



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

**PROPUESTA DE MANEJO DE LOS RESIDUOS SÓLIDOS ORGÁNICOS POR MEDIO DEL  
MÉTODO DE COMPOSTAJE AERÓBICO CONTROLADO, EN EL MERCADO CONCEPCIÓN  
DEL MUNICIPIO DE VILLA NUEVA, DEPARTAMENTO DE GUATEMALA**

**Inga. Luz María Aldana Ortiz**

Asesorado por el MSc. Ing. Marvin Eduardo Mérida Cano

Guatemala, noviembre de 2021



UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA



FACULTAD DE INGENIERÍA

**PROPUESTA DE MANEJO DE LOS RESIDUOS SÓLIDOS ORGÁNICOS POR MEDIO DEL  
MÉTODO DE COMPOSTAJE AERÓBICO CONTROLADO, EN EL MERCADO CONCEPCIÓN  
DEL MUNICIPIO DE VILLA NUEVA, DEPARTAMENTO DE GUATEMALA**

TRABAJO DE GRADUACIÓN

PRESENTADO A LA JUNTA DIRECTIVA DE LA  
FACULTAD DE INGENIERÍA  
POR

**INGA. LUZ MARÍA ALDANA ORTIZ**

ASESORADO POR MSC. ING. MARVIN EDUARDO MÉRIDA CANO

AL CONFERÍRSELE EL TÍTULO DE

**MAESTRA EN ARTES EN ENERGÍA Y AMBIENTE**

GUATEMALA, NOVIEMBRE DE 2021



UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA  
FACULTAD DE INGENIERÍA



**NÓMINA DE JUNTA DIRECTIVA**

DECANA	Inga. Aurelia Anabela Cordova Estrada
VOCAL I	Ing. José Francisco Gómez Rivera
VOCAL II	Ing. Mario Renato Escobedo Martínez
VOCAL III	Ing. José Milton de León Bran
VOCAL IV	Br. Kevin Vladimir Cruz Lorente
VOCAL V	Br. Fernando José Paz González
SECRETARIO	Ing. Hugo Humberto Rivera Pérez

**TRIBUNAL QUE PRACTICÓ EL EXAMEN GENERAL PRIVADO**

DECANA	Inga. Aurelia Anabela Cordova Estrada
EXAMINADOR	Mtro. Ing. Edgar Darío Álvarez Cotí
EXAMINADOR	Mtro. Ing. Juan Carlos Fuentes Montepeque
EXAMINADOR	Mtro. Ing. Marvin Eduardo Mérida Cano
SECRETARIO	Ing. Hugo Humberto Rivera Pérez



## **HONORABLE TRIBUNAL EXAMINADOR**

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

**PROPUESTA DE MANEJO DE LOS RESIDUOS SÓLIDOS ORGÁNICOS POR MEDIO DEL MÉTODO DE COMPOSTAJE AERÓBICO CONTROLADO, EN EL MERCADO CONCEPCIÓN DEL MUNICIPIO DE VILLA NUEVA, DEPARTAMENTO DE GUATEMALA**

Tema que me fuera asignado por la Dirección de Escuela de Estudios de Postgrado con fecha 26 de abril de 2019.

A handwritten signature in black ink, enclosed within a faint, light-colored rectangular border. The signature is cursive and appears to read 'Luz María Aldana Ortiz'.

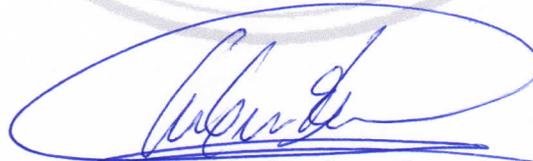
**Inga. Luz María Aldana Ortiz**



DTG. 656.2021.

La Decana de la Facultad de Ingeniería de la Universidad de San Carlos de Guatemala, luego de conocer la aprobación por parte del Director de la Escuela de Estudios de Postgrado, al Trabajo de Graduación titulado: **PROPUESTA DE MANEJO DE LOS RESIDUOS SÓLIDOS ORGÁNICOS POR MEDIO DEL MÉTODO DE COMPOSTAJE AERÓBICO CONTROLADO, EN EL MERCADO CONCEPCIÓN DEL MUNICIPIO DE VILLA NUEVA, DEPARTAMENTO DE GUATEMALA**, presentado por la **Ingeniera Luz María Aldana Ortiz**, estudiante de la **Maestría en Artes en Energía y Ambiente** y después de haber culminado las revisiones previas bajo la responsabilidad de las instancias correspondientes, autoriza la impresión del mismo.

IMPRÍMASE:



**Ing. Anabela Cordova Estrada**  
**Decana**



Guatemala, noviembre de 2021.

AACE/cc





**Guatemala, noviembre de 2021**

LNG.EEP.OI.084.2021

En mi calidad de Director de la Escuela de Estudios de Postgrado de la Facultad de Ingeniería de la Universidad de San Carlos de Guatemala, luego de conocer el dictamen del asesor, verificar la aprobación del Coordinador de Maestría y la aprobación del Área de Lingüística al trabajo de graduación titulado:

**“PROPUESTA DE MANEJO DE LOS RESIDUOS SÓLIDOS ORGÁNICOS POR MEDIO DEL MÉTODO DE COMPOSTAJE AERÓBICO CONTROLADO, EN EL MERCADO CONCEPCIÓN DEL MUNICIPIO DE VILLA NUEVA, DEPARTAMENTO DE GUATEMALA”**

presentado por **Luz María Aldana Ortiz** quien se identifica con carné **201890436** correspondiente al programa de **Maestría en artes en Energía y ambiente**; apruebo y autorizo el mismo.

Atentamente,

*“Id y Enseñad a Todos”*

  
**Mtro. Ing. Edgar Darío Álvarez Cotí**  
Director



**Escuela de Estudios de Postgrado  
Facultad de Ingeniería**





Guatemala, 15 de junio de 2021.

**M.Sc. Edgar Darío Álvarez Cotí**  
Director  
Escuela de Estudios de Postgrado  
Presente

**M.Sc. Ingeniero Álvarez Cotí:**

Por este medio informo que he revisado y aprobado el **INFORME FINAL** del trabajo de graduación titulado: **“PROPUESTA DE MANEJO DE LOS RESIDUOS SÓLIDOS ORGÁNICOS POR MEDIO DEL MÉTODO DE COMPOSTAJE AERÓBICO CONTROLADO, EN EL MERCADO CONCEPCIÓN DEL MUNICIPIO DE VILLA NUEVA, DEPARTAMENTO DE GUATEMALA”** de la estudiante **Luz María Aldana Ortiz de Albizurez** quien se identifica con número de carné 201890436 del programa de **Maestría en Energía y Ambiente**.

Con base en la evaluación realizada hago constar que he evaluado la calidad, validez, pertinencia y coherencia de los resultados obtenidos en el trabajo presentado y según lo establecido en el **Normativo de Tesis y Trabajos de Graduación aprobado por Junta Directiva de la Facultad de Ingeniería Punto Sexto inciso 6.10 del Acta 04-2014 de sesión celebrada el 04 de febrero de 2014**. Por lo cual el trabajo evaluado cuenta con mi aprobación.

Agradeciendo su atención y deseándole éxitos en sus actividades profesionales me suscribo.

Atentamente,

**M.Sc. Ing. Juan Carlos Fuentes Montepeque**  
Coordinador  
Área de Desarrollo Socio Ambiental y Energético  
Escuela de Estudios de Postgrado  
Facultad de Ingeniería USAC





Guatemala, 04 de junio de 2021

**Ingeniero M.Sc.  
Edgar Álvarez Cotí  
Director  
Escuela de Estudios de Postgrado  
Facultad de Ingeniería USAC  
Ciudad Universitaria, Zona 12**

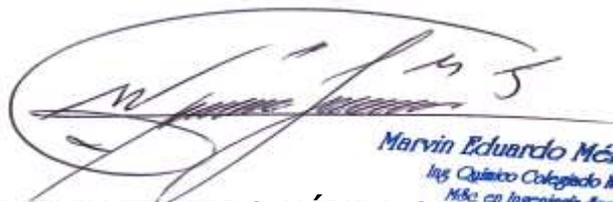
**Distinguido Ingeniero Álvarez:**

Atentamente me dirijo a usted para hacer de su conocimiento que como asesor de trabajo de graduación del estudiante Luz María Aldana Ortíz de Albizurez, Carné número 201890436, cuyo título es "**PROPUESTA DE MANEJO DE LOS RESIDUOS SÓLIDOS ORGÁNICOS POR MEDIO DEL MÉTODO DE COMPOSTAJE AERÓBICO CONTROLADO, EN EL MERCADO CONCEPCIÓN DEL MUNICIPIO DE VILLA NUEVA, DEPARTAMENTO DE GUATEMALA.**", para optar al grado académico de Maestro en ENERGIA Y AMBIENTE, he procedido a la revisión del mismo.

En tal sentido, en calidad de asesor doy mi anuencia y aprobación para que el estudiante ALDANA ORTIZ DE ALBIZUREZ, continúe con los trámites correspondientes.

Sin otro particular, me es grato suscribirme de usted.

Atentamente,



*Marvin Eduardo Mérida Cano*  
*Ingeniero Químico Colegiado No. 2019*  
*MSc. en Ingeniería Sanitaria*

**MARVIN EDUARDO MÉRIDA CAÑO**

Ingeniero Químico  
MSc. en Ingeniería Sanitaria  
Asesor







## **AGRADECIMIENTOS A:**

<b>Universidad de San Carlos de Guatemala</b>	Por ser una institución que contribuye al desarrollo del país, con la formación de profesionales.
<b>Facultad de Ingeniería</b>	Por facilitar el intercambio de conocimientos.
<b>Escuela de Estudios de postgrado</b>	Por crear programas y coordinar acciones que contribuyen a la formación continua de profesionales.
<b>Mi primer asesor</b>	M.A Ing. José Rosal, que contribuyó con su experiencia en la redacción inicial.
<b>Mi asesor individual</b>	MSc. Ing. Marvin Mérida, por su acompañamiento durante todo el proceso de la presente investigación.
<b>Mi docente revisor</b>	Dr. Renato Ponciano, por sus valiosas observaciones.
<b>Catedráticos de la Maestría en Energía y Ambiente</b>	Que contribuyeron a mi formación profesional al compartir sus conocimientos.



## ÍNDICE GENERAL

ÍNDICE DE ILUSTRACIONES .....	V
LISTA DE SÍMBOLOS .....	VII
GLOSARIO .....	IX
RESUMEN.....	XI
PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA Y GENERACIÓN DE PREGUNTAS ORIENTADORAS .....	XIII
OBJETIVOS.....	XVII
RESUMEN DE MARCO METODOLÓGICO.....	XIX
INTRODUCCIÓN.....	XXI
1. MARCO TEÓRICO.....	1
1.1. Estudios previos .....	1
1.2. Residuos solidos .....	3
1.3. Clasificación de residuos solidos.....	4
1.4. Caracterización física de los residuos .....	5
1.5. Pruebas ambientales generados por la mezcla de residuos.....	5
1.6. Beneficios del compostaje .....	6
1.7. Definición del método por muestra .....	7
1.8. Humedad.....	7
1.9. Densidad .....	7
1.10. Proceso de compostaje aeróbico .....	8
1.11. Etapas del compostaje .....	8
1.12. Etapas del compostaje .....	9
1.12.1. Recepción.....	10
1.12.2. Pretratamiento .....	11

1.12.3.	Descomposición .....	12
1.12.4.	Maduración.....	14
1.12.5.	Postratamiento .....	15
1.12.6.	Almacenamiento.....	16
1.12.7.	Operación complementaria .....	17
1.13.	Metodología para compostaje .....	18
1.14.	Metodología para el compostaje aeróbico controlado .....	20
1.15.	Análisis físico- químico del material compostado .....	24
2.	DESARROLLO DE LA INVESTIGACIÓN .....	27
2.1.	Características del estudio .....	27
2.2.	Unidad de análisis .....	27
2.3.	Variables .....	29
2.4.	Fases del estudio .....	30
2.4.1.	Fase I .....	30
2.4.2.	Fase II .....	31
2.4.2.1.	Cálculo de la muestra.....	31
2.4.2.2.	Recepción de las muestras .....	32
2.4.2.3.	Método de selección .....	33
2.4.2.4.	Tipos de residuos .....	33
2.4.2.5.	Porcentaje de humedad de los residuos sólidos orgánicos.....	34
2.4.2.6.	Densidad de los residuos sólidos orgánicos.....	35
2.4.2.7.	Peso de los residuos .....	36
2.4.2.8.	Temperaturas de los residuos .....	36
2.4.3.	Fase III .....	36
2.4.4.	Fase IV .....	36
2.4.4.1.	Tipo de residuo.....	37

	2.4.4.2.	Humedad .....	37
	2.4.4.3.	Densidad final del material compostado.....	37
	2.4.4.4.	Pesos iniciales y finales .....	37
	2.4.4.5.	Temperaturas .....	38
	2.4.4.6.	Análisis ambiental.....	38
	2.4.4.7.	Análisis económico .....	40
	2.4.5.	Fase V .....	40
3.		PRESENTACIÓN DE RESULTADOS.....	41
3.1.		Área de estudio y características físicas de los residuos generados.....	41
	3.1.1.	Cálculo de la muestra .....	41
	3.1.2.	Recepción de las muestras .....	41
	3.1.3.	Tipos de residuo .....	42
	3.1.4.	Porcentaje de humedad inicial.....	43
	3.1.5.	Promedio de densidad .....	43
	3.1.6.	Peso .....	44
3.2.		Metodología propuesta para elaboración de compostaje aeróbico controlado.....	44
	3.2.1.	Procedimientos .....	45
3.3.		Evaluación de variables del proceso de compostaje .....	48
	3.3.1.	Humedad de residuos sólidos orgánicos .....	48
	3.3.2.	Densidad del compostaje .....	49
	3.3.3.	Resultados de peso inicial y final del compostaje...	49
	3.3.4.	Monitoreo de temperatura del proceso de compostaje.....	50

3.3.5.	Resultados de la evaluación ambiental, sin realizar el compostaje.....	53
3.3.6.	Resultados de la evaluación económica... ..	56
3.4.	Análisis de características químicas del material compostado.....	59
4.	DISCUSIÓN DE RESULTADOS.....	61
4.1.	Área de estudio y características físicas de los residuos generados .....	61
4.2.	Metodología propuesta para elaboración de compostaje aeróbico controlado.....	62
4.3.	Evaluación de variables del proceso de compostaje.....	63
4.4.	Análisis de características químicas del material compostado.....	65
4.5.	Transformación de residuos sólidos orgánicos en material estable y solidificado, utilizando el compostaje aeróbico controlado .....	65
	CONCLUSIONES.....	67
	RECOMENDACIONES .....	69
	REFERENCIAS .....	71
	APÉNDICES.....	75
	ANEXOS .....	77

## ÍNDICE DE ILUSTRACIONES

### FIGURAS

1.	Etapas del compostaje .....	10
2.	Ejemplo de pila de compostaje .....	19
3.	Composición de las plantas .....	26
4.	Ubicación del mercado Concepción .....	28
5.	Materiales para compostar .....	47
6.	Pila de compostaje .....	47
7.	Monitoreo de temperatura .....	48
8.	Gráfica de temperaturas registradas .....	51
9.	Resumen de impactos ambientales .....	55

### TABLAS

I.	Duración mínima de temperaturas .....	12
II.	Ejemplo de parámetros del compostaje .....	19
III.	Ejemplos de relación de materiales para compostaje .....	21
IV.	Contenido de N, P, K en el compostaje.....	26
V.	Variables del estudio .....	29
VI.	Ejemplo de tabla de registros de residuos muestreados.....	34
VII.	Clasificación de impactos.....	39
VIII.	Parámetros para caracterización de resultados .....	39
IX.	Promedios de residuos generados por local .....	42
X.	Registros de pesos diarios promedio, según tipo de residuo .....	42
XI.	Porcentajes promedio generales de residuos sólidos .....	43
XII.	Registros de las densidades .....	44

XIII.	Pesos iniciales y finales del material orgánico compostado .....	44
XIV.	Materiales y equipos .....	45
XV.	Humedad inicial y final del material orgánico compostado .....	49
XVI.	Densidad inicial y final del material orgánico .....	49
XVII.	Peso inicial y final de la materia orgánica .....	50
XVIII.	Registros de temperaturas.....	52
XIX.	Matriz de Leopold modificada aplicada al área de estudio .....	54
XX.	Costos del manejo de los residuos sólidos sin compostaje .....	56
XXI.	Costos del manejo de los residuos sólidos con compostaje .....	57
XXII.	Comercialización de compostaje .....	58
XXIII.	Costo/beneficio del compostaje .....	58
XXIV.	Características químicas de la materia orgánica compostada .....	59

## LISTA DE SÍMBOLOS

<b>Símbolo</b>	<b>Significado</b>
<b>Ca</b>	Calcio
<b>Cu</b>	Cobre
<b><math>\mu\text{s/cm}</math></b>	Conductividad eléctrica en micro siemens por centímetros
<b><math>\rho</math></b>	Densidad
<b>P</b>	Fósforo
<b><math>^{\circ}\text{C}</math></b>	Grados Celsius
<b>Fe</b>	Hierro
<b>kg</b>	Kilogramos
<b><math>\text{kg/m}^3</math></b>	Kilogramos por metro cúbico
<b>Mg</b>	Magnesio
<b>Mn</b>	Manganeso
<b><math>\text{m}^2</math></b>	Metros cuadrados
<b><math>\text{m}^3</math></b>	Metros cúbicos
<b>ppm</b>	Partes por millón
<b>K</b>	Potasio
<b>pH</b>	Potencial de hidrógeno
<b>C: N</b>	Relación carbono nitrógeno
<b>Na</b>	Sodio
<b>Zn</b>	Zinc



## GLOSARIO

<b>Aeróbico</b>	Todo lo que contiene o utiliza oxígeno.
<b>AMSA</b>	Autoridad para el Manejo Sustentable del Lago de Amatitlán.
<b>Carbono</b>	Elemento químico no metálico de número atómico 6, masa atómica 12.01 y símbolo C.
<b>Compostaje</b>	Materia orgánica tratada para acelerar su descomposición para utilizarlo como fertilizante.
<b>Densidad</b>	Relación entre la masa y el volumen.
<b>Desecho</b>	Materiales que no pueden ser aprovechados.
<b>Inorgánico</b>	Compuesto químico que no contiene carbono.
<b>Materia compostada</b>	Residuos que completaron las fases de descomposición.
<b>Mesófila</b>	Fase de la descomposición que se genera entre 10 y 40 °C.
<b>Negativo compatible</b>	Menor impacto ambiental.

<b>Negativo moderado</b>	Impacto ambiental intermedio.
<b>Negativo severo</b>	Mayor impacto ambiental.
<b>Nitrógeno</b>	Elemento químico de número atómico 7, masa atómica 14,007 y símbolo N.
<b>Orgánico</b>	Sustancias que contienen carbono.
<b>Oxigenación</b>	Agregar oxígeno por volteo o inyección mecánica o manual.
<b>Peso</b>	Fuerza que ejerce un cuerpo sobre el punto en el que se apoya.
<b>Pilas de compostaje</b>	Mezcla de residuos orgánicos ubicados en un área con ancho, largo y altura variables.
<b>RAD</b>	Residuos de alta degradabilidad.
<b>RBD</b>	Residuos de baja degradabilidad.
<b>Residuo</b>	Materiales con potencial de ser transformados, reutilizados o reciclados.
<b>Temperatura</b>	Grado o nivel térmico de un cuerpo.
<b>Termófila</b>	Actividad microbiana con temperaturas que pueden llegar a los 60 o 70 °C.

## RESUMEN

El manejo inadecuado de residuos orgánicos genera problemas ambientales y aumenta los costos económicos. La presente propuesta busca brindar más información de las características físicas de los residuos, proponer procedimientos de compostaje aeróbico, conocer las variables y características químicas del producto compostado, utilizando los residuos sólidos orgánicos generados en el área de frutas y verduras del mercado Concepción, del municipio de Villa Nueva, departamento de Guatemala.

La caracterización de residuos consistió, en recibir cuarenta y cinco muestras diarias (nivel de confianza del 95 %), durante siete días, las que se separaron en: orgánicos e inorgánicos. Las muestras se obtuvieron en la tercera semana de mayo de 2019, donde se obtuvo, entre otros resultados, que los residuos orgánicos son el 97 % y el 3 % son inorgánicos.

Para la experimentación, se realizó una pila de compostaje demostrativa, donde se registraron y compararon las variables iniciales y finales, durante setenta y cuatro días.

Los datos relevantes obtenidos del proceso de experimentación fueron: la temperatura promedio fue de 44 °C, la temperatura más elevada fue el día seis con 48 °C. El peso de la materia orgánica disminuyó 84 % y la densidad aumentó 36 %. Se calcula que por cada 1,000 kilogramos de residuos orgánicos compostados se obtienen 160 kilogramos de suelo fértil.

En cuanto a las características químicas de la muestra analizada en el laboratorio de agua, suelo y planta de la Facultad de Agronomía de la Universidad de San Carlos de Guatemala, se obtuvo que fue ligeramente alcalino con un pH de 7.6, con una relación de 9.3 partes de carbono por cada unidad de nitrógeno, el elemento no metálico con mayor presencia fue el calcio (Ca) con 2.65 % y el elemento metálico con mayor presencia fue el hierro (Fe) con 2,000 partes por millón.

## PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA Y GENERACIÓN DE PREGUNTAS ORIENTADORAS

- Contexto general

En Guatemala el manejo de los residuos sólidos se realiza de forma inadecuada, sin aplicar tecnologías y procesos desde la generación hasta la disposición final. La mezcla de residuos sólidos genera:

- Mayor peso, humedad y volumen durante el traslado y disposición final.
- Dificulta y disminuye la recuperación de materiales reciclables.
- Alteración de las características físicas y químicas de los residuos.
- Generación de gases por la descomposición de la materia orgánica.
- Contaminación del suelo y agua por lixiviados.
- Mayores costos por transporte y mano de obra para el traslado y disposición de los residuos.

- Descripción del problema

Actualmente cada inquilino traslada los residuos generados en su local, a los contenedores o acopios temporales del sector, donde al ser recolectados, se mezclan en camiones compactadores que los trasladan al vertedero ubicado en el kilómetro veintidós de la ruta al pacífico, para el Manejo Sustentable del Lago de Amatitlán (AMSA), donde actualmente se han registrados diversos problemas por la culminación de su vida útil.

La mezcla de residuos aumenta los costos de; mano de obra, transporte para traslados de residuos y pagos por servicio de disposición final. La contaminación ambiental dificulta la selección y reciclaje de residuos recuperables, genera lixiviados, aumenta malos olores, proliferación de plagas, generación de gases inflamables y disminución de vida útil del vertedero.

- **Formulación del problema**

En base a la descripción anterior del problema, lleva a plantear la pregunta principal, ¿Es posible compostaje la materia orgánica que se genera en el área de frutas y verduras del mercado Concepción de Villa Nueva? Para responder a esta interrogante se deberán contestar las siguientes preguntas auxiliares:

- ¿Cuál es la caracterización de los residuos del área de estudio?
  - ¿Cuál es la metodología adecuada para realizar el compostaje?
  - ¿Qué variables se deben evaluar en el proceso de compostaje?
  - ¿Cuáles son las características químicas del producto compostaje?
- **Delimitación del problema**

El sector de frutas y verduras, del mercado Concepción del municipio de Villa Nueva, departamento de Guatemala, genera diariamente más de una tonelada de residuos, en su mayoría orgánicos, que son mezclados con residuos inorgánicos y residuos de otros sectores.

Desde el acopio temporal, transporte y disposición final, se identificaron diversos problemas, principalmente se observó la generación de lixiviados, proliferación de vectores, malos olores y mayor volumen de ocupación durante transporte y disposición final.



# OBJETIVOS

## General

Analizar la transformación de residuos sólidos orgánicos en material estable y solidificado, utilizando el compostaje aeróbico controlado

## Específicos

- Caracterizar los residuos sólidos generados en el área de estudio.
- Proponer una metodología para la elaboración de compostaje aeróbico controlado.
- Evaluar el proceso de producción de compostaje según variables identificadas.
- Analizar las características químicas del material compostaje.



## RESUMEN DEL MARCO METODOLÓGICO

Las características del estudio fueron con enfoque mixto, por utilizar técnicas cuantitativas y cualitativas. El alcance fue de nivel descriptivo por dar a conocer la situación o estado del área de estudio y el proceso de compostaje, el diseño fue no experimental ya que no aprobó o rechazó ninguna hipótesis.

La unidad de análisis fueron los ciento cuarenta y tres locales, del sector de frutas y verduras, del mercado Concepción del municipio de Villa Nueva, departamento de Guatemala. Las variables o indicadores fueron; tipo de residuo, porcentaje de humedad, densidad, peso, temperatura, impacto ambiental, costos económicos y elementos químicos presentes en el material compostaje.

La primera fase del estudio consistió en la revisión de literatura existente, relacionada con materia orgánica y elaboración de compostaje. En la segunda fase se estudiaron las características físicas, se inició con la caracterización de los residuos generados en el área de estudio. Se utilizó el método de selección por muestra, por diversos aspectos; para obtener datos con mayor exactitud, porque la mayoría de los residuos eran orgánicos y fueron menos de cien muestras.

En la tercera fase se propuso la metodología para transformar la materia orgánica en suelo, utilizando el compostaje aeróbico. Se trasladó materia orgánica del área de estudio al lugar donde se realizó el experimento. Se colocó la materia orgánica en capas, se adiciona agua y suelo arcilloso a la pila, para aportar estructura y retener humedad. Las dimensiones de la pila demostrativa

facilitaron el volteo manual, que se realizó durante diez días continuos y posteriormente cada siete días.

En la cuarta fase se monitoreo y registro las variables identificadas en el presente estudio. La medición y registro de temperaturas, se realizó a diario, fue medida en grados Celsius, en el exterior e interior de la pila con un termómetro de vástago o varilla de cincuenta centímetros.

El peso y densidad se registraron en kilogramos al inicio y al final del compostaje. La humedad de la materia orgánica inicial se obtuvo al exponer una muestra al calor de un horno, que disminuyó su peso, cuando el peso no cambió, se obtuvo el peso seco de la muestra y se calculó el porcentaje de humedad.

El nivel de dióxido de carbono no se midió, debido al costo del equipo. El potencial de hidrógeno, la relación de carbono nitrógeno y contenido de macro y micronutrientes, se midieron al finalizar el proceso. Se realizó una matriz de Leopold modificada, para identificar los impactos ambientales actuales en el área de estudio. Económicamente, se elaboraron tablas comparativas de los costos actuales y los costos aproximados al realizar compostaje.

En la quinta fase, se identificaron los elementos y características químicas del producto compostado, en el laboratorio de agua, suelo y planta de la Facultad de Agronomía de la Universidad de San Carlos de Guatemala. La presente propuesta es el resultado de la recopilación y análisis de variables, que generaron una solución para el manejo de los residuos sólidos orgánicos del área de estudio. Propone la utilización recursos accesibles, disminuye los impactos ambientales y egresos económicos municipales, obteniendo suelo fértil, que es un recurso de utilidad para el ornato municipal.

## INTRODUCCIÓN

La línea de investigación de la Maestría en Energía y Ambiente, en la que se inserta el presente trabajo, es la de Gestión Ambiental, tratamientos y estrategias en la gestión de residuos, con la estabilización y solidificación de residuos.

La inadecuada gestión de los residuos sólidos en Guatemala genera diversos problemas ambientales, sociales y económicos. La materia orgánica constituye más del 50 % de los residuos muestreados, principalmente en los mercados. Por lo que la presente investigación es una propuesta viable, para su transformación y aprovechamiento.

La falta de clasificación de los residuos genera: aumento del volumen y peso durante el almacenamiento, transporte y disposición final, mayores costos durante el manejo, contaminación por lixiviados, contaminación del aire por gases producidos durante su descomposición, dificulta la recuperación de materiales reciclables y aumenta la proliferación de vectores.

En el capítulo uno se presenta el marco teórico, que consiste en la definición de términos relacionados con la clasificación de residuos sólidos, caracterización física, etapas y metodologías de compostaje.

El desarrollo de la investigación conforma el capítulo dos, que contextualiza el área de estudio, describe la metodología para caracterizar los residuos, para la separación, conocer los porcentajes de residuos según sus características, descripción y cálculo de humedad y densidad.

Como parte del capítulo dos, se realizó una compostera demostrativa con residuos orgánicos del área de estudio, que proporcione información de procedimientos, pesos, densidades y temperaturas.

En el capítulo dos, se incluye el análisis ambiental del manejo actual de residuos y del análisis económico se resalta la disminución de egresos municipales por manejo de residuos.

En el capítulo tres se presentan los resultados del análisis de las variables en la fase experimental, que describe tipos de residuos, porcentajes iniciales y finales de humedad, variación de densidad, reducción de peso y registro de temperaturas. En el capítulo cuatro se discuten los resultados de las variables registradas y analizadas durante las fases del estudio.

# 1. MARCO TEÓRICO

## 1.1. Estudios previos

Para la Cuenta Integrada de Residuos (CIRE) (2009) “los residuos de origen orgánico alcanzan 58.3 millones de toneladas/año, que representa el 60 % de la generación total” (p. 12).

El producto compostaje, es un material higienizado y estabilizado por la transformación biológica, aerobia y controlada. Se recuperan nutrientes y energía de los residuos biodegradables. Tiene como objetivo devolver el residuo al ciclo de producción, como materia orgánica mejoradora del suelo. Resalta que las fases mesófilas y termófilas son parte del proceso biotecnológico, eficaces en la descomposición y estabilización de los residuos orgánicos. (Soliva, 2010, p. 89)

Para el Programa Orgánico Nacional, del Departamento de Agricultura de los Estados Unidos (2015):

Las directrices del compostaje, para producción de cultivos orgánicos son:

- Tasa de Carbono Nitrógeno con relaciones de 25:1 y 40:1.
- Para destruir los patógenos la pila de compostaje debe mantener durante tres días, a temperaturas que oscilan entre cuarenta y cinco y sesenta grados Celsius.
- Los registros de temperatura deben ser precisos para satisfacer los estándares.

- Se deben incorporar materias primas disponibles. (p. 2)

Mantener las pilas de compostaje arriba de los cuarenta y cinco grados Celsius de temperatura por períodos mayores a tres días, elimina microorganismos como hongos, protozoos y nemátodos, necesarios para retener nutrientes. Se debe hacer un balance de la temperatura con el número de volteos que se realiza a la pila, ya que este proceso proporciona oxígeno y disminuye la temperatura.

El indicador de que el proceso activo de los microorganismos terminó, es la disminución de temperatura. Se debe monitorear y documentar tiempos y temperaturas. Si por el contrario el material, está de cinco a diez grados arriba de la temperatura del ambiente es un indicador que el proceso no ha culminado y no se debe aplicar a los cultivos.

Los dos procesos que aseguran la higienización de los productos tratados en compostaje; tratamiento de alta presión y temperatura (133 °C y 3 bar durante 20 minutos) o por un proceso de pasteurización (60 °C durante 60 minutos) se realiza la destrucción térmica de los patógenos presentes en la materia orgánica.

Además, señala que los sistemas de compostaje más utilizados son: el de pila pasiva, en donde las materias primas se apilan sin voltearse, ventilarse o monitorearse. El de hileras, que es un rectángulo que debe ser volteado de forma periódica y la pila estática aireada, en esta se agrega aire a través de tubería instalada previamente. (Ministerio de Medio Ambiente y Medio Rural y Marino, 2018, p. 34)

En la Central de Mayoreo (CENMA), actualmente la empresa NutriSuelos, utiliza el método de compostaje aeróbico controlado, para transformar materia

orgánica en suelo fértil que es comercializado, la actividad evita el traslado de residuos al relleno sanitario de zona tres.

Según Moreno (2011):

El material térmicamente estabilizado, demuestra la madurez del compostaje. Existen diferentes métodos para diferenciar el grado de estabilidad biológica del compostaje, como las pruebas espirométricas (medida del consumo de O<sub>2</sub> o liberación de CO<sub>2</sub>). Al realizar cuatro tratamientos con mezclas de gallinaza y material celulósico con las relaciones de carbono/nitrógeno: 1 = relación C/N 21:1, 2= relación C/N 25:1, 3= relación C/N 27.5:1 y 4= relación C/N 30:1. La elevación de los grados Celsius de los tratamientos es una reacción externa que los materiales presentan por la acción de los microorganismos.

En los experimentos realizados ninguno alcanzó el valor óptimo (menos del 20 %), lo que supone la falta de madurez, los experimentos tres y cuatro mostraron temperaturas cercanas a las requeridas a diferencia de los experimentos uno y dos. Estos valores de humedad mayor al 20 % se debe al contenido de material lignocelulósico. (p. 45)

Para García (2017) “utiliza para el cálculo de muestras de residuos generados en el mercado analizado en su estudio, el número de locales comerciales como población” (p. 54).

## **1.2. Residuos solidos**

Es cualquier objeto, material o elemento sólido resultante del consumo de un bien, en actividades domésticas, industriales, comerciales, de servicios

o institucionales, que el generador abandona, rechaza o entrega. Es susceptible al aprovechamiento o transformación en un bien con valor económico. (López, Pereira y Rodríguez, 1980, p. 36)

### **1.3. Clasificación de residuos sólidos**

Según López, Pereira y Rodríguez (1980):

Los residuos sólidos se pueden clasificar por:

- Composición
  - Orgánico: es cualquier tipo de material de origen animal o vegetal que se reincorpora al suelo después de su descomposición o mineralización, desarrollada por microorganismos en ambientes óptimos.
  - Inorgánico: es de origen no biológico. Resultado de procesos industriales o no naturales.
  - Peligrosos: pueden ser o no de origen biológico, constituyen un peligro potencial, deben manejarse de forma especial.
  
- Origen
  - Domiciliar: proveniente de hogares o comunidades.
  - Industrial: es producto de la manufactura o de la transformación de la materia prima.
  - Hospitalario: son catalogados como peligrosos y pueden ser orgánicos e inorgánicos.

- Comercial: proviene de oficinas, tiendas, mercados y su composición puede ser orgánica o inorgánica.
- Urbano: corresponde a residuos de parques, áreas verdes, entre otros. (p. 15)

#### **1.4. Caracterización física de los residuos**

Es una herramienta que permite obtener información primaria relacionada a las características físicas de los residuos sólidos, por ejemplo: tipo de material, peso, densidad y humedad.

“La información obtenida permite la planificación técnica, operativa, administrativa y financiera para el manejo de los residuos sólidos” (López, Pereira y Rodríguez, 1980, p. 123).

#### **1.5. Problemas ambientales generados por la mezcla de residuos**

Según Jaramillo y Zapata (2008):

La mezcla de materiales orgánicos e inorgánicos genera los problemas ambientales de:

- Vectores de importancia epidemiológica que aparecen y permanecen en la acumulación de residuos, debido a su descomposición.
- Contaminación de aguas por la generación de lixiviados, se contaminan fuentes de aguas superficiales y subterráneas.
- Contaminación atmosférica generan olores durante la descomposición.
- Contaminación de suelos: alteran la estructura física y química.

- Paisaje y riesgos tienen un impacto visual negativo, además que por la mala disposición y acumulación pueden generar derrumbes, explosiones, incendios y hundimientos.
- Ruido en las actividades que se realizan durante el cernido, transporte, ventilación y corte de los materiales pueden causar molestias a las personas cercanas. (p. 52)

## **1.6. Beneficios del compostaje**

Para Jaramillo y Zapata (2008):

Los beneficios del compostaje son:

- Productividad: contribuye a mejorar los agro sistemas.
- Disminución de contaminación: generada por los gases contaminantes, roedores y lixiviados.
- Creación de viveros: el producto puede ser utilizado para la propagación de plantas que mejoren el ornato urbano.
- Aumento de oferta del producto del compostaje.
- Conciencia ambiental: para otras administraciones municipales y vecinos.
- Conservación de recursos: la recuperación de los componentes formadores de las materias orgánicas contribuye a conservar los ciclos naturales.
- Reciclaje de materiales que no son aprovechados.
- Recuperación de áreas: mejora el ornato de áreas con suelos pobres en nutrientes.

- Intercambio catiónico: ayuda a la retención de nutrientes, son fuente de minerales, mejoran las características físicas y aumenta la retención de humedad.
- Aumentar el espacio en vertedero: disminuye el volumen de residuos dispuestos.
- Mejorar suelos: contribuye a aumentar la disponibilidad de nutrientes a las plantas, mayor crecimiento de las especies vegetales y formación de humus. (p. 87)

### **1.7. Definición del método por muestra**

Consiste en la separación manual de los residuos muestreados se aplica cuando: el número de muestras es menor a cien, son recibidas individualmente en el punto de caracterización, mayor presencia de material específico se cuenta con tiempo y se requiere mayor grado de exactitud.

### **1.8. Humedad**

“Es la cantidad de agua que contiene la muestra de residuos sólidos. Tiene como finalidad estimar densidad, generación de lixiviados y condiciones para microorganismos” (Tchobanoglous, 1994, p. 67).

### **1.9. Densidad**

“La densidad se define como el peso de un material por unidad de volumen” (Tchobanoglous, 1994, p. 56).

### **1.10. Proceso de compostaje aeróbico**

“El compostaje aeróbico transforma la materia orgánica, como resultado de la actividad de microorganismos en presencia de oxígeno” (Román, Martínez y Pantoja, 2013, p. 68). Las condiciones que favorecen la actividad microbiana aerobia son:

- Mezcla de residuos permeables
- Oxígeno suficiente
- Humedad adecuada
- Regulación de temperaturas
- Equilibrio de nutrientes

“Temperaturas mayores a cuarenta y cinco grados Celsius contribuye a la higienización, elimina patógenos y disminuye la germinación de semillas” (Román, Martínez y Pantoja, 2013, p. 64).

### **1.11. Etapas del compostaje**

Para Román, Martínez y Pantoja (2013):

Según la temperatura, identifican cuatro fases de compostaje:

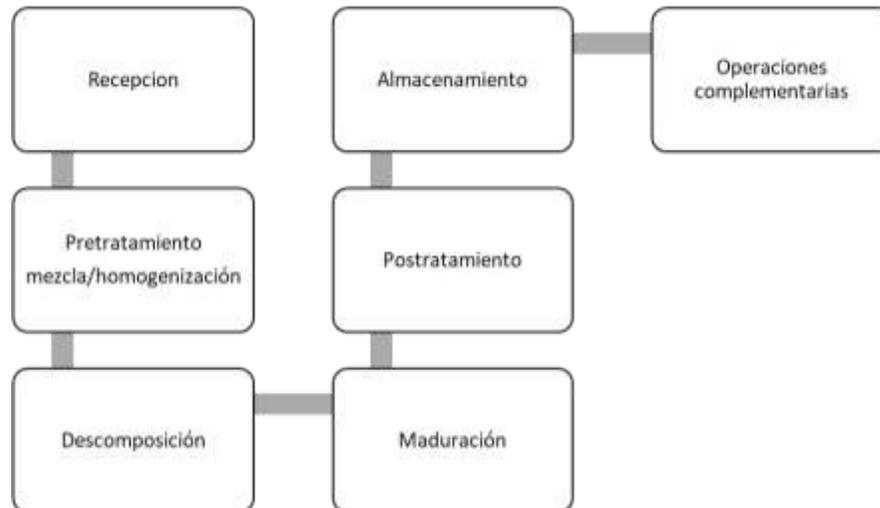
- Mesófila: en pocas horas o días la temperatura de la materia orgánica puede alcanzar hasta 65 °C., producto del aumento de la actividad microbiana, que generan calor utilizando fuentes de C y N, esta fase dura entre dos y ocho días.

- Termófila o de Higienización: la materia orgánica alcanza temperaturas mayores a los 45 °C, los microorganismos mesófilos son reemplazados por bacterias termófilas, que degradan fuentes más complejas de carbono, celulosa y lignina. También recibe el nombre de fase de higienización ya que destruye bacterias y contaminantes de origen fecal como *Escherichia coli* y *Salmonella sp*, quistes y huevos de helminto, esporas de hongos fitopatógenos y semillas de malezas.
- Enfriamiento o Mesófila II: al terminarse las fuentes de carbono y nitrógeno de la materia orgánica, la temperatura desciende, sigue degradándose y aparecen hongos visibles, requiere varias semanas y puede confundirse con la fase de maduración.
- Maduración: puede tardar meses y se producen reacciones secundarias como la condensación. (p. 67)

### **1.12. Etapas del compostaje**

Para Jaramillo y Zapata (2008) propone una secuencia de fases en etapas para el compostaje las cuales se representan en la figura 1.

Figura 1. **Etapas del compostaje**



Fuente: Jaramillo y Zapata (2008). *Aprovechamiento de los residuos sólidos orgánicos en Colombia.*

### 1.12.1. **Recepción**

Jaramillo y Zapata (2008) señala que:

Al ingresar los materiales se procede al pesaje, trituración, limpieza de cajas y camiones. indican que los materiales se pueden definir en dos categorías:

- RBD: son los Residuos de Baja Degradabilidad, afectados por los microorganismos escasos, por falta de un componente esencial para su desarrollo, ambientes ácidos o alcalinos. Los vegetales con componente leñoso son de lenta degradación.
- RAD: Residuos de Alta Degradabilidad, son susceptibles a ser biodegradados con facilidad. Como por ejemplo los que no contienen

ligninas y los pre estabilizados, que es la materia orgánica con algún tratamiento biológico previo.

Se deben considerar a que clasificación pertenecen para una mejor operación. (p. 134)

### **1.12.2. Pretratamiento**

Es la mezcla de los materiales para el inicio de los procesos. Para que las características del producto se aproximen a los valores ideales, se recurre a la mezcla con materiales complementarios.

Esta etapa consiste, en la mezcla de diferentes materiales que permitan obtener:

- Mayor porosidad para mejorar la circulación de aire en el interior y retener la humedad.
- Estructura.
- Favorecer la actividad de los microorganismos.
- Balancear el potencial de hidrógeno y humedad.
- Disponibilidad de suficiente materia orgánica.
- Minimizar las pérdidas de nitrógeno con una relación adecuada de carbono nitrógeno, para no limitar el proceso.
- Contener elementos y condiciones esenciales para los microorganismos.
- Otras operaciones:
  - Preparación del material estructurante.
  - Eliminación de materiales que contaminen el compostaje.

### 1.12.3. Descomposición

Es realizada por microorganismos, que descomponen los residuos de alta degradabilidad, liberando energía, aumentando la temperatura, evaporando un porcentaje del agua contenida en el material y la disminución del potencial de hidrógeno por la formación de ácidos orgánicos.

Es esta fase se reduce el peso y el volumen, se presenta una estabilización parcial y la descontaminación del material. La etapa de descomposición es la más activa biológicamente y se deben controlar las condiciones:

- Temperaturas excesivas, se debe voltear y humedecer.
- Condiciones anaeróbicas, se debe reponer el oxígeno consumido.
- Pérdida de nitrógeno en forma de amoníaco, se debe minimizar con relaciones de carbono y nitrógeno adecuadas.
- El volteo manual o mecánico aporta aire a los microorganismos y minimizan los olores desagradables.

La tabla I, indica la duración mínima de temperaturas, que se deben monitorear en el proceso de higienización.

Tabla I. **Duración mínima de temperaturas**

<b>Temperatura (°C)</b>	<b>Duración mínima (días)</b>
55	3
60	1

Continuación tabla I.

65	3
70	1

Fuente: Rittenhouse (2015). *Hoja de datos: Compostaje.*

La temperatura elevada y su duración contribuye a la higienización de la materia orgánica y es el resultado de la actividad microbiológica.

Según Hoyos, Vargas y Velasco (2010):

Los residuos de baja degradabilidad (RBD) tienen las siguientes características durante la descomposición:

- Se descomponen en las dos etapas de compostaje iniciales.
- No existe tiempo estándar para la duración de las primeras dos etapas, dependen del tipo de mezcla (tipo de materia orgánica, relación de carbono nitrógeno y cantidad).
- La duración de la descomposición se incrementa, al no controlar la temperatura y se adiciona ventilación.
- El nivel de estabilidad se marca con; disminución de temperatura, reducción de peso, reducción de volumen, fermentabilidad y poder odorífero. (p.12)

En esta etapa se deben incorporar los líquidos en las siguientes condiciones: la mezcla requiere mayor humedad y la generación de calor por la actividad microbiana, seca la mezcla y detiene el proceso.

#### **1.12.4. Maduración**

Jaramillo y Zapata (2008) “señalan que, se generan productos compostados estables, con características similares al humus del suelo” (p. 14). El consumo de oxígeno y la liberación de energía disminuyen. Por lo que la temperatura de la masa disminuye gradualmente.

Debido a que la actividad microbiana disminuye, esta etapa es menos crítica que la anterior y no requiere un control exhaustivo de las condiciones de trabajo. Sin embargo, se deben evitar las siguientes situaciones:

- Temperaturas elevadas: que inhiban la actividad microbiana, por lo que es necesario remover el material.
- Excesiva sequedad: que detiene la actividad microbiana, lo que repercute en materiales menos maduros y es necesario el riego.

“Cuando disminuye la porosidad del material maduro, o cuando las pilas sean muy grandes, es recomendable un sistema de aireación forzada que favorezca la oxigenación y evacuación de calor” (Orozco, 2015, p. 45).

La duración de la etapa de maduración de residuos de alta degradabilidad (RAD) es la siguiente:

- La duración mínima es de seis semanas.
- La duración puede disminuir o aumentar, al estar la instalación funcionando se puede comprobar el tiempo real.
- Para evitar el aumento del tiempo de esta etapa, se recomienda sobredimensionar la duración de tiempo y superficie, en la fase de planificación.

Para Ministerio de Medio Ambiente y Agua (2012):

Durante el diseño de las plantas de compostaje se debe contar con equipos que permitan el aporte de agua. Algunos aspectos importantes son:

- Utilización de agua limpia
- No utilizar lixiviados o residuos líquidos para el riego en la maduración.
- Se permite el uso de aguas pluviales, siempre que se gestionen aparte de los lixiviados. (p. 78)

#### **1.12.5. Postratamiento**

Según Jaramillo y Zapata (2008):

Es el conjunto de operaciones, que de forma opcional o necesaria deben llevarse a cabo, al finalizada la etapa de maduración, sus finalidades son:

- Recuperar estructurante.
- Separar material impropio.
- Mejorar las características físicas.
- Granulometría específica.
- Ofrecer determinadas presentaciones del producto.
- Preparación de mezclas para comercializar. (p. 77)

La duración de estas operaciones depende del volumen del material y la capacidad de los equipos instalados.

Para Cataluña (2016):

Durante el confinamiento en el post tratamiento, se deben considerar medidas de prevención contra malos olores:

- Cubrir los equipos fijos
- Se deja a criterio del promotor cubrir o no los equipos móviles

Se deben incorporar las siguientes medidas correctoras, para evitar que el compostaje con granulometría muy fina sea arrastrado por el viento:

- Barreras físicas: como muros, mallas, pantallas vegetales, microaspersión localizada, entre otros.
- Reparar elementos de cribado y transporte.
- Posponer operaciones por condiciones meteorológicas que incrementen la dispersión de las partículas. (p. 46)

#### **1.12.6. Almacenamiento**

Los materiales resultantes del post tratamiento (compostaje de diferentes granulometrías, fertilizantes y enmiendas obtenidas), se deben almacenar cubiertos de forma adecuada, envasados o a granel. “El estructurante en su totalidad debe ser recuperado y reutilizado en nuevos ciclos de compostaje. Si no posee las características adecuadas para su reutilización se debe rechazar” (Cataluña, 2016, p.48).

El cribado según Cataluña (2016):

Se realiza al final de la etapa de maduración, para eliminar un porcentaje de los impropios presentes en el material o para recuperar parte del estructurante de la mezcla. Cribar el compostaje contribuye a:

- Aumentar la superficie para posteriores procesos.
- Evitar el desgaste de equipos, instalaciones, entre otros.
- Disminuir la concentración de impurezas en el producto. (p. 89)

#### **1.12.7. Operación complementaria**

Jaramillo y Zapata (2008) “definen esta etapa como el periodo comprendido entre el final de las etapas productivas y la comercialización” (p.14). Es necesario un tiempo mínimo de almacenamiento para responder a las siguientes situaciones:

- Demanda
- Emergencias logísticas
- Trazabilidad
- Reducción de material disperso

La capacidad del área de almacenamiento debe responder a las necesidades:

- El área de almacenamiento del compostaje maduro, para usos agrícolas u ornamentales debe ser suficiente para acopiar la producción de dos meses mínimos.

- El área de almacenamiento para compostaje fresco es de dos semanas, para cubrir contingencias logísticas.

Se hace mención en la guía Cataluña (2016) que:

El almacén debe cumplir las siguientes características:

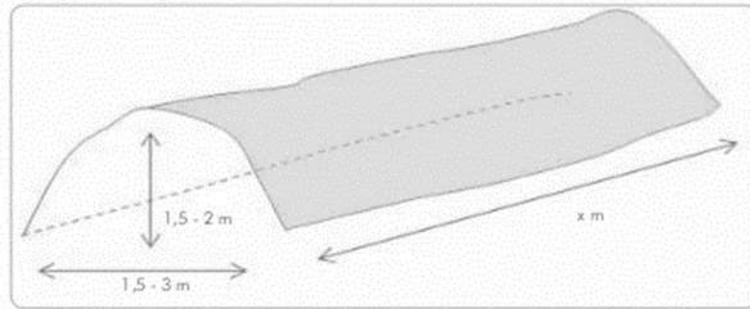
- No es necesario el confinamiento, ya que los productos estabilizados no generan malos olores.
- La solera del almacén puede ser tierra compactada, siempre que no dañe la calidad del producto almacenado.
- El almacén puede estar cubierto o no, se debe considerar; si la lluvia daña la calidad del producto, si está envasado o no, si se comercializa en peso o en volumen.
- Costo del sistema de captación y almacenamiento de las aguas pluviales que entraron en contacto con el producto. (p. 78)

“Los productos almacenados suelen ser secos y tienen granulometrías finas. Al no estar envasados pueden ser arrastrados por el viento, por lo que se deben establecer medidas correctoras, tales como barreras físicas” (Cataluña, 2016, p. 47).

### **1.13. Metodología para compostaje**

Para el diseño de las áreas de compostaje el tamaño del rectángulo o pila se define por la cantidad de materiales y la tecnología que se utilizará para el volteo. “Para el diseño de las pilas se debe considerar que, al finalizar el proceso hay una disminución de más del cincuenta por ciento del volumen” (Román, Martínez y Pantoja, 2013, p. 98).

Figura 2. Ejemplo de pila de compostaje



Fuente: Román, Martínez y Pantoja (2013). *Manual de Compostaje del Agricultor*.

Los valores obtenidos durante el análisis químico pueden variar en función del material inicial. Por otra parte, al tratarse de un producto natural no tiene una composición química constante.

Tabla II. Ejemplo de parámetros del compostaje

Parámetro	Rangos compostaje maduro
Humedad	40-45 %
Nitrógeno	1.5 – 2 %
Fósforo	2 – 2.5 %
Potasio	1 – 1.5 %
Relación carbono	10:1 – 15:1
Nitrógeno	6.8 – 7.2
pH	14 – 30 %
Carbono orgánico	2 – 8 %
Calcio	1 – 2.5 %

Continuación tabla II.

Magnesio	0.02 %
Sodio	0.05 %
Cobre	0.02 %
Hierro	0.06 %
Manganeso	-

Fuente: Román, Martínez y Pantoja (2013). *Manual de Compostaje del Agricultor*.

#### **1.14. Metodología para el compostaje aeróbico controlado**

Según MASDORF (2019):

En el compostaje aeróbico controlado realizado en la Central de Mayoreo (CENMA), se recomienda:

- En principio cualquier sustancia orgánica se puede compostar, sin embargo, se deben evitar los residuos de baja degradabilidad, que generen pérdidas al proceso, por su prolongación o aumento en los costos.
- Existen materiales con alto contenido de carbón, alto contenido de nitrógeno y materiales neutros. La relación inicial de la pila de compostaje debe estar en treinta partes de carbón (color café), por una parte, de nitrógeno (color verde).

- Se debe adicionar a la pila de compostaje un 10 % de suelo arcilloso, es un material que contribuye a almacenar nutrientes, evitar lixiviados y aporta estructura a la pila de compostaje. (p. 6)

Tabla III. **Ejemplos de relación de materiales para compostaje**

<b>Altos en carbono (color café)</b>	Zanahorias de 25 a 30 :1
	Poda de arbustos de 30 a 40:1
	Hojas secas de 40 a 60:1
	Carrizo/caña de 100 a 150:1
	Heno de 70 a 100:1
<b>Variables</b>	Poda de árboles de 50 a 70:1
	Residuos de verduras y frutas (dependiendo de su tipo, son fuentes de carbono o nitrógeno) por ejemplo los desechos de manzanas son fuentes de carbono de 35 a 50:1, los desechos de repollo y coles son fuentes de nitrógeno 12 a 15: 1. “mala hierba” de 7 a 30:1 (verde es alta en nitrógeno y si es más café es alta en carbono).
	Alfalfa 16 a 20:1
	Residuos de cocina 15 a 20:1
	Poda de grama 7 a 12:1
<b>Altos en nitrógeno (color verde)</b>	Hojas frescas y verdes de 15 a 20:1
	Estiércol 14 a 25:1
	Verdura no leguminosa 10 a 20:1
	Hojas de papa 20 a 25:1
	Chile pimiento 15:1
	Tomate 12:1
	Hojas de zanahoria 20:1

Continuación tabla III.

---

	Suelo arcilloso
Materiales	Compostaje terminado
neutrales	Harina de roca.
	Agua

---

Fuente: Lübke, Hildebrandt, y Lübke-Hildebrandt (2015). *Compostaje Microbiológico Controlado -CMC*.

Las observaciones compartidas por MASDORF (2019) son:

Por su experiencia, compostando materia orgánica de la central de mayoreo (CENMA):

- Se debe realizar en superficie sólida y accesible en todo momento, con una pendiente entre 3 y 5 %.
- El lugar debe estar protegido del viento, de preferencia techado para disminuir los rayos del sol y la lluvia.
- Acceso a suministro de agua, para mantener la humedad entre 55 % a 60 %.
- La pila de compostaje para volteo manual debe tener como mínimo ochenta centímetros de ancho en la base, ochenta centímetros de alto y de largo opcional. Las dimensiones máximas son dos metros de ancho en la base, un metro de alto y largo opcional. Lo anterior para facilitar el proceso de aireación o volteo manual.

- Se inicia colocando una capa de veinticinco centímetros de alto, de materiales secos o de color café (mayor contenido de carbono), se coloca una capa de residuos verdes (mayor contenido de nitrógeno) de hasta diez centímetros de alto, se alterna una capa delgada de hasta cinco centímetros de suelo arcilloso y entre cada material se debe adicionar agua.
- Los microorganismos transformadores de la materia orgánica se deben adicionar, por medio de inoculantes, que puede ser compostaje terminado o tierra con alto contenido de materia orgánica. Esta adición se realiza en dos fases; la primera cinco días después del inicio y la segunda diez días después del inicio.
- Para aumentar la población de microorganismos se debe voltear la pila de compostaje inmediatamente después de su formación. Y cada veinticuatro horas por diez días, posteriormente se recomienda realizar volteos una vez a la semana o según se registren temperaturas mayores a las recomendadas. El volteo tiene como finalidad disminuir la temperatura, disminuir el contenido de CO<sub>2</sub>, restablecer la estructura suelta para asegurar el efecto chimenea y la liberación de gases. (p. 4)

Según MASDORF (2019):

Deben propiciar, balancear y registrar todos los factores que integran el proceso de compostaje, las más importantes son:

- Supervisión y registro diario de temperatura, deben mantenerse a un máximo de 65 °C, que son los que toleran la mayoría de los microorganismos benéficos.

- Registro de porcentajes de CO<sub>2</sub>, es un indicador del proceso aeróbico y debe mantenerse entre 8 % a 10 % inicial y 15 % diez días después del inicio.
- El volteo disminuye la temperatura y libera CO<sub>2</sub>.
- Adición de agua para mantener la humedad entre 55 % a 60 % en todo el proceso. (p. 78)

El compostaje está terminado en un lapso de seis a ocho semanas, depende de la materia orgánica inicial, manejo, experiencia del compostaje y clima. La pila de compostaje está lista para su uso cuando:

- La actividad microbiana ha terminado, lo que se muestra con la disminución de temperatura.
- Tiene un olor característico a tierra mojada.

“El compostaje terminado se puede almacenar por periodos prolongados sin pérdidas de calidad y nutrientes, en forma de pila de compostaje, cubierta por una membrana que permita el intercambio de aire” (Cataluña, 2016, p. 77).

### **1.15. Análisis físico- químico del material compostado**

El material compostado terminado contiene elementos fertilizantes para las plantas, de forma orgánica y en menor proporción a los fertilizantes minerales sintéticos. “Las ventajas del compostaje como aporte de materia orgánica son; contiene nutrientes de lenta liberación, útiles para la nutrición de las plantas” (Román, Martínez y Pantoja, 2013, p. 45).

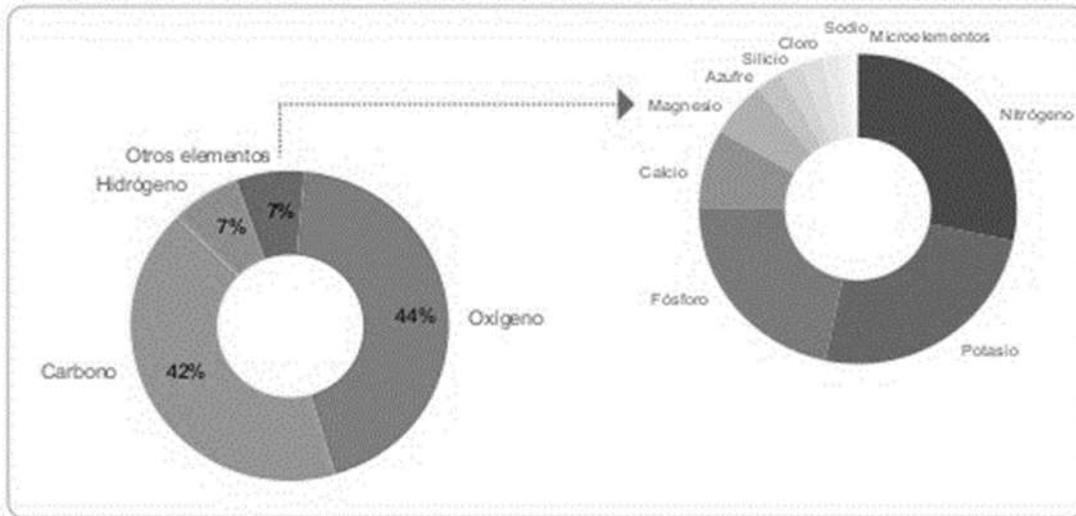
Los nutrientes necesarios para el crecimiento de las plantas provienen del aire, agua y suelo. Siendo el suelo el medio de transporte más directo para los nutrientes.

Los nutrientes se dividen en macro y micronutrientes, en función a las cantidades que las plantas necesitan. Los macronutrientes primarios son nitrógeno, fósforo y potasio. Los secundarios son magnesio, azufre y calcio. Los micronutrientes son requeridos en cantidades pequeñas. Sin embargo, son importantes en el metabolismo de las plantas, estos son el hierro, zinc, boro, molibdeno, cloro, cobre y manganeso. (Román, Martínez y Pantoja, 2013, p. 122)

El nitrógeno constituye entre 1 % y 4 % del extracto seco de la planta, es el motor de crecimiento de la planta, está involucrado en todos los procesos principales de su desarrollo. Un aporte adecuado de nitrógeno ayuda a la absorción de otros nutrientes.

El fósforo es el 0.1 % a 0.4 % del extracto seco de la planta, tiene un papel vital en la síntesis de carbohidratos y proteínas, por ende, en la estructura de la planta. Mejora el régimen hídrico y aumenta la resistencia a las heladas, salinidad y sequías. (Román, Martínez y Pantoja, 2013, pp. 122-123)

Figura 3. **Composición de las plantas**



Fuente: Román, Martínez y Pantoja (2013). *Manual de Compostaje del Agricultor*.

El contenido de los nutrientes en el compostaje depende de las características de la materia orgánica uncial y agregados.

Tabla IV. **Contenido de N, P, K en el compostaje**

Elemento	Porcentaje en compostaje
Nitrógeno	0.3 % - 1.5 % (3 g a 15 g/kg de compostaje)
Fósforo	0.1 % - 1.0 % (1 g a 10 g/kg de compostaje)
Potasio	0.3 % - 1.0 % (3 g a 10 g/kg de compostaje)

Fuente: Román, Martínez y Pantoja (2013). *Manual de Compostaje del Agricultor*.

## **2. DESARROLLO DE LA INVESTIGACIÓN**

### **2.1. Características del estudio**

Las características del estudio fueron con enfoque mixto, por utilizar técnicas cuantitativas y cualitativas. El alcance fue de nivel descriptivo, por dar a conocer la situación o estado del área de estudio y el proceso de compostaje. El diseño fue no experimental ya que no probó o rechazó ninguna hipótesis.

El área de estudio se encuentra a una altitud de 1,335 metros sobre el nivel del mar, la temperatura media anual en promedio es de 19.4 °C y la precipitación total anual es de 1,208 mililitros.

### **2.2. Unidad de análisis**

El mercado Concepción de Villa Nueva, fue construido en el año 2007, ocupa un área de 60,000 mt<sup>2</sup> aproximadamente. Es un bien público administrado por la municipalidad de Villa Nueva.

Cuenta con un total de 1,500 locales comerciales, distribuidos en los sectores:

- Frutas y verduras
- Ropa y zapatos
- Carnicerías
- Comedores
- Centro de comercio bancos, tiendas, área administrativa

- Parques
- Salones de usos múltiples
- Escuela de música.
- Clínicas médicas
- Guardería

El aprovechamiento de los residuos sólidos orgánicos está enfocado para los 143 locales del área de frutas y verduras del mercado Concepción de Villa Nueva.

Figura 4. **Ubicación del mercado Concepción**



Fuente: Google Maps (2019). Consultado el 4 de mayo de 2019. Recuperado de <https://www.google.com/maps/place/mercado+concepcion/@14.51001,-90.5793407,17z/data=!4m5!3m4!1s0x8589a7a24eb95555:0x37c9ad2be7318367!8m2!3d14.5104949!4d-90.5805208>.

### 2.3. Variables

En la tabla V, se desarrollan las variables del estudio, describiéndolas por su elemento ambiental, definición teórica y definición operativa.

Tabla V. **Variables del estudio**

<b>Variable</b>	<b>Elemento ambiental</b>	<b>Definición teórica</b>	<b>Definición operativa</b>
Tipos de residuos	Suelo	Características de los materiales desechados.	Se midió pesando los kilogramos de los residuos totales y separados según sus características.
Humedad	Suelo	Cantidad de agua presente en los residuos.	Se aplicó calor a la muestra, para evaporar el agua y calcular el porcentaje de humedad.
Densidad	Suelo	Relación entre peso y volumen.	Se midió pesando los materiales en un recipiente con volumen conocido. El resultado fue en kilogramos por metro cúbico.
Peso	Suelo	Fuerza y magnitud con que la tierra atrae un cuerpo o material.	Se utilizó una balanza para medir los kilogramos.
Temperatura	Aire	Calor medible, emanado de un cuerpo o material.	Se midió dentro de la compostera, utilizando un termómetro en grados Celsius con varilla.

Continuación tabla V.

Impactos ambientales	Agua, suelo, aire y socioeconómico	Alteraciones ambiente.	al	Matriz de Leopold, modificada, clasificando los impactos ambientales en positivos altos, medios y bajos. Y negativos severos, moderados y compatibles.
Económica	Socioeconómico	Costos de los bienes y servicios utilizados y generados.		Entrevista a empleado municipal encargado del área de residuos sólidos, unidad de medida quetzales.
Componentes del compost	Suelo	Análisis componentes químicos.	de	Laboratorio de suelos, según el componente, se midió en porcentajes y partes por millón.

Fuente: elaboración propia.

## 2.4. Fases del estudio

A continuación, se explicarán las fases realizadas en la investigación, siendo un total de 5 fases.

### 2.4.1. Fase I

Consistió en la revisión de literatura, constituida por artículos científicos, tesis, manuales, informes y textos. Con la finalidad de elaborar el marco teórico,

identificar variables a estudiar, conocer experiencias, evaluar técnicas y comparar resultados.

La bibliografía consultada fue diversa, los temas principales fueron; caracterización de residuos, cálculo de la muestra, características de residuos orgánicos, aireación del compostaje, parámetros a evaluar en el proceso de compostaje y composición química.

## **2.4.2. Fase II**

En esta fase se recolectó información para conocer las características físicas de los residuos generados.

### **2.4.2.1. Cálculo de la muestra**

La ecuación 1, se utilizó para establecer el número de muestras, con el fin de identificar los tipos de residuos sólidos.

$$n = \frac{Z_{1-\alpha/2}^2 N \sigma^2}{(N-1)E^2 + Z_{1-\alpha/2}^2 \sigma^2} \quad (\text{Ec. 1})$$

Donde:

n = número de muestras

N = población (número de locales del área de estudio)

Z = número de unidades de desviación estándar en la distribución normal que producirá el nivel de confianza (nivel de confianza 95 % = 1.96)

$\sigma$  = desviación estándar de la población (0.25 conocida por estudios anteriores)

E = error permisible, el 10 % de los kilogramos aproximados generados por local (12.72 kg)

#### **2.4.2.2. Recepción de las muestras**

Para determinar la cantidad y composición de los residuos sólidos que se producen en el área de frutas y verduras del mercado Concepción de Villa Nueva, se procedió de la siguiente manera:

- Se estableció el número de muestras en base a la fórmula de la ecuación.
- Se recibieron en el acopio temporal los residuos de los inquilinos, hasta obtener el número de muestras establecido.
- Cada muestra se pesó, sin separar los componentes y se colocó de forma temporal sobre un área cubierta por plástico.
- Se separaron los residuos según sus características en:
  - Orgánicos: frutas, verduras, residuos de color café.
  - Inorgánicos: recipientes desechables de duroport y plásticos.
- Se pesó y registro cada material por separado para calcular los porcentajes.

#### **2.4.2.3. Método de selección**

Consistió en la separación manual de los residuos muestreados. La aplicación de este método en el área de estudio se debió a los siguientes aspectos:

- Número de muestras menor a 100
- Mayor presencia de materia orgánica
- Disponibilidad de tiempo
- Obtener mayor grado de exactitud

#### **2.4.2.4. Tipos de residuos**

Para conocer los tipos de residuos generados, se realizaron las acciones siguientes:

- Se muestrearon 45 locales diarios, durante siete días.
- Se pesó y registró cada muestra, sin separarlas.
- Se extrajeron las muestras, de las bolsas o recipientes.
- Se colocaron todas las muestras sobre una superficie plana, cubierta con un plástico.
- Se extrajeron los materiales inorgánicos y se separaron según sus características en plásticos y duroport.
- La materia orgánica consistente en: frutas, verduras y material color café.
- Se pesaron y registraron los datos de los materiales.

Tabla VI. **Ejemplo de tabla de registros de residuos muestreados**

Tipo de residuo		Día 1 (Kg)	Día 2 (Kg)	Día 3 (Kg)
Inorgánico	Duroport			
	Plásticos			
Orgánico (RAD)	Frutas			
	Verduras			
Orgánico (RBD)	Cartón			
	Materia orgánica color			
	café			
<b>Total</b>				

Fuente: elaboración propia.

#### 2.4.2.5. **Porcentaje de humedad de los residuos sólidos orgánicos**

El contenido de humedad de los residuos sólidos, generalmente, se expresa como el peso del material húmedo menos el peso del material seco.

$$\text{Contenido de humedad (\%)} = \frac{a-b}{a} * 100 \quad (\text{Ec. 2})$$

Donde:

a = peso inicial de la muestra

b = peso de la muestra después de secar

La muestra para obtener el porcentaje de humedad estaba compuesta por residuos orgánicos de los siete días muestreados, siguiendo los pasos que se detallan:

- Se procedió a pesar el material, omitiendo la tara del recipiente.
- Se registraron los valores iniciales de la muestra de residuos orgánicos.
- Se ingresó a un horno a 60 °C por una hora.
- Se sacó el material del horno y se pesó nuevamente.
- Se ingresó al horno por una hora.
- Se pesó el material por segunda vez.
- Se ingresó al horno por 15 minutos y el peso no mostró variación, por lo que se procedió a calcular el porcentaje de humedad de la muestra con la ecuación 2.

#### **2.4.2.6. Densidad de los residuos sólidos orgánicos**

La medición de la densidad de los residuos sólidos se realizó con la ecuación 3.

$$\text{Densidad de los residuos } \rho = \frac{\text{Masa (kg)}}{\text{Volumen (m}^3\text{)}} \quad (\text{Ec. 3})$$

El procedimiento para medir la densidad de los residuos es el siguiente:

- Se preparó un recipiente y una balanza.
- Se pesó el recipiente y se midió su volumen.
- Se compactaron los residuos de forma manual en el recipiente.
- Se pesó el recipiente lleno y por diferencia se obtuvo el peso de los residuos.

- Se obtuvo la densidad de los residuos al dividir su peso en kilogramos entre el volumen del recipiente en metros cúbicos.

Para conocer la densidad promedio de los residuos que se generaron en el área de estudio, se tomaron los pesos diarios, en un recipiente con un volumen de 0.025 m<sup>3</sup> y se promediaron los resultados, obtenidos con la ecuación 3.

#### **2.4.2.7. Peso de los residuos**

Se realizó el registro de pesos de los residuos registrando los kilogramos de materia orgánica antes y después del proceso de compostaje.

#### **2.4.2.8. Temperaturas de los residuos**

Se registraron a diario, las temperaturas marcadas por el termómetro con varilla, en grados Celsius, antes y después de introducirlo en la pila de compostaje.

#### **2.4.3. Fase III**

Se proponen los pasos o procedimientos, para la elaboración del compostaje aeróbico, basados en su experiencia desarrollada en la Central de Mayoreo CENMA y la compostera demostrativa del presente estudio.

#### **2.4.4. Fase IV**

La fase IV consistió en cuantificar y registrar las variables de los parámetros del proceso de compostaje.

#### **2.4.4.1. Tipo de residuo**

Los residuos fueron divididos, pesados y registrados los datos en orgánicos que se subdividieron en frutas, verduras, cartón y materia orgánica café. Y los inorgánicos, subdivididos en duroport y plástico.

#### **2.4.4.2. Humedad**

La medición de la humedad se realizó al inicio del proceso de compostaje. Se procedió a tomar un kilogramo de materia orgánica (1,000 gramos), se pesó, se introdujo en un horno a 60 °C, se monitorearon los pesos en gramos y hasta que no se registró variación en el peso, se obtuvo el peso seco y se procedió a calcular el porcentaje de humedad, utilizando la ecuación 4.

$$\text{Humedad} = \frac{\text{Peso inicial (kg)} - \text{Peso final (kg)}}{\text{Peso Inicial (kg)}} * 100 \quad (\text{Ec. 4})$$

#### **2.4.4.3. Densidad final del material compostado**

Conociendo el volumen del cilindro utilizado y el peso de la muestra, la densidad final del material compostado se calculó en base a la ecuación 5.

$$\text{Densidad de los residuos } \rho = \left( \frac{\text{Peso (kg)}}{\text{Volumen (m}^3\text{)}} \right) = \text{kg/m}^3 \quad (\text{Ec. 5})$$

#### **2.4.4.4. Pesos iniciales y finales**

Al inicio y al final de la fase experimental se procedió a pesar los residuos orgánicos sometidos al proceso de compostaje.

#### **2.4.4.5. Temperaturas**

Se registraron las temperaturas externas y en el interior de la compostera, diariamente en grados Celsius, con un termómetro de varilla de 50 centímetros.

#### **2.4.4.6. Análisis ambiental**

Para caracterizar los impactos a los elementos de agua, aire, suelo y socioeconómico, que se generan en el área de estudio al no realizar compostaje, se presenta una matriz de Leopold modificada, que relaciona cada componente o factor ambiental con las actividades que se desarrollan. Se aplicó una versión modificada que utiliza, los siguientes criterios de caracterización y valoración:

- Carácter del impacto: positivo, negativo o neutro.
- Grado de perturbación, del impacto en el ambiente (clasificado como importante, regular y escaso).
- Importancia, del impacto en el receptor, recursos naturales y la calidad ambiental (clasificado como alto, medio y bajo).
- Extensión superficial o territorio involucrado (clasificado como regional cuando abarca un sector de 2 Km. a la redonda, local, a una distancia de 200 metros, puntual menor a 50 metros).
- Duración a lo largo del tiempo (clasificado como permanente o duradera en toda la vida del proyecto, media o durante la operación del proyecto y corta si es inferior a un año).
- Reversibilidad que puede clasificarse como reversible, parcial e irreversible.

Tabla VII. Clasificación de impactos

CLASIFICACION DE IMPACTOS			
Carácter (C)	Positivo 1	Negativo -1	Neutro 0
Perturbación (P)	Importante 3	Regular 2	Escasa 1
Importancia (I)	Alta 3	Media 2	Baja 1
Ocurrencia (O)	Muy Probable 3	Probable 2	Poco Probable 1
Extensión (E)	Regional 3	Local 2	Puntual 1
Duración (D)	Permanente 3	Media 2	Corta 1
Reversibilidad (R)	Irreversible 3	Parcial 2	Reversible 1

Fuente: Cruz (2012). Metodología – EIA matriz de Leopold.

Posterior a realizar las interacciones de las actividades del proyecto con los elementos ambientales, se valora el impacto cuantitativamente y los resultados se comparan con los parámetros descritos en la tabla VIII para caracterizar el impacto.

Tabla VIII. Parámetros para caracterización de resultados

Negativo (-)	
Severo	$\geq - 15$
Moderado	$-15 \geq -9$
Compatible	$\leq -9$

Continuación tabla VIII.

<b>Positivo (+)</b>	
Alto	$\geq 15$
Mediano	$15 \geq 9$
Bajo	$\leq 9$

Fuente: Cruz (2012). *Metodología – EIA matriz de Leopold.*

#### **2.4.4.7. Análisis económico**

Por medio de una entrevista realizada al responsable de la unidad de residuos sólidos, que proporcionó datos aproximados de inversiones mensuales que la municipalidad de Villa Nueva realiza mensualmente por el acopio, transporte y disposición final de residuos en el área de estudio.

#### **2.4.5. Fase V**

Se trasladó una muestra de un kilo del material compostado y estabilizado al laboratorio de suelo, planta y agua de la Facultad de Agronomía de la Universidad de San Carlos, donde se realizó el análisis químico correspondiente.

### **3. PRESENTACIÓN DE RESULTADOS**

#### **3.1. Área de estudio y características físicas de los residuos generados**

El aprovechamiento de los residuos sólidos orgánicos está enfocado para los 143 locales del área de frutas y verduras del mercado Concepción de Villa Nueva.

##### **3.1.1. Cálculo de la muestra**

El número de locales para la muestra se calculó con la ecuación 1, dando como resultado una muestra de 45.

$$n = \frac{(1.96)^2 \times (143) \times (0.25)^2}{(1.42) \times (1.27)^2 + (1.96)^2 \times (0.25)^2} = 45$$

##### **3.1.2. Recepción de las muestras**

Las muestras fueron pesadas de manera individual y se obtuvieron los datos presentados en la tabla IX. Con el promedio general de 8 kilogramos diarios por local, multiplicado por los 143 locales del área de estudio, se generan 1,144 kilogramos de residuos sólidos.

Tabla IX. **Promedios de residuos generados por local**

Tipo de residuo	Pesos promedios en kilogramos por local							
	Lunes	Martes	Miércoles	Jueves	Viernes	Sábado	Domingo	General
Materia orgánica e inorgánica, sin separar.	8	7	7	7	9	10	9	8 kilogramos por local

Fuente: elaboración propia.

### 3.1.3. Tipos de residuo

La caracterización realizada, fue realizada en la semana del 20 al 26 de mayo del año 2019. Se calcularon los porcentajes promedios de los residuos en general, obteniendo los resultados registrados en la tabla X.

Tabla X. **Registros de pesos diarios promedio, según tipo de residuo**

Tipo de residuos		Pesos diarios promedios en kilogramos							General
		Lunes	Martes	Miércoles	Jueves	Viernes	Sábado	Domingo	
Orgánicos	frutas	12	11	15	30	25	13	12	17 %
	verduras	60	70	60	55	71	90	76	69 %
	café	8	7	6	7	11	12	9	9 %
	cartón	2	1	1.5	2.5	0.5	3	2	2 %
Inorgánicos	duroport	1	0.5	2	1	0.5	2	1	1 %
	plástico	2	1	2	3	1	2	1	2 %
TOTAL									100 %

Fuente: elaboración propia.

Tabla XI. **Porcentajes promedio generales de residuos sólidos**

<b>Características</b>	<b>Porcentaje general</b>	<b>Tipo de residuo</b>	<b>Porcentaje promedio</b>
Inorgánicos	3 %	Duroport Plásticos	1 % 2 %
Orgánicos RAD	86 %	Frutas verduras	17 % 69 %
Orgánicos RBD	11 %	Cartón Materia orgánica café	2 % 9 %
<b>Total</b>			<b>100 %</b>

Fuente: elaboración propia.

#### **3.1.4. Porcentaje de humedad inicial**

El primer cálculo de humedad se realizó al inicio del proceso de compostaje, con una muestra de los residuos orgánicos del área de frutas y verduras. Se procedió a tomar un kilogramo de materia orgánica (1,000 gramos), se pesó, se introdujo en un horno a 60 °C, durante 1 hora, se pesó nuevamente y se obtuvo un resultado de 500 gramos, se ingresó al horno por 1 hora y al extraerlo y pesarlo fueron 200 gramos, se ingresó la muestra por 15 minutos más, se pesó y se obtuvieron nuevamente 200 gramos, por lo que se concluyó, que el porcentaje de humedad inicial fue de 80 %.

#### **3.1.5. Promedio de densidad**

La densidad se obtuvo al dividir el peso en kilogramos entre el volumen de un recipiente de 0.025 m<sup>3</sup>. Los registros diarios se presentan en la tabla XII.

**Tabla XII. Registros de las densidades**

<b>Registro diario de densidad (kg/ m<sup>3</sup>)</b>							
<b>1</b>	<b>2</b>	<b>3</b>	<b>4</b>	<b>5</b>	<b>6</b>	<b>7</b>	<b>Densidad promedio</b>
460	351	360	234	679	460	670	459 kg/ m <sup>3</sup>

Fuente: elaboración propia

### **3.1.6. Peso**

Para conocer la variación del peso del material orgánico sometido al proceso de compostaje, se registraron y obtuvieron los datos de la tabla XIII.

**Tabla XIII. Pesos iniciales y finales del material orgánico compostado**

	<b>Peso</b>	<b>Porcentaje</b>
<b>Inicial</b>	125 kilogramos	100 %
<b>Final</b>	20 kilogramos	16 %

Fuente: elaboración propia

## **3.2. Metodología propuesta para elaboración de compostaje aeróbico controlado**

La metodología se basó en la experimentación realizada con la materia orgánica, generada en el área de estudio.

**Tabla XIV. Materiales y equipos**

<b>Materiales</b>	<b>Equipos</b>
<ul style="list-style-type: none"><li>• Materia orgánica compostable, separada en seca o color café y verde o fresca.</li><li>• 100 kilogramos de suelo arcilloso.</li><li>• Agua.</li></ul>	<ul style="list-style-type: none"><li>• 1 maquina picadora.</li><li>• 4 palas.</li><li>• 4 azadones.</li><li>• 1 pesa.</li><li>• 1 termómetro</li><li>• 1 retroexcavadora para utilizarla una hora diaria aproximadamente.</li></ul>

Fuente: elaboración propia

### **3.2.1. Procedimientos**

A continuación, se detalla la metodología propuesta para el compostaje aeróbico controlado.

- Preparar los materiales, (materia orgánica con contenido de carbono, materia orgánica con contenido de nitrógeno, agua, suelo arcilloso, palas y azadones).
- Las dimensiones de la pila deben calcularse en base al área disponible, a la cantidad de materia orgánica, al método de volteo o aeración que se desarrollará y a los recursos disponibles.
- Colocar la primera capa de 25 a 30 centímetros de material color café (mayor contenido de carbono).
- Agregar agua.
- Colocar la segunda capa de 10 a 15 centímetros, de materiales color verde (mayor contenido de nitrógeno).
- Aplicar agua para humedecer el material.

- Colocar la tercera capa de suelo arcilloso, de 5 a 10 centímetros de espesor.
- Humedecer nuevamente.
- Repetir los pasos hasta que la pila alcance 80 centímetros de altura como mínimo.
- Después de armada la pila de compostaje, proceder al volteo manual o mecánico, esta actividad permitirá que los materiales se mezclen, oxigenen y contribuyan a la elevación de la temperatura.
- Realizar el volteo manual o mecánico de la pila cada 24 horas durante diez días.
- Medir y registrar a diario la temperatura.
- Posterior a los primeros diez días, se debe voltear la pila de compostaje cada siete días o cuando la temperatura sea mayor de 58 °C.
- En el día once adicionar material compostado para asegurar la inoculación de microorganismos.
- Incorporar agua durante los volteos o cuando la humedad sea inferior al 50 %.
- Las características o indicadores de que el proceso ha finalizado son; disminución de temperatura, el material compostado tiene olor y textura similar a tierra húmeda.
- Tamizar el producto para obtener granulometrías uniformes.
- Se recomienda realizar y registrar, análisis químicos y físicos del material compostado en el laboratorio de agua, suelo y planta de la Facultad de Agronomía de la Universidad de San Carlos de Guatemala u otro laboratorio especializado.

Figura 5. **Materiales para compostar**



Fuente: [Fotografía de Luz Aldana]. (Villa Nueva, Guatemala. 2019). Colección particular.  
Guatemala.

Figura 6. **Pila de compostaje**



Fuente: [Fotografía de Luz Aldana]. (Villa Nueva, Guatemala. 2019). Colección particular.  
Guatemala.

Figura 7. **Monitoreo de temperatura**



Fuente: [Fotografía de Luz Aldana]. (Villa Nueva, Guatemala. 2019). Colección particular.  
Guatemala.

### **3.3. Evaluación de variables del proceso de compostaje**

A continuación, se detallan las variables comparativas analizadas en el proceso de compostaje.

#### **3.3.1. Humedad de residuos sólidos orgánicos**

Se realizó nuevamente el proceso de secado de una muestra de material compostado. Los resultados de la materia orgánica inicial y el producto se presentan a en la tabla XV.

**Tabla XV. Humedad inicial y final del material orgánico compostado**

<b>Humedad</b>	<b>Porcentaje</b>
Inicial	80 %
Final	38 %
Disminución de humedad	42 %

Fuente: elaboración propia.

### **3.3.2. Densidad del compostaje**

Al finalizar el proceso de compostaje se procedió a pesar nuevamente, una muestra compactada, en un recipiente con un volumen de 0.025 m<sup>3</sup>.

**Tabla XVI. Densidad inicial y final del material orgánico**

<b>Parámetro</b>	<b>Densidad</b>
Residuos sin compostar	459 kg/ m <sup>3</sup>
Residuos compostados	722 kg/ m <sup>3</sup>
Aumento densidad	263 kg/ m <sup>3</sup>

Fuente: elaboración propia.

### **3.3.3. Resultados de peso inicial y final del compostaje**

Al evaluar el peso inicial y el peso final del material compostado se registró una disminución del 84 %, evidenciado en la tabla XVII.

**Tabla XVII.      Peso inicial y final de la materia orgánica**

<b>Parámetro</b>	<b>Peso (Kg)</b>	<b>Porcentajes</b>
Residuos al inicio del compostaje	125	100 %
Residuos compostados	19.50	16 %
Disminución de peso		84 %

Fuente: elaboración propia.

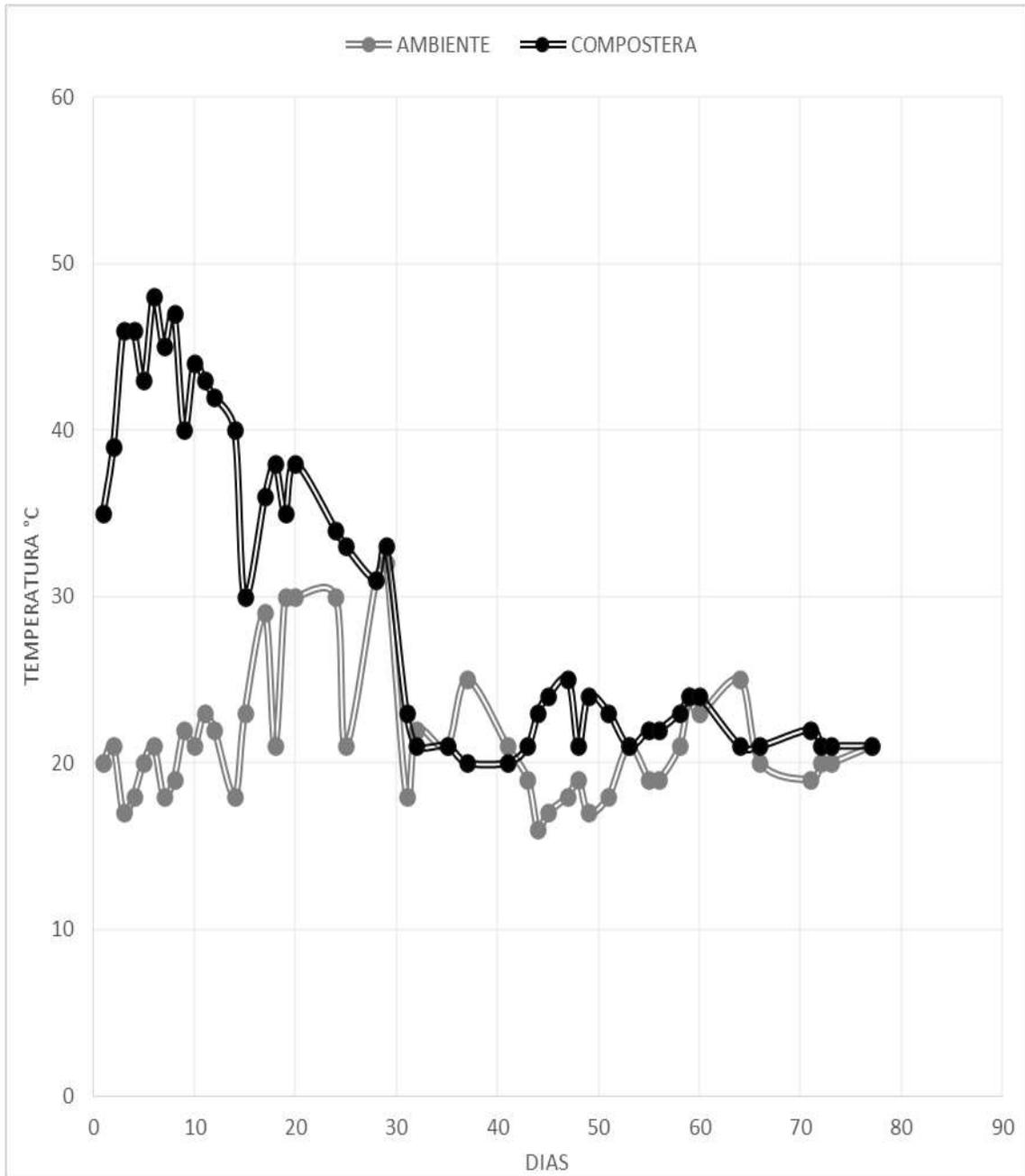
#### **3.3.4.      Monitoreo de temperatura del proceso de compostaje**

Se utilizó para realizar las mediciones un termómetro con varilla integrada. Se registraron las temperaturas en grados Celsius, antes y después de introducirlo en el centro de la pila de compostaje demostrativa.

La primera fase se observa del día uno al catorce, la mayor temperatura de 48 °C el día seis. La segunda fase se observa el día quince donde la temperatura disminuye 10 °C y se mantiene en rangos de los 30° hasta el día veintinueve.

En la segunda fase se resalta la disminución nuevamente de 10 °C el día treinta y uno, para mantenerse en temperaturas en los rangos de los 20 °C hasta alcanzar el periodo de maduración, marcado por la similitud con la temperatura ambiente.

Figura 8. Gráfica de temperaturas registradas



Fuente: elaboración propia, empleando Microsoft Excel.

**Tabla XVIII. Registros de temperaturas**

Numero de día	Fecha	Registro de temperaturas °C	
		Dentro de la compostera	Fuera de la compostera
1	28 de mayo	35	20
2	29 de mayo	39	21
3	30 de mayo	46	17
4	31 de mayo	46	18
5	1 de junio	43	20
6	2 de junio	48	21
7	3 de junio	45	18
8	4 de junio	47	19
9	5 de junio	40	22
10	6 de junio	44	21
11	7 de junio	43	23
12	8 de junio	42	22
14	10 de junio	40	18
15	11 de junio	30	23
17	13 de junio	36	29
18	14 de junio	38	21
19	15 de junio	35	30
20	16 de junio	38	30
24	20 de junio	34	30
25	21 de junio	33	21
28	24 de junio	31	31
29	25 de junio	33	32
31	27 de junio	23	18
32	28 de junio	21	22
35	1 de julio	21	21
37	3 de julio	20	25

Continuación tabla XVIII.

<b>41</b>	<b>7 de julio</b>	<b>20</b>	<b>21</b>
<b>43</b>	9 de julio	21	19
<b>44</b>	10 de julio	23	16
<b>45</b>	11 de julio	24	17
<b>47</b>	13 de julio	25	18
<b>48</b>	14 de julio	21	19
<b>49</b>	15 de julio	24	17
<b>51</b>	17 de julio	23	18
<b>53</b>	19 de julio	21	21
<b>55</b>	21 de julio	22	19
<b>56</b>	22 de julio	22	19
<b>58</b>	23 de julio	23	21
<b>59</b>	24 de julio	24	24
<b>60</b>	25 de julio	24	23
<b>64</b>	29 de julio	21	25
<b>66</b>	31 de julio	21	20
<b>71</b>	5 de agosto	22	19
<b>72</b>	6 de agosto	21	20
<b>73</b>	7 de agosto	21	20
<b>77</b>	11 de agosto	21	21

Fuente: elaboración propia.

### **3.3.5. Resultados de la evaluación ambiental, sin realizar el compostaje**

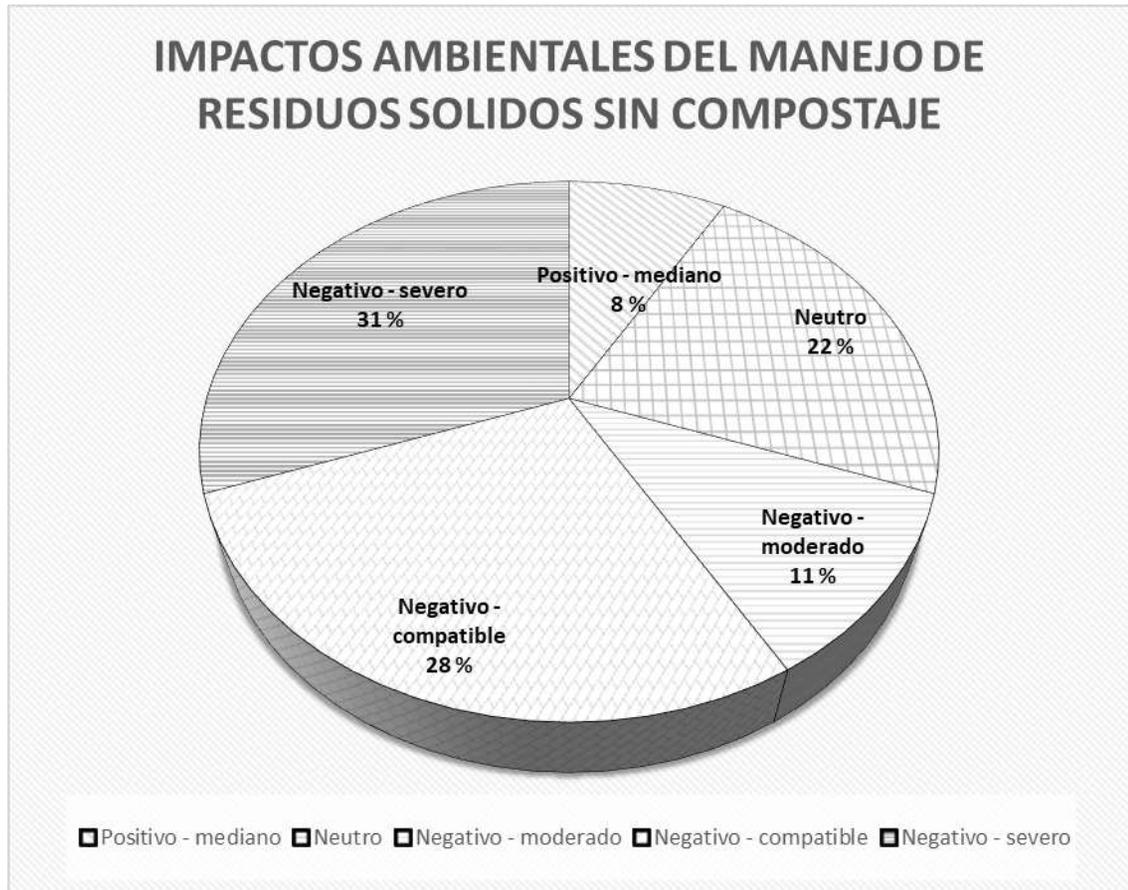
En la tabla XIX, se determina el resultado de la evaluación ambiental sin realizar el compostaje aplicando la matriz de Leopold.

Tabla XIX. Matriz de Leopold modificada aplicada al área de estudio

		<b>MANEJO DE RESIDUOS SOLIDOS SIN COMPOSTAJE</b>																																			
<i>Elementos ambientales</i>		1. ACOPIO TEMPORAL					CARACTERIZACIÓN DEL IMPACTO	PORCENTAJE ELEMENTO AMBIENTAL	2. TRANSPORTE					CARACTERIZACIÓN DEL IMPACTO	PORCENTAJE ELEMENTO AMBIENTAL	3. DISPOSICION FINAL					CARACTERIZACIÓN DEL IMPACTO	PORCENTAJE ELEMENTO AMBIENTAL															
		CARÁCTER	PERTURBACIÓN	IMPORTANCIA	OCURRENCIA	EXTENSION			DURACION	REVERSIBILIDAD	TOTAL	CARÁCTER	PERTURBACIÓN			IMPORTANCIA	OCURRENCIA	EXTENSION	DURACION	REVERSIBILIDAD			TOTAL	CARÁCTER	PERTURBACIÓN	IMPORTANCIA	OCURRENCIA	EXTENSION	DURACION	REVERSIBILIDAD	TOTAL						
<b>Aire</b>	Olores desagradables	-1	2	1	2	1	2	1	-	9	NEGATIVO-COMPATIBLE	12	-1	2	2	3	1	1	1	1	-	10	NEGATIVO-MODERADO	13	-1	3	3	3	2	3	3	-	17	NEGATIVO SEVERO	10		
	Generación de gases	-1	1	1	1	1	2	1	-	7	NEGATIVO-COMPATIBLE	9	-1	2	2	1	1	1	1	1	-	9	NEGATIVO-COMPATIBLE	11	-1	3	3	3	2	3	3	-	17	NEGATIVO SEVERO	10		
	Material particulado	-1	1	1	1	1	2	1	-	7	NEGATIVO-COMPATIBLE	9	-1	2	2	2	1	1	1	1	-	9	NEGATIVO-COMPATIBLE	12	-1	3	3	3	3	2	3	2	-	18	NEGATIVO SEVERO	10	
<b>Agua</b>	Contaminación de fuentes superficiales	-1	1	1	1	2	2	2	-	9	NEGATIVO-COMPATIBLE	12	0	0	0	0	0	0	0	0	-	0	NEUTRO	0	-1	3	3	3	3	3	3	-	18	NEGATIVO SEVERO	10		
	Contaminación de fuentes subterráneas	0	0	0	0	0	0	0	0	0	NEUTRO	0	0	0	0	0	0	0	0	0	-	0	NEUTRO	0	-1	3	3	3	3	3	3	-	18	NEGATIVO SEVERO	9		
<b>Suelo</b>	Contaminación de suelos	0	0	0	0	0	0	0	0	0	NEUTRO	0	0	0	0	0	0	0	0	0	-	0	NEUTRO	0	-1	3	3	3	3	3	3	-	18	NEGATIVO SEVERO	9		
	Infiltración de lixiviados	0	0	0	0	0	0	0	0	0	NEUTRO	0	0	0	0	0	0	0	0	0	-	0	NEUTRO	0	-1	3	3	3	3	3	3	-	18	NEGATIVO SEVERO	9		
<b>Socioeconomico</b>	Generación de empleos	-1	1	1	2	1	1	1	-	7	POSITIVO-MEDIANO	9	-1	2	2	2	1	2	1	1	-	10	POSITIVO-MEDIANO	13	-1	2	2	2	2	3	1	1	2	-	12	POSITIVO-MEDIANO	6
	Paisaje	-1	1	1	1	1	1	1	-	8	NEGATIVO-COMPATIBLE	8	-1	1	2	2	1	1	1	1	-	8	NEGATIVO-COMPATIBLE	11	-1	3	3	3	1	3	3	-	16	NEGATIVO SEVERO	8		
	Rusalka	-1	1	1	1	1	1	1	-	8	NEGATIVO-COMPATIBLE	8	0	0	0	0	0	0	0	0	-	0	NEUTRO	0	-1	3	3	3	1	3	3	-	16	NEGATIVO SEVERO	8		
	Presupuesto municipal	-1	1	1	2	1	3	1	-	9	NEGATIVO-COMPATIBLE	12	-1	3	2	3	2	3	1	1	-	14	NEGATIVO-MODERADO	18	-1	2	2	3	2	3	2	1	4	-	14	NEGATIVO-MODERADO	7
	Seguridad y salud ocupacional	-1	2	3	3	1	3	3	-	15	NEGATIVO-MODERADO	20	-1	3	3	3	2	3	3	3	-	17	NEGATIVO SEVERO	22	-1	3	3	3	1	3	3	-	18	NEGATIVO SEVERO	8		
									-	15		100									-	100										-	100				

Fuente: elaboración propia, empleando Microsoft Excel.

Figura 9. **Resumen de impactos ambientales**



Fuente: elaboración propia, empleando Microsoft Excel.

Los impactos ambientales que actualmente se generan por los residuos sólidos del área de estudio, son catalogados 22 % como neutros, 8 % como positivos medianos, 28 % como negativos-compatible, 11 % como negativos-moderados y 31 % negativos severos.

Los beneficios ambientales al implementar los procesos de transformación de materia orgánica son: la reducción de residuos sólidos dispuestos en el vertedero, disminución de emisión de gases efecto invernadero, lixiviados y recuperación de materiales reciclables.

### 3.3.6. Resultados de la evaluación económica

Los costos aproximados a los que la municipalidad de Villa Nueva incurre mensualmente por acopio, transporte y disposición final de residuos, se describen a continuación.

**Tabla XX. Costos del manejo de los residuos sólidos sin compostaje**

<b>Aspecto</b>	<b>Cantidad</b>	<b>Costo unitario (Q)</b>	<b>Costo mensual (Q)</b>	<b>Costo anual (Q)</b>
Chofer de camión compactador.	01	3,000	3,000	36,000
Ayudantes.	02	2,500	5,000	60,000
Encargado del acopio de residuos de frutas y verduras.	02	2,500	5,000	60,000
Pago de ingreso de camión a AMSA.	30	160	4,800	57,600
Depreciación y mantenimiento de camión compactador.	01	3,000	3,000	36,000
		<b>Total</b>	<b>20,800</b>	<b>240,600</b>

Fuente: elaboración propia.

**Tabla XXI. Costos del manejo de los residuos sólidos con compostaje**

<b>Aspecto</b>	<b>Cantidad</b>	<b>Costo unitario (Q)</b>	<b>Costo mensual (Q)</b>	<b>Costo anual (Q)</b>
Encargado del acopio de residuos de frutas y verduras.	01	3,000	3,000	36,000
Encargado del área de compostaje.	01	3,000	3,000	36,000
Volteo mecánico o manual de materia orgánica depreciación, operador y combustible.	30 volteos mensuales	200	6,000	72,000
<b>Total</b>			<b>Q. 12,000</b>	<b>Q. 144,000</b>

Fuente: elaboración propia.

**Tabla XXII. Comercialización de compostaje**

<b>Aspecto</b>	<b>Kg diarios</b>	<b>Costos por kg (Q)</b>	<b>Ingresos por producción diaria (Q)</b>	<b>Ingresos por producción mensual (Q)</b>	<b>Ingresos por producción anual (Q)</b>
Compostaje para comercializar	160	2.00	320	9,600	115,200

Fuente: elaboración propia.

**Tabla XXIII. Costo/beneficio del compostaje**

<b>Aspecto</b>	<b>Costo actual, sin compostar (Q)</b>	<b>Producción de compostaje (Q)</b>
Costo mensual	20,800	11,000
Costo anual	249,600	132,000

Fuente: elaboración propia.

Los costos del manejo actual comparados con la implementación de un área de compostaje para la materia orgánica, dentro del mercado Concepción, se reducen un 47 %.

Al establecer el área de compostaje, se prevé una producción de 160 kilogramos diarios, la comercialización o uso del compostaje terminado, supone un ingreso o ahorro anual de Q. 115,000.00. Que es inferior a los costos de producción (Q. 144,000.00 anuales), sin embargo, se debe considerar que diariamente se evitará la disposición en el vertedero de más de mil kilogramos de

residuos orgánicos, lo que disminuye el número de viajes del camión y los costos de ingreso al vertedero.

### 3.4. Análisis de características químicas del material compostado

Se trasladó una muestra al laboratorio especializado en suelo, agua, aire, de la Facultad de Agronomía de la Universidad de San Carlos, para cualificar y cuantificar los elementos químicos presentes en el producto compostado.

**Tabla XXIV. Características químicas de la materia orgánica compostada**

Caracterización química		Resultado	Según rangos
Potencial de hidrógeno	pH	7.6	6.8 a 7.2
Conductividad eléctrica	μs/cm	1,925.00	14 a 30 %
	C.E		
Carbono orgánico	%	7.19	1.5 a 2 %
Nitrógeno total	%	0.77	10 a 11
Relación carbono	C/N	9.3:1	2 a 2.5 %
nitrógeno	%	0.18	1 a 1.5 %
Fosforo (P)	%	0.38	2 a 8 %
Potasio (K)	%	2.65	1 a 2.5 %
Calcio (Ca)	%	0.18	0.02 %
Magnesio (Mg)	%	0.81	0.05 %
Sodio (Ni)	ppm	5	Sin ref.
Cobre (Cu)	ppm	35	0.02 %
Zinc (Zn)	ppm	2,000	0.06 %
Hierro (Fe)	ppm	205	
Manganeso (Mn)			

Fuente: Laboratorio de Suelo-planta-agua SCO (2019). *Análisis químico de material orgánico.*



## **4. DISCUSIÓN DE RESULTADOS**

### **4.1. Área de estudio y características físicas de los residuos generados**

Para conocer las características físicas de los residuos generados en el área de estudio, se inició con el cálculo del tamaño de la muestra de una población finita (número de locales), con la desviación estándar de 0.25 utilizada en estudios anteriores y un nivel de confianza del 95 %.

Se procedió a la recepción de muestras, con características significativas de la época (mayo 2019), por lo que las variables a considerar son; tipo de cosechas, capacidad adquisitiva, clima, administración y tradiciones que cambian las características de los residuos.

La literatura de caracterización de residuos propone en repetidas ocasiones el método de cuarteo. Sin embargo, durante la recepción de las muestras, fue evidente que no era apropiado para el estudio que se estaba realizando, por diversos factores.

Los más relevantes fueron; las muestras tenían mayor porcentaje de residuos orgánicos, los residuos inorgánicos eran fáciles de separar y el número de muestras era menor a cien. Por lo tanto, se procedió a separar los residuos de cada muestra, según sus características, a esta acción se le denominó método de selección por muestra, con lo que se obtuvo mayor grado de confiabilidad.

Las muestras fueron obtenidas en época seca (aún no se había establecido la época de lluvia en Villa Nueva), la humedad de los residuos se obtuvo pesando

la muestra inicial, aplicando calor y pesando en repetidas ocasiones hasta que el peso de la muestra no presente variación.

La cantidad de días muestreados y la metodología de separación de las muestras pueden variar según el lugar de estudio, número de muestras, tiempo disponible, recursos económicos, recursos humanos y objetivo del estudio. Conocer la densidad y humedad inicial y final, son importantes porque evidencian la evaporación y mineralización de la materia orgánica

El nivel de confianza de la densidad inicial dependió de conocer el volumen del recipiente utilizado, la compactación de los residuos, equipos de medición y porcentaje de humedad.

La caracterización realizada durante el muestreo, con un nivel de confianza del 95 %, indico que el 97 % (1,110 kilogramos) de los 1,144 kilogramos de residuos generados a diario, están constituidos por materia orgánica, lo que confirma la viabilidad para implementar el proceso de compostaje en el área de estudio.

#### **4.2. Metodología propuesta para elaboración de compostaje aeróbico controlado**

El proceso de compostaje aeróbico aceleró la degradación de la materia orgánica, por la multiplicación de microorganismos aerobios, beneficiados por la incorporación de oxígeno con el volteo manual, en periodos definidos por la experiencia del compostador, clima, tipo de residuos, disponibilidad de equipos y ubicación de las pilas de compostaje.

La adición de suelo arcilloso fue indispensable para el proceso, ya que aumentó la retención de agua. Otra adición importante fue el material ya compostado, que es el cultivo de microorganismos que aumentó la población y aceleró la descomposición.

Propiciar la oxigenación de la pila, por medio del volteo mecanizado o manual (según área disponible, recursos y cantidad de residuos), favoreció la actividad microbiana, que aumentó la temperatura e higienizó el material.

La metodología propuesta para desarrollar el compostaje aeróbico controlado, evidencio diversos cambios en materia orgánica, modificó su forma y estructura por medio de la evaporación y mineralización, hasta convertirla en suelo fértil. Los recursos, materiales y equipos propuestos son de fácil acceso y es necesario adaptar un área con dimensiones definidas por la cantidad de materia orgánica y por el método de incorporación de oxígeno a las pilas de compostaje.

#### **4.3. Evaluación de variables del proceso de compostaje**

Las variables iniciales y finales evaluadas en el proceso mostraron los cambios en la materia orgánica sometida al proceso de compostaje. Es importante señalar que estos datos son específicamente del área de estudio, dependen de diversas variables, por lo que son referencia y la metodología puede replicarse a otras áreas de estudio.

La disminución del peso y aumento de la densidad evidencian la evaporación de humedad y solidificación de los residuos. La temperatura mayor a 40 °C es un indicador del aumento de la actividad microbiana y cumple diversas

funciones, que según la literatura consultada tiene el efecto de pasteurizar los residuos.

La evaluación ambiental sin el desarrollo del proceso de compostaje se analizó con una matriz de Leopold modificada, que refleja las interacciones positivas y negativas de las actividades con los elementos ambientales. Dicha matriz puede ser subjetiva, ya que depende en gran medida de los criterios de la persona que la elaboró.

Al cuantificar los aspectos económicos y analizar los datos, reflejaron la disminución de la inversión pública al desarrollar el proceso de compostaje y los ingresos o ahorros generados por la comercialización o consumo del producto compostado.

Por lo que se cumple con el objetivo de evaluar los diversos parámetros del proceso de producción de compostaje. Al concluir la evaluación de los parámetros del proceso de compostaje, se obtuvo; que la humedad disminuyó 42 %, la densidad aumentó 36 %, el peso disminuyó 84 %.

La temperatura promedio fue de 44 °C y la mayor temperatura registrada fue de 48 °C. Al no desarrollar ninguna acción para compostar los residuos, los impactos ambientales fueron catalogados como negativos severos 31 %. Al aplicar el método de compostaje los egresos económicos de la municipalidad, en manejo de residuos, se reducirán un 47 %. Para obtener los datos se utilizaron métodos confiables, verificables y replicables.

Para obtener las características químicas, se procedió a trasladar una muestra del producto compostado al laboratorio de agua, suelo y planta de la

Facultad de Agronomía de la Universidad de San Carlos de Guatemala, donde utilizaron diversos equipos y metodologías para su identificación y cuantificación.

#### **4.4. Análisis de características químicas del material compostado**

Las características químicas del producto, comparado con los rangos de la tabla I, muestra que los elementos calcio, hierro y cobre, están dentro de los parámetros. Los elementos químicos con menor presencia son, el nitrógeno, fósforo y magnesio. Se registró que el sodio tiene un porcentaje mayor al indicado, que pudo ser resultado de diversos factores como las características de la materia orgánica inicial, el agua utilizada para humedecer la pila o el suelo arcilloso añadido. La relación de carbono nitrógeno obtenida fue ligeramente inferior.

El potencial de hidrógeno fue ligeramente alcalino por lo que el producto, puede utilizarse como enmienda de suelos ácidos. El compostaje es resultado de diversos factores como; material inicial, clima, humedad, método de oxigenación, por lo que los rangos o porcentajes presentados en el marco teórico, son de referencia y se concluye que el compostaje obtenido es de buena calidad y puede ser utilizado para incorporar nutrientes a suelos urbanos con poca presencia de materia orgánica.

#### **4.5. Transformación de residuos sólidos orgánicos en material estable y solidificado, utilizando el compostaje aeróbico controlado**

Se concluye que es factible aplicar la propuesta del compostaje aeróbico controlado, para el sector de frutas y verduras, donde se generan diariamente un aproximado de 1,110 kilogramos de residuos orgánicos, que pueden transformarse en 178 kilogramos diarios de suelo fértil.

Evitando la mezcla, el trasladado y disposición en el vertedero, donde generan diversos impactos ambientales a los elementos suelo, agua, aire y socioeconómico. Y aumenta los gastos de la municipalidad para el manejo y traslado de los residuos. La metodología utilizada es confiable, puede ser adaptada y replicable a otras áreas lo que conlleva diversos beneficios ambientales y económicos.

## CONCLUSIONES

1. Es compostaje aeróbico controlado reduce el peso de la materia orgánica en un 84 %, convirtiendo los 1,110 kilogramos de residuos en 178 kilogramos de suelo fértil diariamente.
2. La caracterización realizada, indico que el 97 % de los residuos generados están constituidos por materia orgánica, lo que confirma la viabilidad para implementar el proceso de compostaje en el área de estudio.
3. La metodología propuesta para desarrollar el compostaje aeróbico controlado modificó la forma y estructura de la materia orgánica, por medio de la evaporación y mineralización, hasta convertirla en suelo fértil.
4. Al concluir la evaluación de las variables, se obtuvo; que la humedad disminuyo 42 %, la densidad aumento 36 %, la temperatura promedio fue de 44 °C, al aplicar el método de compostaje, los egresos económicos de la municipalidad para el manejo de residuos se reducirán un 47 %.
5. Las características químicas analizadas demostraron, que el compostaje obtenido es ligeramente alcalino, los minerales con mayor presencia son el calcio (Ca) y el hierro (Fe), por lo que puede ser utilizado como mejorador de suelos urbanos ácidos y con poca presencia de materia orgánica.



## RECOMENDACIONES

1. Impulsar estudios de la incorporación de otros materiales orgánicos al proceso de compostaje, para aumentar el porcentaje de nutrientes en el producto.
2. Desarrollar el diseño de la planta de compostaje aeróbico del presente estudio, que incluya las áreas de almacenamiento, volteo, estabilización de compostaje, empaque, comercialización, abastecimiento de agua potable, captura de lixiviados, tratamiento de lixiviados, drenajes pluviales y drenajes de aguas residuales.
3. Realizar el análisis económico del manejo de residuos por la unidad competente de la Municipalidad de Villa Nueva.
4. Realizar un estudio del proceso de compostaje aeróbico en época lluviosa para comparar las variables del proceso como del producto final.



## REFERENCIAS

1. Aguilar, S. (enero, 2005). Fórmulas para el cálculo de la muestra en investigación de salud. *Revista Salud en Tabasco* 11(1-2), 333-338. Recuperado de <https://www.redalyc.org/pdf/487/48711206.pdf>.
2. Alzate, C. A., Sánchez, O. J., Ramirez, J. A. y Alzate, L. E. (enero, 2004). Biodegradación de residuos orgánicos de plazas de mercado. *Revista Colombiana de Biotecnología*, 6(2), 78-89. Recuperado de <https://revistas.unal.edu.co/index.php/biotecnologia/article/view/529>.
3. Cataluña, A. D. (2016). *Guía práctica para el diseño y la explotación de plantas de compostaje*. Cataluña, España: Agencia de Residuos de Cataluña. Recuperado de [http://residus.gencat.cat/web/.content/home/lagencia/publicacions/form/GuiaPC\\_web\\_ES.pdf](http://residus.gencat.cat/web/.content/home/lagencia/publicacions/form/GuiaPC_web_ES.pdf).
4. Cruz, R. (2012). *Metodología – EIA matriz de Leopold*. Guatemala, Guatemala: Universidad de San Carlos de Guatemala.
5. García, A. I. (2017). *Plan de manejo integral de los residuos sólidos orgánicos en el mercado La Parroquia, Ciudad de Guatemala* (Tesis de licenciatura). Universidad Rafael Landívar, Guatemala. Recuperado de <http://recursosbiblio.url.edu.gt/tesiseortiz/2017/06/15/Mejia-Alejandra.pdf>.

6. Google Maps (2019). Obtenido de <https://www.google.com/maps/place/mercado+concepcion/@14.51001,-90.5793407,17z/data=!4m5!3m4!1s0x8589a7a24eb95555:0x37c9ad2be7318367!8m2!3d14.5104949!4d-90.5805208>.
7. Hoyos, J. L., Vargas, C. A., y Velasco, R. (junio, 2010). Evaluación de compostaje obtenido en pila móvil empleando mezclas de gallinaza de jaula con material celulósico. *Revista Biotecnología en el Sector Agropecuario y Agroindustrial*, 8(1), 54-60. Recuperado de [http://www.scielo.org.co/scielo.php?pid=S1692-35612010000100007&script=sci\\_abstract&lng=es](http://www.scielo.org.co/scielo.php?pid=S1692-35612010000100007&script=sci_abstract&lng=es).
8. Instituto de Agricultura, Recursos Naturales y Ambiente (2009). *Cuenta integrada de residuos (CIRE)*. Guatemala: Universidad Rafael Landívar. Recuperado de <http://biblio3.url.edu.gt/publiclg/IARNA/divulgativa/12.pdf>.
9. Jaramillo, G. y Zapata, L. M. (2008). *Aprovechamiento de los residuos sólidos orgánicos en Colombia* (Tesis de especialización). Universidad de Antioquia, Colombia. Recuperado de <https://bibliotecadigital.udea.edu.co/bitstream/10495/45/1/AprovechamientoRSOUenColombia.pdf>.
10. Laboratorio de Suelo-planta-agua SCO (2019). *Análisis químico de material orgánico*. Guatemala, Guatemala: Facultad de agronomía.

11. López, J., Pereira, J. y Rodríguez, R. (1980). *Eliminación de los residuos sólidos urbanos*. Barcelona, España: Editores Técnicos Asociados.
12. Lübke, S., Hildebrandt, U. y Lübke-Hildebrandt, A. (2015). *Compostaje Microbiológico Controlado -CMC*. Austria: Soluciones agrícolas medioambientales.
13. MASDORF (2019). *NutriSuelos, Compostaje Aeróbico Controlado, CENMA*. Guatemala: Autor.
14. Ministerio de Medio Ambiente y Agua (2012). *Guía para el aprovechamiento de residuos sólidos orgánicos, mediante compostaje y lombricultura*. Bolivia: Autor. Recuperado de [https://www.uaesp.gov.co/images/Guia-UAESP\\_SR.pdf](https://www.uaesp.gov.co/images/Guia-UAESP_SR.pdf).
15. Ministerio de Medio Ambiente y Medio Rural y Marino (2018). *Manual de compostaje*. Madrid: Autor. Recuperado de [https://www.miteco.gob.es/images/es/Manual%20de%20compostaje%202011%20PAGINAS%201-24\\_tcm30-185556.pdf](https://www.miteco.gob.es/images/es/Manual%20de%20compostaje%202011%20PAGINAS%201-24_tcm30-185556.pdf).
16. Moreno, R. M. (2011). *Compostaje*. Madrid, España: Mundi-Prensa.
17. Orozco, V. H. (2015). *Diseño y automatización de un sistema de aireación forzada para el compostaje de residuos hortícolas en la comunidad de Gatazo Cantón Colta* (Tesis de maestría). Escuela Superior Politécnica de Chimborazo, Ecuador.

18. Román, P., Martínez, M. y Pantoja, A. (2013). *Manual de Compostaje del Agricultor*. Santiago de Chile, Chile: Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura.
19. Sakurai, K. (1983). Metodología aplicada para la caracterización de los residuos sólidos. Perú: Organización Panamericana de la Salud.
20. Soliva, M. (2010). *Materia orgánica y compostaje, control de calidad y del proceso*. Barcelona, España: Escuela Superior de Agricultura.
21. Tchobanoglous, G. (1994). *Gestión integral de residuos sólidos*. Madrid, España: McGraw-Hill.
22. Rittenhouse, T. (2015). *Hoja de datos: Compostaje*. Estados Unidos: Centro Nacional de Tecnología Apropiada. Recuperado de <https://www.ams.usda.gov/sites/default/files/media/FINAL%20Compost.pdf>.

## APÉNDICES

### Apéndice 1. **Área de acopio temporal de residuos sólidos del sector de frutas y verduras**



Fuente: [Fotografía de Luz Aldana]. (Villa Nueva, Guatemala. 2019). Colección particular. Guatemala.

### Apéndice 2. **Caracterización de residuos inorgánicos**



Fuente: [Fotografía de Luz Aldana]. (Villa Nueva, Guatemala. 2019). Colección particular. Guatemala.

Apéndice 3. **Monitoreo de temperatura durante compostaje**



Fuente: [Fotografía de Luz Aldana]. (Villa Nueva, Guatemala. 2019). Colección particular.  
Guatemala.

Apéndice 4. **Producto**



Fuente: [Fotografía de Luz Aldana]. (Villa Nueva, Guatemala. 2019). Colección particular.  
Guatemala.

## ANEXOS

### Anexo 1. Resultados de análisis químico del material compostado


**UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA**  
**FACULTAD DE AGRONOMÍA**  
**LABORATORIO DE SUELO-PLANTA-AGUA "SALVADOR CASTILLO ORELLANA"**


**INTERESADO: LUZ MARIA ALDANA**  
**PROCEDENCIA: MERCADO CONCEPCION, VILLA NUEVA**  
**FECHA DE INGRESO: 23/9/2019 #000535**

**ANALISIS QUIMICO DE MATERIAL ORGANICO**

IDENT	pH	mS /cm C.E.	%					ppm					%		C : N
			P	K	Ca	Mg	Na	Cu	Zn	Fe	Mn	C.O	NT		
M-1	7.6	1,925.0	0.18	0.38	2.65	0.18	0.81	5	35	2,000	205	7.19	0.77	9.3 :1	




CAMPUS CENTRAL, UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA  
 EDIFICIO UNKOR, TERCER NIVEL, CIUDAD UNIVERSITARIA, ZONA 13 GUATEMALA  
 CÓDIGO POSTAL 01012. APARTADO POSTAL 1546. TEL.: (502) 24188006, EXTENSIÓN 1769

Fuente: Laboratorio de Suelo-planta-agua SCO (2019). *Análisis químico de material orgánico.*