



UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DEL
ESTADO DE MORELOS

UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DEL ESTADO DE MORELOS



FACULTAD
DE CIENCIAS
BIOLÓGICAS

FACULTAD DE CIENCIAS BIOLÓGICAS

ESPECIALIDAD EN GESTIÓN INTEGRAL DE RESIDUOS

CARACTERIZACIÓN DEL PROCESO DE COMPOSTAJE EN LA PLANTA DE
JIUTEPEC, MORELOS

T E S I N A

QUE PARA OBTENER LA ESPECIALIDAD EN
GESTIÓN INTEGRAL DE RESIDUOS

P R E S E N T A:

ITA. DANIEL FERNANDO MORENO SOTO

DIRECTORA

DRA. MAURA TÉLLEZ TÉLLEZ

CO-DIRECTOR

MMRN JULIO CÉSAR LARA MANRIQUE

CUERNAVACA, MORELOS

NOVIEMBRE 2022

Agradecimientos

Quiero expresar mi gratitud al M.M.R.N Julio César Lara Manrique, coordinador del programa de Especialidad en Gestión Integral de Residuos de la Universidad Autónoma del Estado de Morelos, quien compartió su amplia experiencia en el tema y me brindó las herramientas para completar este trabajo.

A la Doctora Maura Téllez Téllez quien me guió a lo largo de la construcción de la presente tesina y cuya presencia constante fue la clave para culminar este trabajo.

A mi esposo, Josma, a quien sin su apoyo y amor ni siquiera me hubiera atrevido a intentar postularme para formar parte de este programa de estudios.

Al gobierno del municipio de Jiutepec, particularmente a la Secretaría de Desarrollo Sustentable, Obras y Servicios Públicos, Predial y Catastro, a quien preside dicha institución, el Arquitecto Javier Sierra Posadas, así como a los directores de Medio Ambiente que me acogieron y ayudaron con la información necesaria, el licenciado Raúl Alexander Gargallo Mojica y el licenciado Oscar Ricardo Espinoza García.

Agradezco al CONACYT por el otorgamiento de la beca numero 809223 por el periodo de septiembre 2021 – agosto 2022.

Y un especial agradecimiento al comité revisor integrado por la Dra. Leticia Valencia, la Dra. Luisa Castrejón, la M. Ariadna Zenil y el Doctor Alexis Rodríguez, por el seguimiento y corrección del presente trabajo, sus observaciones y aportaciones son invaluable.

RESUMEN

La gestión integral de los residuos es una responsabilidad de todas las personas físicas o morales en el territorio mexicano, tal como lo establece el grueso cuerpo legal en la materia, al respecto, los municipios son los responsables directos del manejo y gestión de residuos Sólidos Urbanos (RSU).

El municipio de Jiutepec forma parte de la Zona Metropolitana de Cuernavaca (ZMC), ocupando el primer lugar en densidad poblacional y el primer lugar en generación de RSU per cápita, de éstos el 51% corresponde a residuos orgánicos.

El ayuntamiento de Jiutepec cuenta una gestión compleja de RSU, entre sus componentes se encuentra una planta de compostaje de 2.7 ha, la cual recibe únicamente residuos de poda y jardinería generados en la vía pública, domicilios particulares, escuelas y barrancas.

El objetivo del presente trabajo es caracterizar el proceso de compostaje actual en la planta propiedad del Ayuntamiento de Jiutepec para proponer un Plan de Mejora que le permita al Municipio conocer las acciones necesarias a ejecutar si se deseara incorporar los RSU orgánicos al proceso de compostaje evitando su disposición final.

Para ello fue necesario consultar diferentes manuales de construcción y operación de plantas municipales de composta, acudir a las dependencias encargadas de su gestión y operación y realizar una revisión con base en la NMX-AA-180-SCFI-2018 para realizar un análisis FODA y agrupar las causas de los problemas en 4 categorías con la ayuda de un Diagrama de Ishikawa, lo que permitió establecer las acciones de mejora.

Actualmente la planta de compostaje cumple con menos del 20% de los parámetros que establece la norma mexicana, para que el desempeño ambiental del Municipio mejore es importante establecer la posible calendarización de las acciones de mejora priorizando acciones palanca o aquellas que sea posibles realizarlas de inmediato o cuya inversión no suponga una carga negativa en el presupuesto municipal.

Abstract

Comprehensive waste management is a responsibility of all natural or legal persons in the Mexican territory, as established by the thick legal body on the matter, in this regard, the municipalities are responsible for the handling and management of Municipal Solid Waste (MSW).

The municipality of Jiutepec is part of the Metropolitan Zone of Cuernavaca (MZC), occupying the first place in population density and the first place in generation of MSW per capita, of which 51% corresponds to organic waste.

The municipality of Jiutepec has a complex MSW management, among its components is a composting plant of 2.7 ha, which receives only pruning and gardening waste generated on public roads, private homes, schools, and ravines.

The objective of this work is to characterize the current composting process in the plant owned by the Municipality of Jiutepec to propose an Improvement Plan that allows the Municipality to know the necessary actions to be conducted if it is desired to incorporate organic MSW into the composting process, avoiding its final disposition.

For this, it was necessary to consult different manuals for the construction and operation of municipal composting plants, go to the agencies in charge of their management and operation and carry out a review based on the NMX-AA-180-SCFI-2018 to carry out a SWOT analysis and group the causes of the problems into 4 categories with the help of an Ishikawa Diagram, which allowed establishing the improvement actions.

Currently the composting plant complies with less than 20% of the parameters established by the Mexican standard, so that the environmental performance of the Municipality improves, it is important to establish the possible scheduling of improvement actions, prioritizing lever actions or those that are possible to conduct immediately, or whose investment does not entail a negative burden on the municipal budget.

Palabras clave

Aprovechamiento de RSU

Gestión Integral de Residuos

Plan de mejora

Planta de compostaje

RSU orgánicos

Key Words

Composting plant

Comprehensive waste management

Improvement Plan

Organic MSW

Utilization of MSW

TABLA DE CONTENIDO

<u>INTRODUCCIÓN</u>	x
<u>CAPITULO I. MARCO TEORICO</u>	13
<u>I.1 Residuos</u>	13
<u>I.1.1 Tipos de residuos</u>	13
<u>I.1.2 Residuos Sólidos Urbanos</u>	15
<u>I.1.3 Características de los RSU</u>	16
<u>I.2 Generación de RSU en México</u>	18
<u>I.2.1. Generación de RSU en Morelos</u>	18
<u>I.2.2 Generación de RSU en Jiutepec</u>	19
<u>I.3 Marco legal de los RSU</u>	20
<u>I.3.1 Gestión de los RSU</u>	23
<u>I.3.2 Manejo de los RSU</u>	24
<u>I.4.1 Aprovechamiento energético</u>	26
<u>I.4.2 Reciclaje de la materia</u>	27
<u>I.4.1 Proceso de compostaje</u>	27
<u>I.5 Sistemas y técnicas de compostaje industrial</u>	31
<u>I.5.1 Sistemas abiertos</u>	31
<u>I.5.2. Sistemas cerrados</u>	34
<u>I.6 Parámetros para la construcción de plantas de compostaje</u>	35
<u>I.6.1 Ubicación</u>	35
<u>I.6.2 Escalada de una planta de compostaje</u>	36
<u>I.6.3 Operaciones unitarias de una planta de compostaje</u>	37
<u>I.6.4 Diseño de plantas de compostaje según la norma mexicana NMX-AA-180-SCFI-2018</u>	40
<u>I.7 Teorías y estudios previos en plantas municipales de composta</u>	43

<u>Capítulo II. Planteamiento del problema</u>	45
<u>Capítulo III. Objetivos</u>	47
<u>III.1 Objetivo general</u>	47
<u>III.2 Objetivos específicos</u>	47
<u>Capítulo IV. Propuesta a implementar</u>	48
<u>IV.1 Revisión bibliográfica en bases de datos</u>	49
<u>IV.2 Recopilación de información del manejo de RSU en Jiutepec</u>	49
<u>IV.3 Recopilación de información de la planta de compostaje</u>	49
<u>IV.4 Identificar y describir las operaciones unitarias de la planta de compostaje</u>	50
<u>IV.5 Identificar los problemas y sus causas en la planta de compostaje</u>	50
<u>IV.6 Identificar las áreas de oportunidad y mejora en la planta de compostaje</u>	50
<u>Capítulo V. Principales hallazgos</u>	51
<u>V.1 Revisión bibliográfica en bases de batos</u>	51
<u>V.2 Recopilación de información sobre el manejo de RSU en Jiutepec</u>	51
<u>V.3 Recopilación de información de plantas de compostaje de Jiutepec</u>	52
<u>V.4 Identificar y describir las operaciones unitarias de la planta de compostaje</u>	52
<u>V.5 Identificación de los problemas y las causas</u>	54
<u>V.6 Identificar las áreas de oportunidad y mejora en la planta de compostaje</u>	65
<u>Capítulo VI. Conclusiones</u>	81
<u>Referencias</u>	83

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura I.1 Composición de RSU a nivel global.....	15
Figura I.2 Manejo de RSU en Jiutepec.....	25
Figura I.3 Fases del proceso de compostaje tomado de la Guía de compostaje municipal del Gobierno de Guatemala.....	30
Figura I.4 Pila estática con aireación pasiva tomado del manual de compostaje de la Junta de Andalucía 2016.....	32
Figura I.5 Detalle de pila estática con aireación forzada tomado del manual de compostaje de la Junta de Andalucía 2016.....	33
Figura I.6 Detalle de pila de volteo tomado del manual de compostaje de la Junta de Andalucía.....	33
Figura I.7 Esquema de reactor de flujo vertical tipo SEBAC tomado de T-Forster-Carneiro 2003.....	34
Figura I.8 Reactor cilíndrico rotativo tomado del manual de compostaje para la agricultura ecológica 2014.....	35
Figura I.9 Etapas del compostaje. Elaboración propia con datos del Manual de compostaje municipal	40
Figura V.9 Esquema del proceso de compostaje en la planta de Jiutepec.....	53
Figura V.10 Diagrama de Ishikawa con las causas de los problemas.....	63

INDICE DE TABLAS

Tabla V.1 Check list de la NMX-AA-180-SCFI-2018.....	54
Tabla V.2 Acciones de mejora en la categoría Documental.....	64
Tabla V.3 Acciones de mejora en la categoría infraestructura.....	65
Tabla V.4 Acciones de mejora en la categoría maquinaria y equipo.....	67
Tabla V.5 Acciones de mejora en la categoría calidad.....	68
Tabla V.6 Priorización de las acciones de mejora para el área documental.....	69
Tabla V.7 Priorización de las acciones de mejora para el área infraestructura.....	70
Tabla V.8 Priorización de las acciones de mejora para el área maquinaria y equipo	71
Tabla V.9 Priorización de las acciones de mejora para el área calidad	71
Tabla V.10 Calendarización de las acciones de mejora	73

INTRODUCCIÓN

Se considera que la basura no era un obstáculo en la antigüedad pues no se tenía la noción de “desechable” cuando la mayoría de los seres humanos vivían en sociedades cazadoras-recolectoras. En la prehistoria se aprovechaban todos los elementos disponibles del entorno, incluidos aquellos de los que no se podían obtener alimentos, como los huesos de animales, para ser aprovechados como materia prima, por ejemplo, para la elaboración de herramientas o joyería; sin embargo, cuando los seres humanos comenzaron a vivir de manera sedentaria y sus poblaciones crecieron, la basura comenzó a generar problemas como la presencia de carroñeros peligrosos, la generación de moscas, ratas y malos olores (Instituto Cultural de León, 2019).

Ya en la antigua Grecia y Roma existían reglas y leyes para disponer los residuos, generalmente en sitios alejados de las ciudades. En México es hasta el siglo XVIII cuando se pueden encontrar evidencia de la gestión de los residuos por parte del Estado, en estos documentos se entiende por desecho a “las basuras y excrementos, cadáveres y descomposición”. Los residuos durante este periodo y a lo largo del siglo XIX y las primeras décadas del siglo XX, se componían de elementos orgánicos, como la tierra, maderas, cueros, fierros, piedras, excretas y cadáveres, es durante este periodo que la visión de algunos residuos cambia, dejando de ser materias primas aprovechables o fuentes de alimento para animales (Dávalos, 2019).

La revolución industrial, científica y tecnológica del siglo XVIII, permitió la aparición de nuevos productos, bienes y servicios, que cambiaron la constitución y composición física y química de los residuos que genera una persona y la forma en la que las sociedades gestionan la eliminación, recuperación o reciclaje de esos residuos.

La economía lineal nace con la revolución industrial, este modelo de desarrollo mantiene la expectativa de que el consumidor desechará los bienes que consumo una vez que estos sean viejos u obsoletos (vida útil) y terminará por adquirir uno nuevo. El concepto de vida útil es sobre el que descansa el modelo de desarrollo lineal, históricamente, cuanto más se ha acortado la vida útil, más réditos han obtenido las empresas. Este modelo se ha beneficiado de la facilidad para obtener grandes cantidades de recursos (materiales y energéticos) a un precio asequible gracias a que consideran al medio y a las personas como externalidades que pueden quitar de la ecuación, para disminuir precios y promover un mayor consumo, el problema con este modelo es que plantea un crecimiento económico infinito a partir de recursos naturales finitos, lo que lo hace insostenible (Iglesia, 2020).

La economía lineal es un modelo de desarrollo que tiene como principio base el desecho de los productos después de su uso, con este modelo casi todos los productos tienen un ciclo lineal, en donde se extraen las materias primas, luego estas se transforman en bienes o servicios, estos son consumidos y usados por las personas y finalmente son desechados como residuos. Por ende, existe una relación positiva entre población, ingreso per cápita y generación de residuos (Falappa, 2019).

México ha experimentado un acelerado crecimiento de la población en el último siglo y se estima que la población mexicana seguirá creciendo por lo menos hasta el año 2050, pasando de 126 M de personas en el 2020 a 148.2 M en el 2050; además este aumento de población estará acompañado del aumento en la prestación de servicios que deberá proporcionar el estado, como la gestión de Residuos Sólidos Urbanos (RSU) (SEMARNAT, 2018).

La población mexicana producía diariamente 44.6 M Ton de RSU, según el Informe de la Situación Actual de Medio Ambiente, publicado en el año 2018, este informe señala que el 51.6% de estos residuos pertenecen a la fracción orgánica; en el caso del Estado de Morelos, se producen 2,171 Ton/día y el 55.57% de estos pertenecen a la fracción orgánica, según lo señala el Programa Estatal de la Gestión y Manejo Integral de Residuos Sólidos Urbanos y de Manejo Especial en Morelos.

Particularmente para el municipio de Jiutepec, se estima que la generación diaria de RSU asciende a las 289.07 Ton, lo que representa el 8.7% del total estatal y tiene una composición similar al resto de la entidad, según lo señalado por la Estrategia para la Gestión Integral de los Residuos del Estado de Morelos 2017.

En el municipio de Jiutepec, el manejo integral de los residuos es una tarea que realiza por completo la administración municipal, por otra parte, las diferentes etapas del manejo de los RSU están concesionadas a particulares en mayor o menor porcentaje. La etapa de recolección está dividida entre los concesionarios y la administración municipal, en ambos casos, ninguno ofrece la recolección diferenciada de residuos; una etapa posterior es la transferencia, contando el municipio con un sitio para dicha actividad; en cuanto al tratamiento de los RSU, el municipio no cuenta con infraestructura para la valorización de los residuos o su aprovechamiento energético, pero sí cuenta con dos planta de compostaje, una de carácter privado y otra que depende directamente de la administración pública; finalmente en cuanto a disposición final, el municipio no cuenta con un sitio de disposición final o incineración, por lo que los RSU deben ser transportados al sitio de disposición final “La perseverancia” ubicado en el municipio de Cuautla, tal como lo expresó el

Coordinador general de Servicios públicos de Jiutepec, Miguel González, cuando se le preguntó en su oficina¹.

La fracción orgánica de los RSU puede ser reciclada con tecnologías como la metanización o el compostaje. El municipio de Jiutepec cuenta con su propia planta de compostaje, sin embargo, en la actualidad funciona como un sitio de almacenamiento de residuos de poda y jardinería, dichos residuos provienen de la vía pública, parques y jardines públicos y privados, barrancas y apantles.

En el presente trabajo se pretende conocer las condiciones actuales en las que se encuentra la operación de la planta de compostaje municipal para identificar la infraestructura, los problemas que no han permitido su desarrollo, personal con el que cuenta y tipo de financiamiento, etc. y de esta manera, proponer un plan de mejora que le sirva de base al personal para habilitar la planta de compostaje y pueda cumplir con la normatividad aplicable.

¹ Miguel González Gómez, Secretaría de Desarrollo Sustentable, Obras y Servicios Públicos, Predial y Catastro, Coordinador general de servicios públicos, 2019-presente.

CAPITULO I. MARCO TEORICO

I.1 Residuos

Las actividades cotidianas inevitablemente generan algún tipo de residuo. Los residuos son todos aquellos materiales cuyo propietario o poseedor desecha y que se puede encontrar en estado sólido, semisólido, o en estado líquido o gaseoso contenido en algún recipiente, con la posibilidad de ser valorizado y que requiere ser sujeto de tratamiento o disposición final (SEMARNAT, 2019).

El consumo de recursos naturales está implícito en la generación de residuos y la generación está en función de la capacidad para adquirir bienes y servicios de una población; la tendencia global a nivel mundial muestra que aquellas sociedades con indicadores de desarrollo humano y con ingresos per cápita altos, son las que contribuyen en mayor porcentaje en la producción anual de residuos, estos son solo algunos de los factores que determinan el volumen de generación de Residuos Sólidos Urbanos (RSU) (SEMARNAT, 2015).

Se ha observado que cuando las naciones pasan de ser consideradas de ingresos bajos a ingresos medios y estos a la categoría de ingresos altos, la gestión de sus residuos también cambia. El crecimiento económico y la prosperidad, así como la migración a zonas urbanas está ligado al incremento per cápita de la generación de residuos. Esto es evidente cuando se comparan naciones y se demuestra que tan solo el 16% de la población de las naciones de mayores ingresos generan hasta el 34% de los RSU en el mundo (Kaza, 2018).

I.1.1 Tipos de residuos

Los residuos son clasificados en tres categorías según la Ley General para la Prevención y Gestión Integral de los Residuos en: Residuos Peligrosos, Residuos de Manejo Especial y Residuos Sólidos Urbanos. Sin importar la categoría, todos los residuos tienen el potencial de generar afectaciones a la salud y el ambiente, y su inadecuado manejo cuando conduce a la disposición final impide el reciclaje de los recursos naturales que fueron usados en su manufactura o nutrición para el caso de los organismos vivos (SEMARNAT, 2003).

Los residuos peligrosos son todas aquellas sustancias sólidas, líquidas o gaseosas, y los recipientes que los contienen o contuvieron que cuenten con al menos una de las siguientes características:

- Corrosivos: Que tienen la capacidad de destruir o dañar irreversiblemente una superficie, como los ácidos o las bases fuertes.
- Reactivos: Sustancias que en presencia de aire o agua y sin una fuente de calor o energía tienen la capacidad de generar calor, inflamarse o reaccionar violentamente.
- Explosivos: Cuando el material es capaz de producir una detonación, por sí mismo o en presencia de una fuente de energía o si es calentado bajo confinamiento.
- Tóxico: toda sustancia, energía o agente químico no infeccioso, de tamaño no superior a una partícula o fibra, que tras generarse internamente o haber entrado en contacto, penetrado o ingerido por un organismo vivo, en dosis suficientemente alta, puede producir o produce un efecto adverso directo o indirecto en el mismo (Guiart y Giménez, 2012)
- Inflamable: todas aquellas sustancias que en estado líquido o sólido sean capaces de generar flama, por medio de la fricción, absorción de humedad o cambio químico, siempre por debajo de los 60.5 °C.
- Biológico infecciosos: Se consideran a todos los materiales que sean generados durante los servicios de atención médica que contengan agentes biológico-infeccioso y que puedan causar efectos adversos a la salud y el ambiente, además de aquellos que han entrado en contacto con humanos o animales o sus muestras biológicas durante el diagnóstico y tratamiento (LGPGIR, 2021).

Los Residuos de Manejo Especial (RME), corresponden a aquellos que no cumplen con las características de peligrosidad, pero que por la naturaleza de sus componentes deben ser tratados de manera diferenciada a los RSU, tales como los equipos electrónicos; también los RME son todos aquellos residuos que tengan características domiciliarias pero que sean producidas por grandes generados, tales como los residuos de los mercados o centros comerciales (LGPGIR, 2021)

Los RSU son aquellos que se producen en las casas-habitación como consecuencia de la eliminación de los materiales que se utilizan en las actividades domésticas, los que provienen de establecimientos o los generados en la vía o lugares públicos (SEMARNAT, 2003).

I.1.2 Residuos Sólidos Urbanos

Según el informe “What a waste 2.0: A Global Snapshot of Solid Waste Management to 2050”, de continuar con las tendencias actuales, para el año 2050 la generación de residuos crecerá un 70% con respecto a la generación actual. Para el año 2016, en el mundo se desechaban hasta dos mil millones de toneladas de residuos o 0.74 kg por persona al día. A nivel global, los residuos de comida y verdes (restos de poda y jardinería) representan el 44%, le siguen el papel y cartón con el 17%, los plásticos con 12%, vidrio 5%, metal 4%, el caucho, cuero y madera con el 4% y el 14% restante corresponde a otros materiales (Figura I.1); sin embargo, estos porcentajes varían de una región a otra dependiendo en gran medida del nivel de ingreso en los hogares.

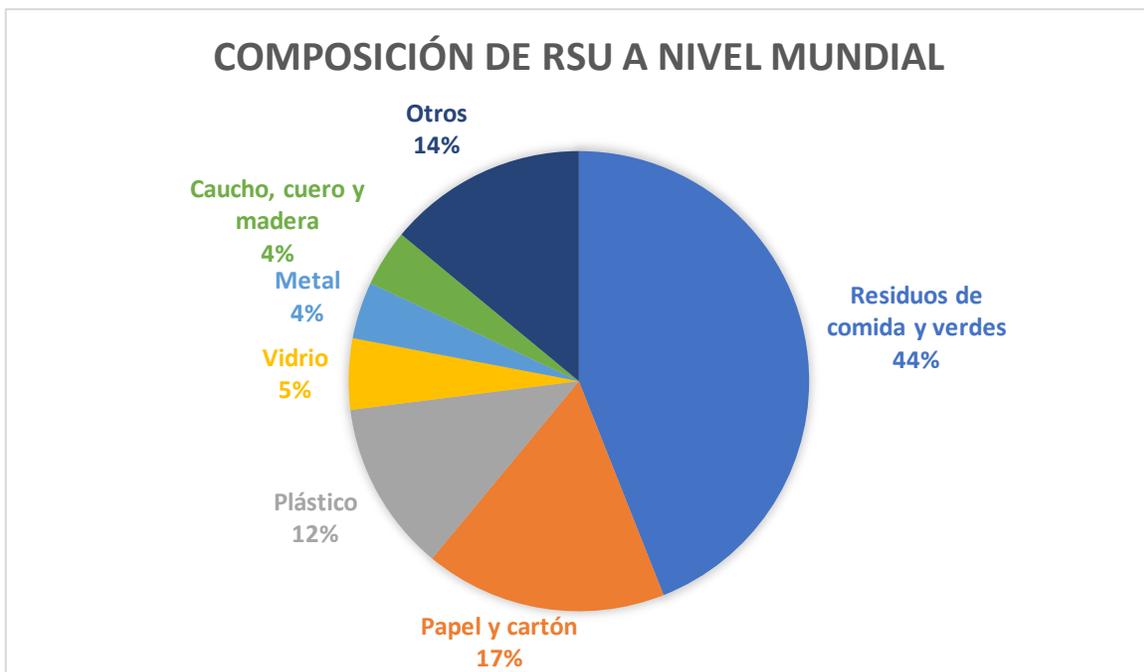


Figura I.1 Composición de RSU a nivel global tomado de What a waste 2.0: a global snapshot of solid waste management to 2050.

I.1.3 Características de los RSU

Los RSU poseen características químicas, físicas y biológicas que varían de una región a otra, por ello es importante conocer dichas propiedades cuando se buscan implementar estrategias para la gestión y el manejo de los residuos. Entre las propiedades físicas a analizar de los RSU tenemos las siguientes:

- **Peso específico:** definido como el peso de un material por unidad de volumen; los datos sobre peso específico a menudo son necesarios para valorar la masa y volumen total de los residuos que serán gestionados, sin embargo, el peso específico varía notablemente con la ubicación geográfica, la estación del año y el tiempo de almacenamiento.
- **Contenido de humedad:** hace referencia a la humedad contenida en los RSU, para medirlo es necesario pesar la masa de los RSU, posteriormente deshidratarlos y finalmente volverlos a pesar, la diferencia entre el peso inicial y el final es el contenido de humedad.
- **Tamaño de partícula y distribución de tamaño:** el tamaño y la distribución del tamaño de los componentes de los materiales en los RSU son importantes dentro de la recuperación de los materiales, particularmente cuando se emplean medios mecánicos como las cribas, el trómel o los separadores magnéticos.
- **Capacidad de campo:** es la cantidad total de humedad que puede retener una muestra de residuos sometida a la acción de la gravedad; es una característica crítica para la determinación en la formación de lixiviados, esta característica varía en función del estado de descomposición de los residuos y la presión aplicada a la muestra.
- **Permeabilidad:** La conductividad hidrológica de los RSU es importante pues en gran parte gobierna el movimiento de líquidos y gases dentro de un sitio de disposición final.

Las propiedades químicas de los RSU se suelen clasificar pensando de antemano en dos categorías en las que pueden ser clasificados: a) materiales semihúmedos combustibles y b) no combustibles; cuando se consideran a los RSU como combustibles, las propiedades estudiadas son los análisis físicos, el punto de fusión de las cenizas y el contenido energético; cuando los RSU no son considerados como combustible y se busca el tratamiento biológico de éstos, es importante realizar el análisis elemental y los análisis de nutrientes esenciales:

- Análisis físico: para los componentes combustibles incluye los siguientes ensayos: 1) humedad, 2) materia volátil combustible, 3) carbono fijo, 4) ceniza.
- Punto de fusión de las cenizas: se define como la temperatura en la que la ceniza resultante de la incineración de los residuos se transforma en sólido (escoria) por la fusión y aglomeración.
- Análisis elemental: el análisis elemental de un residuo normalmente implica la determinación del porcentaje de C (carbono), H (hidrógeno), O (oxígeno), N (nitrógeno), S (azufre) y ceniza, usualmente se incluye la determinación de halógenos. Los resultados se utilizan para caracterizar la composición química de la materia orgánica de los RSU y definir la mezcla correcta de materiales residuales para conseguir relaciones C/N aptas para procesos de conversión biológica.
- Contenido energético: existen tres pruebas diferentes en la determinación del contenido energético de los RSU: 1) utilizando una caldera a escala como calorímetro, 2) utilizando una bomba calorimétrica de laboratorio y 3) por calculo, si se conoce la composición elemental.
- Nutrientes esenciales y otros elementos: cuando la fracción orgánica de los RSU será usada para la elaboración de productos biológicos, como el compost, el metano o el etanol, la información sobre los nutrientes esenciales y los elementos del material residual es importante para conocer la disponibilidad de nutrientes para microorganismos, y para valorar los usos finales que pueden tener los materiales después de la conversión biológica.

Las características biológicas de los RSU son relevantes pues su composición determinará la forma y los organismos que pueden degradar de mejor manera a los diferentes componentes de los RSU, bajo este enfoque se pueden agrupar a los RSU según sus características biológicas en siete categorías:

- Constituyentes solubles en agua (azúcares, féculas, aminoácidos)
- Hemicelulosa
- Celulosa
- Grasas, aceites y ceras (ésteres de alcoholes y ácidos grasos de cadena larga)
- Lignina
- Lignocelulosa
- Proteínas

En ninguna de estas categorías se contempla a los plásticos, la goma (caucho) o el cuero (Facultad Regional Mendoza, 1980).

I.2 Generación de RSU en México

En nuestro país hasta el año 2015 se tienen estimaciones que calculan la generación de RSU en 53.1 MTon al año, mostrando un incremento del 61.2% comparado con los datos del 2003; como en el caso de otras naciones, el incremento en la generación es el resultado del aumento en el consumo final privado y el crecimiento del Producto Interno Bruto (PIB) nacional, que en el caso de la República Mexicana, el PIB y la generación de residuos crecieron prácticamente a la misma tasa, es decir alrededor de 2.8% anual (SEMARNAT, 2015).

Las características geográficas de la población y sus condiciones económicas son relevantes pues marcan diferencias en cuanto a la generación de RSU en nuestro país. En este sentido y según la regionalización de la antigua Secretaría de Desarrollo Social (SEDESOL), la zona centro del país es la que mayor generación de residuos reporta, contribuyendo con hasta el 51% de los RSU, le sigue la región frontera norte con el 16%, la Ciudad de México con el 12% y la zona sur con el 10% de los residuos totales generados a nivel nacional (SEMARNAT, 2015).

En cuanto a composición, según los datos del Informe de la Situación del Medio Ambiente en México, publicado en el año 2018, se destaca la fracción correspondiente a los residuos de comida, jardines y materiales orgánicos similares que constituyen el 54%, le sigue el papel y cartón y otros productos de papel con el 13.8%, los plásticos con el 10.9%, el vidrio 5.9%, aluminio 1.7%, metales ferrosos 1.1% otros metales no ferrosos 0.6% y finalmente otro tipo de residuos que representaron el 12.1% (SEMARNAT, 2018).

I.2.1. Generación de RSU en Morelos

Para el año 2010 en la entidad se generaban hasta 1,841.5 Ton/día de RSU, según el Programa de Prevención y gestión Integral de Residuos Sólidos Urbanos y de Manejo Especial del Estado de Morelos, publicado en el Periódico Oficial “Tierra y Libertad” del 21 de julio del 2010.

Para el año 2017 la generación de residuos en Morelos mostró un aumento, pues según la Estrategia para la Gestión Integral de los Residuos del Estado de Morelos en la entidad se generaban hasta 1,939.95 Ton/día, representando un promedio diario per cápita de 1.1 kg/día, recolectándose solo el 80% del volumen de RSU generado. La composición de los RSU muestra una distribución porcentual similar a la reportada a nivel nacional, el 51% de los residuos pertenecen a la fracción orgánica, le sigue el plástico con el 13%, el papel con el 10%, vidrio 4%, metales 2% y un 20% correspondiente a otro tipo de residuos (Gobierno del Estado de Morelos, 2017). Más recientemente según lo publicado en el Programa Estatal de Gestión y Manejo Integral de Residuos Sólidos Urbanos y de Manejo Especial en Morelos, para el año 2019 se generaron 2,207.06 Ton/día, para el 2020 fueron 2,231.34 Ton /día y en 2021 2,255.88 Ton/día, en cuanto a su composición, esta fuente señala que el 55.6% corresponde a la fracción orgánica, el 14.3% a los plásticos, el 10.5% es papel, el vidrio representa el 2.7%, los metales el 1.2% y los residuos no reciclables el 15.1% (SDS, 2022).

I.2.2 Generación de RSU en Jiutepec

En el año 2010 en el municipio se generaban 279.3 Ton/día contando con una población de 190,270 habitantes, lo que equivale a 1.47 kg/hab/día (Gobierno del Estado de Morelos, 2010). Según la Estrategia para la Gestión Integral de los Residuos para el Estado de Morelos publicada en el año 2017, en el municipio se generaban 289.1 Ton/día con una población de 196,953 habitantes, lo que supone una generación de 1.47 kg/hab/día.

Para el diagnóstico de la generación de RSU para el Estado de Morelos, plasmado en el documento “Programa Estatal para la Gestión Integral de los Residuos del Estado de Morelos”, el territorio estatal fue zonificado, para el programa publicado en el año 2010 Jiutepec pertenece a la zona “Conurbada Cuernavaca” que comprendía los municipios de Cuernavaca, Emiliano Zapata, Temixco y Xochitepec, el 55% de los RSU generados en esta zona pertenecían a la fracción orgánica, le seguía en proporción los plásticos con el 14.2% el papel con 9.1%, vidrio 3.8%, metales 2.2% y

otro tipo de residuos representado el 15.6%. Más recientemente, según el Programa Estatal de la Gestión y Manejo Integral de Residuos Sólidos Urbanos y de Manejo Especial en Morelos publicado en 2022, Jiutepec ahora forma parte de la zona “Cuernavaca sur” que incluye los municipios de Emiliano Zapata, Temixco, Xochitepec y Yautepec, en esta zona los residuos orgánicos representaron el 51.1%, le siguen los no reciclables con el 19.7%, los plásticos con el 12.9%, el papel con el 9.4%, el vidrio con el 3.9% y el metal con el 2.9%. Específicamente en Jiutepec se reportaron 169.31 Ton/día de orgánicos (55.3%), 46.81 Ton/día de no reciclables (15.3%), 43.73 Ton/día de plásticos (14.3%), 28 Ton/día de papel (9.1%), 11.7 Ton/día de vidrio (3.8%) y de 6.75 Ton/día de metal (2.2%).

I.3 Marco legal de los RSU

La Constitución Política Mexicana, en su artículo 4º, párrafo 5º establece que toda persona tiene derecho a un ambiente sano para su desarrollo y bienestar. El Estado garantizará el respeto a este derecho y el daño y deterioro ambiental generará responsabilidad a quien lo provoque, según lo dispuesto por la Ley. Adicionalmente, el artículo 25 establece que el desarrollo nacional será integral y sustentable, el artículo 27º menciona que se dictarán las medidas necesarias para preservar y restaurar el equilibrio ecológico, también en el artículo 73º se menciona que el Congreso tiene la facultad para expedir leyes sobre disposiciones sanitarias y de protección al ambiente, de preservación y restauración del equilibrio ecológico y por último, el artículo 115º de la Carta Magna menciona que los municipios tendrán a su cargo las funciones y servicios públicos de limpieza, recolección, traslado, tratamiento y disposición final de los residuos.

Por su parte, en la Ley General del Equilibrio Ecológico y Protección al Ambiente, artículo 7º, fracción VI, establece que les corresponde a las entidades federativas, la regulación de los sistemas de recolección, transporte, almacenamiento, manejo, tratamiento y disposición final de los residuos sólidos e industriales, siempre y cuando no sean considerados como peligrosos.

Además, en la Ley antes citada, se establece en el artículo 8º Fracción IV, que les corresponde a los municipios la aplicación de las disposiciones jurídicas relativas a la prevención y control de los efectos sobre el ambiente ocasionados por la generación, transporte, almacenamiento, manejo,

tratamientos y disposición final de los residuos sólidos e industriales, de igual manera, siempre y cuando estos no sean considerados como peligrosos (LGEEPA, 2021).

También es sumamente importante mencionar a la Ley General para la Prevención y Gestión Integral de los Residuos (LGPGIR) en donde según el artículo 9° fracción VII, es facultad del Estado promover la creación de infraestructura para el manejo integral de los residuos sólidos urbanos, de las entidades y los municipios, con la ayuda de inversionistas y representantes de sectores sociales interesados. Además, en el artículo 10° se establece que los municipios tienen a su cargo las funciones del manejo integral de los RSU (recolección, traslado, tratamiento y disposición final) y en la fracción III se especifica que deben los municipios controlar los residuos sólidos urbanos y en coordinación con el estado, aprovechar la materia orgánica en procesos de generación de energía.

La Constitución Política del Estado Libre y Soberano de Morelos en el Capítulo *VII DE LA PROTECCIÓN AL AMBIENTE Y DEL EQUILIBRIO ECOLOGICO, establece en su artículo *85-D que toda persona tiene derecho a un medio ambiente adecuado para su desarrollo y bienestar; además, en el artículo *85-E se establece que el Ejecutivo del Estado garantizará que el desarrollo de la Entidad sea integral y sustentable, para este efecto también garantizará la conservación del patrimonio natural, la protección del ambiente y la preservación y restauración del equilibrio ecológico. Por su parte, el artículo *114 bis se establece que los municipios tendrán a su cargo las funciones y servicios públicos como la limpieza, recolección, traslado, tratamiento y disposición final de los residuos.

En el ámbito estatal, la Ley de Residuos Sólidos para el Estado de Morelos, en su artículo 8°, fracción X, establece como responsabilidad de la entidad federativa el diseño, construcción y operación directamente o bajo régimen de concesión, de estaciones de separación y transferencia, plantas de tratamiento de residuos sólidos y sitios de disposición final. También en el artículo 10° se establece que el Estado y los municipios deberán instrumentar sistemas de separación de los residuos sólidos en orgánicos, inorgánicos y de otro tipo en la generación y manejo de dichos residuos (LRSEM, 2007).

La Ley de Residuos Sólidos para el Estado de Morelos, en su título segundo relativo al manejo integral de residuos, establece en su artículo 50° que los habitantes del Estado tiene la obligación de separar los residuos sólidos desde la fuente, también el artículo 52° establece como obligatoria la

separación de los residuos en 4 categorías: I) orgánicos, II) inorgánicos, III) residuos provenientes de la atención a la salud y IV) aceites y otros materiales no peligrosos, a su vez, en el capítulo V relativo a la composta, contiene el artículo 70° que dicta que los municipios apoyarán la participación social para el fomento del compostaje de los RSU orgánicos.

En el Reglamento de la Ley de Residuos para el Estado de Morelos, en su artículo 4° fracción XVIII menciona que le corresponde al ejecutivo a través de la Secretaría la autorización de la instalación y operación de instalaciones para la elaboración de composta, adicionalmente, el artículo 5° en su fracción VII establece que le corresponde a los Ayuntamientos por medio de sus unidades administrativas correspondientes el organizar administrativamente y prestar el servicio público de limpia, consiste en el barrido de áreas comunes, vialidades y demás vías públicas así como la recolección y manejo integral de los Residuos Sólidos Urbanos domiciliarios y de pequeños generadores y en la fracción VIII se hace mención al cobro de recolección y manejo integral de los RSU.

También en el reglamento antes citado, en el capítulo VI, sección VII sobre la elaboración y manejo de composteo y acopio de residuos orgánicos menciona que, además de sujetarse a los dispuesto en las normas oficiales mexicanas y demás normas aplicables, estas instalaciones deberán:

- I. Ubicarse a una distancia mínima de 300 m del área urbana y adoptar medidas para prevenir o mitigar tanto como sea posible la emisión de malos olores, la proliferación de fauna nociva y otro tipo de molestias para las poblaciones vecinas
- II. Localizarse fuera de zonas de inundación
- III. Estar distantes por lo menos 500 m de zonas de fractura
- IV. Instalarse en áreas en las cuales el manto freático se encuentre a una profundidad mayor a 10 m y a 1000 m de zonas de recarga de acuíferos o fuentes de abastecimiento de agua potable y
- V. Adoptar en su caso, las medidas de ingeniería o de otra índole requeridas para canalizar y tratar lixiviados y prevenir que se liberen al ambiente.

Además en el Reglamento de Protección al Medio Ambiente del Municipio de Jiutepec, Morelos, en su artículo 4°, fracción XIII se establece como facultad el manejo y disposición de residuos sólidos que no sean peligrosos, así como la vigilancia del manejo de residuos sólidos industriales no peligrosos, asimismo, la Dirección de Medio Ambiente del municipio del Jiutepec, está facultado para aplicar las disposiciones jurídicas relativas a la prevención y control de los efectos sobre el

ambiente ocasionados por la generación, transporte, almacenamiento, tratamiento y disposición final de los residuos sólidos e industriales no peligrosos, como lo establece el artículo 5° fracción IV.

Más recientemente, en el año 2018, se publicó en el Diario Oficial de la Federación la Norma Mexicana NMX-AA-180-SCFI-2018, que establece los métodos y procedimientos para el tratamiento de la fracción orgánica de los residuos sólidos urbanos y de manejo especial, así como la calidad de los productos finales.

I.3.1 Gestión de los RSU

La gestión integral de residuos se define como: *“Conjunto articulado e interrelacionado de acciones normativas, operativas, financieras, de planeación, administrativas, sociales, educativas, de monitoreo, supervisión y evaluación, para el manejo de residuos, desde su generación hasta la disposición final, a fin de lograr beneficios ambientales, la optimización económica de su manejo y su aceptación social, respondiendo a las necesidades y circunstancias de cada localidad o región”* esto según la LGPGIR 2021.

La generación de RSU es regulada y vigilada por las entidades federativas de los grandes generadores de residuos, quienes están obligados a presentar un Plan de Manejo, por su parte los municipios ayudan a la entidad federativa con el registro y cesión de permisos a comercios, lo que permite llevar un control del tipo de residuos y volumen generado; los micro y pequeños generadores de residuos no tienen la obligación de presentar un Plan de Manejo.

Las entidades federativas son las encargadas en conjunto con los municipios de la formulación y operación de los “Programas para la Prevención y Gestión Integral de Residuos”, además, la entidad federativa es la encargada de la construcción y operación de las plantas de tratamiento de RSU orgánicos.

Los municipios son los responsables de la recolección, tratamiento, transporte y disposición final de los RSU, por propia cuenta o bajo la contratación de servicios a particulares. Así mismo, los municipios son los responsables de la creación y ejecución de planes o programas de educación y sensibilización ambiental dirigidos a toda la sociedad.

En el caso del municipio de Jiutepec, la responsabilidad de la gestión de los residuos recae en la Secretaría de Desarrollo Sustentable, Obras y Servicios Públicos, Predial y Catastro. Esta dependencia está dividida en diferentes direcciones, entre ellas la Dirección de Medio Ambiente y la Dirección de Sanidad, sin embargo, en la práctica estas direcciones trabajan por separado. La dirección de Medio Ambiente gestiona los residuos de poda y jardinería mientras que la Dirección de Sanidad a todos los RSU.

I.3.2 Manejo de los RSU

El manejo integral está definido según la LGPGIR 2021 como: *“Las actividades de reducción en la fuente, separación, reutilización, reciclaje, co-procesamiento, tratamiento biológico, químico, físico, o térmico, acopio, almacenamiento, transporte y disposición final de residuos, individualmente realizadas o combinadas de manera apropiada, para adaptarse a las condiciones y necesidades de cada lugar, cumpliendo objetivos de valorización, eficiencia sanitaria, ambiental, tecnológica, económica y social”*.

Para el año 2010 el municipio de Jiutepec contaba con 11 barrenderos que daban servicio únicamente a la cabecera municipal los 7 días de la semana. Para la recolección en rutas se contaba con 38 personas contratadas y 12 vehículos de compactación; para la transferencia y transporte se contaba con una estación de transferencia y 2 cajas de transferencia con una capacidad conjunta de 140 m³. Adicionalmente, existe la pepena (Gobierno del Estado de Morelos, 2010).

Según la Estrategia para la Gestión Integral de los Residuos del Estado de Morelos publicada en el año 2017, el municipio de Jiutepec daba tratamiento a través de compostaje a sus residuos, más el documento no especifica el volumen de residuos, adicionalmente el municipio no cuenta con sitios de disposición final.

En la actualidad, según declaraciones del director de saneamiento de Jiutepec (2019-actualidad), Miguel González Gómez², el municipio cuenta con 31 rutas de recolección concesionadas a 31 particulares, cada uno con un camión no compactador de transferencia vertical. Además, tampoco

² Miguel González Gómez, Secretaría de Desarrollo Sustentable, Obras y Servicios Públicos, Predial y Catastro, Coordinador general de servicios públicos, 2019-presente.

se encuentra vigente ningún programa que incentive o haga obligatoria la separación de RSU desde la fuente.

El municipio cuenta con dos plantas de compostaje, las cuales reciben los residuos de poda y jardinería de la vía pública y de particulares generados en el territorio municipal y en las inmediaciones de los municipios de Cuernavaca, Emiliano Zapata y Temixco. El municipio cuenta con un sitio de transferencia, la recolección realizada por el municipio hace uso de este sitio y posteriormente los RSU se transportan para su disposición final en el municipio de Cuautla; se presume que cada concesionario se dirige al sitio de disposición final ubicado en Cuautla. En la figura I.2 se puede apreciar el diagrama del actual manejo de RSU en el municipio de Jiutepec.

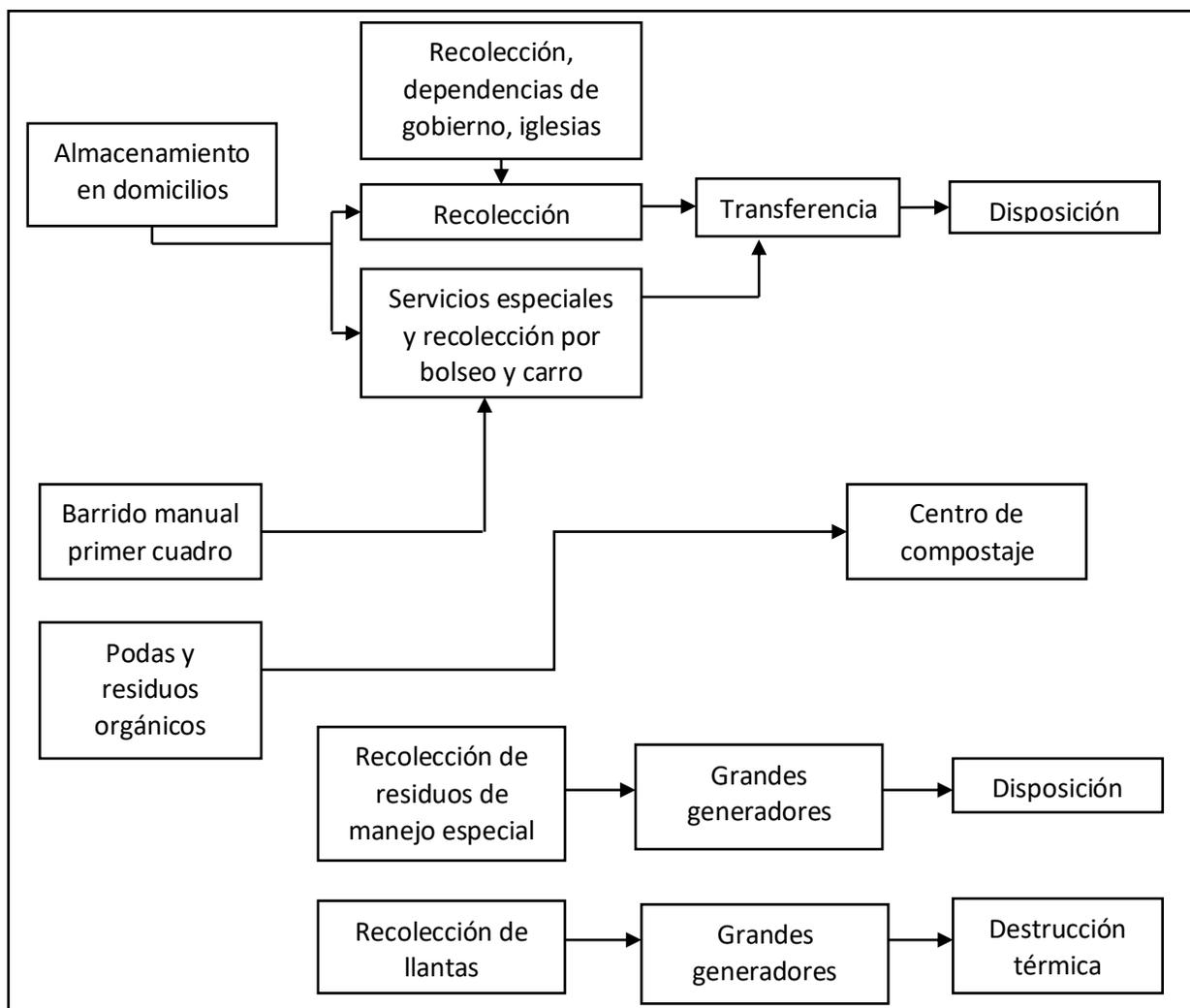


Figura I.2 Manejo de RSU en Jiutepec Elaboración propia

I.4 Aprovechamiento de los RSU orgánicos

Como se ha observado antes en diferentes escalas (nacional, estatal y municipal), los RSU orgánicos representan la fracción de mayor porcentaje, por lo que su aprovechamiento resulta de vital importancia en aras de mejorar el desempeño ambiental de las zonas urbanas, luchar contra el cambio climático y extender la vida útil de los sitios de disposición final. Existen diferentes técnicas para aprovechar los RSU, que podemos clasificar en dos categorías: las tecnologías de aprovechamiento energético y las tecnologías de reciclaje de materia.

I.4.1 Aprovechamiento energético

Existen propuestas o tecnologías para transformar los RSU orgánicos en combustibles como el bioetanol a través del tratamiento anaerobio, pues actualmente la producción de bioetanol que parte de materias primas procedentes de la agricultura padece de fuertes críticas por la competencia que existe con el sector alimenticio (Martínez et al, 2014).

El bioetanol es un combustible que se obtiene a partir de la fermentación de materia orgánica rica en azúcares, estos pueden encontrarse de manera directa como sacarosa y fructuosa o indirecta a través del tratamiento de la lignina o la celulosa.

La tecnología presente para la producción de bioetanol se puede clasificar en dos categorías, la 1° generación y la 2° generación. La 1° generación corresponde a procesos que pueden producir bioetanol con caña de azúcar o maíz, por su parte, los procesos de segunda generación pueden producir este biocombustible a partir de residuos lignocelulósicos, bagazo, paja, rastrojo, olote y recursos forestales.

La producción de bioetanol requiere de las siguientes etapas:

1. Pretratamiento: considerada la operación unitaria más costosa del proceso, existen diferentes métodos como tratamientos mecánicos, térmicos, físicos y químicos, esta es la etapa previa para los procesos de 2° generación.
2. Fermentación: en la producción de bioetanol a partir de masa lignocelulósica, los azúcares son liberados durante el pretratamiento hasta transformarse en etanol y CO₂.

3. Destilación: esta operación es fundamental para purificar el etanol producido en la fermentación. En procesos de destilación convencionales se obtienen mezclas etanol-agua con aproximadamente 95% de concentración de etanol.
4. Deshidratación: es un proceso fundamental si se busca su implementación como combustible para motores. Este proceso es en la actualidad una operación compleja y representa una gran inversión económica y energética. (Monroy et al, 2017).

Otro proceso de digestión anaerobia es la llamada biometanización, este proceso biológico también genera un combustible, pero en estado gaseoso, conocido como biogás, este proceso consta de cuatro etapas:

1. Hidrolisis
2. Acidogénesis
3. Acetogénesis
4. Metanogénesis

Durante la última etapa se genera el biogás, el cual consiste en una mezcla de gases, principalmente metano y dióxido de carbono, el biogás es considerado útil para su combustión y generación de calor o energía eléctrica (Agencia de residuos de Catalunya, 2009).

I.4.2 Reciclaje de la materia

El reúso de los residuos orgánicos de las actividades agropecuarias como fuente de alimentos animal o como aplicación directa como abono se conoce desde la antigüedad, la actividad agroindustrial genera una importante cantidad y diversidad de residuos susceptibles de ser transformados en forrajes, comida para animales, ensilados o harinas (Uruguay, 1999).

Por último, se puede citar el proceso de compostaje como técnica de aprovechamiento de los RSU orgánicos, que a diferencia de los métodos anteriores (bioetanol y biogás), se trata de un proceso aerobio cuyo producto es el compost, un material estabilizado y que puede ser aprovechado como abono o mejorador del suelo, gracias a sus propiedades de retención de nutrientes, humedad, porosidad y cantidad de materia orgánica (Generalitat de Catalunya, 2016).

I.4.1 Proceso de compostaje

Según Francou (2003) la composta se define como: “Un proceso controlado de la degradación de componentes orgánicos de origen animal y vegetal, por una sucesión de comunidades microbianas en condiciones aerobias, acompañado de un aumento de la temperatura, y que conduce a la elaboración de una materia orgánica húmeda y estabilizada”.

En el proceso de compostaje se establecen las condiciones físicas óptimas para que los microorganismos colonicen el material orgánico e iniciar el proceso de degradación. Los microorganismos involucrados en la descomposición están presentes en los desechos, además, los organismos del suelo (bacterias, actinomicetos, hongos y protozoos) son introducidos cuando los residuos se mezclan con el suelo o se inoculan con abono terminado. Los compuestos de carbono (C) presentes en los materiales orgánicos son utilizados por los microorganismos como fuente de energía, liberando dióxido de carbono (CO_2) al ambiente. El oxígeno (O_2) que está en el sistema de la composta es consumido por los organismos residentes y a medida que se pierde C de la pila, la composta se vuelve más condensada y los espacios de aire dentro de la pila se hacen más reducidos, por lo que es importante reponer el O_2 durante el proceso (aireación forzada o volteando la pila) para evitar que el sistema se vuelva anaeróbico (Chen et al, 2011).

La materia orgánica puede sufrir dos tipos de procesos en una composta: una mineralización completa hasta la producción de CO_2 o una humificación y la producción de sustancias húmicas.

En general el proceso de compostaje se divide en cuatro etapas según la temperatura generada, en la figura I.3 se aprecia de manera grafica las fases descritas a continuación:

1. **Fase mesófila:** inicia el proceso de descomposición, aumentando la temperatura en cuestión de un par de días o incluso algunas horas hasta alcanzar los 45°C , los microorganismos utilizan las fuentes sencillas de carbono (azúcares y almidón) y nitrógeno, la descomposición de la materia genera ácidos orgánicos que bajan el pH hasta 4 o 4.5, esta fase dura aproximadamente entre 2 y 8 días.
2. **Fase termófila o higienización:** Los microorganismos mesófilos son reemplazados por organismos termófilos, principalmente bacterias, estos nuevos organismos degradan fuentes más complejas de carbono, además estos nuevos microorganismos transforman el nitrógeno en amoníaco, aumentando el pH del medio; particularmente, cuando se alcanzan temperaturas por encima de los 60°C , se desarrollan bacterias capaces de descomponer ceras o hemicelulosas. Dependiendo de la materia prima utilizada, las condiciones climáticas

del lugar o la tecnología utilizada, esta fase puede durar desde unos días hasta meses. También recibe el nombre de **Fase de higienización** debido a que con temperaturas superiores a los 55°C se asegura la eliminación de quistes, huevos de helminto, esporas de hongos fitopatógenos y semillas de malezas, al igual que bacterias patógenas como la *Escherichia coli* y *Salmonella spp.* que pueden encontrarse en el material de partida, dando lugar a un producto higienizado.

3. **Fase de enfriamiento o mesófila II:** una vez agotadas las fuentes de carbono y nitrógeno (principalmente) en el material de compostaje, primeramente, la temperatura desciende entre los 40 y 45°C, durante esta fase continúa la degradación de polímeros y aparecen hongos visibles en la superficie, después la temperatura descenderá de los 40°C y los microorganismos mesófilos reaparecen disminuyendo el pH, pero manteniéndose alcalino, esta fase requiere de varias semanas y suele confundirse con la etapa de maduración.
4. **Fase de maduración:** Periodo que puede durar meses a temperatura ambiente ocurriendo reacciones secundarias de condensación y polimerización de compuestos de carbono para la formación de ácidos húmicos y fúlvicos (Román et al, 2013).

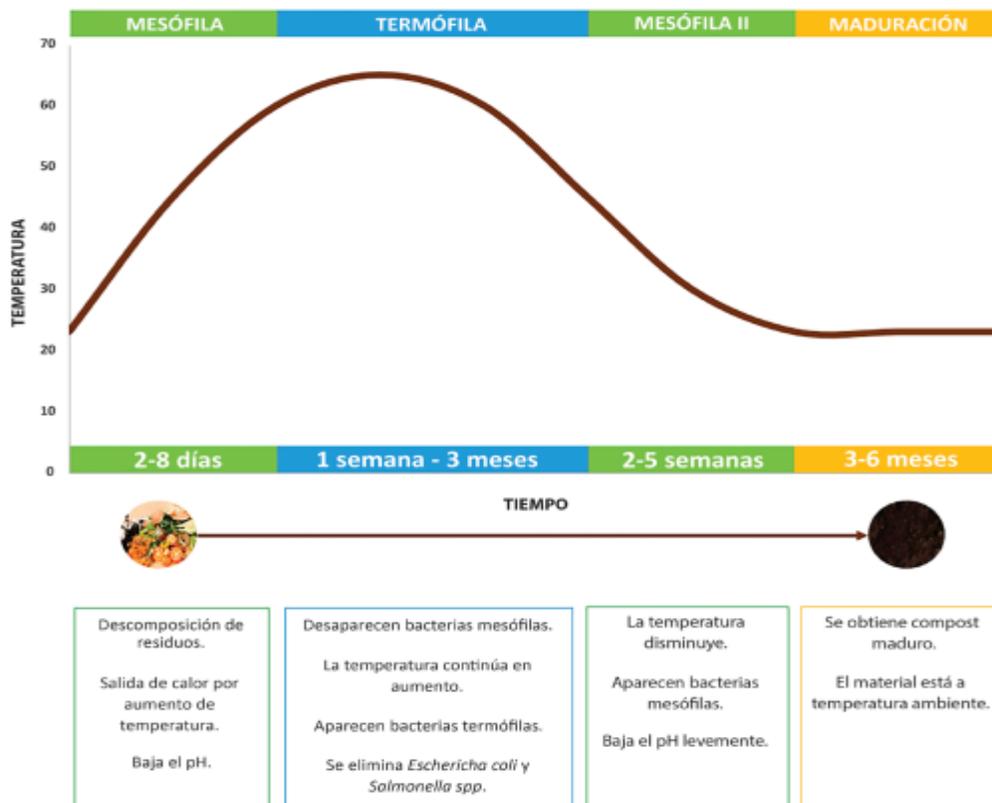


Figura I.3 Fases del proceso de compostaje tomado de la Guía de compostaje municipal del Gobierno de Guatemala

I.4.2 Los microorganismos implicados en el proceso de compostaje

Bacterias

Las bacterias están presentes todo el tiempo, y son por mucho, las que dominan en calidad y cantidad el proceso de composta. En la fase mesófila se han identificado diferentes familias como la: *Alcaligenaceae*, *Caryophanaceae*, *Enterobacteriaceae*, *Flexibacteraceae*, *Hyphomicrobiaceae*, *Methylobacteriaceae*, *Nitrosomonadaceae*, *Staphylococcaceae*; por su parte, en la etapa termófila se han identificado ciertas especies de: *Micromonosporaceae*, *Streptomycetaceae*, *Thermoactinomycetaceae*, *Thermomonosporaceae* y *Streptosporangiaceae*. Su tamaño les reporta una relación superficie/volumen muy elevado, por lo que les permite transferir rápidamente sustancias solubles para su transformación. También, algunas especies tienen la capacidad de producir esporas, como las del género *Bacillus*, lo que las hace resistentes al calor, la radiación y a las desinfecciones químicas. Un subgrupo importante de bacterias son los actinomicetos, estos aparecen tanto en la fase termófila como en la fase de maduración, toleran pH básicos y degradan celulosa y lignina, los géneros *Streptomyces* y *Nocardia* representan más del 90% de la biomasa.

Hongos

La temperatura es un factor importante en el crecimiento de los hongos, más aún que la disponibilidad de carbono o nitrógeno. La mayor parte de los hongos prefieren ambientes ácidos, aunque toleran medios alcalinos, así mismo, la mayoría de los hongos son mesófilos y se desarrollan entre los 5 y 37 °C, con una temperatura óptima entre los 25-30°C, aunque existe un pequeño grupo de hongos termófilos. La mayor parte de los hongos son conocidos por sus propiedades para degradar lignina, celulosa y/o hemicelulosa. Entre las especies mesófilas más importantes para la degradación de lignina está la división *Basidiomycota*, por su parte, en la etapa termófila de la composta, se han identificado especies como *Phanerochaete chrysosporium*, que produce enzimas para la degradación de celulosa y lignina.

Algas, protozoos y animales pluricelulares

Las algas se desarrollan en la superficie en presencia de luz, aun no se conoce del todo el rol de las algas, pero su importancia en la evolución de la composta es débil, por otra parte, los protozoos

bacteriófagos son conocidos por su acción sobre el número de bacterias en el suelo, se han observado variaciones cíclicas del tipo depredador/presa. El otro grupo de seres vivos lo forman los animales pluricelulares quienes se agrupan en diferentes categorías: por orden de tamaño tenemos a los microartropodos, como los colémbolos, ácaros, miriápodos y nematodos con talles entre los 0.2 mm y los 4 mm; le siguen las larvas de insectos (diferentes a los colémbolos) y anélidos con talles entre los 4 mm y los 80 mm; y finalmente, los animales superiores a los 80 mm como los moluscos (caracoles y babosas) y crustáceos como la cochinilla (*Dactylopius coccus*). Muchos de estos animales se alimentan de restos vegetales y pueden tener un rol importante en la homogeneización de la composta (Albrecht, 2007).

I.5 Sistemas y técnicas de compostaje industrial

Existen numerosos sistemas para llevar a cabo el proceso de compostaje. Una clasificación puede establecerse en dos categorías: los sistemas abiertos y los sistemas cerrados.

I.5.1 Sistemas abiertos

La tecnología para este tipo de compostaje es relativamente simple, además es el más económico y común. Típicamente los materiales se acumulan en el suelo o el pavimento sin comprimirlos, siendo importante la forma y tamaño de la pila. De este tipo de sistemas existen variantes:

- Pilas estáticas con aireación pasiva: para favorecer la aireación de la pila se emplean tubos perforados, lo que permite un mejor flujo de aire desde la parte inferior de la pila hacia zonas superiores. La forma y tamaño óptimo de la pila depende del tamaño de partícula, contenido de humedad, porosidad y nivel de descomposición. Este sistema se ha usado con éxito para compostar estiércol, restos de poda, fangos y RSU. El proceso logra buenos resultados de una amplia variedad de residuos orgánicos y funciona satisfactoriamente mientras se mantengan las condiciones aerobias y el contenido de humedad. La figura I.4 muestra un ejemplo de una pila estática.



Figura I.4 Pila estática con aireación pasiva tomada del estudio sobre la maquinaria idónea para las labores de compostaje de alperujos de la junta de Andalucía 2016

- Pilas estáticas con aireación forzada: este sistema permite un mayor control de la cantidad óptima de oxígeno (entre 15 y 20% para favorecer la actividad metabólica de los microorganismos). El aporte de oxígeno puede ser por succión o insuflado o ambas, este aporte se puede realizar de manera continua, a intervalos o ligado a termostatos. Una vez construida la pila, ésta ya no se toca, hasta que la etapa activa de compostaje sea completada. La figura I.5 muestra un ejemplo.



Figura I.5 Detalle de pila estática con aireación forzada tomada del Manual de compostaje de la Junta de Andalucía 2016

- Pilas con volteo: esta técnica de compostaje se caracteriza por el movimiento periódico de la pila, para homogeneizar la mezcla y su temperatura, para evitar el calor excesivo, controlar la humedad y aumentar la porosidad de la pila para mejorar la aireación. La frecuencia del volteo dependerá del tipo de material, la humedad y la rapidez con la que se desee realizar el proceso. Los volteos pueden realizarse usando la pala cargadora, recogiendo y soltando el material, para posteriormente reconstruir la pila, como lo ejemplifica la pala frontal en la figura I.6.



- Figura I.6 Detalle de pila de volteo tomado del Manual de compostaje de la Junta de Andalucía 2016

I.5.2. Sistemas cerrados

Se caracterizan por llevar a cabo el compostaje en reactores cerrados, siendo su principal inconveniente el elevado costo de inversión inicial, sin embargo, estos sistemas permiten un mejor control de los distintos parámetros del proceso.

- Reactores de flujo vertical: estos recintos suelen tener alturas superiores a los 4 m pudiendo ser continuos o discontinuos. Los reactores discontinuos contienen, a diferentes alturas, pilas de 2-3 m con un sistema de aireación forzada o volteo a pisos inferiores, en la figura I.7 puede observarse el esquema de un reactor tipo SEBAC.

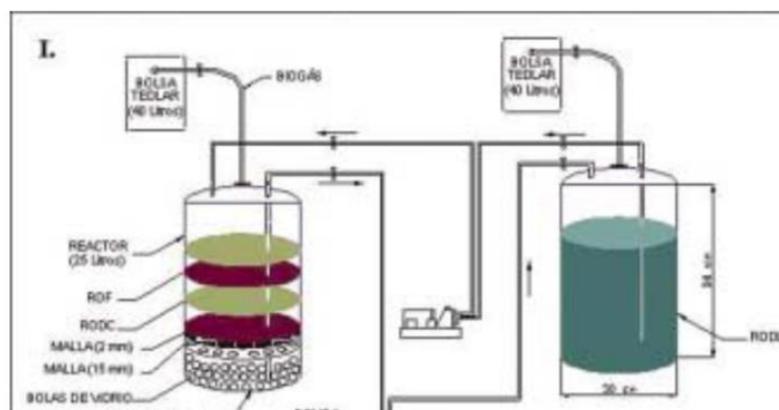


Figura I..7 Esquema de reactor de flujo vertical tipo SEBAC tomado de T-Forster-Carneiro 2003

- Reactores de flujo horizontal: estos se dividen entre aquellos que poseen un dispositivo rotatorio, los que poseen un depósito de geometría variable con un dispositivo de agitación o los que no poseen un sistema de agitación y permanecen estáticos (figura I.8) (Junta de Andalucía, 2022).



Figura I.8 Reactor cilíndrico rotativo tomado del Manual de compostaje para la agricultura ecológica 2014

I.6 Parámetros para la construcción de plantas de compostaje

I.6.1 Ubicación

Para la elección del sitio donde se emplazará la planta de compostaje es importante observar los siguientes indicadores

- Restricciones normativas: principalmente hacia la legislación sobre el uso de suelo, cambio de uso de suelo, Áreas Naturales Protegidas, planes de desarrollo urbano o los programas de ordenamiento ecológico y del territorio.
- Distancia promedio que recorren las materias primas: la distancia debe ser la más corta posible y siempre más corta que hacia el sitio de disposición final
- Distancia del mercado de consumo: importante para fomentar su uso y disminuir el precio del transporte

- Distancia a la fuente de agua: la hidratación de la composta es importante, por lo que, si no existe red hidráulica en el sitio de la planta de compostaje, la instalación deberá contar con alguna infraestructura para el almacenamiento de agua
- Uso de suelo circundante: para evitar problemas con la comunidad es recomendable la instalación de la planta de compostaje en suelos de uso agropecuario o industrial. El cambio de uso de suelo debe considerarse como última opción.
- Tamaño del predio: se recomienda 1 ha para 10 a 30 Ton/día de residuos (Rodríguez, 2006).

I.6.2 Escalada de una planta de compostaje

El tamaño de una planta de compostaje se puede calcular con base en los siguientes parámetros:

- Disponibilidad de espacio
- Disponibilidad de materia prima
- Disponibilidad de gasto corriente
- Disponibilidad de infraestructura
- Disponibilidad de experiencia

Los primero dos indicadores son factores fundamentales en el diseño de la planta, por su parte, la disponibilidad del gasto corriente, de infraestructura y experiencia son factores que afectan al diseño, pero que se pueden mejorar en el corto plazo.

El procedimiento según el Manual de Compostaje Municipal del año 2006 elaborado en conjunto por la Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales y la Deutsche Gesellschaft für Technische Zusammenarbeit (GTZ) GmbH, para estimar el tamaño máximo de una planta de composta consta de los siguientes pasos:

1. Determinar el área de influencia de la planta con respecto a la materia prima
2. Determinar la materia máxima disponible en Ton/año
3. Con base en los recursos disponibles actuales (infraestructura y gasto corriente) determinar el costo de operación más adecuado y estimar las necesidades de espacio en m^2 /Ton/año y
4. Calcular el tamaño del predio requerido

I.6.3 Operaciones unitarias de una planta de compostaje

Según el Manual de compostaje municipal, publicado en el 2006, en conjunto con el Instituto Nacional de Ecología (INE), la SEMARNAT y la GTZ, las principales operaciones unitarias son: la separación de residuos, reducción de tamaño, formulación, transporte, degradación, aireación, humectación, pasteurización, maduración, cribado, secado y empaçado.

- ❖ Separación de residuos: consiste en la separación de la fracción orgánica de aquellos componentes que no son biodegradables o que pueden contaminar las operaciones biológicas. Se recomienda realizar esta acción fuera de la planta. En un método manual, los residuos deben descargarse sobre una superficie plana y el personal con equipo de protección para vías respiratorias, pies y manos, realiza la separación de todos los materiales que pudieran ser tóxicos o que por su tamaño o dureza pueden afectar al equipo de reducción de tamaño cuando la operación se realiza con maquinaria es común encontrar:
 - Bandas de selección manual
 - Separadores magnéticos
 - Separadores vibratorios
 - Separadores por densidad
 - Separadores ópticos
 - Cribas
- ❖ Reducción del tamaño: también conocida como trituración, es una etapa que puede no ser incluida en el tratamiento de los RSU, pero que es indispensable para los residuos de poda, su objetivo es el reducir el tamaño de los materiales para facilitar su degradación, también existe la versión de “ruptura de bolsas” cuando la materia prima se encuentra empaquetada. Se sugiere la implementación mecánica, pues un método manual no es recomendable para los residuos de poda a gran escala. Entre las herramientas a utilizar en el método manual es posible encontrar tijeras, machetes y hachas, por su parte, la maquinaria usual son los molinos de martillo, molinos de disco y trómel de ganchos o criba.
- ❖ Formulación: en esta etapa del proceso es donde se agregan diferentes tipos de residuos, por ejemplo, para cambiar el pH inicial, o para inocular microorganismos provenientes de composta ya lista para maduración. Si la etapa es manual, lo común es la construcción de pilas y relleno de trincheras por capas, con la ayuda de palas, carretillas, y rampas de

madera para agregar materia prima en cantidades necesarias; cuando el proceso es mecanizado, se suele contar con cargadores frontales y tanques de formulación.

- ❖ Transporte: esta etapa se refiere al cambio de locación física de los materiales al interior de la planta, incluidos desde el movimiento en la admisión de la materia prima hasta la salida del producto final. Manualmente son requeridos carretillas, palas y bieldos; cuando la etapa es mecanizada, suele encontrarse cargadores frontales, camiones de volteo, tornillos sin fin, bandas de transportación, cesta de mordaza y equipos de aireación y transporte combinado.
- ❖ Degradación: es la etapa en la que un conjunto de microorganismos diversos transforma bioquímicamente los residuos; durante esta etapa es importante controlar la humedad, temperatura, la presencia de patógenos, el control de la anaerobiosis y vectores. Cuando esta etapa es manual, se usan típicamente las carretillas, palas y bieldos; cuando el proceso es mecanizado, suelen encontrarse cargadores frontales, camiones de volteo, tornillo sin fin, bandas de transportación, cestas de mordaza y equipos de aeración y transporte combinado.
- ❖ Aireación: esta etapa acompaña a la etapa de degradación, tiene la finalidad de proporcionar oxígeno suficiente y evitar la generación de malos olores, esta puede llevarse a cabo por convección natural o forzada. Cuando esta operación es manual, las pilas o trincheras poseen canales para la difusión del oxígeno, estos canales pueden ser tubería de plástico perforado, ramas o troncos que al salir dejan los huecos o construyendo un soporte con ramas, además de volteo manual. La maquinaria usual en esta etapa son los cargadores frontales, equipos de volteo, tuberías horizontales y compresores en pila, aspersores, tuberías, compresores en tanque y naves cerradas.
- ❖ Hidratación: esta etapa también está ligada a la etapa de degradación, tiene la finalidad de evitar la inundación, principalmente en la base de la pila, o la resequedad en la mezcla, el riego se hace manualmente mediante el uso de recipientes como cubetas o mangueras. En plantas mecanizadas se emplean sistemas de irrigación con aspersores, tuberías y bombas.
- ❖ Higienización: es otra etapa ligada a la etapa de degradación, esta consiste en la eliminación de organismos patógenos para humanos, animales y plantas, consta de dos etapas: en la primera se alcanzan temperaturas cercanas a los 35°C lo que permite la germinación de semillas de maleza, posteriormente, la temperatura se incrementa a los 55°C o más, durante al menos cinco días, lo que elimina a los microorganismos, excluyendo a los organismos termófilos, cuando esta etapa es manual, se puede controlar la temperatura con el termómetro de bayoneta, la luz de sol y geomembranas. Cuando existe maquinaria, esta

puede ser reactores y naves cerradas, donde se controlan, además de otros parámetros, la temperatura.

- ❖ **Maduración:** es la última parte del proceso de degradación, más lenta, y en la que la actividad biológica y la temperatura tienden a disminuir. Se utiliza el mismo equipo que en la degradación, usualmente en una zona diferentes de la planta, su ritmo de aireación y volteo también son menores.
- ❖ **Cribado:** en esta etapa la composta es tamizada en diferentes fracciones, lo usual es separarlo en dos o tres categorías, la fracción más fina puede considerarse como composta lista, la fracción media puede usarse como biofiltro para las pilas y la fracción más gruesa (como restos de hueso) como parte de la mezcla del inicio del proceso. Una medida común según el manual de compostaje es de 15 mm para la fracción fina y 50 mm para la fracción media. Manualmente se pueden utilizar mallas montadas en marcos, la maquinaria que facilita esta etapa pueden ser las cribas circulares especializadas o las cribas vibratorias.
- ❖ **Secado:** tiene la finalidad de reducir la cantidad de agua en el producto final, para reducir los costos de transporte y aumentar la estabilidad biológica del producto. Esta etapa incrementa la temperatura de la composta, para lograrlo se vale de diversas técnicas, desde la colocación de una plancha con un plástico negro, los desecadores solares o secadores con motor que usan combustible.
- ❖ **Empaquetado:** esta la última etapa, dedicada al acondicionamiento final del producto para su comercialización. El empaquetado puede ser completamente manual, con la ayuda de palas, sacos y basculas, o a través de un sistema mecanizado con máquinas cosedoras, sistemas de llenado y pesaje (Figura I.9).



Figura I.9 Etapas de compostaje. Elaboración propia con datos del Manual de compostaje municipal

I.6.4 Diseño de plantas de compostaje según la norma mexicana NMX-AA-180-SCFI-2018

Esta norma mexicana de reciente creación (a la fecha de escribir este trabajo) es la primera propuesta en la legislación mexicana para la regulación de las plantas de compostaje en la historia del país, aunque no es de aplicación obligatoria, este no le resta importancia. La norma mexicana enlista 10 etapas del proceso a controlar:

1. Registro de ingreso: a la entrada del sitio de compostaje, se deben registrar los datos de los vehículos que ingresen, como la placa del vehículo, su procedencia, el número económico, capacidad de carga, volumen, hora de entrada y salida. En caso de contar con bascula, se debe pesar el vehículo antes y después de la descarga, si no se cuenta con bascula, se debe realizar el cálculo volumétrico con los datos del apéndice A de la norma mexicana.
2. Recepción de la materia prima: la norma mexicana establece que la instalación debe aceptar la fracción orgánica de los RSU y RME que no excedan el 10% en peso de otros residuos inorgánicos no peligrosos, posterior a su segregación deben pasar al área de almacenamiento

temporal de inorgánicos. En caso de querer dar tratamiento a RSU y RME que excedan el 10% en peso de otros residuos inorgánicos no peligrosos, la instalación debe estar integrada a otro tipo de infraestructura de clasificación, separación o disposición final, donde se incluya un pretratamiento y que resulte en materia orgánica limpia y apta para el tratamiento aerobio. Los residuos potencialmente putrescibles deberán ser integrados al proceso activo el mismo día de su ingreso, por el contrario, los residuos con bajo potencial de pudrición, pueden ser almacenados temporalmente, para poder ser integrados conforme sean requeridos.

3. Clasificación de la materia: esta etapa queda a consideración de los operadores de las plantas de compostaje; para aquellos sitios que clasifiquen materiales provenientes de podas, esquilmos, rastrojos y maderas almacenados, deben hacerlo bajo condiciones que aseguren que el material no se convierta en un incendio.
4. Reducción de volumen: es una etapa de importancia para los residuos provenientes del mantenimiento de áreas verdes, pues deberán ser triturados o pasar por un proceso equivalente, antes de incorporarse al proceso activo.
5. Proceso y maduración: el área de compostaje debe permitir en los pasillos de interconexión, las maniobras de maquinaria y equipo necesario para el tratamiento aerobio, como la rotación, la conformación de pilas, la aportación de líquidos, el monitoreo y toma de muestras y demás actividades que permitan la obtención de datos, tales como:
 - a. Relación C/N
 - b. Humedad inicial
 - c. Humedad durante el proceso
 - d. Temperatura
 - e. pH
 - f. Aireación
6. Bitácora: se deben identificar y documentar todos los procesos, considerando los parámetros esenciales. El control de los parámetros de cada proceso deberá registrarse en hojas foliadas. Para el control del proceso y operación de la planta, así como de la comercialización del producto, se debe detallar con una bitácora de campo, según el apéndice B de la norma mexicana, para el periodo de degradación, la etapa de maduración y la salida del producto final con el uso de papel y tinta. Cada pila debe tener su hoja de registro y una vez concluida su estancia en la planta, la hoja debe tener el nombre de los

involucrados en el proceso, el nombre de la persona que tomó los datos y responsable o administrador de la planta.

7. Terminación del proceso y almacenamiento: una vez que los parámetros establecidos en el numeral 6.4 de la norma mexicana indiquen que el proceso de compostaje ha concluido, como la humedad, el pH, la temperatura, la relación C/N y la presencia de metales pesados, la composta podrá tamizarse o mezclarse con otros componentes de acuerdo con el propósito del uso final para su distribución o comercialización, se debe almacenar el producto final en caso de requerir un periodo de maduración complementario. Los materiales que no hayan terminado su maduración deben reintegrarse al proceso, el almacenamiento de composta a granel a cielo abierto debe contemplar la figura de pilas piramidales, con una proporción de la altura con respecto a la base de 1:2, no excediendo los 5 m de base o los 2.5 m de altura, deben ser aristas y caras uniformes. Para la época de lluvias la pila debe ser cubierta con geotextiles especiales para composta.
8. Manejo de lixiviados y riego: las plantas de compostaje deben contar con un manejo de lixiviados producidos antes, durante y después del proceso, dichos lixiviados deben ser colectados y reincorporados en alguna fase del proceso o pueden ser tratados para su estabilización y posterior reincorporación o preparados para nutrición vegetal, los lixiviados producidos por la fracción orgánica de RSU y RME, antes del proceso de compostaje, deben ser colectados y utilizados para riego del material solo durante la primera parte del proceso, antes de alcanzar la temperatura máxima. Además, la instalación deberá contar con un sistema de captación de agua pluvial que evite el escurrimiento y daño en el área de compostaje.
9. Control de fauna nociva: la norma mexicana establece que la instalación debe contar con un programa permanente de control de plagas y fauna nociva. La evidencia documental deberá ser emitida por los prestadores del servicio que cuenten con la licencia sanitaria.
10. Medidas de seguridad: la instalación debe contar con un plan de contingencias que incluya procedimientos contra incendios, desastres naturales y primeros auxilios, la instalación debe contar con equipo contra incendios acorde a la categoría de la planta, programa de capacitación (contra incendios, medidas de higiene y seguridad industrial, primeros auxilios, evacuaciones y simulacros), equipo básico de primeros auxilios y evacuación.

I.7 Teorías y estudios previos en plantas municipales de composta

Los sistemas de gestión y manejo de la fracción orgánica de los RSU son diversos y responden a las características de generación de cada sitio, el clima, la capacidad de los gobiernos y la colaboración con empresas privadas. Un ejemplo lo podemos encontrar en la municipalidad de Concepción en Chile donde la Asociación de Empresas y Profesionales para el Medio Ambiente (AEPA), la empresa Geociclos soluciones y el gobierno desde el 2016 a la fecha han implementado el proyecto “Valorización de Residuos Orgánicos desde la Inclusión Social y la Asociatividad” que se ha traducido en la entrega de 6,211 composteros domiciliarios, beneficiando a 16,770 personas y ha logrado valorizar 2,245 Ton de residuos orgánicos (Rosso, 2022).

También en la comunidad de Santa Juana, en la municipalidad de Concepción en Chile se construyó en 2019 una planta de compostaje que atiende a 4090 domicilios y beneficia a 13.749 habitantes, lo que se tradujo en la disminución de hasta un 35% de la fracción orgánica que terminaba en sitios de disposición final (Rosso, 2022).

En México, los RSU representan unos de los problemas sociales menos estudiados, pero la permanencia de sistemas de sanidad inadecuados y la degradación del medio ambiente han creado la urgencia de entender las oportunidades y riesgos de la gestión y manejo de los RSU. En nuestro país el estudio de las plantas de composta, principalmente en la Ciudad de México, ha permitido determinar que la forma de operación de las plantas es muy variada pues difieren en tamaño, instalaciones, infraestructura, personal y cantidad de residuos tratados; Sin embargo, entre las debilidades más comunes se encuentra la falta de agua, la falta de aireación por falta de equipo, maquinaria y equipo descompuesto, sobrecarga de material a tratar, falta de monitoreo y control de parámetros o la separación inadecuada de residuos (Lobo, 2017) .

Un reto singular lo presenta la Ciudad de México, pues la producción de RSU es concentrada, masiva y cotidiana, además desde 2011 no cuenta con un sitio de disposición final. En esta entidad para al año 2010 se contaba con 2455 unidades de recolección, de las cuales solo el 11.41% correspondían a vehículos de doble compartimiento, que recolectaban 10,560 Ton/día, estos residuos son dirigidos después a una de las 13 plantas de transferencia, donde se realiza una clasificación y se traslada a otros sitios, en el caso de la fracción orgánica, esta se separa para tratarla

en alguna de las 6 plantas de compostaje, la fracción orgánica representó el 51.86% de los RSU totales (Núñez, 2016).

En la Ciudad de México, entre las diferentes plantas de compostaje se daba tratamiento a 611,906 Ton/año de RSU orgánicos produciendo 18,320 Ton/año de composta, que fue destinada a áreas verdes, glorietas, camellones de escuelas, viveros delegacionales, centros de atención ciudadana, programas de reforestación y agricultura urbana y agricultores de las delegaciones de Milpa Alta y Xochimilco (Núñez, 2016).

Bordo poniente es la planta de compostaje más antigua del país, iniciando operaciones en 1988 y es también la más grande, cuenta con 6,000 m² de terreno, ubicada a un costado del relleno sanitario del mismo nombre, esta planta recibía 10,000 Ton de RSU por día, según información del manual de compostaje municipal del año 2006 elaborado por la SEMARNAT, el INE y la GTZ.

La planta recibía los residuos separados desde la fuente de algunas delegaciones de la Ciudad de México, de la central de abastos y algunos de generadores particulares; al ingresar a la planta, los residuos de poda se trituraban con una trilladora mecánica, antes de incorporarse al proceso activo, mientras que los residuos de alimentos se incorporan directamente, incluidas las bolsas en las que están contenidos, esta materia prima se coloca en ocho pilas de capas intercaladas de poda, residuos domésticos y lodos, las pilas son aireadas mediante volteo mecánico, para la hidratación de las pilas se hace uso de un camión cisterna, al final del proceso activo, se retiran las bolsas y se realiza un cribado, el compost se almacena en el área de entrega, cuando la composta se guarda en sacos, se realiza un segundo cribado (Rodríguez, 2006).

Para el año 2006 en la planta de compostaje de Bordo poniente laboraban 12 personas, cada uno con equipo de protección personal, contrato fijo y seguridad social, por su parte la participación de la ciudadanía es variada, pues algunas delegaciones realizan la separación desde la fuente y otras no. Esta planta cuenta también con un laboratorio que le permite medir el pH y la temperatura. El producto del proceso de compostaje no se puede vender debido a restricciones administrativas, el financiamiento corre a cargo del Gobierno de la Ciudad de México (Rodríguez, 2006).

Para el año 2008 la planta de compostaje de Bordo Poniente tenía una capacidad de manejo de 73 Ton/año sin embargo recibía 32.120 Ton/año (González, 2014). Para el 2016 la planta de Bordo Poniente recibía 307.571 Ton/año, otras plantas de compostaje ubicadas en las alcaldías de San

Juan de Aragón, Álvaro Obregón, Cuajimalpa, Iztapalapa, Milpa Alta, Xochimilco recibían en conjunto 9.140 Ton/año (Ojeda, 2016).

Hasta el año 2015 la planta contaba con maquinaria como cernidoras, cargadores de pala frontal, trituradores y cribadores y el producto obtenido era utilizado en taludes y barreras, coberturas vegetales y parques, agricultura y como mulch acolchados (Rosso, 2022).

Capítulo II. Planteamiento del problema

Una de las mayores amenazas para los seres humanos es el cambio climático, este es provocado por la emisión de GEI a la atmósfera, las consecuencias del cambio climático se pueden percibir en el incremento de la temperatura media del planeta, los cambios en los patrones de lluvia y sequía, eventos meteorológicos extremos con mayor frecuencia e intensidad, entre otros. Estos fenómenos traen consigo consecuencias negativas para la sociedad, pues la infraestructura de las poblaciones se ve afectada, los medios de producción y las cadenas de consumo se ven interrumpidas y en casos extremos conllevan al desplazamiento de las poblaciones.

El actual modelo de desarrollo económico y su modelo de consumo también contribuyen a la generación de GEI, desde que se extraen los recursos naturales, cuando se procesan, se consumen y se desechan. Además, este modelo lineal de consumo no permite el reciclaje, por lo que siempre existe el riesgo del agotamiento de los recursos naturales, incluidos aquellos destinados para la producción de alimentos, tales como el suelo, el agua y los nutrientes o elementos que los componen. En la región de Latinoamérica la principal forma de manejo de los RSU orgánicos consiste en su disposición final, típicamente en rellenos sanitarios, en donde persisten condiciones anaerobias que permiten la metanogénesis de los RSU.

Una alternativa para evitar la disposición final de los RSU orgánicos es su reciclaje, a través de diferentes métodos como la producción de bioetanol, biogás o composta. El proceso de compostaje suele ser una mejor alternativa comparado con la producción de bioetanol o biogás, debido a que estos procesos requieren de grandes inversiones de infraestructura y personal capacitado, por su parte los sistemas de compostaje, aunque varían en complejidad, generalmente suelen requerir de una menor inversión.

Actualmente, son pocas las plantas de compostaje y tratamiento de residuos orgánicos en el país, tanto públicas como privadas. La capacidad de procesamiento de estas plantas es variada, desde muy pequeñas como aquellas que procesan 12 Ton/día o menos, hasta muy grandes capaces de procesar hasta 2000 Ton/día como Bordo poniente en la Ciudad de México. Por lo anterior se considera importante promover el tratamiento aerobio de la fracción orgánica de los RSU y RME a nivel municipal, estatal y regional, en esquemas tanto públicos como privados, con la finalidad de disminuir la cantidad de residuos que son enviados a disposición final y con ello, valorizar en su mayor expresión la materia orgánica en los sitios donde se genera.

Además de la reducción en la emisión de GEI, el proceso de compostaje también permite prolongar el tiempo de vida útil de los rellenos sanitarios o disminuir el gasto público en disposición final. La obtención de composta o lombricomposta de buena calidad, si es aplicada correctamente, permite alcanzar múltiples beneficios sociales, económicos y ambientales como puede ser: la recuperación de suelos erosionados y el aumento de su fertilidad, aumentando su productividad y lograr una mayor captura de dióxido de carbono, mejorar el estado de las áreas verdes públicas, disminuir el uso de fertilizantes sintéticos, promocionar su uso en huertos familiares o de traspatio, aumentar el éxito de los programas de reforestación, disminuir la extracción de sustratos en bosques, entre otros.

En la actualidad el municipio de Jiutepec es el municipio con la mayor densidad de población 3850.7 hab/km² y posee el mayor índice de generación de RSU con 1.47 kg/hab/día en el Estado de Morelos, lo que se traduce en 306.3 Ton/día de RSU, de los cuales el 55.27% (169.31 Ton) pertenecen a la fracción orgánica. Para manejar los RSU, el municipio dispone de 31 rutas de recolección, 1 sitio de transferencia y dos plantas de compostaje, sin embargo, para la disposición final, los RSU deben ser transportados al municipio de Cuautla a 38.5 km de distancia.

Una de las plantas de compostaje del municipio es propiedad de La Asociación de Propietarios de CIVAC (Procivac), dicha planta recibe los lodos generados por la planta de tratamiento de aguas residuales de ECCACIV (igualmente propiedad de Procivac) y restos de jardinería y poda que se generan en la ZMC, esta planta cuenta con la infraestructura, equipo y material necesario para su funcionamiento, pero al ser una propiedad privada se reservan su derecho a compartir información.

Por su parte, la planta de compostaje perteneciente al gobierno de Jiutepec recibe los residuos de poda y jardinería que se generan en el territorio municipal y de algunas colonias de los municipios circundantes, esta planta se ubica a 1 km de distancia de la planta propiedad de Procivac, al sur del

municipio en los límites de la ZMC, sin embargo, la planta municipal no cuenta con la infraestructura, maquinaria y equipo necesaria para su correcto funcionamiento, siendo en la práctica más un sitio de almacenamiento de residuos que una planta de compostaje.

Jiutepec es una ciudad de más de 215 mil habitantes y posee además la zona industrial más grande del Estado de Morelos y es el segundo productor de plantas de ornato, por ello mismo la ciudadanía merece un sistema de manejo integral de residuos que garantice la protección al ambiente, que sea económicamente viable y socialmente responsable.

Así pues, la mejora del proceso de compostaje en la planta municipal es imperativo a fin de otorgarle a la ciudad el sistema de manejo de RSU que necesita, por ello mismo es muy importante realizar la caracterización de la planta de compostaje a fin de conocer los problemas que la afectan y las causas de estos problemas, de tal forma que posteriormente puedan proponerse acciones que conlleven al correcto funcionamiento de la planta y a su mejora continua, con la posibilidad de algún día darle tratamiento a los RSU orgánicos, lo que disminuirá la cantidad enviada a disposición final y mejorar el desempeño ambiental de la ciudad de Jiutepec.

Capítulo III. Objetivos

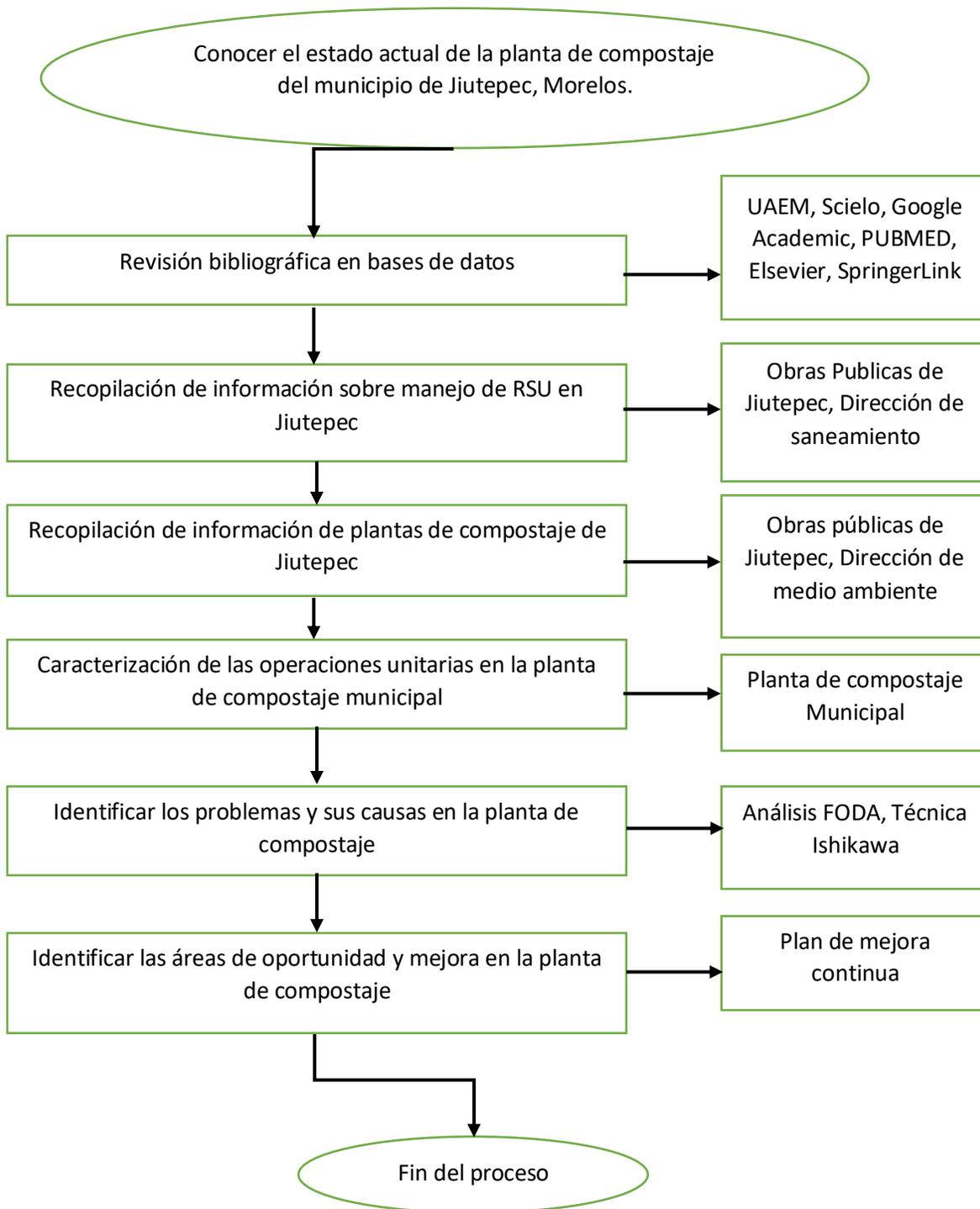
III.1 Objetivo general

Conocer el estado actual de la planta de compostaje del municipio de Jiutepec, Mor., e identificar las áreas de oportunidad para el reciclaje de los RSU orgánicos

III.2 Objetivos específicos

- ❖ Identificar y describir las operaciones unitarias de la planta de compostaje municipal
- ❖ Identificar los problemas y sus causas en la planta de compostaje municipal
- ❖ Identificar las áreas de oportunidad para el funcionamiento de la planta de compostaje

Capítulo IV. Propuesta a implementar



IV.1 Revisión bibliográfica en bases de datos

En este punto de la metodología propuesta se buscó información sobre el diseño, construcción y operación de plantas de compostaje que operen correctamente o con éxito. Para la localización de la bibliografía se utilizaron palabras clave como: “esquemas exitosos de compostaje”, “diseño de plantas de compostaje” y “manuales de compostaje municipal”, utilizando buscadores como Google académico, Scielo, Elsevier, Researchgate, PUBMED, Springerlink y en trabajos de tesinas de la Universidad Autónoma del Estado de Morelos (UAEM). Se descartaron aquellos documentos cuyo título sugería el uso, diseño u operación de compostas domésticas.

IV.2 Recopilación de información del manejo de RSU en Jiutepec

Es importante conocer las características del manejo de RSU que el municipio de Jiutepec posee, para recopilar esta información fue necesario acudir a la Secretaría de Desarrollo Sustentable, Obras y Servicios Públicos, Predial y Catastro (SDSOYPPC), específicamente a la Dirección de Saneamiento y mediante entrevista con el director y la solicitud documental para obtener dicha información.

IV.3 Recopilación de información de la planta de compostaje

También es importante recopilar la información que el municipio tiene respecto a las plantas de compostaje bajo su dirección, para esto, nuevamente fue necesario el acercamiento con la SDSOYPPC, específicamente con la Dirección de Medio Ambiente. La información del estado de legal del predio donde se ubica la planta, el plano catastral, el proyecto ejecutivo o planos del proyecto son necesarios para identificar problemas, sus causas y áreas de mejora. La búsqueda de esta información se basa en los documentos requeridos en la NMX-AA-180-SCFI-2018.

IV.4 Identificar y describir las operaciones unitarias de la planta de compostaje

Posteriormente, se caracterizaron las operaciones unitarias de la planta de compostaje, para esto fue necesario el trabajo de campo, en un primer paso se analizó visualmente las actividades y áreas destinadas para los diferentes procesos relativos al compostaje de residuos orgánicos, con la ayuda de un Check list basado en la NXM-AA-180-SCF-2018 y mediante el dialogo con los trabajadores de la planta.

IV.5 Identificar los problemas y sus causas en la planta de compostaje.

Con la ayuda de un análisis FODA (Fortalezas, Oportunidades, Debilidades y Amenazas) se pudieron identificar los problemas y las principales áreas de mejora (oportunidad) que la planta presenta de manera general, posteriormente, con el uso de un diagrama de Ishikawa se pudieron identificar las causas de las debilidades y amenazas que presenta el proceso de compostaje. A la par se realizó el Check List con base en la NMX-AA-180-SCFI-2018 para conocer los incumplimientos que la planta presenta.

IV.6 Identificar las áreas de oportunidad y mejora en la planta de compostaje

Una vez identificados los problemas, sus causas y las áreas de oportunidad, se pueden establecer el objetivo de mejora, las acciones a llevar a cabo, la priorización de estas acciones y finalmente darles una propuesta de un calendario de aplicación de acciones al municipio de Jiutepec, Mor.

Capítulo V. Principales hallazgos

V.1 Revisión bibliográfica en bases de datos

La información disponible es amplia y en general es elaborada por entidades internacionales, nacionales, subnacionales o una combinación de éstas, además de los artículos y tesis publicados por diferentes universidades. Los manuales o guías de compostaje municipal elaborados por entidades internacionales, nacionales o subnacionales abordan temas desde el diseño y elección del sitio de la planta de compostaje hasta formas de financiación, por otro lado las tesis y artículos provenientes de universidades suelen enfocarse en la caracterización química de las compostas o el estudio de factibilidad para el tratamiento de residuos orgánicos.

V.2 Recopilación de información sobre el manejo de RSU en Jiutepec

Según lo declarado por la Dirección de Saneamiento de la SDSOYPPC del municipio de Jiutepec, en el municipio la recolección de los RSU está dividido en 31 rutas de recolección, concesionado a 31 particulares, además, el municipio cuenta con dos delegaciones, la delegación de CIVAC y la delegación de Tejalpa, ambas delegaciones son responsables de la recolección de los RSU en su jurisdicción.

Como se ha mencionado anteriormente, el municipio cuenta con 2 plantas de compostaje, una de carácter privado propiedad de Procivac y la perteneciente al municipio. Ambas reciben únicamente los residuos de poda y jardinería de la ZMC tanto de aquellos generados en la vía pública, parques y jardines públicos y privados y los generados por el mantenimiento de barrancas, apantles y otros cuerpos de agua.

En el municipio de Jiutepec no existen sitios de disposición final, co-procesamiento o incineración, aunado a esto, no existe un programa de separación de residuos desde la fuente ni camiones recolectores con rutas y horarios diferenciados por tipo de residuos.

V.3 Recopilación de información de plantas de compostaje de Jiutepec

La planta de compostaje propiedad de ProciVac se ubica en las afueras de la ZMC, al sur del municipio de Jiutepec, en la colonia “El campanario”. Al ser una propiedad privada no ha facilitado la información sobre su proceso productivo o el volumen de residuos tratados. La planta cobra el servicio de tratamiento a los particulares que depositan ahí los residuos.

Por su parte la planta de compostaje de Jiutepec también se ubica al sur de la ciudad, en los límites de la ZMC, a un kilómetro de distancia al norte de la planta de compostaje de ProciVac, con domicilio en calle exhuberancia s/n en la colonia “La Esmeralda” según la Secretaría de Desarrollo Urbano, Vivienda y Obras Públicas, del Gobierno de la Ciudad Jiutepec, pero el acceso a la planta se ubica en la intersección de las calles Camino Ejidal artículo 27 y 10 de abril en la colonia Francisco Villa, esta planta recibe de 93 a 100 m³ a la semana.

La planta se encuentra en una zona de transición entre lo rural y lo urbano, la planta colinda al norte con una unidad habitacional, al noreste con un vivero, al este con residencias particulares, hacia el sureste con un terreno en obra negra de un antiguo proyecto para una planta de valorización, al sur con una cancha de fútbol con pasto natural y residencias particulares y finalmente hacia el oeste con otras residencias particulares.

V.4 Identificar y describir las operaciones unitarias de la planta de compostaje

La planta de compostaje del municipio no posee operaciones unitarias diferenciadas en el espacio. Al llegar los vehículos con los restos de poda y jardín, estos se conducen al área del proceso activo donde descargan el material, dependiendo del sitio de descarga los empleados de la planta mueven los residuos depositados hacia pilas ya formadas o forman nuevas pilas con el uso de bieldos, cuando los residuos tienen troncos o ramas se seccionan en unidades más pequeñas con la ayuda de machetes, los troncos son valorizados como material para leña.

El material se acumula para formar las pilas en el mismo sitio de descarga y trituración, una vez conformada la pila, esta permanece en el sitio de proceso activo que funciona como sitio de maduración también, durante un tiempo indefinido. Cuando el sitio de descarga llega a su capacidad

máxima (a criterio de los empleados) se busca otro sitio de descarga para repetir el proceso. En la planta de compostaje existen pilas con una antigüedad mayor a 5 años.

No existe un control en el acceso, tampoco existen bitácoras para la operación general de la planta ni para controlar el proceso de compostaje de cada pila. No existen material o instrumentos para monitorear los parámetros físicos o químicos de los materiales que ingresan o durante la formación, degradación y maduración de las pilas. Tampoco está garantizada la oxigenación o la humectación de las pilas.

Debido a estas características, la planta de compostaje llegó a su capacidad máxima, por lo que tuvo que hacer uso de un terreno aldaño hacia la parte este del predio, ubicado entre la planta de compostaje y el antiguo proyecto de la planta de valorización de residuos, donde se realizó el mismo procedimiento y que también ha llegado a su máxima capacidad. Hoy en día, se reacomodaron algunas de las pilas más antiguas, con la ayuda de una pala mecánica, de tal forma que se puedan formar nuevas pilas sobre las ya existentes.

En el sitio tampoco existen áreas diferenciadas para la maduración del producto, el cribado o el almacenamiento. En la figura V.10 se puede apreciar el esquema del proceso de compostaje actual.



Figura V.10 Esquema del proceso de compostaje en la planta de Jiutepec

V.5 Identificación de los problemas y las causas

Los problemas fueron identificados utilizando un “Check list” del apéndice D de la NMX-AA-180-SCFI-2018 (Tabla V.1). A continuación, se muestran los resultados del análisis bajo la norma mexicana ya mencionada:

Tabla V.1 Check list de la NMX-AA-180-SCFI-2018

Numeral	Tipo de evaluación	Criterio de aceptación	Cumple	Evidencia
6.2.1	Documental	Constancia de uso de suelo compatible con la actividad	Sí	
		Licencia sanitaria emitida por COFEPRIS	No	
6.2.1	Física documental	Medición que compruebe que el límite de la propiedad se encuentre a una distancia mínima de 5 m del área del proceso	Sí	
		Medición que compruebe que las residencias permanentes se encuentren a una distancia mínima de 150 m del predio de la planta	No	
		Medición que compruebe que los cuerpos superficiales de agua se encuentren a una distancia mínima de 100 m	No	
		Documentos que compruebe que el aeropuerto más cercano se	Sí	

		encuentre a una distancia mínima de 2,000 m		
6.2.1	Física documental	Verificación visual que la planta de compostaje no se encuentre ubicada por debajo o encima de líneas de conducción eléctrica	Sí	
		Documentos que compruebe que la planta de compostaje no se encuentre ubicada por debajo o encima de ductos de hidrocarburos	Sí	
6.2.2	Física	Verificación visual que la planta cuente con caminos transitables para facilitar el ingreso de la materia prima y las salidas de los productos	Sí	
		Verificación visual que la planta disponga de control y restricción de acceso	No	
		Verificación visual que la planta debe estar delimitada mediante muros, paredes, malla ciclónica o cualquier otro elemento limítrofe con una altura mínima de 2.4 m a partir del nivel del suelo	No	
		Verificación visual que la planta cuente con señalamientos	No	

		visuales que faciliten el acceso y tránsito interno		
6.2.3.1	Física documental	Verificación visual y documental que compruebe que la planta cuente con un área de recepción de la materia prima construida con materiales impermeables con un coeficiente de conductividad hidráulica, de al menos 1×10^{-7} cm/s	No	
6.2.3.2	Física	Verificación visual que la planta cuente con un área de trituración y formulación de mezclas	No	
6.2.3.3	Física documental	Verificación visual y documental que compruebe que la planta cuente con un área de proceso activo y maduración, la cual debe estar diseñada en función de su capacidad y su proceso (mapa general de distribución de la planta, proyecto ejecutivo)	No	
		Verificación visual y documental que las plantas de categoría A y B deben contar con un área de proceso activo y maduración construida con materiales con un	No	

		coeficiente de conductividad hidráulica de al menos 1×10^{-7} cm/s		
		Documento que compruebe que el área de proceso activo y maduración debe tener una pendiente mínima de 0.5% y máxima de 3% (proyecto ejecutivo)	No	
6.2.3.3.1	Física documental	Verificación visual y documental que compruebe que la planta debe contar con un sistema de captación y conducción de lixiviados (proyecto ejecutivo, planos)	No	
6.2.3.3.2	Física documental	Verificación visual y documental que compruebe que la planta debe contar con un sistema de captación y control de aguas pluviales y excedentes del proceso (proyecto ejecutivo)	No	
6.2.3.4	Física documental	Verificación visual y documental que compruebe que la planta debe contar con un área del proceso final y almacenamiento del producto final la cual debe estar dimensionada a partir de las capacidades del proceso y que	No	

		<p>cuenta con los equipos necesarios para molido, cribado, envasado, pesaje y embalaje (planos, proyecto ejecutivo)</p>		
6.2.3.5	Física documental	<p>Verificación visual y documental que compruebe que la planta debe contar con un área de cobertizo para resguardo y mantenimiento de maquinaria, equipo, vehículos y otros, que cuente con un sistema de captación, conducción, equipamiento e infraestructura para asegurar el manejo adecuado de los residuos líquidos que ahí se generen</p>	No	
		<p>Documento que compruebe que el manejo de los residuos peligrosos generados en esta área debe ser manejados con base a la normatividad vigente aplicable (manifiestos de entrega-recepción de residuos peligrosos)</p>	No	

6.2.3.6	Física documental	Verificación visual y documental que compruebe que la planta debe contar con un espacio destinado para el almacenamiento temporal de residuos inorgánicos, el almacén debe estar calculado en función de la capacidad de procesamiento y recepción diaria, que los residuos deben estar almacenados en contenedores cerrados o con tapa	No	
6.2.3.7	Física	Verificación visual que la planta debe contar con un área administrativa	Sí	
		Verificación visual que la planta debe contar con instalaciones sanitarias en concordancia con el número de trabajadores y categoría de la planta	No	
6.2.3.8	Física	Verificación visual que la planta tipo A debe contar con un área de laboratorio	-	
		Verificación visual que las plantas tipo B, C y D cuenten con los instrumentos necesarios para medir humedad, pH, conductividad eléctrica, y	No	

		temperatura para garantizar el control del proceso		
6.3.1	Documental	Documentos que compruebe que la operación de la planta cuente con al menos un registro de ingreso de todos los vehículos y de la materia orgánica ingresada	No	
6.3.2	Física documental	Verificación visual y documental que compruebe que la operación de la planta cuente con un sistema de control de calidad que evite que los residuos que ingresen a la planta tengan más del 10% en peso de otro tipo de residuos inorgánicos (procedimiento, sistema)	No	
6.3.3	Física documental	Verificación visual y documental que compruebe que la operación de la planta cuente con un proceso de clasificación de la materia orgánica recibida con base al tipo de material (procedimiento, sistema, otro)	No	
		Verificación visual que la materia orgánica proveniente de podas, esquilmos, rastrojos y maderas se encuentren aislados para evitar incendios	No	

6.3.4	Física documental	Verificación visual y documental que la operación de la planta cuente con reducción de volumen proveniente de las áreas verdes con excepción de pastos y hojarasca (plano, proyecto ejecutivo)	No	
6.3.5	Física documental	Verificación visual y documental que compruebe que la operación de la planta cuenta con una etapa de proceso y maduración (plano, proyecto ejecutivo)	No	
		Verificación visual y documental que compruebe que en el proceso de maduración se realice el monitoreo y control de la relación C/N, humedad inicial, humedad durante el proceso, temperatura, pH, aireación-	No	
6.3.6	Documental	Documento que compruebe que la operación de la planta maneja una bitácora	No	
6.3.7	Física	Verificación visual y documental que compruebe que la operación de la planta cuente con una etapa de terminación del proceso y almacenamiento de productos finales (plano, proyecto ejecutivo)	No	

		Verificación visual del almacenamiento de composta a granel se realice en pilas piramidales con una proporción de la altura con respecto a la base de 1:2 sin exceder los 5 m de base y los 2.5 m de altura	No	
6.3.8	Física documental	Verificación visual y documental que compruebe que la operación de la planta cuente con un sistema de captación, y en su caso tratamiento de lixiviados (plano, proyecto ejecutivo)	No	
		Verificación visual y documental que compruebe que se cuente con un sistema de desvío y canalización de agua pluvial (plano, proyecto ejecutivo)	No	
6.3.9	Documental	Documento que compruebe que la operación de la planta debe contar con un programa permanente de control de plagas y fauna nociva (constancia de fumigación entre otros)	No	
6.3.10	Documental	Documentos de plan de emergencias	No	

6.4.1	Documental	Documento que compruebe que la composta cuenta con los parámetros establecidos en la Tabla 5 y para un tipo de composta específico de la Tabla 6 de la presente Norma Mexicana (resultado de análisis de laboratorio)	No	
6.4.1.1	Documental	Documento que compruebe que la composta cumpla con los parámetros de estabilidad (análisis de laboratorio)	No	
6.4.1.2.1	Documental	Documentos que compruebe que la composta cumpla con las concentraciones máximas de elementos traza (análisis de laboratorio)	No	
6.4.1.2.2	Documental	Documento que compruebe que la composta cumpla con las especificaciones microbiológicas (análisis de laboratorio)	No	
6.4.1.2.3	Documental	Documento que compruebe que la composta cumpla con los límites máximos permitidos de impurezas (análisis de laboratorio)	No	
6.5.1	Física	Verificación visual que la información comercial indicada en la etiqueta del producto final	No	

		debe cumplir con lo especificado en el numeral 6.5.1 de la presente norma		
6.6	Documental	Documento que demuestre que los laboratorios que realicen los muestreos y los análisis deben estar acreditados por una entidad de acreditación	No	
		Documentación que demuestre que la metodología de muestreo utilizada por el laboratorio sea la establecida en el numeral 6.6, 6.6.1 de la presente norma	No	
6.6.2	Documental	Documentos que demuestre que la frecuencia de medición y análisis del producto final se realice con base al numeral 6.6.2 de la presente norma	No	
7.1	Documental	Programa que considere las actividades indicadas en el numeral 7.2 de la presente norma	No	
		Documento que demuestre que la planta cuenta con el aviso de baja de la licencia sanitaria	No	

El diagnóstico anterior permitió conocer los incumplimientos de la planta de compostaje del municipio de Jiutepec, con base en este “Check list” se procedió a realizar un Diagrama de Ishikawa para agrupar los problemas en categorías. La figura V.11 muestra la distribución de las no

conformidades de la Norma mexicana según las categorías de documental, calidad, maquinaria y equipo e infraestructura.

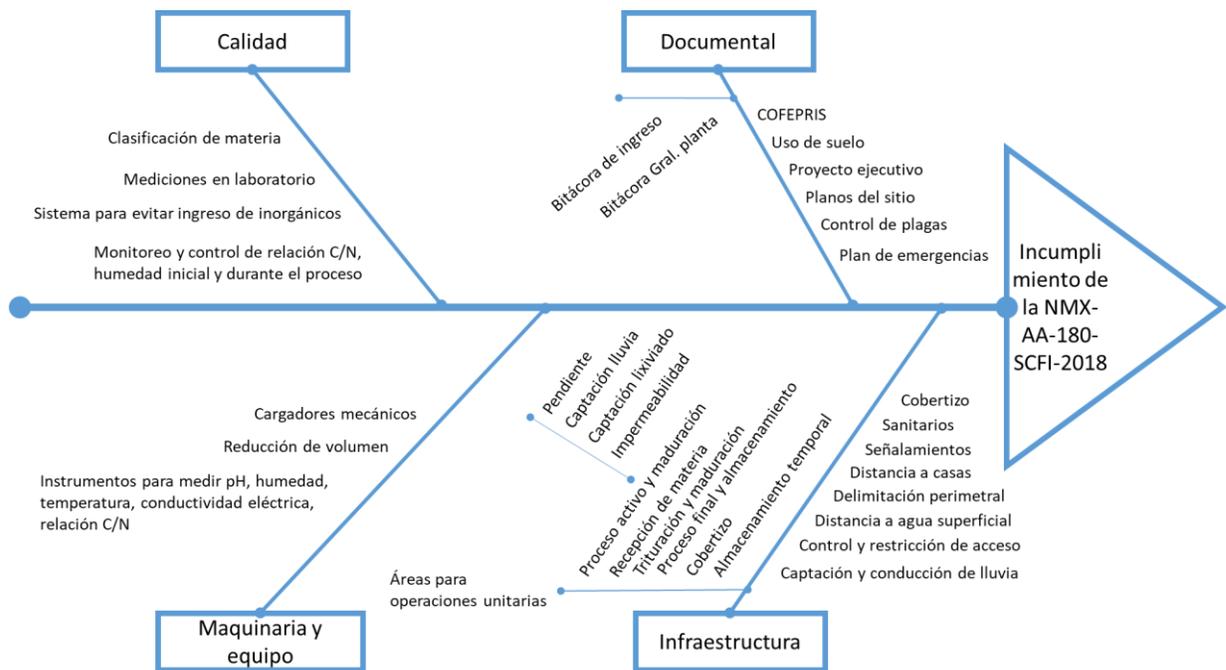


Figura.V.11 Diagrama de Ishikawa con las causas de los problemas

En la figura anterior se puede apreciar que la categoría de Infraestructura es la que cuenta con mayor número de causas lo que se traduce también como el área con mayor número de inconformidades con respecto a la norma. Por otro lado, la categoría de Maquinaria y equipo es la que cuenta con el menor número de causas del problema.

V.6 Identificar las áreas de oportunidad y mejora en la planta de compostaje

Con base en el diagrama de Ishikawa, se buscaron acciones de mejora para corregir las causas del problema. Se elaboró un cuadro por cada área de mejora, cada cuadro incluye una descripción general de las causas del problema, el objetivo a conseguir, las acciones de mejora a ejecutar y los beneficios esperados, en la tabla siguiente (Tabla V.2) se muestran las acciones de mejora para el área documental.

Tabla V.2. Acciones de mejora en la categoría Documental.

Área de mejora 1		Documental
Descripción del problema	del	No se cumple con los requerimientos documentales y legales que la NMX-AA-180-SCFI-2018 establece para las plantas de compostaje para RSU y RME
Objetivo por conseguir	por	Cumplir con lo que establece la NMX-AA-180-SCFI-2018 en relación con la evidencia documental sobre el control y proceso de compostaje siendo la Dirección de Medio Ambiente de Jiutepec quien establezca presupuestos y responsables para su ejecución.
Acciones de mejora		<p>1.- Adquirir y llenar las bitácoras relativas al ingreso de vehículos y al control general de la planta</p> <p>2.- Realizar el proyecto ejecutivo de la planta, en el que se incluya el plano arquitectónico en donde se identifiquen y delimiten las diferentes operaciones unitarias y los edificios complementarios a estas operaciones como los relativos a las tareas administrativas, la vigilancia, el resguardo de equipos y maquinaria, sanitarios y los demás necesarios.</p> <p>3.- Establecer contratos con empresas certificadas con COFEPRIS para el control de fauna nociva.</p> <p>4.- Elaboración del Plan de Emergencias con su Programa de capacitación para atención de emergencias</p> <p>5.- Obtener las licencias sanitarias de COFEPRIS correspondientes a la venta de productos para el mejoramiento de suelos provenientes de residuos sólidos orgánicos.</p>
Beneficios esperados		Con estas actividades se espera que la planta de compostaje mejore su proceso productivo y pueda dar cumplimiento a lo que establece la normatividad aplicable.

En la tabla anterior y con la participación del director del antigua director de medio ambiente, Raúl Alexander Gargallo Mojica se establecieron 5 acciones mejora cuyos beneficios esperados son el cumplimiento de la normatividad.

En la tabla V.3 se aprecia el mismo procedimiento, pero para el área de infraestructura. En este caso se determinaron 6 acciones de mejora cuya aplicación propiciará el cumplimiento con la normatividad y mejorar el proceso productivo de la planta de compostaje.

Tabla V.3 Acciones de mejora en la categoría Infraestructura

Área de mejora 2	Infraestructura
Descripción del problema	La planta de compostaje tiene deficiencias en su infraestructura que impactan negativamente en la producción de composta, en la calidad del producto final y que genera impactos negativos al ambiente
Objetivo por conseguir	Mejorar la infraestructura actual a través del diseño y construcción de las áreas necesarias para el correcto funcionamiento de la planta y el correcto y digno quehacer de los trabajadores municipales.
Acciones de mejora	<p>1.- Elaboración del plano arquitectónico y proyecto ejecutivo para el diseño de las áreas necesarias para el funcionamiento correcto de la planta de compostaje (recepción, trituración y formulación, proceso activo, maduración, proceso final y almacenamiento de producto, sanitarios, administrativos, cobertizo para equipos y maquinas, control y vigilancia, otras)</p> <p>2.- Construcción de las áreas necesarias según lo establecido en el plano arquitectónico y el proyecto ejecutivo (recepción, trituración y formulación, proceso activo, maduración, proceso final y almacenamiento de producto, sanitarios, administrativos, cobertizo para equipos y maquinas, control y vigilancia, otras)</p> <p>3.- Diseño y construcción de sistema de captación y conducción de lixiviados y excedentes de hidratación</p> <p>4.- Diseño y construcción de sistema de captación y conducción de agua pluvial</p>

	5.- Construcción de barda perimetral
	6.- Instalación de señalización interna
Beneficios esperados	Con la consecución de estas acciones se espera que la planta de compostaje mejore su proceso de producción de composta al mismo tiempo que mejora las condiciones laborales y se logra cumplir con lo que establece la normatividad aplicable.

El área de maquinaria y equipo se describe en la tabla V.4. En esta se puede apreciar que se determinaron 5 acciones mejora cuyos beneficios esperados son también el cumplimiento con lo que establece la norma mexicana en materia de plantas de compostaje y la comercialización de sus productos, mejorar el desempeño del proceso productivo y aumentar el volumen de residuos tratados.

Tabla V.4 Acciones de mejora en la categoría de maquinaria y equipo

Área de mejora 3		Maquinaria y equipo
Descripción del problema	Actualmente todas las operaciones unitarias se realizan a mano, aunado a esto la maquinaria destinada a trituración está fuera de servicio y no existe equipos para el monitoreo y control de parámetros necesarios para el correcto proceso de compostaje	
Objetivo por conseguir	Establecer en el presupuesto público la adquisición de maquinaria y equipo de medición necesario para el proceso de	

	compostaje para las futuras administraciones municipales sin descartar la posibilidad de otras fuentes de financiamiento.
Acciones de mejora	1.- Incluir en el presupuesto la adquisición de maquinaria como trituradoras o cargadores frontales
	2.-Incluir en el presupuesto la adquisición de equipo para la medición de parámetros como pH, humedad, conductividad eléctrica y temperatura
	3.- Incluir en el presupuesto la cantidad necesaria para el mantenimiento de maquinaria y equipo
	4.- Elaborar un programa de mantenimiento preventivo de maquinaria y equipo
	5.- Capacitación a trabajadores para uso de maquinaria y/o equipo
Beneficios esperados	Se espera que con estas acciones la planta de compostaje pueda aumentar el volumen tratado de residuos, así como el facilitar las tareas que actualmente realizan los trabajadores municipales y cumplir con lo que establece la normatividad vigente.

El ultimo área de mejora es la calidad que se aprecia en la tabla V.5. En este caso también se establecieron 5 acciones de mejora en conjunto con el antiguo director de medio ambiente Raúl Gargallo, dichas acciones responde al objetivo de establecer un programa de aseguramiento de la calidad cuyo beneficio esperado es el cumplimiento con los parámetros que establece la NMX-AA-180-SCFI-2018 para la comercialización de productos de composta.

Tabla V.5 Acciones de mejora en la categoría de calidad

Área de mejora 4	Calidad
Descripción del problema	No se pueden medir los parámetros de inicio y durante el proceso de compostaje y no se pueden establecer un producto final que cumpla con la NMX-AA-180-SCFI-2018

Objetivo por conseguir	Establecer el programa de aseguramiento de calidad con los programas de capacitación a los trabajadores para cumplir con los requisitos establecidos en la NMX-AA-180-SCFI-2018
Acciones de mejora	<p>1.- Establecer un sistema para evitar el ingreso de más del 10% de RSU inorgánicos al proceso activo de compostaje</p> <p>2.- Establecer un protocolo/sistema para el monitoreo y control de los siguientes parámetros: relación C/N, humedad inicial, humedad durante el proceso, temperatura, pH, aireación</p> <p>3.- Establecer contratos para los análisis de laboratorio que establece la NMX-AA-180-SCFI-2018</p> <p>4.- Buscar y establecer contratos con consumidores finales para su venta o distribución</p> <p>5.- Establecer los mecanismos para la distribución gratuita (proyectos del municipio/población gral) del producto final</p>
Beneficios esperados	Se estima que estas acciones redundaran en la capacidad de la planta de compostaje para asegurar la calidad del proceso y la calidad del producto final, según lo establece la normatividad aplicable.

Una vez que se propusieron las acciones de mejora fue necesario establecer la prioridad para su ejecución, pues las acciones propuestas difieren en diferentes aspectos como la dificultad para su implementación, el plazo en el que pueden ser implementados y el nivel de impacto que tendrá en la gestión y manejo de residuos en la planta de compostaje en caso de ser implementadas.

Para la elección de las acciones de mejora se utilizó una matriz de 3 columnas con una escala del 1 al 4. La primera columna se refiere a la dificultad para implementar dichas acciones de mejora, siendo 1 muy difícil de implementar, 2 bastante difícil, 3 poca dificultad y 4 ninguna dificultad. En el caso del plazo, se refiere al tiempo que tardará las acciones de mejora en ser ejecutadas y terminadas, siendo el 1 largo plazo (3 o más años), el 2 mediano plazo (más de 1 hasta 2.5 años), 3 corto plazo (entre 1 y 11 meses) y 4 efecto inmediato (menos de 1 mes). Por tanto, aquellas acciones de mejora con mayor puntaje serán las que deberán ejecutarse primero. En la Tabla V.6 se observa el ejemplo para la priorización de las acciones de mejora en el área Documental.

Tabla V.6. Priorización de las acciones de mejora para el área documental.

Área de mejora		Documental			
#	Acciones de mejora a llevar a cabo	Dificultad	Plazo	Impacto	Priorización
1	Adquirir bitácoras para el ingreso de vehículos y para el control general de la planta	4	4	4	12
2	Realizar el proyecto ejecutivo en el que se incluya el plano arquitectónico en donde se identifiquen y delimiten las diferentes operaciones unitarias y los edificios complementarios a estas operaciones así con los relativos a las actividades administrativas, la vigilancia, el resguardo de maquinaria y equipos, sanitarios y los demás necesarios	3	4	4	11
3	Establecer contratos con empresas autorizadas por COFEPRIS para el control de la fauna nociva	2	2	4	8
4	Elaboración del plan de emergencia con su Programa de capacitación para atención de emergencias	2	3	2	7
5	Obtener las licencias sanitarias para la comercialización de productos mejoradores del suelo provenientes de residuos sólidos orgánicos	2	2	2	6

En la tabla anterior se aprecia que las acciones con un mayor puntaje son aquellas cuya implementación será más fácil, rápida y/o tendrá un mayor efecto para alcanzar los objetivos de mejora en la planta de compostaje.

En la tabla V.7 se aprecian que las acciones con mayor puntaje son las relacionadas a la elaboración del plano arquitectónico, mientras que el diseño o la construcción de los elementos y sistemas tiene menor puntaje debido a la dificultad y el plazo para llevarlo a cabo.

Tabla V.7 Priorización de las acciones de mejora para el área infraestructura

Área de mejora		Infraestructura			
#	Acciones de mejora a llevar a cabo	Dificultad	Plazo	Impacto	Priorización

1	Elaboración del plano arquitectónico y proyecto ejecutivo para el diseño de las áreas necesarias para el funcionamiento correcto de la planta de compostaje (recepción, trituración y formulación, procesos activos, maduración, proceso final y almacenamiento del producto, sanitarios, administrativos, cobertizo para equipos y maquinaria, vigilancia, otras)	2	3	4	9
2	Construcción de las áreas necesarias según lo establecido en el plano arquitectónico y el proyecto ejecutivo (recepción, trituración y formulación, proceso activo, maduración, proceso final y almacenamiento de producto, sanitarios, administrativos, cobertizo para equipos y maquinas, control y vigilancia, otras)	1	1	4	6
3	Diseño y construcción de sistema de captación y conducción de lixiviados y excedentes de hidratación	2	1	3	6
4	Diseño y construcción de sistema se captación y conducción de agua pluvial	2	1	3	6
5	Construcción de barda perimetral	2	1	4	7
6	Instalación de señalización interna	2	1	2	5

En la tabla V.8 se establecen las acciones prioritarias en el área de maquinaria y equipo. En esta área el mayor puntaje se obtuvo para la capacitación de los trabajadores en el uso de maquinaria y equipo, mientras que la adquisición de estos tuvo un menor puntaje por la dificultad de incluir en el presupuesto municipal estos recursos.

Tabla V.8 Priorización de las acciones de mejora para el área maquinaria y equipo

Área de mejora		Maquinaria y equipo			
#	Acciones de mejora a llevar a cabo	Dificultad	Plazo	Impacto	Priorización
1	Incluir en el presupuesto la adquisición de maquinaria como trituradoras o cargadores frontales	1	2	4	7
2	Incluir en el presupuesto la adquisición de equipo para la medición de parámetros como pH, humedad, conductividad eléctrica y temperatura	1	2	4	7
3	Incluir en el presupuesto la cantidad necesaria para el mantenimiento de maquinaria y equipo	2	2	4	8
4	Elaborar un programa de mantenimiento preventivo de maquinaria y equipo	3	3	3	9
5	Capacitación a trabajadores para uso de maquinaria y/o equipo	3	4	4	11

Finalmente, en la tabla V.9 se describe la priorización de las acciones en el área de calidad. En este apartado se aprecia que la acción con mayor puntaje es el establecimiento de un protocolo para garantizar la calidad del producto de la composta, por su parte las acciones para la venta o distribución del producto tienen los puntajes más bajos debido al plazo y la dificultad que suponen estas acciones.

Tabla V.9 Priorización de las acciones de mejora para el área calidad

Área de mejora		Calidad			
#	Acciones de mejora a llevar a cabo	Dificultad	Plazo	Impacto	Priorización
1	Establecer un sistema para evitar el ingreso de más del 10% de RSU inorgánicos al proceso activo de compostaje	4	1	3	8

2	Establecer un protocolo/sistema para el monitoreo y control de los siguientes parámetros: relación C/N, humedad inicial, humedad durante el proceso, temperatura, pH, aireación	4	2	3	9
3	Establecer contratos para los análisis de laboratorio que establece la NMX-AA-180-SCFI-2018 con unidades verificadoras	1	1	3	5
4	Buscar y establecer contratos con consumidores finales para su venta o distribución	1	1	3	5
5	Establecer los mecanismos para la distribución gratuita (proyectos del municipio/población gral) del producto final	1	1	2	4

Una vez que se han identificado aquellas acciones que son necesarias para su ejecución se procedió a elaborar un Plan de Mejora. Este plan presenta un resumen ejecutivo y una calendarización de las acciones de mejora, e incluye al responsable de realizarla, el tiempo de inicio y termino, un indicador de seguimiento y un responsable de seguimiento. En la Tabla V.10 se puede apreciar la calendarización de las acciones de mejora con el resto de los indicadores antes mencionados.

Tabla V.10 Calendarización de las acciones de mejora

Plan de mejora para la Planta de compostaje de Jiutepec							
Acciones de mejora	Tareas	Responsables de tarea	Tiempos (inicio - final)	Recursos necesarios (M.N.)	Financiación	Indicador seguimiento	Responsable seguimiento
Adquirir bitácoras para el ingreso de vehículos y para el control general de la planta	Establecer la compra de bitácora para el ingreso de vehículos	Dirección de medio ambiente		\$179	Público	Producto adquirido	Dirección de medio ambiente
	Establecer la compra de bitácora para el registro de las actividades generales de la planta de compostaje	Dirección de medio ambiente		\$179	Público	Producto adquirido	Dirección de medio ambiente
	Establecer la compra de bitácora para el registro, control y monitoreo de las pilas de compostaje	Dirección de medio ambiente		\$179	Público	Producto adquirido	Dirección de medio ambiente
Realizar el proyecto ejecutivo en el que se incluya el plano arquitectónico en donde se identifiquen y delimiten las diferentes operaciones unitarias y los edificios complementarios a estas operaciones, así como los relativos a las actividades administrativas, la vigilancia, el resguardo de maquinaria y	Elaboración del proyecto ejecutivo	Secretaría de Desarrollo sustentable, obras públicas, predial y catastro/ Privado		Personal y equipo	Público/privado	Documento	Dirección de medio ambiente
	Elaboración del plano arquitectónico	Secretaría de Desarrollo sustentable, obras públicas, predial y catastro/ Privado		Personal y equipo	Público/privado	Documento	Dirección de medio ambiente

equipos, sanitarios y los demás necesarios							
Elaboración del plano arquitectónico	Elaboración del plano arquitectónico	Secretaría de Desarrollo sustentable, obras públicas, predial y catastro/ Privado		Personal y equipo	Público/privado	Documento	Dirección de medio ambiente
Construcción de la barda perimetral	Estudios previos	Secretaría de Desarrollo sustentable, obras públicas, predial y catastro/ Privado		Personal y equipo	Público/privado	Documento	Dirección de medio ambiente
	Excavación	Secretaría de Desarrollo sustentable, obras públicas, predial y catastro/ Privado		Maquinaria	Público/privado	% avance	Dirección de medio ambiente
	Construcción	Secretaría de Desarrollo sustentable, obras públicas, predial y catastro/ Privado		Maquinaria y personal	Público/privado	% avance	Dirección de medio ambiente
Capacitación a trabajadores para uso de maquinaria y/o equipo	Elaboración de programa de capacitación	Secretaría de Desarrollo sustentable, obras públicas, predial y catastro/ Privado		Personal y equipo	Público/privado	Documento	Dirección de medio ambiente
	Calendarización de actividades	Dirección de medio ambiente		Personal y equipo	Público/privado	Documento	Dirección de medio ambiente
	Prácticas con equipos y máquinas	Dirección de medio ambiente		Personal y equipo	Público/privado	Registro en bitácora	Dirección de medio ambiente
Elaborar un programa de mantenimiento	Elaboración de programa	Secretaría de Desarrollo sustentable, obras		Personal y equipo	Público/privado	Documento	Dirección de medio ambiente

preventivo de maquinaria y equipo		públicas, predial y catastro/ Privado					
Establecer un protocolo/sistema para el monitoreo y control de los siguientes parámetros: relación C/N, humedad inicial, humedad durante el proceso, temperatura, pH, aireación	Elaborar sistema para el monitoreo de parámetros	Dirección de medio ambiente		Personal y equipo	Público/privado	Documento	Dirección de medio ambiente
Establecer sistema para evitar ingreso de más de 10% de inorgánicos	Elaborar sistema para evitar el ingreso de materia orgánica al proceso	Dirección de medio ambiente		Personal y equipo	Público/privado	Documento	Dirección de medio ambiente
Establecer contratos con empresas autorizadas por COFEPRIS para el control de la fauna nociva	Celebración de contrato entre el municipio y una empresa autorizada	Dirección jurídica		Dinero	Público	Documento	Dirección de medio ambiente
Incluir en el presupuesto la cantidad necesaria para el mantenimiento de maquinaria y equipo	Designar parte del presupuesto para el mantenimiento de maquinaria	Secretaría de Desarrollo sustentable, obras públicas, predial y catastro/ Privado		Secretaría	Público/privado	Documento	Dirección de medio ambiente
	Designar parte del presupuesto para el mantenimiento de equipo	Secretaría de Desarrollo sustentable, obras públicas, predial y catastro/ Privado		Secretaría	Público/privado	Documento	Dirección de medio ambiente
Elaboración del plan de emergencia con su Programa de	Redacción del plan para atención de emergencias.	Protección civil del		Personal y equipo	Público/privado	Documento	Dirección de medio ambiente

capacitación para atención de emergencias							
Incluir en el presupuesto la adquisición de maquinaria como trituradoras o cargadores frontales	Proponer ejercicio del gasto público/solicitar compra	Secretaría de Desarrollo sustentable, obras públicas, predial y catastro/ Privado		Secretaría	Público/privado	Documento	Dirección de medio ambiente
Incluir en el presupuesto la adquisición de equipo para la medición de parámetros como pH, humedad, conductividad eléctrica y temperatura	Proponer ejercicio del gasto público/solicitar compra	Secretaría de Desarrollo sustentable, obras públicas, predial y catastro/ Privado		Secretaría	Público/privado	Documento	Dirección de medio ambiente
Obtener las licencias sanitarias para la comercialización de productos mejoradores del suelo provenientes de residuos sólidos orgánicos	Trámites ante COFEPRIS	Dirección Jurídica		Secretaría	Público/privado	Documento	Dirección de medio ambiente
Construcción de las áreas necesarias según lo establecido en el plano arquitectónico y el proyecto ejecutivo	Acondicionamiento del suelo	Secretaría de Desarrollo sustentable, obras públicas, predial y catastro/ Privado		Maquinaria	Público/privado	% de avance	Dirección de medio ambiente
	Excavación	Secretaría de Desarrollo sustentable, obras		Maquinaria	Público/privado	% de avance	Dirección de medio ambiente

		públicas, predial y catastro/ Privado					
	Construcción	Secretaría de Desarrollo sustentable, obras públicas, predial y catastro/ Privado		Maquinaria y personal	Público/privado	% de avance	Dirección de medio ambiente
	Compra de material	Secretaría de Desarrollo sustentable, obras públicas, predial y catastro/ Privado		Secretaría	Público/privado	% de avance	Dirección de medio ambiente
Construcción de sistema de captación y conducción de lixiviados y excedentes de hidratación	Compra de material	Secretaría de Desarrollo sustentable, obras públicas, predial y catastro/ Privado		Secretaría	Público/privado	% de avance	Dirección de medio ambiente
	Construcción	Secretaría de Desarrollo sustentable, obras públicas, predial y catastro/ Privado		Maquinaria y personal	Público/privado	% de avance	Dirección de medio ambiente
Instalación de señalización interna	Compra de material	Secretaría de Desarrollo sustentable, obras públicas, predial y catastro/ Privado		Secretaría	Público/privado	Documento	Dirección de medio ambiente
	Instalación	Secretaría de Desarrollo sustentable, obras públicas, predial y catastro/ Privado		Personal y equipo	Público/privado	% de avance	Dirección de medio ambiente
Establecer contratos para los análisis de laboratorio que establece la NMX-	Contratación de servicios de los servicios de laboratorio acreditado	Dirección jurídica		Secretaría	Público/privado	Documento	Dirección de medio ambiente

AA-180-SCFI-2018 con unidades verificadoras							
Buscar y establecer contratos con consumidores finales para su venta o distribución	Buscar/convocar posibles consumidores finales	Dirección de medio ambiente/ Dirección jurídica		Secretaría	Público/privado	Documento	Dirección de medio ambiente
	Celebrar contratos con consumidores finales	Dirección jurídica		Secretaría	Público/privado	Documento	Dirección de medio ambiente
Establecer los mecanismos para la distribución gratuita (proyectos del municipio/población gral) del producto final	Elaborar protocolo para la donación de composta, pequeños y grandes consumidores	Dirección de medio ambiente		Secretaría	Secretaría	Documento	Dirección de medio ambiente

La tabla anterior se elaboró en conjunto con el anterior director de medio ambiente el biólogo Raúl Alexander Gargallo Mojica, sin embargo, éste fue separado de su cargo en abril del 2022, quedando en su lugar el licenciado Oscar Ricardo Espinoza García, quien no mostró el mismo interés en el proyecto de mejora de la planta de compostaje, por ello la información relativa a los tiempos de inicio y fin de las acciones de mejora quedó en blanco, pues no se llegaron a acuerdo para su implementación bajo la nueva dirección. Algunas acciones como la compra de insumos como las bitácoras o equipos serán periódicas y deberán ser contempladas en el presupuesto de la dirección de medio ambiente, otras acciones como el desarrollo de los planos arquitectónicos o la construcción o instalación de los espacios adecuados serán inversiones de una sola exhibición, pero será la SDSOYPPC quien deberá establecerlo en su presupuesto. Por último, el origen de los recursos podrá ser público o privado, dependiendo de lo acuerdos que se establezcan en la SDSOYPPC.

Capítulo VI. Conclusiones

El actual esquema de manejo de la fracción orgánica de los RSU en Jiutepec es deficiente, pues prioriza la disposición final antes que su valoración y tratamiento. El municipio cuenta con un deficiente programa de separación de residuos desde la fuente que atiende solo al 10% del territorio y es eventual, además de que no existen programas de educación ambiental para sensibilizar a la población en materia de separación de residuos.

La planta de compostaje del municipio de Jiutepec carece de maquinaria, equipo necesario la falta de un proyecto ejecutivo, la falta de voluntad política, de personal capacitado y un presupuesto insuficiente y no asegurado, para la operación del proceso de compostaje, lo cual no permite asegurar la degradación de la materia orgánica, limitar la producción de composta, dificultades en el desarrollo de las actividades de la planta y ponen en riesgo la continuidad del proyecto.

La planta de compostaje funciona más bien como un sitio de almacenamiento de residuos de poda y jardinería, debido a que se ha superado su capacidad de almacenamiento. Por lo cual, se convierte en un sitio con alto riesgo de incendio. Además, no existe infraestructura ni equipos o personal capacitado para el combate de incendios, ni se cuenta con un Plan de atención de emergencias y combate de incendios.

Debido a la mala praxis de la planta de compostaje también es un riesgo a la salud por la generación de vectores y fauna nociva, pues tampoco se cuenta con un sistema de control de plagas, por lo que puede afectar de manera directa a los habitantes de las viviendas colindantes al predio de la planta.

La planta de compostaje cumple con a su ubicación y licencia de uso de suelo como lo establece la NMX-AA-180-SCFI-2018 y con las recomendaciones que hacen los distintos manuales de compostaje municipal. Sin embargo, no cumple con la mayoría de los puntos que la NMX-AA-180-SCFI-2018 requiere. El control y evidencia documental es prácticamente inexistente, no se cuentan con operaciones unitarias separadas y delimitadas en el área de compostaje, la infraestructura es pobre, deficiente o inexistente, no existen mecanismos que aseguren la calidad

del producto final y tampoco existe un mercado formal para la distribución del producto del compostaje.

Finalmente, para que la planta de compostaje de Jiutepec pueda mejorar su desempeño y empezar a cumplir con los diferentes requisitos que establece la norma mexicana, las autoridades municipales deben tener la voluntad para implementar las ideas sugeridas en este trabajo. Una opción que el municipio tiene es permitir la inversión privada en la planta, para la adquisición de equipos, maquinaria e insumos, también la vinculación con las universidades públicas del municipio o del estado para el aseguramiento de la calidad. A su vez, el municipio puede buscar alianzas estratégicas con los ejidatarios para garantizar un mercado de distribución del producto.

Referencias

- Agencia de residuos de Catalunya. (2009). Digestión anaerobia. Recuperado el 17/03/2022. De: https://residus.gencat.cat/es/ambits_dactuacio/valoritzacio_reciclatge/instal_lacions_de_gestio/tractament_biologic/digestio_anaerobia/.
- Albrecht Remy. (2007). Co-compostage de boues de station d'épuration et de déchets verts: Nouvelle methodologie du suivi des transformations de la matiere organique. Tesis de doctorado. Universite Paul Cezanne, Faculté de Sciences et Techniques. Marseille, Francia. 190 pp.
- Alvarez de la Puente José Ma. (2014). Manual de compostaje para Agricultura Ecológica. Junta de Andalucía. Consejería de Agricultura, Pesca y Desarrollo rural.
- Chen L. de Haro Marti M. Moore A. Falen C. (2011). The Composting process. Dairy compost production and use in Idaho. CIS 1179. 5 pp.
- Constitución Política de los Estados Unidos Mexicanos. Publicada en el Diario Oficial de la Federación el 5 de febrero del 1917. TEXTO VIGENTE. Ultima reforma publicada DOF 28-05-2021. Recuperado el 08/03/2022. De: <http://www.diputados.gob.mx/LeyesBiblio/pdf/CPEUM.pdf>
- Constitución Política del Estado Libre y Soberano de Morelos, que reforma la del año de 1888. Publicada en el Periódico Oficial Morelos Nuevo el 20 de noviembre de 1930. TEXTO VIGENTE. Ultima reforma publicada en el Periódico Oficial "Tierra y Libertad" el 02/06/2021. Recuperado el: 17/03/2022. De: <http://marcojuridico.morelos.gob.mx/archivos/constitucion/pdf/CONSTMOR.pdf>
- Dávalos M. (2019). La basura. Una historia paralela al orden social. pp 125 – 148. En: Las ciudades observadas por sus contemporáneos, Servicios urbanos y obra pública. María del Carmen Bernández de la Granja, María Esther Sánchez Martínez, compiladoras. Universidad autónoma Metropolitana. México D.F. 398 pp.
- Falappa María Belén. Lamy Malina. Vázquez Milagros. (2019) De una economía lineal a una circular, en el siglo XXI. Consultado el 29/03/2022. De: http://planificacion.bdigital.uncu.edu.ar/objetos_digitales/14316/falappa-fce.pdf

- Francou Cédric. (2003). Stabilisation de la matière organique au cours du compostage de déchets urbains: influence de la nature des déchets et du procédé du compostage – Recherche d'indicateurs pertinents. Tesis de doctorado. Institut National Agronomique Paris-Grignon, Ecole Doctorale Abies. París. 290 pp.
- Generalitat de Catalunya, Departament de territori i sostenibilitat. (2016). Guía práctica para el diseño y la explotación de plantas de compostaje. Agència de Residus de Catalunya. Catalunya. 94 pp.
- Gobierno de Guatemala. (2021). Guía de compostaje municipal. Ministerio de Ambiente y Recursos Naturales. Guatemala.
- Gobierno del Estado de Morelos. (2010). Programa de Prevención y Gestión Integral de Residuos Sólidos Urbanos y de Manejo Especial del Estado de Morelos. Consultado el 10/03/2022. http://www.transparenciamorelos.mx/sites/default/files/decreto_1.pdf
- Gobierno del Estado de Morelos. (2017). Estrategia para la Gestión Integral de los Residuos del Estado de Morelos. Recuperado el 17/03/2022. De: <http://marcojuridico.morelos.gob.mx/archivos/varios/pdf/VERESIDUOSMO.pdf>
- González Gómez Miguel. Secretaría de Desarrollo Sustentable, Obras y Servicios Públicos, Predial y Catastro de la Ciudad de Jiutepec. Coordinador general de servicios Públicos. 2019-2022.
- González Parra Saray Etzamaray. 2014. Servicio de limpieza de la zona metropolitana de la Ciudad de México, caso Bordo Poniente. Universidad Autónoma de la Ciudad de México. Tesis. Ciudad de México.
- Guitart Raimon. Giménez Nuria. (2012). ¿Qué es un toxico? Una propuesta de definición. Medicina clínica. Vol. 138 Num 3. pp 127 - 132
- Iglesia González Gabriel. (2020). De la economía lineal a la circular: La logística inversa y sostenibilidad de la cadena de suministro como elementos fundamentales del cambio. Universidad Zaragoza. Consultado el: 29/03/2022. De: <https://zaguan.unizar.es/record/90097>

- Instituto Cultural de León. (2019). La breve fragmentación de la basura entre la historia y la etimología. Consultado el 8/03/2022. <http://institutoculturaldeleon.org.mx/icl/story/6990/La-breve-fragmentacion-de-la-basura-entre-historia-y-etimologia-a#.YiZaf3PMLIV>.
- Junta de Andalucía. (2022). Estudio sobre la maquinaria idónea para las labores de compostaje de alperujos. Consultado el 8/03/2022. https://www.juntadeandalucia.es/export/drupaljda/documento_completo.pdf.
- Kaza Silpa, Yao Lisa, Bhada-Tata Peinaz, Van Woerden Frank. (2018). What a waste 2.0: A global snapshot of solid waste management to 2050. Urban Development Series. Washington D.C. World Bank. 295 pp.
- Ley General del Equilibrio Ecológico y Protección al Ambiente. Publicada en el Diario Oficial de la Federación el 28 de enero de 1988. TEXTO VIGENTE. Última reforma publicada DOF 21-10-2021. Recuperado el 08/03/2022. De: <http://www.diputados.gob.mx/LeyesBiblio/pdf/LGEEPA.pdf>.
- Ley General para la Prevención y Gestión Integral de Residuos. Publicada en el Diario Oficial de la Federación el 8 de octubre de 2003. TEXTO VIGENTE. Última reforma publicada DOF 18-01-2021. Recuperado el 08/03/2022. De: http://www.diputados.gob.mx/LeyesBiblio/pdf/263_180121.pdf.
- Ley de Residuos Sólidos para el Estado de Morelos. Publicada en el Periódico Oficial “Tierra y Libertad” el 17 de octubre de 2007. TEXTO VIGENTE. Última reforma publicada en el Periódico Oficial “Tierra y Libertad” el 17-01-2020. Recuperado el 08/03/2022. De: <http://marcojuridico.morelos.gob.mx/archivos/leyes/pdf/LRESIDUOSEM.pdf>.
- Lobo A. López A. Estaban-García A.L. Cuantas M. (Eds). (2017). Libro de actas. VII Simposio Iberoamericano en Ingeniería de Residuos. Universidad de Cantabria. Santander. PP. 762
- Martínez José Alejandro, Montoya Nancy, Sierra María. (2014). Energía del futuro: bioalcoholes a partir de Residuos Sólidos Urbanos (RSU). Rev.esc.adm.neg. No. 77. Pp 64-81.
- Monroy Antonio. Narváez Rafael. Vera Bernando. Bautista Lidia. Generación de bioetanol como combustible a partir de compuestos lignocelulósicos a nivel laboratorio. Revista de Energía Química y Física. Diciembre 2017 vol. 4 no. 13. Pp 49-57.

Núñez Espinoza Juan Felipe. (2016). Patrones de organización social en la gestión de residuos sólidos en el continuo regional Distrito Federal-Estado de México. Región y sociedad. Vol 28, n.65. pp 187-233.

Ojeda Benitez Saro. Taboada González Paul Adolfo. Aguilar Virgen Quetzalli. Cruz Sotelo Samantha. Nakasima López Mydory. 2016. Encuentro de Expertos en Residuos Sólidos. Operación de siete plantas de compostaje en la Ciudad de México. Sociedad Mexicana de Ciencia y Tecnología Aplicada a Residuos Sólidos A.C. año 9. Número 1. PP 244-252

Reglamento de la Ley de Residuos Sólidos para el Estado de Morelos. Publicado en el Periódico Oficial “Tierra y Libertad” el 29 de febrero de 2008. TEXTO VIGENTE. Última reforma publicada en el Periódico Oficial “Tierra y Libertad” el 08/10/2021. Recuperado el: 17/03/2022. De:

http://marcojuridico.morelos.gob.mx/archivos/reglamentos_estatales/pdf/RLRESIDUOEM.pdf

Reglamento de protección al Medio Ambiente del Municipio de Jiutepec, Morelos. Publicado en el Periódico Oficial “Tierra y Libertad” el 12 de mayo de 1999. TEXTO VIGENTE. Última reforma publicada: Texto original. Recuperado el 08/03/2022. De: http://marcojuridico.morelos.gob.mx/archivos/reglamentos_municipales/pdf/Reg00115.pdf.

Rodríguez Salinas Marcos Arturo. Córdova y Vázquez Ana. (2006). Manual de compostaje Municipal, Tratamiento de residuos sólidos urbanos. SEMARNAT, INE, GTZ. México. 104 pp.

Román Pilar. Martínez María M. Pantoja Alberto. (2013). Manual de compostaje del agricultor, Experiencias en América Latina. Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura. Santiago de Chile. 112 pp.

Rosso Marcelo. (2022). Gestión Integral de Residuos Orgánicos. [Webinar]. Capítulo Regional ISWA LAC. Programa para el medio ambiente de la ONU. URL: https://drive.google.com/drive/folders/1HY3oKLWBp1j2MQHKZZc2rlcZQOv1z0yx?utm_admin=19819

- SCFI. (2018). Norma mexicana que establece los métodos y procedimientos para el tratamiento aerobio de la fracción orgánica de los residuos sólidos urbanos y de manejo especial, así como de la información comercial y de sus parámetros de calidad de los productos finales. Dirección General de Normas. Consultado el 08/03/2022. De: <https://biblioteca.semarnat.gob.mx/janium/Documentos/Ciga/agenda/PPD1/NMX-AA-180-SCFI-2018.pdf>.
- Secretaría de Desarrollo Sustentable. (2022). Programa Estatal de la Gestión y Manejo Integral de residuos Sólidos Urbanos y de Manejo Especial en Morelos. Periódico oficial “Tierra y Libertad”. Cuernavaca. Publicado el 26 de enero de 2022.
- SEMARNAT. (2003) Ley General para la Prevención y Gestión Integral de los Residuos. Consultado el 10/03/2022 http://www.diputados.gob.mx/LeyesBiblio/ref/lpggir/LGPGIR_orig_08oct03.pdf. Consultado en noviembre 2021.
- SEMARNAT. (2015). Informe de la situación del medio ambiente. Consultado el 10/03/2022 https://apps1.semarnat.gob.mx:8443/dgeia/informe15/tema/pdf/Informe15_completo.pdf. Consultado en noviembre 2021.
- SEMARNAT. (2019) Informe de la situación del medio ambiente en México. Consultado el 10/03/2022. https://apps1.semarnat.gob.mx:8443/dgeia/informe18/tema/pdf/Informe2018GMX_web.pdf
- T. Forster-Carneiro, L.A. Fernández, M. Pérez, L. I. Romero, C. A. Gallego. (2003). Diseño y optimización de la fase de arranque del proceso SEBAC en el tratamiento de la fracción orgánica de residuos sólidos urbanos. Recuperado de: https://www.researchgate.net/publication/253329455_Disenio_y_optimizacion_de_la_fase_de_arranque_del_proceso_SEBAC_en_el_tratamiento_de_la_fraccion_organica_de_residuos_solidos_urbanos
- Universidad Tecnológica Nacional, Facultad Regional Mendoza. (1980). Gestión Integral de Residuos. Consultado el 10/03/2022 <http://web.frm.utn.edu.ar/webutn/archivos/civil/Sanitaria/Capitulo4.pdf>. Consultado en diciembre 2021.

Uruguay, Presidencia de la República, Oficina de planeamiento y presupuesto. (1999). Manual para la elaboración de compost: bases conceptuales y procedimientos. OMS. Ginebra. pp 69.

Cuernavaca, Morelos a 17 de octubre del 2022

COMISIÓN REVISORA
ESPECIALIDAD EN GESTIÓN INTEGRAL DE RESIDUOS
P R E S E N T E

COMO MIEMBRO DEL JURADO REVISOR DE TESINA, HAGO DE SU CONOCIMIENTO QUE DESPUES DE HABER ANALIZADO LA TESINA QUE PARA OBTENER EL DIPLOMA DE ESPECIALIDAD EN GESTIÓN INTEGRAL DE RESIDUOS, DEL ESTUDIANTE C. **MORENO SOTO DANIEL FERNANDO**, CON NÚMERO DE MATRÍCULA **10053500**, BAJO EL TÍTULO “CARACTERIZACIÓN DEL PROCESO DE COMPOSTAJE EN LA PLANTA DE JIUTEPEC, MORELOS”, CONSIDERO QUE EL DOCUMENTO REÚNE LOS REQUISITOS ACADÉMICOS PARA SU DEFENSA ORAL EN EL EXAMEN, POR LO TANTO, EMITO MI **VOTO APROBATORIO**.

AGRADEZCO DE ANTEMANO LA ATENCIÓN QUE SE SIRVA PRESTAR A LA PRESENTE.

A T E N T A M E N T E
Por Una Humanidad Culta

Dra. Maura Téllez Téllez



UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DEL
ESTADO DE MORELOS

Se expide el presente documento firmado electrónicamente de conformidad con el ACUERDO GENERAL PARA LA CONTINUIDAD DEL FUNCIONAMIENTO DE LA UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DEL ESTADO DE MORELOS DURANTE LA EMERGENCIA SANITARIA PROVOCADA POR EL VIRUS SARS-COV2 (COVID-19) emitido el 27 de abril del 2020.

El presente documento cuenta con la firma electrónica UAEM del funcionario universitario competente, amparada por un certificado vigente a la fecha de su elaboración y es válido de conformidad con los LINEAMIENTOS EN MATERIA DE FIRMA ELECTRÓNICA PARA LA UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE ESTADO DE MORELOS emitidos el 13 de noviembre del 2019 mediante circular No. 32.

Sello electrónico

MAURA TELLEZ TELLEZ | Fecha:2022-10-17 10:09:33 | Firmante

Jyivw5slHPiFYt4BwP4VJnU7/N4ZaMKIa7ySHOSocP0A1MK/HrY5nFXHhXCsqJuOiuagK6iq+GzR0phgs113oNZn+S2pmG/KVbMKOIL2gdehY/DVodvVA9o0BJH4IcjjABDVim58S2QbdSOYEuyqaYjfr3ztNWhdOU1cQdtW/OFCPWjeeWx8fBkMzINE9Py82FW4geqc2PsaBAEmRNtBCYHca9vR2/h5VJ5fNWIAtrO8C2ehHGw7badW+fqZYzox0t14HXh/WXf6bXd5gAtSyl/ApvpsK6QY7QzpqRJJkkZMJ2PIHXkByN+x6NYYQIHkQhVPeHbXT3H2aEJbEojAw==

Puede verificar la autenticidad del documento en la siguiente dirección electrónica o escaneando el código QR ingresando la siguiente clave:



[grzLNA7BO](#)

<https://efirma.uaem.mx/noRepudio/C3vIDmHcD054mYtY3pDEfV83vcqaKHTa>



Cuernavaca, Morelos a 22 de noviembre
de 2022

**COMISIÓN REVISORA
ESPECIALIDAD EN GESTIÓN INTEGRAL DE RESIDUOS
P R E S E N T E**

COMO MIEMBRO DEL JURADO REVISOR DE TESINA, HAGO DE SU CONOCIMIENTO QUE DESPUES DE HABER ANALIZADO LA TESINA QUE PARA OBTENER EL DIPLOMA DE ESPECIALIDAD EN GESTIÓN INTEGRAL DE RESIDUOS, DEL ESTUDIANTE C. **MORENO SOTO DANIEL FERNANDO**, CON NÚMERO DE MATRÍCULA **10053500**, BAJO EL TÍTULO “CARACTERIZACIÓN DEL PROCESO DE COMPOSTAJE EN LA PLANTA DE JIUTEPEC, MORELOS”, CONSIDERO QUE EL DOCUMENTO REÚNE LOS REQUISITOS ACADÉMICOS PARA SU DEFENSA ORAL EN EL EXAMEN, POR LO TANTO, EMITO MI **VOTO APROBATORIO**.

AGRADEZCO DE ANTEMANO LA ATENCIÓN QUE SE SIRVA PRESTAR A LA PRESENTE.

A T E N T A M E N T E
Por Una Humanidad Culta

FIRMA ELECTRÓNICA

Dr. Alexis Joavany Rodríguez Solís



UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DEL
ESTADO DE MORELOS

Se expide el presente documento firmado electrónicamente de conformidad con el ACUERDO GENERAL PARA LA CONTINUIDAD DEL FUNCIONAMIENTO DE LA UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DEL ESTADO DE MORELOS DURANTE LA EMERGENCIA SANITARIA PROVOCADA POR EL VIRUS SARS-COV2 (COVID-19) emitido el 27 de abril del 2020.

El presente documento cuenta con la firma electrónica UAEM del funcionario universitario competente, amparada por un certificado vigente a la fecha de su elaboración y es válido de conformidad con los LINEAMIENTOS EN MATERIA DE FIRMA ELECTRÓNICA PARA LA UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE ESTADO DE MORELOS emitidos el 13 de noviembre del 2019 mediante circular No. 32.

Sello electrónico

ALEXIS JOAVANY RODRIGUEZ SOLIS | Fecha:2022-11-22 20:26:11 | Firmante

KkfK0gx4aV8AEToWohqEBb4ThiyY2egppyuP6eRpT5HtmZgerzTvdixR9E7hxhzL0n8PwMiTkDspuUX5QQkyDiboEY8YILTQqH1GF2fNwbM/WAqpEVt9Vi4LMGCoLEMNHwqS
UJDBXXFOx2L7ytWRmOVz6ZhiBMXldAUlpdgbUP/eDxppidqHikN4sMqHzJk2JwRxSNlcFoNTXPW38GkSLtuXDmuUZHsBQFNsHQAzW4yHYGqqzZF+Hqyq7exJ7t4RfUa0DYI
G54h0m3lLz17PelejCvcubehzzKlbtifbKDyneZEg9gRdjqlJO7Fz9ihDT7rUXZmZECebdGkUacxw==



Puede verificar la autenticidad del documento en la siguiente dirección electrónica o
escaneando el código QR ingresando la siguiente clave:

[DYAs6mvUw](#)

<https://efirma.uaem.mx/noRepudio/MfNgCXxPHlvgbp7cstsA0Oo9k5MksO6S>



Cuernavaca, Morelos a 28 de octubre del 2022

COMISIÓN REVISORA
ESPECIALIDAD EN GESTIÓN INTEGRAL DE RESIDUOS
P R E S E N T E

COMO MIEMBRO DEL JURADO REVISOR DE TESINA, HAGO DE SU CONOCIMIENTO QUE DESPUES DE HABER ANALIZADO LA TESINA QUE PARA OBTENER EL DIPLOMA DE ESPECIALIDAD EN GESTIÓN INTEGRAL DE RESIDUOS, DEL ESTUDIANTE C. **MORENO SOTO DANIEL FERNANDO**, CON NÚMERO DE MATRÍCULA **10053500**, BAJO EL TÍTULO “CARACTERIZACIÓN DEL PROCESO DE COMPOSTAJE EN LA PLANTA DE JIUTEPEC, MORELOS”, CONSIDERO QUE EL DOCUMENTO REÚNE LOS REQUISITOS ACADÉMICOS PARA SU DEFENSA ORAL EN EL EXAMEN, POR LO TANTO, EMITO MI **VOTO APROBATORIO**.

AGRADEZCO DE ANTEMANO LA ATENCIÓN QUE SE SIRVA PRESTAR A LA PRESENTE.

A T E N T A M E N T E
Por Una Humanidad Culta

Firma electrónica

Mtra. Ariadna Zenil Rodríguez



UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DEL
ESTADO DE MORELOS

Se expide el presente documento firmado electrónicamente de conformidad con el ACUERDO GENERAL PARA LA CONTINUIDAD DEL FUNCIONAMIENTO DE LA UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DEL ESTADO DE MORELOS DURANTE LA EMERGENCIA SANITARIA PROVOCADA POR EL VIRUS SARS-COV2 (COVID-19) emitido el 27 de abril del 2020.

El presente documento cuenta con la firma electrónica UAEM del funcionario universitario competente, amparada por un certificado vigente a la fecha de su elaboración y es válido de conformidad con los LINEAMIENTOS EN MATERIA DE FIRMA ELECTRÓNICA PARA LA UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE ESTADO DE MORELOS emitidos el 13 de noviembre del 2019 mediante circular No. 32.

Sello electrónico

ARIADNA ZENIL RODRIGUEZ | Fecha:2022-10-28 08:25:53 | Firmante

iuEkP6t4qzrEW1QYNs3rl406gyRbgneNPaoahFD6KXdomWGJfRfbF7zBxTnIDnSilh31FdNeuFzc5TH/MwsiH8qYSlnc+TSF/dcl/jmiRj6Bbjs3HH6MYILyN9RoGnAkw39BZtpM4fOXIXypWVp0zc5slKwJajOttWx08k7AFGihM7P3gSzat5UWByitRR8T39tDpoO6OneqOQoTqINHfJq23v5qZhs7Fx43GLRZp6bf7DDPQXZ3JQ0MA750dV8irtkViP819KP2SkSKBJEyy77vUAXaBtIQfIRpHuu95V1N8mWpQ7uBi9nXaMrWs1cFJ6bDaEmXFknjlgY7ZZSA==



Puede verificar la autenticidad del documento en la siguiente dirección electrónica o escaneando el código QR ingresando la siguiente clave:

[Cv7LF1wMK](#)

<https://efirma.uaem.mx/noRepudio/EgMSXQSfSm2yCVmogSt0FNIXSL4SXGNf>



Cuernavaca, Morelos a 22 de octubre de 2022

**COMISIÓN REVISORA
ESPECIALIDAD EN GESTIÓN INTEGRAL DE RESIDUOS
P R E S E N T E**

COMO MIEMBRO DEL JURADO REVISOR DE TESINA, HAGO DE SU CONOCIMIENTO QUE DESPUES DE HABER ANALIZADO LA TESINA QUE PARA OBTENER EL DIPLOMA DE ESPECIALIDAD EN GESTIÓN INTEGRAL DE RESIDUOS, DEL ESTUDIANTE C. **MORENO SOTO DANIEL FERNANDO**, CON NÚMERO DE MATRÍCULA **10053500**, BAJO EL TÍTULO “CARACTERIZACIÓN DEL PROCESO DE COMPOSTAJE EN LA PLANTA DE JIUTEPEC, MORELOS”, CONSIDERO QUE EL DOCUMENTO REÚNE LOS REQUISITOS ACADÉMICOS PARA SU DEFENSA ORAL EN EL EXAMEN, POR LO TANTO, EMITO MI **VOTO APROBATORIO**.

AGRADEZCO DE ANTEMANO LA ATENCIÓN QUE SE SIRVA PRESTAR A LA PRESENTE.

A T E N T A M E N T E
Por Una Humanidad Culta

Dra. María Luisa Castrejón Godínez



UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DEL
ESTADO DE MORELOS

Se expide el presente documento firmado electrónicamente de conformidad con el ACUERDO GENERAL PARA LA CONTINUIDAD DEL FUNCIONAMIENTO DE LA UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DEL ESTADO DE MORELOS DURANTE LA EMERGENCIA SANITARIA PROVOCADA POR EL VIRUS SARS-COV2 (COVID-19) emitido el 27 de abril del 2020.

El presente documento cuenta con la firma electrónica UAEM del funcionario universitario competente, amparada por un certificado vigente a la fecha de su elaboración y es válido de conformidad con los LINEAMIENTOS EN MATERIA DE FIRMA ELECTRÓNICA PARA LA UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE ESTADO DE MORELOS emitidos el 13 de noviembre del 2019 mediante circular No. 32.

Sello electrónico

MARIA LUISA CASTREJON GODINEZ | Fecha:2022-10-22 14:35:07 | Firmante

glUGkS88vqrwNpceZAx9uUMRVwth6n6IEt7R3cBhEWMGtAKIHmIXgaklrNDZa4Xe6JYb+mdVMtJjb2pl5vxtKH97amjwMf4N2aoodZKxhr+mKXXHVKiu8B0WonDnuUoXFm7yIHq
pjkZctpbUnnO9TLVt5PV/hzcV3Wyn3PDYwBmwW9m9ByRqY5GcUINqgMC1MNRtxwOdvjk2Uyrlam5Fz8qDyWcUKafW1GEswyLv/baF2h+zJSzt9U5O7yQuFtpL0j+tlkxPDqCR/t
tk9NXyXryjR9vMsCEmhnnq4nFSazRUKZS1udlsGAUpVURWclvfJDyJRRZqYnVfypMyySZ3w==

Puede verificar la autenticidad del documento en la siguiente dirección electrónica o
escaneando el código QR ingresando la siguiente clave:



ceNDOYar5

<https://efirma.uaem.mx/noRepudio/yeDL8pc6mOCFkMD7Bamrz2KLhEpZ7GCU>



Cuernavaca, Morelos a 05 de octubre del 2022

**COMISIÓN REVISORA
ESPECIALIDAD EN GESTIÓN INTEGRAL DE RESIDUOS
P R E S E N T E**

COMO MIEMBRO DEL JURADO REVISOR DE TESINA, HAGO DE SU CONOCIMIENTO QUE DESPUES DE HABER ANALIZADO LA TESINA QUE PARA OBTENER EL DIPLOMA DE ESPECIALIDAD EN GESTIÓN INTEGRAL DE RESIDUOS, DEL ESTUDIANTE C. **MORENO SOTO DANIEL FERNANDO**, CON NÚMERO DE MATRÍCULA **10053500**, BAJO EL TÍTULO “CARACTERIZACIÓN DEL PROCESO DE COMPOSTAJE EN LA PLANTA DE JIUTEPEC, MORELOS”, CONSIDERO QUE EL DOCUMENTO REÚNE LOS REQUISITOS ACADÉMICOS PARA SU DEFENSA ORAL EN EL EXAMEN, POR LO TANTO, EMITO MI **VOTO APROBATORIO**.

AGRADEZCO DE ANTEMANO LA ATENCIÓN QUE SE SIRVA PRESTAR A LA PRESENTE.

A T E N T A M E N T E
Por Una Humanidad Culta

Dra. Leticia Isabel Valencia Cuevas



UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DEL
ESTADO DE MORELOS

Se expide el presente documento firmado electrónicamente de conformidad con el ACUERDO GENERAL PARA LA CONTINUIDAD DEL FUNCIONAMIENTO DE LA UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DEL ESTADO DE MORELOS DURANTE LA EMERGENCIA SANITARIA PROVOCADA POR EL VIRUS SARS-COV2 (COVID-19) emitido el 27 de abril del 2020.

El presente documento cuenta con la firma electrónica UAEM del funcionario universitario competente, amparada por un certificado vigente a la fecha de su elaboración y es válido de conformidad con los LINEAMIENTOS EN MATERIA DE FIRMA ELECTRÓNICA PARA LA UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE ESTADO DE MORELOS emitidos el 13 de noviembre del 2019 mediante circular No. 32.

Sello electrónico

LETICIA ISABEL VALENCIA CUEVAS | Fecha:2022-12-06 09:52:06 | Firmante

HnUC+WJFmhdWTLPHRM+06n0pkH3Xmcl07R3PXHn2ASNxjeadvcmoHPFAkFn1LRZB4z3nvqM7y8eNntj9iBjgMabifa/d0MxdwB3VMZIGpW4dXFNSlve9oJpBWDtnaDA9sThfNXAc/eNe88zmrW7sggwCQ9oo66V6VRPr310XR9Jo+6tuGap1Jer7ZWBemMpdVrZc1Bji4Wla2QZQwJ5qSs64FXbtFRqQrzhfmhlfB6laWw5hWBmZbBIDJME6hXHA59CN7Ma9yAo2F8Z3SN8iGRAXZSHnTV0I8A+w5tv3ntaM2NVrguvr/dSKI76tNAa0x2oavlhFyxtHmc3AqKQ/g==



Puede verificar la autenticidad del documento en la siguiente dirección electrónica o escaneando el código QR ingresando la siguiente clave:

[7ru9bHBmv](#)

<https://efirma.uaem.mx/noRepudio/xpVcwRI3xoKdILEgYBRgxLi59jMmnDFg>

