



UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE MÉXICO
PROGRAMA DE MAESTRÍA Y DOCTORADO EN INGENIERÍA
(INGENIERÍA AMBIENTAL) – (RESIDUOS SÓLIDOS)

**VALORIZACIÓN Y APROVECHAMIENTO DE LOS RESIDUOS DE BOLSAS PLÁSTICAS
EN PLANES DE MANEJO BAJO EL PRINCIPIO DE RESPONSABILIDAD COMPARTIDA**

TESIS

QUE PARA OPTAR POR EL GRADO DE:
MAESTRA EN INGENIERÍA AMBIENTAL

PRESENTA:

Q. SOFÍA JAZMÍN ORTIZ SOTO

TUTORA PRINCIPAL:

DRA. MARÍA NEFTALÍ ROJAS VALENCIA
INSTITUTO DE INGENIERÍA

COMITÉ TUTOR

M. A. I. LANDY IRENE RAMÍREZ BURGOS , FACULTAD DE QUÍMICA
M. EN C. GLORIA MORENO RODRÍGUEZ , INSTITUTO DE INGENIERÍA

CIUDAD UNIVERSITARIA CD. MX, FEBRERO 2024



Universidad Nacional
Autónoma de México

Dirección General de Bibliotecas de la UNAM

Biblioteca Central



UNAM – Dirección General de Bibliotecas
Tesis Digitales
Restricciones de uso

DERECHOS RESERVADOS ©
PROHIBIDA SU REPRODUCCIÓN TOTAL O PARCIAL

Todo el material contenido en esta tesis esta protegido por la Ley Federal del Derecho de Autor (LFDA) de los Estados Unidos Mexicanos (México).

El uso de imágenes, fragmentos de videos, y demás material que sea objeto de protección de los derechos de autor, será exclusivamente para fines educativos e informativos y deberá citar la fuente donde la obtuvo mencionando el autor o autores. Cualquier uso distinto como el lucro, reproducción, edición o modificación, será perseguido y sancionado por el respectivo titular de los Derechos de Autor.

JURADO ASIGNADO:

Presidente: M. EN C. GLORIA MORENO RODRÍGUEZ

Secretario: DRA. GEORGINA FERNÁNDEZ VILLAGÓMEZ

1 er. VOCAL: M. EN C. JUDITH LÓPEZ JARDINEZ

2 do. VOCAL: M. C. CONSTANTINO GUTIÉRREZ

3 er. VOCAL: DRA. MARÍA NEFTALÍ ROJAS VALENCIA

Lugar o lugares donde se realizó la tesis: Instituto de Ingeniería UNAM Ed. 5 Coordinación de Ingeniería Ambiental.

TUTOR DE TESIS:

DRA. MARÍA NEFTALÍ ROJAS VALENCIA

FIRMA

Agradecimientos

A mi familia por su apoyo incondicional a lo largo de mi vida.

A la Dra. María Neftalí Rojas Valencia por su paciencia, tiempo, conocimiento y disposición para dirigir este trabajo y contribuir a mi formación académica.

A los miembros del comité tutor por sus valiosas observaciones y correcciones contribuyendo de gran manera a mi formación académica.

A los miembros del jurado por sus valiosas observaciones y correcciones para mejorar este documento.

A las empresas (CADESA y La CIMA) por permitir que se trabajara en sus instalaciones.

Además, agradezco a CONAHCyT por la beca otorgada durante mis estudios de maestría (No. De becario: 806850 CVU: 1140422).

Al Programa de Apoyo a los Estudios de Posgrado (PAEP) por otorgarme el apoyo para poder asistir a “5th International Conference on Recycling and Waste Management” en Paris, Francia.

Parte de este trabajo fue presentado en:

5th International Conference on Recycling and Waste Management, Paris, Francia, Noviembre del 2022 (Presentación de cartel).

Tabla de contenido

Índice de figuras	6
Índice de tablas.....	7
Tabla de abreviaturas	8
CAPÍTULO 1. Introducción.....	9
1.1 Justificación	12
1.2 Objetivos.....	14
1.2.1 Objetivo general	14
1.2.2 Objetivos específicos	14
1.3 Hipótesis.....	15
1.4 Alcances y Limitaciones	15
CAPÍTULO 2. Marco teórico	16
2.1 Marco legal.....	16
2.2 Plásticos y la humanidad.....	18
2.2.1 Producción de plásticos	19
2.2.2 Clasificación de Plásticos.....	21
2.3 El tratamiento de los residuos plásticos.....	23
2.3.1 Tratamiento biológico: Composteo.....	24
2.3.2 Tratamiento termoquímico: Pirólisis, gasificación.....	25
2.3.3 Tratamiento mecánico.....	27
2.4 Bolsas plásticas.....	27
2.4.1 Fabricación de una bolsa y los tipos materiales más comunes de bolsas plásticas	28
2.5 Problemática	30
2.6 Clasificación de las bolsas	31
2.7 Plan de manejo	32
2.8 Antecedentes.....	34
CAPÍTULO 3. Metodología	36
3.1 Recopilación y análisis bibliográfico que referente a las bolsas plásticas y sus efectos al ambiente.....	36
3.2 Selección de las plantas de composta y las fábricas de bolsas plásticas que se visitaron.....	36

3.3	Búsqueda de los datos del poder calorífico de bolsa de plástico de diferente composición.	36
3.4	Trabajo de campo, este se divide en dos actividades principales:	37
3.4.1	Estudio de generación de fábricas de bolsas y de posconsumo en una institución.	37
8.4.2	Visita a las plantas de composta y entrevista a los encargados para conocer cualitativamente la factibilidad técnica.....	44
3.5	Análisis de la información obtenida en el trabajo de campo.....	45
3.6	Establecer el plan de manejo para las empresas.....	45
CAPÍTULO 4 Resultados y análisis de resultados		47
4.1	Datos del poder calorífico de las bolsas	47
4.2	Estudios de generación	48
4.2.1	Estudio de generación de residuos en el proceso de fabricación de bolsas plásticas de la empresa CADESA Empaques S.A de C.V	48
4.2.2	Estudio de generación de residuos en el proceso de fabricación de bolsas plásticas de la empresa LA CIMA.	55
4.2.3	Estudio de generación de residuos de bolsas de plástico en edificios del instituto de Ingeniería, UNAM.	58
4.3	Entrevistas y visitas a plantas de composta	60
4.4	Plan de Manejo de los residuos de bolsas de plástico.....	66
CAPÍTULO 5. CONCLUSIONES.....		77
Referencias		79

Índice de figuras

Figura 2.1. Proceso de la vida de los productos plásticos.....	20
Figura 2.2. Representación gráfica de la relación entre la biodegradabilidad de los productos plásticos y su origen	22
Figura 2.3. Tipos de tratamiento que pueden tener los objetos fabricados con plásticos.....	23
Figura 2.4. Diagrama que muestra las etapas principales del reciclaje mecánico.....	27
Figura 2.5. Fabricación de una bolsa.....	29
Figura 2.6. Uso y disposición de las bolsas plásticas.....	30
Figura 3.1. Imagen satelital fabrica CADESA Empaques S.A de C.V	37
Figura 3.2. Imagen satelital fabrica La CIMA.....	38
Figura 3.3. Residuos generados que no pasan control de calidad y son recuperados	39
Figura 3.4. Contenedor para el estudio de generación.....	40
Figura 3.5. Determinación de subproductos.....	41
Figura 3.6. Método de cuarteo de los de los residuos.....	41
Figura 3.7. Imagen satelital del Instituto de Ingeniería, UNAM.....	43
Figura 3.8. Residuos generados para el estudio	43
Figura 3.9. Clasificación de subproductos obtenidos en el estudio.....	44
Figura 4.1. Gráfica comparativa de los subproductos de la empresa CADESA.....	51
Figura 4.2. Gráfica comparativa de material que se recicla de la empresa CADESA	52
Figura 4.3. Proceso de producción de bolsas.....	53
Figura 4.4. Separación de la materia prima que se reutiliza y área de recuperación de material para generar nuevos pellets.....	54
Figura 4.5. Gráfica comparativa de material que se recicla de la empresa LA CIMA	57
Figura 4.6. Gráfica estudio de generación posconsumo del instituto	58
Figura 4.7. Porcentaje aproximado de las respuestas obtenidas en las entrevistas	61
Figura 4.8. Descarga de residuos	63
Figura 4.9. Volteo de pilas.....	63
Figura 4.10. Limpieza de pilas	64
Figura 4.11. Problemática de la combinación de residuos	64
Figura 4.12. Efecto de los plásticos presentes en la composta.....	65

Índice de tablas

Tabla 2.1. Marco legal ambiental en materia de residuos.....	16
Tabla 2.2. Marco legal ambiental en materia de emisiones.....	18
Tabla 2.3. Comparación entre pirólisis y gasificación.....	26
Tabla 4.1. Poder calorífico de las bolsas según su composición.....	47
Tabla 4.2. Datos para el cálculo de determinación de la capacidad del recipiente de la empresa CADESA.....	49
Tabla 4.3. Determinación de la capacidad del recipiente y el peso volumétrico de los residuos sólidos totales de la empresa CADESA.....	49
Tabla 4.4. Materia que se recicla de la empresa CADESA.....	50
Tabla 4.5. Subproductos de la empresa CADESA.....	50
Tabla 4.6. Porcentaje de Material recuperado de la empresa CADESA.....	51
Tabla 4.7. Datos para el cálculo de determinación de la capacidad del recipiente de la empresa LA CIMA.....	55
Tabla 4.8. Determinación de la Capacidad del recipiente y el peso volumétrico de los residuos sólidos totales de la empresa LA CIMA.....	55
Tabla 4.9. Materia que se recicla de la empresa LA CIMA.....	56
Tabla 4.10. Porcentaje de Material recuperado de la empresa LA CIMA.....	57
Tabla 4.11. Tabla comparativa de combustibles y plásticos.....	60

Tabla de abreviaturas

CDMX: Ciudad de México

CU: Ciudad Universitaria

SEDEMA: Secretaría de Medio Ambiente

SEMARNAT: Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales

LGPEA: Ley General del Equilibrio Ecológico y la Protección al Ambiente

LGPEGIR: Ley General para la Prevención y Gestión de los Residuos

NMX: Norma Mexicana

NOM: Norma Oficial Mexicana

DOF: Diario Oficial de la Federación

ISWA: International Solid Waste Association (Asociación Internacional de residuos Sólidos)

OCDE: Organización para la Cooperación y el Desarrollo Económico

ONU: Organización de las Naciones Unidas

PPCLV: Planta de Producción de Composta, Laboratorio y Vivero “Dr. Héctor Uriel Mayagoitia Domínguez

HDPE : High Density Polietilene (Polietileno de Alta Densidad en inglés)

PEAD: Polietileno de Alta Densidad

LDPE : Low Density Polietilene (Polietileno de Baja Densidad en inglés)

PEBD: Polietileno de Baja Densidad

PET: Polietileno Tereftalato

PLA: Ácido poliláctico

PHA: Polihidroxialcanoato

PBHA: Poli(butilen adipato-co-tereftalato)

PBS: Polibutilen succinato

CAPÍTULO 1. Introducción

A lo largo de la historia de la humanidad se han utilizado diferentes materiales para producir objetos que sirvan como herramientas o utensilios que ayuden a facilitar las actividades diarias. Primero se tuvo la piedra, después los metales y en los últimos años los plásticos. Los plásticos son el material más utilizado actualmente, esto se debe a varias razones como la versatilidad que puede tener para generar diferentes productos y que prácticamente se encuentran en todas partes, por ejemplo, en construcción, comunicaciones, agricultura, textiles, electrónicos, electrodomésticos, embalaje, etc. (Góngora, 2014). Esta versatilidad hace que los plásticos sean uno de los inventos más importantes en la historia de la humanidad.

Además de la versatilidad que presenta este material para tener una gran variedad de utilidades, desde la segunda mitad del siglo XIX (Kosior y Crescenzi, 2020) se observó su poder económico dando lugar a la industria del plástico, esto se debió a que la producción en masa es relativamente barata al compararla con otros materiales, a una gran adaptación a diferentes actividades humanas (agricultura, medicina, industria aeroespacial) y su accesibilidad para ampliar su consumo.

A pesar de todas las ventajas que tienen los plásticos, tienen un gran problema de degradación y de disposición, dando pie a un problema ambiental que debe solucionarse a nivel mundial. En el año 2022 se publicó un informe donde, se menciona el incremento que han tenido los desechos plásticos y su relación con el crecimiento poblacional y de ingresos, lo cual se traduce en más consumo, pero las políticas para detener su impacto en el ambiente no son las adecuadas o son deficientes.

Una de las conclusiones del informe es que debido a la emergencia sanitaria provocada por la pandemia del virus SARS COV-2 (Ebner, y Lacovidou, 2021), se observó un descenso del 2.2% (OCDE, 2022) en el uso de plástico al desacelerarse la actividad económica, pero a su vez se observó el aumento de residuos de

envases de comida para llevar, equipos médicos de plástico, como las mascarillas debido a su alto consumo. Al empezar a estabilizarse la situación y reanudarse las actividades económicas, en el año 2021 se observó un repunte en el consumo de plásticos comunes. Estas conclusiones reflejan la estrecha relación con el plástico y como en nosotros se encuentra parte de la solución para esta problemática ambiental (OCDE, 2022).

Además, un dato que cabe resaltar del informe es el incremento en la producción de plásticos con respecto a las dos décadas anteriores, pero que lamentablemente solo se recicla con éxito el 9% (Geyer. *et al.* 2017), el resto termina en rellenos sanitarios, se incinera o en el peor de los casos se esparce en el ambiente.

Asimismo, se estima que anualmente se consumen 500 mil millones a un billón de bolsas de plástico alrededor del mundo, lo que podría estimarse en 1400 a 2700 millones por día, más de 1 millón por minuto, el consumo de bolsas se puede relacionar con el crecimiento económico siendo que países como Estados Unidos, Japón y China se estima que se tienen 286,235, 223 millones de bolsas plásticas consumidas per cápita (Alam., Billah., Yajie. ,2018).

Esto es algo preocupante, ya que son valores que si se traducen en poblaciones de países o continentes son un problema ambiental muy grande que no solo va a depender del consumo, sino de la deficiente recolección y la inadecuada eliminación, con lo cual se terminan generando nuevos contaminantes más pequeños (microplásticos) que terminan afectando al aire, el suelo y el agua (Plastics Europe, 2020).

Por motivo de la Quinta Sesión de la Asamblea de las Naciones Unidas para el Medio Ambiente (UNEA-5.2) celebrada el año 2022, la Asociación Internacional de residuos Sólidos, ISWA por sus siglas en ingles, publicó un informe donde reporta datos aproximados de la cantidad de residuos que se depositan en el mar anualmente, que es de entre 5 y 12 millones de toneladas de plásticos, lo que

representa entre el 50% y el 80% de la cantidad total de residuos que se encuentran en las zonas costeras (ISWA, 2022). Además, en el año 2021 se produjeron 7 millones de toneladas de productos plásticos alrededor del mundo, después de haberse detenido un poco la producción durante la pandemia, la materia prima de estos productos de plástico se divide en 352.3 millones de toneladas de origen fósil, 32.5 millones de toneladas de material reciclado, 5.9 de millones de toneladas de origen biobasado; entre los productos plásticos más producidos se encuentran embalaje, películas, bolsas, envases y material de construcción de los cuales se considera que no son recolectados correctamente, ni dispuestos y terminan dispersándose en el ambiente terminando principalmente en los cuerpos de agua (Europe Plastic, 2022)

Los organismos mundiales como la ONU y la OCDE consideran que se deben tomar acciones globales para poder mitigar el problema de contaminación, en donde se busca que las naciones incorporen a sus leyes medidas para monitorear y mitigar dichos contaminantes, implementando algo más que solo prohibiciones e impuestos a los plásticos de un solo uso porque estas medidas no son suficientes.

Se busca una visión que vaya enfocada en el camino de la economía circular, el reciclaje y la responsabilidad ampliada del productor. Además de detener las inadecuadas prácticas de disposición final que se tengan de éstos.

1.1 Justificación

Desde hace varios años se conoce la problemática ambiental que envuelve a los productos de plástico (Eriksen., *et al.* 2014). Al hablar específicamente de las bolsas de plástico se han buscado diversas soluciones para terminar con este problema, pero esto ha desencadenado en problemáticas más complejas.

La Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales (SEMARNAT) estima que en el país se utilizan alrededor de 20 millones de bolsas plásticas diariamente, para diversas actividades (DOF 05-12-2014). Como medida a estas cifras inquietantes en la Ciudad de México se modificó la Ley de residuos sólidos del Distrito Federal, en el Artículo 25, Fracción 11 Bis, donde se prohíbe la compra, la venta y el uso de bolsas plásticas al adquirir un bien o un producto, esta modificación entro en vigor en el año 2020.

A partir de esta prohibición, un factor que genera preocupación en esta área es el aumento de fábricas productoras de bolsas con materiales supuestamente biodegradables o compostables para cumplir con la Ley. Aunado a esto, durante el periodo de confinamiento provocado por la pandemia del virus SARS COV-2 (Ebner y Lacovidou, 2021), se incrementó el uso de las bolsas de plástico en general, debido a su versatilidad como medida de prevención del contagio, ya que se usan y se desechan sin mayor riesgo.

Todo esto impulsa la creación de estudios enfocados en conocer, reducir y eliminar el daño generado en el ambiente por una bolsa de plástico, así como implementar políticas y programas para el uso responsable y tratamiento que se les debe dar.

A raíz de esto es que surge este proyecto el cual busca proponer un plan de manejo tal como lo solicita la Secretaría del Medio Ambiente (SEDEMA), lo que marca la NOM-161-SEMARNAT-2011 y la norma NACDMX-010-AMBT-2019 donde se dan las especificaciones técnicas que deben cumplir las bolsas y los productos plásticos de un solo uso compostables y/o reutilizables, la cual fue aprobada y publicada en

la Gaceta Oficial de la Ciudad de México el 25 de febrero del 2022 (GOCDMX 25-02-2022).

Esta norma pretende ayudar a disminuir el impacto de los plásticos de un solo uso y las bolsas plásticas, dando alternativas para su manejo y fabricación, con esta norma se pretende ayudar a los fabricantes de bolsas a plantear planes de manejo para que de esta manera el gobierno les otorgue el permiso en donde se diga que cumplen con lo requerido por la norma.

También se puede ver que en diversos acuerdos nacionales e internacionales buscan reducirlos a través de la economía circular (García y Hurtado, 2016), modelo en el cual se busca generar cero residuos o disminuirlos, uno de sus principios es valorizar los residuos y ver si se pueden reaprovechar o funcionar como materia prima para nuevos productos. Dentro de esta premisa se busca hacer una mejora a las leyes de manejo de residuos de las bolsas plásticas a través de planes integrales de manejo de residuos (SEDEMA, 2009) que van más allá de solo prohibirlos, sino que también busca alternativas en las que la sociedad, la industria y el gobierno se relacionen y sean beneficiados, pero asumiendo una responsabilidad compartida.

1.2 Objetivos

1.2.1 Objetivo general

Plantear la valorización y aprovechamiento de los residuos de bolsas plásticas considerando los planes de manejo bajo el principio de responsabilidad compartida con todos los actores que interactúan en su fabricación, uso y disposición final para el cumplimiento de la nueva norma NACDMX-010-AMBT-2019.

1.2.2 Objetivos específicos

1. Realizar los estudios de generación recopilando datos en fábricas de bolsas plásticas seleccionadas y en las instalaciones de edificios institucionales de Ciudad Universitaria para su gestión adecuada.
2. Llevar a cabo el análisis cualitativo en plantas de compostaje para la verificación de la factibilidad técnica de que las bolsas plásticas se traten mediante el proceso de biodegradación.
3. Establecer el estado del arte en cuanto al poder calorífico de los materiales que componen las bolsas plásticas consultando medios electrónicos para la identificación del potencial térmico.
4. Comparar los procesos de termovalorización gasificación y pirólisis para el aprovechamiento energético de todas las bolsas mediante un cuadro comparativo de las características principales de ambos procesos
5. Desarrollar una propuesta de plan de manejo de residuos de bolsas de plástico, siguiendo lo estipulado en la NOM -161-SEMARNAT-2011, para que ayude a los fabricantes de la Ciudad de México en el cumplimiento de la nueva norma NACDMX-010-AMBT-2019

1.3 Hipótesis

Si se elaboran e implementan planes de manejo de las bolsas plásticas desde que se fabrican hasta su posconsumo, entonces se podrá maximizar la valorización de estos productos, así como relacionarlos con todos los actores que se involucran con ella desde su creación hasta su disposición, con esto mitigara el daño al ambiente utilizando una técnica de alto poder calorífico.

1.4 Alcances y Limitaciones

Conocer los residuos generados en las fábricas de bolsas plásticas CADESA Empaques S.A. de C.V. y en LA CIMA, además de un estudio de posconsumo en el Instituto de Ingeniería, UNAM.

Se estudiarán tres plantas de compostaje, la de Bordo Poniente, la planta de Ciudad Universitaria y en la Planta de Producción de Composta, Laboratorio y Vivero “Dr. Héctor Uriel Mayagoitía Domínguez, para ver qué problemas se pueden presentar si llegan bolsas supuestamente compostables.

Se hará una comparación del posible aprovechamiento energético de las bolsas sin importar su composición ni marca.

El plan de manejo se basará en la NACDMX-010-AMBT-2019.

El plan de manejo solo aplicará para la Ciudad de México.

CAPÍTULO 2. Marco teórico

2.1 Marco legal

A continuación, se presenta un cuadro a manera de resumen en donde se enlistan las leyes y normas más relevantes en México en materia ambiental y de manejo de residuos sólidos. La tabla comienza de manera general con las Leyes nacionales como la (LGEEPA Y LGPGIR) y después se va volviendo más específica a la normativa existente y vigente de la CDMX, así como las políticas que han surgido específicamente para los residuos plásticos.

Tabla 2.1. Marco legal ambiental en materia de residuos.

Marco Legal Ambiental			
Ley o norma	Resumen	Vigente	Última reforma
Ley General del Equilibrio Ecológico y la Protección al Ambiente (LGEEPA)	DOF, 28-01-1988. Es de las primeras leyes que se generan en el país en materia ambiental. En esta Ley se busca plantear las bases de protección, preservación y restauración del equilibrio ecológico en el territorio nacional, para esto se busca partir de un enfoque sustentable que sea compatible con los intereses económicos del país, en donde se pretende dar prioridad a la prevención y control de la contaminación en suelo, agua y aire. Dentro de su contenido se pueden encontrar disposiciones sobre la gestión de residuos y su relevancia para el cuidado del ambiente.	Sí	Última reforma publicada DOF 09-01-2015
Ley General para la Prevención y Gestión de los Residuos (LGPGIR)	DOF,08-10-2003 Esta Ley establece las bases para la prevención, regulación y el manejo integral de residuos, introduciendo los conceptos como: el correcto manejo de residuos, tomando en cuenta la clasificación (urbanos, peligrosos o de manejo especial), además de presentar los principios de valorización, responsabilidad compartida y el manejo integral de los residuos sólidos en el país, así como la importancia de la coordinación entre los distintos niveles de gobierno.	Sí	Última reforma publicada DOF 18-01-2021
Reglamento de la Ley General para la Prevención y Gestión Integral de Residuos	DOF, 30-11-2006 En este reglamento se establecen las pautas para regular todas las etapas de manejo integral de residuos, así como plantear los requisitos para plantear un plan de manejo de residuos para de esta manera aplicar la LGPGIR con éxito.	Sí	Última reforma publicada DOF 31-10-2014
Reglamento de la Ley General del Equilibrio Ecológico y la Protección al ambiente:	DOF, 25-11-1988 En este reglamento se establecen objetivos similares a la LGEEPA en donde se busca proteger, preservar y restaurar el equilibrio ecológico y el ambiente, en este documento se plantean las bases para la elaboración de programas de monitoreo y evaluación de la calidad del aire, la regulación de emisiones de contaminantes a la atmósfera, la promoción de tecnologías limpias y la gestión de residuos peligrosos.	Si	Última reforma publicada DOF 31-10-2014.
NOM -161- SEMARNAT-2011	DOF, 01-02-2013 En esta norma se establecen los criterios de clasificación de los residuos de Manejo Especial y se determina cuáles están sujetos a un Plan de Manejo, así como los requerimientos que dicho Plan debe tener para su implementación.	Sí	Última reforma publicada DOF 05-11-2014

(Continúa tabla 2.1)

Ley Ambiental del Distrito Federal	GODF, 13-01-2000 Ley busca tener una visión más local del cuidado del ambiente que solo aplique a la ahora CDMX, dentro de sus objetivos se encuentran la manera en la cual se formula, se conduce y evalúa la política ambiental, regular a las autoridades encargadas en materia ambiental, conservar y restaurar el equilibrio ecológico, regular el cuidado de las áreas naturales protegidas, además de prevenir y cuidar la contaminación del aire, agua y suelo.	Sí	Última reforma publicada DOF 18-11-2015
Ley Ambiental de Protección a la Tierra en el Distrito Federal	GODF, 13-01-2000 Tiene objetivos similares a la Ley ambiental del Distrito Federal, pero con especial enfoque en el suelo y sus problemáticas ambientales y de preservación.	Sí	Última reforma publicada en la Gaceta Oficial de la Ciudad de México el 04 de mayo 2023
Ley de Residuos Sólidos del Distrito Federal	GODF, 22-04-2003 Su objetivo principal es plantear las bases y regulaciones que debe tener la gestión de residuos sólidos urbanos. Además, define las responsabilidades de las ahora 16 alcaldías políticas y de diferentes secretarías de gobierno que participan.	Sí	Última reforma publicada en la Gaceta Oficial de la Ciudad de México el 3 de abril de 2023
Reglamento de la Ley de Residuos Sólidos del Distrito Federal	GODF, 07-10-2008 Este reglamento busca regular Ley de residuos sólidos del Distrito Federal en materia de gestión integral de residuos sólidos no peligrosos y servicio de limpia. Además, busca prevenir y reducir la generación de residuos sólidos y su nocividad a la salud humana y al medio ambiente, dando una propuesta de manejo integral correcta en donde se reduzca el volumen, se valoricen los residuos y se tenga una responsabilidad compartida en diversos sectores.	Sí	Última reforma publicada en la Gaceta Oficial de la Ciudad de México el 02 de enero de 2020
Norma NADF-024-AMBT-2013	GODF, 19-10-2005 Derivados de las reformas al reglamento interior de la administración pública del Distrito Federal, publicadas en la gaceta oficial del Distrito Federal, los días 19 de enero y 28 de febrero de 2007, tiene por objeto de esta Norma Ambiental, es establecer los criterios y especificaciones técnicas bajo las cuales se deberá realizar la separación, clasificación, recolección selectiva y almacenamiento para el aprovechamiento y valorización de los residuos generados en el Distrito Federal.	Sí	No ha tenido reformas o modificaciones GODF, 04-07-2007
NACDMX-010-AMBT-2019	GOCDMXF, 25-02-2022 Su objetivo principal es el de establecer las características, especificaciones técnicas y métodos de prueba que deben cumplir las bolsas y productos plásticos de un solo uso para ser considerados compostables de conformidad con la Ley de residuos sólidos del Distrito Federal y su Reglamento. Además de establecer los rasgos, métodos y técnicas necesarias que deben cumplir las bolsas reutilizables para el transporte de mercancías, así como lo que compete a las bolsas para el manejo de residuos sanitarios e inorgánicos y, establecer las especificaciones para el manejo de los residuos de bolsas en donde deben considerarse la elaboración de planes de manejo, de forma complementaria.	Sí	No ha tenido reformas o modificaciones
NADF-020-AMBT-2011	GOCDMXF, 30-11-2012 Establece los requisitos mínimos para la producción de composta a partir de la fracción orgánica de los residuos sólidos Urbanos, así como la generada por las actividades agrícolas, forestales y pecuarias, siempre que estos últimos sean de carácter biodegradable, que no afecten la calidad del producto final ni representen riesgo para la salud humana y el ambiente. Esta norma establece las características del sitio, los insumos necesarios para la operatividad, las características del proceso, las características de la composta, el etiquetado, la técnica de muestreo y análisis para conocer las características de la composta.	Sí	No ha tenido reformas o modificaciones
NMX-E-273-NYCE-2019	Entra en vigor el mes de junio del 2020. En esta norma se establecen las especificaciones mínimas que deben cumplir los plásticos que son adecuados para la recuperación orgánica a través de composteo aeróbico. Dichas especificaciones se plantean para dar los requerimientos que deben cumplir los productos plásticos para ser catalogados como compostables, señalando cuatro características: Biodegradación; Desintegración durante el composteo; Efectos negativos sobre el proceso de composteo; Efectos negativos sobre la calidad de la composta, incluyendo la presencia de altos niveles de metales regulados y otros componentes dañinos.	Sí	No ha tenido reformas o modificaciones

Además de las leyes y normas que corresponden al manejo de los residuos sólidos, se buscaron leyes que hicieran referencia a la termovalorización o incineración, debido a que es parte de la propuesta de tratamiento para los residuos de bolsas plásticas que se planteara en el plan de manejo. En México son muy pocas las empresas que se dedican a la termovalorización de los residuos sólidos debido a los costos que implica esta técnica, además de que se tiene muy pocas normativas respecto a estos procesos. En la tabla 2.2 se presentan los objetivos de dichas leyes, así como su vigencia.

Tabla 2.2. Marco legal ambiental en materia de emisiones.

NOM-098-SEMARNAT-2002	DOF, 1-10-2004 El objetivo de esta Norma es plantear las especificaciones de operación, recepción de los residuos, lo referente a la operación de una instalación de incineración, como se deben realizar las mediciones de las chimeneas y lo referente a las emisiones al ambiente.	Sí	No ha tenido reformas o modificaciones
NOM-040-SEMARNAT-2002	DOF, 18-11-2004 El objetivo de la norma es establecer los niveles máximos permisibles de emisión a la atmósfera de partículas, óxidos de nitrógeno, bióxido de azufre, monóxido de carbono, metales pesados, dioxinas y furanos, hidrocarburos totales y ácido clorhídrico provenientes de fuentes fijas dedicadas a la fabricación de cemento hidráulico, que utilicen combustibles convencionales o sus mezclas con otros materiales o residuos que son combustibles y es de observancia obligatoria para los responsables de las mismas, según su ubicación.	Sí	No ha tenido reformas o modificaciones

2.2 Plásticos y la humanidad

La relación de los seres humanos con los plásticos se remonta a la antigüedad, ya que se tiene conocimiento del uso de resinas naturales en diferentes actividades por parte de culturas antiguas. En la búsqueda por materiales alternos a los naturales es que inicia el desarrollo y estudio de las propiedades de los plásticos, dejando de lado su efecto en el ambiente. En 1820 Thomas Hancock fue de los pioneros en fabricar caucho sintético y posteriormente, en 1909, Leo Baeckeland descubrió la baquelita y fue el primero en acuñar el término de plástico (George; 2020, Chang; 2023).

2.2.1 Producción de plásticos

Actualmente, los plásticos son uno de los materiales más utilizados en el mundo. La relación humana con estos materiales es muy larga, pero el auge de su uso se remonta a la mitad del siglo XIX y casi todo el siglo XX, cuando se desarrollaron una serie de plásticos derivados del petróleo como el caucho sintético, PVC y el nailon, además debido a su bajo costo de producción fue ganando terreno a los demás materiales como el vidrio, la madera o los metales. (Geyer, 2020)

La industria del plástico es considerada como una de las actividades productivas más importantes a nivel nacional e internacional. Su importancia radica en que sus productos son materia prima o productos intermedios o finales que apoyan a otras industrias para satisfacer a los consumidores. Durante los periodos de guerra se promovió la investigación científica y el desarrollo de materiales como los plásticos para tener más posibilidades en el frente de batalla.

La producción de plástico ha mantenido un crecimiento constante desde 1950, registrando una producción de 390.7 millones de toneladas durante el 2021. Durante el año 2020 la producción de plástico fue de 375 millones de toneladas, lo que representa un estancamiento debido a la emergencia sanitaria provocada por el virus del SARS COV-2. Además, se reporta que la región de América del Norte contribuyó con 17.7% de la producción, obteniendo el tercer lugar en producción de plástico a nivel mundial (Plastics Europe, 2019, 2022). Por lo anterior, es de esperar que la demanda de estos materiales siga aumentando considerablemente en todo el planeta, con lo que aumenta la extracción de materias primas para su fabricación y los residuos generados por las distintas industrias que los utilizan.

En los siglos pasados, la generación de residuos plásticos se empezó a considerar como una problemática mundial, ya que el manejo de los residuos plásticos no ha sido tratado correctamente y el problema aumenta al incrementar la población

mundial, los sistemas económicos imperantes y falta de cultura ambiental. (Castellon, *et al.*, 2016).

En la figura 2.1 se presenta un diagrama en el cual se plantea el proceso lineal de la vida que tienen los productos plásticos, esto es, con el fin de ejemplificar a las acciones y a los involucrados con dichos productos.



Figura 2.1. Proceso de la vida de los productos plásticos.

Es importante mencionar que los plásticos convencionales no son biodegradables, lo que les permite permanecer potencialmente cientos de años en el medio. Cada año el inadecuado manejo y disposición de los residuos plásticos ha llevado a su acumulación en el ambiente, causando contaminación ambiental y riesgos a la salud. Aunado a lo anterior, recientemente se ha demostrado que los plásticos acumulados una vez expuestos a la luz y al hidrodinámismo pierden algunas de sus características y por degradación mecánica, biológica, térmica o termo-oxidativa o por hidrólisis se fragmentan en trozos más pequeños que se clasifican según su tamaño en: macroplásticos (>25 mm), mesoplásticos (5 a 25 mm), microplásticos (1µm a 5mm) y nanoplásticos (1 nm a 1 µm) (Campoy y Beiras, 2019). Se estima que las cifras de esta clase de residuos plásticos sean de 24.4 billones aproximadamente (Isobe *et al.*, 2021), debido a su durabilidad y difusión a lo largo del mundo (Bergmann *et al.*, 2017, Brahney *et al.*, 2021).

2.2.2 Clasificación de Plásticos

Existen diversas clasificaciones de los plásticos, pero dentro de las más comunes se pueden encontrar las siguientes:

- a) Por su comportamiento frente a la temperatura (termoplástico o termofijos), esta es una propiedad que está estrechamente relacionada con la naturaleza química del enlace de las moléculas que lo conforman, además gracias a esta propiedad se puede saber si un plástico es reciclable o no. Los plásticos termoestables son aquellos que, al ponerlos en una fuente de calor, se van a fundir y podrán ser remodelados para una nueva aplicación, mientras que los termofijos son aquellos que al entrar en contacto con calor se carbonizan.
- b) Por el código de identificación de Möbius, cuyo principio se basa en el tipo de polímero con el que se fabrica el producto. Este código de identificación de plásticos es un sistema internacional que distingue entre siete diferentes composiciones de plásticos. Fue realizado por la Sociedad de la Industria de Plásticos (SPI por sus siglas en inglés) con el fin de hacer más eficiente el reciclaje, sin embargo, esta clasificación no asegura el reciclaje de los productos plásticos (Horodytska, 2018).
- c) Por su composición y capacidad de degradación, se clasifican como plásticos convencionales (son aquellos que derivan de fuentes fósiles) y bioplásticos los cuales a su vez se dividen en biobasados (son aquellos que se derivan de fuentes vegetales) y biodegradables. Es decir, dependiendo de su estructura molecular, un polímero biobasado puede ser o no biodegradable. Aunque su origen haya sido orgánico renovable, no necesariamente es compostable (Ashter, 2018).

Esto se ejemplifica mejor en la Figura 2.2, ya que se observa la relación entre el origen y la biodegradabilidad. Si se observa el diagrama en el sentido de las manecillas del reloj encontramos que en el primer cuadrante se encuentran los plásticos biodegradables y biobasados, en el segundo cuadrante están los plásticos biodegradables pero de origen fósil, en el cuadrante número tres están los plásticos que no son biodegradables y son de origen fósil y finalmente cuarto cuadrante se encuentran los plásticos biobasados pero que no son biodegradables.

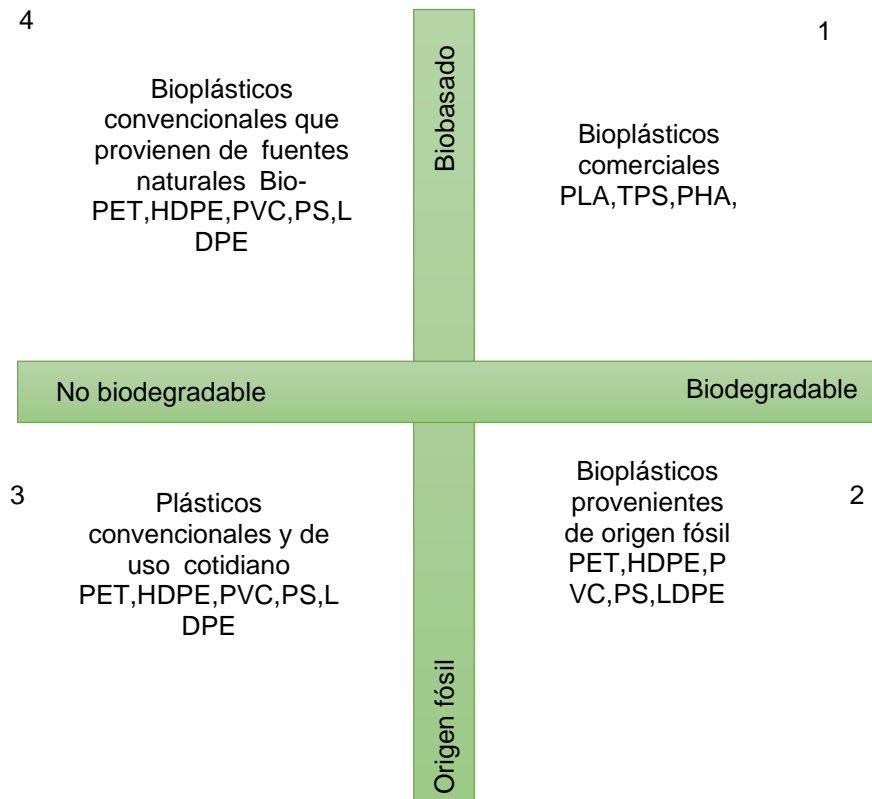


Figura 2.2.Representación gráfica de la relación entre la biodegradabilidad de los productos plásticos y su origen

Fuente: Elaboración propia tomando como base a Agnihotri et al., 2019; Fredi, Dorigato, 2021.

2.3 El tratamiento de los residuos plásticos

En la figura 2.3 a manera de resumen se presenta un mapa conceptual de los diferentes tipos de tratamiento que pueden tener los residuos plásticos. Es importante conocer la composición del plástico para darle el tratamiento apropiado.

La clasificación es importante porque de esta manera se pueden tomar decisiones con respecto a su disposición y tratamiento, ya que no es lo mismo el mandar un plástico biobasado a una planta de composta que un plástico de origen fósil.

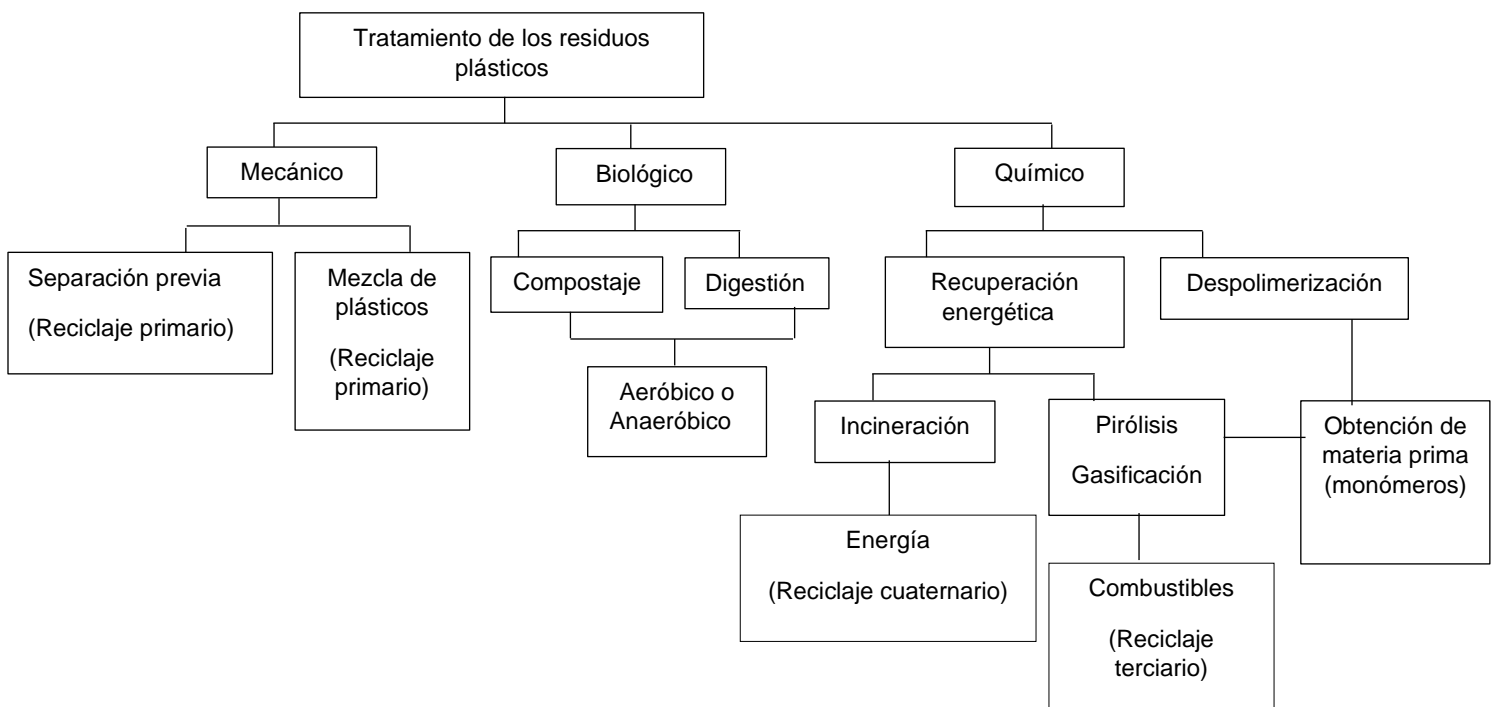


Figura 2.3. Tipos de tratamiento que pueden tener los objetos fabricados con plásticos

Fuente: Elaboración propia tomando como base a Scott, 1999; Panda et al., 2012; Pohjakallio, et al., 2020.

Se conocen diversas técnicas para tratar los residuos sólidos urbanos, cuyo objetivo principal es disminuir el volumen a confinar en un relleno sanitario. Varias de estas técnicas ayudan en la valorización de los residuos, esto es útil al hablar de los residuos plásticos. Dichas técnicas; se han desarrollado gracias a varias

posibilidades tecnológicas, como los tratamientos biológicos, mecánico-biológicos y térmicos.

Las técnicas de las cuales se hablará a continuación son las de mayor interés para los fines de este proyecto; estas técnicas son: la composta (para el caso de los plásticos compostables o biobasados), y los tratamientos térmicos en donde se encuentran, la gasificación y la pirólisis.

2.3.1 Tratamiento biológico: Composteo

De manera general, el compostaje se define como la mezcla de materia orgánica en descomposición en condiciones aeróbicas, que se emplea para mejorar la estructura del suelo y proporcionar nutrimentos. Es un proceso de degradación bioquímica, de un sustrato orgánico, sólido y heterogéneo, en condiciones aerobias que se realiza gracias a los microorganismos presentes en la materia orgánica. Los desechos orgánicos son estabilizados, los nutrimentos se hacen disponibles para las plantas, se destruyen los organismos patógenos y se abaten malos olores (Román *et al.*, 2013).

La producción de composta es una alternativa para valorizar los residuos orgánicos mediante la transformación de éstos en un producto nuevo. Entre los beneficios que presenta la composta se encuentran: el mejoramiento de las propiedades del suelo, como la capacidad de retención de humedad; proporcionar nutrientes para las plantas, lo que estimula su crecimiento; evita que se extraiga suelo “nuevo” de áreas naturales; ayuda en la reducción de las emisiones de CO₂ y disminuye considerablemente el volumen de residuos sólidos llevados a disposición final (Vázquez *et al.*, 2018).

2.3.2 Tratamiento termoquímico: Pirólisis, gasificación.

El término tratamiento térmico o termoquímico es el proceso por el cual los residuos sólidos se transforman en algo nuevo o valorizable al aplicarles energía en forma de calor. Esta clase de tratamiento es muy útil, ya que ayuda a reducir el volumen de los residuos sólidos, así como abre la posibilidad para visualizar la valorización que pueden tener los residuos, debido a que durante este proceso se busca recuperar los componentes iniciales de los que están conformados los residuos o aprovechar el poder calorífico de los materiales que componen los residuos para generar energía, se parte de la idea de la recuperación, el reciclado o la regeneración.

Las condiciones más importantes que se consideran en este tipo de tratamientos son la presión, la temperatura, humedad de los residuos y el oxígeno (O₂).

Entre las tecnologías de procesamiento térmico destacan:

Gasificación: El cual es un tratamiento térmico que se lleva a cabo a altas temperaturas que generalmente son alrededor de 1,200 °C en un sistema al cual se le inyecta O₂ para producir residuos mineralizados y gas de síntesis.

Pirólisis: Es un proceso térmico de degradación de residuos que ocurre a altas temperaturas y en ausencia de oxígeno con el objetivo de descomponer los productos en carbón vegetal, biocombustible y gas de síntesis. Las temperaturas a las que se suele trabajar son entre de 300 °C y 800 °C, en algunos casos se utilizan catalizadores.

Estas técnicas ya se tienen a nivel industrial, pero no son una opción regular para el tratamiento de los residuos debido a su costo y altas temperaturas, sin embargo, se sigue haciendo investigación en esta área para poder hacer más asequible la técnica.

Los productos que generalmente se obtienen de estas técnicas, son: gas (syngas), sólido (carbón) y líquido (combustible).

Además de los costos que conllevan estas técnicas se deben considerar la característica del residuo como:

- El poder calorífico
- El contenido de humedad
- El contenido de sulfuros y halógenos

En la tabla 2.3. Se presenta un resumen de las condiciones de ambos procesos.

Tabla 2.3. Comparación entre pirólisis y gasificación

	Técnica	
	Gasificación	Pirólisis
Condiciones		
Agente oxidante	Oxígeno en pequeñas cantidades	Ausencia de oxígeno
Temperatura de reacción	800 °C a 1200 °C	350 °C a 800 °C
Productos principales	Calor y gas	Calor, gas y combustibles líquidos
Componentes de la fase gas	CO y H ₂	CO y H ₂

Fuente: Elaboración propia tomando como base a Roos, 2010.

Se sabe que al tratar los termoplásticos en un proceso de pirólisis se puede llegar a obtener entre un 80-90 % de combustibles líquidos que tienen una capacidad calorífica parecida a la de los combustibles fósiles (Gebre, Sendeku, Bahri, 2021). Los residuos plásticos como el polietileno y el polipropileno son opciones rentables para que sean tratados por pirolisis debido a que se reportan buenos rendimientos.

2.3.3 Tratamiento mecánico

En la figura 2.4 se muestran los diferentes pasos para poder llevar a cabo el tratamiento mecánico o método de reciclaje mecánico. Este tipo de tratamiento es el más utilizado actualmente a nivel mundial (Heidbreder, 2019).

Generalmente, las plantas recicladoras se especializan en uno o dos tipos de plástico, por ejemplo, PET o PEAD y PEBD. En la mayoría de los casos el resultado final es en forma de pellets. Los pellets son pequeñas piezas de plástico que luego, en una etapa de fabricación, se pueden convertir en diferentes objetos plásticos (Castro, 2017).



Figura 2.4. Diagrama que muestra las etapas principales del reciclaje mecánico

2.4 Bolsas plásticas

En México la industria plástica es una de las más grandes que se tienen, el INEGI reporta en el Perfil de Fabricantes de productos Plásticos, se menciona que se tiene registro de 845 de fábricas de bolsas y películas de plástico flexible (INEGI, 2017). Mientras tanto la SEDEMA cuenta con el registro de alrededor de 400 fábricas dedicadas a la producción de productos plásticos, por lo que las nuevas normas acerca de los artículos plásticos los afecta directamente, es por esto que buscan una manera de trabajar en conjunto con la problemática ambiental y su industria. Así mismo se tiene conocimiento de que hay muchas fabricas que trabajan bajo la ilegalidad por lo cual es complicado que se sigan estas normas.

2.4.1 Fabricación de una bolsa y los tipos materiales más comunes de bolsas plásticas

Generalmente, cuando se trata de bolsas plásticas de polietileno, se parte de las refinerías especializadas donde se obtiene el etileno en fase gas. Después este gas se polimeriza y se solidifica para posteriormente ser cortado en pequeños granos llamados pellets. Estos pellets son envasados en costales grandes que son trasladados a las fábricas de plásticos o de bolsas, donde lo usan como materia prima para generar sus productos.

En la figura 2.5 se ejemplifica el proceso de fabricación de bolsas plásticas desde el principio hasta obtener el producto final, contemplando una parte del proceso donde se generan residuos y como se reaprovecha para regresar a la línea de producción. La transformación cuenta con tres pasos importantes: la extrusión, la impresión y el corte.

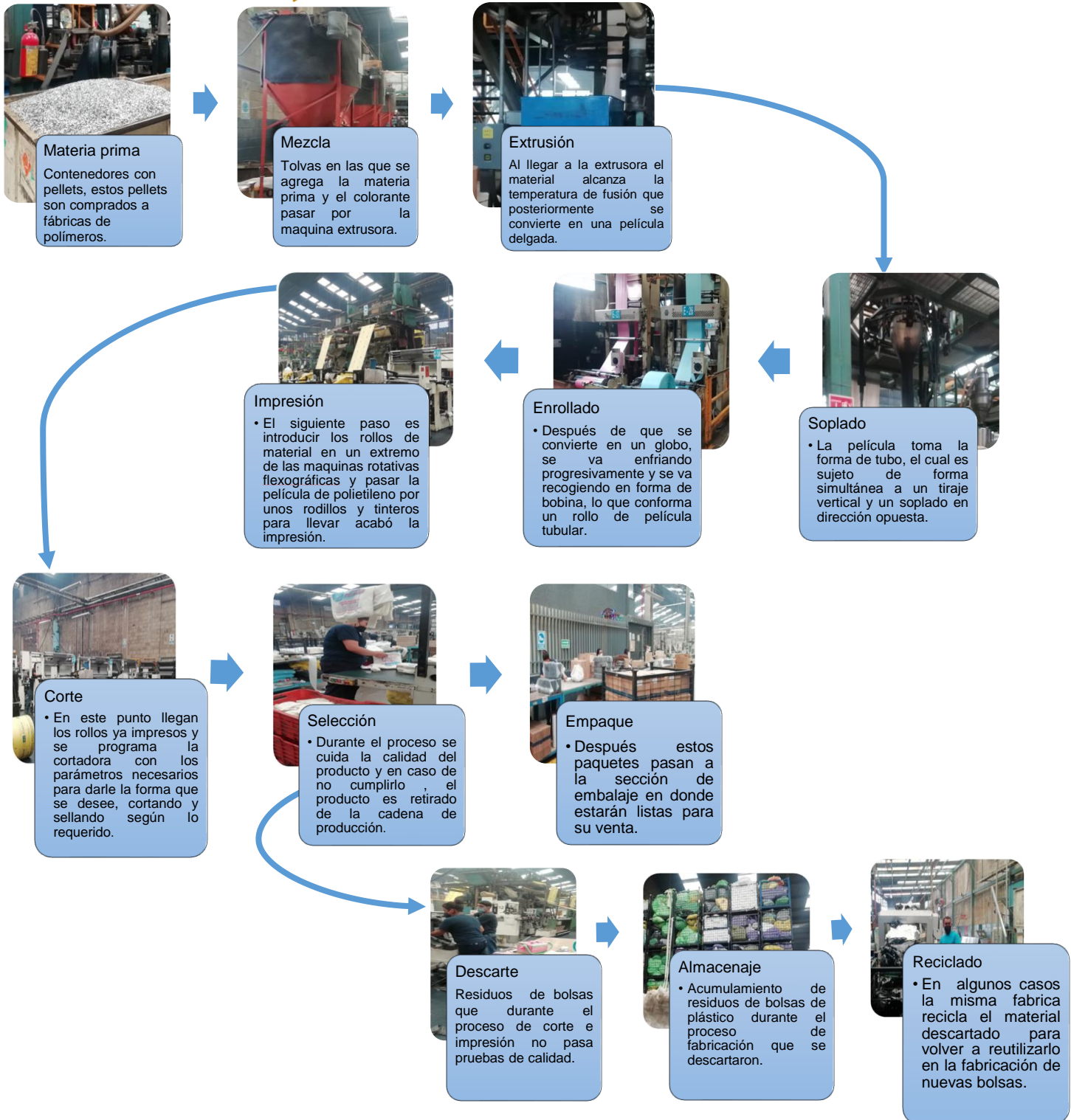


Figura 2.5. Fabricación de una bolsa

Figura de elaboración propia

2.5 Problemática

Se calcula que en México se utilizan aproximadamente 20 millones de bolsas de plástico diariamente, se estima que cada bolsa tarda aproximadamente 400 años en degradarse, según el tamaño, peso y material. Las bolsas de polietileno, conocidas como "bolsas de plástico", aparecieron en la década de 1970, y de inmediato se convirtieron en el instrumento más utilizado por millones de personas para transportar cualquier producto. Las bolsas se convirtieron en una manera de difundir su marca (SEMARNAT, 2020).

Actualmente, en el mercado se cuenta con bolsas de plástico de diferentes materiales y con diferentes características para poder disponer de ellas, es decir, pueden ser biodegradables, oxodegradables, biobasadas o convencionales.

Se sabe que, de 300 millones de bolsas de plástico utilizadas anualmente en el país, menos del 1% se reciclan (SEMARNAT, 2019) y el resto termina en las calles, baldíos, ríos, lagunas, presas, playas o rellenos sanitarios. Estos productos pueden ser tragados por animales que mueren por ahogamiento, bloquean las rejillas pluviales y drenajes sanitarios, causando inundaciones. En la figura 2.6 se ejemplifica esta problemática.



a) Bolsa utilizada para transporte de mercancía



b) Problema de los plásticos

Figura 2.6. Uso y disposición de las bolsas plásticas.

Debido a estas problemáticas es que en este trabajo se propone un plan de manejo de las bolsas plásticas para hacer una correcta disposición de ellas y adoptar tecnologías modernas que ayuden su aprovechamiento.

2.6 Clasificación de las bolsas

Se sabe que las bolsas más utilizadas en la Ciudad de México son las bolsas plásticas, compostables y reutilizables y están hechas de diferentes materiales, como se enlista a continuación:

- De tela o lona en combinaciones con plástico.
- De tela no tejida de polipropileno.
- De tela tejida de polipropileno (rafia tipo costal).
- De yute combinado con plástico.
- De plástico tejido (artesanales o industriales PEAD/HDPE y PEBD/LDPE).
- De mandado tradicional (malla o hilos de plástico).
- Bolsas de plástico para el manejo de residuos inorgánicos.

Debido a esta variedad de materiales, su disposición final se vuelve un problema; por ello, en la Ciudad de México se propuso la norma NACDMX-010-AMBT-2019, cuyos objetivos son:

- Establecer las características, especificaciones, técnicas y métodos de prueba que deben cumplir las bolsas y productos plásticos de un solo uso para ser considerados compostables de conformidad con la Ley de residuos sólidos y su reglamento.
- Establecer las características, especificaciones, técnicas y métodos de prueba que deben cumplir las bolsas para ser consideradas como reutilizables y reciclables de conformidad con la Ley de residuos sólidos y su reglamento.

- Establecer las especificaciones para el manejo de los residuos de bolsas y productos plásticos de un solo uso compostables; así como, para el manejo de bolsas reutilizables y reciclables, que deben considerarse en la elaboración de planes de manejo de forma complementaria a los requisitos establecidos por la Ley, su reglamento y las regulaciones federales.
- Establecer el procedimiento de evaluación de la conformidad para los productos y procesos establecidos en la presente norma.

2.7 Plan de manejo

Tomando como base lo planteado en diferentes leyes mexicanas con enfoque ambiental como los son la LGPGIR, la Ley de residuos sólidos de la CDMX, se puede definir un plan de manejo como la herramienta que ayudará a mejorar la gestión integral de los residuos, en donde los objetivos son promover la valorización de los residuos independientemente de su clasificación (sólidos urbanos, manejo especial y peligrosos específicos) y reducir la generación de estos; donde se considerará el trabajo en conjunto de productores, distribuidores, consumidores, grandes generadores y los diferentes niveles de gobierno para su aplicación y seguimiento.

Con esta clase de herramienta se busca que sea una estrategia que pueda implementarse a largo plazo en donde se tenga una correlación desde el punto de vista económico y de política ambiental (Soler, 2016).

En la Ley de residuos sólidos de la CDMX, se profundiza más en los objetivos de los artículos 23, 32, 55, 59 (Arriata, 2010), donde se plantean los siguientes puntos como objetivos específicos:

1. Correcta gestión de los residuos, evitando la generación y remarcando una buena organización en la gestión.
2. Estable una modalidad de manejo particular según el residuo del que se hable.

3. Ver las necesidades generales que presenten los generadores.
4. Realizar un esquema de manejo que sea acorde a lo que requieren los generadores.
5. Plantear tratamientos.

Además de lo que especifican estas leyes y sus reglamentos, se tiene a nivel nacional y local varios documentos que sirven de guía para generación de planes de manejo como la NOM -161-SEMARNAT-2011, el instructivo para llenado del Formato del Plan de Manejo de Residuos Sólidos para Generadores no Sujetos a la LAUD (Licencia Ambiental Única) y la guía para el contenido descriptivo de plan de manejo de la SEDEMA.

Tomando en cuenta lo que establece la norma y la guía antes mencionadas, las secciones que deben componer un plan de manejo son las siguientes:

- **Introducción.** - Sección en donde se proporciona información de la empresa o negocio como dirección, giro, representante legal, razón social, teléfono, correo electrónico, residuo que genera y la problemática ambiental que busca solucionar con el plan de manejo.
- **Definiciones.** - Describir tecnicismos o palabras clave.
- **Objetivos.** - Que se busca lograr con el plan de manejo.
- **Antecedentes.** - Algún plan de manejo que ya se haya realizado anteriormente.
- **Diagnóstico de los residuos-** En esta sección se debe especificar manejo actual del residuo, cantidad generada expresado en toneladas por día o kilogramos por día, características del residuo, almacenamiento, recolección, destino de los residuos, tratamiento, presentación de los participantes en el plan de manejo.
- **Justificación.** - El por qué y para qué se realiza el plan de manejo.

- **Metodología.** - Describir o proporcionar la información de la generación, recepción, almacenamiento y destino final.
- **Metas.** - Cobertura del plan, fines de aprovechamiento y recuperación durante la aplicación del plan de manejo en donde se cumplan los objetivos establecidos.
- **Campaña de difusión.** - Mencionar la manera en la que se le dará difusión al plan y los medios de comunicación que se utilizarán para que todos los involucrados tengan acceso a la información (Operación, participación y resultados).
- **Evaluación del programa.** - Informes, bitácoras y reportes que se deben realizar, informando de manera cuantitativa y cualitativa los resultados que se esté obteniendo, esta información se debe compartir con la Secretaría del Medio Ambiente de la CDMX.
- **Estrategias para la capacitación del personal operativo**
- **Ámbito de aplicación.** - Zona delimitada en donde el plan de trabajo se llevará a cabo.

Estos son los aspectos generales que manejan la norma, además de estos la norma presenta aspectos privados (cuestiones muy específicas del lugar en donde se aplicara el plan de manejo) y mixtos (acciones a tomar bajo la responsabilidad compartida y su difusión) (Chávez,2016).

2.8 Antecedentes

En 2018, un reporte de la ONU estimaba que el 79% de la basura generada del plástico se encuentra en vertederos o tirada en el medioambiente y sólo el 9 % se recicla, mientras que el 12 % se incinera. Lo cual generó preocupación en varios países de alrededor del mundo y los obligó a modificar o crear leyes. Por ejemplo, en España la Ley de residuos y suelos contaminados presenta un calendario de sustitución de bolsas comerciales de un solo uso de plástico no biodegradable, el

cual estimaba que para el 2018 existiría una sustitución total de estas bolsas; en Italia se prohibió su uso en supermercados desde enero de 2011; en Taiwán, el gobierno prohibió a los supermercados suministrarlas de forma gratuita, y en países como Mumbay e India están prohibidas (Sánchez, 2014); mientras que en Corea del sur y Japón desde ha varios años tienen desarrollado y estricto sistema de recolección y tratamiento de los residuos (Jang *et al.* 2020).

También está el reporte de Plastics Europe 2019, el cual da un análisis de los datos de producción, demanda y residuos plásticos en Europa. En este se mencionan los porcentajes de residuos plásticos que son reciclados (32.5%), los que son de recuperación energética (42.6%) y los que terminan en un relleno sanitario (24.9%), a pesar de que estas son cifras positivas el reporte concluye que aún hay un largo camino para una de sus metas la cual es alcanzar la circularidad en el área de la industria plástica.

En México la industria del plástico ha desarrollado la norma NMX-E-273-NYCE-2019 Industria del plástico – plásticos compostables – especificaciones y métodos de prueba, la cual fue publicada en abril del 2020 en la Gaceta Oficial de la Ciudad de México.

En 2020 entró en vigor la reforma a la Ley de Residuos Sólidos de la Ciudad de México que busca prohibir los plásticos de un solo uso, entre ellos las bolsas de plástico.

A partir del descontento por esta ley, se desarrolla el Proyecto de Norma Ambiental para la Ciudad de México PROY-NACDMX-010-AMBT-2019, donde se dan las especificaciones técnicas que deben cumplir las bolsas y los productos plásticos de un solo uso compostables y/o reutilizables, que fue publicada en la Gaceta Oficial de la Ciudad de México el 25 de febrero del 2022 (GOCDMX 25-02-2022) y está en vigor actualmente.

3. CAPÍTULO . Metodología

En este capítulo se presentan las actividades realizadas como la búsqueda documental y los estudios de generación que se realizaron en 2 fábricas de bolsas.

3.1 Recopilación y análisis bibliográfico que referente a las bolsas plásticas y sus efectos al ambiente.

Se recopiló y se analizó la información necesaria para establecer la base teórica del proyecto. Se buscó información acerca de:

- Políticas nacionales e internacionales acerca del manejo de las bolsas de plástico.
- Métodos, estudios o reportes del reciclaje de las bolsas de plástico, alternativas viables para la valorización de los residuos plásticos.

3.2 Selección de las plantas de composta y las fábricas de bolsas plásticas que se visitaron.

- Se visitaron tres plantas de composta que se encuentren en la Ciudad de México (Bordo Poniente, Ciudad Universitaria y PPCLV) y se realizaron entrevista a los encargados.
- Se realizaron estudios de generación en las fábricas CADESA Empaques S.A. de C.V. y en LA CIMA, además de un estudio de postconsumo en las instalaciones del Instituto de Ingeniería, UNAM.

3.3 Búsqueda de los datos del poder calorífico de bolsa de plástico de diferente composición.

Se generó una base de datos donde se pueda consultar el valor del poder calorífico de las bolsas plásticas de diferentes composiciones para poder dar un listado de las que son más aptas para pirólisis.

3.4 Trabajo de campo, este se divide en dos actividades principales:

3.4.1 Estudio de generación de fábricas de bolsas y de posconsumo en una institución.

Los estudios de generación fueron realizados en las siguientes fábricas de bolsas plásticas:

La fábrica CADESA Empaques S.A. de C.V. que se dedica a la fabricación de bolsas plásticas en la planta, cuenta con 3 turnos con 500 trabajadores y con diversas áreas para mejorar la logística de la fábrica. La empresa se encuentra en Carretera Toluca - México km 49, Adolfo López Mateos, 52000 Lerma de Villada, Estado de México (Figura 3.1). El estudio se realizó del 24 al 29 de enero del 2022.

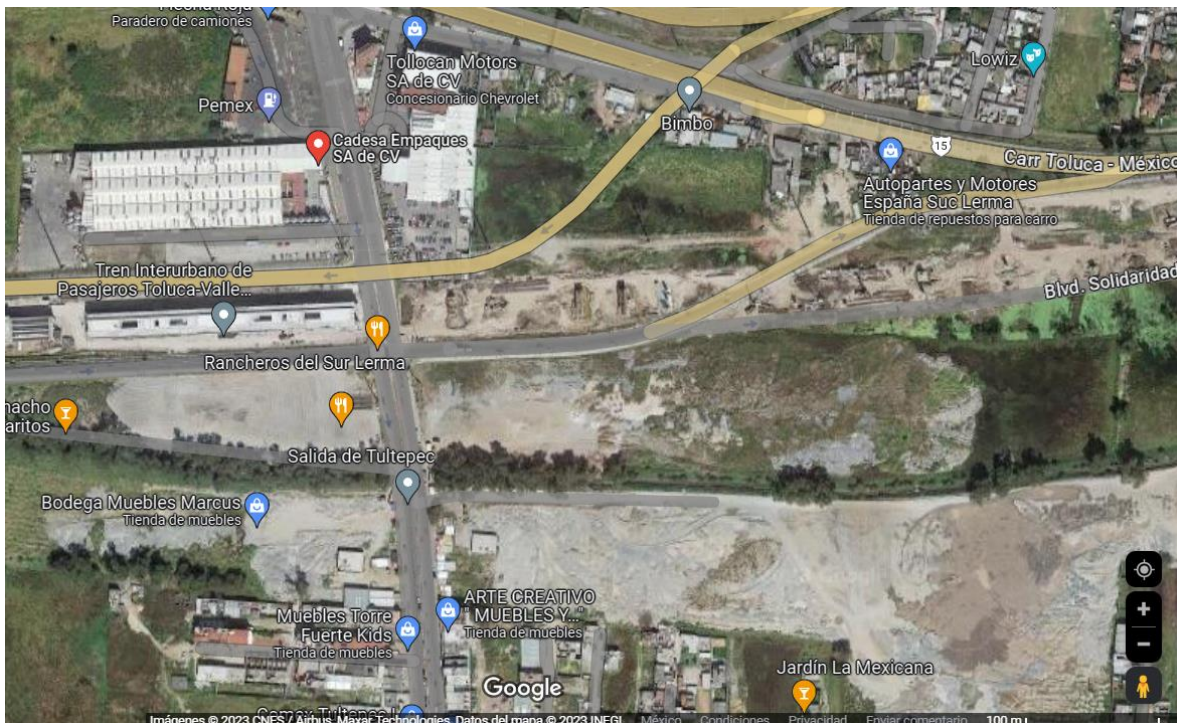


Figura 3.1. Imagen satelital fabrica CADESA Empaques S.A de C.V

Fuente: Google Earth

Así como en la fábrica de polietilenos La CIMA, ubicada en Plutarco Elías Calle #79 Granjas México, 08400, Ciudad de México (Figura 3.2). La cual es una fábrica pequeña, se dedica a la fabricación de bolsas de plásticos y empaques para diferentes clientes. Tiene dos turnos de trabajo de 12 horas con una plantilla de 30 trabajadores y cuenta con 4 máquinas extrusoras, 8 máquinas selladoras y una trituradora. En la fábrica también se recupera la materia prima que no pasaba control de calidad, se tritura y se vuelve a usar en bolsas negras para basura o se manda a un taller donde cuentan con una máquina de peletizado. El estudio se realizó del 6 al 13 septiembre del 2022.

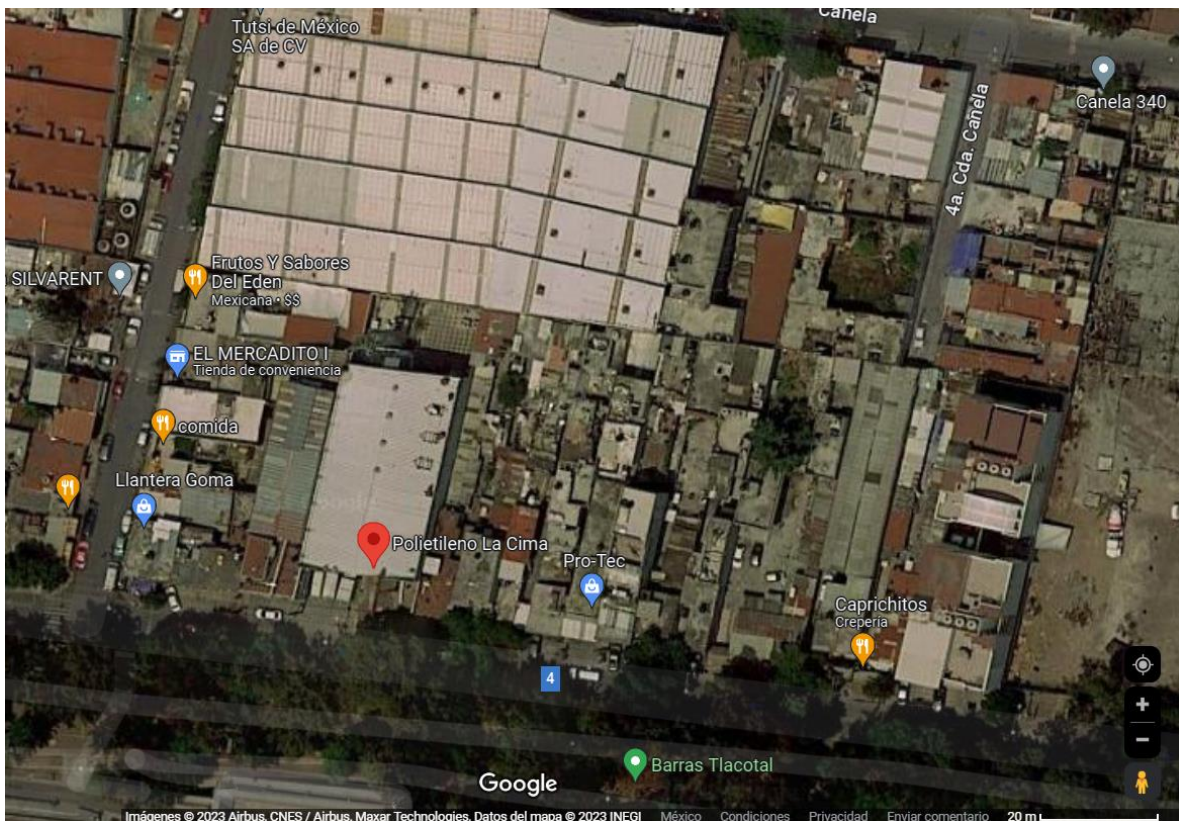


Figura 3.2. Imagen satelital fabrica La CIMA

Fuente: Google Earth

El tiempo en el que se realizaron los estudios de generación fue de 6 días basados en la normativa y en los permisos de las dos fábricas para poder conocer los residuos generados en el proceso de fabricación de bolsas, el tiempo del estudio no

es como lo estipula la norma porque en las fábricas se tenían días de descanso en las fábricas o se estaban reorganizando. Se pudo conocer el volumen y los subproductos, el estudio se basó en las normas de muestreo: a) método de cuarteo para residuos sólidos **(NMX -AA- 015-1985)**, b) método para determinar el peso volumétrico de los residuos sólidos **(NMX-AA- 019-1985)**, c) método para determinar la generación de residuos sólidos **(NMX-AA-061-1985)**, d) método de selección **(NMX-AA- 022-1985)** y finalmente e) cuantificación de subproductos contenidos en los residuos sólidos **(NADF-024-AMBT-2013)**.

Las actividades realizadas durante el estudio de generación fueron las siguientes:

Se recolectó una muestra de residuos generados en el proceso de fabricación de bolsas, en ambas empresas se tenía un área especial para recuperar el material que no pasaba calidad, los estudios se realizaron en dichas áreas.

En la figura 3.3 se muestra la manera en la que colectan los residuos que se generan en el área de trabajo en ambas empresas, en la sección a) está la recolección de la empresa CADESA que es mediante costales, en la sección b) está la recolección de La CIMA mediante bolsas transparentes.



a) Costales con los residuos recolectados en el área de recuperado donde se encuentra la máquina de peletizado



e) Bolsas con los residuos recolectados en el área de guardado y la maquina donde se tritura

Figura 3.3. Residuos generados que no pasan control de calidad y son recuperados

En la etapa de pesado de los residuos generados, fue diferente en ambas empresas debido a la infraestructura con la que contaban, ya que la empresa CADESA, cuenta con un área de peletizado y la empresa La CIMA, solo contaba con un área de

guardado y triturado, en el área de guardado fue donde se hizo el estudio de generación debido a que no se permitió el acceso al área de triturado.

En ambas empresas se realizó la actividad de pesado, como lo marca la norma pesando inicialmente el contenedor vacío y después lleno de residuos que se agregaron en el recipiente hasta el tope, teniendo precaución de no apretarlos hacia abajo y se dejó caer en el recipiente contra el suelo 3 veces dejándolo caer de una altura de 10 cm, además de se tomó la medida de la altura hasta dónde llega la muestra de residuos sólidos (estos datos sirvieron para calcular el volumen de la muestra). Se pesó y se registró en la bitácora. En la figura 3.4 se muestra una fotografía con el contenedor vacío (a) y otro con el contenedor lleno (b).



Figura 3.4. Contenedor para el estudio de generación

Posteriormente se realizó el método de cuarteo en donde se vierten los residuos en el piso y se procede a mezclarlos con ayuda de una pala para homogenizarlos (fotografías a y b), se dividió en cuatro partes iguales (fotografía c) y se eligieron dos que se encuentren en esquinas opuestas, tal como se observa en la Figura 3.5. Posteriormente se procede a pesar las fracciones seleccionadas para realizar el cálculo del peso volumétrico de los residuos sólidos totales.

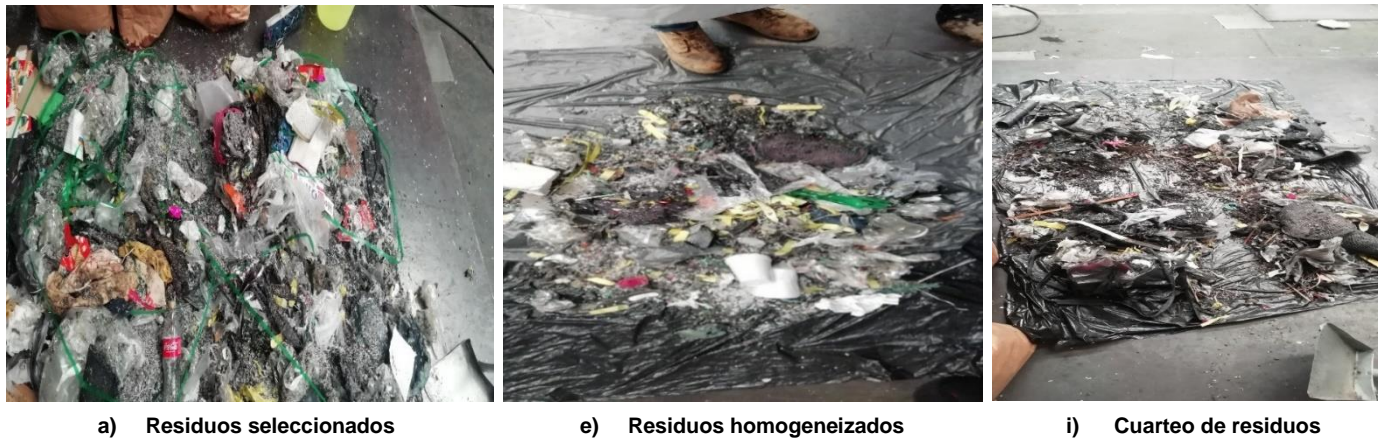


Figura 3.5. Método de cuarteo de los de los residuos

Finalmente se hace la clasificación de subproductos y se pesa cada uno para determinar su porcentaje en peso. En la figura 3.6 del lado izquierdo (a) se puede ver los subproductos divididos, residuos orgánicos, filtros gastados y mezcla de plástico sobrante que es barrido cada cambio de turno y del lado derecho (b) se muestra el bote lleno con los subproductos de la mezcla de plástico sobrante.

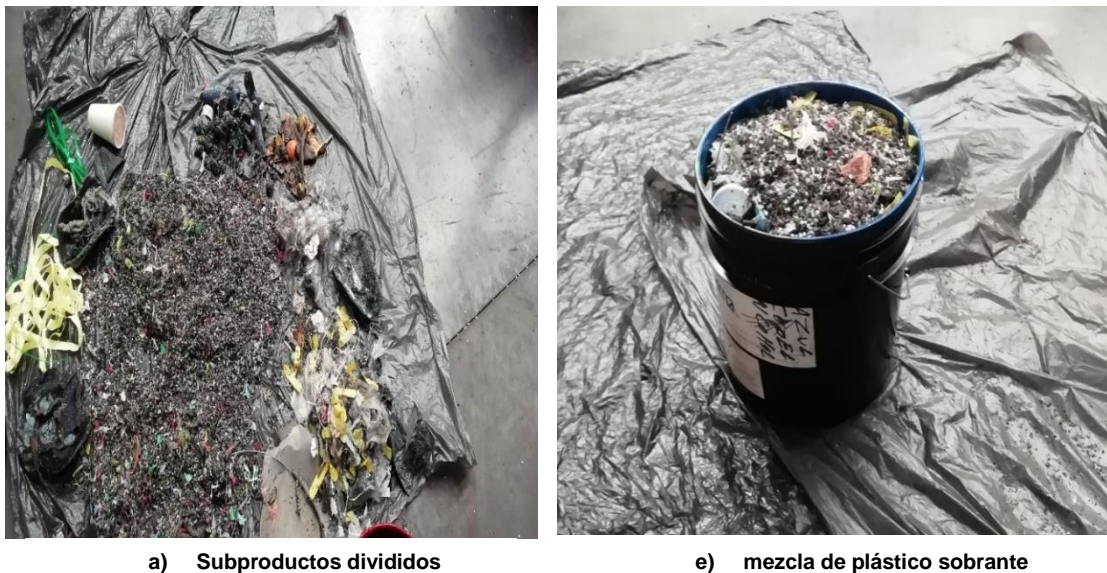


Figura 3.6. Determinación de subproductos

Después, con los datos obtenidos se calculó el peso volumétrico de los residuos.

Para determinar el peso volumétrico de los residuos sólidos se utilizará la Ecuación 1.

$$Pv = \frac{p}{v} \quad (\text{Ec. 1}) \quad (\text{Tchobanoglous})$$

Pv = Peso volumétrico de los residuos sólido, en kg/m³

Donde:

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

V = Volumen del recipiente, en m³.

Finalmente, se hizo la selección de subproductos para poder conocer las características y composición de la muestra. En este paso también se hizo un registro en la bitácora para poder tener una cuantificación de subproductos.

El porcentaje en peso de cada uno de los subproductos se calcula con la ecuación 2.

$$PS = \frac{G_1}{G} \times 100 \quad (\text{Ec. 2}) \quad (\text{Tchobanoglous})$$

Donde

PS = Porcentaje del subproducto considerado

G₁ = Peso del subproducto considerado

G = Peso total de la muestra.

Además de los estudios de generación en las fábricas, se realizó un estudio de generación de residuos en el Instituto de Ingeniería de la UNAM, en donde se analizaron los residuos de bolsas plásticas de varios edificios pertenecientes a esta institución, siguiendo la metodología anteriormente mencionada. De esta forma se ve que sucede con las bolsas en una etapa de posconsumo.

Del 29 de agosto al 5 de septiembre se llevó a cabo el estudio en Instituto de Ingeniería, Circuito Escolar, S/N, Ciudad Universitaria, Coyoacán, 04510, Ciudad de México (Figura 3.7).

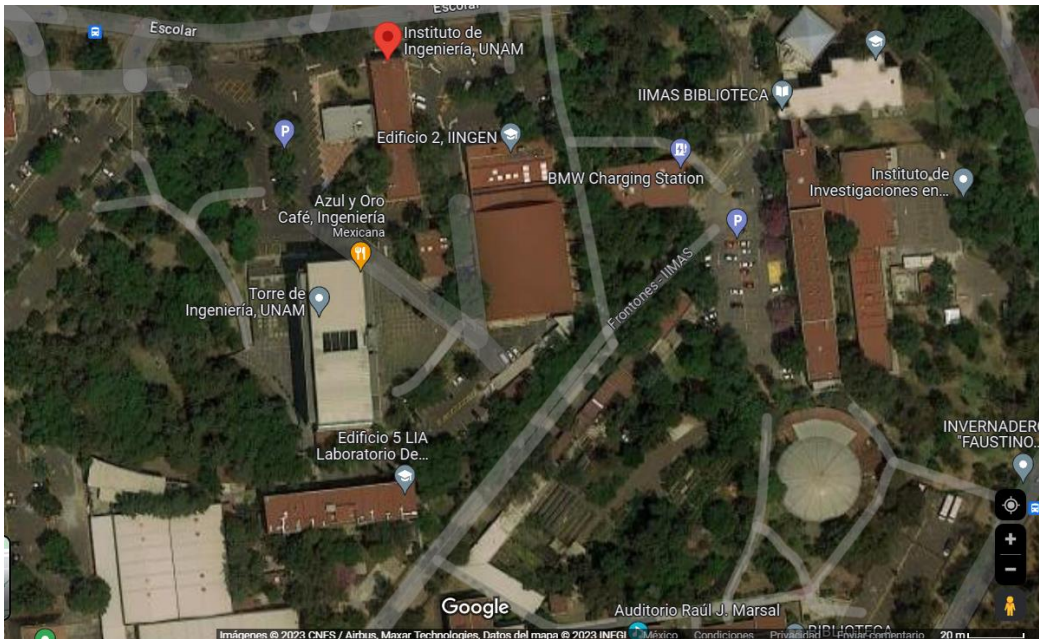


Figura 3.7. Imagen satelital del Instituto de Ingeniería, UNAM

Fuente: Google Earth

En la Figura 3.8 se muestran las bolsas con los residuos de 10 edificios que pertenecen al Instituto de Ingeniería.



e) Residuos de los edificios 1,2,3,4,5



a) Residuos de los edificios 6,8,13,17,18

Figura 3.8. Residuos generados para el estudio

En la Figura 3.9 se observa la clasificación de los subproductos de las bolsas recolectadas durante el estudio de generación, esta clasificación se hizo tomando en cuenta el tipo de material del cual estaban hechas.



a) Separación de bolsas por su composición



b) Bolsas de polietileno y polipropileno

Figura 3.9. Clasificación de subproductos obtenidos en el estudio

3.4.2 Visita a las plantas de composta y entrevista a los encargados para conocer cualitativamente la factibilidad técnica.

Las visitas y entrevistas se hicieron para conocer si se tiene actualmente una la problemática con los plásticos que ingresan a las plantas de composta, dando un enfoque principal a la factibilidad técnica. Los plásticos a los que se les dio mayor importancia fueron las bolsas de plástico para que de esta manera se pudiera obtener conclusiones que ayuden a plantear el plan de manejo de las bolsas plásticas, tomando en cuenta esta problemática para buscar la manera de disminuirla.

Las preguntas seleccionadas para fines de este ejercicio fueron las siguientes:

1. ¿Tienen problemas con residuos plásticos, y en particular a las bolsas?
2. ¿De dónde creen que procedan estos residuos plásticos?
3. ¿Qué hacen para resolver estos problemas?
4. ¿Podrían dar un valor aproximado del costo que implican estos problemas?
5. ¿Qué problemas en cuanto a su factibilidad técnica han tenido?
6. ¿Conocen el NACDMX-010-AMBT-2019? (en caso de que la respuesta sea no, explicar en qué consiste la norma)
7. ¿Qué opinan acerca de esta Ley?
8. ¿Creen que esta Ley les pueda generar problemas con las bolsas compostables?
9. ¿Cuánto es el tiempo en el que tarda en salir un lote de composta? (esto es, para conocer el tiempo que deberían de tardar las bolsas compostables en descomponerse)
10. ¿Qué propondrían para evitar estos problemas?

3.5 Análisis de la información obtenida en el trabajo de campo

Se realizaron los reportes correspondientes de las visitas hechas y analizaron los datos obtenidos en los estudios de generación para conocer las características de los residuos y subproductos. Posteriormente se tomó en cuenta solo los de mayor producción, y se emitieron recomendaciones que se pueden ser aplicables conforme a la Ley y que se verán reflejadas en el plan de manejo.

3.6 Establecer el plan de manejo para las empresas

Después de hacer un análisis de los resultados obtenidos en la etapa anterior, se diseñó un Plan de Manejo de las bolsas de plástico que se basa en los principios de economía circular en donde se reduzcan los posibles impactos negativos al ambiente, tomando acciones desde la compra de la materia prima, el proceso de producción recolecta en sistemas de contenedores diferenciados, traslado a

empresas recicladoras de bolsas, cuidado en la venta y comercialización y manejo después de su vida útil.

El objetivo principal del plan fue minimizar la generación y maximizar la valorización de residuos de bolsas, atendiendo los principios de responsabilidad compartida y manejo integral, considerando a productores, importadores, exportadores, distribuidores, comerciantes, consumidores.

Tomando como puntos clave el diagnóstico realizado con el estudio de generación, los participantes implicados, el almacenamiento y su recolección.

CAPÍTULO 4. Resultados y análisis de resultados

4.1 Datos del poder calorífico de las bolsas

Para conocer el potencial de las bolsas plásticas en procesos de tratamiento térmico, se realizó la búsqueda documental de los valores del poder calorífico que se tienen reportados. Estos valores se clasifican de acuerdo al material del cual están fabricadas las bolsas.

En la tabla 4.1 se presentan de manera comparativa los valores más representativos del poder calorífico de diferentes materiales de los cuales están fabricadas las bolsas que se utilizan en la vida cotidiana, estos pueden ser de origen fósil, textil o biobasadas (provenientes de plantas).

Tabla 4.1. Poder calorífico de las bolsas según su composición

Material	Valor reportado (MJ/kg)	Tipo de bolsa o uso	Fuente
Poliétileno (PE)	43	Bolsa de plástico común	Zevenhoven <i>et al.</i> ; 1997. C-Tech Innovation Ltd; 2003. EPIC; 2004. Panda, Singh y Mishra; 2010. Ohidul, Mukaddis y Ding ;2018 Yansaneh, Zein; 2022.
Poliétileno, polipropileno o poliéster con un catalizador(PE + catalizador)	41.9	Bolsa oxodegradable.	
Polipropileno (PP)	43	Bolsa de frituras, empaque o reutilizable textil sintético.	
Poliestireno (PS)	38.1	-----	Ohidul, Mukaddis y Ding ;2018
Poliuretano (PU)	26	Empaque o embalaje	
Papel	15.26	Bolsa de papel craft	Serna y Albán; 2003 Endres, Siebert y Rath; 2011
Poliamida	31	Empaque o embalaje	
Biopoliétileno	45.1	Bolsas compostables/ Bolsa biodegradable	
Policaprolactona mezcla (PCL)	23.3	Bolsas compostables	
Biopoliéster	25.6		
Polivinil alcohol	24.2		
Ácido poliláctico mezcla	21.2		
Almidón mezcla	21.1		
Ácido poliláctico (PLA)	19.2		
Ester de celulosa	18.3		
Polihidroxialcanato (PHA)	23.9		
Celofán	16.1	Envolturas	Siebert; 2011
Nylon	28.8	Empaques	Ohidul, Mukaddis y Ding ;2018

Al analizar los valores encontrados en la literatura acerca del poder calorífico de los materiales principales de los que las bolsas están fabricadas, se observa que no

son valores muy grandes, pero al hacer la consideración de los altos volúmenes de residuos de bolsas plásticas que se estiman y el consumo tan grande de estos productos, esos valores ya no son tan pequeños y se puede ver su potencial energético.

Los valores de la tabla 4.1, se pueden relacionar con los reportados en el estudio de generación que se presentan a continuación para poder conocer el potencial de estos residuos en el proceso de pirólisis sin importar la composición de las bolsas que se desechen.

4.2 Estudios de generación

Se realizaron dos estudios de generación en fábricas de bolsas debido a que actualmente se tienen diferentes proyectos de normas, normas y leyes que afectan a la industria de los plásticos, siendo una de las más afectadas la de bolsas que las empresas y fábricas de productos plásticos se muestran más herméticos a visitas o estudios.

4.2.1 Estudio de generación de residuos en el proceso de fabricación de bolsas plásticas de la empresa CADESA Empaques S.A de C.V

Los datos obtenidos de la empresa CADESA se muestran a continuación:

En la tabla 4.2 se reúnen los datos de los recipientes utilizados para poder realizar la determinación de la capacidad de los recipientes que fueron proporcionados por la empresa, estos datos serán relevantes para conocer el peso volumétrico. Además, se hace un promedio aproximado de los costales en donde se recolectan los residuos generados en la zona de recuperación.

Tabla 4.2. Datos para el cálculo de determinación de la capacidad del recipiente de la empresa CADESA

Día	24/01/2022	25/01/2022	26/01/2022	27/01/2022	28/01/2022	29/01/2022	Promedio
Bote lleno kg	14.44	9.16	24.19	9.49	11.69	12.34	13.552
Bote vacío kg	1.19	1.19	1.19	1.19	1.19	1.19	0.250
Residuos kg	13.5	8.22	23.25	8.55	10.75	11.4	12.612
Diámetro superior m	0.61	0.61	0.61	0.61	0.6	0.6	0.607
Diámetro inferior	0.50	0.50	0.50	0.50	0.52	0.52	0.507
Altura vacío m	0.90	0.90	0.90	0.90	0.93	0.93	0.910
Altura lleno m	1.02	1.02	1.02	1.02	1.05	1.05	1.03
Número de costales	2	2	5	1.5	4	3	2.917

En la tabla 4.3 se muestran los resultados de la determinación de la capacidad promedio del recipiente que es de 0.263 m³, el peso volumétrico de los residuos sólidos totales de la empresa CADESA que fue calculado con los valores obtenidos de la capacidad del recipiente y el peso neto de los residuos, el promedio del peso volumétrico de los residuos generados, es de 74.002 kg/m³.

Tabla 4.3. Determinación de la capacidad del recipiente y el peso volumétrico de los residuos sólidos totales de la empresa CADESA

Día	Capacidad del recipiente $v = (h\pi D^2) / 4 \text{ m}^3$	Peso neto de los residuos sólidos (peso bruto- tara) kg	Peso volumétrico kg/m ³
24/01/2022	0.263	13.25	50.380
25/01/2022	0.263	7.97	30.304
26/01/2022	0.263	23	84.452
27/01/2022	0.263	8.3	31.559
28/01/2022	0.2629	10.5	39.924
29/01/2022	0.2629	11.15	42.395
Promedio	0.263	12.362	74.002

En la tabla 4.4 se presentan las cantidades de material que se recicló en la empresa durante esa semana. Para poder calcular el peso volumétrico del material que se recicla se tomó como volumen 0.2630 m³. El peso volumétrico promedio de los residuos generados que se reciclan es de 38.695 kg/m³ según lo calculado.

Tabla 4.4. Materia que se recicla de la empresa CADESA

Material que se recicla	24/01/2022	25/01/2022	26/01/2022	27/01/2022	28/01/2022	29/01/2022	PROMEDIO
Blanco apm*	0	4.029	4.824	0	0	0	1.475
Color apm*	3.858	4.621	5.586	5.705	3.940	10.205	5.652
Color baja densidad	7.005	0	0	4.727	7.429	0	3.193
Total	10.863	8.650	10.410	10.432	11.369	10.205	10.321
Peso volumétrico kg/m³	47.230	37.609	45.261	45.356	49.430	44.369	38.695

* Polietileno de alta densidad y alto peso molecular (apm).

En la tabla 4.5 se presentan los porcentajes de los subproductos, estos resultados se obtuvieron después de determinar el valor del peso volumétrico de los residuos y se puede observar que los porcentajes más altos pertenecen a una mezcla de las diferentes materias primas de las que se fabrican las bolsas (31%), seguido de los filtros que forman parte de la máquina extrusora (29%) y después están los pedazos de plástico duro que se forma durante el proceso de extrusión (11%).

Tabla 4.5. Subproductos de la empresa CADESA

Subproducto	Peso kg	Porcentaje (%)	Acumulado (%)
Filtros	3.593	29	29
Bolsas	0.767	6	35
Maskin	0.550	4	40
Tela	0.525	4	44
Metal	0.560	5	48
Papel	0.350	3	51
Madera	0.392	3	54
Plástico Duro	1.322	11	65
Mezcla	3.867	31	96
Orgánicos	0.270	2	99
Unicel	0.167	1	100
Suma	12.362	100	

En la tabla 4.6 se presentan los resultados de los cálculos de los porcentajes de cada tipo de materia prima. Se observa que durante esa semana el material que más se recuperó es el que es nombrado color apm (55%), el cual es el nombre

comercial para el polietileno de alta densidad que tiene color. Estos valores podrían variar según la producción en la planta o los pedidos de los clientes.

Tabla 4.6. Porcentaje de Material recuperado de la empresa CADESA

Materia que se recicla	Peso kg	% de material que se recicla	
		Porcentaje (%)	Acumulado (%)
Blanco apm*	1.475	14	14
Color apm*	5.652	55	69
Color baja densidad	3.193	31	100
Suma	10.321	100	

* Polietileno de alta densidad y alto peso molecular (apm).

El la figura 4.1 se muestra cualitativamente la clasificación de los subproductos obtenidos durante el estudio donde las barras más grandes corresponden a los filtros, el plástico duro y la mezcla de materia prima.

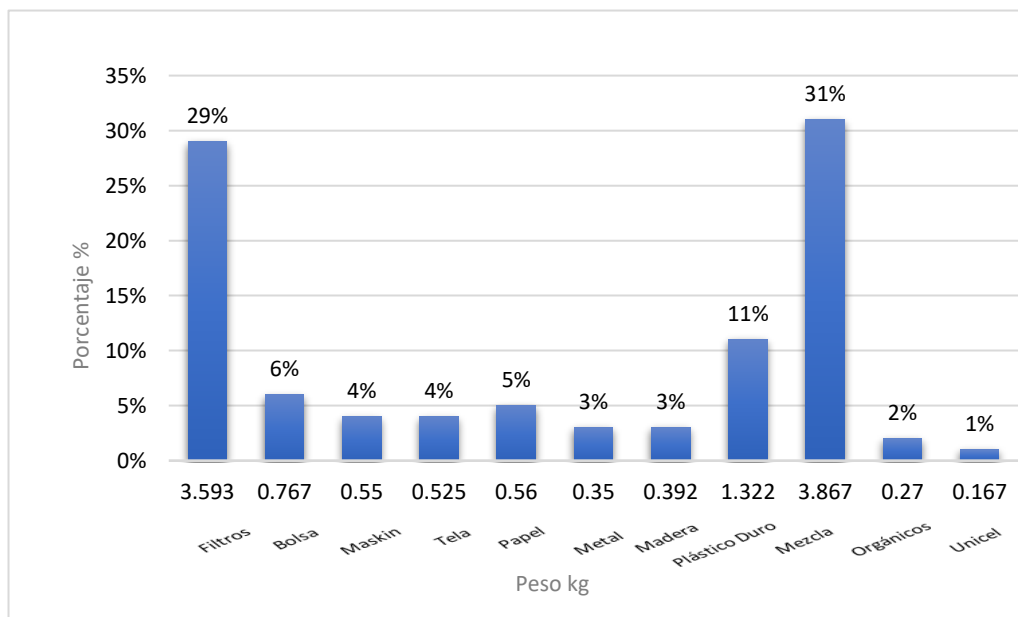


Figura 4.1. Gráfica comparativa de los subproductos de la empresa CADESA

En la figura 4.2 se muestra cualitativamente los valores de material recuperado en la fábrica durante esa semana, siendo el de porcentaje más alto la materia prima llamada color apm (polietileno de alta densidad y alto peso molecular).

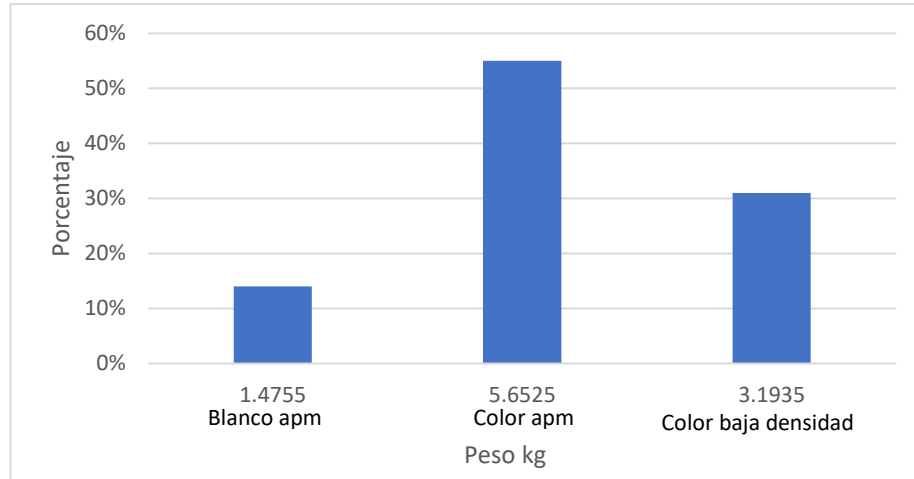


Figura 4.2. Gráfica comparativa de material que se recicla de la empresa CADESA

Para ilustrar mejor la logística de la fábrica y lo que se observó durante el recorrido por la empresa se visitaron todas las áreas con las que contaba, estas se observan más detalladamente en la figura 4.3, donde en las fotografías a) y b) se presentan el área de extrusión y generación de las películas para después llevarlas al área de corte en donde serán empaquetadas y llevadas al embalaje para su distribución con los centros de venta de las bolsas (fotografías c y d). En las fotografías se observa el inicio de la creación de las bolsas, empezando por las tolvas en donde se adicionan los pellets para después ser transformados por la extrusora en películas que son infladas con aire caliente, se forman los rollos.

Estos rollos se llevan a las cortadoras para formar paquetes que se llevan a la zona en donde se guardan en cajas para que queden listos para su venta.



a) Tolvas y extrusoras con materia prima



b) Fabricación de bolsas



c) Cortadoras de bolsas



d) Empacado de las bolsas para su venta

Figura 4.3. Proceso de producción de bolsas

En la figura 4.4 se ve como el material sobrante que se genera en el área de cortado, así como las bolsas que no pasan el control de calidad, son empaquetados y llevados al área de recuperación en donde se reprocesan para volver a general pellets que servirán como materia prima para más bolsas plásticas. Las reglas de la empresa dicen que todos los trabajadores deben de dejar su área de trabajo limpia antes de su turno termine, por lo que el área de recuperado es limpiada tres veces al día debido a que se tienen tres turnos en el área de recuperado, se recolectan los residuos y son colocados en estos contenedores.



a) Materia prima que se va a recuperar



b) Proceso de recuperado

Figura 4.4. Separación de la materia prima que se reutiliza y área de recuperación de material para generar nuevos pellets

4.2.2 Estudio de generación de residuos en el proceso de fabricación de bolsas plásticas de la empresa LA CIMA.

A continuación, se presentan los resultados obtenidos del estudio de generación en la empresa LA CIMA.

La tabla 4.7 se presenta los valores obtenidos para poder realizar la determinación de la capacidad del recipiente, esto es de utilidad para el cálculo del peso volumétrico de los residuos.

Tabla 4.7. Datos para el cálculo de determinación de la capacidad del recipiente de la empresa LA CIMA

Día	06/09/2022	07/09/2022	08/09/2022	09/09/2022	12/09/2022	13/09/2022	Promedio
Bote lleno kg	150.48	66.47	15.13	29.61	19.62	19.20	50.14
Bote vacío kg	1.22	1.22	1.22	1.22	1.22	1.22	1.22
Residuos kg	149.26	65.25	13.90	28.74	18.40	17.98	48.92
Diámetro superior m	0.58	0.58	0.58	0.58	0.58	0.58	0.58
Diámetro inferior m	0.50	0.50	0.50	0.50	0.50	0.50	0.50
Altura vacío m	0.88	0.88	0.88	0.88	0.88	0.88	0.88
Altura lleno m	1.05	1.05	1.05	1.05	1.05	1.05	1.05

En la tabla 4.8 se presentan los resultados de peso volumétrico que se tuvieron durante la semana del estudio, el cálculo del peso volumétrico promedio calculado durante el estudio es 243.39 kg/m³.

Tabla 4.8. Determinación de la Capacidad del recipiente y el peso volumétrico de los residuos sólidos totales de la empresa LA CIMA

Día	Capacidad del recipiente $v = (h\pi D^2) / 4 \text{ m}^3$	Peso neto de los residuos sólidos (peso bruto- tara) kg	Peso volumétrico kg/m ³
06/09/2022	0.201	149.26	742.59
07/09/2022	0.201	65.25	324.61
08/09/2022	0.201	13.91	69.19
09/09/2022	0.201	28.74	142.99
12/09/2022	0.201	18.40	91.54
13/09/2022	0.201	17.98	89.44
Promedio	0.201	48.92	243.39

A diferencia de la empresa CADESA en la empresa LA CIMA no se obtuvieron subproductos debido a que el área en donde se realizó el estudio solo se guardaba el material para recuperar.

En la tabla 4.9 se muestran los valores obtenidos del material que se llevó al área de guardado. Los días en donde el peso volumétrico fue mayor fue el día 6 de septiembre del 2022 con 742.59 kg/m³ y el día 7 de septiembre del 2022 con 324.61 kg/m³, que fueron los días posteriores al fin de semana, por lo cual intuimos que la empresa deja que el material se junte durante este tiempo antes de reciclarlo.

Tabla 4.9. Materia que se recicla de la empresa LA CIMA

Tipo de bolsa	06/09/2022	07/09/2022	08/09/2022	09/09/2022	12/09/2022	13/09/2022	Promedio
Transparente	263.7	141.75	51.55	40.51	14.85	14.7	149.26
Mezcla	83.7	38.45	3.65	0.45	1.35	2.95	65.25
Blanca	59.2	28.18	1.35	0	14.1	0.7	13.91
Negra	123.01	87.85	4.1	5.8	48.75	24.06	28.74
Azul	235.75	56.8	17.05	84.19	13.95	56.05	18.4
Otra	130.2	38.45	5.75	41.5	17.4	9.4	17.98
Peso volumétrico kg/m³	742.59	324.61	69.19	142.99	91.54	89.44	243.39

En la tabla 4.10 se observa que el material que más se recicló esa semana en la fábrica LA CIMA es el transparente con 55%, en segundo lugar, con un 22%, está el material que nombran como “mezcla” el cual era material reciclado previamente y en tercer lugar con un 10% el material con el que se fabrican las bolsas negras. Estos valores pueden variar según los pedidos que tenga la empresa en esos días.

Tabla 4.10. Porcentaje de Material recuperado de la empresa LA CIMA

Tipo de bolsa	Peso en kg	% de material reciclado	
		Porcentaje	Acumulado
Transparente	149.26	51	51
Mezcla	65.24	22	73
Blanca	13.9	5	78
Negra	28.74	10	88
Azul	18.4	6	94
Otra	17.97	6	100
Suma	293.51	100	

En la figura 4.5 se muestra cualitativamente el porcentaje de material que más se recicla, aquí se observa que el material que más se utiliza en la fábrica es el transparente.

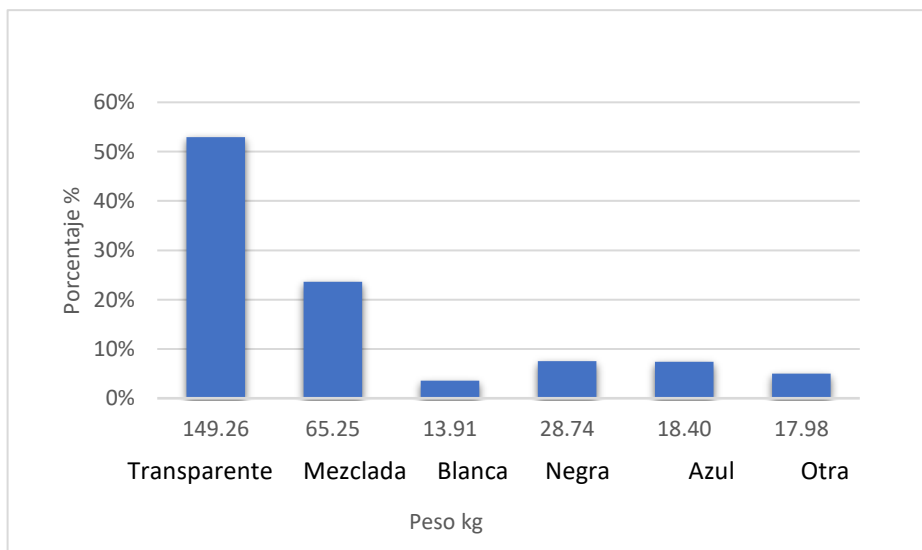


Figura 4.5. Gráfica comparativa de material que se recicla de la empresa LA CIMA

4.2.3 Estudio de generación de residuos de bolsas de plástico en edificios del instituto de Ingeniería, UNAM.

Los resultados promedio del estudio de generación del Instituto de Ingeniería se presentan a continuación se presenta en la figura 4.6 a manera de gráfica de pastel en donde se observa que las bolsas de polietileno de baja densidad son las que están más presentes con un porcentaje del 33%. Además, el peso volumétrico obtenido del estudio es de 32.35 kg/m³.

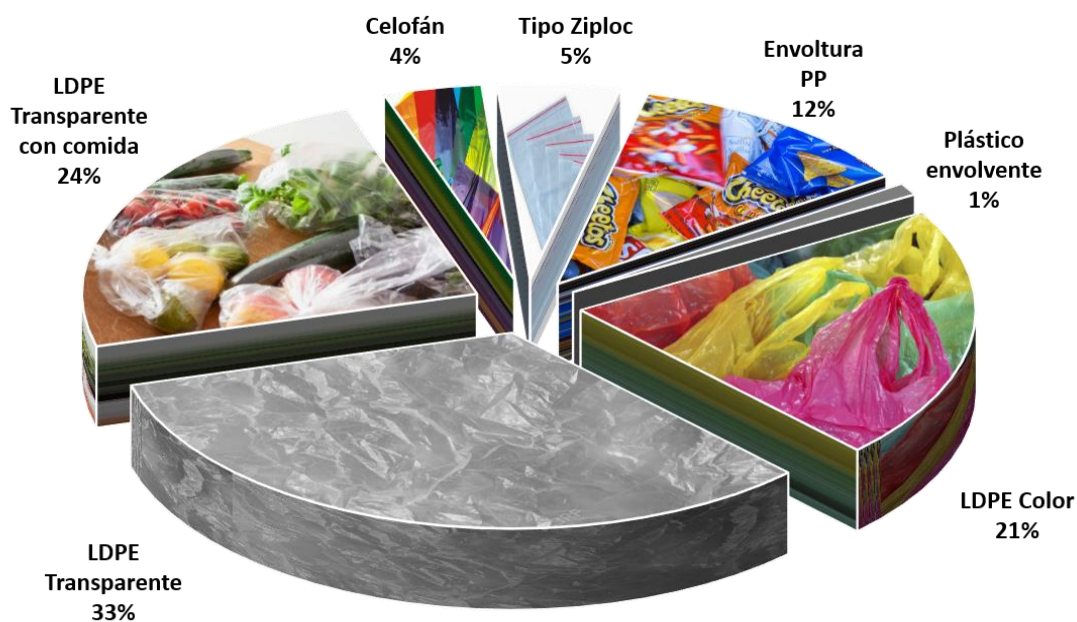


Figura 4.6. Gráfica estudio de generación posconsumo del instituto.

Con los resultados de los estudios de generación y la lista de poderes caloríficos se observó el potencial que tienen las bolsas plásticas para darles un tratamiento térmico, se sabe que el resultado promedio del peso volumétrico de los residuos generados que se reciclan en las fábricas 141.04 kg/m³ y si se multiplica esto por el

poder calorífico de las bolsas de polietileno se obtiene $5,987.25 \text{ kJ/m}^3$ lo cual es una gran cantidad de energía que puede ser aprovechada en algún proceso industrial y acercarnos de esta manera a la circularidad.

En el caso de las bolsas de polipropileno que son el segundo tipo de bolsa más utilizado se sabe que su poder calorífico es de 42.45 kJ/m^3 y relacionando esto con los datos obtenidos del estudio de generación de posconsumo se sabe que dentro de los residuos generados 8.41 kg eran bolsas de plástico y el 12% de este peso eran bolsas de polipropileno que equivalen a 1 kg , lo que se traduce en 42.45 kJ de potencial energético proveniente de los residuos que puede ser aprovechado.

Así mismo esta información y el hecho de saber que las condiciones a las que se realiza la pirólisis son costeables, no requiere de temperaturas muy altas y no hace distinción en la composición de los residuos utilizados, se puede divisar otra solución para los residuos plásticos y ver su aprovechamiento.

Además, se observó que es una práctica común en las fábricas de bolsas plásticas el reaprovechamiento de las bolsas que no pasan control de calidad y dentro de las posibilidades de las fábricas se da el tratamiento a esta merma que surge del proceso para volver a generar pellets. El mayor problema que enfrentan las fábricas es el tamaño y la infraestructura que tiene. Y en caso de poder reaprovechar esta materia prima, se podría enviar a un tratamiento térmico como la pirólisis.

También se muestra que el plan de manejo para los fabricantes de bolsas plásticas es necesario para que ellos tengan una guía en donde se les indique como mejorar la disposición de las bolsas plásticas y se le comprometa a un trabajo en conjunto con la sociedad, este plan es el que les pide la NACDMX-010-AMBT-2019.

Un reporte del año 2020 realizado por Greenpeace, menciona que por un kilogramo de residuos plásticos biodegradables se puede producir 4.51 MJ de energía y mientras que con un kilogramo de residuos plásticos convencionales este puede ser 9.2 MJ (Zhongnan Jia, 2020), si estos valores se multiplican por las $1,717.3$

toneladas de residuos plásticos generadas diariamente en la Ciudad de México (SEDEMA,2021) poner toneladas se cuenta con una fuente potencial de energía promedio de 42,932.5 MJ.

En la tabla 4.11. Se presentan los poderes caloríficos de los combustibles más comunes en las actividades humanas y se hace una comparación con los plásticos de los que se componen las bolsas.

Tabla 4.11. Tabla comparativa de combustibles y plásticos

Combustibles	Poderes caloríficos (MJ/kg)	Plásticos	Poderes caloríficos (MJ/kg)
Metano	53	Polietileno	43
Gasolina	46	Bioplásticos	19
Carbón	30	Mezcla de plásticos	30-20

Al realizar una comparación con los poderes caloríficos de los combustibles más utilizados (gasolina, diésel, combustóleo) presentados en la tabla 4.11 (Scott, 1999) y los poderes caloríficos de los polímeros con los que se fabrican las bolsas plásticas se observa que este residuo tiene el potencial para ser combustibles alternos que se pueden aplicar en algún proceso industrial o de servicio. Con esto demuestra el valor que pueden tener los residuos de bolsas plásticas como fuente de energía, en donde la composición no importa.

4.3 Entrevistas y visitas a plantas de composta

Se realizaron solo tres entrevistas a las plantas de composta porque se quería observar la problemática de las bolsas plásticas en ellas, para tener de manera cualitativa una representación de la problemática, así como que actualmente no todas las plantas que se tienen en la ciudad están en funcionamiento. Además de

que son las principales en ser afectadas debido a lo que establece la NACDMX-010-AMBT-2019.

En la figura 4.7, se muestra una gráfica de pastel con la que se busca ilustrar de manera cuantitativa las respuestas obtenidas durante las entrevistas y que remarca las problemáticas más importantes que se tienen en una planta de composta y como la nueva norma NACDMX-010-AMBT-2019 las afectara.



Figura 4.7. Porcentaje aproximado de las respuestas obtenidas en las entrevistas

Con las entrevistas se realizó un análisis cualitativo donde la factibilidad técnica se ve afectada por la mala separación de residuos. Se tomaron las respuestas para poder darles algún valor cuantitativo y de esta manera se observó que los costos y la limpieza manual de las pilas implica son aproximadamente el 24% de los problemas que tiene una planta de composta sin contar el problema mayor que es

la procedencia de los residuos. Esto se confirma con el inventario de residuos del 2021 (SEDEMA. 2022) donde se reporta que se recuperaron 13,929 toneladas de residuos plásticos con potencial valorizable como a PET, HDPE, bolsas plásticas y playo. A pesar de esto, es muy complicado separar los residuos inorgánicos de los orgánicos debido a los grandes volúmenes de residuos que ingresan a la planta de bordo poniente y esto afecta considerablemente la calidad del producto final. Los residuos que no se pueden recuperar son enviados a disposición final, a los rellenos sanitarios la Cañada y el Milagro, en el Estado de México. Además, en el inventario se reporta la maquinaria con la que trabaja la planta y se puede deducir que al no estar en uso se complica el proceso de compostaje. También se menciona que actualmente se cuenta con una planta compactadora donde se le da un tratamiento a los residuos para que estos se aprovechen energéticamente a través del coprocesamiento.

En las siguientes figuras se observa un día de trabajo en una planta de composta. Las actividades principales se pueden dividir en tres etapas importantes para tener una composta con la menor cantidad de residuos plásticos y que sea óptima según lo que pide la norma, descarga de los residuos, volteo de pilas de composta y limpieza de pilas. El producto final composta de calidad que es utilizada en campos de futbol, en área de jardines, jardineras o camellones, a pesar de eso es importante mencionar que la composta puede tener un uso en el área de alimentos, pero se debe cuidar la calidad de los residuos para no generar un impacto en la salud humana.

En la figura 4.8, se muestra la descarga de los residuos en dos de las platas visitadas (bordo poniente y ciudad universitaria).



a) Descarga de residuos en bordo poniente



b) Descarga de residuos en Ciudad Universitaria

Figura 4.8. Descarga de residuos

En la figura 4.9, se observan las técnicas de volteo manual (a) y mecánica (b) para tener presencia de oxígeno durante el proceso.



e) Volteo mecánico en PPCLV



a) Volteo mecánico planta de composta de bordo poniente



c) Volteo manual en bordo poniente

Figura 4.9. Volteo de pilas

En la figura 4.10, se presentan los métodos de limpieza que se usan para que la composta quede libre de residuos plásticos, la forma manual y mecánica (con una máquina de criba).



a) Limpieza de las pilas de composta manual

b) Limpieza de las pilas de composta mecánica

Figura 4.10. Limpieza de pilas

En todas las plantas se procuran que sean residuos orgánicos, pero esto no siempre se cumple como se ilustra en la figura 4.11, se observa que durante el proceso de compostaje se encuentran residuos mezclados y al contrario de lo que se podría pensar al entrar en vigor la NACDMX-010-AMBT-2019 esto se volverá más complicado por lo que se busca remarcan en plan de manejo el aprovechamiento de estos residuos.



a) Residuos plásticos en la planta de
bordo poniente

b) Residuos plásticos en la planta
Ciudad Universitaria

c) Residuos plásticos en PPCLV

Figura 4.11. Problemática de la combinación de residuos

Con las últimas imágenes se ilustra la problemática de mezclar residuos, es una realidad en las plantas de composta y genera altos costos para el proceso de compostaje, ya que deshabilita las máquinas y el proceso se para o se vuelve más lento (Figura 4.12).



Ejemplo de maquinaria que se dañada

Figura 4.12. Efecto de los plásticos presentes en la composta

El hecho de que la norma NADF-010-AMBT-2019, entre en vigor, implicara más problemas dentro de las plantas de compostaje de las que ya se tiene conocimientos debido al incremento de plásticos que ingresaran a ellas y la forma en la que se afectará a los diversos equipos operativos creando grandes pérdidas y limitaciones al modificar los tiempos operativos. Además de esto, se sabe que la norma para productos compostables (NMX-E-NYCE-2019) indica que las bolsas pueden tardar hasta 180 días durante el proceso de compostaje, sin embargo, la mejora en el tratamiento y la sistematización de los procesos ha permitido disminuir los tiempos de estancia dentro de las plantas enfrentando así problemas con la adecuada operación y descomposición de las bolsas teóricamente compostables.

Se planteó la importancia de realizar mayores investigaciones para poder trabajar con este tipo de residuos dentro de las plantas de compostaje, pero esto no significa que será la única solución del problema, debido a que se siguen analizando la dispersión de contaminantes como los microplásticos. También se hizo mención de las problemáticas que hay en las normas debido a que las pruebas piden muestras

pequeñas de los lotes y eso no nos asegura que los productores de verdad cumplan con lo establecido.

4.4 Plan de Manejo de los residuos de bolsas de plástico

Debido a la creciente problemática por los residuos y específicamente los residuos plásticos, la Ciudad de México reformó la Ley de Residuos Sólidos del Distrito Federal y su Reglamento para establecer la prohibición de los mismos, de esta manera surge la norma NACDMX-010-AMBT-2019 que busca dejar establecidas las características, especificaciones y metodologías de prueba que deben de cumplir los productos plásticos compostables, además de mencionar que es necesario contar con un plan de manejo para establecer una guía de cómo se deben tratar y disponer los residuos de bolsas plásticas desde su fabricación hasta su posconsumo.

Por esta razón, a continuación, se muestra una propuesta de un plan de manejo de los residuos generados por bolsas plásticas, tomando en cuenta datos obtenidos durante los estudios de generación y relacionándolos con la opción de termovalorización. Se trata de una propuesta debido a que las condiciones en las que labora una fabrica de bolsas en la Ciudad de México es muy variable y depende de diferentes factores como el tamaño de la fábrica, la maquinaria que se tenga y si se cuenta con áreas de recuperación.

Introducción del plan de manejo

Se debe proporcionar información de la empresa o giro, así como proporcionar su política ambiental y las certificaciones o permisos con los que cuenta para corroborar que se producen productos compostables o biodegradables.

Residuo: Bolsas de diferente composición.

La NACDMX-010-AMBT-2019 menciona diferentes formas de manejar las bolsas plásticas según su composición.

a) Bolsas compostables

Bolsas de origen biobasado (plantas, hongos o bacterias) que se degradan en condiciones de composta industrial. La norma no lo menciona, pero uno de los polímeros compostables más utilizado comercialmente es el ácido poliláctico (PLA).

b) Bolsas de plástico

Bolsas de origen fósil, generalmente fabricadas con polietileno de baja o alta densidad (PEBD o PEAD), polipropileno (PP). Son artículos que no se degradan fácilmente, son de una resistencia media, ya que ayudan a cargar cosas sin romperse, pero se pueden trozar si aplicas fuerza y por su ligereza se dispersan con facilidad en el ambiente.

c) Bolsas reutilizables

Bolsas que pueden ser de origen vegetal (algodón, lino, yute, rayón) o fósil (polipropileno, poliéster, poliuretano), resisten a varios usos en un largo lapso de tiempo y su degradación es lenta.

La o las personas que se dedique a la producción, importación, comercialización y distribución de este tipo de artículos (las tres categorías) deberá: Promover su correcto manejo y disposición después de su vida útil, establecer y registrar su plan de manejo ante la SEDEMA, realizar la presentación de informes donde deberá:

- Promover y sensibilizar a la población sobre el manejo adecuado de estos al final de su vida útil, así como minimizar la generación de estos residuos.
- Establecer y registrar ante la Secretaría de Medio Ambiente de la Ciudad de México, los programas y acciones que fomenten su gestión y disposición adecuada, para su tratamiento en plantas de compostaje.
- Presentar un informe anual a través de lo establecido por la Secretaría de Medio Ambiente de la Ciudad de México.
- Colocar sitios o puntos de recolección diferenciada del residuo para su correcto tratamiento o disposición.

Objetivos generales del plan de manejo

El plan de manejo debe tomar en cuenta los principios de economía circular, reducción de impactos ambientales y tomar acciones durante toda la cadena de producción, así como en el consumo y posconsumo para poder garantizar la correcta disposición de las bolsas plásticas, dando importancia a la termovalorización como alternativa para la disposición.

Objetivos específicos del plan de manejo

1. Conocer el volumen de generación estimado durante la fabricación, el consumo y posconsumo.
2. Clasificar los tipos y cantidades de residuos para poder establecer acciones para que los actores que intervienen con el producto sepan cómo disponerlos.
3. Colocar centros o puntos de recolección temporales o fijos donde los fabricantes y consumidores puedan depositar los residuos.
4. Tener rutas de recolección que lleven el residuo al sitio donde se dispondrá.

5. Realizar actividades donde se ponga énfasis en minimizar la generación de residuos y maximizar la valorización de los residuos.

Justificación

Debido a la creciente demanda de productos plásticos en los últimos años y a las nuevas políticas de la Ciudad de México que buscan disminuir la producción de residuos y mejorar su disposición final más allá de un relleno sanitario, la NACDMX-010-AMBT-2019 establece que los productores de bolsas plásticas generen un plan de manejo.

Descripción del Plan de Manejo

1. Diagnóstico

Conocer los antecedentes de la disposición de los residuos plásticos a nivel planta o posconsumo.

Para el caso de las fábricas presentes en el trabajo no se tenía esta información.

1.1 Generación

A través de un estudio de generación, siguiendo la normativa correspondiente al tema conocer los residuos que se obtienen del proceso de producción de bolsas o del posconsumo, dando énfasis a la fuente principal de generación, cuánto se acopia y qué tratamiento se le da.

En el caso de las fábricas en donde se realizaron los estudios de generación se logró conocer que una práctica común que tienen es el reciclar materia que no pasa el control de calidad el cual pasa por proceso donde se busca generar pellets nuevos o triturar el material para poder generar nueva materia prima.

Los residuos generados en las fábricas visitadas fue de residuos que se reciclan, los cuales son los de volumen más alto y los residuos obtenidos en el área de triturado o recuperado por lo cual el volumen de estos es menor.

De la fábrica CADESA se obtuvo que el promedio de los residuos generados que serán reciclados 38.695 kg/m^3 , mientras que el volumen promedio generado de residuos en el área de recuperado es de 74.002 kg/m^3 .

De la fábrica La CIMA se encontró que el volumen promedio de generación de los residuos es de 243.39 kg/m^3 , no se tienen datos del área de recuperado debido a que la planta no cuenta con ella y solo se tiene un área para guardar material que será triturado y reciclado en otro lado.

Los datos obtenidos en ambas fabricas se acopia semanalmente, pero los residuos tienden a acumularse por lo cual es importante dar una alternativa para su tratamiento.

Tratamiento que se le podría dar es de termovalorización.

1.2 Características del residuo

Proporcionar las características químicas, físicas y biológicas (si es el caso) de los residuos, junto con una descripción de los mismos.

En ambas fabricas se generaban bolsas de polipropileno de alta y baja densidad, así como bolsas de ácido poliláctico, además se usan diferentes aditivos y colorantes.

En la fábrica de CADESA los residuos que se generan son de la misma materia prima de la cual se fabrican las bolsas, pero al tener un área de recuperado también se generan residuos diferentes, como residuos de alimentos, residuos de mecánico.

Mientras que en la fabrica de La CIMA al no tener área de recuperado solo se genera merma de los productos que no pasan control de calidad y son triturados para llevar a peletiza.

1.3 Manejo actual

Dar un reporte de la situación actual del manejo de los residuos para poder comparar posteriormente con las metas logradas a partir del plan de manejo.

En la fábrica de CADESA actualmente la forma de manejar los residuos es de la siguiente manera:

- Los residuos que no cumplen control de calidad, se mandan al área de recuperado se almacenan en grandes contenedores y se vuelven a pelletizar. Mientras que los residuos generados en el área de recuperado se colocan en costales, se mezclan los residuos y se desechan en el camión recolector.

En la fabrica La CIMA actualmente se los residuos provenientes del proceso de elaboración de una bolsa se manejan de la siguiente manera:

- Las bolsas que no cumplen el control de calidad o las especificaciones del cliente se llevan al área de guardado para posteriormente triturarse y trasladarse a una fábrica donde se repeletizarán.

2. Participantes

Se presentan acuerdos con información, datos y la forma de participación de los fabricantes, comercializadores y consumidores.

2.1 El fabricante

El fabricante debe estar comprometido con el proceso fabricación y de disposición de su producto, debe considerar la calidad de sus materiales y la contar con las certificaciones que exige el gobierno, así como tener una información en su etiqueta que mencione su composición para que pueda disponer correctamente. Estos son

debido a que son el participante principal para cuidar el flujo del ciclo de reciclaje o de tratamiento.

De esta manera el fabricante debe considerar la impresión y difusión de disposición de su bolsa después de que esta se utilizada. Sin importar el material del cual este fabricada su bolsa se debe contemplar contenedores especiales en sus puntos de venta para poder ser trasladados a una planta de pirólisis y de esta manera dar un correcto tratamiento y disposición a su producto.

2.2 El comerciante

El comerciante es un punto esencial en el ciclo de recuperación porque es un punto de conexión entre la fabricación y el consumidor, los establecimientos de comercialización serán puntos de recuperación autorizados en donde se podrá entregar las bolsas después de su uso o serán colocadas en contenedores especiales. Esto se podrá lograr con programas y acuerdos donde el fabricante, el comerciante y el gobierno estén de acuerdo debido a que depende de cuestiones económicas y de logística, las cuales traerán una disposición y consumo de recursos económicos en su mayor parte del comercializador.

El comerciante tendrá una participación relevante en las campañas de disposición y recolección. Además de las campañas de concientización los productos estarán estampados desde su fabricación con un instructivo para su disposición después de su primer uso.

Dentro del acuerdo que tienen los fabricantes y los comerciantes para la disposición final se debe contar con algún beneficio moral, económico o funcional el cuál será atractivo para que el cliente y último usuario de estas bolsas se comprometan a participar y continuar con esta campaña de recolección de las bolsas de plástico que en este local comercial fueron entregadas. Es necesario que tanto el fabricante

como el comerciante estén preparados para recibir otros tipos de bolsas que no hayan sido expedidas por ellos mismos, en donde se tome en cuenta materiales distintos a los de su producto y que sea compatible con la separación correcta para que la disposición sea la correcta.

2.3 El consumidor final

El consumidor final es la persona que compra o a quien se le entrega la bolsa para transportar y resguardar algún producto. El consumidor debe ser incitado por el comerciante a regresar la bolsa al finalizar la vida útil o en el momento en que el consumidor final ya no tenga planes de uso y se deba disponer de esta bolsa.

El consumidor final debe estar constantemente informado por las campañas de recolección y debe recibir algún beneficio que lo incentive a participar para lograr los objetivos del plan.

3. Metodología

En este apartado se debe describir la logística que se va a llevar a cabo para poder disponer de los residuos correctamente. Se debe detallar como se generan los residuos, en dónde y cómo son almacenados, como y quien los recolecta o en caso de tener puntos de acopio, especificarlos y finalmente dar a conocer el proceso de disposición final que tendrán los residuos esperando que las primeras opciones sean la termovalorización o el reciclaje.

Finalmente, dar las metas que se buscan lograr con el plan y difundirlo con los diferentes actores que utilizan el producto (productores, vendedores y consumidores).

3.1 Proceso de generación

Dependiendo de las condiciones de cada fabrica se contará con dos opciones.

En el caso de que la fábrica cuente con un área de recuperado en donde se repelletice lo que no cumpla con el control de calidad, se tendrán contenedores

especiales fáciles de identificar y bien etiquetados para los pellets y el resto de residuos que se generen en el área debido a actividades humanas como la reparación de las maquinas. En el segundo caso si la fábrica no cuenta con esta área solo se tendrán contenedores para recolectar el material que no cumpla con el control de calidad y posteriormente se acumulara en pacas bien etiquetadas que serán recolectadas y se llevaran a disposición final.

Se hará un proceso de recolección apoyado por medios de difusión en los establecimientos que las comercialicen o las distribuyan por cualquier medio.

3.2 Almacenamiento

Una vez que se realiza la recepción, serán almacenadas en contenedores y pacas bien etiquetados y cerrados cuando se llenen, serán recolectados y llevados a la planta de pirólisis.

3.3 Recolección.

El fabricante y el comerciante contrataran un sistema de recolección autorizado para recolectar las bolsas de posconsumo y el material que no cumpla los requerimientos de control de calidad para que se logren recolectar.

La planta de pirólisis debe trabar en conjunto con la planeación de este sistema para saber si ella proporcionara el transporte o será el fabricante, así como el planteamiento de la ruta para que sea lo más eficiente posible.

3.4 Tratamiento

Se verificará que la bolsa posconsumo llegue al centro de procesamiento por medio de oficios de entrega/recepción.

3.5 Metas

Se espera mejorar la disposición de las bolsas y tener campañas de recolección exitosas donde se genere conciencia de la correcta disposición final y aprovechar este residuo.

3.6 Difusión

La campaña de difusión se hará en diferentes puntos de comercialización. Se llevará un registro del volumen y peso acopiado a lo largo de determinado tiempo. Es importante delimitar la zona en la que el programa se lleva a cabo y hacer un análisis de las posibilidades de incorporar a otras fábricas de bolsas.

Se contará con programas de acopio educativos como:

- Acopio de bolsas separadas por composición en diferentes establecimientos que la comercializan.
- Programa que se encuentre dirigido a instituciones como oficinas de gobierno y/o privadas y universidades.
- Acopio social: Programa en el que se tenga puntos de acopio en comunidades de alta marginación y pobreza que tengan conexión con una carretera central. Se buscará hacer un trueque o intercambio de material reciclable por productos de consumo básico.

4. Evaluación

En esta sección del plan se busca tener un registro escrito de las actividades y acciones que se han realizado para poder ver el impacto del mismo y proponer mejoras en caso de que sea necesario. Así mismo, se busca tener credenciales que vayan acreditando a las fábricas para que estén dentro de lo que estipula la ley.

4.1 Informes

Se informará la cantidad de residuos acopiados y su disposición o tratamiento final.

4.2 Bitácoras

Se usarán para llevar un control de la entrega/recepción de los residuos, se registrarán los datos del acopio por procedencia, cantidad, calidad, fecha y tipo de residuos. Se harán de manera impresa y digital para facilitar el análisis de los datos obtenidos y contar con un respaldo.

4.3 Informes o cartas de acreditación

Se tendrán los documentos de certificación y los informes actualizados.

CAPÍTULO 5. Conclusiones

Derivado de la realización de los estudios de generación en la fabricas de bolsas plásticas seleccionadas y en 10 de los 18 edificios del Instituto de Ingeniería de CU se encontró que el resultado promedio del peso volumétrico de los residuos generados que se reciclan en las fábricas visitadas fue de 141.04 kg/m^3 y los residuos generados en el área de recuperación es de 74.002 kg/m^3 . Mientras que en la etapa de posconsumo en el Instituto de Ingeniería el peso volumétrico es de 32.35 kg/m^3 de bolsas que se desechan de diferente composición. Tomando en cuenta los volúmenes de bolsas plásticas y sus características físicas se hubiera esperado una cantidad menor para reciclar.

Por otro lado, se pudo observar que el proceso de biodegradación no es factible técnicamente de acuerdo a que el análisis cualitativo revelo que llegan a las plantas de compostaje un volumen grande de residuos plásticos.

De la información recabada con respecto al estado del arte de los valores del poder calorífico de los materiales que componen las bolsas plásticas la literatura revela que bolsas más usadas son de polipropileno (transparente o de color) cuyo poder calorífico 43 MJ/kg , polietileno (de color o metalizado) cuyo poder calorífico es 42.45 MJ/kg , esto en lo concerniente a los polímeros de origen fósil mientras que por parte de los polímeros de origen vegetal o clasificados como biodegradables se encuentra el ácido poliláctico (PLA) con un poder calorífico de 19.2 MJ/kg por lo tanto las de polímeros de origen fósil tienen casi el doble del poder calorífico de las de origen vegetal.

El cuadro comparativo de los procesos de termovalorización, gasificación y pirolisis, da a conocer que la pirólisis es una opción rentable debido a que en él se genera energía y productos similares a la gasolina o diésel con potencial de ser

combustibles alternos, cabe mencionar que no requiere temperaturas tan altas como la gasificación.

El plan de manejo propuesto es una elección para que los fabricantes de la Ciudad de México cumplan con la nueva norma NACDMX-010-AMBT-2019 debido a que contribuirá a la disminución de residuos plásticos en las plantas de composta, así como ayudar a generar conciencia de su buena disposición.

La conclusión general después de realizar este estudio en donde todos los actores que interactúan con la fabricación, uso y disposición final podrían ser beneficiados con el cumplimiento de la nueva norma NACDMX-010-AMBT-2019 debido a que la valorización y aprovechamiento de los residuos es indispensable para la mitigación de los impactos ambientales con respecto a la presencia de bolsas plásticas.

Finalmente, la hipótesis planteada sobre la elaboración e implementación de planes de manejo para las bolsas plásticas desde su fabricación hasta el posconsumo con el fin de lograr una reducción de la problemática que estas generan, se acepta porque se dará prioridad al cumplimiento de la nueva norma NACDMX-010-AMBT-2019 utilizando técnicas como la pirólisis.

Referencias

- Agnihotri S., Shukla S., Pilla S. (2020). Sustainability Issues in Bioplastics. *Encyclopedia of Renewable and Sustainable Materials*. Vol. 5. pp. 249-273, <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-803581-8.10610-1>
- Alam O., Billah M., Yajie D. (2018). Characteristics of plastic bags and their potential environmental hazards, *Resources, Conservation and Recycling*, Vol. 132. pp. 121-129. <https://doi.org/10.1016/j.resconrec.2018.01.037>
- Arriata, D. H. (2010). Estudio de Generación y Plan de Manejo de los Residuos Sólidos en un Edificio de Oficinas. Tesis de Licenciatura. Universidad Nacional Autónoma de México. México. <https://hdl.handle.net/20.500.14330/TES01000658957>
- Ashter S.A. (2016). Cap 2. Overview of Biodegradable. *Polymers. Introduction to Bioplastics Engineering*. William Andrew. pp. 19-30 <https://doi.org/10.1016/C2014-0-04010-5>
- Bergmann M., Tekman M. & Gutow L. (2017). Sea change for plastic pollution. *Nature*. Vol. 544. pp. 297. <https://doi.org/10.1038/544297a>
- Brahney J., Mahowald N., Prank M., Cornwell G. Klimont, Zbigniew K., Matsui H., Prather K. A. (2021). Constraining the atmospheric limb of the plastic cycle. *Proceedings of the National Academy of Sciences*. Vol. 118. núm. 16. pp.1-10. <https://doi.org/10.1073/pnas.2020719118>
- Castellon, C.C, Tejeda, L.L, Tejeda, B.L. (2016). Evaluación de la degradación Ambiental de bolsas plásticas biodegradables. *Informador Técnico. Colombia*. Vol. 80. núm. 1. pp. 24- 31.
- Campoy P., Beiras R., (2019). Revisión: Efectos ecológicos de macro-, meso- y microplásticos. *Proyecto REPESCAPLAS2*. Actividad 4.3,35. pp.6-13.
- Castro M. (2017). Manual para el reciclaje de bolsas de plástico a través de la termofusión. Universidad de la República de Uruguay. Escuela Universitaria Centro de Diseño. <https://hdl.handle.net/20.500.12008/17096>
- Chang S.H. (2023) Plastic waste as pyrolysis feedstock for plastic oil production: A review. *Science of The Total Environment*. Vol. 877. pp.162719. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2023.162719>.
- Chávez C. S. (2016). Tesis Plan de Manejo Integral de Residuos Sólidos para Mercados Públicos Caso Estudio: Central de Abastos. Universidad Nacional Autónoma de México. México. <https://hdl.handle.net/20.500.14330/TES01000750959>
- Eriksen M., Lebreton L.C.M., Carson H.S., Thiel, M. Moore C.J., Borerro J.C., Galgani F., Ryan P.G., Reisser J. (2014). Plastic Pollution in the World's Oceans: More than 5 Trillion Plastic Pieces Weighing over 250,000 Tons Afloat at Sea. *PLOS ONE*. Vol. 9. núm. 12. pp.1-15 <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0111913>

Fredi G., Dorigato A. (2021). Recycling of bioplastic waste: A review. *Advanced Industrial and Engineering Polymer Research*. Vol. 4. núm 3. pp. 159-177. <https://doi.org/10.1016/j.aiepr.2021.06.006>

García E. G. T., & Hurtado J. D. P. (2016). Modelo de economía circular para la producción y el consumo sostenible en México. *ANFEI Digital*. Vol.6. pp. 1–11.

GDF (2003). Gobierno del Distrito Federal. Ley de Residuos Sólidos del Distrito Federal. Gaceta Oficial del Distrito Federal 22 de Abril. Última reforma publicada en la Gaceta Oficial de la Ciudad de México 3 de abril 2023.

GDF (2008). Gobierno del Distrito Federal. Reglamento de la Ley de Residuos Sólidos del Distrito Federal. Gaceta Oficial del Distrito Federal 7 de Octubre. Última reforma publicada en la Gaceta Oficial de la Ciudad de México 2 de enero 2020.

Geyer R. & Jambeck, J. & Law, K. (2017). Production, use, and fate of all plastics ever made. *Science Advances*. Vol. 3. núm. 7. pp. 1-5. DOI:10.1126/sciadv.1700782

Geyer R. (2020). Cap. 2. Production, use, and fate of synthetic polymers, Ed. Trevor M. Letcher. *Plastic Waste and Recycling*. Academic Press. 2020, pp. 13-32. <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-817880-5.00002-5>.

Gebre S. H., Sendeku M. G., Bahri M. (2021) Recent Trends in the Pyrolysis of Non-Degradable Waste Plastics. *ChemistryOpen*. Vol.10. núm. 12. pp. 1158-1268. <https://doi.org/10.1002/open.202100184>

George S. (2020) Cap.17. Plastics we cannot live without, Ed. Trevor M. Letcher. *Plastic Waste and Recycling*. Academic Press. pp. 449-466. <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-817880-5.00017-7>.

Góngora P.J. (2014). La industria del plástico en México y el mundo. *Comercio Exterior*. vol. 64. núm. 5. pp.6-9.

Heidbreder L.M., Bablok I., Drews S., Menzel C. (2019). Tackling the plastic problem: A review on perceptions, behaviors, and interventions. *Science of The Total Environment*. Vol. 668. pp.1077–1093. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2019.02.437>

Horodytska O., Valdés F.J., Fullana A. (2018). Plastic flexible films waste management- A state of art review. *Waste Management*. Vol. 77. pp. 413–425. <https://doi.org/10.1016/j.wasman.2018.04.023>

INEGI. (2017). Perfil de Fabricantes de productos Plásticos. Disponible en : https://www.inegi.org.mx/contenidos/productos/prod_serv/contenidos/espanol/bvinegi/productos/nueva_estruc/702825092894.pdf [fecha de consulta 20 de abril 2023]

Isobe A., Azuma T., Cordova M.R., *et al.* (2021) A multinivel dataset of microplastic abundance in the world's upper ocean and the Laurentian Great Lakes. *Microplastics and Nanoplastics*. Vol. 1. núm. 16. pp. 1 -14. <https://doi.org/10.1186/s43591-021-00013-z>

ISWA (International Solid Waste Association) (2022). Una gestión eficaz de los residuos y los recursos para vencer la contaminación por plásticos [En línea]. <https://www.iswa.org/> [fecha de consulta: 27 de mayo del 2023].

Jang Y.C., Lee G. , Kwon Y., Lim J. H., Jeong J. H.(2020).Recycling and management practices of plastic packaging waste towards a circular economy in South Korea. *Resources, Conservation and Recycling*, Vol. 158. Núm. 104798.

Kosior E., Crescenz I.,(2020). Cap. 16. Solutions to the plastic waste problem on land and in the oceans. Ed. Trevor M. Letcher. *Plastic Waste and Recycling*. Academic Press. pp. 415-446. <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-817880-5.00016-5>.

LGPGIR (2012). Ley General para la Prevención y Gestión Integral de los Residuos.México.Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales (SEMARNAT).

LGEEPA (2012). Ley General de Equilibrio Ecológico y Protección al Ambiente .México.Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales (SEMARNAT).

NADF-024-AMBT-2013. Separación de Residuos. Criterios y especificaciones técnicas bajo los cuales deberá realizar la separación, clasificación, recolección selectiva y almacenamiento de los residuos del Distrito Federal. Gaceta Oficial del Distrito Federal de 8 de Julio 2015.

NACDMX-010-AMBT-2019. Especificaciones técnicas que debe cumplir las bolsas y los productos plásticos de un solo uso. Gaceta de Oficial de la Ciudad de México de fecha 25 de febrero de 2022.

NADF-020-AMBT-2011. Requerimientos mínimos para la producción de composta a partir de fracción orgánica de los residuos sólidos urbanos, agrícolas, pecuarios y forestales, así como las especificaciones mínimas de calidad de la composta producida y/o distribuida en el Distrito Federal. Gaceta Oficial del Distrito Federal de 30 de noviembre 2012.

NMX-AA-015-1985. Protección al Ambiente - Contaminación del Suelo - Residuos Sólidos Municipales - Muestreo Método de Cuarteo. Diario Oficial de la Federación de fecha 6 de Noviembre 1992.

NMX-AA-019-1985. Protección al Ambiente - Contaminación del Suelo - Residuos Sólidos Municipales - Peso volumétrico "IN SITU". Diario Oficial de la Federación de fecha 6 de Noviembre 1992.

NMX-AA-022-1985. Protección al Ambiente - Contaminación del Suelo - Residuos Sólidos Municipales - Selección y Cuantificación de Subproductos. Diario Oficial de la Federación de fecha 6 de Noviembre 1992.

NMX-E-NYCE-2019. Industria del plástico – Plásticos compostables – Especificaciones y métodos de prueba. Diario Oficial de la Federación de fecha 16 de abril del 2020.

NOM-161-SEMARNAT-2011. Criterios para clasificar a los Residuos de Manejo Especial y determinar cuáles están sujetos a Plan de Manejo; el listado de los mismos, el procedimiento para la inclusión o exclusión a dicho listado; así como los elementos y procedimientos para la formulación de planes de manejo (2011) . Norma Oficial Mexicana de fecha 1 de febrero de 2013.

Plastics Europe. (2019). Plásticos-situación en 2019. Un análisis de los datos sobre la producción, demanda y residuos de los plásticos en Europa. Madrid, España.

Plastics Europe. (2020). Plásticos-situación en 2020. Un análisis de los datos sobre la producción, demanda y residuos de los plásticos en Europa. Madrid, España.

Plastics Europe. (2022). Plásticos-situación en 2022. Un análisis de los datos sobre la producción, demanda y residuos de los plásticos en Europa. Madrid, España.

Pohjakallio M., Vuorinen T., Oasmaa A. (2020) Cap. 13 - Chemical routes for recycling—dissolving, catalytic, and thermochemical technologies. Ed. Trevor M. Letcher. *Plastic Waste and Recycling*. Academic Press. pp. 359-384. <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-817880-5.00013-X>

Román. P., Martínez. M., Pantoja. A. (2013). Manual de Compostaje del Agricultor. Experiencias en América Latina. Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura. Oficina Regional para América Latina y el Caribe . Santiago, Chile.

Roos, Carolyn. (2010). Clean Heat and Power Using Biomass Gasification for Industrial and Agricultural Projects.

Sánchez, G. V. (2014). Cuantificación de bolsas de plástico en residuos sólidos urbanos. Proyecto de Integración de Ingeniería Ambiental. Universidad Autónoma Metropolitana Azcapotzalco. México.

Scott G. (2020) ‘Green’ polymers. *Polymer Degradation and Stability*. Vol. 68. núm. 1. Pages 1-7. [https://doi.org/10.1016/S0141-3910\(99\)00182-2](https://doi.org/10.1016/S0141-3910(99)00182-2)

SEDEMA. (2009). *Instructivo Para Llenado Del Formato Del Plan De Manejo De Residuos Sólidos Para Generadores No Sujetos a La LAUDF*.

SEDEMA. (2021). *Programa de Gestión Integral de Residuos para la Ciudad de México*. Disponible en : https://www.sedema.cdmx.gob.mx/storage/app/media/DGEIRA/PGIR/PGIR%202021-2025_N_ago21.pdf [fecha de consulta 26 de abril 2023]

SEDEMA. (2022). *Inventario de Residuos Sólidos de la Ciudad de México 2021*. Disponible en : <https://www.sedema.cdmx.gob.mx/storage/app/media/DGCPA/residuos/Inventariode>

ResiduosSolidos2021.pdf [fecha de consulta 26 de abril 2023]

SEMARNAT. (2019) Contaminación por plásticos en el océano, Cifras alarmantes. Disponible en : <http://www.gob.mx/semarnat/articulos/contaminacion-por-plasticos-en-el-oceano-cifrasalarmantes> [fecha de consulta 26 de abril 2021]

Serna L., & Albán F. (2003). Ácido poliláctico (PLA): Propiedades y aplicaciones. *Ingeniería y competitividad*. Vol. 5. núm. 1. pp. 16-26. <https://doi.org/10.25100/iyc.v5i1.2301>

Soler C., & Rubiano E. (2016). *Formulación de un plan de manejo ambiental para el proceso de la transformación de polímeros en formas básicas de plástico para la elaboración de productos en la empresa proserplast S.A.S.* Universidad Distrital Francisco José de Caldas. Bogotá, Colombia.

Standard Practice for Coding Plastic Manufactured Articles for Resin Identification. ASTM International. DOI:10.1520/D7611_D7611M-21

Tchobanoglous G., Theisen H., Vigil S., *Gestión Integral de Residuos Sólidos*, Ed. McGraw-Hill, 1998

Vázquez M. A., Sotelo N. P., Espinosa V. R., Velasco P. M., Quecholac P. X., Beltran V. M., Álvarez Z. J., (2018). Degradación y biodegradación de plástico. Asociación Nacional de la Industria Química. Comisión de la Industria del Plástico. Responsabilidad y desarrollo sostenible. DOI:[10.13140/RG.2.2.21504.48642](https://doi.org/10.13140/RG.2.2.21504.48642)

Zhongnan Jia, M. (2020) Biodegradable plastics: Breakingdown de facts production, composition and environmental impact, *Greenpeace East Asia* <https://www.greenpeace.org/static/planet4-eastasia-stateless/84075f56-biodegradable-plastics-report.pdf>

La contaminación por plásticos crece sin cesar, tanto que la gestión de residuos y el reciclaje se quedan cortos, dice la OCDE. (27 de febrero del 2022) <https://www.oecd.org/centrodemexico/medios/perspectivas-globales-del-plastico.htm>