables, que carece de valor para el poseedor y debe ser eliminado o dispuesto permanentemente. (Say, A, 2007)

D. Desechos sólidos

Según el acuerdo municipal 028-2002 del municipio de Guatemala, los desechos sólidos son: “residuos de materiales que han sido utilizados por el hombre para sus actividades que se lanzan al medio ambiente y pueden causar contaminación” (Municipalidad de Guatemala, 2002).

E. Clasificación de los desechos y residuos sólidos

Esta clasificación está definida por el tipo de desechos y residuos sólidos que son generados en el municipio de San Pedro La Laguna, los cuales serán descritos con el propósito de conocer los términos utilizados en el desarrollo de la presente investigación.

F. Residuos sólidos orgánicos biodegradables

Son aquellos residuos que poseen la característica de poder degradarse rápidamente, transformándose en otro tipo de materia orgánica donde no son agentes de contaminación. (Sepúlveda, 2010)

G. Desechos sólidos orgánicos e inorgánicos

Es todo tipo de desechos que por su composición química no puede ser degradado rápidamente por el ambiente y que no pueden ser reincorporados a procesos productivos y darles un valor económico. (Sepúlveda, 2010)

H. Residuos orgánicos e inorgánicos reciclables

Es todo tipo de residuo que por su composición química no puede ser degradado rápidamente por el ambiente pero que pueden ser reincorporados a procesos productivos, diferentes a los de su creación, y darles un valor económico para su comercialización. (Sepúlveda, 2010)

I. Planta de tratamiento de desechos sólidos

Es el lugar en donde los desechos y residuos sólidos son dispuestos finalmente, para que puedan ser manejados y recuperados todos los residuos aprovechables y con esto reducir el volumen de desechos acumulados. (Franco, J. 2016)

J. Tratamiento de desechos y residuos sólidos

El tratamiento es la fase final de la cadena del manejo de los desechos y residuos sólidos, en este eslabón final se busca disponer estos materiales en las instalaciones adecuadas

para evitar posibles afectaciones al ambiente y la salud humana. Para la correcta funcionalidad de las plantas de tratamiento se pueden aplicar las siguientes técnicas:

K. Compostaje

Según el Manual de Compostaje del Agricultor, elaborado por la FAO, define el compostaje como: “la mezcla de materia orgánica en descomposición en condiciones aeróbicas que se emplea para mejorar la estructura del suelo y proporcionar nutrientes”. (FAO, 2013)

El compostaje reduce la generación de gases dentro del relleno sanitario y permite la reducción del volumen de los desechos orgánicos biodegradables. El producto del compostaje, compost, es útil en los suelos ya que permite mejorar la estructura, porosidad, mejora la actividad biológica aportando organismos, mejora las propiedades químicas, aumenta la retención de humedad, favorece la absorción de carbono, y disminuye el riesgo a erosión y desertificación. (FAO, 2013)

A través de la descomposición del carbono y nitrógeno de la materia orgánica, los microorganismos liberan calor que se puede medir a través de los cambios de temperatura a lo largo del proceso, lo cual permite reconocer cuatro etapas principales en el compostaje, según la temperatura las etapas son las siguientes:

- Fase mesófila: debido a la actividad microbiana la temperatura aumenta hasta los 45 °C, el pH puede descender cerca de 4.00 o 4.50.
- Fase termófila o de higienización: debido a la actividad bacteriana en los procesos de degradación de fuentes complejas de carbono, la temperatura aumenta hasta los 60 °C, el pH inicia una etapa de regularización y empieza a subir.
- Fase de enfriamiento: una vez se han agotado las fuentes de carbono y nitrógeno de los residuos orgánicos, la temperatura empieza a descender hasta los 40 °C a 45 °C. Cuando la temperatura baja de 40 °C el pH se encuentra levemente alcalino.
- Fase de maduración: esta fase final es un periodo en el que el compost se mantiene a temperatura ambiente, en donde se da la formación de ácidos húmicos y fúlvicos, los cuales le dan las características finales al compost alcanzando la estabilidad.

L. Microorganismos eficientes

Son microorganismo de aproximadamente 80 especies que pertenecen a los siguientes grupos: actinomicetos, bacterias fotosintéticas, levaduras y bacterias productoras de ácido láctico. Estos microorganismos tienen la función de descomponer materia orgánica biodegradable, favorecen el follaje, floración y fructificación de las plantas, eliminan sustancias tóxicas del suelo y elimina la presencia de olores y plagas como moscas de las zonas de compostaje. (Tencio, R. 2015)

M. Relleno sanitario

Los rellenos sanitarios son una técnica donde se aplican principios de ingeniería, en la que se lleva a cabo la disposición final de los desechos sólidos, esta es realizada con el propósito de asegurar la calidad y salud de los habitantes, proteger el ambiente y los recursos naturales, esto durante su operación y posterior a su clausura. (Jaramillo, J. 2002)

En esta técnica, los desechos sólidos dispuestos en los rellenos sanitarios son cubiertos con tierra diariamente y compactados, persiguiendo la reducción del volumen. Además, la base del relleno debe estar cubierta por una geomembrana o capa de arcilla que no permita la infiltración de los lixiviados a los mantos freáticos; tuberías de conducción de lixiviados para que sean manejados, tratados y dispuestos adecuadamente; y chimeneas para la liberación de los gases generados, principalmente metano y dióxido de carbono. (Jaramillo. 2002)

La generación de gases dentro de los rellenos sanitarios se da por la descomposición de los desechos dispuestos. Esta descomposición se divide en la fase aerobia, en la cual el oxígeno presente es consumido por la actividad biológica, generando principalmente dióxido de carbono (CO_2); y fase anaerobia, es la fase predominante, donde la descomposición se lleva a cabo en ausencia de oxígeno y la materia orgánica es transformada principalmente en metano (CH_4), dióxido de carbono (CO_2). (Jaramillo, J. 2002)

El metano por ser un gas inflamable y explosivo, es el gas de mayor interés dentro de los rellenos sanitarios. Cuando el gas se acumula en los espacios vacíos dentro del relleno y migra a otras áreas con temperaturas elevadas, incrementa el riesgo a explosiones. Por tal motivo es recomendable instalar chimeneas para la ventilación del metano y evitar posibles incendios. (Jaramillo, J. 2002)

N. Lixiviados

Son líquido que se generan por la liberación del agua contenida en los desechos sólidos y por la filtración de agua, a través de los desechos, que ha a su paso extraen, disuelven o suspenden materiales a partir de ellos, pudiendo contener materiales potencialmente dañinos y tóxicos por sus contenidos de metales pesados, sales inorgánicas y concentraciones elevadas de la demanda bioquímica de oxígeno, por lo que los lixiviados son considerados el contaminante principal de los de los rellenos sanitarios. (Corena, 2008)

O. Recuperación de residuos sólidos

La recuperación se lleva a cabo a través del reciclaje, donde los residuos sólidos son sometidos a procesos distintos a los que fueron diseñados originalmente, y con esto disminuir la presión sobre los recursos naturales utilizados en la fabricación de productos nuevos. (Universidad Rovira i Virgili, 2018)

La recuperación de los residuos sólidos busca disminuir el volumen final de desechos dispuestos en los rellenos sanitarios. A través de esto se origina la valorización de los residuos sólidos, lo cual se refiere a todos los procedimientos que permiten aprovechar los recursos contenidos en los materiales de los residuos, siempre que estos procedimientos no impacten negativamente en la salud humana y en el ambiente. (Universidad Rovira i Virgili, 2018)

El proceso de reciclaje de los residuos recuperados depende del tipo de residuo, por lo que se explicará en el cuadro 4.

P. Vertedero de residuos y desechos sólidos

Se conoce por vertedero al área en donde los residuos y desechos sólidos son dispuestos sin ser clasificados o tratamiento alguno. Estos sitios, por lo general, funcionan sin criterios técnicos establecidos, sin controles sanitarios y sin mecanismos que prevean los impactos al ambiente generados de la degradación o putrefacción de los sólidos depositados. (CONAM/CEPIS/OPS, 2004)

Cuadro 4. Características y tipo de procesos de reciclaje de los residuos.

Residuo	Características y proceso
Vidrio	Completamente reciclable. Debe clasificarse por color. Se procesa sometiéndolo a fundición a temperaturas elevadas, y posteriormente moldear el material y producir nuevos envases u otro tipo de objeto.
Papel y cartón	Puede reciclarse hasta 6 veces. El residuo debe estar libre de grasas y aceites. Son procesados por tratamientos químicos donde se eliminan las impurezas, luego el material es prensado y cortado para producir nuevos papel y cartón.
Plástico	Material no biodegradable. Alto poder calorífico. Pierde calidad luego de ser reciclado. Es procesado a través de trituración y procesos químicos para eliminar impurezas y crear nuevos productos a través del moldeo a altas temperaturas.
Metales	Completamente reciclable. No pierde calidad luego de ser reciclado. Se procesa a través de fundición a altas temperaturas para ser moldeados posteriormente.

Fuente: elaboración propia con base en (Ministerio de Salud Pública y Asistencia Social, 2009) (Mejía P, 2014).

Q. Evaluación de impacto ambiental

La evaluación de impacto ambiental es una herramienta que permite tomar decisiones a través de la identificación de posibles impactos al ambiente, generados por la ejecución de proyectos. Estos estudios permiten evaluar, diseñar e incorporar medidas que disminuyan los impactos ambientales generados a través de la mitigación, gestión y monitoreo. (FAO, 2012)

R. Impactos ambientales

La contaminación generada por el manejo inadecuado de los desechos sólidos puede tener impactos negativos en el ambiente, específicamente en el suelo, atmosfera, recurso hídrico y ecosistémicos.

Impactos al suelo: alteraciones físicas y químicas del suelo por la deposición de los lixiviados generados por los desechos sólidos, impactando negativamente en la fertilidad de los suelos. (Zamora, 2013)

Impactos atmosféricos: principalmente por la generación y liberación de metano y dióxido de carbono, los cuales son producto de la degradación de los desechos orgánicos. Estos considerados gases de efecto invernadero los cuales impactan negativamente favoreciendo al aumento del calentamiento global. Además, como resultado de la quema de los desechos se liberan dioxinas y furanos, gases altamente tóxicos. (Zamora, 2013)

Impactos a los recursos hídricos: el inadecuado manejo de los desechos sólidos puede contaminar los cuerpos de agua, superficiales y subterráneos, agregando microorganismos patógenos, sustancias químicas inorgánicas, sedimentos, sustancias toxicas y radioactivas, contaminación térmica y compuestos orgánicos. (Zamora, 2013)

Impactos ecosistémicos: los desechos sólidos mal manejados pueden afectar directamente a la flora y fauna de un ecosistema, rompiendo el equilibrio ecológico través de la destrucción de nichos ecológicos y alteración de la cadena trófica. (Zamora, 2013)

S. Matriz de Leopold

Esta es un método sistemático para realizar estudios y evaluaciones de impacto ambiental con una amplia aplicación en proyectos de cualquier tipo. Esta matriz está conformada, en las columnas, por las actividades humanas que pueden generar variaciones al medio natural; y en contraposición, en las filas, los factores ambientales que pueden sufrir alteraciones. (Ramos, A. 2004)

Las actividades humanas que pueden entrar en consideración en esta metodología son 100 y el número de impactos al ambiente son 88, permitiendo 8,800 interacciones entre las filas y las columnas. estas interacciones permiten la formación de celdas de valoración, en la que se hacen las evaluaciones correspondientes, colocando 2 números dentro de ella (ejemplo 8/3), siendo el numerador el indicador de la magnitud del impacto y el denominador el indicador para la importancia. Es importante mencionar que para una evaluación no es

necesario medir todas las variables y características, ya que esto lo determinará la naturaleza del medio en donde se encuentre en desarrollo un proyecto. (Ramos, A. 2004)

T. Ámbito legal en la gestión de desechos y residuos sólidos en Guatemala

Los lineamientos para el manejo y disposición final de los desechos y residuos sólidos en Guatemala, están fundamentados por los instrumentos legales que deben ser cumplidas por las autoridades competentes, los cuales se presentan en el cuadro 5.

Cuadro 5. Marco legal de la gestión de desechos y residuos sólidos.

Legislación	Vínculo con el manejo de los desechos y residuos sólidos
Constitución Política de la República de Guatemala	Artículo 97. Medio Ambiente y Equilibrio Ecológico. El Estado, las municipalidades y los habitantes del territorio nacional están obligados a propiciar el desarrollo social, económico y tecnológico que prevenga la contaminación del ambiente y mantenga el equilibrio ecológico. Se dictarán todas las normas necesarias para garantizar que la utilización y el aprovechamiento de la fauna, de la flora, de la tierra y el agua, se realicen racionalmente, evitando su depredación. Artículo 119. Obligaciones del Estado. Son obligaciones fundamentales del Estado: inciso c) Adoptar medidas que sean necesarias para la conservación, desarrollo y aprovechamiento de los recursos naturales en forma eficiente.
Ley de protección y mejoramiento del medio ambiente (y sus reformas decretos nos. 75-91 y 90-2000 del Congreso de la República)	Artículo 16. El Organismo Ejecutivo emitirá los reglamentos relacionados con: inciso B) La descarga de cualquier tipo de sustancias que puedan alterar la calidad física, química o mineralógica del suelo o del subsuelo que le sean nocivas a la salud o a la vida humana, la flora, fauna y a los recursos o bienes.
Código de salud	Artículo 65. Enfermedades transmitidas por vectores. El Ministerio de Salud, en coordinación con las demás instituciones del sector que desarrollen acciones en esta área, administrará programas que promuevan la participación comunitaria para la protección del medio ambiente y la eliminación de reservorios que faciliten la proliferación de vectores que participan en la transmisión de estas enfermedades. Artículo 72. Programas de prevención y control de riesgos ambientales: el Ministerio de Salud, el Ministerio de Ambiente y Recursos Naturales, las Municipalidades y la comunidad organizada con todas las instancias apropiadas, sean públicas o privadas, promoverán el desarrollo de programas de cuidado personal y de reducción de riesgos a la salud vinculados con desequilibrios ambientales, y ocasionados por contaminantes químicos, físicos o biológicos. En la sección IV de dicho código, se establece la responsabilidad de las municipalidades referente al manejo de los desechos sólidos, a través de los siguientes artículos: Artículo 102. Responsabilidad de las Municipalidades, Artículo 103. Disposición de los Desechos Sólidos, Artículo 104. Lugares Inadecuados, Artículo 105. Sitios y Espacios Abiertos, Artículo 106. Desechos Hospitalarios, Artículo 107. Desechos sólidos de la industria y comercio y Artículo 108. Desechos sólidos de las empresas agropecuarias.
Código municipal	Artículo 68. Competencias propias del municipio. Inciso: a) Abastecimiento domiciliario de agua potable debidamente clorada; alcantarillado; alumbrado público; mercados; rastros; administración de cementerios y la autorización y control de los cementerios privados; recolección, tratamiento y disposición de desechos sólidos; limpieza y ornato. l) Promoción y gestión ambiental de los recursos naturales del municipio.
Continuación del cuadro...	

Política nacional para el manejo integral de los residuos y desechos sólidos	Objetivos de la política. En lo político-institucional. Hacer que las instituciones públicas involucrada en el manejo integral de los residuos y desechos sólidos funcionen con eficiencia y eficacia en la administración y financiamiento de los servicios municipales. Hacer funcional el marco jurídico y normativo que regule el manejo integral de los residuos y desechos sólidos. En lo social. Cambiar hábitos de la población en cuanto a la cultura de producción, consumo, manejo y disposición de los residuos y desechos sólidos. Hacer partícipe a la sociedad civil en los procesos de auditoria social para el mantenimiento de un ambiente saludable, a través de los mecanismos de ley, sobre todo los Consejos Comunales de Desarrollo Social y los Consejos Municipales de Desarrollo Social. En lo económico. Propiciar la valoración económica de los residuos y desechos sólidos y de los servicios relacionados. Propiciar la participación de la empresa privada Propiciar la creación y aplicación de instrumentos económicos destinados a mejorar las condiciones de producción y manejo de residuos y desechos sólidos. En lo ambiental y la salud. Generar y hacer accesible la información básica pertinente que permita planificar y tomar decisiones en cuanto al manejo integral de los residuos y desechos sólidos. Definir y hacer funcional la aplicación del marco de estándares y normas ambientales nacionales, relacionadas directamente con el tema, que permitan el monitoreo ambiental. Propiciar la adopción paulatina de los estándares internacionales con respecto a los residuos y desechos sólidos que definan los tratados comerciales y ambientales que Guatemala ratifique. Adoptar, adaptar y desarrollar las tecnologías adecuadas para el manejo (gestión) y disposición final de los residuos y desechos sólidos.
Norma técnica número DRPSA-004-2018 “Procedimiento para emitir dictamen sanitario sobre sitios y proyectos de construcción de sistemas para la disposición final de desechos sólidos”	Artículo 2. Objeto. El objeto de la presente norma es establecer el procedimiento, requisitos documentales, los plazos y los criterios de evaluación de los sitios y proyectos de construcción de sistemas para la disposición final de los desechos sólidos, en el contexto del trámite administrativo para la emisión del dictamen sanitario que, de acuerdo con las disposiciones del Decreto número 90-97 del Congreso de la Republica, Código de Salud, debe emitir el Ministerio de Salud Pública y Asistencia Social, con relación a estos proyectos.
Acuerdo municipal 111-2016 del municipio de San Pedro La Laguna	Este acuerdo prohíbe el uso de bolsas plásticas, duroport, pajillas y derivados en el municipio.

Fuente: Zamora, J. 2013.

2.2.2. Marco referencial

A. Localización geográfica

El municipio de San Pedro La Laguna está ubicado en la región Suroccidental de la Republica de Guatemala, en la parte Sur del departamento de Sololá, a una altitud de 1,610 m s.n.m. (SEGEPLAN, 2005)

B. Extensión territorial

El municipio es uno de los territorios más grandes del departamento de Sololá, con una extensión de 24 km², lo cual representa el 2.26 % del departamento. San Pedro La Laguna se encuentra conformado por los cantones Pacucha, Chuacanté, Chuasanahi, Tzanjay, y por los sectores Bella Vista y Chepacoral. (López, 2008).

C. Colindancias

Al Norte	San Juan La Laguna y el lago de Atitlán
Al Sur	Santiago Atitlán y Chicacao
Al Este	Santiago Atitlán y el lago de Atitlán
Al Oeste	San Juan La Laguna y Chicacao

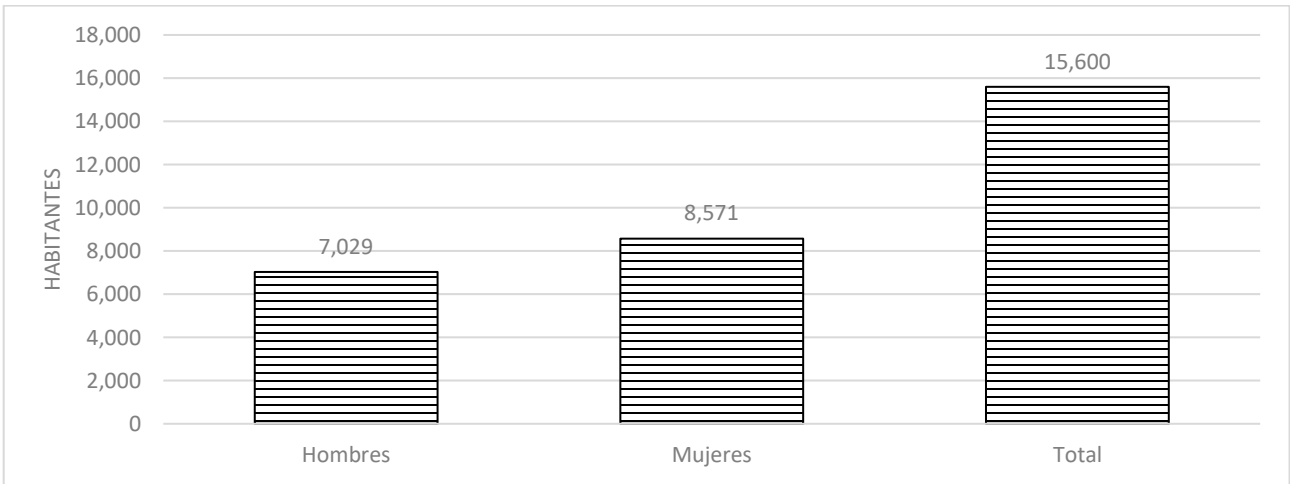
D. Vías de acceso

El municipio encuentra a una distancia de 178 km de la capital del país. Se puede tener acceso a San Pedro La Laguna a través del lago de Atitlán con en el uso del servicio de transporte de lanchas colectivas y privadas. Por otro lado, se puede tener acceso a través del km 148 de la carretera Interamericana CA-1 con un recorrido adicional de 30 km de carretera asfaltada. Además, se puede acceder por carretera de terracería desde Santiago Atitlán, con 21 km de distancia. (Gaytan, 2008)

E. Población

Según los datos proporcionados por la municipalidad de San Pedro La Laguna, el municipio cuenta con 15,600 habitantes, representando aproximadamente 3,120 familias, en donde el

sexo predominante es el femenino. La distribución de la población por sexo se presenta en la figura 18.



Fuente: elaboración propia con base a datos de la municipalidad de San Pedro La Laguna. 2018.

Figura 18. Distribución de habitantes por sexo en San Pedro La Laguna.

F. División política administrativa

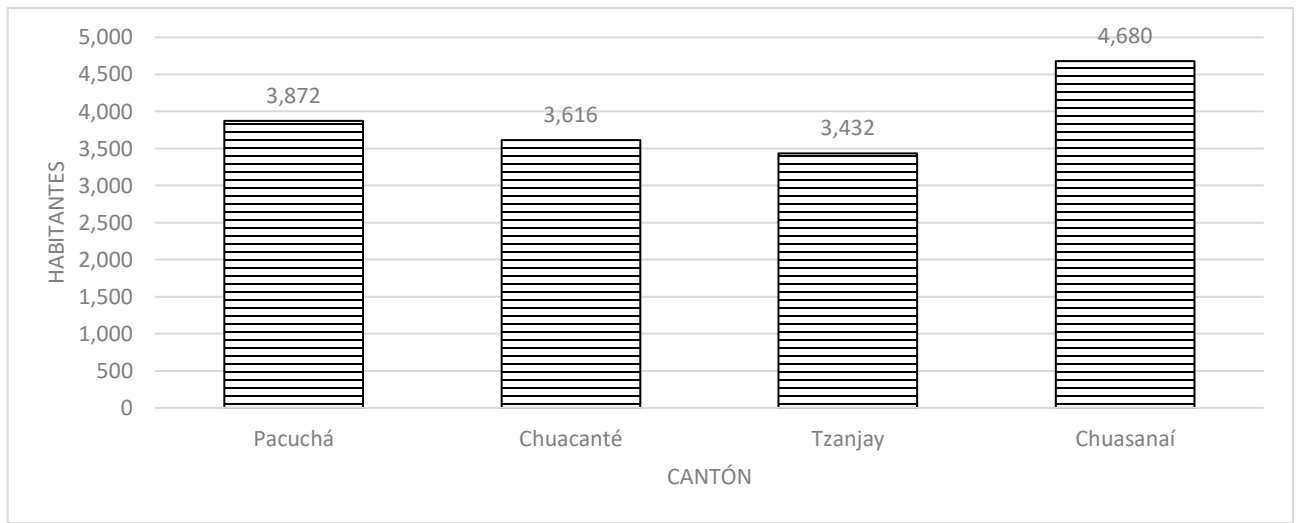
El cuadro 6, muestra los cantones y sectores que conforman el municipio de San Pedro La Laguna.

Cuadro 6. Centros poblados de San Pedro La Laguna, Sololá.

Nombre	Categoría
Pacucha	Cantón
Chuacanté	Cantón
Chuasanahi	Cantón
Tzanjay	Cantón
Bella Vista	Sector
Chepacoral	Sector

Fuente: elaboración propia con base en SEGEPLAN, 2005.

La figura 19, presenta la distribución de habitantes por cantón del municipio.



Fuente: elaboración propia, 2018.

Figura 19. Distribución de habitantes por cantón.

Según los datos proporcionado por la municipalidad, el cantón Chuasanahí es el más poblado, con 4,680 habitantes; siendo el cantón Tzanjay el menos poblado con 3,432 habitantes.

G. Bosque

En San Pedro La Laguna, se encuentran bosques de coníferas, latifoliadas y mixtos, donde cierta parte de estas áreas están incluidas dentro de sistema eco regionales únicos. De acuerdo a la vocación de los suelos del municipio, el territorio debería contar con aproximadamente el 70 % de sus suelos cubiertos de bosques.

La deforestación de los bosques es una de las principales razones de la disminución del área boscosa, derivado del crecimiento poblacional, la expansión de la frontera agrícola, incendios y por el uso de leña como combustible. Las especies más utilizadas y solicitadas por los consumos familiares son el pino, ciprés, encino, pino colorado, aliso, canoj y taxiscobo. (SEGEPLAN, 2005)

H. Clima y temperatura

El clima del municipio generalmente es templado. La temperatura oscila entre los 13 °C y los 20 °C. Los meses más fríos son enero y febrero con temperaturas menores a los 10 °C. (SEGEPLAN, 2005)

I. Hidrografía

El municipio de San Pedro La Laguna pertenece a la cuenca del Lago de Atitlán, la cual tiene un área de 541 km² de los cuales 130 km² son abarcados por el cuerpo de agua, el cual posee un desagüe subterráneo dirigido al río Madre Vieja. El agua del lago es utilizada para riego de siembras de hortalizas, que se encuentran en las orillas de este. Además, a través de bombeo, el recurso hídrico se traslada a los pozos de agua para su posterior distribución y así estar disponible para el consumo humano.

Las principales causas de contaminación de este cuerpo de agua provienen de las descargas de aguas grises domiciliarias, detergentes utilizados para lavar ropa a las orillas del lago y residuos de producción agrícola que por escorrentía son depositados en el cuerpo de agua. (García S, 2008)

J. Manejo de los residuos y desechos sólidos

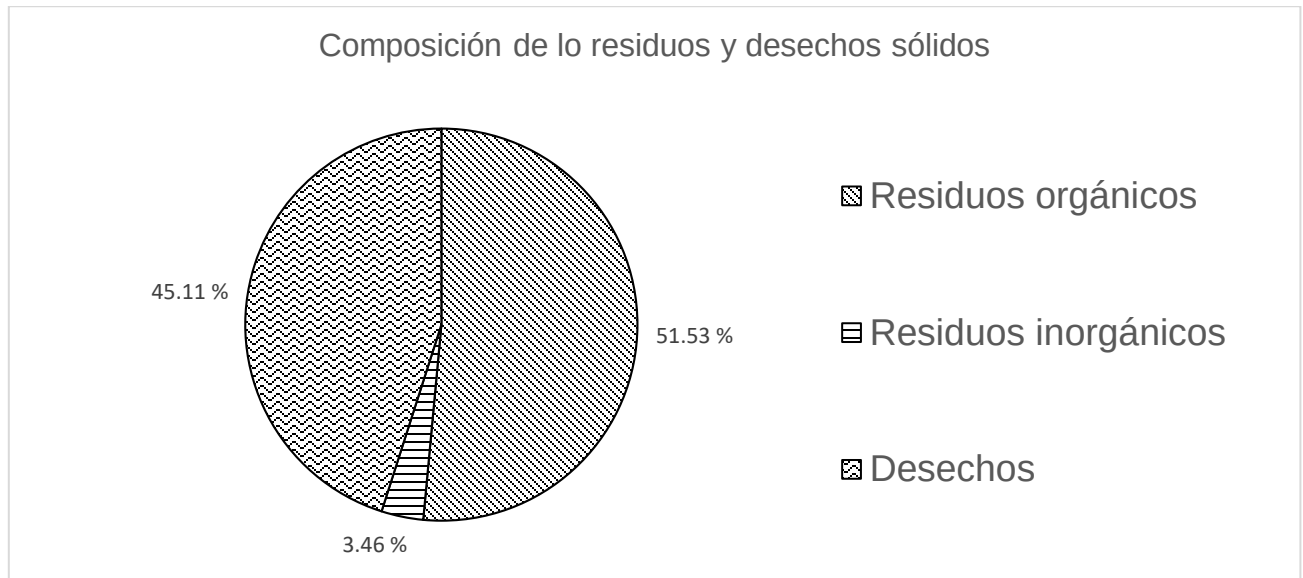
El ente encargado de administrar el manejo de los residuos y desechos sólidos en el municipio, es la municipalidad de San Pedro La Laguna, siendo la Dirección de Gestión Ambiental Municipal (DIGAM) la oficina a cargo de llevar a cabo el manejo adecuado de las basuras generadas en el municipio.

La municipalidad de San Pedro La Laguna fue condecorada con la medalla presidencial del medio ambiente, por la aprobación del acuerdo municipal 111-2016, el cual prohíbe el uso de bolsas plásticas, duroport, pajillas y tetra pack. Además, la corporación municipal en asociación con la Autoridad para el Manejo Sustentable del lago de Atitlán y su Entorno (AMSCLAE) promueven programas y campañas que persiguen la clasificación de los residuos y desechos sólidos para una adecuada disposición final, y el rechazo a los productos no reciclables.

K. Situación del manejo de los residuos y desechos sólidos

a. Generación de residuos y desechos sólidos

Según ProAtitlán, en la caracterización de los residuos y desechos sólidos del municipio de San Pedro La Laguna, un habitante genera 0.37 kg/día. La gráfica 20, permite observar el porcentaje de cada tipo de residuos y desechos sólidos generado.



Fuente: elaboración propia con base en ProAtitlán, 2017.

Figura 20. Principales residuos y desechos sólidos generados en San Pedro La Laguna.

A pesar de la promulgación del acuerdo municipal 111-2016, aproximadamente el 25 % de la población sigue utilizando bolsas plásticas, duroport y pajillas. Los cuales, a través de monitoreos son identificados y sancionados por parte de la municipalidad, quienes, a través del acuerdo en mención, establecen lo siguiente:

- “Toda persona individual y jurídica que haga uso de estos productos de único uso, inútiles y no reusables, pajillas, duroport y sus derivados, será sancionada con una multa de trescientos quetzales exactos (Q. 300.00)”. (Acuerdo municipal 111-2016. 2016)
- “A las empresas que comercialicen y distribuyan bolsas plásticas, duroport, pajillas y derivados, dentro del municipio de San Pedro La Laguna, se le sancionará con una multa de quince mil quetzales exactos (Q. 15,000.00)”. (Acuerdo municipal 111-2016. 2016)

b. Almacenamiento temporal

Los residuos y desechos sólidos son clasificados en orgánicos e inorgánicos desde la fuente generadora, almacenándolos en recipientes plásticos o costales, para luego ser entregados al personal del tren de aseo municipal.

c. Recolección y transporte

La municipalidad de San Pedro La Laguna está equipada con dos camiones utilizados en el tren de aseo, un camión marca KIA, modelo 2014, de 5 t y un camión marca HINO, modelo 2010 de 4.50 t, los cuales prestan el servicio de lunes a domingo en horario de 7:00 a 17:00 horas.

Para la operación del tren de aseo existen seis personas contratadas por la municipalidad, dos conductores de camión y cuatro ayudantes recolectores (dos por camión). Este servicio cubre aproximadamente al 95 % de la población del municipio. El costo del servicio es de Q. 1.00 por costal, el cual se paga en el momento que se lleva a cabo la recolección. La Dirección de Gestión Ambiental Municipal (DIGAM) reporta que únicamente el 70 % de personas que utilizan el servicio pagan la tarifa.

i. Barrido de calles

La limpieza de las calles es realizada por tres empleados municipales, los cuales se encargan de barrer las calles del municipio de lunes a viernes de 7:00 a 17:00 horas. Actualmente no se cuenta con una caracterización de los desechos sólidos generados del barrido de calles.

ii. Basureros ilegales a cielo abierto

En el año 2016 se tenían identificados treinta y cuatro basureros ilegales, los cuales han ido siendo eliminados través de obras de limpieza y acuerdos establecidos con los propietarios de los terrenos, donde eran depositados los residuos y desechos. Para el año 2018 se tiene registro de diez basureros ilegales, representando una disminución del 70.58 % de lugares contaminados.

d. Tratamiento y disposición final

Los residuos y desechos sólidos generados en el municipio son transportados a la planta de tratamiento ubicada a 4.50 km del casco urbano, en el sector Tik'bel'ya, la cual se referencia en la figura 21. La cual fue construida, en el año 2016, con fondos proporcionados por la Mancomunidad de municipios Kakchiquel, Chichoy, Atitlán (MANKATITLAN), Autoridad para el Manejo Sustentable de la Cuenca del Lago de Atitlán y su Entorno (AMSCLAE) y el Programa de las Naciones Unidas para el Desarrollo (PNUD). La distribución de áreas de la planta de tratamiento se muestra en el cuadro 7 y gráficamente en la figura 40A.

Cuadro 7. Distribución de áreas de la planta de tratamiento.

Distribución de áreas	Área (m ²)
Planta de tratamiento	4,712.65
Bodega para almacenar PET	150.00
Piletas para separación de vidrios	12.60
Oficina	97.00
Área de compostaje	150.00
Área de clasificación	115.00
Área para compactadoras	100.00
Oficina de recepción	97.00

Fuente: elaboración propia con base en ProAtitlán, 2017.



Fuente: elaboración propia utilizando el programa Google Earth Pro, 2018.

Figura 21. Ubicación de la planta de tratamiento de residuos y desechos sólidos

En la planta de tratamiento de residuos y desechos sólidos, se cuenta con once personas contratadas para el funcionamiento de la planta de tratamiento municipal, de las cuales cuatro trabajan en el área de desechos orgánicos y compostaje, seis en el relleno sanitario y una persona en el área de reciclaje. Es importante mencionar que no existen guajeros que estén retirando materiales reciclables de la planta de tratamiento.

Diariamente se transportan 1.50 t de residuos y desechos que son depositadas a través del tren de aseo. Según menciona el encargado de la planta de tratamiento, existen personas que no entregan los residuos y desechos clasificados a los camiones recolectores, lo cual no permite que estas basuras sean tratadas adecuadamente y solamente sean depositadas en la ladera final del terreno de la planta de tratamiento, lo que favorece la acumulación de desechos, proliferación de plagas, propagación de vectores transmisores de enfermedades, malos olores y contaminación ambiental.

e. Compostaje

Los residuos orgánicos que se recolectan son integrados en los procesos de compostaje que realizan los trabajadores de la municipalidad dentro de la planta de tratamiento, donde se producen, aproximadamente, treinta sacos de compost por semana, el cual es utilizado por los acreedores como abono orgánico en producciones agrícolas y jardinería.

f. Relleno sanitario

El relleno sanitario fue diseñado para un periodo de 10 años de vida, este tiene una capacidad de 6,986 m³. En este se disponen todos los desechos sólidos, los cuales no son compactados y cubiertos para su adecuada disposición. Actualmente el relleno sanitario se encuentra cerca de la saturación, lo cual se debe a la acumulación desordenada y acelerada de residuos no recuperados y desechos dispuestos en él. Por otro lado, los lixiviados generados dentro del relleno sanitario son transportados a los tanques de almacenamiento.

2.3. OBJETIVOS

2.3.1. Objetivo general

Evaluar el funcionamiento de la planta de tratamiento de desechos y residuos sólidos del municipio de San Pedro La Laguna, para establecer parámetros de funcionamiento y eficiencia.

2.3.2. Objetivos específicos

1. Describir las operaciones de manejo de desechos y residuos sólidos que se realizan dentro de la planta de tratamiento.
2. Determinar la eficiencia en la recuperación y tratamiento de los residuos que ingresan a la planta de tratamiento de residuos y desechos sólidos.
3. Identificar y evaluar los impactos ambientales generados por el vertedero a cielo abierto establecido en la planta de tratamiento municipal.

2.4. METODOLOGÍA

La evaluación del funcionamiento de la planta de tratamiento fue desarrollada a través de tres etapas, que fueron:

2.4.1. Operaciones del manejo de los desechos sólidos

A. Recopilación de información primaria y secundaria

A través de la búsqueda de información bibliográfica fue posible conocer la forma de operar de la planta desde su apertura, conocer los antecedentes y mejoras que ha tenido en su funcionamiento, así como la búsqueda de normativas municipales que establezcan las directrices para manejar los residuos o desechos sólidos.

B. Monitoreo de operaciones ejecutadas

Se llevaron a cabo visitas y entrevistas al personal operativo de la planta de tratamiento y al director de la Dirección de Gestión Ambiental Municipal, para conocer y describir la forma en que se llevan a cabo las operaciones siguientes:

- Recepción de los desechos y residuos transportados por el tren de aseo municipal. Identificando si estos son clasificados o no desde el origen.
- Compostaje: conocer los procesos ejecutados con los residuos orgánicos biodegradables, desde la disposición en el área establecida para la elaboración de compost, identificando el manejo que se le da durante el proceso de formación de compost y la forma en que se almacena y comercializa.
- Recuperación de residuos reciclables: se determinó la forma de selección y separación de vidrio, metales, plásticos, papel y cartón, así como identificación de precios de venta y el mercado en el cual se comercializan estos residuos.
- Disposición final de los desechos: para esto se identificaron los tipos de materiales que son dispuestos en el relleno sanitario, la forma en que son cubiertos y compactados y, otras operaciones que se llevan a cabo para el manejo del relleno sanitario.

- Pilas de lixiviados: se conoció el tipo de manejo para tratar adecuadamente los lixiviados generados en el relleno sanitario.
- Durante las visitas a la planta de tratamiento se realizaron inspecciones visuales para determinar si se generan impactos al ambiente y riesgos potenciales a la integridad física del personal.

2.4.2. Eficiencia en la recuperación y tratamiento de los residuos que ingresan a la planta de tratamiento

La eficiencia de la planta de tratamiento se determinó a través del peso de los residuos tratados por día, realizando la toma de datos correspondientes en las entradas y salidas de cada tipo de residuo, representados por porcentajes de eficiencia de recuperación y tratamiento de cada tipo de material recuperable, los cuales se obtuvieron de la siguiente manera:

A. Eficiencia total de la planta de tratamiento

La evaluación de la eficiencia total de la planta de tratamiento se determinó a través de la siguiente ecuación:

$$\text{Eficiencia total} = \frac{\text{kg residuos recuperados/día}}{\text{kg de residuos entrantes/día}} * 100$$

B. Eficiencia por material reciclable

La eficiencia en el manejo y recuperación de cada material reciclable se determinó a través de las siguientes ecuaciones:

$$\text{Compostaje} = \frac{\text{kg compost/día}}{\text{kg de residuos organicos entrantes/día}} * 100$$

$$\text{Plásticos} = \frac{\text{kg plasticos recuperados/día}}{\text{kg de residuos plasticos entrantes/día}} * 100$$

$$\text{Papel y cartón} = \frac{\text{kg papel y cartón recuperados/día}}{\text{kg de papel y cartón entrante/día}} * 100$$

$$\text{Metales} = \frac{\text{kg metal recuperados/día}}{\text{kg de residuos de metal entrantes/día}} * 100$$

2.4.3. Evaluación de impacto ambiental

La evaluación de los impactos ambientales generados por el vertedero establecido en la ladera final de la planta de tratamiento de residuos y desechos sólidos, se realizó a través de la matriz de Leopold, en donde se evaluaron los impactos a los medios físicos y químicos, bióticos y sociales, producidos por los desechos dispuestos y aglomerados inadecuadamente.

Los componentes, de los medios impactados, fueron evaluados a través de un valor de magnitud e importancia, valorando cada impacto en función de las escalas mostradas en el cuadro 8.

Cuadro 8. Valoración de los impactos ambientales generados por el vertedero.

Criterio de evaluación	Escala (Magnitud/importancia)	Valor numérico
Magnitud/importancia	Baja/baja	1/1
	Moderada/moderada	2/2
	Alta/alta	3/3
	Muy alta/muy alta	4/4

Fuente: elaboración propia, 2019.

Donde se entiende por “magnitud” a la valoración de la alteración potencial que será provocada, señalando la intensidad o dimensión del impacto; y por “importancia” al valor relativo de la alteración potencial, haciendo referencia a la significancia del impacto sobre las condiciones naturales del medio.

2.5. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

2.5.1. Evaluación del funcionamiento de la planta de tratamiento de residuos y desechos sólidos

La evaluación de la planta de tratamiento se basó en la caracterización de las actividades y procesos que se desarrollan para recibir las basuras del municipio, recuperar los materiales reciclables, elaboración de compost, disposición final de los desechos, manejo de lixiviados, la organización del personal municipal que permite el funcionamiento de la planta, maquinaria y equipo personal y la existencia de servicios básicos disponibles para los trabajadores.

2.5.1. Personal laboral

Con base en información proporcionada por Caniz, L, 2018. La planta de tratamiento de residuos y desechos sólidos cuenta con 19 trabajadores contratados por la municipalidad. Los cuales se encuentran organizados como lo muestra la figura 22.

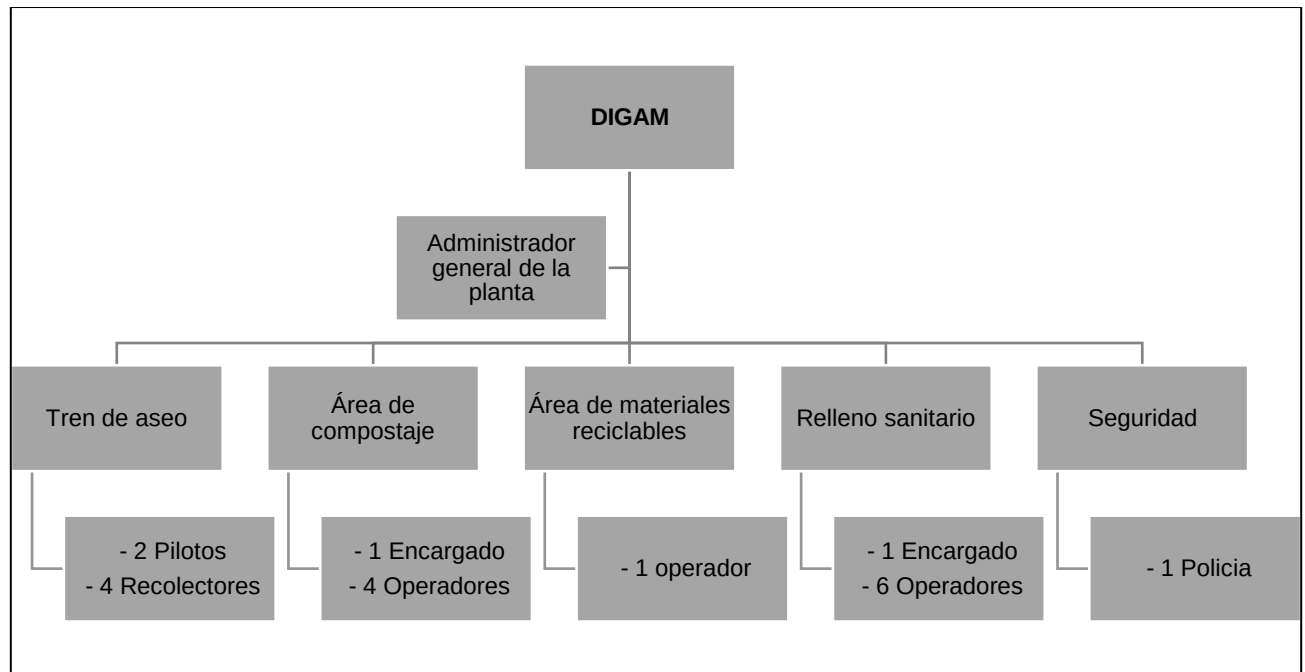


Figura 22. Organigrama de la planta de tratamiento de residuos y desechos sólidos.

Los operadores son rotados por las distintas áreas de trabajo semanalmente, siendo la excepción los trabajadores de tren de aseo, quienes diariamente desempeñan la misma función.

2.5.2. Servicios básicos

La planta de tratamiento cuenta con servicio eléctrico el cual está disponible en todas las áreas de trabajo; el servicio de agua potable no se encuentra disponible, a diferencia del agua entubada, la cual se distribuye a través de un solo grifo en todas las instalaciones; el personal laboral cuenta con asistencia médica cada tres meses en donde reciben vacunación contra tétano e influenza; existe un sistema de descarga de aguas pluviales. Además, las instalaciones de la planta de tratamiento cuentan con un sanitario, en el cual el inodoro, el lavamanos y la ducha no tienen servicio de agua por tuberías; no existe una cocina disponible para el personal de la planta, por lo que los trabajadores ingieren sus alimentos en el área de almacenamiento de residuos de la planta de tratamiento.

2.5.3. Maquinaria y equipo

La maquinaria disponible en la planta de tratamiento para el desarrollo de procesos, es la siguiente:

- Dos compactadoras de pacas: la planta de tratamiento cuenta con dos compactadoras de materiales sólidos, una propiedad de la municipalidad de San Pedro La Laguna y otra propiedad de cementos progreso. La compactadora de propiedad municipal tiene la capacidad de reducir los residuos a 1.50 m³, esta fue adquirida a través de una donación por parte de ProAtitlán y, por otro lado, la compactadora de cementos progreso tiene la capacidad de reducir los materiales a 1 m³. A pesar de que las dos funcionan adecuadamente, en la actualidad se utiliza únicamente la compactadora proporcionada por cementos progreso.
- Una romana digital: esta es utilizada para determinar el peso de los residuos recuperados.
- Una romana analógica: esta tiene la capacidad de medir un peso máximo de 181 kg, actualmente es utilizada para pesar el compost producido en la planta de tratamiento.
- Dos trituradoras: existe una trituradora para papel y una para material orgánico. Ambas trituradoras se encuentran en mal estado.

- Un tamiz mecánico: utilizado para separar el material orgánico biodegradable que no ha sido degradado adecuadamente a través del proceso de compostaje. Este tamiz tiene una abertura nominal de 1 cm².

2.5.4. Ingreso de residuos y desechos sólidos

Los materiales que ingresan a la planta de tratamiento son transportados por el tren de aseo municipal, en donde los dos camiones disponibles para este servicio, ingresan tres veces por día a la planta para depositar los residuos y desechos sólidos. En ocasiones, pickups particulares trasladan materiales leñosos, desechos de construcción o desechos de jardinería, pagando Q. 10.00 en la tesorería municipal o en la garita de entrada al municipio, para poder ingresar y depositar las basuras dentro de la planta de tratamiento, específicamente en el vertedero establecido en la ladera final de la planta.

No existe un sistema de registro y control de los materiales que ingresan a la planta de tratamiento, por lo que no se tienen datos del peso o de los volúmenes de residuos y desechos entrantes. Empleados municipales estiman, que semanalmente el tren de aseo transporta a la planta 3 t o 4 t de basuras provenientes de los domicilios, mercados, hoteles y restaurantes.

La municipalidad de San Pedro La Laguna tiene vigente un convenio con los propietarios de hoteles, restaurantes, talleres y lancheros, en el que se establece que dichos propietarios, deben trasladar los desechos de aceite y grasas quemadas producidas en sus procesos a la planta de tratamiento, donde estos materiales son almacenados temporalmente y luego son entregados a la Autoridad para el Manejo Sustentable de la Cuenca del Lago de Atitlán y su Entorno (AMSCLAE) quien es el encargado de tratar adecuadamente estos materiales.

2.5.5. Recuperación de residuos sólidos

La recuperación de los residuos sólidos que entran a la planta de tratamiento se lleva a cabo en el relleno sanitario, donde los vehículos del tren de aseo depositan los residuos y desechos sólidos para posteriormente recuperar los materiales reciclables.

Los residuos recuperados del relleno sanitario y del tren de aseo, son transportados al área de separación en donde son reclasificados de acuerdo al tipo de material y color del residuo, estos materiales clasificados son depositados en los almacenes, para su posterior

comercialización. Los materiales que se recuperan y comercializan se muestran en el cuadro 9.

Cuadro 9. Clasificación y comercialización de materiales reciclables.

Material	Clasificación	Precio de venta/kg (Q.)	Precio de venta/qq (Q.)	Comprador y frecuencia de recolección
El polietileno tereftalato -PET-	Botella transparente	1.76	80.00	La comercialización se realiza a través de un intermediario particular.
	Botella celeste	0.66	30.00	
	Botella verde	0.66	30.00	
	Botella gris	0.33	15.00	
Polipropileno -PP- (plásticos duros)	No clasificados por color	0.88	40.00	La colecta de materiales reciclables es realizada una vez por semana.
Polietileno de alta densidad (plásticos soplados)	No clasificados por color	0.66	30.00	
Aluminio	Latas de gaseosas	6.61	300.00	
Chatarra	Metales no clasificados	0.22	10.00	
Vidrio	No clasificado por color	0.22	10.00	
Papel y cartón	Material limpio	0.66	30.00	Estos materiales se comercializan con Interfisa, empresa encargada de realizar la colecta de ambos materiales cuando se tiene un peso mínimo de 40 qq de cartón.

La asociación “Amigos del Lago” cuenta con una iniciativa llamada “Atitlán Recicla” la cual busca fortalecer el manejo adecuado de los residuos sólidos, a través de la comercialización

directa con empresas recicladoras. De los 12 municipios del departamento de Sololá que realizan estas prácticas, San Pedro La Laguna no comercializa sus materiales con las empresas establecidas por la iniciativa, ya que la venta de sus residuos reciclables se lleva a cabo a través de un intermediario, por lo que el lazo de comercialización no es directo, a excepción del papel y cartón, los cual se comercializan directamente con la empresa recicladora Grupo Internacional de Finanzas Sociedad Anónima (INTERFISA).

2.5.6. Compostaje

El proceso de compostaje en la planta de tratamiento, se lleva a cabo con los residuos orgánicos biodegradables transportados por el tren de aseo, de los cuales no se tiene registro del volumen o peso de material que ingresa al área de elaboración de compost.

Según Godínez, 2013, en la figura 23, el área de compostaje tiene una superficie de 141.84 m², la base cuenta con dos canales con una pendiente del 2 %, para trasladar los lixiviados generados en el proceso de descomposición hacia una cámara subterránea en donde estos son almacenados.

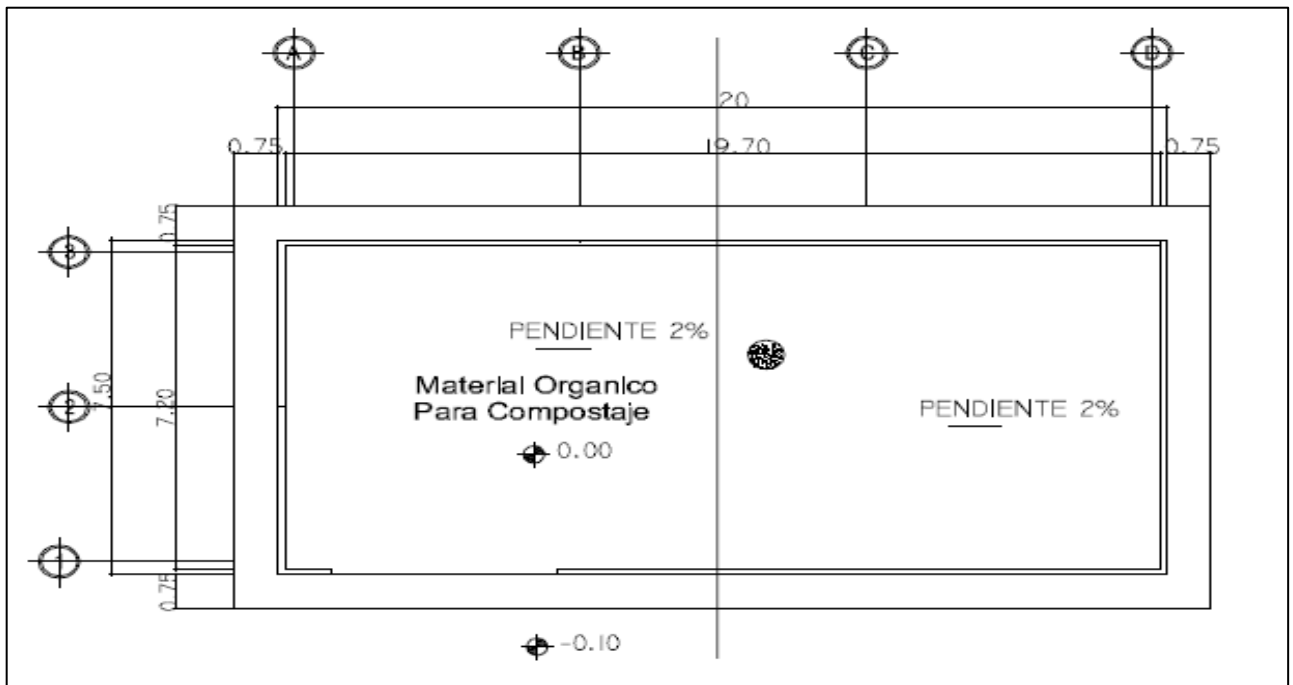


Figura 23. Planta del área de compostaje.

A. Volteos

Los materiales que ingresan al área de compostaje son dispuestos en camas de 1.50 m de alto, 1 m de ancho y 8 m de longitud, estas camas iniciales reciben volteos cada tres días para dar lugar a la formación de una nueva cama de residuos entrantes. Durante el proceso de compostaje el material en degradación es volteado cinco veces, para posteriormente agrupar todo el material biodegradable en cúmulos de aproximadamente 3 m de altura, en donde se degrada sin ningún tipo de tratamiento por dos meses. Al finalizar los dos meses se lleva a cabo el primer tamizaje, para separar los materiales mayores a 1 cm, los cuales reingresan al ciclo de compostaje y, los materiales menores a 1 cm son empaquetados en costales para su posterior distribución y comercialización.

B. Comercialización

El compost generado en la planta de tratamiento no tiene un mercado de comercialización definido, en ocasiones personas particulares solicitan a la Dirección de Gestión Ambiental Municipal (DIGAM) que les sea donado el producto, con el propósito de utilizarlo como abono en jardines y en siembras de hortalizas.

C. Recolección y aplicación de microorganismos eficientes

Los microorganismos utilizados en la planta de tratamiento de San Pedro La Laguna, son colectados y producidos por el personal encargado del área de compostaje. El procedimiento establecido para la colecta y reproducción de los microorganismos de montaña es el siguiente:

- La cámara de captura de microorganismo es elaborada con un recipiente plástico en el que se deposita 0.38 kg de arroz blanco cocido, el cual es cubierto con costal tipo red.
- La recolección de los microorganismos se lleva a cabo en las zonas montañosas cercanas a la planta de tratamiento, donde se realiza una inspección para ubicar las áreas en donde los microorganismos estén presentes en mayor cantidad, lugar donde se colocan las cámaras cargadas de arroz y son cubiertas con hojarasca del lugar, para que el medio natural de los microorganismos no sea alterado.
- Una semana después de haber sido colocadas las cámaras, el arroz se torna de color amarillo-café, coloración que indica que el proceso de recolección ha sido realizado adecuadamente.

- En un tonel de 159 L se agrega agua hasta el 75 % de la capacidad total, arroz triturado de tres cámaras cargadas con microorganismos, 0.80 kg de panela y levadura disueltas en agua. La mezcla se deja reposar por una semana con el propósito de que se reproduzcan los microorganismos, al finalizar la semana la mezcla puede ser utilizada.
- Previo a aplicar microorganismos al material orgánico biodegradable, se debe realizar una mezcla de relación 2:1, de agua y mezcla de microorganismos, respectivamente.
- La aplicación de microorganismo eficientes se realiza a cada 0.20 m de alto, en el momento en que se está formando la cama de los residuos orgánicos que están por iniciar el proceso de degradación, posteriormente, ya no se realiza ninguna aplicación.

D. Control del proceso de compostaje

A pesar de los avances en la técnica de compostaje en la planta de tratamiento municipal no se realiza un control de los parámetros que permiten una correcta elaboración de compost, siendo estos parámetros el oxígeno, temperatura, humedad, pH y relación carbono:nitrógeno. Esto no permite tener el conocimiento certero de que el proceso se lleve a cabo en condiciones y rangos óptimos.

E. Recuperación del compost

El compost generado en la planta de tratamiento es colectado cada dos meses, pasando por un proceso de tamizaje y posteriormente a ser almacenado en sacos, donde no se tiene una medida peso exacta para cada saco. En el mes de noviembre se produjeron 280 sacos de compost, la cual fue la primera producción con el uso de microorganismo eficientes y un tamiz mecánico, donde fue evidente la aceleración del proceso de compostaje, logrando un incremento de 224 % en la producción de compost.

2.5.7. Relleno sanitario

El relleno sanitario establecido en la planta de tratamiento de residuos y desechos sólidos de San Pedro La Laguna, fue diseñado para un periodo de vida de 10 años, con un volumen de diseño de 6,986 m³ para almacenar los desechos sólidos del municipio. (Godínez, 2013) La figura 22, muestra el diseño realizado por Polo, M. 2015, en donde se representa la estructura del relleno sanitario.

- Alcantarillado: cuenta con un sistema de alcantarillado para evitar que por escorrentía ingrese agua al relleno sanitario.
- Geomembrana: material impermeable que cumple la función de evitar la infiltración de lixiviados que puedan contaminar el suelo, subsuelo y cuerpos de agua superficiales y subterráneos cercanos a la planta de tratamiento.
- Respiraderos: el diseño original del relleno sanitario cuenta con seis respiraderos para liberar los gases generados por la descomposición de los materiales depositados, de los cuales, no existe respiradero alguno que en la actualidad cumpla su función, ya que estos han sido cubiertos totalmente por los desechos sólidos dispuestos.
- Canales de conducción de lixiviados: existen seis canales laterales y uno central, los cuales están fabricados con tubo PVC de 4 in de diámetro, para la recolección de los lixiviados generados, estos se encuentran dispuestos sobre la geomembrana establecida en la base del relleno sanitario. Los lixiviados generados y atrapados en los canales son transportados por gravedad hacia la pila de lixiviados, ya que la base del relleno sanitario tiene una pendiente de 3 %.
- Pila de lixiviados: los lixiviados generados en el relleno sanitario son almacenados en una pila aproximadamente de 7.50 m³.

A. Compactación y cobertura de los desechos dispuestos

Esta práctica se llevaba a cabo desde el establecimiento e inicio de operaciones del relleno sanitario en el 2016, las cuales se dejaron de realizar a partir del año 2018, donde los materiales dispuesto en el relleno sanitario dejaron de ser compactados y cubiertos con suelo por escases del presupuesto asignado al funcionamiento de la planta de tratamiento.

B. Extracción de desechos sólidos del relleno sanitario

En el año 2017, la municipalidad de San Pedro La Laguna establece relaciones con la empresa Cementos Progreso, en el cual la empresa recibe los desechos sólidos de la planta de tratamiento, incorporándolos a procesos de incineración y aprovechamiento energético para el funcionamiento de equipo industrial. La municipalidad no percibe ingresos económicos por parte de Cementos Progreso, siendo la corporación municipal la encargada de cubrir los costos de envío, los cuales representan Q. 2,000.00 por cada vez que se trasladan los desechos.

Los materiales que se envían a Cementos Progreso deben estar secos y compactados en paquetes de 158.75 kg, aproximadamente. Actualmente la planta de tratamiento produce 25 paquetes semanales para su traslado.

En ocasiones los desechos sólidos extraídos del relleno sanitario son transportados al relleno sanitario de la Autoridad para el Manejo Sustentable de la Cuenca de Lago de Amatitlán (AMSA), donde son dispuestos permanentemente.

2.5.8. Lixiviados

Los lixiviados generados en el proceso de compostaje y en el relleno sanitario son transportados a un tanque de almacenamiento, en donde son depositados y retenidos sin ser sometidos a procesos de tratamiento para ser dispuestos o reutilizados. Según menciona el encargado de la planta de tratamiento, los lixiviados generados nunca han alcanzado la capacidad máxima de los tanques de almacenamiento por lo que no ha sido necesario vaciarlos.

2.5.2. Eficiencia de la planta de tratamiento de desechos sólidos

Medir la eficiencia de la planta de tratamiento permite medir el desempeño operacional a través de valores numéricos, ayudando a conocer e interpretar lo que sucede dentro de ella rápidamente. Motivo por el cual, a continuación, se presentan los resultados obtenidos de la medición de la eficiencia en el manejo y recuperación de los residuos y desechos sólidos de la planta de tratamiento de San Pedro La Laguna, los cuales se obtuvieron a través de la relación peso/tiempo, representado el peso por los residuos y desechos sólidos transportados por el tren de aseo en un mes. La figura 22, muestra el promedio mensual de las entradas y salidas de residuos y desechos sólidos a la planta de tratamiento,

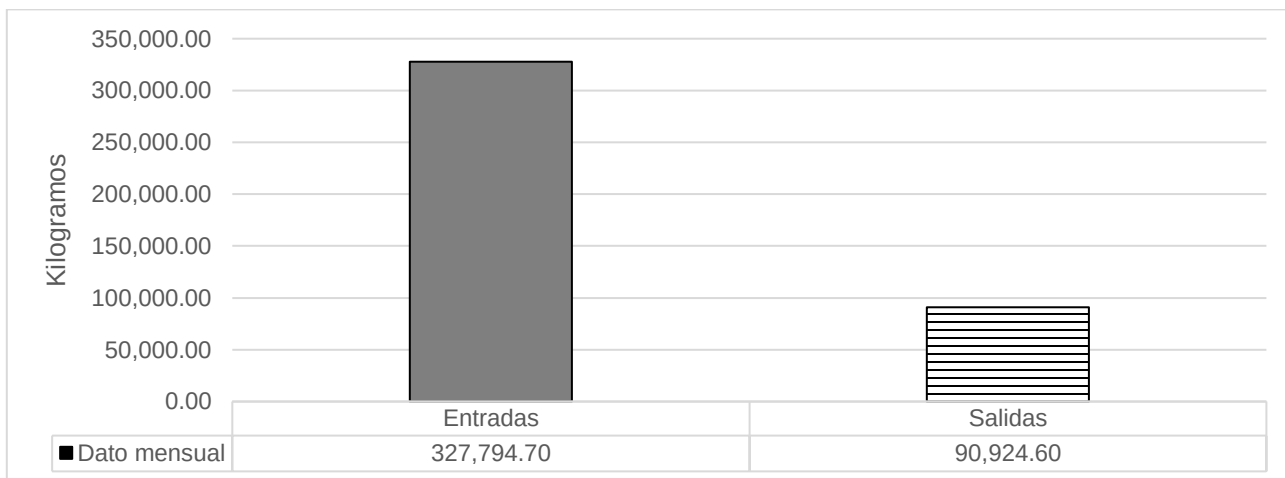


Figura 24. Promedio de entradas y salidas de residuos y desechos sólidos mensuales en la planta de tratamiento.

La figura 24, permite observar que, en promedio, ingresan 327,974.70 kg (327.98 t) de basura, de las cuales únicamente 90,924.60 kg (90.92 t) son tratados a través del compostaje, recuperación de los residuos valorizables o por traslado de desechos a cementos progresos o al relleno sanitario de la Autoridad para el Manejo Sustentable de la Cuenca y del Lago de Amatitlán (AMSA), esto representa una diferencia de 236,870 kg (236.87 t) de residuos y desechos sin recuperar o tratar, convirtiéndose en desechos que se acumulan desordenadamente en el relleno sanitario o en el vertedero establecido dentro de la planta de tratamiento.

La figura 25, permite conocer la composición de los residuos y desechos sólidos generados por el municipio de San Pedro La Laguna.

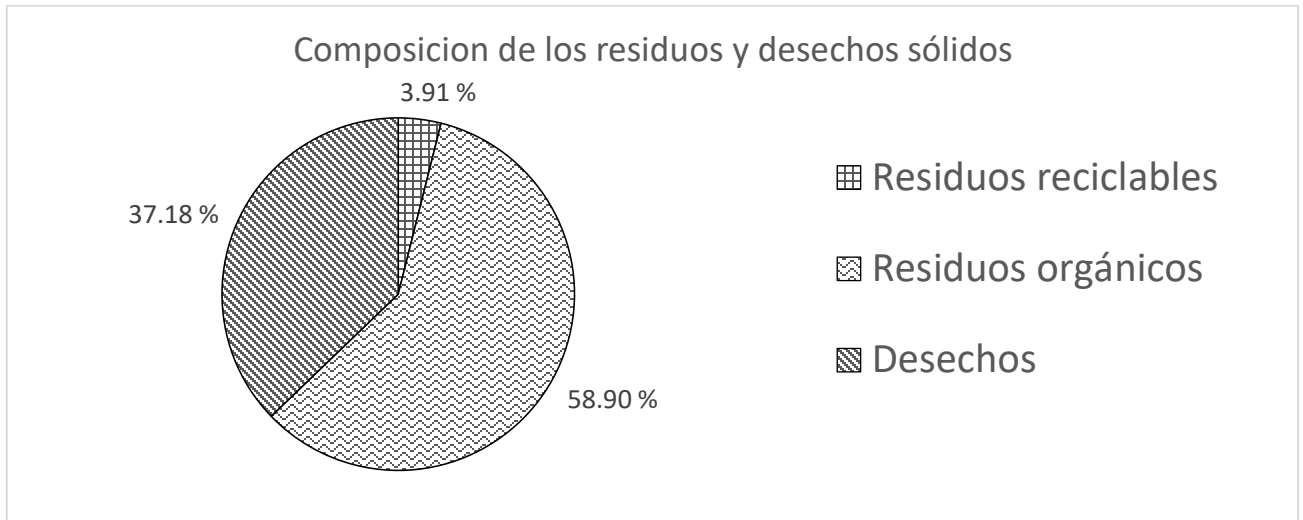


Figura 25. Composición de los residuos y desechos sólidos que ingresan a la planta de tratamiento municipal.

La figura 25, muestra los porcentajes de conformación de los residuos y desechos sólidos que ingresan a la planta de tratamiento, siendo los residuos orgánicos los que predominan con un 58.90 %, al contrario de los residuos reciclables, los cuales representan el 3.91 % y los desechos un 37.18 % de las basuras del municipio.

La figura 26, permite conocer la composición de los residuos sólidos reciclables, presentando los residuos en sus diferentes clasificaciones.

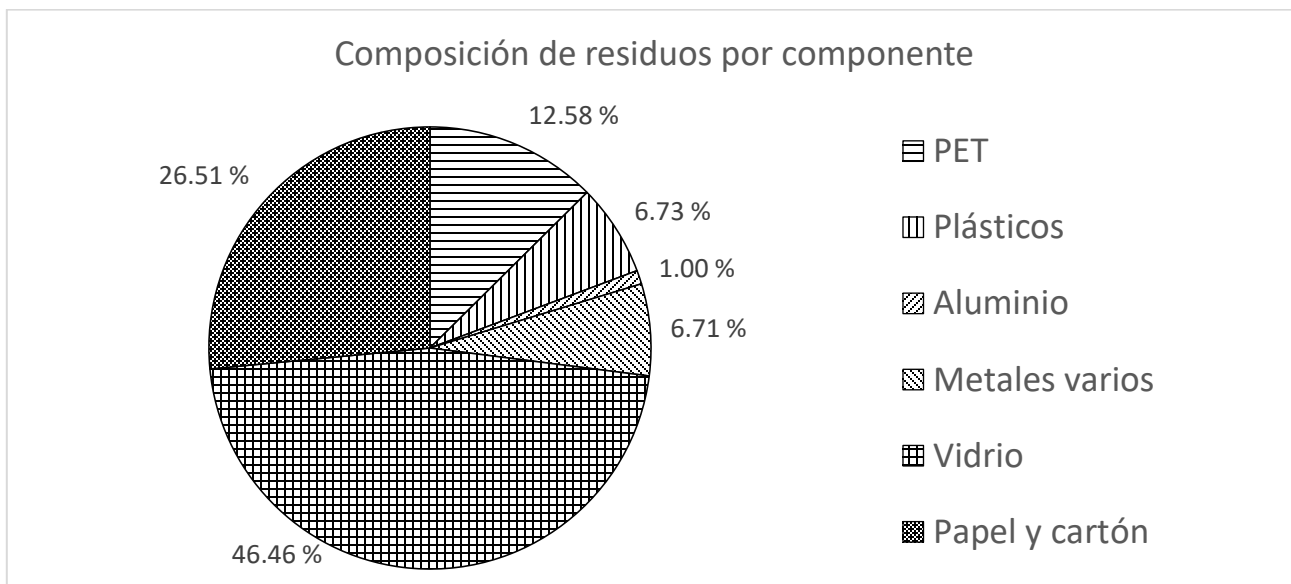


Figura 26. Composición de los residuos por componente.

La figura 26, muestra los porcentajes de conformación de los residuos sólidos que se recuperan en la planta de tratamiento, siendo los residuos PET los que ingresan en mayor proporción en un 46.46 %, al contrario de las latas de aluminio, las cuales representan únicamente el 1 % de los materiales recuperados.

A. Eficiencia de la planta de tratamiento promedio/semana

La figura 27, muestra el promedio semanal, de entradas y salidas de residuos y desechos sólidos a la planta de tratamiento en el mes de febrero de 2019.

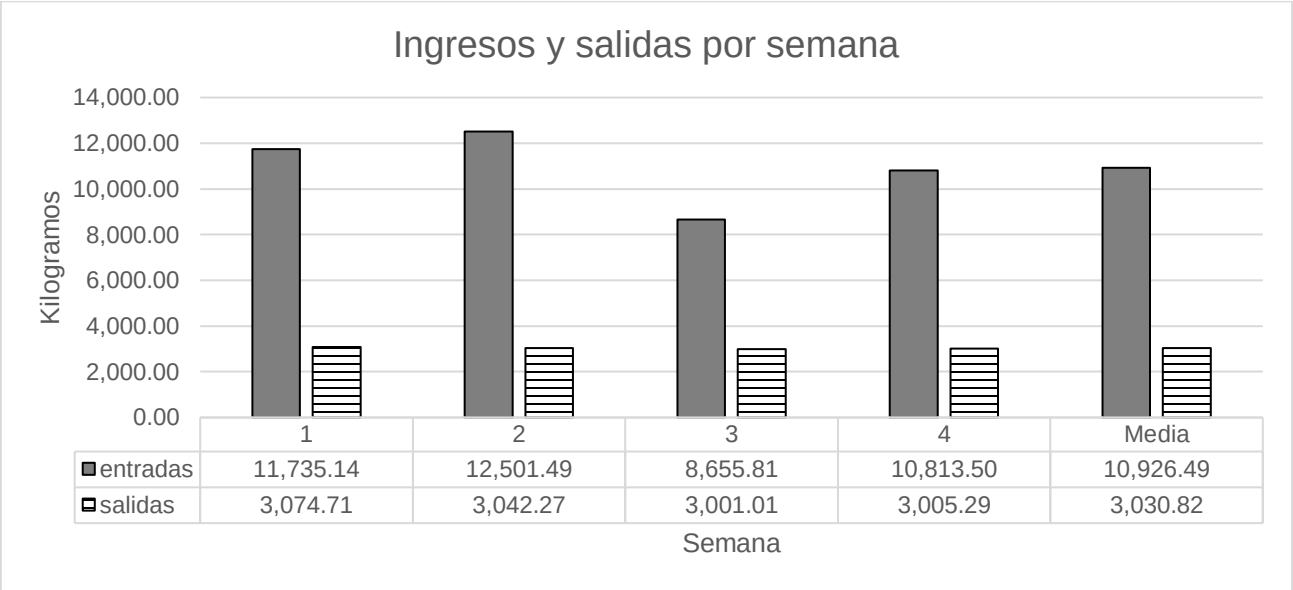


Figura 27. Promedio semanal (feb/2019) de entradas y salidas de residuos y desechos sólidos a la planta de tratamiento.

La figura 27, permite observar, que, en promedio, de 10,926.49 kg (10.92 t) de las basuras que ingresan diariamente, 3,030.82 kg (3.30 t) son recuperados a través del compostaje, recuperación de los residuos valorizables o por traslado de desechos a cementos progresos o al relleno sanitario de la Autoridad para el Manejo Sustentable de la Cuenca y del Lago de Amatitlán (AMSA), esto representa una diferencia de 7,895.67 kg (7.89 t) de residuos y desechos sin recuperar o tratar, convirtiéndose en desechos que se acumulan desordenadamente en el relleno sanitario o en el vertedero establecido dentro de la planta de tratamiento.

Con relación a las entradas y salidas de residuos por el manejo y recuperación de los materiales reciclables, la eficiencia promedio por día de la planta de tratamiento es de 27.73 %, situación que propicia que los residuos se conviertan en desechos y se acumulen aceleradamente en el relleno sanitario y en el vertedero establecido en la planta de tratamiento.

B. Entradas y salidas de desechos sólidos

La figura 28, muestra el promedio semanal, de entradas y salidas de desechos sólidos a la planta de tratamiento en el mes de febrero de 2019.

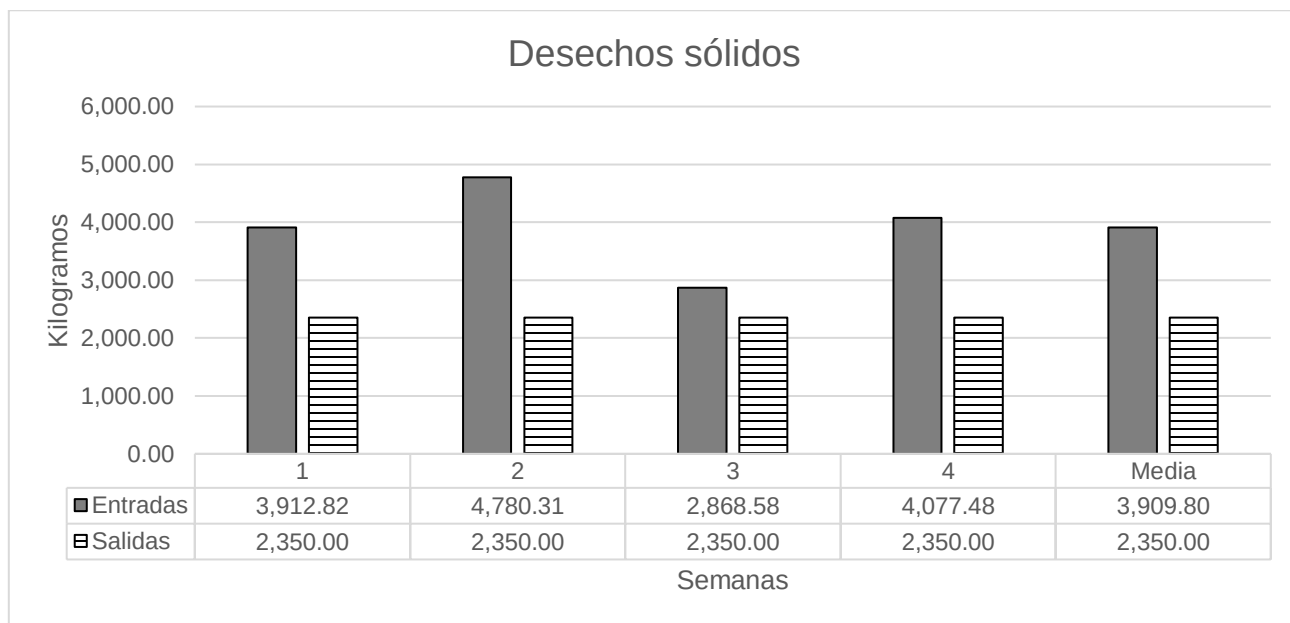


Figura 28. Promedio semanal (feb/2019) de entrada y salidas de desechos sólidos a la planta de tratamiento.

La figura 28, permite observar, que, en promedio, ingresan diariamente 3,909.80 kg (3.90 t) de desechos sólidos, de los cuales se extraen 2,350.00 kg (2.35 t) para ser transportados a las instalaciones de Cementos Progreso, con el propósito de ser incinerados, o al relleno sanitario de la Autoridad para el Manejo Sustentable de la Cuenca y del Lago de Amatitlán (AMSA) en donde son dispuestos. La diferencia entre las entradas y salidas es de 5,913.48 kg (5.91 t), los desechos que no son transportados a instalaciones externas, son dispuestos en el relleno sanitario de la planta de tratamiento, en donde son depositados desordenadamente sin seguir un tipo de planificación establecida.

C. Eficiencia en el manejo y recuperación de residuos orgánicos

La figura 29, muestra el promedio semanal, de entradas y salidas de residuos orgánicos compostables a la planta de tratamiento en el mes de febrero de 2019.

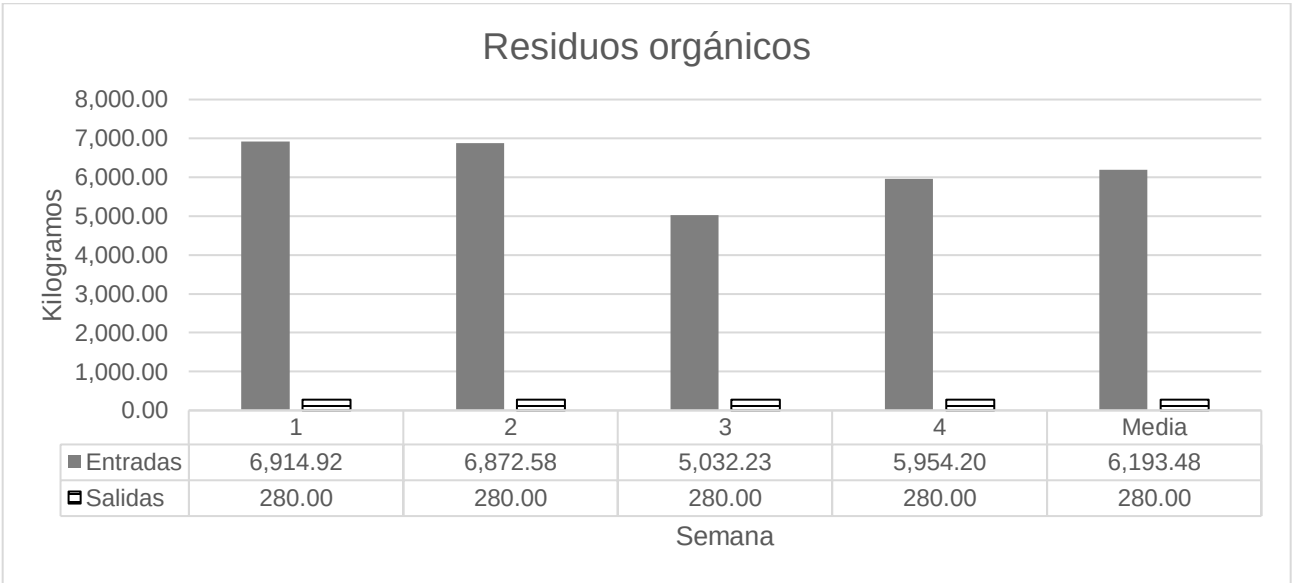


Figura 29. Promedio semanal (feb/2019) de entradas y salidas de residuos orgánicos a la planta de tratamiento.

La figura 29, permite observar, que, en promedio, de 6,193.48 kg (6.19 t) de los residuos que ingresan diariamente, únicamente 280 kg (0.28 t) son aprovechados a través del compostaje, esto representa una diferencia de 5,913.48 kg (5.91 t) de residuos acumulados en el proceso de descomposición. Esta situación se deriva de las inadecuadas prácticas de compostaje implementadas y a las bajas metas de recuperación de compost establecidas por la Dirección de Gestión Ambiental Municipal (DIGAM).

Como resultado de los procesos realizados inadecuadamente, a la poca disponibilidad de espacio en el área de compostaje y a la nula planificación establecida, la eficiencia en el manejo y recuperación de los residuos orgánicos compostables es de 4.52 %, evidenciando la necesidad de mejorar los procesos y técnicas utilizadas para la elaboración de compost y con esto evitar la acumulación acelerada de residuos orgánicos sin utilizar y reducir la disposición de materiales en el vertedero establecido en la planta de tratamiento, los cuales tienen un impacto directo en el ambiente en el proceso de degradación no controlada.

D. Eficiencia en el manejo y recuperación de residuos inorgánicos

La figura 30, muestra el promedio semanal, de entradas y salidas de residuos inorgánicos a la planta de tratamiento en el mes de febrero de 2019.

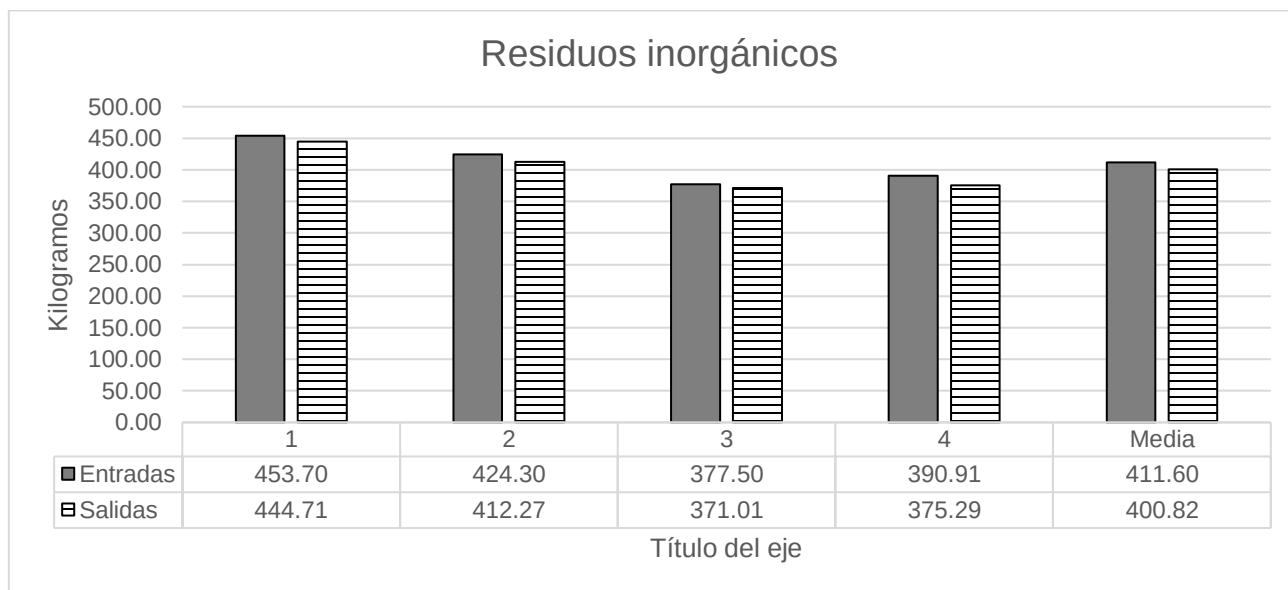


Figura 30. Promedio semanal (feb/2019) de entradas y salidas de residuos sólidos a la planta de tratamiento.

La figura 30, permite observar, que, en promedio, ingresan 411.60 kg (0.41 t) de materiales reciclables, de los cuales se recuperan 400.82 kg (0.40 t). La recuperación se lleva a cabo manualmente dentro del relleno sanitario, donde los materiales son recuperados, pero no clasificados. Los residuos que se encuentran contaminados con grasas, pinturas, aceites o gasolina se disponen en el relleno sanitario de forma permanente, estos materiales no reciclables representan, en promedio, 10.78 kg (0.10 t) al día.

Como resultado de los procesos realizados para la recuperación de materiales, la eficiencia en el manejo y recuperación de los residuos comercializables es de 97.38 %, evidenciando la necesidad de continuar con los procesos y técnicas utilizadas para la recuperación y reclasificación de residuos y de este modo evitar la disposición de materiales valorizables en el relleno sanitario.

E. Eficiencia en el manejo y recuperación de residuos de tereftalato de polietileno (PET)

La figura 31, muestra el promedio semanal, de entradas y salidas de residuos de tereftalato de polietileno (PET) a la planta de tratamiento en el mes de febrero de 2019.

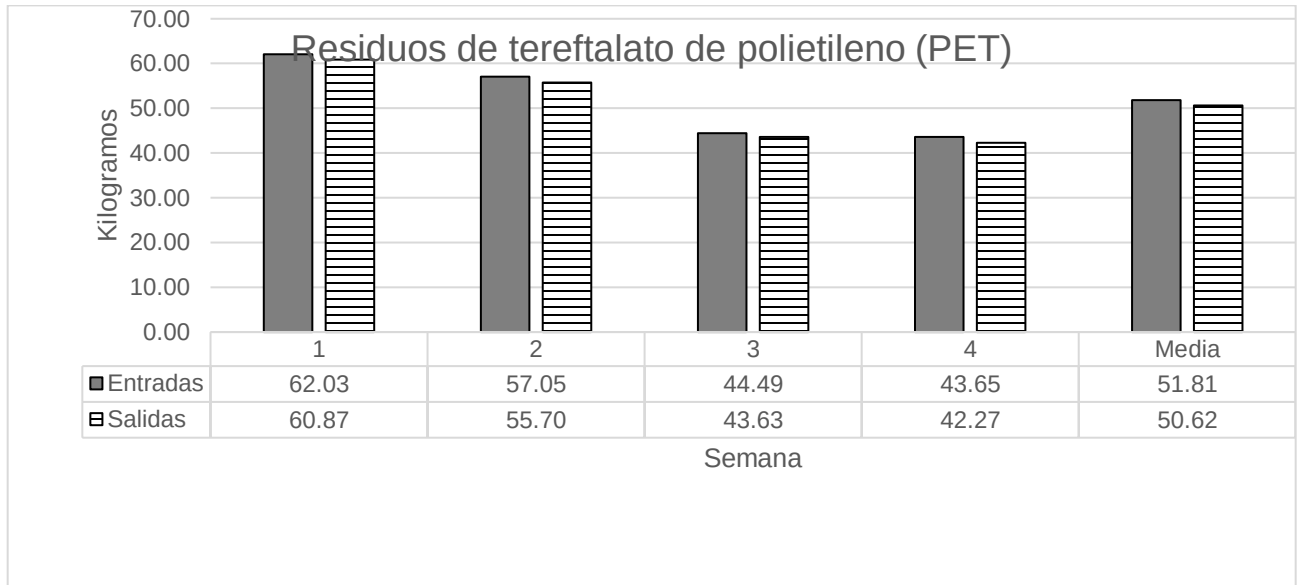


Figura 31. Promedio semanal (feb/2019) de entradas y salidas de residuos de tereftalato de polietileno (PET) a la planta de tratamiento.

La figura 31, permite observar, que, en promedio, ingresan 51.81 kg (0.51 t) de residuos de tereftalato de propileno (PET) de color celeste, verde, gris y transparente, de los cuales se recuperan 50.62 kg (0.50 t), esto representa una diferencia de 1.19 kg (0.11 t) de residuos de tereftalato de propileno (PET) que se pierden por estar contaminados de grasas, aceites, pinturas o gasolina, contaminantes que no permiten que los materiales sean reciclados, a pesar de la existencia de materiales no recuperables, la eficiencia en la recuperación de los residuos de este tipo es de 97.70 %. Es importante mencionar que esta clase de residuo es la que representa el mayor volumen de todos los materiales que se recuperan para la clasificación, a pesar de esto los materiales recuperados no representan un valor alto en cuanto al peso total.

F. Eficiencia en el manejo y recuperación de residuos plásticos

La figura 32, muestra el promedio semanal, de entradas y salidas de residuos plásticos a la planta de tratamiento en el mes de febrero de 2019.

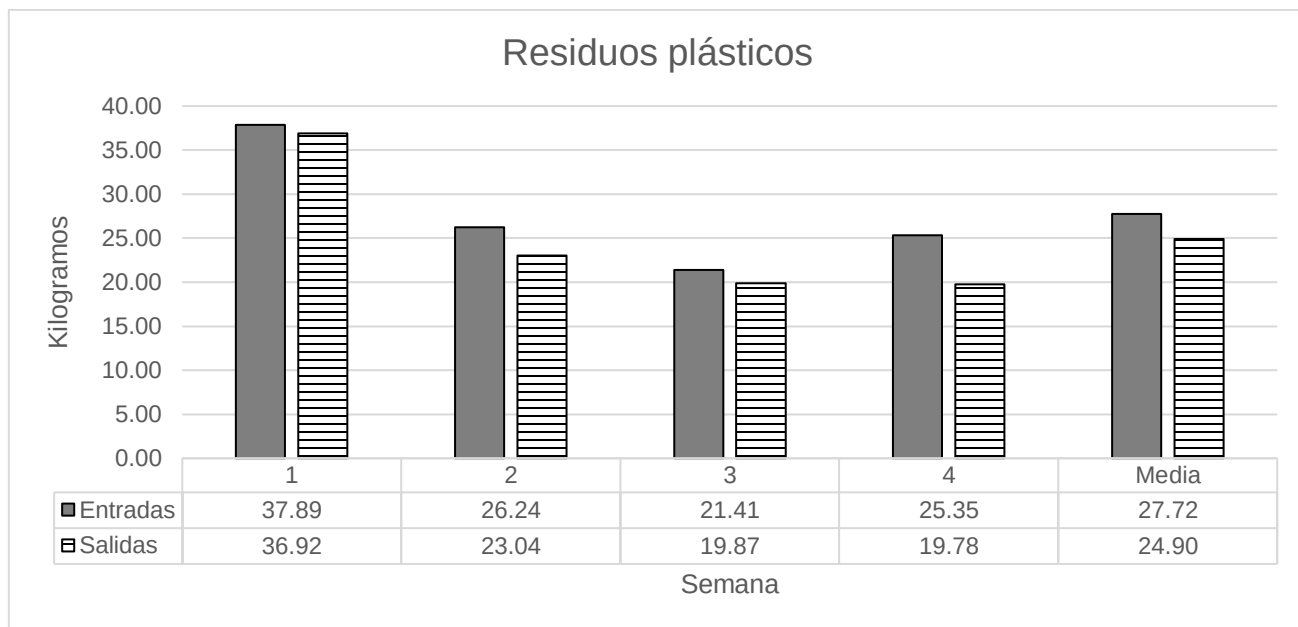


Figura 32. Promedio semanal (feb/2019) de entradas y salidas de residuos plásticos a la planta de tratamiento.

La figura 32, se puede observar, que, en promedio, ingresan 27.72 kg (0.02 t) de residuos plásticos denominados duros y sopladados, de los cuales se recuperan 24.90 kg (0.02 t), esto representa una diferencia de 2.82 kg (0.002 t) de residuos plásticos que se pierden por estar contaminados de grasas o pinturas. Como resultado de los procesos realizados, la eficiencia en el manejo y recuperación de los residuos es de 89.82 %, valor que demuestra la necesidad de continuar con los procesos y técnicas utilizadas para la recuperación y reclasificación de los residuos y de este modo evitar que los residuos valorizables se acumulen dentro del relleno sanitario o en el vertedero establecido en la planta de tratamiento.

G. Eficiencia en el manejo y recuperación de residuos de aluminio

La figura 33, muestra el promedio semanal, de entradas y salidas de residuos de aluminio a la planta de tratamiento en el mes de febrero de 2019.

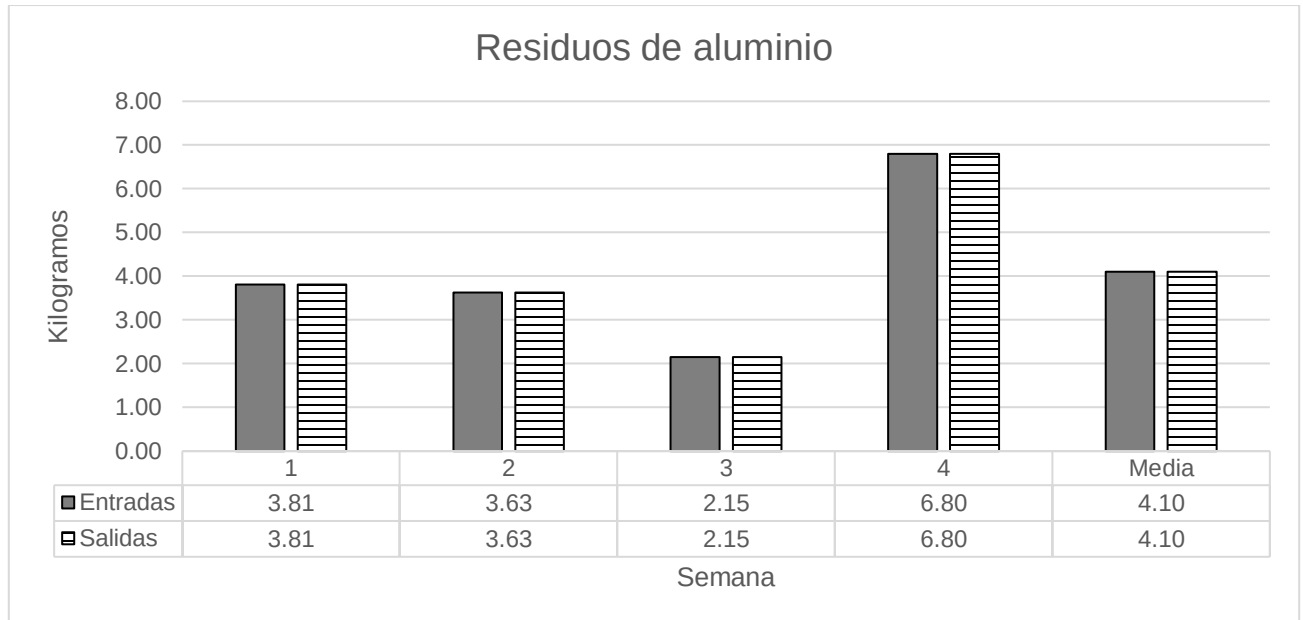


Figura 33. Promedio semanal (feb/2019) de entradas y salidas de residuos de aluminio a la planta de tratamiento.

La figura 33, permite observar, que, en promedio, ingresan 4.10 kg (0.004 t) de residuos de aluminio, de los cuales se recuperan 4.10 kg (0.004 t), es decir que se recupera la totalidad de los residuos identificados en esta clase, lo cual representa una eficiencia del 100 % en la recuperación de los residuos de aluminio. A este residuo se la da una mayor importancia para ser recuperado ya que este material reciclable representa Q. 300.00 por quintal recuperado y comercializado, siendo el residuo con mayor costo de venta, pero el que en menor cantidad ingresa a la planta de tratamiento.

H. Eficiencia en el manejo y recuperación de residuos metálicos

La figura 34, muestra el promedio semanal, de entradas y salidas de residuos metálicos a la planta de tratamiento en el mes de febrero de 2019.

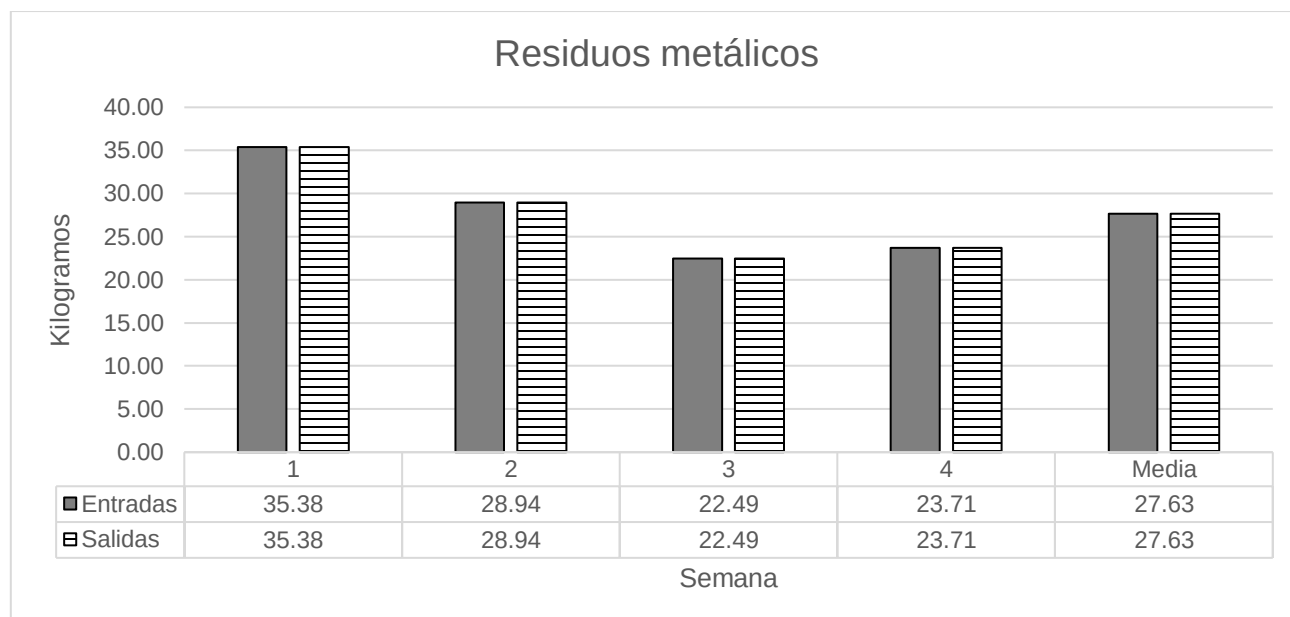


Figura 34. Promedio semanal (feb/2019) de entradas y salidas de residuos metálicos a la planta de tratamiento.

La figura 34, permite observar, que, en promedio, ingresan 27.63 kg (0.02 t) de residuos metálicos, recuperando 27.63 kg (0.02 t) de los residuos identificados en esta clase. Como resultado de los procesos realizados, la eficiencia en el manejo, identificación y recuperación de los residuos metálicos es de 100 %, siendo el segundo material reciclable que se recupera totalmente de los residuos identificados como metálicos.

I. Eficiencia en el manejo y recuperación de residuos de vidrio

La figura 35, muestra el promedio semanal, de entradas y salidas de residuos de vidrio a la planta de tratamiento en el mes de febrero de 2019.

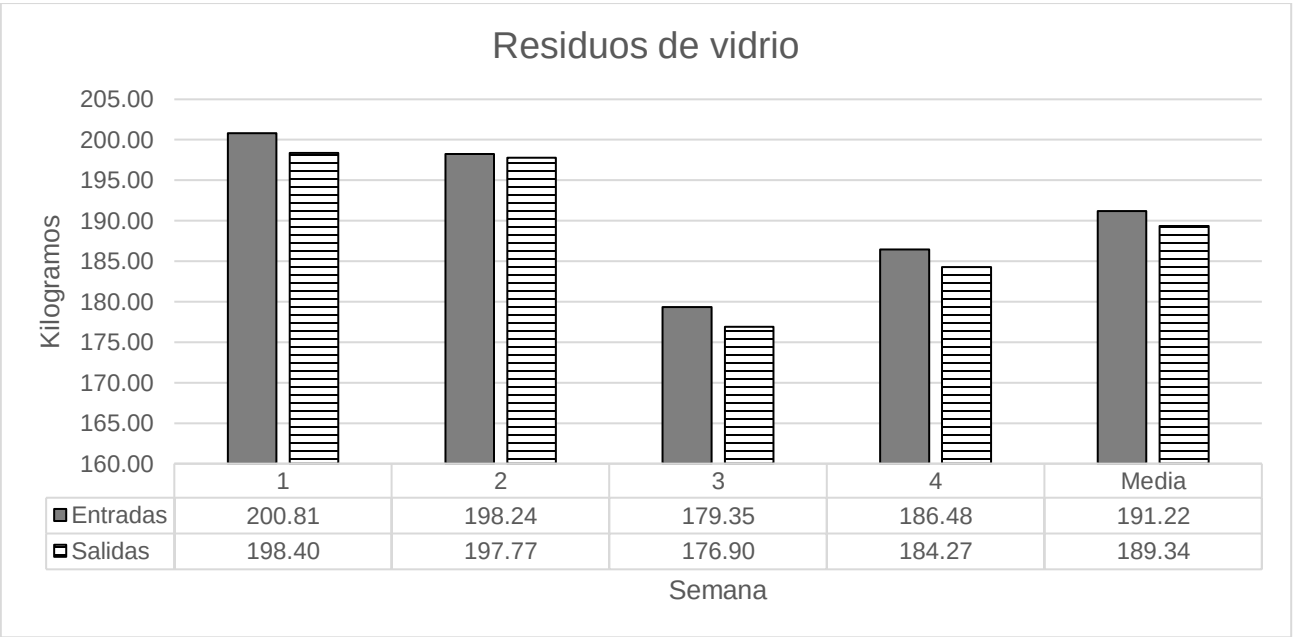


Figura 35. Promedio semanal (feb/2019) de entradas y salidas de residuos de vidrio a la planta de tratamiento.

La figura 35, permite observar que, en promedio, ingresan 191.22 kg (0.19 t) de residuos de vidrio, recuperando 189.34 kg (0.18 t) de los residuos identificados en esta clase. Como resultado de los procesos realizados, la eficiencia en el manejo, identificación y recuperación de los residuos de vidrio es de 99.01 %, los materiales que se recuperan son principalmente botellas de vidrio y los materiales que se descartan son los residuos de vidrio quebrado que ingresan a la planta de tratamiento. El vidrio es el residuo que en mayor cantidad ingresa a la planta, con relación al peso, pero su precio de comercialización, de Q. 10.00/qq, es bajo comparado con los residuos de aluminio con un precio de Q. 300.00/qq.

J. Eficiencia en el manejo y recuperación de cartón y papel

La figura 36, muestra el promedio semanal, de entradas y salidas de residuos de cartón y papel a la planta de tratamiento en el mes de febrero de 2019.

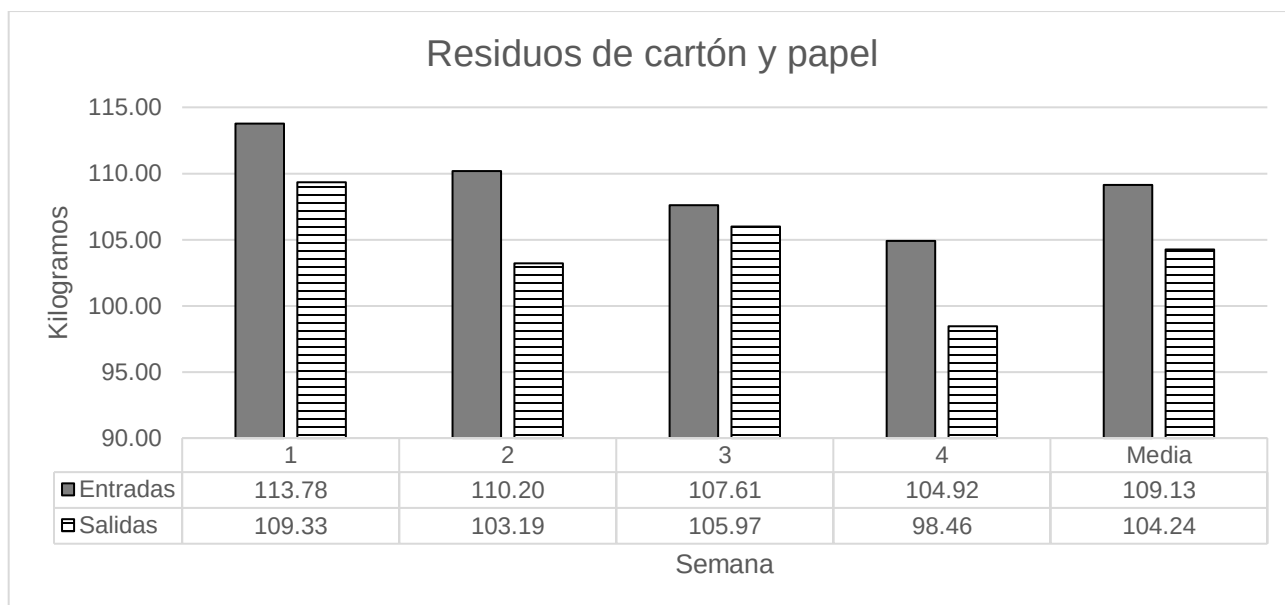


Figura 36. Promedio semanal (feb/2019) de entradas y salidas de residuos de papel y cartón a la planta de tratamiento.

La figura 36, permite observar, que, en promedio, ingresan 109.13 kg (0.10 t) de residuos de papel y cartón, recuperando 104.24 kg (0.14 t) del total de los residuos identificados. A pesar que en ocasiones el cartón se encuentra contaminado por pinturas o grasas, este material es utilizado para el embalaje de los desechos sólidos que son transportados a las instalaciones de Cementos Progreso o la Autoridad para el Manejo Sustentable de la Cuenca y del Lago de Amatitlán (AMSA), por tal motivo el cartón es recuperado sin importar la calidad del material, representando un 95.52 % de eficiencia en la recuperación de estos materiales, los materiales que se descartan son los residuos de papel y cartón contaminado con grasas y aceites que no pueden ser utilizados para la comercialización o embalaje de los materiales.

K. Residuos valorizables descartados

La figura 37, muestra el promedio semanal, de residuos descartados para el reciclaje en el mes de febrero de 2019.

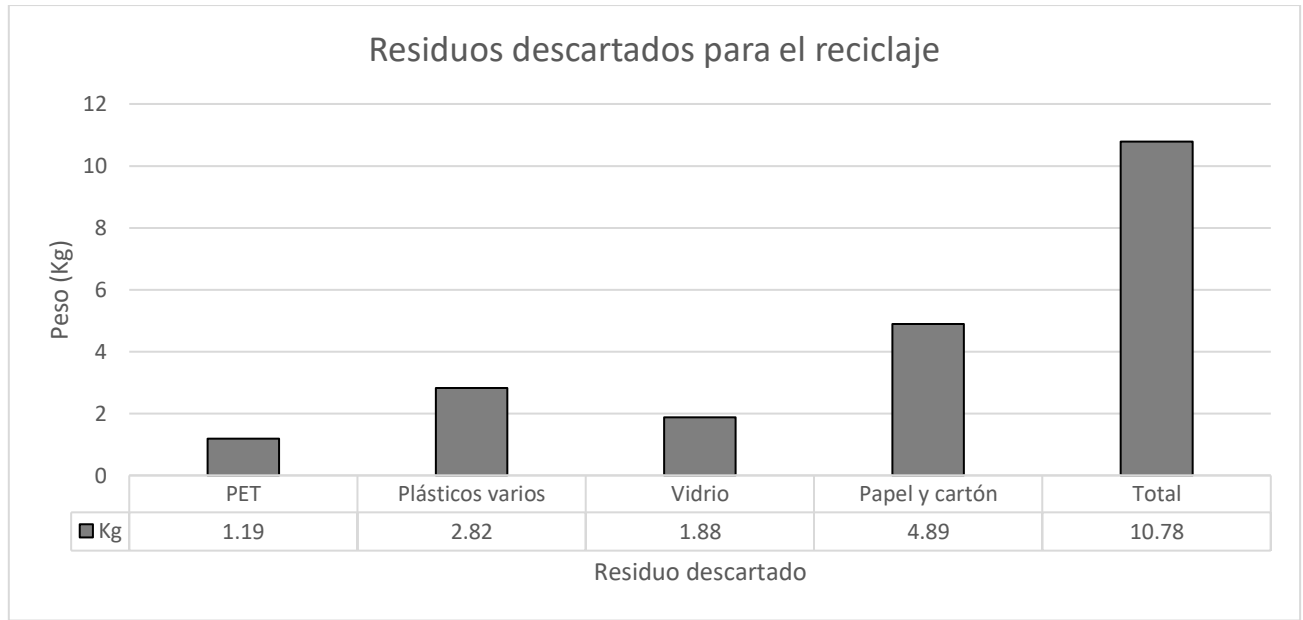


Figura 37. Residuos valorizables contaminados y descartados.

La figura 37, permite observar los promedios por semana, de los residuos sólidos que son descartados por estar contaminados con pinturas, aceites, grasas, gasolinas u otros contaminantes. Estos residuos contaminados representan 10.78 kg de los 411.60 kg de residuos totales que ingresan diariamente, equivalente al 2.61 %. Además, estos materiales no reciclables se convierten directamente en desechos que son dispuestos en el relleno sanitario, lo cual impacta negativamente en la vida útil del mismo, disminuyendo los ingresos económicos por la venta de materiales recuperados.

L. Eficiencia por componente

La figura 38, muestra la eficiencia en la recuperación de los residuos reciclables que ingresaron a la planta de tratamiento en el mes de febrero de 2019.

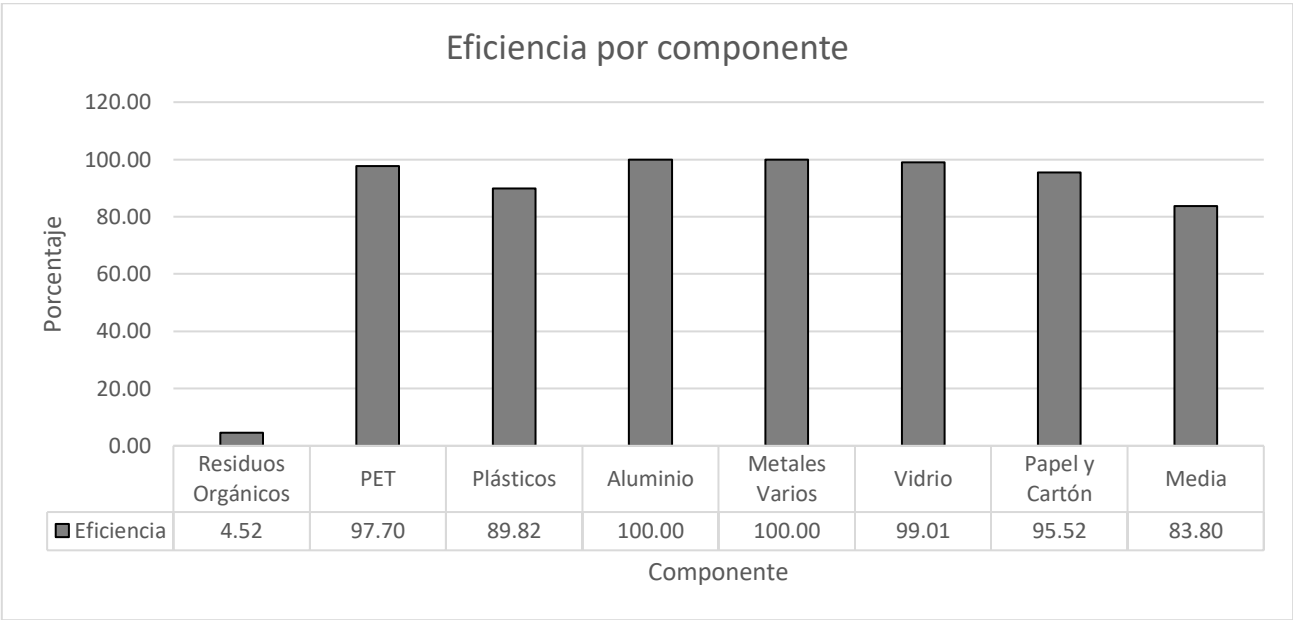


Figura 38. Eficiencia en la recuperación y tratamiento de residuos de la planta de tratamiento.

La figura 38, muestra la eficiencia en la recuperación de los residuos reciclables. Siendo los residuos orgánicos, con 4.52 % de eficiencia, el residuo que se recupera y maneja con menor efectividad, evidenciando la ejecución de inadecuadas prácticas de compostaje, así como la carencia de una planificación que permita aumentar las metas de recuperación de compost. Además, la gráfica permite observar la efectividad para la recuperación de los residuos de aluminio y de metales varios, representados por el 100 % de eficiencia, lo cual se debe principalmente a que este tipo de materiales ingresan clasificados desde el origen.

La recuperación de los residuos sólidos en cinco de los siete tipos de materiales recuperados, supera el 90 % de eficiencia, siendo los residuos orgánicos y plásticos los materiales que no superan el 90 % de eficiencia. La eficiencia promedio total de la planta de tratamiento en recuperación y tratamiento es de 83.80 %, siendo afectada en mayor parte por la ineficiencia en el manejo de los residuos orgánicos biodegradables.

M. Eficiencia económica de la planta de tratamiento de residuos y desechos sólidos

Como parte de la evaluación del funcionamiento de la planta de tratamiento, se tomó en cuenta el aspecto económico, considerando las entradas y salidas de dinero que representa la ejecución de los distintos procesos en el tratamiento de residuos y desechos sólidos y la prestación de servicios municipales. Esto con el propósito de determinar la relación beneficio/costo en cuanto al manejo de residuos y desechos sólidos en San Pedro La Laguna.

$$B/C = \frac{Q. 9,316.25}{Q. 55,126.66} = Q. 0.17$$

Como se puede observar en la ecuación anterior, los ingresos promedio mensuales percibidos por la venta de materiales reciclables, compost y el cobro por la prestación del servicio de tren de aseo por parte de la municipalidad, son equivalentes a Q. 9,316.25. En cuanto a los costos mensuales de operación de la planta de tratamiento de residuos y desechos sólidos y del tren de aseo municipal de San Pedro La Laguna, representan un costo de Q. 55,126.66. Por lo anterior la relación beneficio costo es igual a Q. 0.17, definiendo que por cada quetzal que la municipalidad invierte, únicamente recupera Q. 0.17, teniendo una pérdida de Q. 0.83, representando una perdida promedio mensual de Q. 45,810.41.

2.5.3. Evaluación del impacto ambiental generado por el vertedero establecido dentro de la planta de tratamiento de residuos y desechos sólidos

La evaluación de impacto ambiental se realiza con el propósito de evitar o minimizar los posibles efectos sobre el medio físico, biótico y social que pueda representar el vertedero de la planta de tratamiento, así como promover el desarrollo a través de procesos sustentables para proteger los ecosistemas y los procesos inmersos en ellos.

A. Descripción del lugar

El vertedero establecido en la planta de tratamiento es una ladera con una pendiente de 100 %, esta cuenta con un área aproximada de 2,000 m² la cual no se encuentra cubierta por materiales impermeables que permitan proteger el suelo y subsuelo. En este vertedero se depositan los desechos orgánicos leñosos que no se utilizan en el proceso de compostaje

debido a su lenta velocidad de degradación, además, se depositan desechos provenientes de mercados, desechos de construcción y desechos domiciliarios.

En la figura 39, se puede observar que el vertedero se encuentra separado de los terrenos aledaños por el muro perimetral de la planta de tratamiento, en donde se encuentran siembras de maíz y café, lugares que se ven contaminados por los desechos que son arrastrados por el viento.



Figura 39. Vertedero a cielo abierto de la planta de tratamiento de residuos y desechos sólidos.

B. Evaluación de impacto ambiental por medio de la matriz de Leopold

El cuadro 10, representa la matriz de Leopold, donde es posible identificar y evaluar los impactos generados por la disposición inadecuada de residuos y desechos sólidos a cielo abierto.

Cuadro 10. Evaluación de los impactos ambientales generados por el vertedero de la planta de tratamiento.

FACTORES ANTROPOLOGICOS FACTORES AMBIENTALES			Modificación del régimen			Situación y tratamiento de residuos			Magnitud/ importancia total
			Modificación de hábitat	Alteración de la cubierta terrestre	Alteración del drenaje	Vertedero	Disposición de chatarra	Vertido de residuos orgánicos e inorgánicos	
Medio	Componente	Parámetro							
Físico y químico	Tierra	Suelo	3/2	3/3	2/1	-	1/1	4/3	13/10
	Agua	Superficiales	-	1/1	2/2	2/1	1/1	3/3	9/8
		Subterráneas	-	3/3	4/3	2/2	2/1	4/4	15/13
	Atmosfera	Calidad (gases, partículas)	-	-	-	3/2	-	4/3	7/5
Condiciones biológicas	Flora	Cosechas	-	-	-	3/1	-	3/2	6/3
		Calidad	3/1	2/2	-	1/1	-	2/1	8/5
	Fauna	Calidad	3/2	-	-	2/2	-	4/3	9/7
Factores culturales	Estéticos y de interés humano	Paisaje	3/1	-	-	2/2	-	2/1	7/4
	Relaciones ecológicas	Vectores, insectos y enfermedades	-	-	-	4/3	-	4/4	8/7
		Cadenas alimentarias	1/1	-	-	2/1	-	2/2	5/4

C. Análisis de la matriz de Leopold

La aplicación de la matriz de Leopold, en el cuadro 10, permitió identificar y evaluar los impactos que se generan de la inadecuada disposición de los residuos y desechos sólidos a cielo abierto, siendo los impactos generados los siguientes:

a. Impactos al medio físico y químico

Con la evaluación de los impactos ambientales generados por el vertedero de la planta de tratamiento, se logra evidenciar que el medio físico y químico, con una magnitud total de 44, es el que a mayores impactos se encuentra expuesto.

El recurso suelo es impactado de forma negativa, con una magnitud total de 13, principalmente, por el vertido de residuos orgánicos e inorgánicos, los cuales modifican la cubierta terrestre y generan lixiviados que pueden alterar la estructura y composición física y químicas de los suelos. Además, Las aguas subterráneas con una magnitud total de 15, son las mayormente afectadas, principalmente por los lixiviados generados por la materia orgánica en descomposición y el arrastre de metales pesados provenientes de residuos urbanos, los cuales son potenciales contaminantes de los cuerpos de agua subterráneos y superficiales, cercanos o lejanos a la planta de tratamiento.

Es importante hacer énfasis en la protección y erradicación de los contaminantes que impactan los componentes del suelo y aguas subterráneas, por la matriz de Leopold se pudo determinar que, el medio físico y químico de los componentes del suelo, son los mayormente impactados por el vertedero a cielo abierto.

La calidad de la atmosfera es impactada por la liberación de gases, principalmente metano y dióxido de carbono, los cuales son considerados como gases de efecto invernadero (GEI), y la generación de malos olores intensos, provocados por las relaciones de carbono:nitrógeno, produciendo gases cargados principalmente de nitrógeno que resultan molestos para la salud humana. Estos gases son resultado de la putrefacción de los residuos orgánicos expuestos a las condiciones de temperatura y humedad del medio.

b. Impactos al medio biótico

El medio biótico está conformado por la fauna y la flora, los cuales están expuestos a 9 impactos con una magnitud total de 23, derivados de la modificación del hábitat, el establecimiento del vertedero y la disposición de residuos orgánicos e inorgánicos, ya que

estos contaminan y modifican los ecosistemas naturales y deterioran los procesos de interacción entre organismos (López, M. Nazario, C. 2018). Motivos por los que la flora del área es la principal impactada negativamente, debido a la disminución de la calidad ecosistémica por la presencia de agentes contaminantes y por los desechos de menor peso son transportados por el viento hacia las áreas de cultivo.

c. Impactos al medio cultural

Este medio es afectado por 8 impactos directos, los cuales representan una magnitud total de 20, estos impactos son generados por las modificaciones al hábitat, el establecimiento del vertedero y la disposición inadecuada de los desechos sólidos. Prácticas que generan el principal problema en este medio, siendo este la proliferación de plagas y enfermedades, las cuales representan un riesgo directo para los trabajadores de la planta de tratamiento y los habitantes del municipio. Además, la calidad de vida y el medio laboral también sufre impactos derivado del deterioro del paisaje creado por la acumulación de residuos y desechos sólidos.

2.6. CONCLUSIONES

1. Las operaciones de manejo, tratamiento y disposición final de los residuos y desechos sólidos en la planta de tratamiento, son desarrolladas sin responder a planificaciones técnicas establecidas, por lo que en ocasiones se pierde el orden en los procesos, impactando directamente en la eficiencia de la planta de tratamiento, en la vida útil de la planta de tratamiento y en las condiciones sanitarias del área de trabajo, representando riesgos para la salud de los trabajadores y para la calidad del ambiente.
2. La carencia de una base de datos donde se registren las actividades desarrolladas y el peso y volumen de los residuos y desechos sólidos que ingresan a la planta de tratamiento, no permiten desarrollar estadísticas que posibiliten la correcta planificación de proyectos y el establecimiento de diseños de infraestructura que logren mejoras continuas en el manejo eficiente y adecuado de los residuos y desechos sólidos dentro de la planta.
3. La vida útil del relleno sanitario que era de 10 años no fue alcanzada debido a las carencias en el diseño original del mismo. Actualmente este se encuentra en el colapso, ya que la capacidad máxima del relleno sanitario ha sido cubierta por los desechos sólidos que podrían aprovecharse y formar parte de las salidas de la planta de tratamiento.
4. La eficiencia total de la planta de tratamiento, en cuanto a la recuperación y tratamiento de los residuos sólidos, se ve disminuida por la baja eficiencia en el manejo y transformación de la materia orgánica, la cual es de 4.52 %, esto derivado de la poca disponibilidad de espacio en el área de compostaje y a la nula planificación para desarrollar el proceso de degradación adecuadamente. Caso distinto en la recuperación del tereftalato de polietileno (PET), materiales de aluminio como latas, metales varios, vidrio, papel y cartón, los cuales se recuperan con una eficiencia mayor al 90 % permitiendo que los materiales sean comercializados y generen ingresos económicos.
5. La planta de tratamiento de residuos y desechos sólidos fue creada con fines ecológicos y no con fines de lucro, por lo que sus acciones van encaminadas a la protección del ambiente. Situación que se evidencia en los resultados obtenidos a través de la relación beneficio/costo, donde se establece que la municipalidad recupera Q. 0.17 por cada quetzal que se invierte en el manejo y tratamiento de los residuos y desechos sólidos. Los bajos ingresos se deben principalmente a la comercialización indirecta, a través de intermediarios, de los materiales reciclables, a la baja eficiencia en el proceso de compostaje y al desaprovechamiento de los lixiviados como producto para la fertilización foliar.

6. El establecimiento de vertederos a cielo abierto es una práctica opuesta al desarrollo sostenible, los impactos ambientales generados por el vertedero presente en la planta de tratamiento fueron identificados y evaluados a través de la matriz de Leopold, en la cual se evidenció que el medio físico-químico, con una magnitud total de 44, es el más afectado por los factores antropológicos analizados, comparado con los impactos recibidos por el medio cultural, el cual es el medio afectado en menor magnitud con un total de 20.
7. El recurso suelo, del área del vertedero a cielo abierto, es impactado de forma negativa, con una magnitud total de 13, principalmente, por el vertido de residuos orgánicos e inorgánicos, los cuales modifican la cubierta terrestre y generan lixiviados que pueden alterar la estructura y composición física y químicas de los componentes del suelo. Además, esta área es impactada negativamente, principalmente, por la emisión de gases con efecto invernadero, malos olores, proliferación de plagas y vectores de enfermedades, y el deterioro del paisaje y de la calidad de vida.

2.7. RECOMENDACIONES

1. Suspender permanentemente la disposición de residuos y desechos sólidos en el vertedero a cielo abierto ubicado en la ladera final de la planta de tratamiento, estableciendo mecanismos de remediación y corrección con base en técnicas adecuadas que propicien la erradicación de los impactos al ambiente y la salud de la población, consiguiendo la unificación del sitio con el entorno natural.
2. Realizar una caracterización de los residuos y desechos sólidos en el municipio, a partir de los datos publicados del censo realizado en el 2018, con el propósito de actualizar los datos de la caracterización actual, y con base en esta poder diseñar instalaciones que alcancen los tiempos de vida útil establecidos en los diseños.
3. Establecer programas de incentivos, a través de tarifas diferenciadas, y monitoreos en el servicio de tren de aseo, con el propósito de dar continuidad y fortalecer las prácticas de clasificación de las basuras desde las fuentes generadoras, permitiendo que cada tipo de residuo conserve sus características al no ser contaminado por otros desechos y así, estos materiales sean aprovechados en procesos de reciclaje.
4. Establecer bases de datos con registro de las actividades y procesos dentro de la planta de tratamiento, en donde se tomen en cuenta los horarios de recepción de los residuos y desechos sólidos, el volumen y peso de las basuras que ingresan diariamente y registro de los ingresos económicos percibidos por la comercialización de los residuos, esto con el propósito de generar estadísticas, proponer mejoras y métodos de control que aseguren el funcionamiento adecuado de la planta de tratamiento
5. Adquirir maquinaria para agilizar los procesos desarrollados dentro de la planta de tratamiento, tomando en cuenta la necesidad de disponer de tres compactadoras funcionales para la compactación de los desechos y residuos sólidos; dos trituradoras para reducir el tamaño de los residuos orgánicos a compostar y un montacargas para transportar los residuos y desechos sólidos compactados.
6. Fomentar el uso de equipo de seguridad para el personal de la planta de tratamiento, ya que, a través del uso de equipo adecuado, se asegura la integridad física de los trabajadores municipales en cada fase del manejo y tratamiento de los desechos y residuos sólidos. recomendando el uso de guantes impregnados de latex, lentes de policarbonato, casco de seguridad, bota de hule con casquillo de acero y overol de protección.

7. Establecer relaciones directas de comercialización con empresas recicladoras, con el propósito de aumentar los ingresos derivados de la venta de residuos recuperados.
8. Mejorar la eficiencia en el manejo y transformación de la materia orgánica a través del proceso de compostaje. Para esto, esta área debe ser diseñada de tal manera que, al transcurrir 15 años, se puedan tratar 8,423.13 kg (8.42 t) de residuos biodegradables por día, volumen equivalente a 21.10 m³ de materia orgánica. Por lo cual es necesario disponer de un área de 1,400 m², aproximadamente, permitiendo el establecimiento de 90 pilas de compostaje y así asegurar que el proceso funcione adecuadamente durante la vida útil de diseño. Conjunto a esto se debe mantener el uso de microorganismos eficientes como agente acelerador del proceso de descomposición, haciendo aplicaciones los días 1, 3, 5 y 7 del proceso, posteriormente se deben aplicar una vez por semana para mantener niveles altos de la población de microorganismos. Los volteos de la materia orgánica en descomposición se deben realizar una vez por semana, durante el primer mes, pasadas las primeras semanas los volteos se deben realizar cada 15 días hasta llegar a la fase de maduración del compost.
9. El relleno sanitario debe de ser situado en un área donde se pueda aprovechar el relieve del terreno y así evitar que se lleven a cabo excavaciones. Este debe ser diseñado para una vida útil mínima de 15 años, con el propósito de maximizar la utilidad del espacio a utilizar, ya que los terrenos municipales que se puedan destinar al establecimiento de un relleno sanitario son escasos. Tomando en cuenta que en el año 15 la población generará, aproximadamente, 43.61 m³ de desechos sólidos por día, se debe disponer de un área mínima de 5,000 m² para el establecimiento del relleno sanitario.
10. Las operaciones llevadas a cabo en el relleno sanitario deben responder a un plan de operaciones preestablecido, en el cual se definan los procesos que deben cumplirse para el funcionamiento adecuado del sitio de disposición final. De este modo, se debe establecer que la disposición de los desechos sea desarrollada por celdas, delimitando las áreas que se ocuparán diariamente. Estas celdas deben estar debidamente compactadas y cubiertas con una capa de tierra compactada de 0.15 m de espesor.
11. Retomar la entrega de los desechos sólidos a la empresa Cementos Progreso con el propósito de que estos desechos sean manejados a través de la incineración y no sean acumulados en el relleno sanitario de la Autoridad para el Manejo Sustentable de la Cuenca y del Lago de Amatitlán (AMSA). Además, se debe gestionar que los costos de transporte de los desechos sólidos sean pagados por la empresa cementera y así, disminuir los costos en el manejo de los residuos y desechos sólidos.

12. Los lixiviados generados deben ser recogidos y almacenados en un área aislada de sustancias contaminantes. Para la gestión adecuada de estos líquidos es necesario tomar en cuenta las siguientes alternativas: Los lixiviados generados deben ser reciclados, hasta tres veces, para humedecer la materia orgánica en proceso de descomposición, con el propósito de disminuir el volumen de lixiviados y concentrar los nutrientes en el lixiviado final.
13. El material leñoso que ingresa a la planta de tratamiento debe ser recuperado para ser utilizado como leña para la cocción de alimentos y así evitar la acumulación de materiales en el vertedero de la planta de tratamiento.
14. Las baterías energéticas encontradas dentro de los residuos y desechos sólidos entrantes, deben ser almacenadas en recipientes resistentes a la corrosión, los cuales deben ser señalizados con el símbolo de peligro y almacenados en áreas en donde solo el personal de la planta de tratamiento tenga acceso para disminuir el riesgo de accidentes. Los residuos almacenados deben ser entregados a empresas o instituciones que se encarguen del reciclaje o tratamiento y disposición adecuada de residuos tóxicos.

2.8. BIBLIOGRAFÍA

1. Alegría, D. 2015. Educación en el manejo de la basura y su incidencia en la prevención de la contaminación del ambiente escolar. Tesis Lic. Pedago. y Admon. Eval. Educ. Quetzaltenango, Guatemala, Universidad Rafael Landívar, Facultad de Humanidades. 82 p.
2. ARC (Agencia de Residuos de Cataluña, España). 2016. Guía práctica para el diseño y la explotación de plantas de compostaje. España, Departamento de Territorio y Sostenibilidad de la Generalidad de Cataluña. 91 p.
3. Caníz, L. 2018. Procesos del funcionamiento de la planta de tratamiento de residuos y desechos sólidos de San Pedro La Laguna, Sololá, Guatemala (entrevista). San Pedro La Laguna, Sololá, Guatemala, Planta de tratamiento de de residuos y desechos sólidos, Encargado de la planta.
4. CONAM (Consejo Nacional del Ambiente, Perú); CEPIS (Centro Panamericano de Ingeniería Sanitaria y Ciencias Ambientales, Perú); OPS, Perú. 2004. Guía técnica para la clausura y conversión de vertederos de residuos sólidos. Lima, Perú. 98 p. Consultado 01 abr. 2019. Disponible en: http://www.bvsde.paho.org/cursoa_rsm/e/fulltext/040525.pdf
5. Corena, M. 2008. Sistemas de tratamientos para lixiviados generados en rellenos sanitarios. Tesis Ing. Civ. Sucre, Colombia, Universidad de Sucre, Facultad de Ingeniería. 105 p.
6. DIPSA (Distribuidora Importadora de Productos de Seguridad Automatizada, Guatemala). 2018a. Bota dunlop industrial. Guatemala. Consultado 15 nov. 2018. Disponible en: <http://dipsa.com/Dipsa/09PIES.htm>
7. _____. 2018b. Cachucha de protección JYR2004. Guatemala. Consultado 15 nov. 2018. Disponible en: <http://dipsa.com/FICHA/ST/JYR2004%20CACHUCHA%20PROTECCION%20JYR.jpg>
8. _____. 2018c. Guantes látex textil tipo monstruo GUA6. Guatemala. Consultado 15 nov. 2018. Disponible en: <http://dipsa.com/FICHA/ST/GUA6%20GUANTE%20LATEX%20MONSTRUO.jpg>

9. _____. 2018d. Lente titanium MRSV1001. Guatemala. Consultado 15 nov. 2018.
 Disponible en: <http://dipsa.com/FICHA/ST/MRSV1001%20ANTEOJO%20TITANIUM.jpg>
10. FAO, Italia. 2012. Evaluación del impacto ambiental, directrices para los proyectos de campo de la FAO. Roma, Italia. 44 p.
11. Franco, J. 2016. Diseño de planta de tratamiento de desechos sólido para la ciudad de Babahoyo. Tesis Arquitect. Guayaquil, Ecuador. Universidad de Guayaquil, Facultad de Arquitectura y Urbanismo. 131 p.
12. Gaitán, M. 2008. Financiamiento de unidades turísticas (hotelería) y proyecto: Producción de apio, municipio de San Pedro La Laguna, departamento de Sololá. Tesis Cont. Púb. Audit. Guatemala, Universidad de San Carlos de Guatemala, Facultad de Ciencias Económicas. 169 p.
13. García, S. 2008. Diagnóstico socioeconómico, potencialidades productivas y propuestas de inversión, municipio de San Pedro La Laguna, departamento de Sololá. Tesis Cont. Púb. Audit. Guatemala, Universidad de San Carlos de Guatemala, Facultad de Ciencias Económicas. 749 p.
14. Jaramillo, J. 2002. Guía para el diseño, construcción y operación de rellenos sanitarios manuales. Colombia, Universidad de Antioquia / Centro Panamericano de Ingeniería Sanitaria y Ciencias del Ambiente. 287 p.
15. López, J. 2008. Organización empresarial (producción de café) y proyecto: producción de melocotón, municipio de San Pedro La Laguna, departamento de Sololá. Tesis Admon. Emp. Guatemala, Universidad de San Carlos de Guatemala, Facultad de Ciencias Económicas. 166 p.
16. López, M; Nazario, C. 2018. Impacto ambiental generado por el vertedero de residuos sólidos en un caserío de la ciudad de Chota. Revista de Investigación y Cultura 7(2):25-34.
 Disponible en: <https://Dialnet.unirioja.es/servlet/articulo?codigo=6586430> Universidad
17. Mamelucos, Chile. 2018. Overol fluor. Chile. Consultado 15 nov. 2018. Disponible en: <http://www.mamelucos.cl/categoria-producto/overoles/>
18. Mejía, P. 2014. Propuesta de un plan integral para el manejo de los residuos sólidos del cantón Tisaleo. Tesis Ing. Biotechnol. Amb. Riobamba, Ecuador, Escuela Superior Politécnica de Chimborazo Facultad de Ciencias. 234 p.

19. Ministerio de Salud Pública y Asistencia Social, El Salvador. 2009. Guía técnica para el manejo sanitario de los desechos sólidos en la vivienda. El Salvador. Consultado 27 set. 2018. Disponible en: http://asp.salud.gob.sv/regulacion/pdf/guia/guia_manejo_desechos_solidos_vivienda.pdf

20. MMAyA (Ministerio de Medio Ambiente y Agua, Bolivia); VAPSB (Viceministerio de Agua Potable y Saneamiento Básico, Bolivia); DGGIRS (Dirección General de Gestión Integral de Residuos Sólidos, Bolivia). 2012. Guía para el diseño, construcción, operación, mantenimiento y cierre de rellenos sanitarios. Bolivia, Ministerio de Medio Ambiente y Agua, Estado Plurinacional de Bolivia. 197 p.

21. Polo, M. 2005. Plano conjuntos, construcción infraestructura tratamiento de desechos sólidos relleno sanitario controlado, para el municipio de San Pedro La Laguna, Sololá. San Pedro La Laguna, Sololá, Guatemala, Municipalidad de San Pedro La Laguna. Esc. 1:250.

22. ProAtitlán, Guatemala. 2017a. Diagnóstico municipal del manejo de desechos sólidos, municipio de San Pedro La Laguna, Sololá, Guatemala. San Pedro La Laguna, Sololá, Guatemala, Centro de Estudios y Cooperación Internacional –CECI– / Consultora Multiprofesional S.A. –Multipsa–. 23 p.

23. _____. 2017b. Informe de cuantificación, caracterización de residuos y desechos sólidos, municipio de San Pedro La Laguna, Sololá, Guatemala. San Pedro La Laguna, Sololá, Guatemala, Centro de Estudios y Cooperación Internacional –CECI– / Consultora Multiprofesional S.A. –Multipsa–. 19 p.

24. Ramos, A. 2004. Metodologías matriciales de evaluación ambiental para países en desarrollo: Matriz de Leopold y método Mel-Enel. Tesis Ing. Civ. Guatemala, Universidad de San Carlos de Guatemala, Facultad de Ingeniería. 116 p.

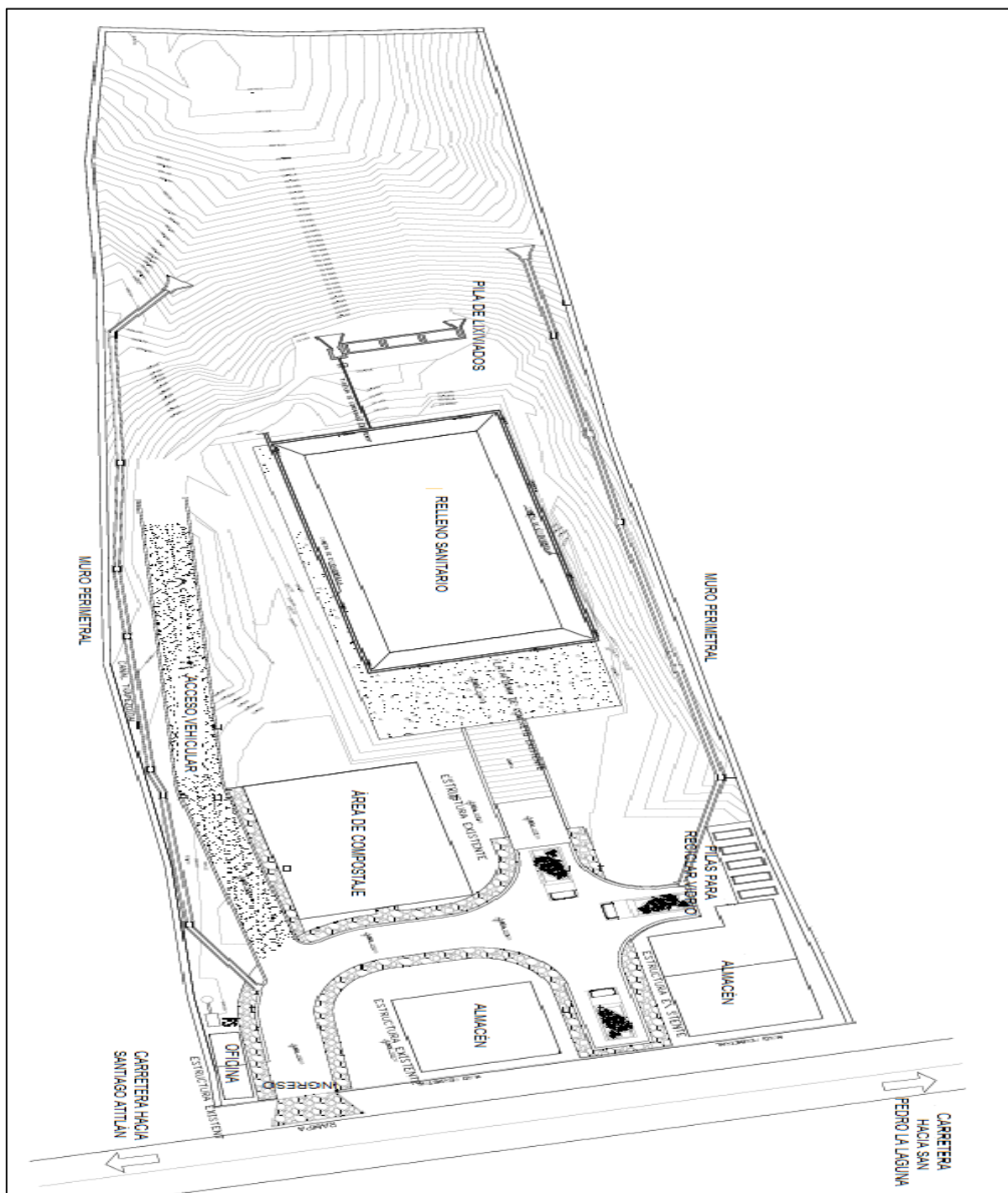
25. Román, P; Martínez, M; Pantoja, A. 2013. Manual de compostaje del agricultor, experiencias en América Latina. Santiago de Chile, Chile, FAO. 108 p.

26. Ruiz Ríos, A. 2005. Guía técnica para la formulación de planes de minimización de residuos sólidos y recolección segregada en el nivel municipal. Perú, USAID. 100 p.

27. Say, A. 2007. Manejo de la basura y su clasificación. Guatemala, Universidad de San Carlos de Guatemala, Facultad de Humanidades. Consultado 27 set. 2018. Disponible en: http://biblioteca.usac.edu.gt/EPS/07/07_1989.pdf

28. SEGEPLAN (Secretaría General de Planificación y Programación de la Presidencia de la República, Guatemala). 2005. Plan de desarrollo municipal con enfoque territorial 2008-2018, municipio de San Pedro La Laguna, departamento de Sololá. 63 p.
29. Sepúlveda, F. 2010. Manejo de los residuos orgánicos e inorgánicos derivados de la actividad agropecuaria en el valle de Azapa, en la región de Arica y Parinacota. Chile, Gobierno de Chile, Centro de Investigación Agropecuaria del Desierto y Altiplano. 21 p.
30. Tencio, R. 2015. Reproducción y aplicación de los microorganismos de montaña (MM) en la actividad agrícola y pecuaria. Costa Rica, Ministerio de Agricultura y Ganadería, Región Central Oriental. 6 p.
31. Universidad Rovira i Virgili, España. 2018. Generación y gestión de residuos: Un compromiso con la sostenibilidad. Módulos Universitarios en ciencia del Desarrollo Sostenible (MOUDS). España. Consultado 17 set. 2018. Disponible en: <http://desenvolupamentsostenible.org/es/generacion-y-gestion-de-residuos-un-compromiso-con-la-sostenibilidad/7-bibliografia-y-recursos-on-line>
32. Zamora, J. 2013. Plan de manejo ambiental de desechos sólidos del municipio de San Andrés Itzapa, Chimaltenango. Tesis Mag. Diseño, Planificación y Manejo Ambiental. Guatemala, Universidad de San Carlos de Guatemala, Facultad de Arquitectura. 131 p.

2.9. ANEXOS



Fuente: elaboración propia con base en Polo, M. 2005.

Figura 40A. Distribución de áreas de la planta de tratamiento de residuos y desechos sólidos.

CAPÍTULO III

**SERVICIOS REALIZADOS EN LA DIRECCIÓN DE GESTIÓN AMBIENTAL MUNICIPAL
(DIGAM) DE LA MUNICIPALIDAD DE SAN PEDRO LA LAGUNA, SOLOLÁ,
GUATEMALA, C.A.**

3.1. PRESENTACIÓN

El crecimiento poblacional acelerado y la generación de residuos y desechos sólidos se ha convertido en un problema ambiental que va en incremento, por lo que es necesaria la implementación de programas y proyectos que permitan dar una solución a los problemas que surgen, como la formación de botaderos ilegales a cielo abierto, contaminación de cuerpos de agua, deterioro del paisaje y de la calidad de vida de los habitantes.

La carencia de planificación en donde se establezcan los procesos de manejo adecuado de los residuos y desechos sólidos y la débil educación ambiental en el municipio de San Pedro La Laguna, evidencian la necesidad de abordar estos temas de modo integral, por lo que, a través de los servicios profesionales realizados durante el Ejercicio Profesional Supervisado (EPS), se pretende establecer las bases que permitan el desarrollo de prácticas adecuadas y amigables con el ambiente desde la fuente generadora hasta la disposición final de los residuos y desechos sólidos. Por tal motivo, los servicios profesionales prestados fueron los siguientes:

1. Plan integral de manejo de residuos y desechos sólidos, en el municipio de San Pedro La Laguna, Sololá.
2. Capacitación de educación ambiental con énfasis en manejo de residuos y desechos sólidos al sector educativo del municipio de San Pedro La Laguna, Sololá.

3.2. SERVICIO 1. Plan integral de manejo de residuos y desechos sólidos en el municipio de San Pedro La Laguna, Sololá

3.2.1. OBJETIVOS

A. Objetivo general

Elaborar un plan integral de manejo de residuos y desechos sólidos para el municipio de San Pedro La Laguna, para la reducción de la contaminación ambiental.

B. Objetivo específico

1. Conocer el manejo de los residuos y desechos sólidos en San Pedro la Laguna.
2. Analizar los aspectos que propician la existencia de un inadecuado manejo de los residuos y desechos sólidos municipales.
3. Elaborar una propuesta de manejo integral de los residuos y desechos sólidos para fortalecer los procesos realizados por la municipalidad.

3.2.2. METODOLOGÍA

La elaboración del plan de manejo de los residuos y desechos sólidos, fue desarrollado a través de las siguientes fases:

A. Recopilación de información primaria y secundaria

- Búsqueda de información relacionada al manejo de los residuos y desechos sólidos consultando material bibliográfico de bibliotecas universitarias, de instituciones ambientales, legislación ambiental, artículos y fuentes confiables de internet.
- Enlistar los instrumentos legales relacionados al manejo de los residuos y desechos sólidos en Guatemala.
- Se desarrollaron entrevistas con las autoridades encargadas del manejo de los residuos y desechos sólidos, así como visitas de campo para observar directamente como son desarrollados los procesos desde la generación, clasificación, almacenamiento, recolección, transporte, recuperación, transformación y disposición final de los desechos y residuos sólidos municipales.

B. Fase de análisis

Con base en la información recabada, se realizó un análisis a través de la técnica FODA, la cual permitió identificar y describir las fortalezas, oportunidades, debilidades y amenazas, con el propósito de elaborar un análisis sobre el manejo de los residuos y desechos sólidos. Además, este análisis fue desarrollado con la ayuda de un árbol de problemas, para determinar las causas y los posibles efectos de los problemas identificados.

C. Fase de propuesta

Con base en el análisis realizado se pudieron determinar los aspectos que interrumpen el manejo de los residuos y desechos sólidos en el municipio, lo cual dio lugar al establecimiento de posibles soluciones que permiten conformar una propuesta de un plan integral del manejo de los residuos y desechos sólidos y así evitar impactos en el ambiente y mejorar la calidad de vida de las personas del municipio.

3.2.3. RESULTADOS

Este fue un proyecto llevado a cabo con el equipo multidisciplinario EPSUM correspondiente a la segunda cohorte del 2018. Al finalizar el proyecto se obtuvo un plan en el que se plantean procesos y estrategias para el adecuado manejo de los residuos y desechos sólidos, los cuales buscan fortalecer la gestión ambiental de la municipalidad.

Para el alcance de los objetivos fue necesario realizar un diagnóstico del manejo de los residuos y desecho sólidos, servicio que es prestado por la municipalidad de San Pedro La Laguna. A través del diagnóstico se evidenciaron los problemas que se han generado por el manejo inadecuado de las basuras, resaltando la formación de basureros ilegales a cielo abierto, proliferación de plagas y vectores de enfermedades y deterioro del paisaje, motivos que hacen imperante la necesidad de establecer estrategias que permitan una mejora continua en los procesos realizados.

A través de reuniones con personal de la municipalidad se pudo establecer una propuesta de mejora, en la cual se toman en cuenta las capacidades y aptitudes de la municipalidad para que lo establecido en dicha propuesta, sean actividades y procedimientos alcanzables en el corto y mediano plazo.

Con el propósito de reducir los impactos al ambiente, mejorar las condiciones sanitarias del municipio y los riesgos a la salud de la población, en el plan de manejo de los residuos y desechos sólidos se establecen seis líneas estratégicas, las cuales buscan fomentar la participación social para lograr el involucramiento de la población en programas de sensibilización, capacitación y en el fortalecimiento legal y administrativo del municipio. También se establecen los lineamientos para la elaboración de una caracterización de desechos y residuos sólidos y, los procedimientos para manejar las basuras domiciliarias a través de métodos y procesos amigables con el ambiente desde la generación hasta la disposición final.



Figura 41. Plan integral de manejo de residuos y desechos sólidos, en el municipio de San Pedro La Laguna, Sololá.

3.2.4. CONCLUSIONES

1. En el municipio de San Pedro La Laguna se sigue toda la cadena de manejo de los desechos y residuos sólidos, evidenciando una predominancia en la generación de residuos orgánicos biodegradables. Durante el almacenamiento temporal estos desechos y residuos son clasificados en orgánicos e inorgánicos, para su posterior recolección por el servicio del tren de aseo, el cual es un servicio prestado por la municipalidad local. Estas basuras son transportadas a la planta de tratamiento, en donde se recupera y se tratan los residuos y los desechos son dispuestos en un relleno sanitario o en el vertedero final de la planta. A lo largo de la cadena es posible mejorar las condiciones sanitarias, ambientales y de seguridad para los trabajadores y habitantes.
2. Los aspectos que propician la existencia de un inadecuado manejo de los residuos y desechos sólidos recaen en varios factores administrativos y sociales, siendo estos la falta de recursos económicos, escasa mano de obra calificada, débil educación ambiental y bajo interés en temas ambientales en la población, razones por la cual estos problemas se agudizan, y hacen necesaria la planificación para la toma de acciones que permitan lograr avances en la erradicación de los problemas ambientales generados por los residuos y desechos sólidos mal manejados.
3. La propuesta de manejo integral de los residuos y desechos sólidos responde a las necesidades observadas a través del diagnóstico llevado a cabo. Dicha propuesta busca que se desarrollen acciones que permitan mejorar las operaciones y procesos ejecutados desde la generación hasta la disposición final de los residuos y desechos sólidos y así disminuir los impactos al ambiente, agilizar la manipulación de las basuras y hacer más eficiente toda la línea de manejo. Además, dicha propuesta pretende ser un documento de consulta por las autoridades municipales, en donde puedan observar los aspectos técnicos necesarios para el fortalecimiento y potencialización de los procesos llevados a cabo para el manejo de los materiales generados en el municipio.

3.3. SERVICIO 2. Capacitación de educación ambiental con énfasis en manejo de residuos y desechos sólidos al sector educativo del municipio de San Pedro La Laguna, Sololá

3.3.1. OBJETIVOS

A. Objetivo general

Generar conocimiento sobre el manejo adecuado de los residuos y desechos sólidos para el cuidado del ambiente, en alumnos de nivel primaria de escuelas del municipio de San Pedro La Laguna, Sololá.

B. Objetivos específicos

1. Concientizar ambientalmente a los estudiantes de nivel primario de las escuelas públicas del municipio, para contribuir al cuidado del ambiente a través de la disminución de la contaminación por residuos y desechos sólidos.
2. Fomentar en los estudiantes de nivel primario el desarrollo de prácticas de reciclaje, reúso y reducción de materiales para disminuir la generación de residuos y desechos sólidos.

3.3.2. METODOLOGÍA

La metodología seguida para el alcance de los objetivos estuvo compuesta por la fase de gabinete y la fase de campo, las cuales serán descritas a continuación:

A. Fase de gabinete

- Coordinar y gestionar con la municipalidad el equipo necesario para poder llevar a cabo las capacitaciones en cada una de las escuelas municipales.
- Consultar y recopilar información referente al manejo adecuado de los residuos y desechos sólidos y la cultura de las tres erres (3R).
- Elaborar el material didáctico con base en la información recopilada.

B. Fase de campo

- Exposición y explicación de los temas seleccionados a presentar en las escuelas del municipio.
- Presentación de cortometraje sobre la importancia de proteger y conservar el ambiente.
- Desarrollo de jornadas de limpieza en coordinación con la organización Amigos del Lago y la municipalidad de San Pedro La Laguna.

C. Temas impartidos

- Acuerdo municipal 111-2016 de San Pedro La Laguna
- Manejo de los residuos y desechos sólidos en San Pedro La Laguna
- Impactos ambientales del uso de materiales de único uso.
- Cultura de las 3R
- Cortometraje: disminuyendo las bolsas plásticas.

3.3.3. RESULTADOS

Las capacitaciones se llevaron a cabo en las escuelas públicas de la jornada matutina, con el propósito de capacitar a los estudiantes de 4to, 5to y 6to primaria en los temas mencionados anteriormente. El cuadro 11, presentan las escuelas y el número de estudiantes que fueron capacitados a través de las presentaciones realizadas.

Cuadro 11. Cantidad de alumnos capacitados por centro educativo.

No.	Centro educativo	Cantón/sector	Cantidad de alumnos capacitados
1	EORM Guillermo Magdaleno Batz González	Cantón Pachanay	67
2	Escuela Oficial Rural Mixta Pacuchá	Cantón Pacuchá	61
3	Escuela Oficial Rural Mixta Chuasanahí	Cantón Chuasanahí	60
4	Escuela Oficial Rural Mixta Bella Vista	Sector Bella Vista	30
5	Escuela Oficial Rural Mixta Pachanay	Cantón Chuasanahí	57



Figura 42. Jornadas de capacitación en escuelas del municipio.

3.3.4. CONCLUSIONES

- Al finalizar las jornadas de capacitación se logró reforzar los conocimientos de 265 alumnos de las 5 escuelas públicas establecidas. El centro educativo con mayor participación estudiantil fue la Escuela Oficial Rural Mixta Guillermo Magdaleno Batz González, con 67 alumnos, lo cual se debe principalmente a ser el centro educativo con el mayor número de estudiantes inscritos.
- A través de las capacitaciones los estudiantes lograron adquirir hábitos de reciclaje, reúso y reducción de materiales. Esto también fue posible por el apoyo de los catedráticos, quienes a través de incentivos fomentaron en los estudiantes la cultura de las tres erres.