



UNIVERSIDAD DE CIENCIAS Y ARTES DE CHIAPAS

FACULTAD DE INGENIERÍA

TESIS

**“PLAN DE MANEJO PARA LOS RESIDUOS
SÓLIDOS DEL MERCADO DR. MANUEL VELASCO
SUÁREZ EN EL MUNICIPIO DE OCOZOCOAUTLA
DE ESPINOSA, CHIAPAS”**

QUE PARA OBTENER EL GRADO DE:

**MAESTRA EN CIENCIAS EN
DESARROLLO SUSTENTABLE Y GESTIÓN
DE RIESGOS**

PRESENTA

BRIANDA AMAIRANI GASCA MARTÍNEZ

DIRECTOR

DR. HUGO ALEJANDRO NÁJERA AGUILAR

CODIRECTOR

DR. JUAN ANTONIO ARAIZA AGUILAR

ASESORES

MTRA. ANA LUCÍA LÓPEZ PIMENTEL

DR. JUAN JOSÉ VILLALOBOS MALDONADO

Tuxtla Gutiérrez, Chiapas

Octubre 2025



UNIVERSIDAD DE CIENCIAS Y ARTES DE CHIAPAS

FACULTAD DE INGENIERÍA

TESIS

**“PLAN DE MANEJO PARA LOS RESIDUOS
SÓLIDOS DEL MERCADO DR. MANUEL VELASCO
SUÁREZ EN EL MUNICIPIO DE OCOZOCOAUTLA
DE ESPINOSA, CHIAPAS”**

QUE PARA OBTENER EL GRADO DE:
**MAESTRA EN CIENCIAS EN
DESARROLLO SUSTENTABLE Y GESTIÓN
DE RIESGOS**

PRESENTA

BRIANDA AMAIRANI GASCA MARTÍNEZ

DIRECTOR

DR. HUGO ALEJANDRO NÁJERA AGUILAR

CODIRECTOR

DR. JUAN ANTONIO ARAIZA AGUILAR

REVISORES

DR. CARLOS MANUEL GARCÍA LARA

MTRO. PEDRO VERA TOLEDO



UNIVERSIDAD DE CIENCIAS Y ARTES DE CHIAPAS

SECRETARÍA ACADÉMICA

DIRECCIÓN DE INVESTIGACIÓN Y POSGRADO

Tuxtla Gutiérrez, Chiapas a 10 de octubre de 2025
Oficio No. SA/DIP/1224/2025
Asunto: Autorización de Impresión de Tesis

C. Brianda Amairani Gasca Martínez
CVU: 1314729
Candidata al Grado de Maestra en Ciencias en
Desarrollo Sustentable y Gestión de Riesgos
Facultad de Ingeniería
UNICACH
Presente

Con fundamento en la opinión favorable emitida por escrito por la Comisión Revisora que analizó el trabajo terminal presentado por usted, denominado **Plan de manejo para los residuos sólidos del Mercado Dr. Manuel Velasco Suarez en el Municipio de Ocozocoautla de Espinosa, Chiapas** y como Director de tesis el Dr. Hugo Alejandro Nájera Aguilar (CVU: 83503) quien avala el cumplimiento de los criterios metodológicos y de contenido; esta Dirección a mi cargo autoriza la impresión del documento en cita, para la defensa oral del mismo, en el examen que habrá de sustentar para obtener el **Grado de Maestra en Ciencias en Desarrollo Sustentable y Gestión de Riesgos**.

Es imprescindible observar las características normativas que debe guardar el documento, así como entregar en esta Dirección una copia de la *Constancia de Entrega de Documento Recepcional* que expide el Centro Universitario de Información y Documentación (CUID) de esta Casa de estudios, en sustitución al ejemplar empastado.

Atentamente
"Por la Cultura de mi Raza"


Dra. Dulce Karol Ramírez López
DIRECTORA



C.c.p. Dr. Segundo Jordán Orantes Alborez. Director de la Facultad de Ingeniería, UNICACH. Para su conocimiento.
Dr. Ángel Estrada Martínez. Coordinador del Posgrado. Facultad de Ingeniería, UNICACH. Para su conocimiento.
Archivo/minutario.

FPI/D&RI/fgp/gtr



2025, Año de la mujer indígena
Año de Rosario Castellanos

Ilustración: Noé Zenteno



Ciudad Universitaria, libramiento norte
poniente 1150, col. Lajas Maciel C.P. 29039.
Tuxtla Gutiérrez, Chiapas, México
investigacionyposgrado@unicach.mx

DEDICATORIA

A mi madre
Por siempre confiar en mis decisiones
y brindarme su apoyo incondicional.

Tlazoltéotl

Para los antepasados mexicas, era la diosa de la basura,
devoradora de la mugre, encargada de limpiar la suciedad,
la basura humana y la culpa del amor carnal, para regenerarla y,
finalmente, nutrir con ella la tierra y obtener mejores cosechas
y frutos más abundantes.

AGRADECIMIENTOS

Agradezco profundamente la oportunidad de haber sido alumna de la Maestría en Ciencias en Desarrollo Sustentable y Gestión de Riesgos. Este programa académico amplió mis conocimientos y me brindó herramientas valiosas para comprender y abordar una problemática que me inquietaba: el manejo de residuos en los mercados municipales.

Asimismo, expreso mi profunda gratitud a mi director de tesis, al Dr. Hugo Alejandro Nájera Aguilar, por su confianza, orientación y apoyo constante durante todo el proceso. Le agradezco sus valiosos consejos y la paciencia que tuvo para acompañarme en la comprensión y dominio de un tema complejo.

Extiendo también mi agradecimiento al Dr. Juan Antonio Araiza Aguilar por su disposición y por compartir sus conocimientos, que sin duda enriquecieron esta investigación. De igual forma, reconozco las aportaciones de la Mtra. Ana Lucía López Pimentel y del Dr. Juan José Villalobos Maldonado al desarrollo de este trabajo académico.

Agradezco a la Ing. Vianey Ozuna por su acompañamiento y por resolver con amabilidad todas mis dudas durante el tiempo que cursé la maestría; al Dr. Arturo Carrillo Reyes por su orientación; y por supuesto, a las ingenieras Magaly y Fabiola, por su confianza y el respaldo brindado durante los meses en que realicé mis pruebas en el laboratorio.

Por supuesto, a mi madre, Karina Martínez Sarmiento, quien ha sido la primera persona en confiar incondicionalmente en mí. Su apoyo constante en cada proyecto y decisión de mi vida ha sido el motor que me ha permitido avanzar con seguridad.

A mi esposo, Víctor Gil, por ser mi mayor aliado en esta etapa. Gracias por motivarme a seguir mis sueños, por tu comprensión en los momentos de mayor exigencia. Tu compañía ha sido luz y fuerza en este camino académico.

Infinitas gracias a todas las personas con las que coincidí durante esta etapa académica, y de quienes aprendí más de lo que imaginaba. Cada conversación, cada intercambio de ideas, cada gesto de generosidad dejó una huella en mi formación. Gracias por compartir sus saberes conmigo.

A la Secretaría de Ciencias, Humanidades, Tecnología e Innovación (SECIHTI) por el apoyo brindado a través del otorgamiento de la beca que hizo posible mi formación académica durante la maestría.

Finalmente, expreso mi más sincero agradecimiento a la Agencia Digital Tecnológica del Estado por el apoyo económico brindado para cubrir los gastos derivados del proceso de titulación, mediante el programa “Beca Tesis Posgrado 2025”. Este apoyo no solo facilitó la conclusión de mi formación profesional, sino que evidencia el compromiso de la institución con el desarrollo académico de las juventudes chiapanecas. Gracias por promover iniciativas que fortalecen el acceso equitativo a la educación superior y por sembrar oportunidades donde más se necesitan.

RESUMEN

Los mercados municipales, junto con otros establecimientos comerciales e industriales, generan volúmenes significativos de residuos sólidos, los cuales de acuerdo a la Ley General para la Prevención y Gestión Integral de Residuos, se clasifican como residuos de manejo especial. El objetivo del presente trabajo fue diseñar un plan de manejo para los residuos de manejo especial generados en el mercado Dr. Manuel Velasco Suárez en la cabecera municipal de Ocozocoautla de Espinosa, Chiapas. Se realizaron recorridos en el sitio de estudio, y para la cuantificación y clasificación de los subproductos, se adecuaron las normas técnicas mexicanas, y se evaluaron alternativas de tratamiento para el subproducto más relevante. Los resultados revelaron que el mercado municipal alberga 219 locales y 150 vendedores ambulantes registrados, con una generación diaria de 2.23 toneladas de residuos, de los cuales el 85% es materia orgánica, seguido muy de lejos de material plástico, particularmente PET con 1%. Para el principal subproducto encontrado (materia orgánica), se evaluó una de las alternativas más recomendadas para su manejo, el composteo. Los resultados de las pilas de composta monitoreadas, mostraron que el pH osciló entre 7-8, mientras que la humedad entre 40-70%. Con el seguimiento del parámetro de temperatura, se observó que los residuos se estabilizaron entre 14 y 22 días, obteniendo un rendimiento del 31.5% (v/v). Así, el plan de manejo para el mercado de estudio, se centró en el tratamiento de la fracción orgánica a través del compostaje, cuyo diseño arrojó que se requiere un área de 1,000 m², y solo 18.4 m² para la separación y manejo de otros subproductos tales como PET, papel, aluminio y cartón. En suma, considerando la elevada aportación de la fracción orgánica dentro de los residuos de mercado,

el composteo demostró ser un proceso atractivo y rápido en la estabilización de este subproducto, lo que lo convierte en una alternativa de manejo sustentable para fuentes de alta tasa de generación, como son los mercados municipales.

Palabras clave: Fracción orgánica, impacto ambiental, residuos de manejo especial, compostaje, mercados.

ABSTRACT

Municipal markets, along with other commercial and industrial establishments, generate significant volumes of solid waste, which, according to the General Law for the Prevention and Comprehensive Management of Waste, is classified as special waste. The objective of this study was to design a management plan for special waste generated at the Dr. Manuel Velasco Suárez market in the municipal capital of Ocozocoautla de Espinosa, Chiapas. Site visits were conducted, and Mexican technical standards were adapted for the quantification and classification of by-products. Treatment alternatives for the most relevant by-product were also evaluated. The results revealed that the municipal market has 219 registered stalls and 150 street vendors, generating 2.23 tons of waste daily, of which 85% is organic matter, followed far behind by plastic material, particularly PET with 1%. For the main by-product found (organic matter), one of the most recommended alternatives for its management, composting, was evaluated. The results of the monitored compost piles showed that the pH ranged between 7-8, while the humidity ranged between 40-70%. By monitoring the temperature parameter, it was observed that the waste stabilized between 14 and 22 days, obtaining a yield of 31.5% (v/v). Thus, the management plan for the market under study focused on the treatment of the organic fraction through composting, whose design showed that an area of 1,000 m² is required, and only 18.4 m² for the separation and management of other by-products such as PET, paper, and cardboard. In summary, considering the high contribution of the organic fraction within market waste, composting proved to be an attractive and rapid process for stabilizing this by-product, making it a sustainable management alternative for high-rate generation sources, such as municipal markets.

Keywords: Organic fraction, environmental impact, special waste management, composting, markets.

ÍNDICE

DEDICATORIA.....	5
AGRADECIMIENTOS	6
RESUMEN	8
ABSTRACT	10
ÍNDICE DE TABLAS	14
ÍNDICE DE FIGURAS	15
I. INTRODUCCIÓN.....	17
1.1 Planteamiento del problema	17
1.2 Justificación	21
II. ANTECEDENTES	24
III. MARCO TEÓRICO	30
3.1 Desarrollo sustentable	30
3.2 Residuos sólidos.....	31
3.2.1 Clasificación de los residuos	32
3.3 Desafíos de los RME	34
3.4 Situación actual de los residuos sólidos en México	37
3.4.1 Situación actual de los residuos sólidos en Chiapas	38
3.5 Repercusiones de los residuos sólidos en el medio ambiente.....	40
3.6 Planes de manejo	41
3.7 Normatividad en materia de residuos en México	43
IV. OBJETIVOS.....	46
Objetivo general.....	46
Objetivos específicos	46
Hipótesis	46
V. MARCO METODOLÓGICO	47
5.1 Área de estudio.....	47
5.1.1 Descripción del municipio de Ocozocoautla de Espinosa.....	47
5.1.2 Descripción del área de estudio.....	49
5.2 Diseño metodológico.....	50
5.2.1 Diagnóstico de la situación actual en el mercado	50
5.2.2 Generación y caracterización de los RME	51

5.3 Tratamiento de la fracción orgánica de los RME.....	56
5.3.1 Recolección de los residuos orgánicos e instalación de pilas.....	57
5.3.2 Monitoreo del proceso	58
5.3.3 Determinación del rendimiento del proceso (bioabono).....	59
5.3.4 Determinación de la calidad del producto final y análisis de resultados	60
5.4 Cálculos para dimensionar las jaulas de almacenamiento de los subproductos valorizables	61
VI. RESULTADOS Y DISCUSIÓN	64
6.1 Diagnóstico del manejo actual de residuos sólidos en el mercado	64
6.1.1 Fuentes de producción dentro del mercado.....	64
6.1.2 Generación y composición de residuos	66
6.1.3 Manejo interno de los residuos	68
6.2 Evaluación del tratamiento para la fracción orgánica de los RME	71
6.2.1 Monitoreo de la temperatura.....	71
6.2.2 Monitoreo del pH.....	74
6.2.3 Contenido de humedad.....	75
6.2.4 Sólidos volátiles y cenizas	77
6.2.5 Calidad del bioabono	79
6.2.6 Rendimiento del bioabono	80
6.3 Dimensiones de las jaulas de almacenamiento de los subproductos valorizables.....	81
VII. PROPUESTA DEL PLAN DE MANEJO.....	84
VIII. CONCLUSIONES.....	111
LITERATURA CITADA	114
ANEXOS	120

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1. Clasificación de los residuos conforme a la LGPGIR.....	32
Tabla 2. Categoría de los generadores de residuos	33
Tabla 3. Listado de los RME conforme a la LGPGIR.....	34
Tabla 4. Situación de los residuos sólidos en México.....	37
Tabla 5. Situación de los residuos sólidos en Chiapas.....	39
Tabla 6. Clasificación de los planes de manejo	42
Tabla 7. Marco legal	43
Tabla 8. Normatividad relacionada (NOM y NMX)	44
Tabla 9. Actividades culturales y turísticas	48
Tabla 10. Parámetros analizados y su frecuencia durante el proceso de compostaje	59
Tabla 11. Parámetros determinados en la calidad de las compostas obtenida.....	60
Tabla 12. Registro del peso de los RME generado en el mercado	67
Tabla 13. Selección y cuantificación de subproductos.....	68
Tabla 14. Calidad del bioabono	79
Tabla 15. Rendimiento de la composta.....	80
Tabla 16. Volumen para las jaulas de almacenamiento temporal.....	82
Tabla 17. Dimensiones de las jaulas de almacenamiento temporal	83
Tabla 18. Proyección del volumen de composta obtenida por ciclos.....	97
Tabla 19. Datos de los centros de reciclaje	103
Tabla 20. Tiempo estimado de recuperación de la inversión inicial.....	104

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1: Mapa de ubicación de la zona de estudio.	49
Figura 2: Zona de compactación de los RSU que llegan al SDF.....	50
Figura 3. Diagrama simplificado para la determinación de la generación y composición de los RME	51
Figura 4. Peso del camión recolector vacío.....	52
Figura 5. Recolección de los RME del mercado en el turno vespertino.	52
Figura 6. Descarga de los RME del mercado para realizar los estudios de campo correspondiente.....	53
Figura 7. Determinación del peso volumétrico.....	54
Figura 8. Aplicación del método de cuarteo para la clasificación de subproductos.....	55
Figura 9. Separación de subproductos.....	56
Figura 10. Residuos que se utilizaron en el monitoreo de la pila 1.....	57
Figura 11. Residuos utilizados en el monitoreo de la pila 2.....	58
Figura 12. Determinación del peso volumétrico del PET	63
Figura 13. Croquis del mercado Dr. Manuel Velasco Suárez.	65
Figura 14. Puestos de los vendedores ambulantes.....	65
Figura 15. Evolución de la temperatura durante el proceso de compostaje. ...	73
Figura 16. Comportamiento del pH durante el proceso de compostaje.....	75
Figura 17. Registros del contenido de humedad durante el desarrollo del proceso.	77
Figura 18. % de sólidos volátiles y cenizas.	78
Figura 19. Propuesta del diseño de la planta de compostaje	99
Figura 20. Jaulas de almacenamiento.....	101
Figura 21. Compartimientos o jaulas del área de almacenamiento de subproductos.....	102

LISTA DE SIGLAS

DBGIR: Diagnóstico Básico para la Gestión Integral de los Residuos

INEGI: Instituto Nacional de Estadística y Geografía

LGCC: Ley General de Cambio Climático

LGEEPA: Ley General del Equilibrio Ecológico y Protección al Ambiente

LGPGIR: Ley General para la Prevención y Gestión Integral de los Residuos

RME: Residuos de Manejo Especial

RP: Residuos peligrosos

RS: Residuos Sólidos

RSU: Residuos Sólidos Urbanos

SDF: Sitio de disposición final

TCA: Tiradero a cielo abierto

Ton: Toneladas

I. INTRODUCCIÓN

1.1 Planteamiento del problema

Los mercados municipales, junto con otros establecimientos comerciales e industriales, producen una cantidad considerable de residuos. No obstante, el primer obstáculo que enfrentan estos lugares es la correcta clasificación de los residuos que generan. A menudo, estos residuos son categorizados como Residuos Sólidos Urbanos (RSU). Sin embargo, de acuerdo con la Ley General para la Prevención y Gestión Integral de Residuos (LGPGIR), estos deberían ser considerados como Residuos de Manejo Especial (RME). Esto se debe a que los RME son aquellos producidos en procesos productivos que no cumplen con las características para ser considerados como peligrosos o como RSU, o que son generados por grandes productores.

Al clasificar estos residuos como RSU, se carece de información para cuantificarlos y desarrollar estrategias que reduzcan su cantidad en los rellenos sanitarios o en los tiraderos a cielo abierto (TCA), que son comunes en gran parte de Chiapas y de México. Cuando estos RME llegan a su disposición final, el subproducto predominante es la fracción orgánica en un rango de 52 a 83% (López, 2009; Buenrostro et al., 1999), seguido de otros materiales inorgánicos como vidrio, metales, PET y plásticos de diversa índole que pueden representar el 13% (Acosta, 2022; Morales, 2011).

Por otra parte, la gestión de residuos se ha vuelto cada vez más desafiante con el tiempo, impulsada por diversos factores, entre los cuales se incluyen el acelerado crecimiento poblacional, la concentración en las áreas

urbanas, el desarrollo industrial, así como los cambios en los hábitos de consumo y el nivel de vida. Esto ha provocado el aumento en la utilización de productos desechables, como plásticos y productos electrónicos, lo que complica la gestión de residuos. Esta dificultad se debe a que dichos materiales no pueden ser procesados de la misma manera que los residuos orgánicos y, por lo tanto, su manejo se vuelve más complejo y costoso. De acuerdo con datos del Instituto Nacional de Estadística y Geografía (INEGI, 2021), en el primer trimestre de 2023, el número de habitantes que residía en el país era de 126 millones, lo que indica que, a nivel nacional la generación de RSU per cápita promedio fue de 0.944 kg/hab/día, y la generación total de residuos en el país se estima en 120,128 toneladas/día (SEMARNAT, 2020).

El manejo inadecuado de los residuos tiene graves repercusiones ambientales, como la generación de lixiviados contaminando el suelo y los cuerpos de agua, afectando tanto a los ecosistemas como a la salud humana. Además, la descomposición de los residuos produce biogás, que incluye gases de efecto invernadero como el metano y el dióxido de carbono, contribuyendo al calentamiento global. La proliferación de fauna nociva, como roedores e insectos, también es una consecuencia directa, lo que aumenta el riesgo de enfermedades. La emisión de gases de efecto invernadero no solo afecta la calidad del aire, sino que también incrementa la temperatura global, exacerbando el cambio climático (Gobierno de México, 2024).

Ahora bien, los mercados son una fuente generadora muy importante de RME. En México, estos sitios han prevalecido desde la época precolombina y en la actualidad, a pesar del cambio en los hábitos de consumo y de comercialización entre la población mexicana, continúan ocupando un lugar

predominante en el comercio de bienes. De hecho, los mercados y los tianguis han aumentado considerablemente en cantidad, convirtiéndose en fuentes de empleo temporal y por ende, en grandes generadores de residuos (Buenrostro et al., 1999).

En el siglo XIX, la construcción de mercados municipales se convirtió en una iniciativa popular en México, con el objetivo de organizar y regular el comercio en las ciudades y mejorar las condiciones de venta de los productos. Durante el Porfiriato (1876-1911), el gobierno promovió la construcción de mercados públicos como parte de sus políticas de modernización (Villasana y Gómez, 2020).

Por otro lado, es relevante destacar que los mercados son importantes generadores de residuos. Según la LGPGIR (2003), en el Artículo 5, fracción XII se considera “gran generador” a toda persona física o moral que produzca una cantidad igual o superior a 10 toneladas de residuos al año, o su equivalente en otra unidad de medida. En estos lugares se producen una cantidad considerable de residuos de diversa índole, los cuales requieren un manejo adecuado para minimizar su impacto ambiental.

Además del tema de residuos, los mercados presentan otros desafíos tales como: falta de inversión para su rehabilitación, ya que en la mayoría lucen descuidados y abandonados (Chávez, 2016). También los mercados padecen, de forma diferencial según su ubicación geográfica, la presión y competencia de los supermercados, porque éstos ofertan las mismas mercancías a precios más bajos y/o porque resuelven de manera más eficiente las necesidades de las personas; esto es, ofrecen "todos" los productos necesarios, créditos y pago con

tarjeta bancaria, estacionamiento para autos, y despliegan fuertes campañas de mercadotecnia en los medios de comunicación (Delgadillo, 2016).

Por lo tanto, cualquier acción que contribuya a disminuir la problemática debe ser bienvenida e impulsada. Por lo que en el presente estudio, se investigó y analizó cómo el mercado de Ocozocoautla de Espinosa, Chiapas, maneja sus RME, considerando su importancia para el H. Ayuntamiento, en beneficio de la población del lugar. Esta investigación identificó las prácticas actuales de manejo de residuos y propuso estrategias para mejorar la gestión de los mismos. A partir de los hallazgos obtenidos, se diseñó un plan de manejo conforme a la NOM-161-SEMARNAT-2011 para contribuir a la reducción del impacto ambiental y al aprovechamiento de los principales subproductos, promoviendo una gestión más sostenible de los residuos generados en el mercado Dr. Manuel Velasco Suárez.

1.2 Justificación

Los mercados municipales desempeñan un papel vital en nuestras comunidades. Son centros de abasto y encuentro social y cultural, donde se encuentran productos locales y regionales, como textiles, artesanías, alimentos, semillas, etc. Además de su función comercial, estos mercados son una fuente importante de empleo para los habitantes locales y contribuyen al desarrollo económico de la región.

Sin embargo, junto con su relevancia, los mercados también enfrentan desafíos. En particular, la gestión de los residuos sólidos (RS) generados en estos espacios. La LGPGIR clasifica estos residuos en tres categorías: residuos peligrosos (RP), RSU y RME. Entre ellos, los mercados municipales destacan como centros de alta generación de RME, según lo establecido por dicha ley. De acuerdo con Garza (2021), los RME presentes en los mercados se caracterizan por presentar una alta composición de materia orgánica (74.94%), seguida del plástico (12.58%), papel y cartón (8.19%), vidrio (1.88%) y otros subproductos (2.41%).

En este sentido, si se dispone de manera inapropiada principalmente la fracción orgánica esto conlleva a un impacto ambiental perjudicial, ya que, ante la ausencia de algún tipo de tratamiento, su descomposición produce gases de efecto invernadero que contribuyen al calentamiento global (Ayilara et al., 2020), contaminan suelos y cuerpos de agua debido a la generación de lixiviados (Li et al., 2013), y al atraer fauna de distintos tipos, favorecen la formación de focos de infección con el potencial de transmitir enfermedades entre la población humana. Por todo lo anterior, el desarrollo de métodos adecuados para la gestión

de este tipo de residuos implicaría un costo menor comparado con la remediación de los problemas que pueden surgir de mantener las prácticas tradicionales de disposición final (Kaza et al., 2018).

Por otra parte, los residuos depositados en sitios de disposición final (SDF) se degradan química y biológicamente produciendo compuestos sólidos, líquidos y gaseosos. Principalmente, los residuos orgánicos son utilizados por los microorganismos por medio de síntesis aerobia y anaerobia. Los productos líquidos de la degradación microbiana, tales como ácidos orgánicos, incrementan la actividad química en el SDF. Los residuos de alimentos se degradan rápidamente, mientras que otros materiales, como los plásticos, hules, vidrio, etc., son altamente resistentes a la descomposición. Asimismo, la actividad biológica en un SDF generalmente sigue un grupo de patrones. Los residuos sólidos, inicialmente se descomponen aeróbicamente, pero como el oxígeno se agota, los microorganismos facultativos y anaerobios predominan y producen metano, el cual es inodoro e incoloro. Debido a la actividad microbiana las temperaturas se elevan en un rango de 15° a 65 °C (Barradas, 2009).

Ante este panorama, se plantea como herramienta de solución la elaboración de un plan de manejo para los residuos sólidos generados en el mercado municipal, con énfasis en la recuperación de subproductos valorizables, que podrá favorecer la calidad ambiental de la zona y la salud pública.

Por lo tanto, el plan de manejo abordará las necesidades específicas del mercado, esto incluirá la instauración de una estructura organizativa y de control, con el fin de establecer claramente las responsabilidades, procedimientos y objetivos de la gestión. Además, se fomentará la reducción del impacto ambiental

mediante la implementación de prácticas sostenibles, como la separación de residuos, el reciclaje, tratamiento y la disposición adecuada de la fracción no aprovechable. Estas medidas contribuirán a la reducción de la contaminación y a mitigar el impacto negativo por el manejo de los RME en el entorno. Asimismo, el plan se orientará a mejorar la higiene del lugar, disminuyendo la propagación de enfermedades relacionadas con la acumulación de residuos. La gestión adecuada de los residuos no solo procurará beneficios medioambientales, sino también económicos, generando ingresos a través del reciclaje, aprovechamiento de la fracción orgánica y reduciendo los costos asociados con la limpieza y eliminación inadecuada.

Un punto relevante del plan de manejo será una reducción significativa de los residuos destinados al relleno sanitario de Ocozocoautla, a la par de una mejora visible en la imagen del mercado, proyectándolo como un espacio limpio y bien administrado, todo en apego a las normativas ambientales correspondientes.

En última instancia, se espera que este plan de manejo pueda replicarse en otros mercados municipales de la entidad. No obstante, es fundamental ajustarlo a las características específicas de cada mercado, considerando variables como el tamaño, la ubicación, los recursos disponibles y las necesidades locales. Cada mercado presenta particularidades en cuanto a los tipos de residuos generados, aunque en general, pueden compartir la característica de la alta generación de residuos orgánicos. Así, un plan de manejo personalizado debe tomar en cuenta estas características y establecer modalidades de gestión apropiadas para cada tipo de desecho. Asimismo, implica la participación activa de diversos actores, como productores,

comerciantes, consumidores o usuarios y autoridades locales, para lograr una gestión integral y sostenible de los residuos en estos espacios vitales de nuestras comunidades.

II. ANTECEDENTES

Aunque se han llevado a cabo diversas investigaciones sobre los RS generados en los mercados, la mayoría de los estudios se centraron en el diagnóstico de la gestión de residuos, así como en la recopilación de datos relacionados con su cantidad, características y composición. A continuación, se citan algunos trabajos reportados tanto a nivel internacional como nacional.

Francisco y Rodríguez (2011), realizaron un estudio en el municipio de Santo Domingo, República Dominicana, enfocado en los RME de dos mercados locales. Los resultados de la investigación revelaron que el promedio de generación en el mercado fue de 14.01 kg/negocio/día, y de ellos el 94% son residuos orgánicos, de los cuales el 86% son biodegradables constituidos principalmente por residuos de alimentos y vegetales. En cuanto a la composición química, el contenido de humedad promedio fue de 72%. Se observó también una falta de organización en la gestión de estos residuos tanto por parte de los comerciantes como del Ayuntamiento.

En el trabajo de López (2009), se reportó el manejo de los RS en un mercado de Cerete, Colombia, concluyendo que las prácticas deficientes y la falta de educación ambiental llevan a un manejo inadecuado. Determinó que el 52% de los residuos generados son orgánicos, compuestos principalmente por restos de alimentos. Además señaló que los materiales inorgánicos, como el

plástico y el vidrio, tienen un alto potencial de reciclaje. A partir de estos hallazgos, López propuso un programa de gestión ambiental que incluye educación ambiental y la creación de una organización comunitaria para mejorar el manejo de residuos y contribuir a la gestión ambiental a nivel municipal.

Otro estudio realizado en torno a la gestión de los RME en mercados, es el reportado por Quesquén y Pais (2020), donde la fracción orgánica representó un 69.82%, seguido por el plástico rígido con un 3.79%, el cartón con el 3.51% y las latas un 2.77%. Además el estudio exploró la percepción de los locatarios en cuanto al manejo de los residuos, y los hallazgos indicaron que el Ayuntamiento, enfrenta retos en la gestión de los RS.

Respecto a los estudios relacionados con el aprovechamiento de residuos orgánicos en mercados municipales, se encuentra la investigación de Suni (2018), quien analizó la valorización de dichos residuos mediante el proceso de compostaje en el mercado mayorista Río Seco, ubicado en Perú. Elaboró la composta con residuos de frutas, césped y residuos ruminales. Empleó un diseño estadístico completamente al azar con tres tratamientos y tres repeticiones. Demostró que, con los residuos orgánicos generados (969,349 ton/año), se podrían producir alrededor de 555,125 ton/año de composta, con un rendimiento del 57.25%.

De manera similar, Vidal (2023), realizó otro estudio en un mercado en Castillo Grande, Perú. Con tres tratamientos de microorganismos provenientes de hojarasca, madera descompuesta y raíces, utilizando un diseño experimental completamente al azar con tres repeticiones por tratamiento. Los resultados mostraron que el tratamiento con madera descompuesta generó la mayor

cantidad de composta (299.67 kg), mientras que el tratamiento con hojarasca presentó el menor tiempo de descomposición (39.3 días) y una composición química superior en humedad y nutrientes como nitrógeno, fósforo y potasio, destacándose como el más favorable para mejorar las características de la composta.

Del mismo modo, Hanníbal et al., (2016), realizó un monitoreo de compostaje con los residuos producidos en el mercado mayorista de la ciudad de Riobamba, Ecuador. Los resultados mostraron una composta de calidad óptima, con un pH de 8.85, un contenido de materia orgánica del 49.59%, validando su uso como abono orgánico y mejorador de suelos en agricultura y espacios verdes. Además, se destacó que los residuos orgánicos representan el 95.59% de los desechos generados en el mercado, resaltando la viabilidad del compostaje como alternativa de gestión ambiental.

Otra investigación reportada es el de Vargas-Pineda et al., (2019), quienes realizaron la caracterización de los residuos generados en la central de abastos en el municipio de Acacías, Colombia. Posteriormente, realizaron un proceso de compostaje en tres pilas de 24 kg cada una, monitoreando parámetros como temperatura y humedad durante 90 días. Los resultados revelaron que el rendimiento promedio de la composta fue del 61.7%, con características fisicoquímicas óptimas como un pH de 5.6, materia orgánica al 27% y altos niveles de fósforo, magnesio y potasio. El estudio concluye que el compostaje es una herramienta viable para reducir el impacto ambiental de los residuos orgánicos y aprovechar su contenido nutricional en actividades agrícolas.

En lo referente al contexto nacional se presentan estudios reportados para mercados en cuanto a la generación y composición de los residuos que se producen en estos lugares, como se mencionan a continuación; Buenrostro et al., (1999) obtuvieron a través de la caracterización de los subproductos que el 83% corresponde a la fracción orgánica, mientras que el 17% restante está compuesto por materiales reciclables como papel, cartón, plástico, vidrio y metales.

Un estudio más, es el realizado por Lira (2016), quien trabajó en el mercado “Héroes del 47” ubicado en Tuxpan, Veracruz, obteniendo como principales resultados que la generación total fue de 1,442.80 Kg durante dos semanas de muestreo. La fracción orgánica representó el 75% del total, mientras que los materiales inorgánicos (principalmente bolsas de polietileno) constituyeron el 4.13%. Por otro lado, el vidrio y la madera tuvieron porcentajes bajos, lo que refleja un consumo mínimo de estos materiales

También en Veracruz se reporta el trabajo de Acosta (2022), quien realizó un estudio en torno al manejo de los RME en el mercado 27 de septiembre, y determinó que la generación promedio fue de 4,004.5 kg por semana. De este total, el 87% corresponde a residuos orgánicos, mientras que el 13% son residuos inorgánicos. Además propuso un plan de gestión para estos residuos, donde incluye la valoración de materiales potenciales, como el papel, cartón, PET y aluminio para que puedan ser reciclados.

Otro estudio reportado es el de Morales (2011), quien desarrolló una plan de manejo para los residuos generados en la central de abastos del Distrito Federal. Este plan abordó estrategias para gestionar de manera eficiente los RS

en ese importante centro de distribución. A través de su trabajo, se propusieron acciones específicas para la comunicación y educación ambiental, la separación en el origen, la valorización de la fracción orgánica y la coordinación interinstitucional. Además, estableció un plan de acción a corto, mediano y largo plazo para implementar estas estrategias. Con relación a la composición de los residuos, obtuvo como principales resultados que la generación promedio diaria fue de 578.6 toneladas de RSU; y de ellos 503.6 toneladas corresponden a la fracción orgánica con el 87%, mientras que 75 toneladas corresponden a los residuos inorgánicos, y representan el 13% restante; compuesto principalmente de vidrio y plástico de diversa índole.

A diferencia de los trabajos anteriores, López (2014), diseñó un método destinado a la creación de un plan de gestión de RS para hipermercados dentro de una tienda de la cadena Wal-Mart, ubicada en la Ciudad de México, usando como herramienta la NOM-161-SEMARNAT-2011. También determinó que la generación de RS corresponde a 13,774.59 kg por semana, de los cuales la fracción orgánica representó el 39.92%, el cartón el 42.52% y la generación de playo 3.62%. De los estudios antes citados para el contexto nacional, en ninguno de ellos se reporta la evaluación de la fracción orgánica en pruebas de tratabilidad a través del compostaje, subproducto que, sin duda, es el de mayor generación en los mercados municipales.

Finalmente, hasta donde la revisión de la literatura fue posible, consultando diversas bases de datos como: Scielo, Google Académico, MDPI, Scopus y Redalyc, en el territorio nacional solo se encontraron los estudios de Acosta (2022), Lira (2016) y Morales (2011). Sin embargo, ninguno de ellos aborda el tiempo de estabilización de los residuos orgánicos. En su lugar, se

limitan a recomendar la implementación del proceso de composteo como alternativa de manejo para este tipo de residuos.

Respecto al sitio de estudio, se encontró un trabajo relacionado. Se trata de un estudio de generación y caracterización de residuos sólidos domiciliarios (RSD) para la cabecera municipal de Ocozocoautla de Espinosa, donde se obtuvieron como principales resultados que la generación per cápita domiciliar es de 0.580 kg/hab/día, y la fracción orgánica representa el 59.48%, el papel y cartón el 5.32%, plásticos 6.78%, vidrio 2.32% y los metales el 0.97% (Santiago, 2023).

Por lo antes expuesto, la escasa información sobre planes de manejo de los RME generados en los mercados municipales es evidente. Como consecuencia, emprender planes de gestión enfocados a los RME en los mercados, y donde se evalúe el tiempo de estabilización de la fracción orgánica, podrá ofrecer beneficios significativos, tales como; dimensionar el área requerida para el proceso de composteo, recuperar otros materiales reciclables, y la reducción de la contaminación ambiental. Estas acciones ayudarían a cumplir con las regulaciones normativas en materia ambiental.

III. MARCO TEÓRICO

3.1 Desarrollo sustentable

El desarrollo sustentable se origina en 1972 con el informe "Los límites del crecimiento" del Club de Roma, que aborda los límites físicos al crecimiento debido al agotamiento de recursos naturales y la incapacidad de asimilación de residuos. Este concepto es retomado en 1987 en el informe "Nuestro Futuro Común" de Gro Harlem Brundtland, definiendo el desarrollo sustentable como "el desarrollo que satisface las necesidades de la generación presente sin comprometer la capacidad de las generaciones futuras para satisfacer sus propias necesidades" (Mesino, 2007).

El informe establece siete principios clave: reactivar el crecimiento, mejorar su calidad, atender necesidades humanas básicas, asegurar niveles sostenibles de población, conservar y mejorar la base de recursos, reorientar la tecnología y gestionar el riesgo, e integrar el ambiente y la economía en la toma de decisiones (Treviño et al., 2003).

Otra definición más, es de Reed (1996), en el que señala que el desarrollo sustentable abarca tres componentes básicos: económico, social y ambiental.

- El componente económico: enfatiza el crecimiento que genere un incremento real en los ingresos evitando políticas de corto plazo perjudiciales a largo plazo.
- El componente social: destaca la equidad y el entendimiento de la interdependencia entre comunidades, asegurando acceso a

seguridad, derechos humanos y beneficios sociales como salud y educación.

- El componente ambiental: se centra en mantener la integridad y productividad de los sistemas que sostienen la vida en el planeta, utilizando los recursos sin comprometer su productividad futura.

Estos tres pilares deben converger para generar un flujo estable de ingresos, asegurar la equidad social, mantener el capital humano y natural, y proteger los servicios ambientales esenciales.

3.2 Residuos sólidos

Los residuos sólidos conocidos comúnmente como “basura”, que se producen en los núcleos de población constituyen un problema para el hombre desde el momento en que su generación alcanza importantes volúmenes y, como consecuencia, empiezan a invadir su espacio vital o de esparcimiento. Se incluyen dentro de los residuos todo lo que se genera en la actividad doméstica, comercial y de servicios (Barradas, 2009).

Ahora bien, de acuerdo con Tchobanoglous et al., (1994), los residuos se definen como todos aquellos materiales, normalmente sólidos, que resultan de las actividades humanas y animales y que se desechan por considerarse inútiles o no requeridos. De manera similar, la Organización de las Naciones Unidas para el Desarrollo Industrial (ONUDI, 2007), los define como todo aquello que se genera como producto de una actividad, ya sea por la acción directa del hombre o por la actividad de otros organismos vivos. Estos residuos conforman una masa heterogénea que, en muchos casos, es difícil de reincorporar a los ciclos naturales (Fernández y Sánchez, 2007).

En cuanto a la LGPGIR, (Artículo 5, fracción XXIX) lo define como material o producto que el propietario o poseedor desecha y que se encuentra en estado sólido o semisólido, o es un líquido o gas contenido en recipientes o depósitos, y que puede ser susceptible de ser valorizado o requiere sujetarse a tratamiento o disposición final. Por otro lado, la LGEEPA (Artículo 3, fracción XXXII), define a los residuos como cualquier material generado en los procesos de extracción, beneficio, transformación, producción, consumo, utilización, control o tratamiento cuya calidad no permita usarlo nuevamente en el proceso que lo generó.

3.2.1 Clasificación de los residuos

Para comprender la clasificación de los residuos, es esencial definir sus categorías. Más allá de la división básica entre residuos orgánicos e inorgánicos, se deben considerar otras categorías, como residuos domésticos y comerciales (no peligrosos), residuos de manejo especial y residuos peligrosos. Los orígenes de estos residuos pueden variar significativamente, incluyendo fuentes domésticas, comerciales, institucionales, de construcción y demolición, servicios municipales (excluyendo plantas de tratamiento), industriales y agrícolas (Tchobanoglous et al., 1994). De acuerdo con la LGPGIR (2023), categoriza a los residuos en tres tipos (Tabla 1).

Tabla 1. Clasificación de los residuos conforme a la LGPGIR

Residuo	Definición
Residuos Sólidos Urbanos (RSU)	Son aquellos producidos en las casas habitación, como consecuencia de la eliminación de los materiales que se utilizan en las actividades domésticas (por ejemplo, residuos de los productos de consumo y sus envases, embalajes o empaques, o residuos orgánicos); los que provienen también de cualquier otra actividad que se realiza en establecimientos o en la vía pública, con características domiciliarias y los resultantes de lugares públicos, siempre que no sean considerados como residuos de otra índole.

Residuos de Manejo Especial (RME)	Materiales que se generan en los procesos productivos o de servicios y que no reúnen las características para ser considerados residuos sólidos urbanos o residuos peligrosos. En esta categoría se incluyen los RSU generados a gran volumen (más de 10 Ton/año).
Residuos Peligrosos (RP)	Aquellos que poseen al menos una de las llamadas características CRETIB, es decir, pueden ser: corrosivos (C), reactivos (R), explosivos (E), tóxicos (T), inflamables (I) y biológico-infecciosos (B). También se consideran peligrosos los envases, recipientes, embalajes y suelos que hayan contenido o sido contaminados con RP.

Asimismo, es primordial definir al generador, la LGPGIR lo determina como cualquier persona física o moral que en sus actividades produzca residuos, es decir, se engloba cualquier actividad realizada que genere residuos independientemente de quien resulte responsable. Además, los generadores están establecidos por categorías en función de la cantidad de residuos producidos (Tabla 2). No obstante, es necesario aclarar que el término micro generador se aplica únicamente a los RP. En cuanto a los RME y RSU, solo se utilizan las categorías de pequeños y grandes generadores (SEMARNAT, 2016).

Tabla 2. Categoría de los generadores de residuos

Categoría	Cantidad
Micro generador	Establecimientos industrial, comercial o mercantil que genere hasta 400 kg al año.
Pequeño generador	Persona física o moral que genere en cantidad igual o mayor a 400 kg y menos de 10 toneladas al año.
Gran generador	Persona física o moral que genere más de 10 toneladas al año.

Asimismo, de acuerdo con el Artículo 18 de la LGPGIR, los RSU se subclasifican en orgánicos e inorgánicos con objeto de facilitar su separación primaria y secundaria de conformidad, con los programas estatales y municipales que se establezcan. Por su parte, los RME de acuerdo con el Artículo 19 de esta ley, quedan subclasificados en diez fracciones (Tabla 3).

Tabla 3. Listado de los RME conforme a la LGPGIR

RME	Descripción
De rocas	Aquellos que se utilizan para la fabricación de materiales de construcción, los derivados de la descomposición de rocas.
Servicios de salud	Los que se generan en actividades médico-asistencia a humanos o animales, sin incluir a los biológico-infeccioso.
Actividades pesqueras, agrícolas, silvícolas, forestales, avícolas, ganaderas, etc.	Insumos de las actividades.
Servicios de transportes	Generados por actividades en puertos, aeropuertos, terminales ferroviarias y aduanas.
Lodos residuales	Provenientes del tratamiento de aguas residuales.
Residuos de tiendas departamentales o centros comerciales, incluyendo tiendas de autoservicio, centrales de abasto, mercados públicos y ambulantes	Siempre y cuando sea producido por un gran generador o que se generen en una cantidad mayor a 10 toneladas al año por residuo
Construcción	Incluye residuos generados en construcción, mantenimiento y remodelación.
Tecnológicos	Incluye a electrónicos en general, aquellos que al final de su vida útil requieran un manejo especial.
Pilas	Que contengan litio, níquel, mercurio, cadmio, manganeso, plomo, zinc o cualquier otro elemento empleado para generar energía en el sistema, que se encuentren por debajo de los niveles para ser considerados como peligrosos.
Neumáticos	Que estén usados o se encuentren en condiciones no aptas para su funcionamiento.
Otros	Los que determine la SEMARNAT en acuerdo con las entidades federativas y estatales.

3.3 Desafíos de los RME

Un punto importante a destacar son los desafíos para disponer y generar información certera y vigente sobre los RME de acuerdo con el Programa Nacional para la Prevención y Gestión Integral de los Residuos de Manejo Especial 2022-2024 (SEMARNAT, 2022), el primer desafío es la distinción

adecuada sobre cuando un residuo es considerado RSU o RME, la falta de dicha claridad en la categorización hace que los RME sigan prácticamente la misma ruta de manejo que los RSU, a pesar de que su carácter administrativo y jurídico es diferente.

Es importante destacar que los primeros datos sobre generación de RME se reportaron en el Diagnóstico Básico para la Gestión Integral de los Residuos (DBGIR, 2006), en donde se incluyó información respecto de las siguientes fracciones del Artículo 19 de la LGPGIR: II (servicios de salud), IV (transporte), V (lodos provenientes del tratamiento de aguas residuales), VI (tiendas departamentales) y VII (construcción). Los siguientes DBGIR (2012 y 2020), incluyeron datos de otros tipos de RME.

La falta de fuentes primarias de información y la escasez de datos en todos los diagnósticos elaborados obligan a realizar estimaciones y cálculos de generación, los cuales, en muchos casos, están sujetos a discusiones metodológicas y de apreciación. La falta de formación es un factor crítico en la formulación y planeación de la política pública, ya que impide contar con los insumos necesarios para tener un panorama claro respecto a las causas que detonan la problemática social, ambiental y económica en torno a la gestión de los RME.

Respecto al marco legal actual, la regulación en materia de RME ha mostrado pocos cambios y únicamente las entidades federativas del Estado de México, CDMX y Jalisco han realizado modificaciones en su regulación estatal para incluir algún aspecto relacionado con estos residuos (SEMARNAT, 2020). La poca atención prestada a la temática de los RME en la legislación de la

mayoría de los Estados del país pone de manifiesto la invisibilidad en la que se encuentra el tema y la poca prioridad que se le ha dado por parte de los gobiernos estatales, aun cuando las causas de esa situación no están del todo identificadas. Es probable que una de las razones sea la falta de claridad en las atribuciones y responsabilidades que se marcan en la LGPGIR y la NOM-161-SEMARNAT-2011.

Entre los desafíos principales de los RME se encuentran:

- La dificultad para definir y clasificar algunos residuos específicos como RME.
- La falta de claridad respecto a quiénes son responsables de generar y proporcionar esta información.
- La falta de instrumentos estandarizados para la recopilación de datos relacionados a la generación de los RME.
- La ausencia de mecanismos efectivos de comunicación institucional entre los tres niveles de gobierno para sistematizar y actualizar de manera constante esta información, a fin de generar fuentes de datos fidedignas que ayuden a la toma de decisiones en el ámbito de la política pública relacionada con la gestión de estos residuos.

Aunque se han logrado progresos en la disponibilidad de datos y cómo estos han mejorado la estrategia para atender la problemática en torno a la gestión de los RME, todavía existe una importante falta de información que refleje la realidad de los diversos contextos territoriales del país. Esto limita la capacidad de establecer políticas públicas que atiendan específicamente los requerimientos y necesidades de cada sitio. La generalización y la concentración

son parte de las grandes debilidades para atender de manera efectiva la problemática de la gestión de los RME.

3.4 Situación actual de los residuos sólidos en México

Particularmente en la generación de residuos, el estilo de vida de cada individuo tiene un impacto directo. A mayor poder adquisitivo, mayor es la generación per cápita de residuos. En los últimos 70 años, la población de México ha crecido más de cuatro veces, pasando de 25.8 millones en 1950 a 126 millones en 2020. Durante la década de 2010 a 2020, la población aumentó en 14 millones de habitantes, situando a México en la posición 11 entre las naciones más pobladas del mundo (INEGI, 2021). Debido a esta considerable población, es crucial mejorar la infraestructura, los servicios de limpieza y la recolección de residuos para satisfacer la creciente demanda.

De acuerdo con datos del DBGIR 2020, la situación actual de los RS en el país (SEMARNAT, 2020), se resume en la Tabla 4.

Tabla 4. Situación de los residuos sólidos en México

Generación	La generación per cápita calculada fue de 0.944 kg/hab/día y la generación total de residuos en el país se estima en 120,128 ton/día.
Clasificación	El 31.56% corresponde a residuos susceptibles de aprovechamiento, el 46.42% a residuos orgánicos y el 22.03% a “otros residuos”
Recolección	De los residuos generados se recolectan 100,751 ton/día, para una cobertura a nivel nacional del 83.87%.
Recolección separada de residuos	La recolección separada de residuos se realiza en 144 municipios, de 23 entidades federativas y en las 16 demarcaciones territoriales de la Ciudad de México. Diariamente se recolectan separadamente 5,281 toneladas de residuos, alrededor del 5% del total de los residuos recolectados en el país: 2,062 toneladas de residuos orgánicos y 3,219 toneladas de residuos inorgánicos.

Disposición final	De acuerdo con los datos disponibles, en el año 2017 ingresan en los 2,203 SDF un promedio de 86,352.7 ton/día de residuos, estos sitios están ubicados en 1,722 municipios, de prácticamente todas las entidades federativas.
Características de los SDF	<p>El análisis de la infraestructura y procesos con los que cuentan los SDF muestra que:</p> <ul style="list-style-type: none"> a) 190 sitios (8.62%) cuentan con báscula para el pesaje de los residuos. b) 359 sitios (16.30%) cuentan con infraestructura para la captación de lixiviados, y 25% con tratamiento de éstos. c) 213 sitios (9.67%) cuentan con infraestructura para la captura de biogás. d) 326 sitios (14.80%) cuentan con geomembrana para aislar a los residuos del suelo. e) 955 sitios (43.35%) cuentan con cerca perimetral. f) 1,053 sitios (47.80%) no cuentan con infraestructura básica para la protección del ambiente. g) En 753 sitios (34.18%) se tiene control de acceso. h) En 417 sitios (18.93%) se tiene control de los residuos que ingresan. i) En 955 sitios (43.35%) se compactan los residuos y se cubren con materiales térreos. j) En 260 sitios (11.80%) se realizan actividades de monitoreo de aspectos relacionados con la higiene y la seguridad. k) En 883 sitios (40.08%) no se realiza ninguno de los procesos señalados.

3.4.1 Situación actual de los residuos sólidos en Chiapas

En el contexto particular de Chiapas, la gestión de residuos enfrenta desafíos significativos. El crecimiento poblacional, el aumento del consumo y la limitada infraestructura para el manejo de desechos han llevado a una acumulación preocupante de residuos sólidos, especialmente en las zonas urbanas. La falta de conciencia ambiental, combinada con políticas públicas insuficientes y recursos económicos limitados, agrava aún más el problema. (SEMAHN, 2016). La Tabla 5, resume la situación actual del estado.

Tabla 5. Situación de los residuos sólidos en Chiapas

Generación diaria	5,188 ton/día de las cuales 3,891 toneladas corresponden a RSU y 1,297 toneladas a RME, situándose al estado en el octavo lugar a nivel nacional en generación de residuos.
Generación anual	1.9 millones ton/año
Caracterización de los RSU	<ul style="list-style-type: none"> • 50% orgánicos • 26% valorizables • 24% no valorables <p>De los cuales la composición quedan de la siguiente manera:</p> <ul style="list-style-type: none"> • 49.92% orgánicos • 11.30% plásticos • 8.12% cartón • 3.85% vidrio • 3.32% metales • 23.49% otros
Mobiliarios que promueve la separación de residuos	Solo 28 municipios cuentan con este recurso
Recolección	<ul style="list-style-type: none"> • 3, 133,177 habitantes cuentan con el servicio (57%) • 2, 410,053 habitantes no tiene el servicio (43%) <p>Las causas:</p> <ul style="list-style-type: none"> • Dispersión poblacional • Orografía • Falta de recursos <p>Efectos</p> <ul style="list-style-type: none"> • Riesgos a la salud • Disminución de la calidad de la vida • Contaminación <p>Vehículos para la recolección</p> <ul style="list-style-type: none"> • Se disponen 478 vehículos, de los cuales 368 son propios y 110 arrendados, de los cuales el 74% tienen más de 10 años en uso.
SDF	<p>En el estado se encuentran 147 SDF. De los cuales 42 son rellenos sanitarios (2004-2016), y 5 intermunicipales.</p> <ul style="list-style-type: none"> • 3% rellenos sanitarios • 13% rellenos sanitarios con operación deficiente • 4% sitios controlados • 80% tiraderos a cielo abierto

Fuente: Domínguez, I. (agosto, 2024). Manejo de los residuos sólidos urbanos en el estado de Chiapas, situación actual [Ponencia]. 1er congreso mundial sobre disposición final de desechos sólidos. Tuxtla Gutiérrez, Chiapas.

3.5 Repercusiones de los residuos sólidos en el medio ambiente

A medida que aumenta la producción, el transporte y el consumo de bienes y servicios en una nación, también se incrementa la demanda de recursos y la generación de residuos. Si no se gestionan adecuadamente, estos residuos pueden tener impactos negativos crecientes en el medio ambiente y la salud humana. Los cambios en los procesos de industrialización y apertura comercial, así como en los patrones de producción y consumo, han afectado la cantidad y composición de los productos comercializados diariamente en México, dificultando cada vez más la minimización, clasificación y separación correcta de los residuos para su valorización y tratamiento (SEMARNAT, 2022).

Las consecuencias ambientales de la inadecuada disposición de los residuos pueden ser negativas para la salud humana y los ecosistemas naturales (SEMARNAT, 2006), algunos de los impactos son:

- Generación de contaminantes y gases de efecto invernadero: la descomposición de residuos orgánicos produce biogases que, además de ser desagradables por sus olores, pueden ser peligrosos por su toxicidad o explosividad. Entre estos gases se encuentran el bióxido (CO_2) y monóxido de carbono (CO), metano (CH_4), ácido sulfhídrico (H_2S) y compuestos orgánicos volátiles (COVs), como acetona, benceno, estireno, tolueno y tricloroetileno.
- Contaminación de los suelos y cuerpos de agua: la descomposición de residuos y su contacto con el agua puede generar lixiviados que contienen sustancias disueltas o en suspensión que se infiltran en los

suelos o escurren fuera de los sitios de depósito, contaminando suelos y cuerpos de agua.

- Proliferación de fauna nociva y transmisión de enfermedades: los residuos orgánicos atraen especies de insectos, aves y mamíferos que pueden convertirse en vectores de enfermedades peligrosas como peste bubónica, tifus murino, salmonelosis, cólera, leishmaniasis, amebiasis, disentería, toxoplasmosis, dengue y fiebre amarilla, entre otras

La problemática de los residuos en México es compleja y requiere atender múltiples frentes: medioambiental, social, económico, institucional, financiero, tecnológico, normativo y administrativo. Es crucial considerar la presencia y el papel de los diferentes actores involucrados y los intereses que motivan sus acciones (SEMARNAT, 2022).

3.6 Planes de manejo

Con la entrada en vigor de la LGPGIR se introdujo un concepto innovador denominado plan de manejo el cual pretende ofrecer un panorama de la gestión de los residuos que favorezca la valorización de los mismos. Es un instrumento de gestión que permite al particular y a la autoridad diseñar y controlar de una manera flexible el manejo integral de los residuos, mediante propuestas de manejo eficientes que minimicen la generación y prioricen la valorización.

Esta ley lo define como un instrumento cuyo objetivo es minimizar la generación y maximizar la valorización de RSU, RME y RP, bajo criterios de eficiencia ambiental, tecnológica, económica y social, con fundamento en el Diagnóstico Básico para la Gestión Integral de Residuos, diseñado bajo los

principios de responsabilidad compartida y manejo integral, que considera el conjunto de acciones, procedimientos y medios viables e involucra a productores, importadores, exportadores, distribuidores, comerciantes, consumidores, usuarios de subproductos y grandes generadores de residuos, según corresponda, así como a los tres niveles de gobierno.

Los planes de manejo se pueden establecer en una o más de las siguientes modalidades (Tabla 6).

Tabla 6. Clasificación de los planes de manejo

Modalidad	Descripción
Privados	Los instrumentados por los particulares que conforme a la Ley se encuentran obligados a la elaboración, formulación e implementación de un plan de manejo.
Mixtos	Los que se generan en actividades médico-asistencia a humanos o animales, sin los que instrumenten los señalados en la clasificación anterior con la participación de las autoridades en el ámbito de sus competencias.
Individuales	Aquéllos en los cuales sólo un sujeto obligado establece en un único plan, el manejo integral que dará a uno, varios o todos los residuos que genere,
Colectivos	Generados por actividades en puertos, aeropuertos, terminales ferroviarias y aduanas.
Nacionales	Cuando se apliquen en todo el territorio nacional.
Regionales	Cuando se apliquen en el territorio de dos o más estados o el Distrito Federal, o de dos o más municipios de un mismo estado o de distintos estados.
Locales	Cuando su aplicación sea en un solo estado, municipio o el Distrito Federal. Atendiendo a la corriente del residuo

Ante ese panorama, es necesario diseñar e implementar proyectos de infraestructura que se adecuen a los requerimientos de cada región principalmente en función de los sectores productivos presentes en el territorio,

sin perder de vista las particularidades técnicas y operativas que habrá de requerir cada proyecto en función de su contexto social, económico y ambiental.

3.7 Normatividad en materia de residuos en México

La gestión de residuos en el país se apoya en un marco legal. Este marco incluye leyes, reglamentos, normas y demás instrumentos de regulación en materia ambiental aplicables en los tres órdenes de gobierno: federal, estatal y municipal (Barradas, 2009). Lo anterior se describe en las Tablas 7 y 8.

Tabla 7. Marco legal

Ordenamiento	Descripción
Ley General del Equilibrio Ecológico y la Protección al Ambiente (LGEEPA)	Promulgada en 1988, tiene como objetivo establecer normas y políticas para preservar el equilibrio ecológico, proteger el ambiente y fomentar el desarrollo sustentable en México. Aborda temas como la conservación de la biodiversidad, el uso sustentable de recursos naturales, prevención de contaminación y evaluación de impacto ambiental. Además, promueve la participación ciudadana en decisiones ambientales y busca la preservación a largo plazo de los recursos naturales y permitió la creación de la LGPGIR.
Ley General para la Prevención y Gestión Integral de los Residuos (LGPGIR)	Esta ley garantiza el derecho a un medio ambiente saludable y promueve el desarrollo sustentable. Se enfoca en prevenir, valorizar y gestionar RP, RSU y RME. Además, busca evitar la contaminación de sitios con estos residuos y ejecutar su remediación. Esta ley, se basa en la constitución y tiene objetivos como aplicar principios de valorización, coordinar mecanismos entre entidades y definir responsabilidades en el manejo de residuos.
Ley General de Cambio Climático (LGCC)	Promulgada en 2012, establece un marco para reducir emisiones de gases de efecto invernadero y promover la adaptación a los efectos del cambio climático. Sus puntos clave incluyen la creación de un inventario nacional de emisiones, políticas nacionales de cambio climático, mecanismos financieros para proyectos de mitigación y adaptación, y la distribución de responsabilidades entre el gobierno federal, los estados y los municipios. La ley fomenta la cooperación internacional y la participación de sectores privados y sociales.
	Regula la prevención, valorización y gestión integral de RSU y de RME que no son considerados peligrosos. Establece políticas públicas para la generación, manejo, tratamiento y disposición final de los residuos en el estado. Además, coordina acciones entre el

Ley de Residuos Sólidos para el Estado de Chiapas y sus Municipios	gobierno estatal y los municipios, involucra a los generadores de residuos en medidas de prevención y manejo, y fomenta la innovación tecnológica y la eficiencia ecológica en los procesos productivos para reducir la generación de residuos.
Reglamento de la Ley General del Equilibrio Ecológico y la Protección al Ambiente en materia de Evaluación del Impacto Ambiental	El presente ordenamiento es de observancia general en todo el territorio nacional y en las zonas donde la Nación ejerce su jurisdicción; tiene por objeto reglamentar la Ley General del Equilibrio Ecológico y la Protección al Ambiente, en materia de evaluación del impacto ambiental a nivel federal.
Reglamento de la Ley General para la Prevención y Gestión Integral de los Residuos	Tiene por objeto reglamentar la Ley General para la Prevención y Gestión Integral de los Residuos y rige en todo el territorio nacional y las zonas donde la Nación ejerce su jurisdicción y su aplicación corresponde al Ejecutivo Federal, por conducto de la Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales.
Reglamento para la protección del medio ambiente y la ecología en el municipio de Ocozacoautla de Espinosa	Es un conjunto de normas que tiene como objetivo regular la preservación, protección y restauración del medio ambiente y la ecología en el municipio, este reglamento establece las obligaciones y responsabilidades de los ciudadanos y las autoridades municipales en la protección del medio ambiente y la ecología.
Normas oficiales Mexicanas (NOM) y Normas Mexicanas (NMX)	Son instrumentos de regulación y establecen lineamientos y procedimientos en el manejo y disposición final de los residuos.

Tabla 8. Normatividad relacionada (NOM y NMX)

Ordenamiento	Descripción
NOM-161-SEMARNAT-2011	Establece los criterios para clasificar a los RME y determinar cuáles están sujetos a Plan de Manejo; el listado de los mismos, el procedimiento para la inclusión o exclusión a dicho listado; así como los elementos y procedimientos para la formulación de los planes de manejo.
NMX-AA-015-1985. (Protección al ambiente Contaminación del suelo - Residuos sólidos municipales - Muestreo - Método de cuarteo)	Establece el método de cuarteo para RSU y la obtención de especímenes para los análisis en el laboratorio.

<p>NMX-AA-019-1985. (Protección al ambiente Contaminación del suelo – Residuos sólidos municipales - Peso volumétrico “in situ”)</p>	<p>Indica el método para determinar el peso volumétrico en el lugar donde se llevó a cabo el método de cuarteo (NMX-AA-015-1985) y el cálculo mediante la fórmula de volumen. Este dato es indispensable para el diseño de almacenamiento.</p>
<p>NMX-AA-022-1985. (Protección al ambiente - contaminación del suelo - residuos sólidos municipales - selección y cuantificación de subproductos)</p>	<p>Establece procedimientos, clasificación y definiciones para la obtención de subproductos de los RSU, además de dar observaciones que ayudan a hacer más eficiente el procedimiento.</p>

IV. OBJETIVOS

Objetivo general

Diseñar un plan de manejo de residuos sólidos para el mercado Dr. Manuel Velasco Suárez en la cabecera municipal de Ocozocoautla de Espinosa, Chiapas.

Objetivos específicos

- Realizar un diagnóstico del manejo actual de los residuos sólidos en el mercado Dr. Manuel Velasco Suárez, identificando la cantidad, composición y prácticas actuales de gestión y disposición de los mismos.
- Evaluar una opción de tratamiento para la fracción orgánica de los RME del mercado, y a partir de ello, diseñar su estrategia de manejo.
- Proponer un sistema de separación y aprovechamiento con los subproductos principales (plan de manejo), que permita una gestión más eficiente de los residuos generados en el mercado teniendo en consideración el cumplimiento de las regulaciones y normas mexicanas.

Hipótesis

La propuesta y ejecución de un plan de manejo de residuos sólidos para el mercado Dr. Manuel Velasco Suárez, contribuirá a la reducción de la cantidad de residuos generados, así como a la recuperación de residuos valorizables, el tratamiento y reciclaje de subproductos, contribuyendo a la mejora de la calidad ambiental en la zona y de la salud pública.

V. MARCO METODOLÓGICO

5.1 Área de estudio

5.1.1 Descripción del municipio de Ocozocoautla de Espinosa

El municipio de Ocozocoautla de Espinosa se encuentra en la parte occidental del Estado de Chiapas, abarcando parte de la Depresión Central y de las Montañas del Norte. Sus coordenadas geográficas son 16° 45" N y 93° 22" W. Su altitud es de 820 m. Colinda al norte con Tecpatán, al este con Berriozábal, Tuxtla Gutiérrez y Suchiapa, al sur con Villaflores y al oeste con Jiquipilas y Cintalapa. Su extensión territorial es de 2,109.67 km², lo que equivale al 20% de la superficie regional y al 3.27 % del Estado. El nombre del municipio significa "bosque de los ocozotes" de vocablos náhuatl que le dieron el significado actual. Desde el 1 de diciembre de 1928, la ciudad de Ocozocoautla lleva el apellido de Espinosa, en honor al insigne revolucionario Luis Espinosa. Además, es conocida localmente como "Coita" (Periódico Oficial del Estado de Chiapas, 2018). De acuerdo con datos de Data México (2020) la población del municipio es de 97,397 habitantes (49.4% hombres y 50.6% mujeres).

El municipio alberga una variedad de actividades culturales y turísticas que son dignas de mención (Tabla 9). Sin embargo, es esencial considerar que estas festividades y puntos de interés turístico pueden tener un impacto significativo en la generación de residuos. Durante estos eventos o épocas vacacionales, la demanda de alimentos, bebidas y otros productos suele aumentar, lo que resulta en una mayor producción de residuos. Además, la afluencia de visitantes que buscan adquirir productos puede provocar una saturación en el mercado. En todas estas actividades y festividades, se producen

residuos que han sido adquiridos en el mercado, contribuyendo a la acumulación de desechos.

Tabla 9. Actividades culturales y turísticas

Actividades culturales	Descripción
Carnaval Zoque Coiteco	Es el festival más importante de la ciudad y se realiza el domingo anterior al Miércoles de Ceniza. Inicia con un desfile y continúa con 4 días de fiestas. Es conocido también por ser una fiesta que junta tres culturas distintas: la cultura árabe, la cristiana y zoque. En la festividad participan los «cohuiná» (casa del jefe), que son las organizaciones de los barrios. La comida típica que se suele dar es el cocido de res, la chanfaina y el frijol con chipilín. También se ofrece pozol y un dulce típico llamado puccino. Después del desfile se convida comida a cualquier persona que pase por el parque central de la ciudad.
Feria de San Juan Bautista	Este evento se lleva a cabo en junio y se realizan actividades culturales y recreativas que atraen a visitantes tanto locales como de otras regiones.
Feria de la Virgen de la Asunción	Este evento se lleva a cabo en agosto y cuenta con conciertos y muestras gastronómicas.
Semana Santa	Durante esta semana, el pueblo se llena de procesiones y celebraciones religiosas que muestran la devoción en el municipio.
Zonas turísticas	Descripción
Sima de las Cotorras	Es un hundimiento natural de 140 metros de profundidad y 160 metros de diámetro, es el hogar de miles de cotorras verdes que llenan el aire con su canto y colorido plumaje al amanecer y al atardecer. Además es un lugar ofrece una variedad de actividades, como el descenso en rappel hasta el fondo de la sima, así como recorridos en tirolesa y senderismo alrededor de la sima.
Aguacero	Es una cascada, que nace en la cueva El Encanto y desciende en forma escalonada por varias decenas de metros en las paredes del Cañón Río La Venta.
Cerro Ombligo	Pequeño centro arqueológico de origen zoque cerca del Barrio San Miguel, se llega por un camino rústico estrecho.
Iglesia de San Juan Bautista	Es la parroquia, construida en el siglo XVI, es una de las iglesias más antiguas del estado pero sufrió diversas modificaciones en su fachada durante el siglo XX. Aún conserva su arquitectura original.
Mirador de la Cruz	Es una cruz ubicada en el cerro que está al norte de la población. En su cima se puede apreciar una hermosa panorámica de la

	ciudad y es frecuentada por deportistas que suben a ejercitarse y aprovechar la belleza del paisaje que ofrece.
Museo Regional Zoque	El lugar muestra fósiles de dinosaurios de 250 millones de años, las formas en que vivían los primeros pobladores de la cultura zoque, así como sala de lectura, exposiciones de artistas locales y una sala virtual mostrando el tradicional carnaval de la región. En su interior se habla de la nueva tecnología, cómo ha evolucionado en la humanidad y la importancia que tiene el internet en nuestra vida cotidiana, así que se instaló una sala de cómputo para aquellas personas que deseen un trabajo escolar o conocer de la cultura.

5.1.2 Descripción del área de estudio

Ubicación

El mercado municipal Dr. Manuel Velasco Suárez (Fig. 1) se ubica en la 1ª Av. Sur entre las calles 4ª y 5ª Oriente, en donde productores y comerciantes del municipio y localidades cercanas venden sus productos de temporada. El mercado abarca una extensión territorial aproximada de 6,000 m², con dimensiones de 100 m de largo y 60 m de ancho. Los horarios de atención son de lunes a sábado de 6:30 am a 4:30 pm y el domingo de 6:30 am a 3:30 pm.

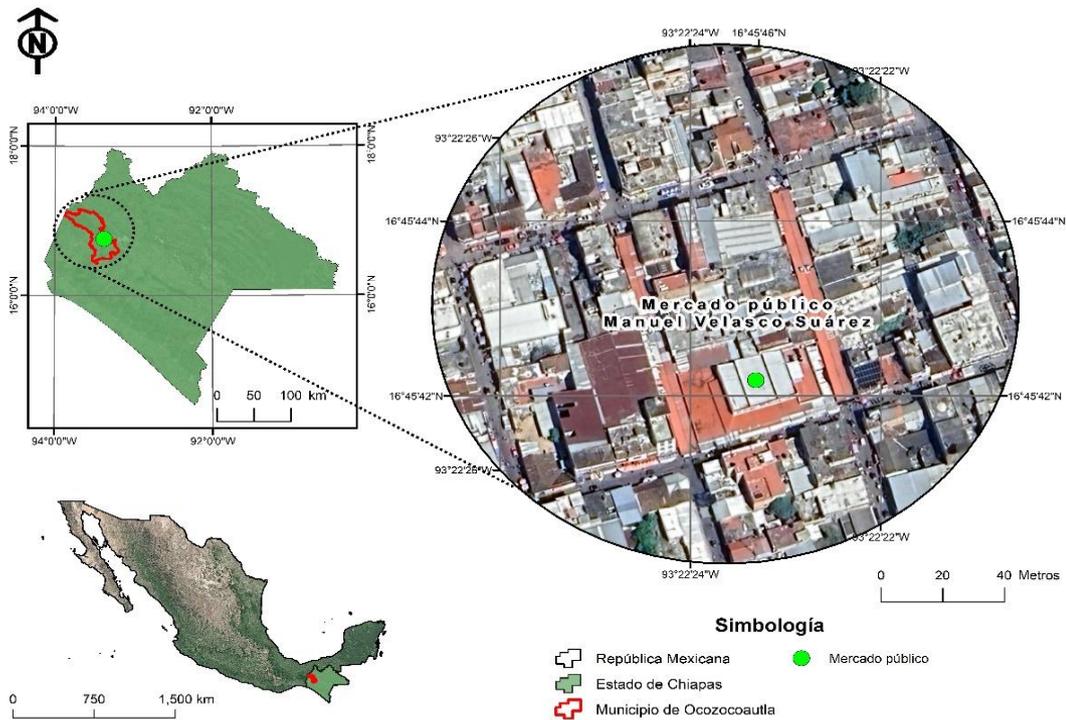


Figura 1. Mapa de ubicación de la zona de estudio.

5.2 Diseño metodológico

5.2.1 Diagnóstico de la situación actual en el mercado

Para recopilar información sobre la dinámica dentro del mercado, se realizó un recorrido en sus instalaciones con el propósito de capturar evidencias fotográficas. Luego, se entrevistó al administrador del mercado para obtener información sobre el número de locatarios, vendedores ambulantes, giros de venta, historia y servicios disponibles. Las preguntas de la entrevista se encuentran detalladas en el Anexo 1.

Después de la entrevista, el administrador permitió tomar una foto al croquis que había realizado al inicio de su cargo en el mercado. Por lo tanto, se optó por digitalizarlo utilizando el programa AutoCAD (Ecuación 2).

En el mes de febrero de 2024, se realizó una visita al relleno sanitario del municipio, donde se dispone los RME del mercado (Fig. 2). La finalidad fue obtener información sobre la operación del SDF. Además, se llevó a cabo una entrevista con una persona que se dedica a recolectar ciertos residuos en el relleno sanitario para su posterior valorización, (Anexo 3).



Figura 2. Zona de compactación de los RSU que llegan al SDF.

5.2.2 Generación y caracterización de los RME

Para determinar la generación de RME en el mercado, se siguió la metodología, descrita a continuación. La Figura 3, resume los pasos seguidos en este proceso.

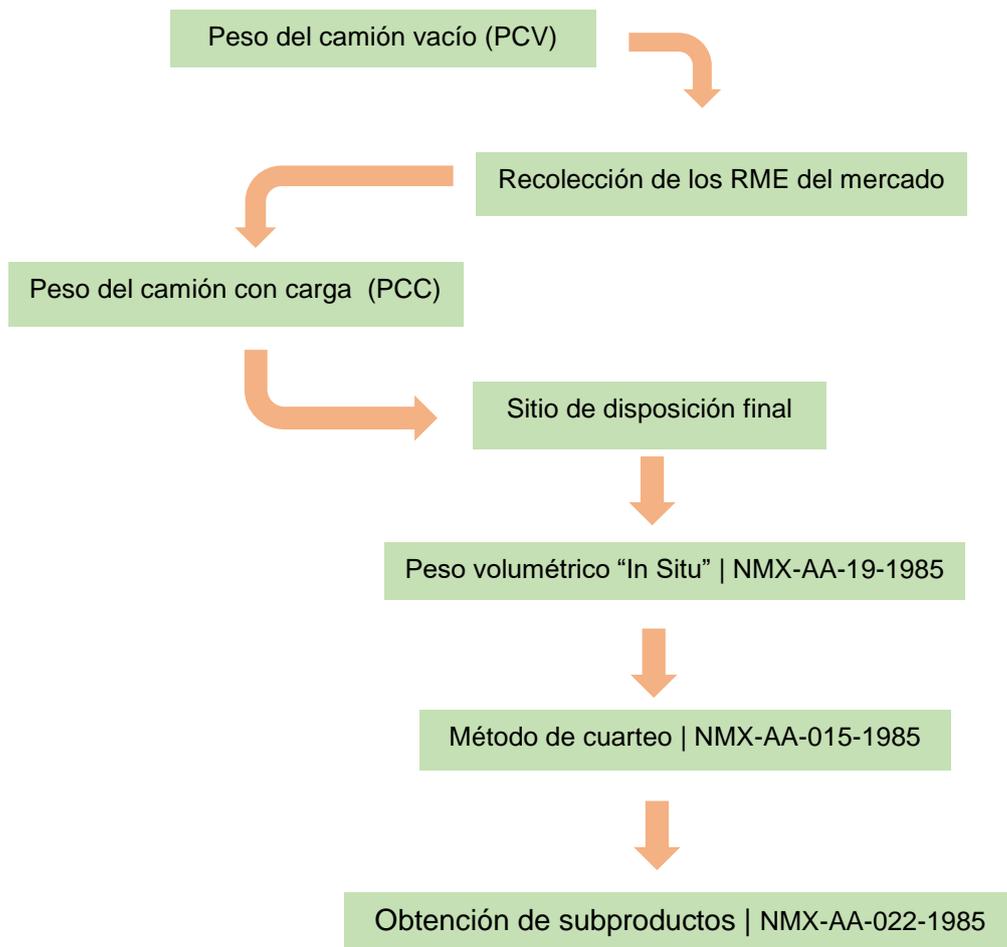


Figura 3. Diagrama simplificado para la determinación de la generación y composición de los RME

Para la realización del estudio, se asignó un camión recolector exclusivamente para la recolección de residuos generados en el mercado. Antes de iniciar el proceso, se registró el peso del camión vacío (Fig. 4). Durante el día del estudio, el vehículo recolectó los residuos correspondientes a ambos turnos (mañana y tarde) Fig. 5. Finalmente, se volvió a pesar el camión con la carga de

residuos, y la diferencia entre ambos registros permitió determinar el peso total de los RME generados por el mercado en un solo día.



Figura 4. Peso del camión recolector vacío.



Figura 5. Recolección de los RME del mercado en el turno vespertino.

Posteriormente, el camión se dirigió al SDF, en el espacio que previamente se estableció para depositar todos los residuos (Fig. 6). A partir de aquí, se realizaron adecuaciones a las normas técnicas NMX-AA-015-1985,

NMX-AA-019-1985 y NMX-AA-022-1985, para adaptarlas a las características de los RME del mercado.



Figura 6. Descarga de los RME del mercado para realizar los estudios de campo

La relación de materiales y equipos que se emplearon para realizar el estudio en campo, son presentados en el Anexo 4. Las metodologías seguidas teniendo como referencia las normas mexicanas mencionadas se describen detalladamente en el Anexo 5.

Para la determinación del peso volumétrico (NMX-AA-19-1985), se utilizó un recipiente de plástico de 200 L, asegurando que estuviera limpio y sin abolladuras. Se pesó inicialmente vacío para obtener la tara, luego se llenó con residuos homogenizados, golpeándolo contra el suelo tres veces para compactarlos. Se repitió el proceso hasta completar la capacidad del recipiente sin presionar el contenido (Fig. 7). Finalmente, se pesó el recipiente con los residuos y se restó la tara, repitiendo el procedimiento tres veces para obtener un valor promedio. El peso volumétrico se calculó mediante la Ecuación 1:

$$Pv = \frac{P}{V} \dots\dots\dots \text{Ec. 1}$$

En donde:

P_v = Peso volumétrico del residuo sólido, en kg/m^3

P = Peso de los residuos sólidos (peso bruto menos tara), en kg

V = Volumen del recipiente, en m^3



Figura 7. Determinación del peso volumétrico

Para el método de cuarteo (NMX-AA-015-1985), se tomaron en cuenta los residuos obtenidos del muestreo que se realizó para determinar el peso volumétrico, fueron vaciados sobre un área plana y homogenizados mediante traspaleo (Fig. 8). Luego, se dividieron en cuatro partes iguales (A, B, C, D), eliminando dos partes opuestas hasta obtener al menos 50 kg de muestra para la selección de subproductos. Se tomaron los cuartos A y C para la clasificación y cuantificación de los materiales según el día del estudio.



Figura 8. Aplicación del método de cuarteo para la clasificación de subproductos

En la selección y cuantificación de subproductos (NMX-AA-022-1985), estos se almacenaron en bolsas de polietileno y se agruparon en categorías como materia orgánica, cartón, papel, vidrio, metales, PET, naylon, plásticos, residuos finos y otros, según estudios previos (Acosta, 2022; Buenrostro et al., 1999). Posteriormente, se pesaron por separado y se determinó el porcentaje de cada uno, usando la Ecuación 2, asegurando que la suma de los porcentajes alcanzara al menos 98% del peso total de la muestra (Fig. 9).

$$Ps = \frac{G_1}{G} \times 100 \dots \dots \dots \text{Ec.2}$$

En donde:

P_s = Porcentaje del subproducto considerado.

G_1 = Peso del subproducto considerado, en kg; descontando el peso de la bolsa empleada.

G = Peso total de la muestra (mínimo 50 kg).



Figura 9. Separación de subproductos

5.3 Tratamiento de la fracción orgánica de los RME

De acuerdo con diversos autores (Buenrostro et al., 1999; Francisco & Rodríguez, 2011; Morales, 2011 y Suni, 2018), en los mercados municipales la materia orgánica es el principal subproducto dentro de sus residuos generados.

Tras el análisis de la literatura consultada, Acosta (2022); Lira (2016); Hanníbal et al., (2016); Vargas-Pineda et al., (2019) y Vidal (2023), los autores coinciden en que el compostaje representa el tratamiento más eficaz para el manejo de la fracción orgánica, presente tanto en los RSU y RME. Puesto que, la fracción orgánica representa una fuente de nutrientes que puede contribuir significativamente a la fertilización y recuperación de suelos agrícolas (Adebayo et al., 2018; Herrera & Gallardo, 2022; Secretaria de Agricultura y Desarrollo Rural [SADER], 2022; Shahnazari et al., 2021).

Con el propósito de diseñar una estrategia para el tratamiento de este subproducto, se realizaron monitoreos de compostaje durante dos temporadas

distintas del año. Esto permitió recopilar información sobre el tiempo requerido para producir el bioabono así como del rendimiento del proceso. A continuación se describe la metodología seguida.

5.3.1 Recolección de los residuos orgánicos e instalación de pilas

Se recolectaron los residuos orgánicos del mercado, la pila 1, instalada durante la temporada de estiaje (Figura 10), alcanzó una altura inicial de 52 cm, con un volumen de 204 litros de residuos, compuestos principalmente por hojas de lechuga, tomates, sandías y chiles. Por su parte, la pila 2, fue instalada en temporada de lluvias, con una altura inicial de 81 cm y un volumen de 1,200 litros, integrada principalmente por limones, piñas y flores con tallo (Fig. 11). Previo a la instalación de ambas pilas, todos los residuos fueron pesados y para favorecer la actividad microbiana, se redujo el tamaño de partícula entre 2 y 5 cm. También se añadió 4.5% de estiércol y 3% de hojas secas.



Figura 10. Residuos que se utilizaron en el monitoreo de la pila 1.



Figura 11. Residuos utilizados en el monitoreo de la pila 2.

5.3.2 Monitoreo del proceso

El estudio se monitoreó semanalmente con distintos parámetros, siguiendo las normas técnicas mexicanas: NMX-AA-016-1984 para el contenido de humedad, NMX-AA-25-1984 para el pH y NMX-AA-018-1984 para determinación de cenizas. También se determinó el parámetro de sólidos volátiles (SV), el cual se obtuvo por la diferencia entre el peso de la muestra seca y el de las cenizas resultantes. Cabe señalar que el análisis de SV se realizó únicamente en el monitoreo de la pila 2, ya que durante el seguimiento de la pila 1, no fue posible llevarlo a cabo debido a actividades de mantenimiento en el equipo requerido.

La relación de materiales y equipos que se emplearon para realizar los análisis en el laboratorio son mostrados en el Anexo 6. Asimismo, las

metodologías seguidas teniendo como referencia las normas mexicanas mencionadas se describen en el Anexo 7.

Otro parámetro monitoreado y que define la evolución del proceso hasta la estabilización del producto final, fue la temperatura, y fue medida en cinco puntos distintos de la pila, promediando los registros obtenidos para determinar la temperatura representativa. De igual manera, la temperatura ambiente fue registrada. Las mediciones de este parámetro se realizaron con ayuda de un termopar de la marca TFA con una aguja de penetración de 40 cm. La aireación se realizó manualmente, con el apoyo de pala y rastrillo. Además, se suministró agua para mantener los niveles de humedad (40-70%) recomendados (Ameen et al., 2016; Márquez & Blanco, 2008). Los parámetros considerados y su frecuencia de monitoreo se resumen en la Tabla 10.

Tabla 10. Parámetros analizados y su frecuencia durante el proceso de compostaje

Parámetro	Norma	Frecuencia (determinación)	
		Pila 1	Pila 2
Temperatura	----	3 veces por semana	5 veces por semana
pH	NMX-AA-25-1984	3 veces por semana	2 veces por semana
Contenido de humedad	NMX-AA-16-1984	1 vez por semana	2 veces por semana
Determinación de cenizas	NMX-AA-18-1984	N.D	2 veces por semana
Sólidos volátiles	----	N.D	2 veces por semana

N.D. No determinado

5.3.3 Determinación del rendimiento del proceso (bioabono)

Una vez finalizada la etapa de estabilización, se pesó todo el material obtenido, además de determinar los volúmenes iniciales y finales del proceso para calcular su rendimiento (v/v), para lo cual se aplicó la Ecuación 5.

$$R = \frac{V_F}{V_I} \times 100 \dots\dots\dots \text{Ec.5}$$

En donde:

R: Rendimiento (%)

V_F: Volumen final de la composta (litros)

V_I: Volumen inicial de los residuos (litros)

5.3.4 Determinación de la calidad del producto final y análisis de resultados

Para determinar la calidad del bioabono, se analizaron dos muestras del producto terminado (aprox. un kilogramo), una muestra proveniente de la pila 1 y otra de la pila 2. Los parámetros analizados y el método aplicado, conforme a la Norma Oficial Mexicana NOM-021-RECNAT-2000, que establece las especificaciones de fertilidad, salinidad y clasificación de suelos, se resumen en la Tabla 11.

Tabla 11. Parámetros determinados en la calidad de las compostas obtenidas

Parámetro	Método
Nitrógeno	Micro Kjeldahl
Fósforo	Olsen
Potasio	Flamometro pH 7,0
Materia orgánica	Walkley and Black
Capacidad de intercambio de cationes (C.I.C)	Acetato de amonio pH 7,0

Respecto a la determinación de la conductividad eléctrica de los bioabonos, esta se realizó con la ayuda de un conductímetro marca vernier modelo platinum-cell.

Finalmente, los periodos de estabilización obtenidos para las pilas 1 y 2 de acuerdo al parámetro de temperatura, fueron comparados mediante un análisis de varianza de una vía con un nivel de significancia $\alpha = 0.05$, usando el software SigmaPlot 12, y para la generación de gráficas se utilizó el software R. versión 4.3.2.

5.4 Cálculos para dimensionar las jaulas de almacenamiento de los subproductos valorizables

Se seleccionaron los residuos con mayor porcentaje de generación, de acuerdo con el estudio de caracterización y generación de RME en el mercado, con el fin de diseñar un sistema de separación que facilitara su valorización y con una visión de economía circular. En el caso del PET y aluminio se calculó su peso volumétrico sin compactación (Fig.12), utilizando el mismo procedimiento descrito en la Ecuación 1.

Para determinar el peso volumétrico del papel y cartón, se tomó una cantidad representativa del material, la cual fue apilada cuidadosamente sobre una superficie plana. A continuación, se midieron sus dimensiones: largo (L), ancho (A) y altura (H), utilizando una cinta métrica. Estas medidas permitieron calcular el volumen ocupado (V) mediante la fórmula: $V = L \times A \times H$. Una vez obtenido el volumen, se pesó la muestra total con una báscula para conocer su masa (m). Finalmente, el peso volumétrico se calculó dividiendo la masa entre el volumen, es decir:

$$Pv = \frac{m}{V} \dots\dots\dots Ec. 5$$

En donde:

P_v : Peso volumétrico del residuo sólido, en kg/m^3

m : masa del residuo en kg

V : Volumen ocupado por la muestra en m^3 .

Para dimensionar adecuadamente las jaulas de almacenamiento temporal destinadas a los subproductos valorizables, se estimó el volumen necesario para contener su generación semanal. Para ello, se calculó la cantidad generada en una semana a partir de la generación diaria y el porcentaje que representa cada subproducto en el estudio de caracterización. Posteriormente, utilizando el peso volumétrico previamente determinado, se estimó el volumen requerido mediante la Ecuación 6. Finalmente, se añadió un factor de seguridad del 20% con el fin de garantizar una capacidad de almacenamiento adicional ante posibles variaciones en la generación de subproductos o imprevistos en su recolección.

$$V = \frac{G}{P_v} \dots\dots\dots \text{Ec. 6}$$

En donde:

V : Volumen en m^3/semana

G : Generación de los residuos semanalmente kg

P_v : Peso volumétrico en kg/m^3 .

Por otro lado, los residuos orgánicos, debido a su naturaleza, requieren recolección diaria. Para ello, se corroboró que la cantidad y capacidad de los contenedores existentes sea la necesaria para gestionar de manera óptima el volumen generado.



Figura 12. Determinación del peso volumétrico del PET

VI. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

6.1 Diagnóstico del manejo actual de residuos sólidos en el mercado

6.1.1 Fuentes de producción dentro del mercado

En la actualidad, la administración ha registrado a 219 locatarios que operan en el mercado. Entre los locales y negocios se pueden encontrar fruterías, verdulerías; carnicerías de res, puerco y pollo; pescaderías y mariscos; espacios para la venta de comida (taquerías, fondas, jugos, etc.), florerías, entre otros. Estos puestos representan diversas fuentes de producción dentro del mercado, generando una variedad de productos y bienes, en la Figura 13 se observa el croquis del mercado.

En cuanto a los locatarios y vendedores ambulantes, algunos de ellos son originarios de Ocuilapa de Juárez, El Aguacero, Piedra Parada, El Gavilán, entre otras comunidades, y venden sus cosechas de temporada y otros productos locales. Sin embargo, debido al aumento del número de comerciantes y la insuficiencia de infraestructura en el mercado, algunos de ellos se ven obligados a colocarse en las avenidas 1a Sur y Central. La administración actual ha registrado aproximadamente a 150 vendedores ambulantes con credenciales para identificarse, quienes venden sus productos en las afueras del mercado (Figura 14).

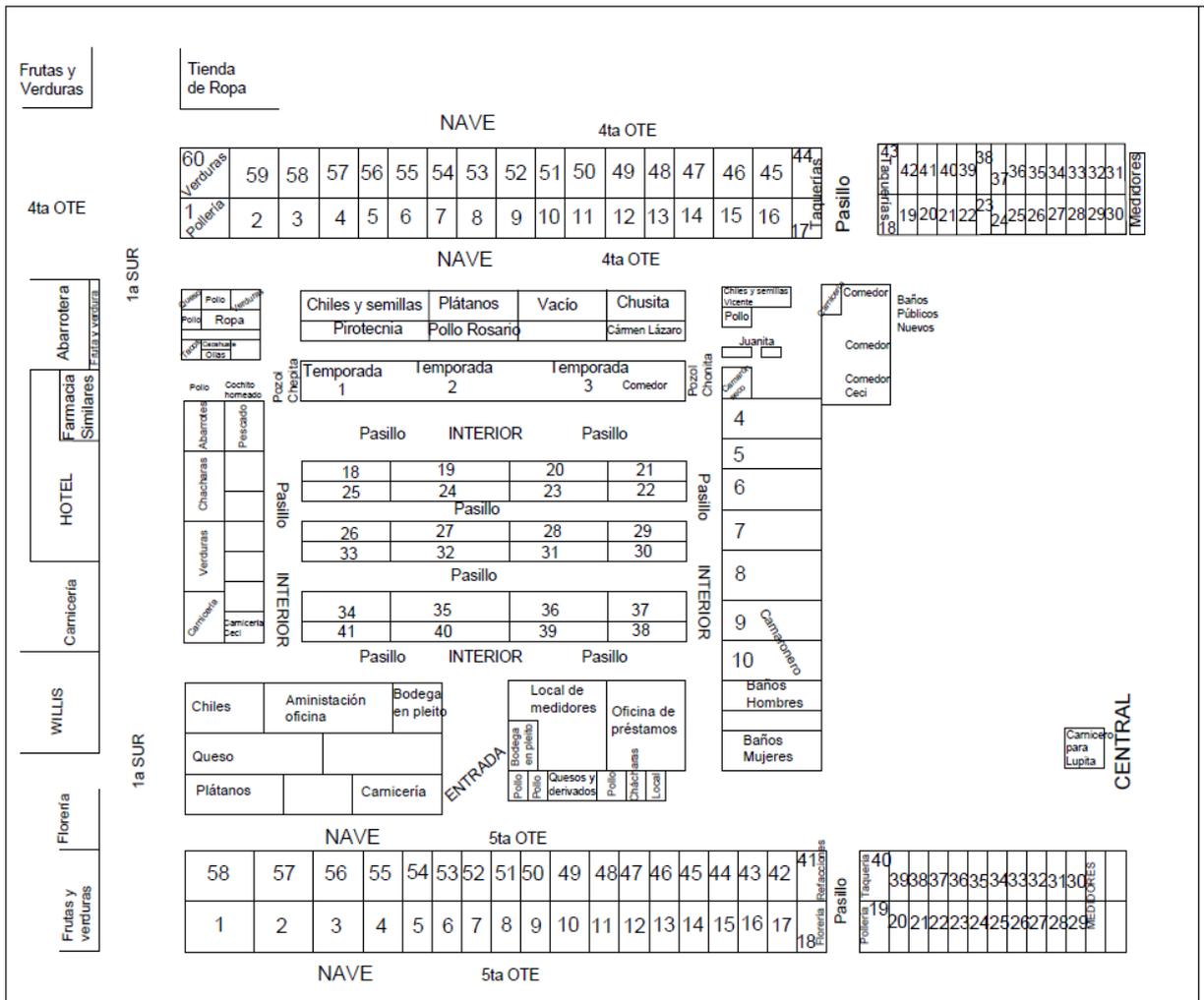


Figura 13. Croquis del mercado Dr. Manuel Velasco Suárez.



Figura 14. Puestos de los vendedores ambulantes

Se estima que alrededor de 130 vendedores ambulantes llegan al mercado durante la semana. Sin embargo, este número varía diariamente debido a diversos factores, como el clima, la época del año o la falta de transporte para llevar su mercancía. En caso de que llegue un nuevo vendedor ambulante que no pertenezca a ninguna comunidad o localidad de Ocozocoautla, se le solicita de manera cortés que se retire. Es importante señalar que existen ciertas diferencias entre los locatarios y los vendedores ambulantes, lo cual genera conflictos dentro del mercado

En cuanto a los servicios que se encuentran dentro del mercado son los siguientes:

- ❖ Secretaría de Economía y del Trabajo: Programa de créditos a locatarios y pequeños comerciantes.
- ❖ Agua
- ❖ Pago de servicios (Pago del agua)
- ❖ Baños públicos
- ❖ Vigilancia de dos policías municipales.

6.1.2 Generación y composición de residuos

En cuanto a la generación y composición de residuos, los resultados revelaron que en el mercado se producen 2.23 ton/día de RME ¹ (Tabla 12). En términos mensuales, el mercado genera 66.9 toneladas, lo que se traduce en una producción anual de 802.8 toneladas de RME.

¹ Solo se dispone de un único dato sobre la generación de RME en el mercado, ya que la administración municipal (2021–2024) permitió realizar el estudio de generación y composición únicamente durante un día.

Por otro lado, de acuerdo con los resultados del estudio de caracterización (Tabla 13), se observa que la materia orgánica es el subproducto más representativo, constituyendo el 85% del total generado, lo que equivale a 1.9 ton/día. Con estos datos y teniendo en cuenta las 26.31 ton/día de materia orgánica que se genera en la cabecera municipal y comunidades cercanas a las que se le ofrece el servicio de recolección (Santiago 2023), la fracción orgánica proveniente del mercado representa el 7.22% de la generación total de los residuos orgánicos que en la cabecera municipal municipio se producen. Otros subproductos reciclables identificados son el cartón (3%) y el PET (1%).

Tabla 12. Registro del peso de los RME generado en el mercado

PCV	PCC	Peso de los RME
9610 kg	11840 kg	2230 kg

PCV: Peso del camión vacío. PCC: Peso del camión con carga.

Al comparar estos resultados con tres estudios de generación y composición de RME en mercados, se identificó que presentan subproductos similares al análisis realizado en el presente estudio. Por ejemplo, Buenrostro et al., (1999), reportan que la materia orgánica representó el 79.22%, los plásticos el 3.18%, el papel y cartón el 9.54%, y el aluminio el 0.06%. Por su parte, Acosta (2022) y Lira (2016), encontraron que en los mercados de Veracruz, la materia orgánica constituye el 84.19%; mientras que el papel y cartón representan el 2.1%; el PET el 1.9%, y el unigel el 0.54%.

En contraste, en el mercado Dr. Manuel Velasco Suárez se identificaron otros subproductos no mencionados en estudios previos, como los pañales desechables y los huesos. Con base en esta comparación, se concluye que la materia orgánica es el componente predominante de los residuos generados en

los mercados por lo que más adelante, se muestran los resultados de la evaluación del tratamiento de la materia orgánica.

Tabla 13. Selección y cuantificación de subproductos

N°	Subproductos	Peso en kg	% en peso
1	Materia orgánica	52.85	85.0
2	Cartón	1.95	3.0
3	Papel	1.10	2.0
4	Naylon	2.60	4.0
5	PET	0.35	1.0
6	Otros plásticos	0.25	0.4
7	Aluminio	0.35	1.0
8	Pañales desechables	0.30	0.4
9	Unicel	0.45	1.0
10	Huesos	1.90	3.0

6.1.3 Manejo interno de los residuos

Durante la administración municipal (2018 - 2021), la disposición de los RME generados en el mercado consistía en que los locatarios y vendedores ambulantes los depositaban en contenedores o los almacenaban en una bodega especial para la basura. Esta práctica, que se mantuvo durante años, provocaba la proliferación de fauna nociva como ratas, moscas y cucarachas.

Con la entrada de la administración municipal del periodo 2021 - 2024, se implementaron medidas para eliminar los contenedores de basura cerca del mercado y evacuar la bodega, motivadas por la falta de conciencia ambiental entre los visitantes y comerciantes del mercado. En su lugar, se estableció un sistema en el que el camión de la basura recoge dos veces al día. El primer recorrido tiene lugar a las 8:00 a.m., el camión llega vacío al mercado y que, tras recolectar residuos, continúa su ruta habitual hasta llenarse y dirigirse al SDF. El segundo recorrido se realiza entre la 1:00 y las 2:00 p.m., momento en el que el

camión suele llevar RSU recolectados previamente. Durante cada parada, los comerciantes se acercan al camión para depositar sus residuos, utilizando costales, cajas o rejillas para entregarlos al personal de limpieza. El camión permanece sobre la calle Quinta Oriente por un lapso de entre 15 y 20 minutos para facilitar esta actividad. Cabe destacar que, el día domingo, el camión solo realiza un recorrido matutino para recoger los residuos del mercado.

Es importante señalar que la separación de residuos en el mercado es limitada, ya que tanto los locatarios como los vendedores ambulantes carecen de conocimientos sobre su correcta clasificación y aprovechamiento. Esta situación se debe, en gran parte, a la falta de interés y a la ausencia de iniciativas por parte de administraciones municipales anteriores para transformar dicha realidad.

Respecto algunas acciones que hacen los locatarios y vendedores ambulantes de manera inconsciente para aprovechar parte de los residuos orgánicos que generan, es vender las frutas y verduras que están en estado de descomposición (como hojas de lechuga, tomates o zanahorias) para el consumo de animales de traspatio. Por otro lado, el personal de limpieza realiza una primera separación superficial de residuos valorizables como PET y cartón para venderlos al finalizar su jornada laboral y de esta manera obtener un ingreso extra.

Por otra parte, en el SDF se lleva a cabo la recolección de residuos valorizables por parte de recolectores informales que habitan en las inmediaciones del relleno sanitario. Esta actividad representa su principal fuente de sustento económico, según lo referido en una conversación directa con uno

de los recolectores. Actualmente, se estima que seis familias se dedican a esta labor, algunas de ellas con hasta 30 años dedicándose a esta actividad. Los materiales que recolectan con mayor frecuencia incluyen: PET, playo, papelería de oficina, periódico, metal, latas, cartón, naylon y cobre. Los residuos recuperados se comercializan por kilogramo cada ocho días con un comprador que acude directamente a sus viviendas. Esta actividad les genera ingresos semanales de entre 2,000 y 2,500 pesos por familia.

6.2 Evaluación del tratamiento para la fracción orgánica de los RME

A continuación, se explica detalladamente los resultados de los dos monitoreos de compostaje que se realizaron para evaluar el proceso de degradación del subproducto más representativo de los RME.

6.2.1 Monitoreo de la temperatura

La temperatura es un factor crucial en el compostaje, ya que acelera el proceso y elimina patógenos perjudiciales (*Escherichia coli*, *salmonella sp.*, quistes, esporas de hongos fitopatógenos) para el suelo, las plantas, los animales y los seres humanos. Alcanzar temperaturas termofílicas durante el compostaje es esencial, ya que no solo permite la eliminación de estos microorganismos dañinos, sino que también acelera la degradación de la materia orgánica (Hafeez et al., 2018; Zapata-Hernández, 2009).

En la Figura 15, se observa la evolución de la temperatura durante el proceso de compostaje para las dos pilas monitoreadas. Ambas pilas alcanzaron la etapa mesófila en las primeras 48 horas, y luego la temperatura se elevó hasta llegar a la etapa termofílica en el día 3 del proceso, con registros de 56 y 50 °C, para la pila 1 y 2, respectivamente. En la etapa termofílica, que ocurre a temperaturas entre 40 y 70 °C, se produce una descomposición activa, en contraste con la fase mesófila (Hafeez et al., 2018). Durante esta fase, los organismos mesófilos mueren o se inactivan, lo que lleva a un aumento en la población y diversidad de bacterias termofílicas y/o termotolerantes, actinomicetos y hongos (Chennaoui et al., 2018).

En el caso de la pila 1, a partir de la segunda semana, la temperatura comenzó a aproximarse a la de la temperatura ambiente. En los días siguientes, se observó un comportamiento asintótico entre ambos perfiles de temperatura, lo que denotó el inicio de la etapa de enfriamiento. Para la pila 2, la etapa termofílica se mantuvo durante una semana, alcanzando una temperatura máxima de 59.25 °C en el día 5 del proceso. Esta ligera diferencia en el tiempo de estabilización entre ambas pilas, puede atribuirse al tipo de residuos predominantes de la pila 1. Además, se registraron variaciones en el volumen inicial de cada pila al momento de su instalación, lo que pudo influir en la dinámica térmica observada durante la fase mesofílica. Como resultado, se evidenciaron ligeras diferencias en las curvas de temperatura de ambas pilas durante esta etapa.

Es importante mencionar que ambas pilas presentaron una etapa de enfriamiento con perfiles similares; solo que la pila 1 concluyó esta etapa antes, hacia el día 14 del proceso. Después de ese tiempo, su temperatura se mantuvo prácticamente constante y a la par de la temperatura ambiente, a pesar de humedecer y airear los sustratos. Un comportamiento similar lo observó la pila 2 a partir del día 22, y que marcó el inicio de la estabilización de los residuos. En términos generales, el tiempo de estabilización de los sustratos para ambas pilas fue rápido, lo que puede deberse a que los residuos orgánicos ensayados en el presente estudio, constituidos por residuos de hojas de lechugas, repollos, tomate, tallos de flores, piñas, sandías, guineos, papas, etc., son considerados residuos altamente biodegradables.

Para el presente estudio, y de acuerdo con lo observado en la Figura 15, se puede concluir que los residuos composteados para las pilas 1 y 2 se estabilizaron en un tiempo de 14 y 22 días, respectivamente, y de acuerdo al análisis estadístico realizado, hubo diferencias significativas ($p < 0.05$) entre los tiempos de estabilización de las pilas monitoreadas. Aun partiendo del mayor tiempo de estabilización registrado en la pila 2 (22 días), sigue siendo un tiempo considerablemente menor que el reportado en otros estudios, por ejemplo, Sauri-Riancho et al., (2002), monitorearon el proceso con desechos cítricos y alcanzaron la estabilización en un periodo de 35 a 53 días, o el reportado por Arenas (2017), quien utilizó residuos de cáscaras de frutas, verduras y restos de comida, alcanzando la estabilización en un lapso de 60 días, e incluso fue menor que el estudio realizado por Vidal (2023), quien obtuvo la estabilización en 39.3 días utilizando restos de cocina, cáscaras de frutos, semillas, tubérculos, entre otros.

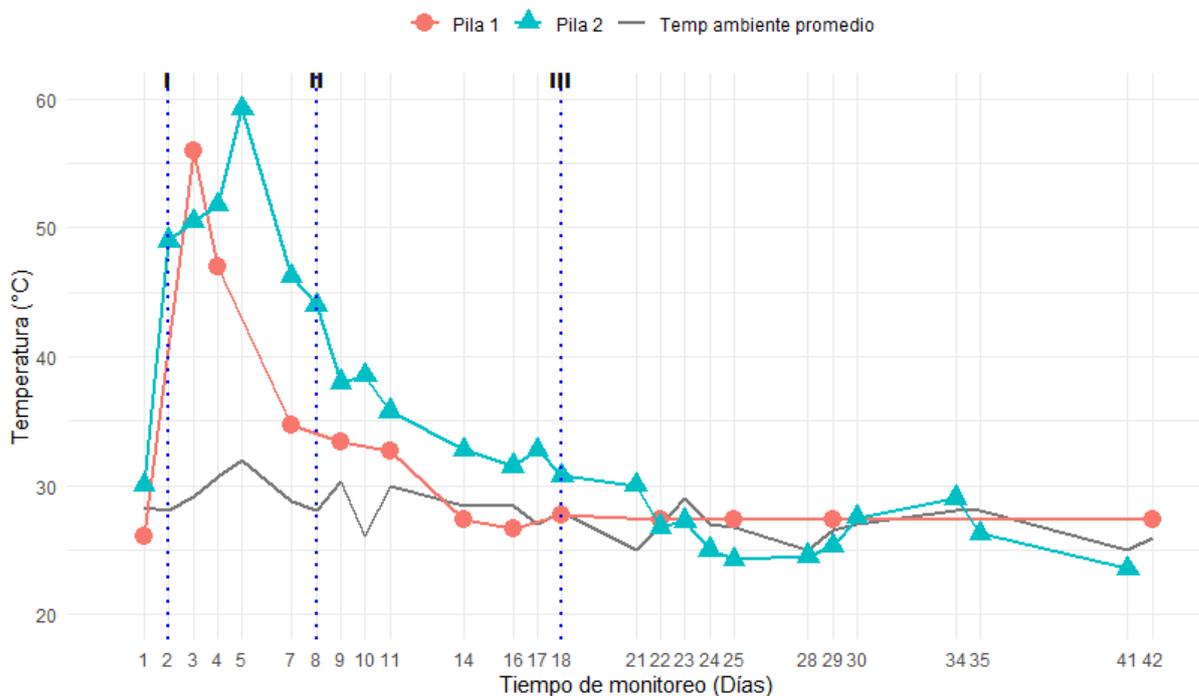


Figura 15. Evolución de la temperatura durante el proceso de compostaje.

Dónde: (I) etapa mesofílica, (II) etapa termofílica y (III) etapa de enfriamiento.

6.2.2 Monitoreo del pH

Respecto al parámetro de pH, (Figura 16), se observó que la pila 1 alcanzó un valor de 7.08 en el primer día. En los días siguientes, el pH se mantuvo ligeramente por encima de 7, con un promedio de 7.76. En cambio, la pila 2 registró un valor de 5.35 en el día 3 del proceso, atribuible a la presencia de residuos ácidos, que suelen aportar valores bajos de pH debido a su riqueza en ácidos orgánicos además de los procesos iniciales de degradación que conducen a la generación de compuestos intermedios ácidos de menor peso molecular. Sin embargo, en los días posteriores, ambas pilas se mantuvieron dentro del rango recomendado de 6 a 8 para productos finales de buena calidad (Gutiérrez-González et al., 2024). Estos ascensos coincidieron con los días de mayor actividad microbiana en la etapa termofílica.

Durante la etapa de enfriamiento, se mantuvo la misma tendencia del rango de pH, lo que, según Samaniego (2016), indica que la composta está estabilizada o madura, además de ser crucial para la recuperación de suelos degradados (González, 2023). Esto sugiere que el proceso de descomposición se desarrolló en condiciones adecuadas para la actividad de los microorganismos responsables de la descomposición de la materia orgánica, y siempre los procesos se mantuvieron alejados de valores no favorables (pH entre 4 y 5) que retrasan el buen desarrollo del compostaje (Tchobanoglous et al., 1994). En general, durante todo el proceso, el pH se mantuvo entre 7 y 8.3, finalizando con un valor de pH de 7.8 en ambas pilas.

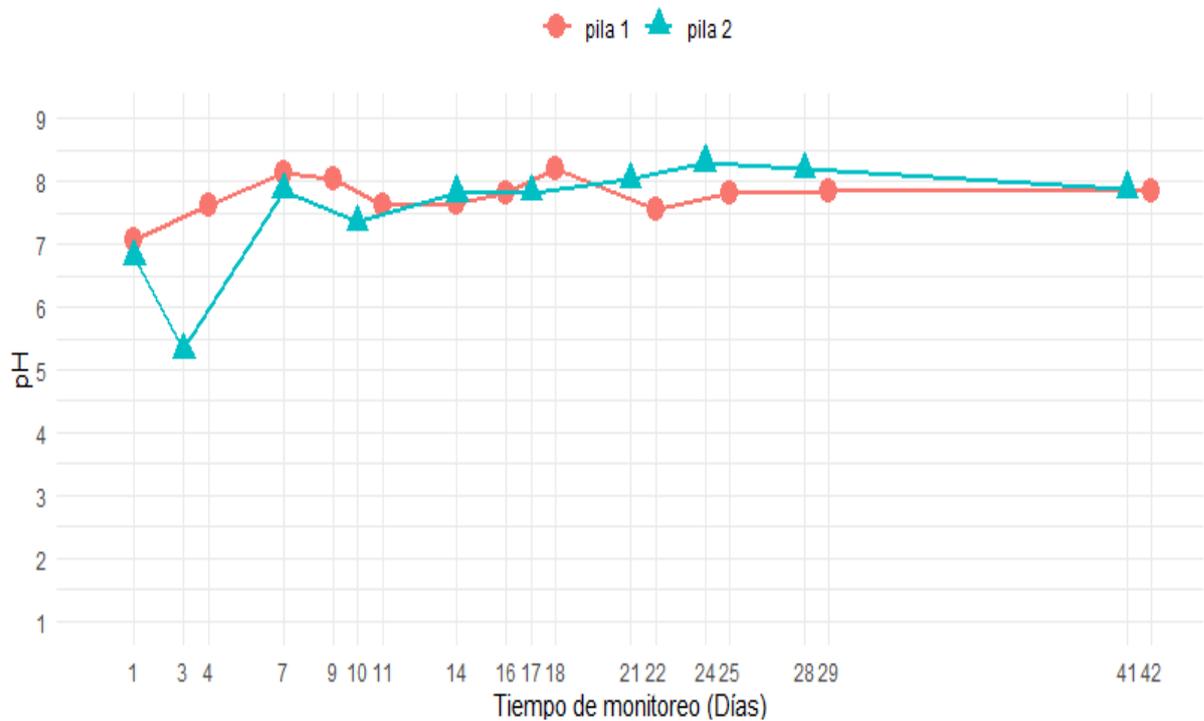


Figura 16. Comportamiento del pH durante el proceso de compostaje.

6.2.3 Contenido de humedad

El contenido de humedad es crucial en el compostaje, ya que influye en el crecimiento bacteriano. Los microorganismos necesitan agua para sus funciones fisiológicas, y sin ella no pueden sobrevivir. (Garro, 2016; Silva et al., 2003). En la Figura 17, se observan los registros de humedad presentados en ambos monitoreos. En el caso de la pila 1, el primer registro fue de 71.62%, este alto nivel de humedad se debe principalmente a las características del sustrato, el cual estuvo dominado por hojas verdes frescas, lo que indica que estos residuos orgánicos tienen una alta capacidad de retención de agua.

Sin embargo, la pila 2 en el día 3 y 7 presentó un porcentaje ligeramente superior al 70%, lo cual se atribuye a las lluvias ocurridas durante esos días del monitoreo, es decir, se mantuvo al límite del rango recomendado, esto podría haber creado un ambiente anaeróbico, ralentizando la descomposición y

produciendo malos olores. Para evitar estos posibles efectos, se añadieron hojas secas para reducir el porcentaje de humedad, y favorecer un mejor desarrollo de la actividad microbiana. Para los siguientes días se mantuvo en promedio en 62.15% de humedad.

En general, los registros semanales de humedad de ambos monitoreos se mantuvieron entre el 40 y el 70%. Según Arízaga-Gamboa & Fernández-Florín, (2023), estos valores están dentro del rango recomendado para el adecuado desarrollo de la actividad microbiana. Aunque otros autores recomiendan valores más estrechos en humedad, tales como Valderrama (2013) (40-60%), o Sauri-Riancho et al. (2002) (50-70%), pero en general, todos coinciden en rangos muy similares. Fuera del rango inferior mencionado, solo se observó una lectura (34.54%) hacia el día 14 en la pila 1.

El último dato de humedad registrado en la pila 1, correspondiente al día 29, fue de 16.78%. Esto no representó un problema, ya que para ese momento el sustrato ya estaba estabilizado. Según Bohórquez (2019), una composta estabilizada con un contenido de humedad por debajo del 20% puede utilizarse como bioabono para fines agrícolas, siempre que cumpla con las condiciones sanitarias, la ausencia de semillas viables de malezas y los requisitos nutricionales, especialmente en cuanto a la concentración de nitrógeno, fósforo y potasio.

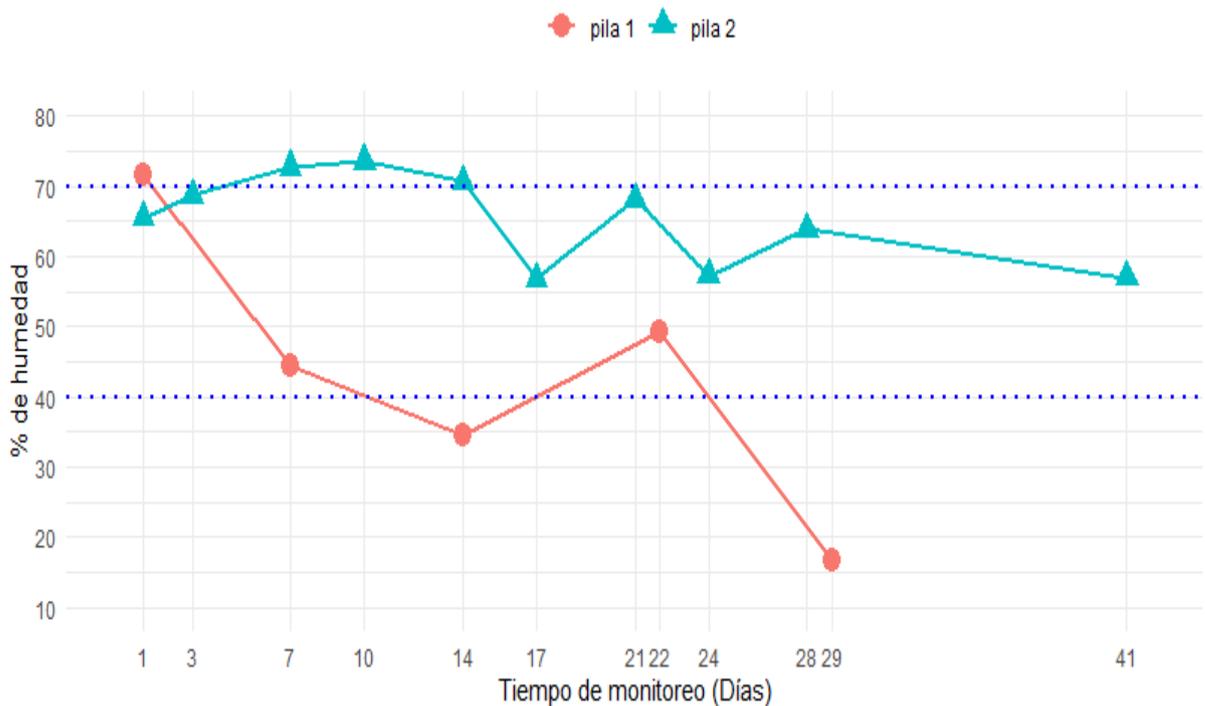


Figura 17. Registros del contenido de humedad durante el desarrollo del proceso. Las líneas punteadas representan el rango recomendado.

6.2.4 Sólidos volátiles y cenizas

Los resultados de los SV de la pila 2, se muestran en la Figura 18, donde se observó que el primer registro de SV fue del 96.3%, valor alto pero atribuible al uso de materiales homogéneos, frescos y netamente orgánicos (Sauri-Riancho et al., 2002). En los días posteriores, esto es, del día 3 al 17, se observó un descenso gradual en los SV hasta llegar a valores del orden del 45%, mismo que se mantuvo para los días siguientes y hasta su última determinación hacia el día 41. En general, el seguimiento de la evolución de los SV es importante porque permite ver con claridad el tiempo en el cual los sustratos comienzan a alcanzar la estabilización. Así, en el presente estudio puede verse que los valores registrados para la concentración de SV hacia los días 17-21 en adelante se mantienen casi constantes, y coinciden con los registros bajos de temperatura

obtenidos en la pila 2 y que son equiparables a los de la temperatura ambiente (figura 15), lo que demuestra la estabilidad del producto final.

Por otro lado, se observó una relación inversa entre SV y el porcentaje de cenizas. A medida que los SV disminuyen, el porcentaje de cenizas aumenta. Esto se debe a que los SV son compuestos orgánicos que se descomponen durante el proceso de compostaje. Las cenizas, por otro lado, son los residuos inorgánicos que permanecen tras la combustión (alrededor de 800° C). A esta temperatura, la fracción orgánica se volatiliza, convirtiéndose en CO₂ y vapor de agua, dejando únicamente la fracción inorgánica en forma de cenizas (Ramos et al., 2001).

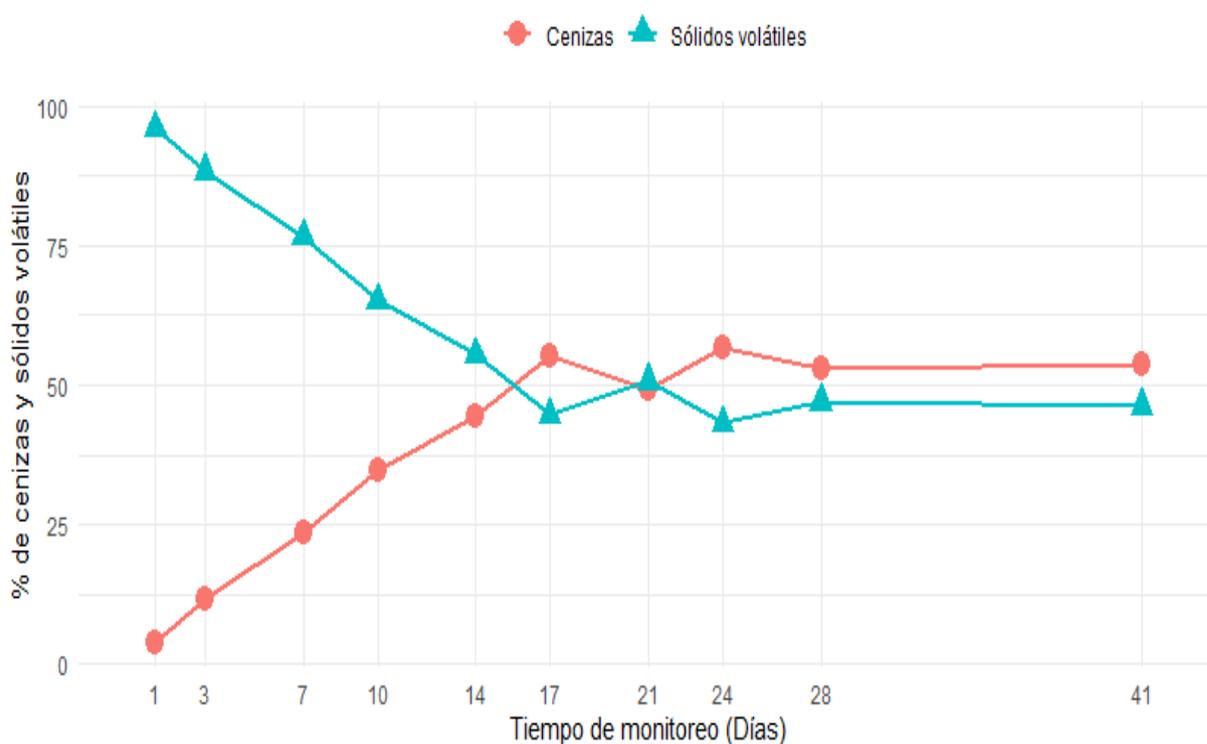


Figura 18. % de sólidos volátiles y cenizas.

6.2.5 Calidad del bioabono

En relación con la calidad del bioabono, se observó que los parámetros analizados (Tabla 14), se encontraron en rangos de alto a muy alto, esto de acuerdo con la NOM-021-RECNAT-2000, excepto el parámetro de nitrógeno, que observó una calidad media para la pila 1. Cabe destacar que el fósforo disponible en ambos bioabonos, superó por mucho el valor considerado de “muy alto”, que es de 15,1 mg/kg. En general, los bioabonos obtenidos, presentaron una calidad alta, adecuada para su uso como abono orgánico en cultivos agrícolas (Rosas-Martínez et al., 2021)

Respecto a la conductividad eléctrica, se obtuvieron los siguientes datos: para la pila 1 (0.5 dS/m) y para la pila 2, (1.3 dS/m). Según la NOM-021-RECNAT-2000, estos valores presentan efectos de salinidad desde muy ligeros a despreciables. De acuerdo con autores como Hanníbal et al., (2016), es preferible que la composta presente valores bajos de conductividad eléctrica, puesto que la existencia de sales se asocia a la concentración de elementos como sodio y potasio, así como de iones cloruro, nitrato, sulfato y sales de amonio, que en concentraciones elevadas inhiben el crecimiento de las plantas.

Tabla 14. Calidad del bioabono

Parámetro	Valor obtenido			Rangos NOM-021-RECNAT-2000
	Pila 1	Pila 2	Unidades	
Nitrógeno	0.40	1.08	%	Muy bajo (menor de 0,15) Bajo (0,16 - 0,30) Medio (0,31 - 0,80) Alto (0,81 - 1,20) Muy alto (mayor de 1,21)
Fósforo disponible	73.11	897.50	mg/kg	Muy bajo (menor de 5,0) Bajo (5,51 - 8,0) Medio (8,1 – 11,0) Alto (11,1 - 15,0) Muy alto (mayor de 15,1)

Potasio disponible	2.50	22.25	Cmol/kg	Muy bajos (menor de 0,2) Bajo (0,21-0,3) Medio (0,31-0,6) Alto (mayor de 0,61)
Materia orgánica	26.92	23.96	%	Muy bajos (menor de 4,0) Bajo (4,1-6,0) Medio (6,1-10,9) Alto (11,0-16,0) Muy alto (mayor de 16,1)
Capacidad de Intercambio de Cationes	36.66	41.79	Cmol/kg	Muy baja (menor de 5,0) Baja (5,1 – 15,0) Media (15,1 - 25,0) Alta (25,1 - 40,0) Muy alta (mayor de 40,1)

El respaldo de los resultados de la calidad del bioabono se encuentra plasmado en el informe que proporcionó el laboratorio de ECOSUR en el Anexo 8.

6.2.6 Rendimiento del bioabono

En cuanto al rendimiento del proceso de compostaje, Gallardo (2013) menciona que este debería estar alrededor del 40%, y que dicho rendimiento está influenciado por el tipo de sustrato que se utiliza para instalar la pila. En este estudio se obtuvieron rendimientos del 49 y 14% (v/v) para la pila 1 y 2, respectivamente (Tabla 15). Esta diferencia puede ser atribuible a que en la pila 2 predominaron sustratos como frutas (piñas, sandías) y verduras (lechugas, repollos), los cuales generan un mayor volumen al momento de montar la pila además de ser altamente biodegradables y con alta retención de agua. En general el rendimiento promedio para ambas pilas fue del 31.5% v/v, valor que queda relativamente abajo del 40% reportado por Sauri-Riancho et al., (2002) en el monitoreo de 4 pilas diferentes.

Tabla 15. Rendimiento de la composta

	Pila 1	Pila 2
Volumen inicial de los residuos (L)	204	1214
Volumen final del producto (L)	100	170
Rendimiento (%)	49	14

Al revisar la literatura disponible, se observa una tendencia en la que, al usar una menor cantidad de sustrato al instalar la pila de compostaje, resulta en un mayor rendimiento. Por ejemplo, Vargas-Pineda et al., (2019) instalaron 3 pilas, cada una con 24 kg de sustrato, y obtuvieron un rendimiento promedio de 61.7%. Otro estudio Riera (2022), con 480 kg de sustrato, reporta un rendimiento de 67.7%.

En contraste, cuando se emplea una mayor cantidad de sustrato, el rendimiento tiende a ser menor. Por ejemplo, Vidal (2023) alcanzó rendimientos de aproximadamente 6.4 a 8.4% al realizar repeticiones con tres tratamientos diferentes, con un promedio de 3,730.1 kg de sustrato por pila. Este comportamiento puede estar relacionado con la altura mínima inicial recomendada durante el proceso de compostaje (0.80 a 1.50 m) (Flintoff, 1984; Román et al., 2013), donde si la altura inicial es inferior a estos valores, el calor generado por los microorganismos puede perderse rápidamente y no favorecer condiciones para una degradación más homogénea y completa de los residuos.

6.3 Dimensiones de las jaulas de almacenamiento de los subproductos valorizables

Tal como se indicó previamente en la metodología, para los demás subproductos valorizables se estimó el volumen de las jaulas de almacenamiento temporal, con el fin de facilitar su valorización y obtener un beneficio económico. Los resultados de este cálculo se presentan en la Tabla 16:

Tabla 16. Volumen para las jaulas de almacenamiento temporal

Subproductos valorizables	Generación (kg/semana)	% que representa	Peso volumétrico (kg/m ³)	Volumen (m ³ /semana)	Volumen con factor de seguridad (m ³ /semana)
PET	156.1	1	22.225	7.02	8.424
Aluminio	156.1	1	32.5	4.80	5.76
Cartón	468.3	3	44.66	10.48	12.576
Papel	312.2	2	60.87	5.12	6.144
Total	1,092.7	7	---	27.42	---

Según la tabla anterior, el 7% restante de los subproductos valorizables equivale a 1,092.7 kg/semana de residuos que continuarían siendo destinados al relleno sanitario. En caso de ser valorizables; la generación del PET sería de 156.1 kg/semana, con un volumen de 7.02 m³ si no se compacta; en caso de compactarse, se podría almacenar una mayor cantidad en la misma jaula. El cartón alcanza una generación de 468.3 kg/semana, con un volumen de 10.48 m³, mientras que el papel contribuye con 312.2 kg/semana y un volumen de 6.144 m³, por último, el aluminio alcanza una generación de 156.7 kg/semana con un volumen de 4.80 m³.

Estos cálculos de volumen de almacenamiento semanal se les incorporaron un factor de seguridad del 20%, para prever posibles inconvenientes durante el día de acopio y permitir la conservación de los residuos por días adicionales.

Con base en el volumen estimado, es posible proponer el dimensionamiento de las jaulas de almacenamiento, las cuales pueden ser

construidas con malla ciclónica. En la Tabla 17 se presentan las medidas sugeridas. Se requiere una jaula por cada subproducto, por lo que en este caso serían necesarias tres. El diseño detallado de las jaulas se expone en el siguiente capítulo, correspondiente al plan de manejo

Tabla 17. Dimensiones de las jaulas de almacenamiento temporal

Subproductos valorizables	Dimensionamientos (m ³)			
	Largo	Ancho	Altura	Total
PET	2	2	2.20	8.8
Aluminio	1.50	2	2.20	6.6
Cartón	3	2	2.20	13.2
Papel	1.50	2	2.20	6.6

VII. PROPUESTA DEL PLAN DE MANEJO

Antes de iniciar, es fundamental mencionar que este plan de manejo se ha desarrollado conforme a lo establecido en la NOM-161-SEMARNAT-2011. Dicha norma define los criterios para la clasificación de los RME y determina cuáles deben someterse a un plan de manejo.

En relación con lo mencionado y con los resultados obtenidos en la presente investigación, se puede afirmar que los residuos generados diariamente en el mercado municipal Dr. Manuel Velasco Suárez, en el municipio de Ocozocoautla de Espinosa, Chiapas, corresponden a RME. Estos requieren un plan de manejo adecuado para optimizar su gestión, evitando que, en la última etapa del proceso, se alcance el SDF, lo que generalmente provoca una rápida acumulación junto con los RSU que se genera en el municipio. Como consecuencia, la vida útil del relleno sanitario se reduce significativamente, terminando antes del tiempo proyectado.

A continuación, se presentan los elementos generales que debe incluir el plan de manejo. Cabe señalar que algunos apartados aparecerán en blanco o con la leyenda "ND" (no disponible), ya que esta sección tiene un propósito ejemplificativo y únicamente ilustra cómo debe elaborarse el registro ante las autoridades competentes del estado, en caso de que la administración del mercado municipal haga el registro.

1. INFORMACIÓN GENERAL:

1.1 Nombre, denominación o razón social del solicitante

ND

1.2 Nombre del representante legal

ND

1.3 Domicilio para oír y recibir notificaciones

ND

1.4 Modalidad del Plan de Manejo y su ámbito de aplicación territorial

Es local

1.5 Residuo(s) objeto del plan

- Fracción orgánica
- Cartón
- PET
- Aluminio
- Papel

1.6 Diagnóstico del residuo

En el mercado municipal Dr. Manuel Velasco Suárez en el municipio de Ocozocoautla de Espinosa, Chiapas, la generación de residuos es de 2.23 toneladas diarias. De esa cantidad el 85% corresponde a la fracción orgánica, la cual posee un alto valor de valorización mediante el compostaje. El 7% está constituido por subproductos reciclables, mientras que el 8% restante corresponde a residuos no valorizables.

1.6.1 Principales materiales que componen el residuo

Derivado del estudio de generación y caracterización de los RME que se realizó en el mercado, los subproductos que componen al residuo son:

- Materia orgánica
- Cartón
- Naylon
- PET
- Otros plásticos
- Aluminio
- Pañales desechables
- Unicel
- Huesos

1.6.2 Manejo actual del residuo

En este apartado se hará una descripción de las diferentes etapas del manejo actual de los residuos que se producen en el mercado municipal, esto de acuerdo con la información obtenida en los recorridos de campo y lo proporcionado por H. Ayuntamiento.

1.6.2.1 Recolección y transporte

Para la recolección de residuos se utiliza un camión tipo volteo marca Hino Serie 500. La ruta asignada al mercado requiere habitualmente de tres a cuatro personas, incluyendo un chofer y entre dos y tres recolectores. El camión realiza dos recorridos diarios, recolectando los residuos generados en el mercado. El primer recorrido tiene lugar a las 8:00 a.m., el camión llega vacío al mercado y, tras recolectar los residuos, continúa su ruta habitual hasta llenarse y dirigirse al

SDF. El segundo recorrido se realiza entre la 1:00 y las 2:00 p.m., momento en el que el camión suele llevar RSU recolectados previamente. El camión permanece sobre la calle Quinta Oriente por un lapso de entre 15 y 20 minutos para que los locatarios y vendedores ambulantes entreguen sus residuos. Cabe destacar que, el día domingo, el camión solo realiza un recorrido matutino para recoger los residuos del mercado. Una vez recolectado los residuos, son transportados al relleno sanitario.

1.6.2.2 Disposición final

El sitio de disposición final recibe no solo los residuos generados por el mercado municipal, sino también aquellos provenientes de la cabecera municipal y de las comunidades que cuentan con el servicio de recolección; es un relleno sanitario tipo C con dos celdas para la recepción final de los residuos con una capacidad de 46 mil 665 m³ y 13 mil 824 m³, respectivamente; con una superficie aproximada de 9 hectáreas. Este relleno inicio a operar en el año de 2016, con una inversión de \$16, 715,128.28. Las coordenadas geográficas son 16° 42' 48.6" N, 93° 31' 28.8 W. Partiendo de la cabecera municipal, se llega al SDF a través de la carretera internacional Tuxtla Gutiérrez - San Pedro Tapanatepec, recorriendo una distancia de 21.3 km. La forma de operar en el relleno es por el método de área, donde los residuos son dispuestos para posteriormente realizar su tendido y compactación. No se cuenta con ningún sistema de separación para aprovechar los subproductos que tienen algún valor económico.

1.6.3 Problemática ambiental, asociada al manejo actual del residuo

La gestión inadecuada de los residuos, particularmente cuando se realiza sin separación en la fuente ni aplicación de tratamientos previos a su disposición

final, conlleva una serie de consecuencias ambientales significativas. Estas prácticas no solo disminuyen el potencial de aprovechamiento de los materiales reciclables, sino que también incrementan los impactos negativos sobre el entorno natural y urbano. Entre las principales problemáticas se encuentran:

- Proliferación de fauna nociva
- Deterioro del paisaje
- Focos de contaminación por mezcla de residuos, incluso peligrosos.
- Contaminación del suelo y subsuelo e incluso de acuíferos.

1.6.4 Identificación del uso o aprovechamiento potencial del residuo en otras actividades productivas

El aprovechamiento de los distintos subproductos valorizables dependerá en gran medida tanto de una adecuada separación en la fuente, como del compromiso de la administración del mercado municipal. Para ello, será necesario actualizar el reglamento interno e incorporar disposiciones sobre el manejo adecuado de los residuos por parte de los locatarios y vendedores ambulantes, una vez realizada una campaña de concientización dirigida al personal que labora en el mercado. A continuación, se muestra una serie de puntos señalando las diferentes aplicaciones que se le puede dar a tales subproductos:

- **Fracción orgánica:** Los residuos orgánicos producidos en el mercado municipal pueden someterse a un proceso de tratamiento mediante compostaje, obteniéndose un bioabono de excelente calidad que se estabiliza en menos de 25 días. Este abono es apto para su aplicación en cultivos agrícolas, así como en parques y jardines, e incluso puede

utilizarse como material de cobertura en las operaciones del relleno sanitario. Se presenta en la Tabla 20 el análisis de costos asociado al bioabono obtenido.

- **Cartón, PET, aluminio y papel:** Estos subproductos pueden ser recuperados y revalorizados para recibir una remuneración económica por la venta de estos, y de esta manera usar ese dinero para mejorar las condiciones en el mercado.

1.6.5 Formas de manejo integral propuestas para el residuo

En este punto se describe a detalle todos los aspectos del plan de manejo con los residuos valorizables que se identificaron en el mercado.

❖ Actualización del reglamento interno del mercado:

En la actualidad el mercado municipal cuenta con un reglamento interno, y como primer paso, se propone la actualización del mismo con el objetivo de incorporar disposiciones específicas sobre el manejo adecuado de los residuos generados en los distintos locales. Esta actualización permitirá establecer responsabilidades claras a los diferentes negocios; y se centrará en la actualización de los puntos: 13, 14 y 16.

Reglamento interno del mercado

1. Pagará mensualmente la suma que como cuota tiene asignada en esta tarjeta y cada mes se le sellará la cantidad que le corresponda.
2. Los pagos deberán efectuarse puntualmente. En casos debidamente justificados, la administración podrá conceder un plazo máximo de tres días para realizar el pago. Transcurrido dicho periodo sin cumplimiento del debido pago, la administración quedará facultada para reasignar el

- espacio del local, a otro solicitante sin necesidad de justificar su decisión. Asimismo, podrá retirar las mercancías útiles que hayan sido abandonadas, levantando previamente un acta firmada por dos testigos.
3. No se permitirá realizar modificaciones o reparaciones en los puestos sin la autorización previa de la administración. Toda mejora quedará como beneficio del H. Ayuntamiento, sin que el ocupante pueda retirarla ni exigir compensación alguna.
 4. El local deberá ser utilizado únicamente para comercio, sin convertirlo en bodega, dormitorio, depósito u otros usos. Queda estrictamente prohibido consumir o vender bebidas embriagantes u otras sustancias prohibidas.
 5. No podrá ensanchar el puesto o tomar mayor extensión de la que se le conceda, siendo responsable de aseo interior y exterior del local y pasillos correspondientes, quien no acate el artículo que antecede, primero se le notificará, segundo sanción y tercero clausura del puesto.
 6. Queda estrictamente prohibido el sub-arrendo de los puestos, cuando se compruebe el caso, la administración tiene la facultad de cancelar inmediatamente el puesto.
 7. Por ningún motivo obstruirá el libre tránsito del puesto, colocando objetos o mercancía fuera del puesto.
 8. Los días sábados y domingos el horario de cierre será a las 15:00 horas, quedando estrictamente prohibido el ingreso al mismo después de este horario.
 9. Cuando la administración considere por alguna circunstancia bien justificada que el permiso concedido para ocupar un puesto en el interior

del mercado no debe continuar vigente, se le notificará al interesado o persona que en encuentre en el puesto, para que el locatario lo desocupe, sin que pueda alegar ningún derecho ante tribunales.

10. Toda infracción a las cláusulas que no establecen penas, será castigada con una multa de \$10.00 a 100.00 a juicio de la administración.

11. Los puestos no podrán ser transferidos sin previa anuencia de la administración.

12. El horario de apertura del mercado será de 06:30 horas y cerrará a las 16:00 horas, en los días festivos quedará a juicio de la administración. Previo aviso o notificación con un día de anticipación.

13. Separación obligatoria de residuos Todos los negocios, deberán realizar la separación adecuada de sus residuos sólidos, conforme a su giro comercial. La separación mínima incluirá las siguientes categorías:

- Fracción orgánica: (restos de alimentos, vegetales, tallos de flores, etc.). Los negocios que genere este residuo deberá contar con un bote de 20 litros exclusivo para residuos orgánicos, los cuales deberán trasladarse al contenedor correspondiente una vez lleno, de forma ordenada y conforme al horario establecido.
- Cartón, aluminio, PET y papel: estos residuos deberán ser dispuestos en las jaulas de almacenamiento temporal.
- Los residuos como: unicel, aluminio, pañales desechables, huesos, etc., serán entregados al camión recolector.

14. El incumplimiento de la separación de residuos será considerado una falta al presente reglamento. En caso de que se identifique a un puesto que no realice la clasificación adecuada de sus residuos o no cumpla

con los lineamientos establecidos para su disposición, la administración aplicará las sanciones correspondientes.

15. Sacar y depositar la basura a la hora que este el camión recolector de basura.

16. Los responsables de los negocios deben asistir a los talleres sobre el manejo de los residuos.

17. Ambas partes, habiendo leído y aceptado el reglamento, acuerdan que en caso de infringir alguna cláusula, se aplicarán las sanciones correspondientes.

De acuerdo con los puntos contemplados en el reglamento, se sugiere revisar las posibles sanciones a las cuales los locatarios pudieran hacerse acreedores, debido a que algunas de ellas parecen ser muy drásticas, y lejos de propiciar la sana convivencia entre ellos, pueden provocar lo contrario, específicamente en aspectos como lo mencionado en el punto 9.

❖ **Talleres de manejo de residuos sólidos:**

El siguiente paso es impartir talleres a los locatarios y vendedores ambulantes para que se familiaricen con las prácticas adecuadas de separación y aprovechamiento de los residuos y cumplan con el reglamento interno del mercado, tal como lo reportan Barradas, (2009) y Wehenpohl & Hernández, (2006). En estos talleres se abordaría temas como:

- Importancia de la separación de los residuos
- Separación primaria (orgánicos e inorgánicos)
- Cómo separar los residuos que se generan en sus negocios
- Uso correcto de las jaulas temporales de almacenamiento.

- Qué residuos orgánicos se puede compostar y cuáles se irán en el camión recolector.
- Beneficios ambientales al separar los residuos.

Se contempla la realización de entre uno y dos talleres por mes, en fechas diferenciadas para locatarios y vendedores ambulantes, con el fin de atender sus necesidades particulares y resolver dudas de manera más eficaz durante el proceso de cambio de hábitos en el manejo de residuos.

Estos talleres se llevarán a cabo durante un periodo estimado de seis meses a un año, con el objetivo de alcanzar un cambio sostenible en los participantes. En las siguientes sesiones, se reforzarán los conocimientos adquiridos y se ajustarán los contenidos temáticos de acuerdo con el nivel de comprensión y experiencia previa de los asistentes.

Para el desarrollo de los talleres, se utilizarán diversos recursos didácticos, tales como:

- Material visual: carteles informativos e instructivos sencillos.
- Dinámicas grupales y ejercicios participativos.
- Exposición interactiva con ejemplos prácticos vinculados al contexto del mercado.
- Sesiones de preguntas y respuestas para resolver dudas específicas de los participantes.

❖ **Separación de los residuos**

Como se mencionó anteriormente, los subproductos valorizables como la fracción orgánica, cartón, papel, aluminio y PET contarán con su respectivo plan de manejo. Para el caso del primero, la ruta a seguir será: almacenamiento in situ por los locatarios, traslado al contenedor central, recolección y transporte del H. Ayuntamiento a la planta de compostaje, procesamiento de la materia orgánica. Respecto al resto de subproductos la ruta a seguir será: almacenamiento in situ por los locatarios, una vez terminado su jornada laboral lo depositaran en las jaulas de almacenamiento temporal las cuales se encontrarían en el mercado, una vez pasado una semana de generación el H. Ayuntamiento deberá hacer el traslado a los diferentes centros de acopio para su valorización. A continuación, en los siguientes apartados se brindan a mayor detalle de las rutas a seguir

❖ **Plan de manejo de la fracción orgánica**

Este tipo de residuo es generado principalmente por giros como florerías, verdulerías, fruterías y establecimientos que expenden alimentos preparados. Cada negocio deberá disponer de un recipiente exclusivo de al menos 20 litros para el depósito de dichos residuos. Una vez lleno, estos deberán ser trasladados al contenedor central asignado para el almacenamiento temporal. El contenedor será transportado diariamente hasta la planta de compostaje para valorización de este subproducto.

Para atender la cantidad estimada de generación diaria, se destinará un contenedor con capacidad de 8 m³. Asimismo, será necesario designar a un

responsable con vehículo para el traslado del residuo al sitio donde se iniciará el tratamiento correspondiente (planta de compostaje).

❖ Instalación y monitoreo de las pilas de compostaje:

Teniendo en cuenta los resultados del estudio de generación y caracterización, además de las pruebas de estabilización evaluadas en el presente estudio, se generó la siguiente información en el diseño de la planta de compostaje y las jaulas de almacenamiento temporal para el resto de subproductos valorizables. Así, considerando que la generación diaria de la fracción orgánica es de 1.9 toneladas, lo cual equivale a un volumen de 7 m³ por día, se propone conformar cada pila de compostaje con los residuos orgánicos acumulados durante un periodo de tres días consecutivos.

Cada pila estará conformada por un volumen inicial de 21 m³, y tendrá las siguientes medidas estimadas: 4.5 m de largo por 1.5 m de ancho, lo que equivale a una superficie de 7 m² por pila. Por lo tanto, cada semana se conformarían dos pilas de compostaje.

Antes de la instalación de las pilas de compostaje, es necesario realizar una reducción del tamaño de partícula entre 3 a 5 cm, lo cual favorece la descomposición aeróbica eficiente. Este paso puede llevarse a cabo de forma manual (empleando machetes) o mediante el uso de una trituradora, lo que aceleraría significativamente el proceso.

Una vez acondicionados, los residuos orgánicos se depositarán en el área destinada a las pilas. Cada pila se formará con los residuos acumulados durante tres días consecutivos y, al completarse, deberá cubrirse con hojas secas y

estiércol, los cuales actúan como materiales estructurantes y fuentes adicionales de carbono y nitrógeno.

Durante las dos primeras semanas, será fundamental airear periódicamente las pilas para mantener condiciones óptimas que favorezcan el desarrollo microbiano, permitiendo una descomposición eficiente y evitando la generación de ambientes anaerobios. La elección entre un manejo mecanizado (mediante trituradora o volteadora) o manual dependerá de la inversión inicial disponible; sin embargo, se contempla que, en un inicio, el volteo se realice de forma manual, al menos con la participación de dos personas. El riego se efectuará utilizando mangueras, con el fin de mantener una humedad adecuada en las pilas.

El área requerida para cubrir la demanda del patio de estabilización es de aproximadamente 324 m², en la cual se proyecta la instalación de doce pilas de compostaje, suficientes para manejar seis semanas de generación orgánica. La Tabla 18 presenta una proyección del volumen anual estimado de composta. Como se mencionó previamente, el patio está diseñado para estabilizar la materia orgánica en ciclos de seis semanas, lo que equivale a un ciclo de producción de abono. Bajo esta lógica, se estima un mínimo de ocho ciclos completos por año, con una generación de 80.52 m³ de composta por ciclo. En consecuencia, al finalizar el año se proyecta una producción total de aproximadamente 644.16 m³ de composta.

Tabla 18. Proyección del volumen de composta obtenida por ciclos

Semanas	Volumen de rendimiento por semana (m ³)	N° de ciclos al año	Volumen de composta obtenida por ciclo (m ³)
1	13.42	1	80.52
2	26.84	2	161.04
3	40.26	3	241.56
4	53.68	4	322.08
5	67.1	5	402.6
6	80.52	6	483.12
7	93.94	7	563.64
8	107.36	8	644.16

La dinámica operativa del patio contempla lo siguiente:

- Durante las primeras tres semanas, se mantendrán activas seis pilas en proceso de estabilización, colocadas sobre una base de concreto pobre con pendiente del 2%, lo que evitará la infiltración de lixiviados al suelo y permite su captación y recirculación.
- Una vez transcurridas las dos semanas de mayor actividad microbiana, las pilas serán trasladadas lateralmente a un nuevo espacio dentro del patio. Esta maniobra se realiza cuando el volumen de lixiviado se ha reducido considerablemente, liberando el espacio original para la formación de nuevas pilas.
- Al menos tres veces por semana se tomará la temperatura de las diferentes pilas para un mejor control de este parámetro.
- Una vez que las pilas hayan alcanzado su fase de estabilización, serán trasladadas al área designada para su cribado.

- Posteriormente, el material tamizado se almacenará en el espacio previamente establecido para su resguardo temporal.

A continuación, en la figura 19 se presenta la propuesta de diseño del centro de compostaje, el cual está proyectado para procesar la generación de la materia orgánica del mercado. Para su implementación, se requiere un terreno con una superficie de 1000 m² (0.1 hectáreas). Dentro del diseño, se contemplan los siguientes espacios:

- Patio de estabilización
- Almacén del bioabono
- Insumos
- Almacén temporal de RSU
- Área de maquinaria

Se estima que el presupuesto total para la construcción del centro de compostaje asciende a aproximadamente \$3, 200,000 MXN, sin incluir el costo del terreno.

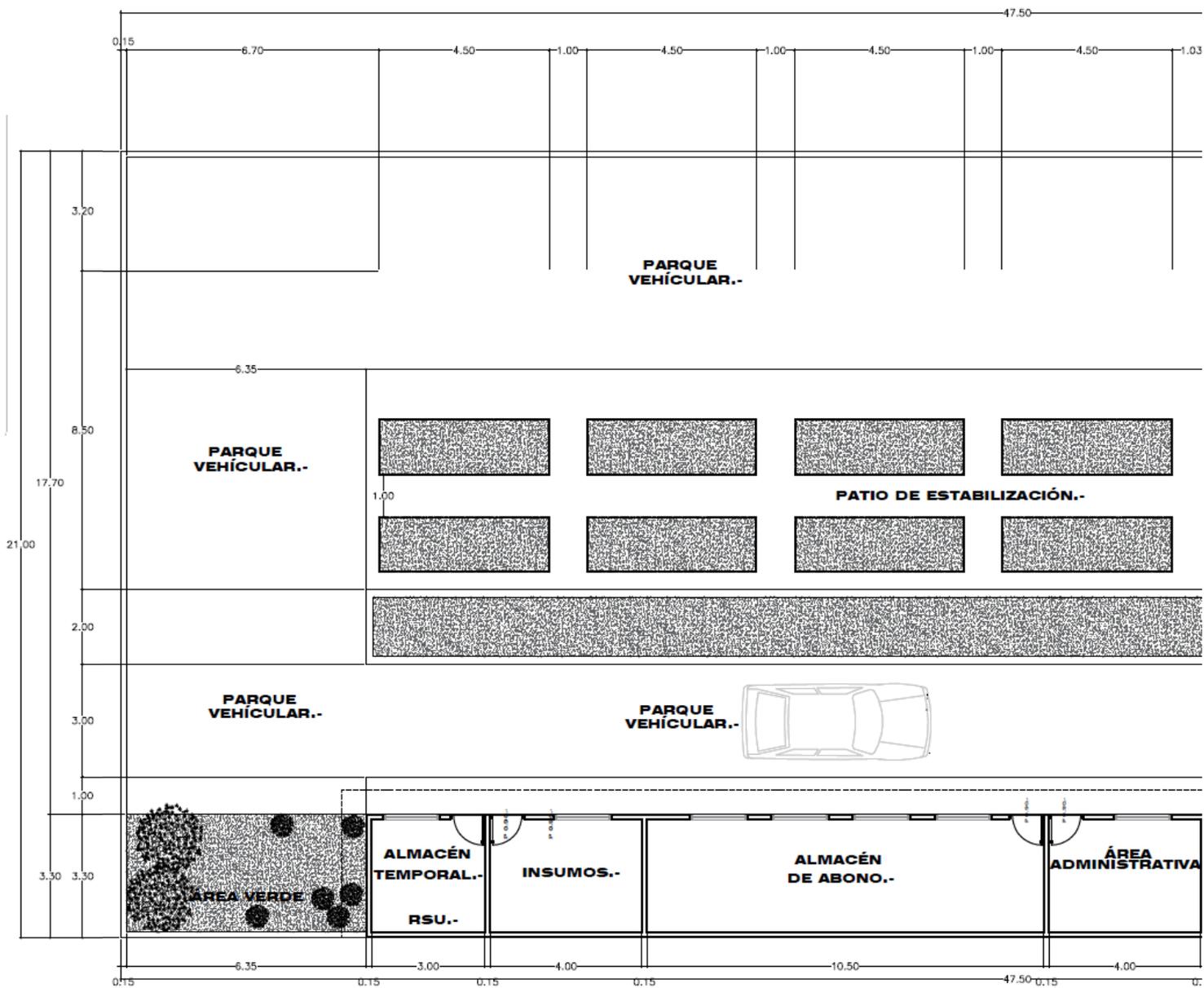


Figura 19. Propuesta del diseño de la planta de compostaje

El bioabono producido, se pretende que se utilice para la venta al público, o para usarlo en parques y jardines del Ayuntamiento.

❖ **Plan de manejo de los subproductos valorizables (cartón, PET, aluminio y papel):**

Considerando los talleres de concientización se prevé que cada negocio haya adoptado el hábito de separar adecuadamente sus residuos, conforme a los lineamientos establecidos. Por ello, antes de finalizar su jornada laboral, cada locatario deberá disponer sus residuos en las jaulas de almacenamiento temporal correspondientes, garantizando así un manejo ordenado y eficiente de los materiales valorizables. En las figuras 20 y 21 se muestran la propuesta del diseño de las jaulas de almacenamiento temporal.

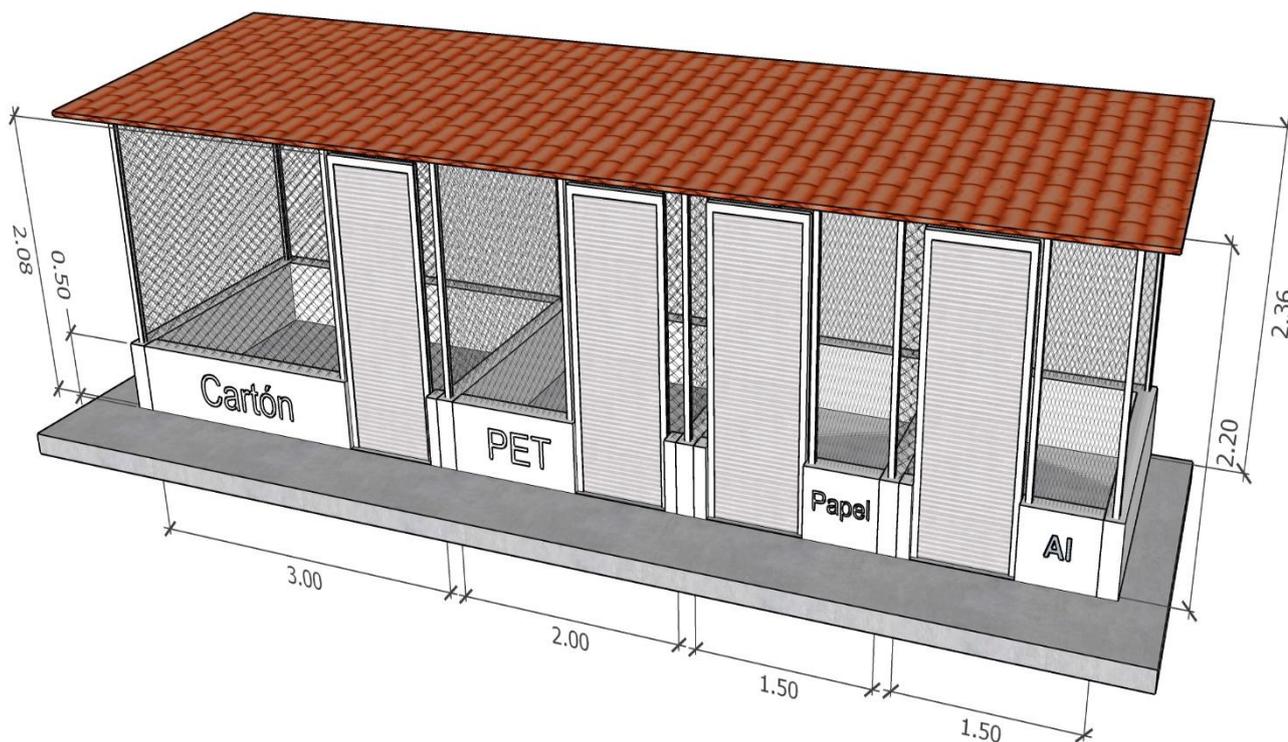
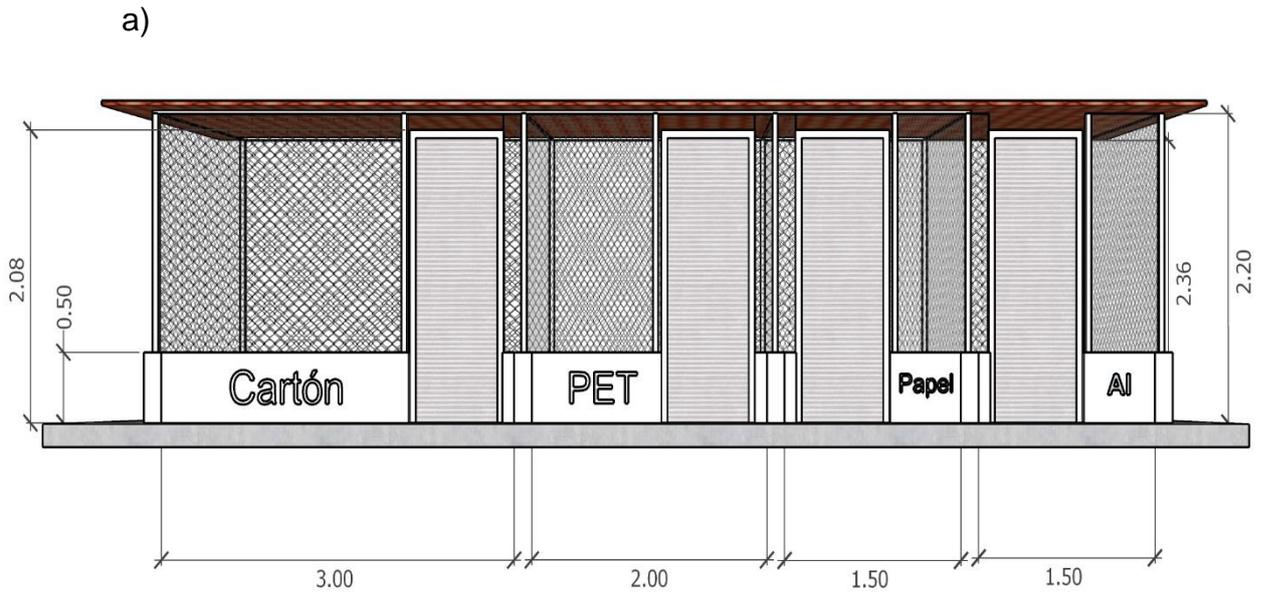


Figura 20. Jaulas de almacenamiento (vista en perspectiva) (Acotación en m)



b)

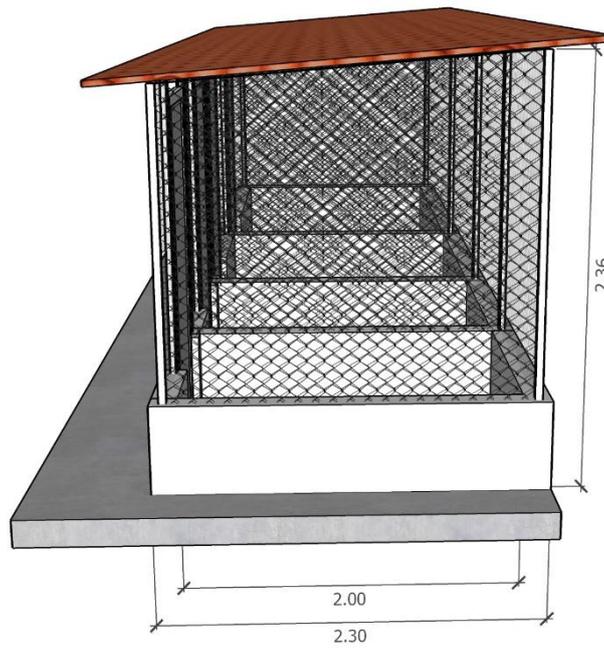


Figura 21. Compartimientos o jaulas del área de almacenamiento de subproductos; a) vista frontal, b) vista lateral izquierda (Acotación en m).

Las jaulas de almacenamiento están diseñadas para mantener los subproductos en un periodo de siete días, sin embargo, por si se presenta algún inconveniente en la recolección se tiene un margen del 20% de capacidad adicional para seguir funcionando.

Con relación a la recolección de estos productos ningún centro de acopio de Ocozocoautla tiene el servicio de recolección, por lo que será necesario tener un encargado para llevar los subproductos a los centros de reciclaje para su valorización. En la Tabla 19 se muestra los datos de contacto de los centros de reciclaje y algunos materiales que reciben.

Tabla 19. Datos de los centros de reciclaje

Recicladoras	Ubicación	Días	Horarios de atención	Materiales que reciben
Sin nombre	Libramiento sur pte, callejón la explanada. Col. San Juan	Lunes a viernes	8 am – 6 pm	Cobre Bronce
		Sábados	8 am – 5 pm	Cartón Archivo
		Domingo	8 am – 2 pm	PET Plástico duro Aluminio Fierro
El libramiento	Libramiento sur pte, esquina frente al Oxxo. S/N	Lunes a viernes	7 am – 8 am	Cartón Naylon
		Sábados	6 am – 2 pm	Aluminio Fierro PET
Chatarrería Lupita	Central norte, 24 esquina con 4ta norte, San Bernabé	Lunes a sábados	7 am – 8 am	Bronce Aluminio Archivo muerto
		Domingos	8 am – 3 pm	PET Cartón
Recicash	Av. 3ª norte, entre 1 y 3 oriente, esquina con 3ra oriente. Col. San Juan.	Lunes a domingo	8 am – 6 pm	Fierro Cobre Aluminio Bronce Baterías Cartón Libros PET

Por último, los subproductos no valorizables continuarán siendo recolectados por el camión de basura para su traslado al relleno sanitario.

En la Tabla 20 se muestra el tiempo estimado de recuperación de la inversión inicial para implementar el plan de manejo. De acuerdo a la estimación de egresos e ingresos, la inversión inicial se recuperaría en un 1 año y 8 meses.

Tabla 20. Tiempo estimado de recuperación de la inversión inicial

Egresos		
Concepto	Presupuesto estimado	Observaciones
Construcción del centro de compostaje	3,200,000	Con una superficie de 1000 m ²
Jaulas de almacenamiento temporal de subproductos valorizables	45,000	
Operación del centro de compostaje	164,544	Sueldos de 2 personas al año
Total de egresos	\$ 3, 409, 544 pesos	

Subproductos	Generación semanal	Precio aprox. de venta (\$)	Ingresos		
			Semanal	Mensual	Anual
Materia orgánica (composta)	13.42m ³	3.0	40,260	161,040	1,932,480
Cartón	468.3 kg	0.80	375	1,500	18,000
Papel	312.2 kg	1.0	312	1,248	14,976
PET	156.1 kg	4.0	624	2,496	29,952
Aluminio	156.1 kg	5.0	780.5	3,122	37,464
Total de ingresos			\$42,351.5 pesos	\$169,406 pesos	\$2,032,872 pesos

1.6.6 Metas de cobertura del plan, de recuperación o aprovechamiento del residuo, durante la aplicación del Plan de Manejo

Se tiene previsto que, en un plazo no mayor a 3 a 6 meses, los locatarios y vendedores ambulantes del mercado implementen la separación adecuada de

los residuos que generan. Con respecto, a la construcción del centro de compostaje se estima que se termine en un lapso de 1 año.

Se pretende recuperar el 100% de los subproductos valorizables generados, incluyendo la fracción orgánica, cartón, PET, aluminio y papel. En particular, se estima que anualmente pueden ser composteados 694 toneladas de fracción orgánica, lo que representa una reducción significativa del subproducto con mayor presencia en esta fuente de alta generación. Por su parte, el PET y aluminio alcanzaría una recuperación de 8,117.2 kg/año respectivamente, el cartón 24,351.6 kg/año y el papel 16,234.4 kg/año.

Finalmente, al relleno sanitario llegaría únicamente 120 toneladas al año, lo que sería 329 kg/día de residuos no valorizables, es decir; del 100% que llega actualmente, llegaría solo un 8% de residuos, disminuyendo (aprovechando) un 92%, elevando significativamente la vida útil del relleno sanitario.

1.6.7 Descripción del destino final del residuo sea nacional o internacional

El destino final se ubicará dentro del territorio nacional. Como se mencionó anteriormente, la fracción orgánica será trasladada al centro de compostaje para su tratamiento, con el fin de estabilizar los residuos y obtener un producto útil (bioabono). Este producto será utilizado en parques y jardines del Ayuntamiento, así como para satisfacer las necesidades de abono del departamento de agropecuarios. Alternativamente, también podrá emplearse como material de cobertura en el relleno sanitario.

Para los subproductos valorizables, serán llevados a los diferentes centros de reciclajes que se ubican en el municipio para su aprovechamiento y comercialización. Finalmente, los residuos que no posean un valor económico continuarán siendo recolectados mediante el servicio habitual de recolección, para ser posteriormente dispuestos en el relleno sanitario.

1.6.8 Mecanismos de operación, control y monitoreo para el seguimiento del plan, así como los mecanismos de evaluación y mejora del plan de manejo

❖ Mecanismos de operación:

Estos permitirán que el plan funcione de forma organizada y eficiente, tales como: la separación in-situ, la recolección y el almacén temporal, la capacitación y sensibilización, etc. A continuación, se mencionan cada uno de ellos.

a) Separación en origen:

- Contenedores identificados por tipo de residuos. Para el presente plan serían las jaulas identificadas con las leyendas de PET, papel, aluminio y cartón.
- Señalética visible en puestos y áreas comunes.

b) Recolección y almacenamiento temporal:

- Horarios definidos de recolección interna.
- Estación de acopio temporal (espacio de jaulas) techada y con piso impermeable.
- Bitácoras de recepción de residuos (nombre del locatario, tipo y cantidad).

c) Capacitación y sensibilización:

- Talleres periódicos para locatarios y personal de limpieza sobre temas de clasificación, responsabilidades, beneficios del plan, etc.

❖ **Mecanismos de Control:**

Permitirán verificar que las acciones del plan se cumplan según lo establecido, esto a través de bitácoras, formatos, inspecciones internas, verificación documental, sanciones, etc. Algunos aspectos relevantes de cada uno de ellos se mencionan a continuación.

a) Bitácoras y formatos:

- Formatos diarios/semanales de recolección y entrega de RME.
- Control de volúmenes entregados por locatario (por semana).

b) Inspecciones internas:

- Visitas programadas por el personal de administración del mercado o la autoridad local para verificar:
 - La correcta separación (PET, papel, aluminio y cartón).
 - Limpieza y condiciones del área de almacén temporal de subproductos.
 - Uso correcto del equipo mínimo de protección personal por el encargado o encargados del plan.

c) Verificación documental:

- Revisión de permisos ambientales vigentes de la empresa recolectora de subproductos.

d) Aplicación de sanciones y reconocimientos:

- Sistema de advertencias o sanciones por incumplimiento de locatarios.
- Reconocimiento o incentivos para locatarios cumplidos (distintivos, difusión).

❖ **Mecanismos de Monitoreo:**

Permitirá evaluar la eficacia del plan y tomar decisiones informadas para mejorarlo. A continuación, se describen algunos mecanismos sugeridos.

a) Indicadores de desempeño

- Porcentaje de locatarios que separan correctamente los residuos contemplados en el plan.
- Toneladas mensuales de RME recolectadas en el mercado.
- Porcentaje de subproductos enviados a reciclaje o revalorización, incluyendo la fracción orgánica.

b) Reportes periódicos:

- Elaboración de informes mensuales o trimestrales con resultados y observaciones.
- Presentación del informe ante el comité del manejo o autoridad del H. Ayuntamiento.

c) Evaluaciones anuales:

- Actualización del plan de manejo para su mejora.

d) Participación ciudadana o de usuarios:

- Buzón de quejas y sugerencias.
- Encuestas a locatarios y visitantes sobre limpieza, separación, etc.

1.6.9 De ser aplicable, especificar los participantes del plan y su actividad

Para garantizar una ejecución efectiva del Plan de Manejo de residuos en el mercado municipal, se identifican los siguientes actores clave junto con sus funciones específicas:

- ❖ **Locatarios y vendedores ambulantes del mercado:** Son responsables de realizar la separación de los residuos en origen, conforme a los lineamientos establecidos. Al finalizar su jornada, deberán depositarlos en las jaulas o contenedores designados para cada subproducto, asegurando una disposición ordenada.
- ❖ **Administración del mercado:** Coordina la operación general del plan, supervisa su cumplimiento y canaliza los reportes o incidencias. También promueve la participación activa de los locatarios y organiza capacitaciones periódicas.
- ❖ **Personal de limpieza y recolección:** Se encarga de la recolección de los residuos, siguiendo los horarios y rutas establecidos. Además, de reportar cualquier anomalía operativa.
- ❖ **Encargado del centro de compostaje:** Recibe y procesa la fracción orgánica recolectada, monitorea parámetros técnicos como temperatura, humedad y pH, y garantiza condiciones adecuadas para la transformación en bioabono.
- ❖ **Autoridad municipal (área de servicios públicos o medio ambiente):** Supervisa el cumplimiento de la normatividad ambiental, apoya con recursos técnicos y logísticos, y valida el avance de las metas del plan. También puede colaborar en procesos de evaluación y mejora.

1.6.10 De ser aplicable indicar los mecanismos de difusión y comunicación a la sociedad en general

Para garantizar la participación efectiva de los locatarios y la comunidad en general, se implementarán los siguientes mecanismos de difusión, accesibilidad y evaluación del impacto informativo.

En primer lugar, se contempla la instalación de carteles informativos en puntos estratégicos como el mercado municipal, la presidencia municipal y otras zonas de alta afluencia, con mensajes claros sobre la correcta separación y disposición de los residuos. Estas acciones serán complementadas con el uso de plataformas digitales, tales como redes sociales y sitios web institucionales, para ampliar el alcance informativo y mantener a la comunidad actualizada sobre las actividades del plan. Asimismo, se difundirá información clave a través de la radio o perifoneo, lo cual permitirá una cobertura efectiva en áreas con acceso limitado a medios digitales.

VIII. CONCLUSIONES

La presente investigación tiene como fin visibilizar un sector históricamente relegado, que comúnmente ha sido considerado únicamente como una fuente generadora de RSU. Si bien los mercados municipales siguen desempeñando un papel fundamental en el comercio de bienes y servicios dentro de las ciudades, persiste una notable falta de interés por parte de las autoridades competentes en cuanto a la cuantificación de los residuos que estos espacios generan anualmente y los impactos que ello conlleva para el medio ambiente.

Este documento aspira a servir como una guía replicable en otros mercados municipales de la entidad y del país, permitiendo una mejor caracterización de este tipo de sitios y facilitando la toma de decisiones en materia de gestión de residuos.

A lo largo del desarrollo de la presente investigación, se logró recopilar información sobre la generación y caracterización de los residuos del mercado municipal Dr. Manuel Velasco Suárez, obteniendo los siguientes datos: la generación diaria es de 2.23 toneladas, el subproducto más representativo es la fracción orgánica (85%), seguido del cartón (3%), papel (2%), aluminio y PET (1%) respectivamente. Además, las prácticas actuales de manejo son deficientes.

Asimismo, se realizó el monitoreo de la degradación de la fracción orgánica mediante el compostaje, se obtuvo que el tiempo de estabilización fue de 14 a 22 días, con un rendimiento del 31.5% (v/v) y con una calidad en el

bioabono de alto a muy alto, que de acuerdo con la NOM-021-RECNAT-2000, se observó que presenta niveles de alto a muy alto en relación con los macronutrientes esenciales: nitrógeno, fósforo y potasio, los cuales son fundamentales para el crecimiento y desarrollo de las plantas. Además, la materia orgánica presentó un rango en calidad de muy alto, lo cual es importante para mejorar la estructura de los suelos y facilitar la retención de humedad. La CIC también se encontró en el rango de calidad de muy alto lo que puede favorecer la estabilidad del pH del suelo y el acceso a nutrientes. De esta manera, los resultados obtenidos en la calidad del bioabono, muestran que el producto final no solamente puede proyectarse para su uso en parques y jardines del Ayuntamiento o como material de cobertura en el relleno sanitario, sino también, como un bioabono que podría ser aplicado en cultivos agrícolas. El volumen estimado de bioabono son 53.68 m³/mes lo que equivale a 644.16 m³/año.

Por otro lado, hasta donde la revisión de la literatura fue posible, este estudio representa el primer trabajo que evalúa el proceso de degradación mediante el composteo, para residuos orgánicos de mercados en México.

La propuesta del plan de manejo se centró en el aprovechamiento de la materia orgánica mediante el compostaje (al ser el subproducto más representativo), así como en el acopio del PET, aluminio, cartón y papel.

Estos subproductos en caso de ser comercializados, el Ayuntamiento realizaría una inversión de \$3,409,544 pesos, pudiendo recuperar lo invertido en un tiempo estimado de 1 año y 8 meses, además de favorecer una economía circular con el aprovechamiento de cerca del 90% de los residuos generados. De acuerdo al

diseño, la planta de compostaje demandaría alrededor de 0.1 ha de superficie. Cabe destacar que el bioabono generado a partir del compostaje representa la fuente de ingresos más significativa del proyecto, con una ganancia anual estimada de \$1,932,480 pesos, lo que subraya su alto potencial económico y ambiental dentro del esquema de valorización de residuos.

LITERATURA CITADA

- Acosta Salinas, A. M. (2022, febrero). "Plan de manejo de residuos sólidos urbanos generados en el Mercado 27 de septiembre en Poza Rica, Veracruz."
- Adebayo, F.O, Obiekezie, & S.O. (2018). Microorganisms in Waste Management. *Research Journal of Science and Technology*, 10(1), 28–39. <https://doi.org/10.5958/2349-2988.2018.00005.0>
- Ameen, A., Ahmad, J., & Raza, S. (2016). Effect of pH and moisture content on composting of Municipal solid waste. *International Journal of Scientific and Research*, 6(5), 35–37.
- Arenas Osorno, C. Y. (2017). *Implementación de un sistema integral de compostaje para el tratamiento de los residuos orgánicos en el Centro Educativo Rural Josefa Romero, Municipio de Dabeiba* [doctoralThesis]. <https://repository.upb.edu.co/handle/20.500.11912/3303>
- Arízaga-Gamboa, R., & Fernández-Florín, J. V. (2023). Sistema de compostaje automatizado para desechos sólidos orgánicos generados en un mercado. *Polo del Conocimiento*, 8(8), 226–244. <https://doi.org/10.23857/pc.v8i8>
- Ayilara, M. S., Olanrewaju, O. S., Babalola, O. O., & Odeyemi, O. (2020). Waste Management through Composting: Challenges and Potentials. *Sustainability*, 12(11), Article 11. <https://doi.org/10.3390/su12114456>
- Barradas, A. (2009, noviembre 11). *Gestión integral de residuos sólidos municipales: Estado del arte*. E.T.S.I. Caminos, Canales y Puertos (UPM). <https://oa.upm.es/1922/>
- Bohórquez Santana, W. (2019). *El proceso de compostaje*. Universidad de La Salle. Ediciones Unisalle. <https://doi.org/10.19052/978-958-5486-67-6>
- Buenrostro, O., Bernache, G., Cram, S., & Bocco, G. (1999). Análisis de la generación de residuos sólidos en los mercados municipales de Morelia, México. *Revista Internacional de Contaminación Ambiental*, 15(1), Article 1.
- Casasola-Garza, A. K. (2021). Manejo de residuos sólidos generados en el mercado central del municipio de Chiquimula. *Revista Naturaleza, Sociedad y Ambiente*, 8(1), 87–101. <https://doi.org/10.37533/cunurori.v8i1.63>
- Chávez, C. R. (2016, mayo 16). *Mercados municipales, en vías de extinción*. Grupo Milenio. <https://www.milenio.com/estados/mercados-municipales-en-vias-de-extincion>
- Chennaoui, M., Salama, Y., Aouinty, B., Mountadar, M., & Assobhei, O. (2018). Evolution of Bacterial and Fungal Flora during In-Vessel Composting of Organic Household Waste under Air Pressure. *Journal of Materials and Environmental Sciences*, 9, 680–688. <https://doi.org/10.26872/jmes.2018.9.2.75>
- Data México. (2020). *Ocozacoautla de Espinosa | MUNICIPIO* [Gubernamental]. Data México. <https://www.economia.gob.mx/datamexico/>

- Delgadillo, V. (2016). La disputa por los mercados de La Merced. *Alteridades*, 26(51), 57–69.
- Diario Oficial de la Federación, [DOF]. (1984). *Norma Mexicana NMX-AA-25-1984. Protección al ambiente-contaminación del suelo residuos sólidos-determinación del pH-método potenciométrico*. Secretaría de Comercio y Fomento Industrial [SECOFI].
legismex.mty.itesm.mx/normas/aa/aa025.pdf
- Diario Oficial de la Federación, [DOF]. (2000). *Norma Oficial Mexicana NOM-021-RECNAT-2000, Que establece las especificaciones de fertilidad, salinidad y clasificación de suelos. Estudios, muestreo y análisis*. Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales (Semarnat).
www.ordenjuridico.gob.mx/Documentos/Federal/wo69255.pdf
- Fernández, A., & Sánchez, M. (2007). *Guía para la gestión integral de los residuos sólidos urbanos*.
- Flintoff, F. (1984). *Management of Solid Wastes in Developing Countries*. World Health Organization. Regional Office for South-East Asia. <https://iris.who.int/handle/10665/205473>
- Francisco, A. A., & Rodríguez, Y. (2011). Caracterización de residuos sólidos de mercados en Santo Domingo Oeste, Provincia Santo Domingo, (2). *Ciencia y Sociedad*, 36(1), 133–142.
<https://doi.org/10.22206/cys.2011.v36i1.pp133-142>
- Gallardo, M., K. P. (2013). *Obtención de compost a partir de residuos orgánicos impermeabilizados con geomembrana*. [Universidad Nacional de Ingeniería.].
<https://renati.sunedu.gob.pe/handle/sunedu/3496575>
- Garro, J. (2016). *El suelo y los abonos orgánicos*. INTA. www.mag.go.cr/bibliotecavirtual/f04-10872.pdf
- Gobierno de México. (2024). *Peligros Potenciales por Residuos Sólidos Urbanos y Normatividad en México*.
https://www.gob.mx/cms/uploads/attachment/file/935372/TEMA_2_Fenomenos_Sanitario_Ecologicos.pdf
- González, L. M. (2023). *Evaluación de la aplicación de compost para la recuperación sostenible de suelos degradados* [Master in biotechnology of environment and health, Universidad de Oviedo].
https://digibuo.uniovi.es/dspace/bitstream/handle/10651/68900/TFM_LidiaMorianogonzalez.pdf?sequence=4
- Gutiérrez-González, L. S., Ojeda-Barrios, D. L., Ávila-Quezada, G. D., & Hernández-Rodríguez, O. A. (2024). Características cambiantes durante el compostaje y valores indicativos de calidad en el producto final. *Chilean journal of agricultural & animal sciences*, 40(2), 467–484.
<https://doi.org/10.29393/chjaas40-39cflo40039>
- Hafeez, M., Gupta, P., & Gupta, Y. P. (2018). Rapid Composting of Different Wastes with Yash Activator Plus. *International Journal of Life-Sciences Scientific Research*, 4(2), 1670–1674.
<https://doi.org/10.21276/ijlssr.2018.4.2.9>

- Hannibal, B., Rafaela, V., Luis, G., Mario, V., Janeth, J., Silvio, J., Paola, M., & Carina, P. (2016). Obtención De Compost A Partir De Residuos Sólidos Orgánicos Generados En El Mercado Mayorista Del Cantón Riobamba. *European Scientific Journal, ESJ*, 12(29), 76.
<https://doi.org/10.19044/esj.2016.v12n29p76>
- Herrera, J., & Gallardo, J. (2022). *El compostaje como alternativa de manejo de residuos sólidos orgánicos: Procesos y parámetros de calidad del producto final*. 2(3), 122–135.
- INEGI. (2021). *Número de habitantes. Cuéntame de México*.
<https://www.cuentame.inegi.org.mx/poblacion/habitantes.aspx>
- Kaza, S., Yao, L. C., Bhada-Tata, P., & Van Woerden, F. (2018). *What a Waste 2.0: A Global Snapshot of Solid Waste Management to 2050*. Washington, DC: World Bank.
<https://doi.org/10.1596/978-1-4648-1329-0>
- Ley de Residuos Sólidos para el Estado de Chiapas y sus Municipios*. (2019, junio 19). 60.
- Ley General de Cambio Climático*. (2012, junio 6). Diario Oficial de la Federación.
www.diputados.gob.mx/LeyesBiblio/pdf/LGCC.pdf
- Ley General del Equilibrio Ecológico y la Protección al Ambiente*. (1988, enero 28). Diario Oficial de la Federación. <https://www.gob.mx/profepa/documentos/ley-general-del-equilibrio-ecologico-y-la-proteccion-al-ambiente-63043>
- Ley General para la Prevención y Gestión Integral de los Residuos*. (2023, mayo 8). Diario Oficial de la Federación. <https://www.diputados.gob.mx/LeyesBiblio/pdf/LGPGIR.pdf>
- Li, Z., Lu, H., Ren, L., & He, L. (2013). Experimental and modeling approaches for food waste composting: A review. *Chemosphere*, 93(7), 1247–1257.
<https://doi.org/10.1016/j.chemosphere.2013.06.064>
- Lira, K. A. (2016). *“Propuesta de un programa para el manejo de residuos sólidos en el mercado ‘Héroes del 47’ de Tuxpan, Veracruz”*. Universidad Veracruzana.
- López Morfín, G. (2014). *Plan de manejo integral de residuos para hipermercados* [Universidad Nacional Autónoma de México].
<https://ru.dgb.unam.mx/handle/20.500.14330/TES01000715119>
- López, N. C. (2009). *Propuesta de un programa para el manejo de los residuos sólidos en la plaza de mercado de Cereté—Córdoba* [Universidad Pontificia Javeriana].
<http://repository.javeriana.edu.co/handle/10554/6132>
- Márquez, P. B., & Blanco, M. J. D. (2008). *Capítulo 4. Factores que afectan al proceso de Compostaje*. 16.
- Mesino, L. (2007). *Las políticas fiscales y su impacto en el bienestar social de la población venezolana. Un análisis desde el paradigma crítico. Periodo: 1988-2006* [Universidad de Zulia].
<https://www.eumed.net/tesis-doctorales/2010/lmr/Teoria%20del%20Desarrollo%20Sustentable.htm>

Morales, R. E. M. (2011). *Planes de manejo de residuos de generadores de alto volumen: El caso de la Central de Abasto del Distrito Federal, México* [Tesis, Instituto Politécnico Nacional]. <http://www.repositoriodigital.ipn.mx/handle/123456789/9222>

NMX-AA-015-1985, establece el método de cuarteo para residuos sólidos municipales. (1985).

NMX-AA-019-1985, establece un método para determinar el peso volumétrico de los residuos sólidos municipales en el lugar donde se efectuó la operación de "cuarteo". (1985).

NMX-AA-022-1985, establece la selección y el método para la cuantificación de subproductos contenidos en los residuos sólidos municipales. (1985).

Organización de las Naciones Unidas para el Desarrollo Industrial (ONUDI). (2007). *Guía para la Gestión Integral de los Desechos Sólidos Urbanos*.

http://193.138.105.50/filestorage/download/?file_id=72852, 2008

Periódico Oficial del Estado de Chiapas. (2018, enero 31). *Capítulo segundo: Organización territorial*. Publicación No. 664-C-2018.

Quesquén Gutiérrez, L. M., & Pais Cruzado, V. L. (2020). Estudio de gestión y caracterización de residuos sólidos en el mercado municipal de Jayanca. *Repositorio - UDL*.

<https://renati.sunedu.gob.pe/handle/sunedu/1882493>

Ramos, C. X., Estévez, S., & Giraldo, E. (2001). Emisión de compuestos orgánicos volátiles (voc) durante el compostaje de biosólidos provenientes de plantas de tratamiento de aguas residuales domésticas. *Revista de Ingeniería*, 13, 37–44. <https://doi.org/10.16924/revinge.13.5>

Reed, D. (1996). *Ajuste estructural, ambiente y desarrollo sostenible*. Editorial Nueva Sociedad.

Reglamento de la Ley General del Equilibrio Ecológico y la Protección al Ambiente en materia de Evaluación del Impacto Ambiental. (2000, mayo 30). Diario Oficial de la Federación.

www.diputados.gob.mx/LeyesBiblio/regley/Reg_LGEEPA_MEIA_311014.pdf

Reglamento de la Ley General para la Prevención y Gestión Integral de los Residuos. (2006, noviembre 30). Diario Oficial de la Federación.

www.diputados.gob.mx/LeyesBiblio/regley/Reg_LGPGIR_311014.pdf

Riancho, M. R. S., Aguilar, H. A. N., & Herrera, J. G. R. (2002). Aplicación del composteo como método de tratamiento de los residuos de frutas producidos en zonas de alta generación. *Ingeniería*, 6(1), 13–20.

Riera, J. L. P. (2022). *Aplicación de microorganismos benéficos en compostaje de residuos orgánicos, caso de estudio: Cdra. Laguna del sol y planta de compostaje del valle*. Universidad Católica de Cuenca.

Román, P., Martínez, M. M., & Pantoja, A. (2013). *Manual de compostaje del agricultor*. FAO. www.fao.org/4/i3388s/i3388s.pdf

Rosas Martínez, V., Rodríguez Lagunes, D. A., Llarena Hernández, R. C., Milanés Ramos, N., Rico Contreras, J. O., & Castañeda Castro, O. (2021). Evaluación físico-química de composta de

residuos avícolas y cachaza. *Agrociencia*, 55(4), 291–302.

<https://doi.org/10.47163/agrociencia.v55i4.2478>

Samaniego, L. J. J. (2016). *Oportunidades de valorización mediante compostaje de los residuos orgánicos de origen urbano y afines en Ecuador: Propuesta de gestión para la provincia de Chimborazo*. [Universidad Miguel Hernández de Elche]. <http://hdl.handle.net/11000/2770>

Santiago, D. (2023). *Estudio de generación y caracterización de Residuos Sólidos Domiciliarios (RSD) en la cabecera municipal de Ocozocoautla de Espinosa, Chiapas*.

<https://repositorio.unicach.mx/handle/20.500.12753/5112>

Secretaría de Agricultura y Desarrollo Rural [SADER]. (2022). *Manuales prácticos para la elaboración de insumos—Composta* (p. 34).

www.gob.mx/cms/uploads/attachment/file/737324/9_Composta.pdf

Secretaría de Comercio y Fomento Industrial, [SECOFI]. (1984a). *Norma Mexicana NMX-AA-016-1984. Protección al ambiente-contaminación del suelo-residuos sólidos municipales-determinación de humedad*.

biblioteca.semarnat.gob.mx/janium/Documentos/Ciga/agenda/DOFsr/NMX-AA-016-1984.pdf

Secretaría de Comercio y Fomento Industrial, [SECOFI]. (1984b). *Norma Mexicana NMX-AA-018-1984. Protección al ambiente-contaminación de suelo residuos sólidos municipales-determinación de cenizas*. Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales (Semarnat).

biblioteca.semarnat.gob.mx/janium/Documentos/Ciga/agenda/DOFsr/NMX-AA-018-1984.pdf

Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales [SEMARNAT]. (2020). *Diagnóstico Básico para la Gestión Integral de los Residuos*.

<https://www.gob.mx/cms/uploads/attachment/file/554385/DBGIR-15-mayo-2020.pdf>

SEMAHN. (2016). *Programa estatal para la prevención y gestión integral de residuos sólidos urbanos y de manejo especial del municipio de Chiapas*.

www.gob.mx/cms/uploads/attachment/file/187451/Chiapas.pdf

SEMARNAT. (2006). *Residuos*.

apps1.semarnat.gob.mx:8443/dgeia/informe_2008_ing/pdf/cap_7_residuos.pdf

SEMARNAT. (2011). *NOM-161-SEMARNAT-2011, Que establece los criterios para clasificar a los Residuos de Manejo Especial y determinar cuáles están sujetos a Plan de Manejo*; Diario Oficial de la Federación. www.profepa.gob.mx/innovaportal/file/6633/1/nom-161-semarnat-2011.pdf

SEMARNAT. (2016). *Trámite SEMARNAT-07-017*. gob.mx.

<http://www.gob.mx/semarnat/documentos/tramite-semarnat-07-017>

SEMARNAT. (2022). *Programa Nacional para la Prevención y Gestión Integral de los Residuos de Manejo Especial 2022-2024*.

https://www.dof.gob.mx/nota_detalle.php?codigo=5673815&fecha=09/12/2022#gsc.tab=0

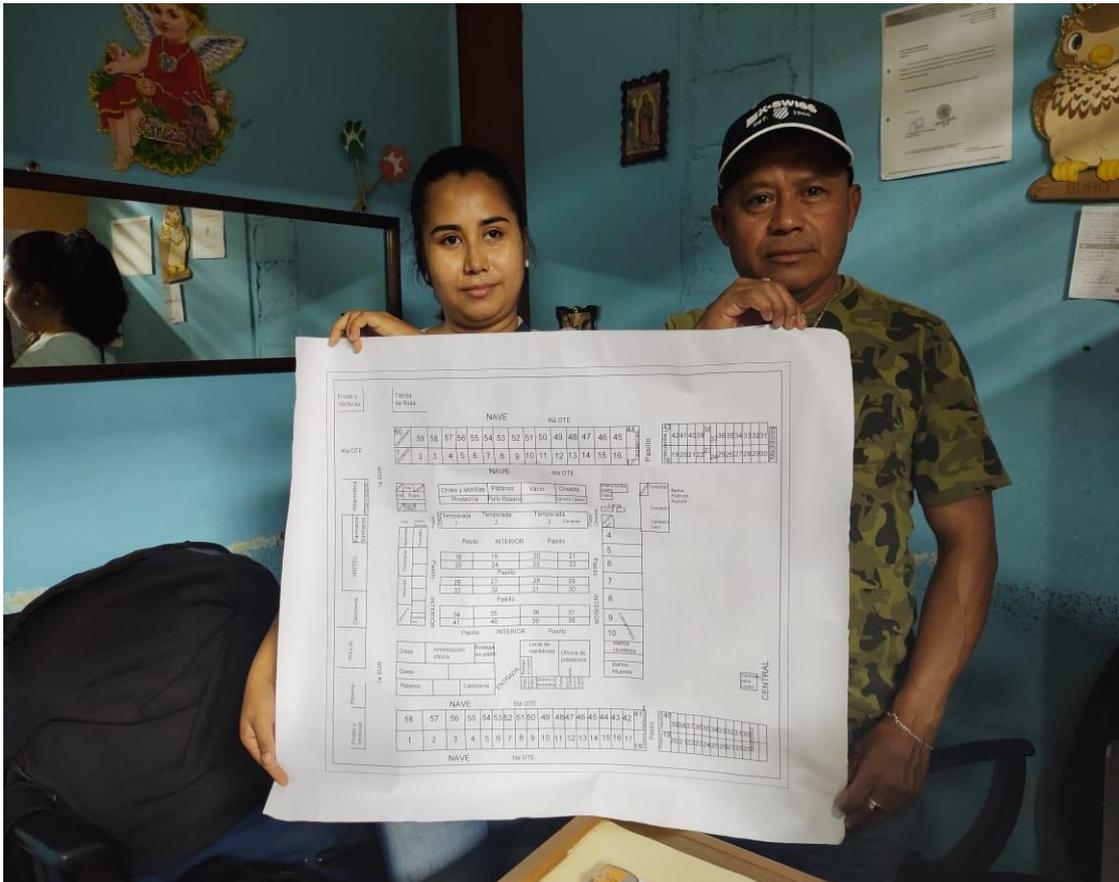
- Shahnazari, A., Pourdej, H., & Kharage, M. D. (2021). Ranking of organic fertilizer production from solid municipal waste systems using analytic hierarchy process (AHP) and VIKOR models. *Biocatalysis and Agricultural Biotechnology*, 32, 101946. <https://doi.org/10.1016/j.bcab.2021.101946>
- Silva, J. P., López, P., & Valencia, P. (2003). *Recuperación de nutrientes en fase sólida a través del compostaje*.
- Suni, L. L. J. (2018). *Aprovechamiento de los residuos sólidos orgánicos en compostaje del mercado mayorista metropolitano Río Seco – La Parada. Cerro Colorado*. Universidad Nacional de San Agustín de Arequipa.
- Tchobanoglous, G., Theisen, H., & Vigil, S. (1994). *Gestión Integral de Residuos Sólidos*.
- Treviño, A. R., Núñez, J. M. S., & Camacho, A. G. (2003). *El Desarrollo Sustentable: Interpretación y Análisis*. 6.
- Valderrama, A. (2013). *Biodegradación de residuos sólidos agropecuarios y uso del bioabono como acondicionador del suelo* [Universidad Pontificia Bolivariana]. <http://hdl.handle.net/20.500.11912/1326>
- Vargas-Pineda, O. I., Trujillo-González, J. M., & Torres-Mora, M. A. (2019). El compostaje, una alternativa para el aprovechamiento de residuos orgánicos en las centrales de abastecimiento. *Orinoquia*, 23(2). <https://doi.org/10.22579/20112629.575>
- Vidal, L. (2023). *Microorganismos eficientes en la descomposición de residuos sólidos orgánicos y obtención de compost en Castillo Grande, Perú* [Universidad Nacional Agraria de la Selva]. <https://repositorio.unas.edu.pe/server/api/core/bitstreams/a336967a-0c85-45a7-92b0-b6e62bbf658d/content>
- Villasana, C., & Gómez, R. (2020). *Los mercados porfirianos de la capital* [Periódico]. El Universal. <https://www.eluniversal.com.mx/opinion/mochilazo-en-el-tiempo/los-mercados-porfirianos-de-la-capital/>
- Wehenpohl, & Hernández. (2006). *Guía para la elaboración de programas municipales para la prevención y gestión integral de los residuos sólidos urbanos*. Gobierno del Estado de México, Secretaría del Medio Ambiente ; Deutsche Gesellschaft für Technische Zusammenarbeit (GTZ).
- Zapata-Hernández, R. D. (2009). El compostaje y los índices para evaluar su estabilidad. En Sociedad Colombiana de la Ciencia del Suelos & Centro Nacional de Investigaciones de Café (Eds.), *Materia orgánica biología del suelo y productividad agrícola: Segundo seminario regional comité regional eje cafetero* (pp. 33–42). Cenicafé. https://doi.org/10.38141/10791/0003_2

ANEXOS

Anexo 1. Preguntas de la entrevista con el administrador del mercado

- ¿Existe algún reglamento en el mercado?
- De casualidad ¿Conoce algo sobre la historia del mercado?
- ¿Cuándo se fundó?
- ¿Cuál es el horario de atención? ¿Todos los días trabajan?
- ¿Con que tipo de servicios cuenta?
- ¿En qué horario recolectan los residuos del mercado?
- ¿Hay algún velador o vigilante en el mercado?
- ¿Cuentan con servicio de limpieza dentro del mercado?

Anexo 2. Entrega del croquis impreso al administrador del mercado



Anexo 4. La relación de materiales y equipos que se emplearon para realizar el estudio en campo

- Báscula de piso con capacidad de 200 kg.
- Tambo de plástico de forma cilíndrica, con capacidad de 200 L.
- 3 Palas.
- 3 pares de guantes
- 2 Escobas
- 2 Recogedores
- Botas de hule
- Mascarillas
- Bolsas de polietileno de 1.10 m x 0.90 m y calibre mínimo del No. 200.
- Papelería y varios necesarios para la operación (cédula de información de campo, marcadores, etc.)

Anexo 5. Los procedimientos que se realizaron en campo conforme a las normas mexicanas

Determinación del peso volumétrico (NMX-AA-19-1985):

1. Antes de efectuar la determinación, se comprobó que el recipiente estuviera limpio y libre de abolladuras (tambo de plástico de capacidad 200 L). A continuación, se pesó el recipiente vacío, tomando dicho peso como la tara del recipiente.
2. Se llenó el recipiente con los residuos sólidos homogenizados de la pila que formó el camión, posteriormente, se golpeó el recipiente contra el suelo tres veces dejándolo caer desde una altura de 10 cm.
3. Nuevamente se agregaron los residuos sólidos hasta el tope del contenedor, con el cuidado de no presionar al colocarlos, esto es para no alterar el peso volumétrico que se espera determinar.
4. Para obtener el peso neto de los residuos sólidos, se pesó el recipiente con estos y se restó el valor de la tara.
5. Se realizó el mismo procedimiento tres veces.
6. El peso volumétrico del residuo sólido se calculó mediante la Ecuación 1

$$Pv = \frac{P}{V} \dots\dots\dots \text{Ec. 1}$$

En donde:

P_v = Peso volumétrico del residuo sólido, en kg/m³

P = Peso de los residuos sólidos (peso bruto menos tara), en kg

V = Volumen del recipiente, en m³

La cédula de informe utilizada para determinar el peso volumétrico durante la operación se encuentra a continuación:

Cédula de informe de campo para la determinación del peso volumétrico "in situ"

Localidad _____ Municipio _____ Estado _____

Fecha y hora de la determinación _____

Condiciones climatológicas imperantes durante la determinación _____

Capacidad del recipiente _____ m³

Tara del recipiente _____ Kg

Capacidad del recipiente, tomada para la determinación _____ m³

Peso bruto (peso del recipiente con residuos sólidos) _____ Kg

Peso neto de los residuos sólidos (peso bruto tara) _____ Kg

Peso volumétrico "in situ", de los residuos sólidos: _____ Kg/m³

Responsable de la determinación:

Nombre: _____ Cargo: _____

Dependencia o Institución: _____

Observaciones: _____

Hoja de registro para determinación el peso volumétrico

Lugar de procedencia	Mercado municipal Dr. Manuel Velasco Suárez		
Día del muestreo	Fecha:		
Pesos	Peso 1	Peso 2	Peso 3
Condiciones climáticas			
Hora de inicio			
Peso de residuos + recipiente, kg			
Tara del recipiente, kg			
Volumen del recipiente, m ³			
Peso de residuos, kg			
Peso volumétrico, kg/m ³			
Total			

Determinación del método de cuarteo (NMX-AA-015-1985):

1. Para realizar el cuarteo, se tomaron los residuos sólidos obtenidos del muestreo que se realizó para determinar el peso volumétrico "In Situ"
2. Se vació el recipiente formando un montón sobre un área plana horizontal de 4 m x 4 m de cemento pulido o similar y bajo techo.
3. El montón de residuos sólidos se traspaló hasta homogeneizarlos, se dividió en cuatro partes iguales A, B, C, D y se eliminaron las partes opuestas A y C o B y D, repitiendo esta operación hasta dejar un mínimo de 50 kg para selección de subproductos.
4. Del cuarteo realizado, se tomaron en cuenta los cuartos A y C, para selección y cuantificación de subproductos de acuerdo al día de estudio.
5. La cédula de informe utilizada al realizar la operación se encuentra a continuación:

Cédula de reporte para determinar el método de cuarteo

Localidad _____ Municipio _____ Estado _____

Fecha y hora del cuarteo _____

Procedencia de la muestra _____

Condiciones climatológicas imperantes durante el cuarteo _____ -

Cantidad de residuos sólidos para el cuarteo _____ Kg

Cantidad de residuos sólidos para la selección de subproductos _____ Kg

Responsable del cuarteo:

Nombre: _____ Cargo: _____

Dependencia o Institución: _____

Observaciones: _____

Selección y método para la cuantificación de subproductos (NMX-AA-022-1985)

1. La muestra se extrajo como se establece en la NMX-AA-015 y se toman como mínimo 50 kg, que procede de las áreas del primer cuarteo que no fueron eliminadas.
2. Los subproductos se seleccionaron y almacenaron en bolsas de polietileno hasta que se agoten, la clasificación de estos subproductos se realizaron de acuerdo con lo reportado en estudios previos (Acosta, 2022; Buenrostro et al., 1999), y se divide en las siguientes categorías: materia orgánica, cartón, papel, vidrio, metales, PET, naylon y otros plásticos, residuos finos y otros.
3. Los subproductos ya clasificados se pesaron por separado en la balanza y la cédula de informe utilizada se encuentra más adelante.
4. El porcentaje en peso de cada uno de los subproductos se calcula con la siguiente expresión:

$$P_s = \frac{G_1}{G} \times 100 \dots\dots\dots Ec.2$$

En donde:

P_s = Porcentaje del subproducto considerado.

G_1 = Peso del subproducto considerado, en kg; descontando el peso de la bolsa empleada.

G = Peso total de la muestra (mínimo 50 kg).

El resultado obtenido al sumar los diferentes porcentajes, debe ser como mínimo el 98% del peso total de la muestra (G).

Hoja de registro de campo selección y cuantificación de subproductos

Localidad _____ Municipio _____ Estado _____

Fecha y hora del análisis _____ Peso de la muestra _____ Kg

Tara de las bolsas _____ Kg

Responsable del análisis _____

Dependencia o Institución _____

No.	Subproductos	Peso en Kg	% en peso	Observaciones
1	Materia orgánica			
2	Cartón			
3	Papel			
4	Vidrio			
5	Metales			
6	PET			
7	Naylon			
8	Otros plásticos			
9	Residuos finos			
10	Envases tetrapack			
11	Otros			

Anexo 6. Se enlistan los materiales y equipos que se emplearon para hacer el estudio en el laboratorio.

Materiales y equipo en laboratorio

- Balanza analítica con sensibilidad de 0.001g
- Espátula para balanza
- Estufa con temperatura 423K (150°C) con sensibilidad 1.5K (1.5°C) capaz de mantener una temperatura constante
- Capsulas a peso constante
- Desecador con deshidratante
- Equipo usual de laboratorio
- 2 vasos precipitados de 150 ml
- 1 vaso precipitado de 600 ml
- Pinzas
- Probeta de 100 ml
- Termopar
- Pizeta
- Mortero con pistilo
- Potenciómetro
- Parrilla de agitación
- 2 Magnetos
- Bascula granataria
- Balanza granataria con sensibilidad de 0.1 g
- Mufla

Anexo 7. Los procedimientos que se realizaron en el laboratorio conforme a las normas mexicanas

Determinación del contenido de humedad (NMX-AA-016-1984)

1. Se colocó la cápsula en la estufa a 349K (120°C) durante una hora, transcurrido ese tiempo, se pasó al desecador hasta que se enfriará para obtener peso constante.
2. Se agregó una muestra aproximadamente 3 a 6 gramos, en la cápsula.
3. Se pesó la cápsula con la muestra y se introdujo a la estufa a 349 K (120°C) durante 2 horas, se dejó enfriar y se pesó nuevamente.
4. El porcentaje de humedad se calculó con la siguiente ecuación, teniendo en cuenta que para obtener G y G₁ se debe restar el peso de la cápsula.

$$H = \frac{G-G_1}{G} \times 100 \dots\dots\dots Ec.3$$

En donde:

H = Humedad en %

G = Peso de la muestra humedad en g

G₁ = Peso de la muestra seca en g

Determinación de sólidos volátiles mediante la cuantificación de cenizas (NMX-AA-018-1984)

Otro parámetro determinado fue el de sólidos volátiles, el cual se obtuvo por la diferencia entre el peso de la muestra seca y el de las cenizas resultantes.

Para determinar este parámetro se utilizó la misma muestra empleada para determinar la humedad.

1. La cápsula con la muestra seca se calcinó en la mufla a 1073 K (800°C) durante 30 minutos, se dejó enfriar en el desecador y se pesó.
2. El porcentaje de cenizas en base seca se calculó con la siguiente ecuación

$$C = \frac{G_3 - G_1}{G_2 - G_1} \times 100 \dots\dots\dots \text{Ec.4}$$

En donde

C = Porcentaje de cenizas en base seca

G₁ = Peso de la cápsula en g

G₂ = Peso de la cápsula más la muestra seca en g

G₃ = Peso de la cápsula más la muestra calcinada en g

Determinación de pH y conductividad eléctrica (NMX-AA-25-1984)

1. Se pesaron 10 gramos de muestra y se transfirieron a un vaso de precipitado de 250 cm³.
2. Se añadieron 90 cm³ de agua destilada.
3. Se mezcló por medio del agitador durante 10 minutos.
4. Se dejó reposar la solución durante 30 minutos.
5. Se sumergieron los electrodos en la solución y se realizó la medición de pH.
6. Se sacaron los electrodos y se lavaron con agua destilada.
7. El valor del pH de la solución fue la lectura obtenida en la carátula del potenciómetro cuando se sumergieron los electrodos en ella.
8. Se utilizó el mismo procedimiento anterior para medir la conductividad eléctrica, empleando un conductímetro Vernier modelo Platinum-Cell.

