



UNIVERSIDAD JUÁREZ AUTÓNOMA DE TABASCO

DIVISIÓN ACADÉMICA DE CIENCIAS BIOLÓGICAS



**ANÁLISIS DE LAS PROPIEDADES MECÁNICAS DE PLACAS DE HDPE  
RECICLADO COMO ALTERNATIVA PARA LA SUSTITUCIÓN DE  
MOBILIARIO INSTITUCIONAL DE MDF-MELAMINA**

TESIS PARA OBTENER EL TÍTULO DE:  
**LICENCIADO EN INGENIERÍA AMBIENTAL**

PRESENTA:

Yael Isaac Córdova López

BAJO LA DIRECCIÓN DE:

DR. JOSÉ RAMÓN LAINES CANEPA

EN CODIRECCIÓN DE:

M.C.A. JOSÉ AURELIO SOSA OLIVIER

VILLAHERMOSA, TABASCO. AGOSTO 2024.



**UNIVERSIDAD JUÁREZ  
AUTÓNOMA DE TABASCO**

"ESTUDIO EN LA DUDA. ACCIÓN EN LA FE"



**2024**  
*Felipe Carrillo  
PUERTO*

**DIVISIÓN ACADÉMICA DE CIENCIAS BIOLÓGICAS  
DIRECCIÓN**

Villahermosa, Tab., a 21 de Junio de 2024

**ASUNTO:** Autorización de Modalidad de Titulación

**C. LIC. MARIBEL VALENCIA THOMPSON  
JEFE DEL DEPTO. DE CERTIFICACIÓN Y TITULACION  
DIRECCIÓN DE SERVICIOS ESCOLARES  
P R E S E N T E**

Por este conducto y de acuerdo a la solicitud correspondiente por parte del interesado, informo a usted, que en base al reglamento de titulación vigente en esta Universidad, ésta Dirección a mi cargo, autoriza al **C. YAEL ISAAC CÓRDOVA LÓPEZ** egresado de la Lic. en **ING. AMBIENTAL** de la División Académica de **CIENCIAS BIOLÓGICAS** la opción de titularse bajo la modalidad de Tesis denominado: "**ANÁLISIS DE LAS PROPIEDADES MECÁNICAS DE PLACAS DE HDPE RECICLADO COMO ALTERNATIVA PARA LA SUSTITUCIÓN DE MOBILIARIO INSTITUCIONAL DE MDF-MELAMINA**".

Sin otro particular, aprovecho la ocasión para saludarle afectuosamente.

A T E N T A M E N T E

  
**DR. ARTURO GARRIDO MORA  
DIRECTOR DE LA DIVISIÓN ACADÉMICA  
DE CIENCIAS BIOLÓGICAS**

**U.J.A.T.  
DIVISIÓN ACADÉMICA  
DE CIENCIAS BIOLÓGICAS**



**DIRECCIÓN**

C.c.p.- Expediente Alumno de la División Académica  
C.c.p.- Interesado



**UNIVERSIDAD JUÁREZ  
AUTÓNOMA DE TABASCO**

"ESTUDIO EN LA DUDA. ACCIÓN EN LA FE"



**2024**  
Felipe Carrillo  
PUERTO

**DIVISIÓN ACADÉMICA DE CIENCIAS BIOLÓGICAS  
DIRECCIÓN**

JUNIO 21 DE 2024

**C. Yael Isaac Córdova López  
PAS. DE LA LIC. EN ING. AMBIENTAL  
P R E S E N T E**

En virtud de haber cumplido con lo establecido en los Arts. 80 al 85 del Cap. III del Reglamento de titulación de esta Universidad, tengo a bien comunicarle que se le autoriza la impresión de su Trabajo Recepcional, en la Modalidad de Tesis denominado: **"ANÁLISIS DE LAS PROPIEDADES MECÁNICAS DE PLACAS DE HDPE RECICLADO COMO ALTERNATIVA PARA LA SUSTITUCIÓN DE MOBILIARIO INSTITUCIONAL DE MDF-MELAMINA"**, asesorado por el Dr. José Ramón Laines Canepa y MCA. José Aurelio Sosa Oliver, sobre el cual sustentará su Examen Profesional, cuyo jurado está integrado por el Dr. José Roberto Hernández Barajas, Dra. Melina del Carmen Uribe López, Dr. José Ramón Laines Canepa, MIPA. Augusto Escobar Márquez y QBP. Leonardo García Hernández.

**A T E N T A M E N T E  
ESTUDIO EN LA DUDA. ACCIÓN EN LA FE**

**DR. ARTURO GARRIDO MORA  
DIRECTOR**

U.J.A.T.  
DIVISIÓN ACADÉMICA  
DE CIENCIAS BIOLÓGICAS



**DIRECCIÓN**

C.c.p.- Expediente del Alumno.  
Archivo.

KM. 0 5 CARR. VILLAHERMOSA-CÁRDENAS ENTRONQUE A BOSQUES DE SALOYA  
Tel. (993) 358-1500 Ext. 6400 y 6401. e-mail: direccion.daebi@ujat.mx

Usar papel reciclado economiza energía, evita contaminación y desperdicio de agua y ayuda a conservar los bosques

www.ujat.mx



**UNIVERSIDAD JUÁREZ  
AUTÓNOMA DE TABASCO**

"ESTUDIO EN LA DUDA. ACCIÓN EN LA FE"



**2024  
Felipe Carrillo  
PUERTO**  
PROFESOR DE INVESTIGACIÓN  
CONFORME A LA LEY FEDERAL  
DE PROFESIONES  
MÉXICO

**DIVISIÓN ACADÉMICA DE CIENCIAS BIOLÓGICAS  
DIRECCIÓN**

21 de junio de 2024

**C. Yael Isaac Córdova López**  
**Pasante de la Lic. en Ingeniería Ambiental.**  
**PRESENTE**

En cumplimiento de los lineamientos de la Universidad Juárez Autónoma de Tabasco, se implementó la revisión del trabajo recepcional (Tesis), a través de la plataforma Turnitin iThenticate para evitar el plagio e incrementar la calidad en los procesos académicos y de investigación en esta División Académica. Esta revisión se realizó en correspondencia con el Código de Ética de la Universidad y el Código Institucional de Ética para la Investigación.

Por este conducto, hago de su conocimiento las observaciones, el índice de similitud y el reporte de originalidad obtenido a través de la revisión en la plataforma iThenticate de su documento de tesis "Análisis de las propiedades mecánicas de placas de HDPE reciclado como alternativa para la sustitución de mobiliario institucional de MDF-Melamina"

**OBSERVACIONES:**

Se excluyó bibliografía y se limitó el tamaño de coincidencias a 15 palabras.

<b>RESULTADO DE SIMILITUD</b>	<b>17 %</b>
	<b>14868 palabras, 107 coincidencias y 62 fuentes</b>

Finalmente, se le solicita al **C. Yael Isaac Córdova López**, integrar en la versión final del trabajo recepcional (Tesis), este oficio y el informe de originalidad con el porcentaje de similitud de Turnitin iThenticate.

Sin otro particular al cual referirme, aprovecho la oportunidad para enviarle un cordial saludo.

ATENTAMENTE  
"ESTUDIO EN LA DUDA. ACCIÓN EN LA FE"

  
**DR. ARTURO GARRIDO MORA**  
**DIRECTOR**

**S.J.A.T.**  
**DIVISIÓN ACADÉMICA**  
**DE CIENCIAS BIOLÓGICAS**



C.c.p. Dr. José Ramón Laines Canepa. Director de tesis.  
C.c.p. M. en C. José Aurelio Sosa Olivier. Codirector de tesis  
C.c.p. Archivo

## CARTA AUTORIZACIÓN

El que suscribe, autoriza por medio del presente escrito a la Universidad Juárez Autónoma de Tabasco para que utilice tanto física como digitalmente el Trabajo Recepcional en la modalidad de Tesis de Licenciatura denominado: **“ANÁLISIS DE LAS PROPIEDADES MECÁNICAS DE PLACAS DE HDPE RECICLADO COMO ALTERNATIVA PARA LA SUSTITUCIÓN DE MOBILIARIO INSTITUCIONAL DE MDF-MELAMINA”**, de la cual soy autor y titular de los Derechos de Autor.

La finalidad del uso por parte de la Universidad Juárez Autónoma de Tabasco el Trabajo Recepcional antes mencionada, será única y exclusivamente para difusión, educación y sin fines de lucro; autorización que se hace de manera enunciativa más no limitativa para subirla a la Red Abierta de Bibliotecas Digitales (RABID) y a cualquier otra red académica con las que la Universidad tenga relación institucional.

Por lo antes manifestado, libero a la Universidad Juárez Autónoma de Tabasco de cualquier reclamación legal que pudiera ejercer respecto al uso y manipulación de la tesis mencionada y para los fines estipulados en este documento.

Se firma la presente autorización en la ciudad de Villahermosa, Tabasco el Día 21 de Junio de Dos Mil Veinticuatro.

AUTORIZO



---

Yael Isaac Córdova López

## Agradecimientos

- Agradecimiento al Consejo de Ciencia y Tecnología del Estado de Tabasco, por el apoyo para llevar a cabo este proyecto.



Este proyecto fue financiado por CCYTET PRODECTI-2022-01/20, Modalidad "A".

Nombre del proyecto: Construcción de máquinas y equipos ecológicos para la elaboración de tablas plásticas de polietileno de alta densidad y polipropileno.

- Agradezco a mis compañeros y amigos del Centro de Acopio y Tratamiento de Residuos de la DACBiol, por su apoyo constante y sincero en el desarrollo de este proyecto.



- Agradecimiento al Dr. José Ramón Laines Canepa, por el apoyo personal, motivacional, científico, y económico, durante el desarrollo de los equipos y ejecución del proyecto de tesis.
- Agradezco con sinceridad al M.C.A. José Aurelio Sosa Olivier, por su apoyo personal, motivacional, y científico, tanto en el desarrollo como en la ejecución de este proyecto de tesis.
- Agradecimiento al Ing. Narciso Ovando García, del Tecnológico Nacional de México Campus Villahermosa, por las facilidades otorgadas para permitirme el uso de su laboratorio y la realización de pruebas mecánicas.

## Tabla de Contenido

1	Introducción .....	9
2	Objetivos .....	12
3	Justificación.....	13
4	Marco Teórico .....	15
<b>4.1</b>	<b>Plásticos</b> .....	<b>15</b>
4.1.1	Clasificación de los tipos de plásticos.....	15
4.1.2	Impacto ambiental de los plásticos.....	18
4.1.3	Contaminación de Ecosistemas Marinos .....	20
4.1.4	Impacto en la Fauna Terrestre .....	21
4.1.5	Problemas a la Salud Humana.....	23
4.1.6	Persistencia en el Medio Ambiente .....	26
<b>4.2</b>	<b>Polietileno de Alta Densidad</b> .....	<b>28</b>
4.2.1	Propiedades y Características del Polietileno de Alta Densidad (HDPE).....	28
4.2.2	Aplicaciones Actuales del HDPE en la Industria de la Construcción e inmobiliaria .....	31
5	Materiales y método .....	33
<b>5.1</b>	<b>Etapa 1</b> .....	<b>33</b>
5.1.1	Clasificación de los residuos plásticos acopiados en el CATRE de la DACBiol-UJAT.....	33
<b>5.2</b>	<b>Etapa 2</b> .....	<b>36</b>
5.2.1	Identificación y selección del plástico adecuado para convertirlo en placas .....	36
5.2.2	Registro y seguimiento.....	37
<b>5.3</b>	<b>Etapa 3</b> .....	<b>38</b>
5.3.1	Molienda .....	38
5.3.2	Inspección de Calidad.....	40
<b>5.4</b>	<b>Etapa 4</b> .....	<b>41</b>
5.4.1	Fundición.....	41
<b>5.5</b>	<b>Etapa 5</b> .....	<b>43</b>
5.5.1	Moldeado y Prensado .....	43
5.5.2	Desmoldeado .....	44
5.5.3	Extracción de las Tablas.....	45
5.5.4	Acabado de la Placa de Plástico de HDPE .....	45
<b>5.6</b>	<b>Pruebas mecánicas</b> .....	<b>47</b>

5.6.1	Resistencia a la compresión .....	47
5.6.2	Resistencia a la flexión .....	49
5.6.3	Comparación de resultados obtenidos en compresión y flexión en base a la NOM-N-45-C-1981, Productos para oficina - mobiliario - sillería - métodos de prueba. Así como el aviso de la Declaratoria de Vigencia .....	50
6	Resultados .....	51
6.1	<b>Clasificación de los residuos acopiados en el CATRE de la DACBioI-UJAT. .</b>	51
6.2	<b>Identificación de acuerdo a la clasificación de los plásticos acopiados en CATRE, cual es el que reunió las cualidades para convertirlo en placas ecológicas.</b>	52
6.3	<b>Diseño del proceso de fabricación de placas ecológicas de HDPE .</b>	52
6.4	<b>Resultados de las pruebas de compresión y flexión</b> .....	53
6.4.1	Resistencia a la compresión .....	53
6.4.2	Resistencia a la flexión .....	54
6.5	<b>Discusión de los resultados de las pruebas de resistencia a la compresión y flexión</b> .....	55
6.5.1	Sobre las pruebas de compresión .....	55
6.5.2	Sobre las pruebas de flexión .....	57
7	Discusión .....	61
7.1	<b>Elección del plástico adecuado para convertirlo en placas ecológicas</b> .....	61
7.1.1	La elección del HDPE como el material para ser usado en el proceso se fundamenta en que:	61
7.2	<b>Resultados de las pruebas de compresión y flexión</b> .....	61
7.2.1	Resistencia a la compresión .....	61
7.2.2	Después del análisis estadístico en la resistencia a la flexión.....	62
7.2.3	Comparación de resultados obtenidos en compresión y flexión en base a la NOM-N-45-C-1981, Productos para oficina - mobiliario - sillería - métodos de prueba. Así como el aviso de la Declaratoria de Vigencia .....	64
7.2.4	Comparación entre los resultados de pruebas de compresión y flexión.....	65
8	Conclusión .....	67
9	Referencias.....	68

## 1 Introducción

El manejo inadecuado de los residuos plásticos es un problema mundial. La creciente conciencia ambiental a nivel global denota la importancia de enfrentar desafíos ambientales que impulsen una búsqueda constante de soluciones innovadoras que posibiliten el uso de residuos, convirtiéndolos en materiales en lugar de simplemente desechos generados por la actividad humana. En el panorama internacional se demarcan los objetivos de las organizaciones mundiales como el de la Organización de las Naciones Unidas (ONU) que ha expresado en el informe de 2023 “Cerrar el grifo: cómo el mundo puede poner fin a la contaminación por plásticos y crear una economía circular”, una gran preocupación por el impacto ambiental y la contaminación causada por los plásticos, señalando que en el año 2040 todavía habrá que tratar de forma segura cerca de 100 millones de toneladas métricas de plásticos procedentes de productos de un solo uso y de vida corta, además del importante conjunto de contaminación plástica existente (ONU, 2023).

Diversas organizaciones internacionales han realizado informes, declaraciones y programas relacionados con este tema. Entre ellos, se destacan la preocupación por la contaminación de los océanos, tanto por microplásticos como por macroplásticos. Además, se han implementado programas con objetivos claros hacia el desarrollo sostenible, buscando mitigar los impactos negativos de los plásticos en el medio ambiente. Por su parte, la Organización de las Naciones Unidas para la Educación, la Ciencia y la Cultura (UNESCO) ha alentado la investigación científica para comprender mejor el impacto de los plásticos en el medio ambiente y desarrollar soluciones efectivas ya que “cerca de ocho millones de toneladas de plástico van a parar a los océanos anualmente” (Torres *et al.*, 2021); también ha promovido la colaboración internacional en la investigación sobre los microplásticos y su efecto en los ecosistemas mediante su informe “Océanos, Cambio de rumbo”. Por su parte, la Organización Mundial de la Salud (OMS) ha abogado por la reducción del uso de plásticos de un solo uso y la promoción de prácticas más sostenibles en la gestión de residuos “Necesitamos urgentemente más datos sobre los efectos en la salud de los

microplásticos, que están presentes en todas partes” (World Health Organization: WHO, 2019)

En México, la Secretaría del Medio Ambiente y Recursos Naturales (SEMARNAT) por su función como organización encargada, mantiene una vigilancia hacia la gestión de residuos sólidos, promueve programas de educación y concientización, demarca iniciativas como la prohibición de plásticos de un solo uso, y la promoción del reciclaje. En Tabasco, se han elaborado informes de estudios de universidades estatales y nacionales sobre la problemática de los plásticos, desde perspectivas variadas. Como en el estudio realizado por Ferrer (2019) en el que establece que cada tabasqueño produce aproximadamente 900 g/día de residuos y 49 kg/año de plásticos, ya que el 90 por ciento de los productos para el consumo e higiene personal son envasados con este material, en esa encuesta realizada encontró que los artículos más comunes son botellas y bolsas, ya que así como diversos comercios como abarroteras, ofrecen bolsas, las empresas de bebidas también reciben muchas solicitudes de sus productos. Reciclar estos materiales es complicado porque no existe una cultura de reciclaje establecida ni una política pública de apoyo (Ferrer, 2019).

En el actual escenario, los plásticos reciclados suponen una propuesta alentadora en el área de la construcción y mobiliario, encaminados a sustituir compuestos convencionales degradables por opciones más ecológicas. En relación con esta corriente, las placas ecológicas de plástico han surgido como una alternativa inteligente que amalgama la reutilización de desechos plásticos con la fabricación de materiales constructivos de menor huella ambiental. Se ha llevado a cabo un proyecto en el interior de la División Académica de Ciencias Biológicas (DACBiol) de la Universidad Juárez Autónoma de Tabasco (UJAT) con desarrollo experimental, y de evaluación de placas de plástico, proponiendo su uso como reemplazo en diferentes aplicaciones de MDF (Medium Density Fiberboard, por sus siglas en inglés) y melamina en una Institución de Educación Superior (IES).

La presente investigación tiene como objetivo evaluar las propiedades físicas y mecánicas de las placas ecológicas de HDPE en comparación con sus contrapartes

hechas de MDF-melamina. Como señala Ugalde *et al.* (2020), la melamina es la chapa que recubre el aglomerado, que está compuesto por aserrín o el MDF, también su estudio muestra que solamente el 22 % del total de entrevistados tiene conciencia del problema ambiental y demuestra preocupación por consumir menos madera, buscar sustitutos de la misma o, al menos, manifiesta disposición a pagar un “plus” por madera que proceda de un manejo sostenible.

La utilización de residuos plásticos para la fabricación de placas supone una alternativa sostenible a la MDF-Melamina, el uso ecológicamente aceptable de residuos plásticos para fines de construcción tiene beneficios ambientales y económicos. Estos residuos se han utilizado efectivamente para hacer ladrillos de plásticos más baratos, y de buena eficiencia. Iftikhar *et al.* (2023) señala que cuando la proporción de plástico es baja existe un aumento en la absorción de agua y una disminución en la resistencia a la compresión, lo cual implica la realización de pruebas como ensayos de compresión y flexión; en para experimentos usando residuos plásticos en relaciones 30-70 con cemento donde el ladrillo mostró un bajo nivel de absorción de agua (0,29%) y resistencia a la flexión (ruptura a 45° con presión promedio de 831,312.88 Pa), lo que lo hace resistente. La resistencia a la compresión fue alta en ambas direcciones. Sin embargo, se clasifica como frágil en términos de análisis de tensión-deformación (Molina, 2007). Con el fin de determinar la adecuación de estos materiales para su aplicación en mobiliario, se llevó acabo la evaluación de compresión y flexión. Para Gaggino (2008) los resultados de los ensayos sugieren que las placas de ladrillos fabricadas con plásticos reciclados son una alternativa viable a las placas de ladrillos tradicionales, sustituyendo materiales a base de MDF-melamina, ya que este material se degrada rápido en comparación con los plásticos, y su residuo es prácticamente inviable para reciclaje. Los resultados obtenidos aportan conocimiento fundamental sobre las propiedades de las placas a base de plástico que permiten a instancias públicas y privadas, darle un nuevo uso a sus residuos, y ayuden a evitar la contaminación por plásticos al aminorar los desechos que devienen de estos.

## 2 Objetivos

### Objetivo general:

- Evaluar las propiedades mecánicas de las placas ecológicas de HDPE como alternativa sostenible a la mezcla MDF-melamina convencional en aplicación en el sector educativo.

### Objetivos específicos:

1. Clasificar los residuos acopiados en el Centro de Acopio y Tratamiento de Residuos (CATRE) de la DACBiol-UJAT.
2. Identificar de acuerdo a la clasificación de los plásticos acopiados en CATRE, cual es el que reúne las cualidades para convertirlo en placas ecológicas.
3. Diseñar un proceso de fabricación de placas ecológicas de acuerdo al plástico que reúne las cualidades para convertirlo en placas.
4. Determinar las resistencias a la compresión y flexión de las placas ecológicas.

### 3 Justificación

La presente tesis se proyecta como una respuesta a la necesidad de abordar desafíos ambientales, específicamente en la Universidad Juárez Autónoma de Tabasco (UJAT), específicamente en la División Académica de Ciencias Biológicas (DACBiol), donde se genera una considerable cantidad de residuos plásticos provenientes de actividades académicas, administrativas, y estudiantiles cotidianas. A pesar de este flujo constante de residuos, la disposición adecuada y el reciclaje de este material se ven obstaculizados por la baja demanda y fluctuante precio en los centros de acopio, lo que representa una problemática tanto económica como ambiental.

La importancia de esta investigación radica en su enfoque renovador y su potencial contribución al desarrollo sostenible de la región. Busca aprovechar y revalorizar los plásticos, un residuo subutilizado, transformándolo en una materia prima para la fabricación de placas ecológicas. Siguiendo los lineamientos de la Ley General para la Prevención y Gestión Integral de los Residuos (LGPGIR) y los principios del Desarrollo Sostenible, esta iniciativa no solo busca reducir la cantidad de residuos plásticos en el entorno, sino también aportar a la construcción de un futuro más sostenible y respetuoso con el medio ambiente.

Este trabajo aborda una necesidad crítica en el ámbito educativo, específicamente en la DACBiol-UJAT, al explorar y evaluar la viabilidad física y técnica de la implementación de Placas Ecológicas como alternativa sostenible a la convencional mezcla de MDF-melamina en la fabricación de mobiliario escolar. Este enfoque responde a la creciente urgencia de adoptar prácticas más ecológicas y sostenibles en entornos académicos, promoviendo una gestión eficiente de los recursos y contribuyendo a la reducción de la huella ambiental.

La elección de la DACBiol-UJAT como campo de estudio y experimentación se justifica por su idoneidad para abordar el problema desde su fuente primaria: la generación de residuos plásticos en un entorno académico. Aquí, el plástico se utiliza en diversas actividades cotidianas, lo que ofrece un contexto ideal para la investigación. La experimentación se llevó a cabo a través de la fabricación de las placas ecológicas y

su posterior comparación con las de MDF-melamina convencional en términos de propiedades mecánicas. El beneficio será para el sector educativo y el medio ambiente en general, al buscar disminuir la cantidad de plásticos que no se disponen adecuadamente, y generar una alternativa sostenible en la sustitución de materiales con los que se fabrica el mobiliario escolar.

Universidad Juárez Autónoma de Tabasco.  
México

## 4 Marco Teórico

### 4.1 Plásticos

#### 4.1.1 Clasificación de los tipos de plásticos







Los plásticos son polímeros sintéticos de alta flexibilidad, durabilidad y bajos costos de producción que han reemplazado a los materiales tradicionales en innumerables aplicaciones. Su ventaja en la industria es también su principal desventaja, ya que se descomponen lentamente, permanecen en el medio ambiente durante cientos de años después de ser desechados y crean residuos plásticos más pequeños, conocidos como microplásticos (MP), (Celi-Simbaña, 2023).


Desde su surgimiento, el plástico ha evolucionado considerablemente en su forma y características, reflejando adaptaciones continuas para satisfacer las demandas cambiantes a lo largo del tiempo. Esta adaptabilidad ha resultado en la clasificación principal de los plásticos en dos categorías fundamentales: naturales y sintéticos. Además, según su estructura interna, se subdividen en termoplásticos, termoestables y elastómeros.

Estos cambios continuos en el material tienen un impacto directo en su capacidad de reciclaje. Los elementos constituyentes de los plásticos determinan la viabilidad de recuperar material de estos para su reutilización, estableciendo así una cadena de consumo menos perjudicial para el medio ambiente.

Los diversos tipos de plásticos se han clasificado mediante una tipología establecida por el Código de Identificación de Plástico. Este sistema, creado por la Sociedad de la Industria de Plásticos en 1988 (SPI, por sus siglas en inglés), es internacionalmente reconocido en el sector industrial y facilita la identificación del material y su potencial reciclaje, como se muestra en la *Tabla 1*.

Tabla 1. Clasificación de los tipos de plástico, símbolos empleados para su identificación, usos comunes, y facilidad de reciclaje. En base a la Sociedad de Industrias del Plástico (SPI)

NÚMERO DE RECICLADO	SÍMBOLO	ABREVIACIÓN	NOMBRE	USOS	REUTILIZADO EN	RECICLABLE
1		PET o PETE	Poliétileno Tereftalato	Botellas de agua, bandejas, cuerdas, peines, blisters	Textiles, alfombras, almohadas, chalecos salvavidas, velas de barco, abrigos	Sí
2		HDPE	Poliétileno de Alta Densidad	Botellas de zumo y leche, bolsas de compra, botes de champú, botes de detergente	Cajones de plástico, vallas	Sí
3		PVC	Policloruro de Vinilo	Tuberías, blisters, bandejas, zapatillas, canalones, marcos de ventanas, tarjetas de crédito	Suelos, partes de casas móviles, tuberías, cables	Sí, pero no en su totalidad
4		LDPE	Poliétileno de Baja Densidad	Botellas de miel, bolsas de comida congelada, film, tapas flexibles de contenedores	Papeleras	Sí, pero con dificultad
5		PP	Polipropileno	Pañales, tappers, envases, botes de yogur, platos y vasos desechables	Rastrillos, rascadores	Difícilmente
6		PS	Poliestireno	Vasos de café, bandejas, blisters	Aislamiento, reglas	Sí, en otros envases

7		Otros	Otros Plásticos (policarbonato, estireno, nylon, etc)	CDs de plástico, biberones, gafas	Construcción	No
---	---	-------	--	--------------------------------------	--------------	----

El sistema de codificación SPI (Sociedad de Industrias de Plástico) representa un método estandarizado para la identificación de residuos de plástico presentes en botellas y contenedores de uso común, tanto en entornos domésticos como industriales. Este sistema de codificación goza de aceptación global.

La identificación de envases plásticos susceptibles de ser recuperados se realiza mediante la observación de la codificación del Sistema de Identificación SPI, la cual se encuentra ubicada en la base de los envases y está rodeada por tres flechas. Dentro de este símbolo, se presenta un número acompañado por siglas en la parte inferior, ambos elementos hacen referencia a la composición química específica del plástico.

La gran mayoría de los envases de plástico se confecciona utilizando una de las seis resinas predeterminadas identificadas por el SPI. Además, el sistema incluye un código designado como "Otros", el cual indica que el producto en cuestión está fabricado con una resina diferente a las seis mencionadas anteriormente, o bien, con una combinación de estas.

En México, la norma mexicana NMX-E-232-SCFI -1999, para la Industria del Plástico - Reciclado de plásticos - Simbología para la identificación del material constitutivo de artículos de plástico – Nomenclatura, “establece y describe los símbolos de identificación que deben portar los productos fabricados de plástico en cuanto a su material se refiere con la finalidad de facilitar su recolección, selección, separación, acopio, reciclado y/o reaprovechamiento” señalado por la Secretaría de Comercio y Fomento Industrial (Secretaría de Economía, 1999).

#### 4.1.2 Impacto ambiental de los plásticos

La omnipresencia de los plásticos en la sociedad moderna ha llevado a una crisis ambiental de proporciones considerables. Hoy en día, los plásticos se producen masivamente para satisfacer nuevas demandas, lo que incentiva su consumo constante. Los desechos plásticos componen un problema ambiental a nivel global, ya que se acumulan en los ecosistemas y en los organismos a través de las redes tróficas, bajo la forma de microplásticos, macroplásticos, y nanoplásticos (Flores, 2020). La mayoría de los materiales plásticos producidos se utilizan para fabricar productos desechables como envases o botellas (García *et al.*, 2018). Estos polímeros versátiles, aunque han transformado la forma en que vivimos, también han generado consecuencias negativas significativas para nuestro entorno. Se estima que en 2015 se produjeron más de 6000 millones de toneladas métricas de residuos plásticos donde solo alrededor del 9% fue reciclado, un 12% fue incinerado y el 79 % restante fue acumulado en el medioambiente (Geyer *et al.*, 2017).

Aunque no existe una definición estandarizada del concepto de microplásticos, parece haber sido discutido formalmente en la primera conferencia internacional sobre la aparición, el impacto y el destino de los microplásticos marinos, realizada en 2008 y organizada por el Servicio Nacional Oceánico de Estados Unidos y la Administración Nacional Atmosférica (NOAA). Los participantes acordaron un límite máximo de 5 mm como criterio para considerar microplásticos. Por otro lado, en el campo de los nanomateriales, se consideran nanoplásticos aquellos con dimensiones inferiores a 100 nm (Koelmans *et al.*, 2015).

El destino final de los plásticos es la naturaleza, y mayoritariamente el océano, donde comienza su degradación, entendida como un amplio conjunto de procesos. Esta degradación puede ser térmica, por radiaciones, mecánica, química y biológica (Posada, 2012). La degradación del plástico depende de factores como el tipo de polímero, la edad y las condiciones ambientales (temperatura, radiación solar, pH, etc.), independientemente de ello, el proceso se produce muy lentamente. La

consecuencia directa de la degradación es la fragmentación del material, creándose miles de fragmentos (López-Fernández *et al.*, 2021).



Figura 1. “La contaminación plástica se ha convertido en uno de los desafíos ambientales más apremiantes de nuestro tiempo”. Tomado de: Detengamos el flujo de residuos plásticos. (2020, 10 abril).

### 4.1.3 Contaminación de Ecosistemas Marinos

Los océanos y mares, son los ecosistemas más estudiados en cuanto a la presencia de microplásticos y han sido documentados en casi todos los tipos de ambientes marinos, de agua dulce, y playas (Castañeta, 2020).

La acumulación masiva de desechos plásticos en los océanos ha generado la formación de gigantescas islas de basura, afectando la vida marina y los ecosistemas acuáticos. Existen millones de desechos plásticos flotantes resultantes y forman remolinos de residuos, regados por corrientes oceánicas de agua superficial. Aunque se encuentra en todos los océanos, el más grande se ubica en el Pacífico Norte y cubre un área cercana de entre 1.7 a 3.4 millones de km<sup>2</sup> (García *et al.*, 2018).

La persistencia de los plásticos contribuye al hecho de que estos se acumulan en cantidades crecientes en el entorno marino (Copello y Quintana, 2003; Ogi *et al.*, 1999).

Las criaturas marinas a menudo ingieren partículas de plástico, causando daños internos, interrupciones en las cadenas alimentarias y amenazando la biodiversidad marina. Los efectos de esta contaminación son particularmente alarmantes. Además de asfixia, lesiones, deformidades, etc., que afectan principalmente a cetáceos, crustáceos y aves, los residuos microplásticos pueden entrar en la cadena alimentaria marina; A las cuestiones físicas se suma la introducción de sustancias tóxicas en la biomasa marina (Eriksen *et al.*, 2014).



Figura 2. Gran Mancha del Pacífico Norte. Asadi, D. A. (Fotografía).

Un estudio sugiere que los microplásticos son ubicuos y tenían bajas concentraciones en los sedimentos, especialmente en su distribución a lo largo de un río donde los resultados fueron irregulares e inesperados, también los lugares donde menos se detectaron microplásticos fueron en sedimentos de zonas de aguas residuales cercanas a las industrias (Castañeda *et al.*, 2014).

#### 4.1.4 Impacto en la Fauna Terrestre

Actualmente, el uso masivo de plástico en todo el mundo ha provocado la aparición de una gran cantidad de residuos plásticos, provocando graves problemas medioambientales al acumularse en el suelo. Animales terrestres y aves a menudo quedan atrapados en desechos plásticos o los confunden con alimentos, lo que lleva a lesiones y muertes evitables, ya “que interrumpen niveles en la cadena trófica, se van incluyendo en las diferentes cadenas tróficas y también están relacionados con

impactos físicos en la biota como el enredo, inanición y asfixia de varias especies de vida silvestre” (Martín *et al.*, (2021), Stanton *et al.* (2020)). Los restos de las bolsas y otros productos plásticos se transforman en microplásticos, que se acumulan en las playas del litoral costero (Purca *et al.*, 2017). Además, los desechos plásticos pueden contener contaminantes emergentes como medicamentos y pesticidas. La descomposición lenta de ciertos plásticos libera sustancias químicas tóxicas en el suelo, afectando la salud de los ecosistemas terrestres (Martín *et al.*, 2021). En el caso de los ambientes terrestres, se ha documentado que los microplásticos en el suelo causan problemas a las lombrices, reduciendo su vida útil y provocando que pierdan el 3% de su peso corporal cuando se exponen a desechos o materiales procedentes como el polietileno de alta densidad (HDPE), utilizado en envases y algunos bolsos (Rivas y Garelli, 2021). Se estima que la contaminación por microplásticos en el medio terrestre es de 4 a 23 veces mayor que la contaminación marina. Un ejemplo de ello es la contaminación que provocan las fibras textiles, que quedan atrapadas en los lodos de depuradoras de aguas residuales, muchas veces utilizados como fertilizante, lo que provoca que toneladas de microplásticos acaben en el suelo («Contaminación por plásticos. Uno de los mayores desafíos ambientales del siglo XXI.», 2020).

En el año 2020, se publicó en la revista *Proceedings of the Royal Society* el primer estudio de campo que analiza el impacto de los microplásticos en la fauna del suelo. El artículo destaca que la contaminación por microplásticos en el suelo ha provocado una disminución de las especies que viven debajo de la superficie, como ácaros, larvas y otros organismos diminutos que mantienen la capacidad de sobrevivir a la fertilidad de la tierra (United Nations Environment Programme, 2020).

Se han encontrado microplásticos en latitudes altas y bajas en diversos ecosistemas terrestres, como tierras agrícolas, áreas urbanas e industriales, e incluso en zonas montañosas remotas (Lin *et al.*, 2020).

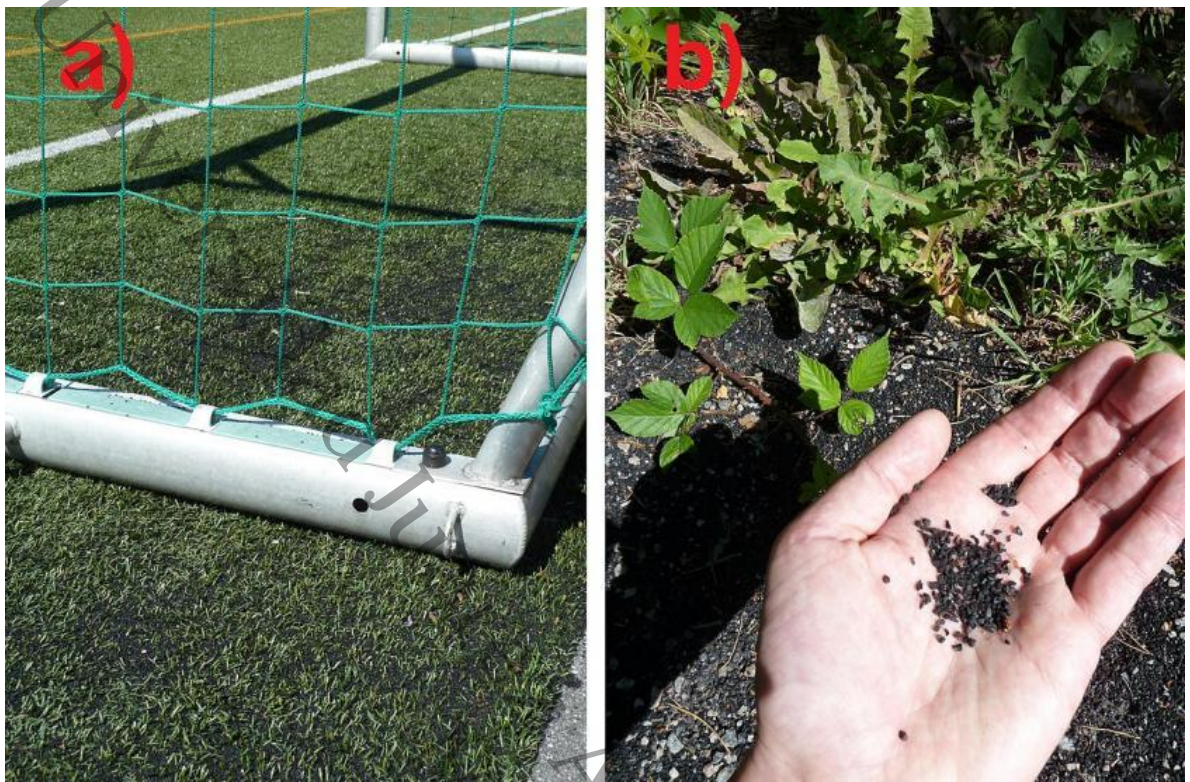


Figura 3. A la izquierda: Un campo de fútbol de césped artificial hecho con residuos de caucho de neumáticos utilizados para amortiguar. A la derecha: Microplásticos del mismo campo, drenados por la lluvia y encontrados en un arroyo cercano en Kristiansand, Noruega. Tomado de: United Nations Environment Programme. (2021).

#### 4.1.5 Problemas a la Salud Humana

La contaminación plástica es una de las amenazas globales actuales y se considera uno de los indicadores más importantes para evaluar el impacto de la sociedad humana en el medio ambiente (Stanton *et al.*, 2020).

La liberación de microplásticos en fuentes de agua potable y alimentos plantea riesgos para la salud humana, con posibles consecuencias a largo plazo aún por descubrir completamente, se consideran como un vector de transporte de contaminantes y patógenos (Campanale *et al.*, 2020).

La producción y descomposición de plásticos liberan compuestos químicos que pueden tener efectos adversos en la salud respiratoria y hormonal de las comunidades cercanas a instalaciones de fabricación. En cuanto a la toxicidad, la Agencia Internacional para la Investigación del Cáncer (IARC) ha incluido algunos plásticos, sus componentes o derivados en la lista clasificada de carcinógenos. Algunos plásticos, como el PVC (policloruro de vinilo) y el PS (poliestireno), se clasifican en el grupo 3, considerado como "no cancerígeno para los seres humanos", algunos de sus ingredientes o derivados, como el policloruro de vinilo (PVC), el poliestireno (PS) y ciertos derivados de ftalato, se encuentran en grupos con riesgo cancerígeno: grupo 1 ("carcinógeno para humanos"), y grupo 2A ("posiblemente cancerígeno para humanos") (Clara, 2020).

Se han confirmado las preocupaciones iniciales de que las partículas de MP pudieran entrar en la dieta humana: se estima que, una vez ingeridas, las partículas de PM pueden llegar al cerebro. Aunque se sabe poco sobre su potencial neurotóxico real, la presencia de estas sustancias tóxicas provoca estrés oxidativo, inhibe la actividad de la enzima acetilcolinesterasa y altera los niveles de neurotransmisores. Los factores neurológicos que provocan daño celular y una mayor vulnerabilidad conducen al desarrollo de trastornos neurológicos, lo que lleva a cambios de comportamiento (Schwabl *et al.*, 2019).



Figura 4. “Los microplásticos en el aire provocan que respiremos como una tarjeta de metro a la semana”. (Ilustración: Ivan Ortiz). Tomado de: Juárez, D. (2023, 29 enero).

Las consecuencias para la salud del problema con los microplásticos siguen siendo inciertas. En marzo de 2022, se descubrieron microplásticos en las regiones inferiores de los pulmones humanos. Esto es especialmente a nivel de los alveolos, que nos permiten respirar (Juárez, 2023).

Los seres humanos también ingieren microplásticos a través de los alimentos: estas partículas se han detectado no sólo en pescados y mariscos, sino también en la sal, el azúcar o la cerveza. Se cree que la acumulación de plástico en los organismos terrestres es inherentemente común, incluso en especies que producen sus propios nutrientes y no necesitan alimentarse de otros seres (autótrofos). Se han detectado acumulaciones de pequeños trozos de plástico en levaduras y hongos filamentosos (De Souza Machado *et al.*, 2018).

#### 4.1.6 Persistencia en el Medio Ambiente

La resistencia natural de muchos plásticos a la descomposición significa que persisten en el medio ambiente durante siglos, exacerbando el problema con el tiempo. Se ha demostrado que los microplásticos pueden interactuar fácilmente con sustancias tóxicas en su superficie, adsorberlas y liberarlas (Castañeta, 2020).

El plástico y las botellas en general cuando se desechan, permanecen en el ambiente cerca de 100 años o dependiendo del ambiente pueden durar mucho más. Cerca de dos tercios del plástico que se ha producido hasta la fecha se ha liberado al medioambiente, por lo tanto sigue afectando a los ecosistemas a medida que se fragmenta y se degrada. En forma de residuos, estos materiales se encuentran en los océanos, la atmósfera y los suelos. Algunos se añaden intencionadamente a diversos tipos de productos lo que los hace que se encuentran presentes en el suministro de agua e incluso en el cuerpo humano (PETI, 2020).

Los microplásticos y también los nanoplásticos son pequeñas partículas y pueden ingerirse o inhalarse accidentalmente. Una vez dentro del cuerpo, pueden liberar contaminantes, como monómeros y aditivos tóxicos, que pueden dañar tejidos y células “actuando como un caballo de Troya”. La incineración de los plásticos contribuye a la liberación de contaminantes atmosféricos y gases de efecto invernadero. Esta la liberación de gases de efecto invernadero del plástico virgen y envejecido con el tiempo indica que los polímeros siguen emitiendo gases al medio ambiente durante un período indeterminado. También la degradación de los plásticos son dependientes de las condiciones climatológicas de la región, por lo que la exposición a diversos factores incide en la velocidad de formación de los gases procedentes de los plásticos, ya que en climas cálidos, se esperan mayores tasas de producción de hidrocarburos para el plástico expuesto al aire en comparación con el plástico en los ambientes acuáticos” (Royer *et al.*, 2018; Vethaak & Leslie, 2016).

En la búsqueda por controlar el impacto del plástico sobre el ambiente existen diferentes medidas que se han desarrollado, como la estrategia de las “4R”, que

comprende la reducción, la reutilización, el reciclaje y la recuperación. Y es en el reciclaje donde los procesos mecánicos aplicados al reaprovechamiento de plástico, es uno de los procesos más utilizados para recuperar residuos plásticos y utilizarlos en la producción de nuevas materias. En algunos estudios, se ha reportado una eficiencia del procesamiento de residuos plásticos alrededor del 85% al 87.8%, en el caso del polietileno, se reportan rendimientos del 0.878 kg de plástico reciclado por cada kg de residuos (Seigné-Itoiz *et al.*, 2015; Khoo, 2019; Davidson *et al.*, 2021).



Figura 5. “Los índices actuales de producción de plástico pueden desencadenar efectos irreversibles”.

ABC. (2021, 1 julio).

## 4.2 Polietileno de Alta Densidad

### 4.2.1 Propiedades y Características del Polietileno de Alta Densidad (HDPE)

El polietileno de alta densidad (HDPE) es un termoplástico económico con una estructura lineal y un bajo grado de ramificación. Esto lo hace flexible, y resistente a la intemperie. Además, es altamente cristalino (>90%), lo que lo hace más rígido que las versiones como LDPE (por sus siglas en inglés, Low Density PolyEthylene) o PEBD (polietileno de baja densidad), o el LLDPE (polietileno lineal de baja densidad), (De Tecnología Del Plástico, 2023). Se pueden detallar diversas aplicaciones del polietileno de alta densidad (HDPE) en el ámbito de la construcción y equipamiento, como se refleja en la *Tabla 2*, resaltando sus notables características, ventajas ambientales y beneficios para la salud.

El HDPE, que es un termoplástico, se ablanda cuando se calienta y se puede reciclar fácilmente y se le pueden dar nuevas formas mediante extrusión o moldeo (Rivera, 2004). Estas cualidades no solo promueven la sostenibilidad ambiental al prevenir la contaminación, sino que también resguardan la salud de quienes trabajan con este y la comunidad en general (Mecyplastec, 2023).

Asimismo, en aplicaciones hortícolas como macetas y bolsas tejidas, el HDPE exhibe su versatilidad y durabilidad, promoviendo una prolongada vida útil en entornos al aire libre (Nilvarosales, 2021). Adicionalmente, en paneles de construcción con un núcleo elíptico de HDPE, se aprovecha su insensibilidad a la humedad, confiriendo resistencia al agua, facilidad de instalación, economía y bajo mantenimiento (Jiménez, 2023).

Tabla 2. Aplicaciones del HDPE en la construcción y equipamiento.

HDPE			
Aplicación (Construcción y equipamiento)	Características	Ventajas y beneficios para el medio ambiente	Ventajas y beneficios para la salud
Cañerías y tuberías.	Resistente a las bajas temperaturas.	Es un material inerte por lo que no contamina el medio ambiente.	Es un material no tóxico para la salud.
Revestimiento de cables.	Irrompible.		Por ser liviano e irrompible reduce el riesgo de accidentes laborales durante su manipulación e instalación y reduce el índice de lesiones musculares.
Cables para gas, telefonía, agua potable, minería, drenaje y uso sanitario.	Liviano. Impermeable.	Las geomembranas en los rellenos sanitarios impiden la contaminación de las napas subterráneas.	
Macetas y/o bolsas tejidas. Paneles, geomembranas, geotextiles y recubrimientos de arcilla geosintéticos (Geosynthetic-Clay Liners) para rellenos sanitarios y otros centros de disposición de residuos.	Los paneles con un núcleo sinusoidal de HDPE no son afectados por la humedad, son resistentes al agua y además son durables, de fácil instalación, livianos, económicos y de bajo mantenimiento.		

También se utiliza HDPE reciclado, bajo la forma de “madera plástica” en aplicaciones a la intemperie.

En el ámbito medioambiental, el HDPE se distingue por su carácter inerte, asegurando que no genere contaminación al entorno (Nilvarosales, 2021). Un ejemplo claro es su implementación en geomembranas empleadas en rellenos sanitarios, donde previene la contaminación de aguas subterráneas y preserva la pureza del ecosistema circundante. En términos de salud, el HDPE al ser no tóxico, garantiza que su utilización no comprometa la salud humana ni cause efectos adversos (PCC Group, 2022).

La densidad del polietileno de alta densidad (HDPE por sus siglas en inglés) varía típicamente en el rango de 0.93 a 0.97 g/cm<sup>3</sup>, o en unidades del Sistema Internacional (SI), de 930 a 970 kg/m<sup>3</sup>. La densidad puede variar ligeramente según el grado específico de HDPE y el proceso de fabricación, pero en general, el HDPE es conocido por tener una alta densidad en comparación con otros tipos de polietileno. Su densidad más alta contribuye a su resistencia y durabilidad, lo que lo hace adecuado para una variedad de aplicaciones en la construcción, embalaje y otras industrias. Su temperatura de fusión ronda los 120 °C a 130 °C (Velilla, 2020), y su uso como material reciclado produce una pérdida de propiedades en comparación con la resina virgen debido al oxígeno, la luz, el estrés mecánico y la humedad. El HDPE reciclado se puede utilizar en un número creciente de aplicaciones potenciales, siempre que las propiedades térmicas, mecánicas y de impacto del polímero reciclado se parezcan mucho a las del material virgen (González *et al.*, 2015).

#### 4.2.2 Aplicaciones Actuales del HDPE en la Industria de la Construcción e inmobiliaria

El Polietileno de Alta Densidad (HDPE) ha ganado prominencia en la industria inmobiliaria debido a su notoria utilidad en virtud de diversas propiedades inherentes, que comprenden su capacidad para resistir adversidades, su longevidad, impermeabilidad y su costo relativamente bajo.

Los plásticos reciclados se han considerado para la producción de nuevas formulaciones de materiales compuestos, principalmente por razones medioambientales y de costes (Villablanca, 2012).

El polietileno de alta densidad (HDPE) presenta una gama diversa de aplicaciones en la construcción y equipamiento, gracias a sus características excepcionales (Mecyplastec, 2023).

En el sector de cañerías y tuberías, el HDPE demuestra cualidades sobresalientes como su resistencia a bajas temperaturas, propiedad irrompible, ligereza e impermeabilidad. Estas cualidades lo convierten en una elección idónea para la canalización de diversos fluidos como gas, agua potable, telecomunicaciones, minería y drenaje, garantizando la integridad de estos sistemas (Rivera, 2004).

- Membranas Impermeabilizantes: Se utilizan láminas y membranas fabricadas a partir de HDPE con el propósito de impermeabilizar techados, cimientos y muros en la construcción de edificaciones y estructuras subterráneas, contribuyendo efectivamente a prevenir la filtración de agua y la humedad (Torneró, 2023).
- Geomembranas para Estanques y Piscinas: El HDPE encuentra aplicación en la concepción de estanques de retención de agua, así como en el revestimiento de piscinas y estanques ornamentales, en virtud de su aptitud para retener líquidos y su resistencia a la degradación que puede surgir de la exposición al agua (Velez, 2023).

- Tuberías de Gas: El HDPE se incorpora en sistemas de distribución de gas natural debido a su capacidad para resistir la corrosión, evitar pérdidas y mantener una durabilidad a largo plazo (Olarte, 2023).
- Mobiliario y Revestimientos: En el ámbito del diseño de interiores, el HDPE se emplea para confeccionar mobiliario, revestimientos murales y acabados de alta calidad, beneficiándose de su resistencia y versatilidad (Velez, 2023).
- Mobiliario Urbano: Elementos como bancos, señales de tráfico y otros componentes de mobiliario urbano se confeccionan a menudo con HDPE, aprovechando su durabilidad y capacidad de resistencia a las inclemencias climáticas (Tornero, 2023).

Estas aplicaciones representan una muestra de la versatilidad del HDPE en la industria inmobiliaria y de la construcción, haciéndole como un recurso valioso en la construcción y el diseño de edificios y estructuras contemporáneas.

## 5 Materiales y método

### 5.1 Etapa 1

#### 5.1.1 Clasificación de los residuos plásticos acopiados en el CATRE de la DACBiol-UJAT

La clasificación de los residuos plásticos acopiados en CATRE, se llevó a cabo de la siguiente manera:

1. Durante el periodo de un mes, todos los residuos plásticos generados diariamente en la DACBiol se acopiaron y pesaron utilizando una balanza de capacidad máxima de 220 kg de la marca AND, modelo HW-200KVWP.
2. Recepción e identificación del plástico en CATRE

##### I. Identificación de la fuente de plástico

La procedencia de los residuos recolectados en el Centro de Acopio y Tratamiento de Residuos Sólidos (CATRE) fue de las aulas, oficinas, laboratorios y otras áreas de uso de productos en envases de plástico en la División Académica de Ciencias Biológicas (DACBiol) de la Universidad Juárez Autónoma de Tabasco (UJAT).

Mediante una bitácora se llevó el control de los datos recabados.

##### II. Horario de Recolección

Se implementó un programa de recolección periódica programada, ajustado en función de la generación de residuos en la división académica y el horario de recepción en CATRE, con el propósito de garantizar una recolección eficaz y evitar una acumulación excesiva. Los horarios designados para la recolección fueron los siguientes: de 10:00 a 11:00 horas, de 13:00 a 14:00 horas y de 17:00 a 18:00 horas, de lunes a viernes.

### III. Clasificación y separación

Se implementó un sistema de categorización que permitió la segregación de los diversos tipos de plástico. Se proporcionó capacitación al personal del Centro de Acopio y Tratamiento de Residuos (CATRE) para que realizaran una recolección específica de los plásticos y su posterior clasificación.

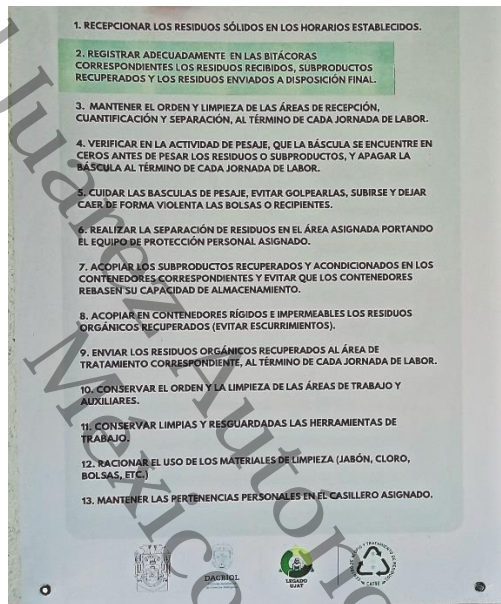


Figura 6. Decálogo sobre la separación de residuos generales en CATRE (Foto de autor)

3. Se hizo una separación manual de los plásticos y se clasificaron de acuerdo a la codificación utilizada por la Sociedad de Industrias del Plástico (Tabla 1).
4. En caso de ser necesario, el envase se deberá rechazar para su uso por condiciones como:
  - Restos de residuos considerados como peligrosos, como señala la LGPGIR, al considerar como Residuos Peligrosos (RP), "...así como envases, recipientes, embalajes y suelos que hayan sido contaminados cuando se transfieran a otro sitio... los envases y embalajes que contuvieron materiales peligrosos y que no sean utilizados con el mismo fin y para el mismo material,

serán considerados como residuos peligrosos, con excepción de los que hayan sido sujetos a tratamiento para su reutilización, reciclaje o disposición final” (LGPGIR, 2023).

- Si los envases seleccionados están combinados con otros tipos de plásticos que no son compatibles para el reciclaje, como informa Ecología y Compromiso Empresarial (ECOCE) para el HDPE, “El PS no es compatible con el HDPE y puede provocar un desgaste o reducir la resistencia al impacto para el usuario de HDPE reciclado” (ECOCE, s. f.).
- Envases extremadamente grandes o en grandes cantidades ya que pueden ser complicados de manejar y almacenar.

5. Se dispuso en contenedores etiquetados utilizando la codificación SPI.

6. La cuantificación se llevó a cabo mediante un listado, donde se establecieron los datos para control, tales como:

- Fecha y hora de clasificación:  
Registrar la fecha y hora en que se clasifican los residuos plásticos.
- Tipo de Plástico:  
Utilizar la codificación SPI para identificar el tipo de plástico. Cada tipo tiene un número asignado (por ejemplo, PET es el #1, HDPE es el #2, etc.).
- Cantidad Recibida:  
Anotar la cantidad de cada tipo de plástico recepcionado. Esto se registrará en unidades de peso.
- Estado del Plástico:  
Registrar el estado en que se encuentra el plástico. Puede ser limpio, contaminado, con o sin etiquetas.
- Total Acumulado:

Calcular y registrar los totales acumulados para cada tipo de plástico a lo largo del tiempo establecido.

## 7. Almacenamiento

Una vez recopilado el HDPE, se llevó a cabo su almacenamiento en un área específica designada con el fin de prevenir la exposición a condiciones ambientales, como la humedad y la radiación solar, que podrían provocar la degradación del material.

## 5.2 Etapa 2

### 5.2.1 Identificación y selección del plástico adecuado para convertirlo en placas

- I. Se identificaron los plásticos acopiados en CATRE y se determinó cuál es el que reúne las cualidades para convertirlo en placas.

Estas cualidades dependen de:

- las propiedades conocidas de cada plástico,
  - así como de la generación,
  - y su valor en el mercado (precio de compra en centros de acopio autorizados)
- II. Mediante un análisis estadístico se obtuvo información sobre la generación de los plásticos en la DACBiol-UJAT. A los datos recabados les será aplicado:
    - Frecuencia relativa (FR)

$$\text{Frecuencia relativa o porcentaje (\%)} = \frac{FPG}{PG_{total}} \times 100$$

Dónde:

*PGtotal* corresponde al total de plástico generado en el lapso de un mes

*FPG* corresponde a la frecuencia de cada tipo de plástico generado según la codificación SPI en el lapso establecido (un mes)

Se aplicará también en la generación total de cada tipo de plástico (base de codificación SPI) dada la frecuencia de recepción y acopio en el lapso establecido

- Media

$$\text{Media } (\bar{X}) = \frac{\text{Suma de todos los valores}}{\text{Número total de valores}}$$

Se evaluó la generación total de los plásticos, así como la generación total por cada tipo de plástico (base de codificación SPI) según la frecuencia de generación diaria

- Desviación estándar de la muestra

$$\text{Desviación estándar} = \frac{\sqrt{\sum(X - \bar{X})^2}}{N}$$

Dónde  $X$  es cada valor individual,  $\bar{X}$  es la media,  $N$  es el número total de valores

Se evaluó la generación total de los plásticos, así como la generación total por cada tipo de plástico (base de codificación SPI) según la frecuencia de generación diaria

- Porcentaje de plástico reciclado

$$\text{Porcentaje de reciclaje} = \left( \frac{\text{Total de plasticos reciclados}}{\text{Total de plasticos recepcionados}} \right) \times 100$$

Se utilizó para determinar la cantidad de plástico recepcionado y acopiado en CATRE.

### 5.2.2 Registro y seguimiento

- I. Se llevó un registro detallado de la cantidad de plástico recolectado durante el lapso establecido, así como también posterior a la realización de este.

### 5.3 Etapa 3

#### 5.3.1 Molienda

##### a) Selección de Equipamiento

La máquina trituradora para realizar la molienda del plástico (Figura 7) es de la marca Westinghouse, de 40 HP.



Figura 7. Trituradora de plástico. (Foto de autor)

##### b) Ajuste de Parámetros

Los parámetros de la máquina trituradora, son de 1770 RPM de velocidad, el tipo de cuchilla es en corte "V"/Chevrón (Figura 7), con una abertura de entrada de 73.3 X 57.0 cm y una abertura de salida de 15.7 cm de diámetro.

c) Alimentación y molienda

- I. El plástico HDPE se introdujo progresivamente en la trituradora, cuidando de no sobrecargarla para garantizar un procesamiento eficiente.
- II. La máquina trituradora fue activada para reducir los plásticos a partículas más pequeñas (5 mm aprox.), con una duración de 15 minutos en cada ciclo de molienda. Se llevaron a cabo de 1 a 2 repeticiones del proceso de trituración para asegurar la generación de partículas de tamaño reducido.

d) Separación de Impurezas

- I. Tras el proceso de molienda, se llevó a cabo una revisión visual para identificar posibles impurezas o fragmentos no deseados que pudieran haber quedado en el material triturado.
- II. En caso de ser necesario, se realizará un procedimiento de separación manual para su extracción y eliminación.

e) Lavado y acondicionamiento del plástico

a) Preparación del Plástico

Después de la trituración del plástico, se realizó la eliminación de cualquier contaminante superficial, que pueda contener etiquetas adhesivas, restos de material orgánico.

b) Primer enjuague

- I. Los plásticos triturados fueron sometidos a un lavado utilizando agua a temperatura ambiente con el propósito de eliminar partículas sueltas y cualquier suciedad superficial. Este proceso de enjuague pretende contribuir a la preparación del material para un lavado más exhaustivo en etapas posteriores.

c) Lavado con detergente y retiro de etiquetas:

- I. El plástico triturado se sumergió en una mezcla de agua y detergente en polvo de la marca "Foca" de la Fábrica de Jabón La Corona S.A. de C.V.
- d) El plástico fue secado a temperatura ambiente, procurando que no estuviesen visiblemente manchados, no tuvieran restos contaminantes, y que estuvieran limpios acorde al primer enjuague y lavado.
- e) Secado
  - I. El triturado se colocó en una zona con adecuada ventilación para permitir su secado total a temperatura ambiente.
  - II. Se evitó la exposición directa a la intensa luz solar, ya que esto podría resultar en la degradación del plástico.

#### 5.3.2 Inspección de Calidad

- I. Luego del proceso de lavado y secado, se llevó a cabo una revisión visual de los objetos plásticos para asegurar que estén completamente limpios y exentos de cualquier residuo (Figura 8).



Figura 8. HDPE triturado (izquierda) y HDPE pelletizado (derecha).  
(Foto de Autor)

#### h) Almacenamiento

- I. Después de completar el proceso de lavado y secado, los plásticos fueron almacenados en un entorno limpio y seco con el fin de prevenir cualquier

posibilidad de recontaminación antes de proceder con las etapas posteriores de su procesamiento.

e) Almacenamiento del Material Triturado

- I. Se almacenó el material plástico triturado en contenedores adecuados y etiquetados para evitar la contaminación y asegurar que esté listo para la siguiente etapa del proceso.

f) Mantenimiento de la Máquina

- I. Al término de la molienda se llevó a cabo un mantenimiento regular de la máquina trituradora para asegurar su eficiencia y prolongar su vida útil.

## 5.4 Etapa 4

### 5.4.1 Fundición

Esta se llevó a cabo en un horno de grado industrial (Figura 9), diseñado en la DACBiol, de 40 amperes, y que cuenta con 10 resistencias tubulares rectas, conectadas en paralelo a 220 v.

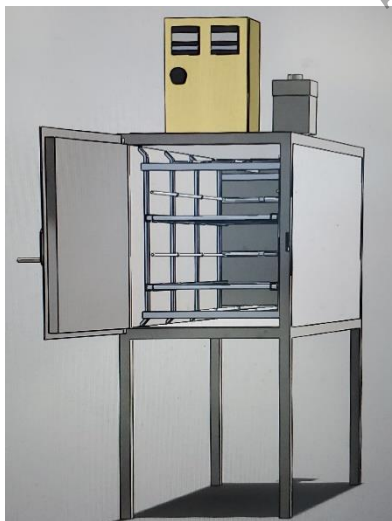


Figura 9. Horno para fusión de plástico (Diseño en SolidWorks, Laines *et al.*)



Figura 10. Horno para fundición de plástico en el área de Planta Piloto 3 (Foto de autor).

a) Preparación del material para fundición

II. Se cargó 7.5 Kg de plástico de HDPE triturado en un recipiente.

b) Horneado del plástico

- I. Antes de colocar el material triturado, el molde fue limpiado, se usó un jabón líquido de la marca "Salvo" mezclado con agua corriente para limpiar el molde, tratando de ser generosos en el lavado.
- II. Se agregó agua para retirar el exceso de jabón y con una franela se secó el molde.
- III. Con una brocha, se agregó aceite de cocina usado en la superficie del molde para que sea el lubricante en el proceso de moldeado, evitando que el plástico se pegue al molde de acero inoxidable.
- IV. Se introdujo el material triturado en el molde de acero inoxidable con dimensiones de 120 x 40 x 5 cm.
- V. Una vez el material en el molde fue esparcido sobre la superficie del molde de forma proporcional, y usando un nivel de albañilería se verificó que este p el

plástico triturado esté esparcido uniformemente en el área dentro del molde y se colocó una tapa de acero inoxidable (Figura 11).

- VI. Se introdujo el plástico junto con el molde en el horno y se hizo el ajuste del parámetro de temperatura de fundición a 270 °C.
- VII. Se dio inicio al proceso de fusión, con una duración de 3 horas con 30 minutos.
- VIII. Se realizaron revisiones a los 45 y 90 minutos iniciales para asegurar que el proceso se estaba desarrollando de manera consistente, que el equipo funcionaba de manera apropiada e identificar posibles interferencias que pudieran afectar la fundición. Luego, cada 30 minutos se evaluó la temperatura dentro del horno y en el molde usando una termocámara.



Figura 11. Tapa del molde de acero inoxidable. (Foto de autor)

## 5.5 Etapa 5

### 5.5.1 Moldeado y Prensado

- I. Al finalizar la Etapa 4, se retiró el molde con el material fundido de adentro del horno y se llevó a la parrilla transportadora.

- II. Para el proceso de compresión, se introdujo el molde de acero inoxidable con su tapa en la prensa hidráulica (Figura 12), y se aplicó presión para darle forma mediante dos gatos hidráulicos de tipo botella, de 4 toneladas de fuerza, de la marca "Truper".
- III. Se verificó visualmente la ausencia de pérdida de material y garantizó que el prensado manual fuera de manera uniforme sobre la placa, el tope que tiene el molde marca qué tanta presión se le aplica.



Figura 12. Prensa para plásticos con dos gatos hidráulicos de 4 toneladas. (Foto de autor)

### 5.5.2 Desmoldeado

- I. Una vez que el plástico fundido fue moldeado y prensado, se enfrió y solidificó en el molde a temperatura ambiente durante un tiempo de 30 minutos, con la carga de prensado.

### 5.5.3 Extracción de las Tablas

- I. Una vez que el plástico se ha solidificado, se abre el molde y se extrae la placa de plástico, asegurando que se desprenda fácilmente y conserve su forma y características.

### 5.5.4 Acabado de la Placa de Plástico de HDPE

- I. Se realizó el corte de imperfecciones sobre la placa de plástico, con una sierra (Figura 13) y canteadora para madera (Figura 14), así como el lijado de las mismas con una lijadora eléctrica, para mejorar su acabado.



Figura 13. Sierra para cortar placas de plástico. (Foto de autor)

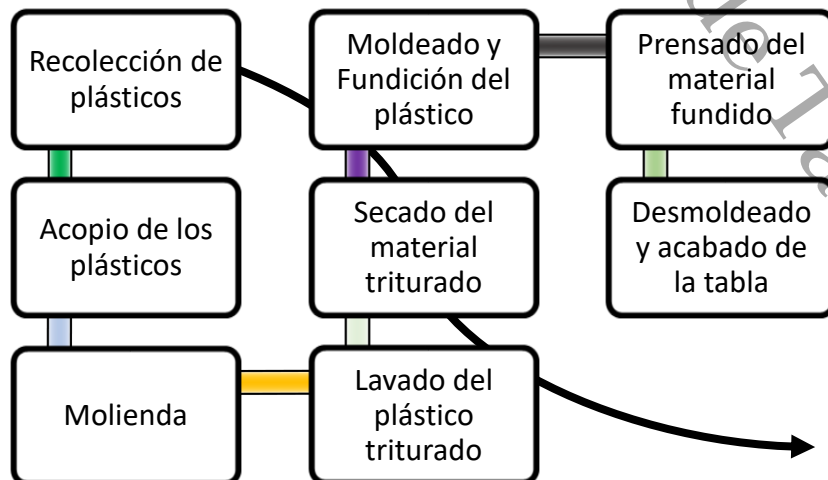


Figura 14. Canteadora para las placas de plástico. (Foto de autor)

e) Inspección de Calidad

- I. Fue realizada una inspección visual de las placas de plástico para detectar posibles defectos, deformaciones o imperfecciones. Las placas que no cumplieron con los estándares de calidad fueron descartadas.

Figura 15. Diagrama del proceso de fabricación de placas ecológicas de HDPE en la DACBiol-UJAT



**NOTA IMPORTANTE: la metodología antes descrita de la etapa 4 a la 6 se llevó a cabo también para HDPE peletizado.**

## 5.6 Pruebas mecánicas

### 5.6.1 Resistencia a la compresión

#### a) Preparación de Muestras

- I. Se fabricaron 4 cilindros de 10 cm de altura por 5 cm de diámetro, de plástico de HDPE fabricadas de manera uniforme y según los estándares establecidos. Se aseguró que los cilindros estén secos y en condiciones adecuadas para las pruebas.

#### b) Equipo de Prueba

- I. Se utilizó un equipo de prueba de resistencia a la compresión marca Alcon®. Se aseguró que el equipo estaba calibrado y funcionando correctamente.

#### c) Configuración de la Prueba

- I. Se colocó cada tabla en la máquina de prueba de manera que su superficie superior quede alineada con la placa superior del equipo. Se ajustó el equipo para que aplique una carga de compresión vertical de manera uniforme sobre la placa.

#### d) Prueba de Compresión

- I. La prueba comenzó aplicando una carga de compresión gradual a una velocidad constante. Se registró la carga aplicada y la deformación resultante en función del tiempo.

- II. Se continuó la prueba hasta que se alcanzó la falla del cilindro, que puede manifestarse en forma de grietas, deformaciones excesivas u otros signos de colapso.

e) Cálculo de la Resistencia

- I. La resistencia a la compresión se calculó dividiendo la carga máxima soportada por el cilindro entre la superficie del cilindro en contacto con la placa de compresión.
- II. La unidad de medida se expresó en kilogramos por centímetro cuadrado (kg/cm<sup>2</sup>).

f) Cálculo de la Resistencia

- I. La resistencia a la compresión es calculada de la siguiente forma:

$$\text{Resistencia a la compresión} = \frac{F}{\pi r^2}$$

Donde:

F = Carga aplicada.

r = Radio de la base.

La unidad de medida fue expresada en kilogramos por centímetro cuadrado (kg/cm<sup>2</sup>).

- II. Se realizó una prueba de resistencia a la flexión en los cilindros para obtener el dato representativo.

Repetición y Promedio

- I. Se realizaron 4 pruebas de resistencia a la compresión en 4 cilindros para obtener un conjunto de datos representativos.

Se calculó el promedio, desviación estándar, curtosis, varianza, coeficiente de variación para los valores de resistencias obtenidas, así como las Pruebas de Múltiples Rangos

### 5.6.2 Resistencia a la flexión

#### a) Preparación de Muestras

- I. Se seleccionaron y cortaron 4 placas de 17x17x2 cm de plástico de HDPE reciclado fabricadas de manera uniforme y según los estándares establecidos.
- II. Se aseguró que la tabla estuviera seca y en condiciones adecuadas para la prueba.

#### b) Equipo de Prueba

- I. Se utilizó un equipo de prueba de resistencia a la flexión marca Alcon®. Se aseguró que el equipo estuviera calibrado y funcionando adecuadamente.

#### c) Configuración de la Prueba

- I. Se sujetó la placa en el equipo de prueba de manera que se aplicara una carga de tensión axial gradual. Se verificó que la carga fuera uniforme y que la tabla estuviera alineada correctamente con el equipo.

#### d) Prueba de flexión

- I. La prueba comenzó aplicando una carga de tensión gradual a una velocidad constante.
- II. Se registró la carga aplicada y la deformación resultante en función del tiempo. Se continuó la prueba hasta que alcanzó la falla de la placa, manifestada forma de pandeo, deformación excesiva u otros signos de colapso.

#### e) Cálculo de la Resistencia

- III. La resistencia a la flexión fue calculada de la siguiente forma:

$$\text{Resistencia a la flexión} = \frac{3FL}{2wh^2}$$

Donde:

F = Carga aplicada.

L = Separación entre los puntos de apoyo.

w = Ancho de la tabla.

h = Espesor de la tabla.

La unidad de medida se expresó en kilogramos por centímetro cuadrado (kg/cm<sup>2</sup>).

Repetición y Promedio

- I. Se realizaron 4 pruebas de resistencia a la compresión en 4 cilindros para obtener un conjunto de datos representativos.
- II. Se calculó el promedio, desviación estándar, curtosis, varianza, coeficiente de variación para los valores de resistencias obtenidas, así como el método Tukey o Fischer.

5.6.3 Comparación de resultados obtenidos en compresión y flexión en base a la NOM-N-45-C-1981, Productos para oficina - mobiliario - sillería - métodos de prueba. Así como el aviso de la Declaratoria de Vigencia

- Se le realizara a los resultados, una comparación con esta Norma Oficial Mexicana (NOM), la cual es un procedimiento de método de prueba para evaluar la seguridad, durabilidad e idoneidad estructural de muebles de asiento para establecimientos comerciales y oficinas en general, independientemente de los materiales de construcción, procesos de fabricación, diseño mecánico y estético.

## 6 Resultados

### 6.1 Clasificación de los residuos acopiados en el CATRE de la DACBiol-UJAT.

La Tabla 3 muestra la cantidad de plástico aprovechable recolectado durante diferentes períodos de tiempo, divididos en días específicos. Los tipos de plástico incluidos son PET, HDPE y polipropileno. Cada tipo de plástico tiene su propia cantidad de recolección diaria en kilogramos (kg), que varía según el período de tiempo. En total, se recolectaron 188.23 kg de plástico durante los 28 días de la recolección. El PET fue el plástico más recolectado, con un total de 110.08 kg, seguido por el HDPE con 44.37 kg y el polipropileno con 33.78 kg.

Tabla 3. Generación de los tipos de plástico aprovechables en el CATRE y la generación global en el lapso establecido

Tipo de plástico aprovechable	Días	06/11 al 10/11	13/11 al 17/11	21/11 al 24/11	27/11 al 01/12	04/12 al 07/12	11/12 al 15/12	Total: en 28 días acopiados (kg)	Promedio de generación (kg/día)
PET (1)		20.81	16.7	11.24	41.4	10.79	9.14	110.08	3.93
HDPE (2)		11.02	5.53	20.74	3.4	2.72	0.96	44.37	1.58
Polipropileno (5)		9.85	7.63	3.89	4.91	4.06	3.44	33.78	1.21
<b>Generación global de plásticos</b>								188.23	6.72

Los resultados muestran que durante el período de recolección de 28 días se acumuló un total de 188.23 kilogramos (kg) de plástico aprovechable. El plástico PET (1) fue el más recolectado con un total de 110.08 kg, seguido del HDPE (2) con 44.37 kg y el polipropileno (5) con 33.78 kg. Esto sugiere que el PET se acopia o utiliza con mayor frecuencia en el entorno recolectado, seguido del HDPE y el polipropileno. Los datos proporcionados también muestran variaciones a lo largo del tiempo en la cantidad de plástico recolectado.

## 6.2 Identificación de acuerdo a la clasificación de los plásticos acopiados en CATRE, cual es el que reunió las cualidades para convertirlo en placas ecológicas.

La generación del HDPE como residuo en la DACBiol-UJAT y el acopio en CATRE en base a la generación diaria y global de este, descrita en la *Tabla 3*, se comparó entre los tres tipos de plásticos considerados como aprovechables en el mercado, como se muestra en la *Tabla 4*.

Tabla 4. Generación global de cada tipo de plástico acopiado, y precio promedio por kg en el mercado según Upcycle.Global (2020).

Plástico	Generación global (kg)	Precio (por cada kg)
PET (1)	110.08	\$7
HDPE (2)	44.37	\$8
Polipropileno (5)	33.78	\$11

## 6.3 Diseño del proceso de fabricación de placas ecológicas de HDPE .

El diseño de fabricación de las placas ecológicas deviene y se especifica detalladamente en el apartado de **Materiales y método**.

La *Figura 10* es un diagrama que de forma general señala los pasos que se llevaron a cabo para la realización de las placas de HDPE.

## 6.4 Resultados de las pruebas de compresión y flexión

### 6.4.1 Resistencia a la compresión

La fórmula para calcular la resistencia a la compresión fue:

$$\text{Resistencia a la compresión} = \frac{F}{\pi r^2}$$

Tabla 5. Resultados de las pruebas de compresión en HDPE triturado y peletizado.

Tabla	Carga aplicada (kg)	Radio de la base r (cm)	Resistencia a la compresión (kg/cm <sup>2</sup> )
	F	W	R
HDPE-T1	3080	2.3	185.33
HDPE-T2	2790	2.3	167.88
HDPE-T3	2910	2.3	175.10
HDPE-T4	3300	2.35	195.46
HDPE-P1	3840	2.35	221.33
HDPE-P2	3750	2.35	216.14
HDPE-P3	3810	2.3	229.25
HDPE-P4	3800	2.3	222.24

Para el HDPE triturado, se realizaron cuatro pruebas con diferentes cargas aplicadas. Los resultados de la resistencia a la compresión oscilaron entre 167.88 kg/cm<sup>2</sup> y 195.46 kg/cm<sup>2</sup>. La media que se obtuvo para este tipo de plástico fue de 180.723 kg/cm<sup>2</sup>.

En cuanto al HDPE peletizado, también se llevaron a cabo cuatro pruebas con distintas cargas aplicadas. Los resultados de la resistencia a la compresión variaron entre 216.14 kg/cm<sup>2</sup> y 229.25 kg/cm<sup>2</sup>. La media obtenida para esta presentación de plástico fue de 222.24 kg/cm<sup>2</sup>.

#### 6.4.2 Resistencia a la flexión

La *Tabla 6* contiene datos resultantes sobre la resistencia a la flexión de las dos variantes del plástico: HDPE peletizado y HDPE triturado, evaluados mediante diversas pruebas. Cada fila indica la carga aplicada en kilogramos (kg), la distancia entre los puntos de apoyo en centímetros (cm), el ancho y espesor de la placa en cm, y corresponde a una prueba específica que muestra los resultados de la resistencia a la carga aplicada. La flexión se expresa en kg/cm<sup>2</sup>. Las cargas fueron aplicadas uniformemente sobre las muestras hasta el punto de quiebre.

La fórmula para calcular la flexión fue:

$$\text{Resistencia a la flexión} = \frac{3FL}{2wh^2}$$

Tabla 6. Resultados de las pruebas de flexión en HDPE triturado y peletizado.

Tabla	Carga aplicada (kg)	Separación entre puntos de apoyo (cm)	Ancho de la tabla (cm)	Espesor de la tabla (cm)	Resistencia a la flexión (kg/cm <sup>2</sup> )
	F	L	w	h	Resultado
HDPE-P1	840	13.1	17.1	1.9	267.39
HDPE-P2	830	13.4	17.4	1.8	295.92
HDPE-P3	810	13.2	17.2	1.9	258.29
HDPE-P4	920	13.4	17.4	1.9	294.39
HDPE-P5	940	12.9	16.9	1.9	298.14
HDPE-T1	690	13.1	17.1	1.5	352.40
HDPE-T2	710	13.2	17.2	1.4	417.00
HDPE-T3	780	12.8	16.8	1.6	348.21
HDPE-T4	727	13.03	17.03	1.5	372.54

Para pellets de HDPE se realizaron cinco ensayos con diferentes cargas (840 kg, 830 kg, 810 kg, 920 kg y 940 kg, respectivamente), variando la distancia entre los puntos de apoyo, así como el ancho y espesor de las placas muestra.

Los resultados de resistencia a la flexión oscilaron entre 258.29 kg/cm<sup>2</sup> y 377.06 kg/cm<sup>2</sup>. El valor medio para este tipo de plástico fue de 299.665 kg/cm<sup>2</sup>.

Mientras tanto, para el triturado de HDPE también se realizaron cuatro pruebas con diferentes cargas (690 kg, 710 kg, 780 kg y 727 kg, respectivamente) con cambios similares en los parámetros anteriores.

Los resultados de resistencia a la flexión oscilaron entre 352.40 kg/cm<sup>2</sup> y 417.00 kg/cm<sup>2</sup>. El promedio medido para esta variante fue de 384.537 kg/cm<sup>2</sup>.

## 6.5 Discusión de los resultados de las pruebas de resistencia a la compresión y flexión

### 6.5.1 Sobre las pruebas de compresión

La *Tabla 7* proporciona el resumen estadístico de la prueba a la compresión para los dos diferentes tipos de plásticos. Se observa que el HDPE peletizado tiene un promedio mayor de resistencia a la compresión en comparación con el HDPE triturado.

Tabla 7. Resumen estadístico de la prueba a la compresión

Plásticos	Promedio	Varianza	Desviación Estándar	Coefficiente de Variación
HDPE Triturado	180.723	144.924	12.3605	6.83947%
HDPE Peletizado	222.24	29.0594	5.39068	2.42561%

En la *Tabla 8* se observan los valores de la curtosis. La curtosis para el HDPE Triturado presenta una distribución con menos valores extremos y una forma más plana en comparación con la distribución normal. La curtosis para el HDPE Peletizado muestra una distribución con más valores extremos y una forma más puntiaguda y concentrada en comparación con la distribución normal.

Tabla 8. Valores de curtosis en la resistencia a la compresión en HDPE

Plásticos	Rango	Sesgo Estandarizado	Curtosis
HDPE Triturado	28.46	0.154765	-0.609363
HDPE Peletizado	13.11	0.405643	0.612372

Con base en el análisis Fisher LSD, en la *Tabla 9* se muestra que existe una diferencia significativa en la resistencia a la compresión entre los dos tipos de plástico analizados. El tipo de plástico HDPE peletizado presenta una resistencia a la compresión promedio mayor que el de plástico HDPE triturado. Esta diferencia es estadísticamente significativa al nivel de confianza del 95% determinado en el método de la prueba.

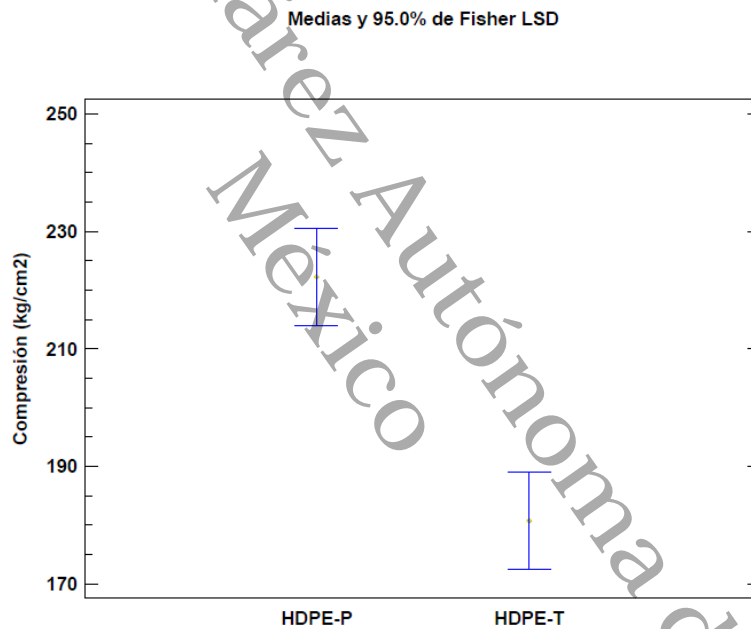
Tabla 9. Método: Fisher LSD, aplicado a la resistencia a la compresión.

Plásticos	Media	Grupos Homogéneos
HDPE Triturado	180.723	X
HDPE Peletizado	222.24	X
Contraste	Sig. Diferencia	+/- Límites
HDPE Triturado – HDPE Peletizado	* 41.5175	27.6599

Se indica que existen diferencias significativas estadísticamente en los datos resultantes: \*

En la *Figura 16* se observa que la distribución de la resistencia a la compresión para ambos tipos de plásticos es relativamente normal. La resistencia a la compresión media es mayor para HDPE peletizado ( $222.24 \text{ kg/cm}^2$ ) que para HDPE triturado ( $180.723 \text{ kg/cm}^2$ ). Para HDPE triturado indica una mayor variación en la resistencia a la compresión para este tipo de plástico. Puesto que el valor-P de la prueba-F es menor que 0.05, existe una diferencia estadísticamente significativa entre la media de Compresión con un nivel del 5% de significación para HDPE peletizado y triturado.

Figura 16. Gráfico ANOVA de resistencia a la compresión



### 6.5.2 Sobre las pruebas de flexión

La *Tabla 10* proporciona el resumen estadístico de la prueba a la flexión para los dos diferentes tipos de plásticos. Se observa que el HDPE peletizado tiene un promedio menor de resistencia a la flexión en comparación con el HDPE triturado.

Tabla 10. Resumen estadístico de la prueba para flexión

Plásticos	Promedio	Varianza	Desviación Estándar	Coefficiente de Variación
HDPE Peletizado	282.826	344.1514	18.5741	6.56731%
HDPE Triturado	372.537	985.7549	31.4868	8.45199%

En la *Tabla 11* se observan los valores de la curtosis. La curtosis para el HDPE Triturado presenta una distribución con más valores extremos y una forma más puntiaguda y concentrada en comparación con la distribución normal. La curtosis para el HDPE Peletizado muestra una distribución con menos valores extremos y una forma más aplanada comparada con la distribución normal, indicando una menor variabilidad de los datos.

Tabla 11. Diversas medidas estadísticas en la resistencia a la flexión en HDPE

Plásticos	Rango	Sesgo Estandarizado	Curtosis
HDPE Peletizado	39.85	-0.656862	-1.15175
HDPE Triturado	68.79	1.13925	0.612071

En la *Tabla 12* y con base en el análisis Fisher LSD, se muestra que existe una diferencia significativa en la resistencia a la flexión entre los dos tipos de plástico analizados. El tipo de plástico HDPE peletizado presenta una resistencia a la compresión promedio menor que el de plástico HDPE triturado. Esta diferencia es estadísticamente significativa al nivel de confianza del 95% determinado en el método de la prueba.

Tabla 12. Método: Fisher LSD, aplicado a la resistencia a la flexión.

Plásticos	Media	Grupos Homogéneos	
HDPE Pelets	282.726	X	
HDPE Triturado	372.537	X	
Contraste	Sig.	Diferencia	+/- Límites
HDPE Pellets – HDPE Triturado	*	-89.7115	39.5619

\* Se indica que existen diferencias significativas estadísticamente en los datos resultantes

En la *Figura 17* se observa que la distribución de la resistencia a la flexión para ambos tipos de plásticos es relativamente normal. La resistencia a la compresión media es menor para HDPE peletizado (282.726 kg/cm<sup>2</sup>) que para HDPE triturado (372.537 kg/cm<sup>2</sup>). En base a que el valor-P de la prueba-F es menor que 0.05, existe una diferencia estadísticamente significativa entre la media de flexión con un nivel del 5% de significación para HDPE peletizado y triturado.

Figura 17. Gráfico de dispersión en las medias de resistencia a la flexión en base a Fisher

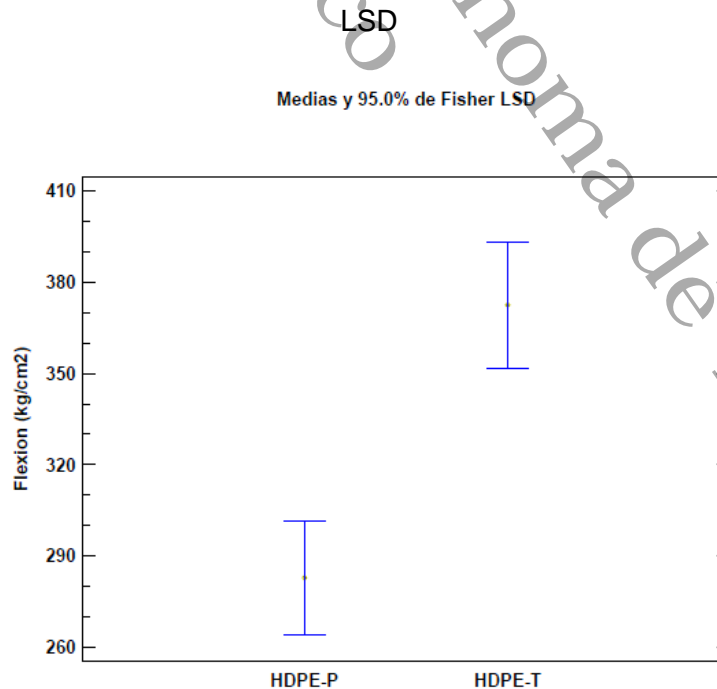


Figura 18. Cilindros usados en las pruebas de compresión y placas recortadas usadas en las pruebas de flexión para HDPE. (Foto de autor)



Universidad Juárez Autónoma de Tabasco  
México

## 7 Discusión

### 7.1 Elección del plástico adecuado para convertirlo en placas ecológicas

7.1.1 La elección del HDPE como el material para ser usado en el proceso se fundamenta en que:

- I. El HDPE es uno de los plásticos más fáciles para reciclar, caracterizado por su alta rigidez y resistencia a los impactos, a la tracción, las temperaturas y los reactivos químicos como ácidos o disolventes.
- II. La generación de este material en la DACBiol-UJAT es la segunda mayor entre los plásticos acopiados en CATRE, con una generación promedio de 1.58 kg/día. Siendo el primero el PET, el cual posee un mercado más amplio y un precio en este menos fluctuante.
- III. El precio del HDPE en el mercado es fluctuante, si bien se puede encontrar un precio promedio por kilogramo de este como residuo a nivel global (\$8.00 según Upcycle.Global), no hay un precio a nivel local determinado, ya que los diversos Centros de Acopio locales, dada la actividad inherente del CATRE, donde después del acopio de los residuos generados en la DACBiol-UJAT, estos se llevan a venta en otros Centros de Acopio externos, donde su precio ronda de \$0.50 a \$5.00 pesos mexicanos por cada kilogramo, y este es comprado como "PET sucio".

### 7.2 Resultados de las pruebas de compresión y flexión

#### 7.2.1 Resistencia a la compresión

El promedio de resistencia a la compresión en las placas ecológicas de HDPE peletizado, con 222.24 kg/cm<sup>2</sup>, y de HDPE triturado, con 195.47 kg/cm<sup>2</sup>, es superior a

la resistencia a la compresión de 114.11 kg/cm<sup>2</sup> reportada por Kulkarni et al. en 2022. Cabe señalar que el estudio de Kulkarni se basó en la fabricación de ladrillos hechos con residuos de HDPE procedentes de una industria local.

Marín (2021) fabricó ladrillos utilizando una mezcla de fibra de HDPE (1.5 % en volumen) y concreto (98.5 % en volumen). En sus pruebas de compresión, los resultados obtenidos a los 7, 14 y 28 días fueron de 145.81 kg/cm<sup>2</sup>, 171.76 kg/cm<sup>2</sup> y 256.29 kg/cm<sup>2</sup>, respectivamente. Los resultados obtenidos por Marín a los 14 días son similares a los del HDPE triturado en el presente estudio, que presentaron una resistencia de 180.72 kg/cm<sup>2</sup>. Asimismo, los resultados a los 28 días son comparables con el HDPE peletizado, que mostró una resistencia de 222.24 kg/cm<sup>2</sup>. El tiempo de curado de la mezcla durante el periodo de estudio promovió un aumento significativo en la resistencia, a diferencia de las tablas de plásticos, que alcanzaron esta resistencia en un solo día de enfriamiento.

La madera plástica comercial tiene en promedio una resistencia a la compresión de 138.15 kg/cm<sup>2</sup> y generalmente se compone de una mezcla de HDPE y aserrín (Blanco-Alcalá, 2006). Esta composición difiere significativamente de las tablas mencionadas en el estudio, que están hechas exclusivamente de HDPE y presentan resistencias mayores.

### 7.2.2 Después del análisis estadístico en la resistencia a la flexión

Tesfaw et al. (2022) realizaron un estudio para fabricar tuberías con HDPE virgen mezclado con HDPE reciclado. Encontraron que a medida que aumentaba la cantidad de HDPE reciclado, la resistencia a la flexión disminuía, pasando de 226.4 kg/cm<sup>2</sup> a 78.72 kg/cm<sup>2</sup>. Estos resultados difieren de las resistencias a la flexión obtenidas en el presente estudio con HDPE triturado y peletizado reciclados, que mostraron valores de 282.83 kg/cm<sup>2</sup> para el peletizado y 372.54 kg/cm<sup>2</sup> para el triturado. La disminución de la resistencia en el estudio de Tesfaw et al. (2022) puede deberse a que el HDPE reciclado ha ido perdiendo sus propiedades con el tiempo de uso.

El hecho de que el HDPE triturado sea más resistente bajo las pruebas de flexión en nuestras muestras puede atribuirse a su estructura más irregular. Después del proceso de fundición, algunas partículas del HDPE triturado no se fundieron completamente, formando una estructura heterogénea que pudo haber disminuido la propagación de grietas durante las pruebas de flexión.

Barrios-Hernández (2014) obtuvo una resistencia a la flexión de 266.1 kg/cm<sup>2</sup> en su ensayo con una mezcla de HDPE-PP en placas de 8x1.2x0.4 cm. Este valor es menor que los resultados obtenidos para el HDPE peletizado y triturado en este estudio. Barrios-Hernández utilizó un proceso de extrusión para la fabricación de sus placas, lo cual contrasta con el proceso de fundición empleado en este trabajo. Dado que la extrusión es un proceso diferente al usado en este estudio, los resultados destacan la mayor resistencia del HDPE peletizado y triturado en comparación con la mezcla de HDPE-PP utilizada por Barrios-Hernández (2014), aportando una perspectiva significativa sobre la influencia del método de procesamiento en la resistencia del material.

En las pruebas de tracción sin aditivos para HDPE reciclado, Nicolas y Rigail (2009) reportaron una ruptura máxima de 287.91 kg/cm<sup>2</sup> en muestras de 10 kg de plástico reciclado y peletizado, formadas por inyección y libres de aditivo AOX. Este resultado es menor que los obtenidos en las muestras de HDPE tanto peletizado como triturado en el presente estudio.

En otra prueba realizada por Quezada y Rigail (2007), una mezcla de 10 % de HDPE virgen y 90 % de HDPE reciclado obtuvo una resistencia de 257.21 kg/cm<sup>2</sup>. En una mezcla con 40 % de HDPE virgen y 60 % de HDPE reciclado, observaron una resistencia de 249.73 kg/cm<sup>2</sup>. Estos resultados no concuerdan con la media obtenida para flexión en el presente estudio, ya que ellos realizaron pruebas de tensión, las cuales son similares a las de flexión pero difieren en el procedimiento respecto a las pruebas de compresión. La *Figura 18* muestra las placas y cilindros usados en las pruebas de compresión y flexión.

7.2.3 Comparación de resultados obtenidos en compresión y flexión en base a la NOM-N-45-C-1981, Productos para oficina - mobiliario - sillería - métodos de prueba. Así como el aviso de la Declaratoria de Vigencia

- Esta Norma Oficial Mexicana (NOM) es un procedimiento de método de prueba para evaluar la seguridad, durabilidad e idoneidad estructural de muebles de asiento para establecimientos comerciales y oficinas en general, independientemente de los materiales de construcción, procesos de fabricación, diseño mecánico y estético.

Se aplicó el numeral 9.3.5 “Aplicar gradualmente 11120 N (1134 Kgf) en sentido vertical” contenido en la NOM, ya que para realizar una prueba de flexión, se debe aplicar una carga a un punto específico de la placa en una dirección perpendicular a su superficie, lo que hace que la placa se doble. En esta situación, la carga se aplica uniformemente y verticalmente sobre la superficie, lo que coincide mejor con las propiedades de la prueba de compresión.

Para esta evaluación, el promedio de cargas soportadas a la compresión en HDPE peletizado y HDPE triturado fue de 3020 kg/cm<sup>2</sup> y 3800 kg/cm<sup>2</sup>, pero la carga soportada en sentido vertical rondó de 2910 a 3800 kg/cm<sup>2</sup> incluyendo ambas presentaciones de plásticos.

También se hizo una comparación con la carga permitida y objetiva en la norma estadounidense ASTM D695 Método de Prueba Estándar para Propiedades de Compresión de Plásticos Rígidos, donde se establece que:

- ✓ 1.1 Este método de prueba cubre la determinación de las propiedades mecánicas de plásticos rígidos sin refuerzo y reforzados, incluidos los compuestos de alto módulo, cuando se cargan en compresión a tasas de deformación o carga relativamente bajas y uniformes. Se emplean muestras de prueba de forma estándar. Este procedimiento es aplicable para un módulo compuesto de hasta e incluyendo 41,370 MPa (6, 000,000 psi).

Ante ambas normas, tanto la norma nacional mexicana y la estadounidense, las placas ecológicas coinciden en ser susceptibles de ser aprobadas en dichos procedimientos. Por lo tanto, las placas ecológicas de HDPE sí son un posible objeto de prueba aplicable en dicho procedimiento de norma.

#### 7.2.4 Comparación entre los resultados de pruebas de compresión y flexión

Cuando se realizan pruebas de compresión y flexión en placas de HDPE, los resultados generalmente muestran una relación inversa entre la resistencia a la compresión y la flexión. Esto generalmente significa que a medida que aumenta la resistencia a la compresión, la resistencia a la flexión de las placas de plástico tiende a disminuir y viceversa. Esta relación se debe a menudo a diferencias en la estructura molecular y las propiedades mecánicas del material plástico.

Este material termoplástico tiene una alta resistencia a la compresión debido a su estructura molecular lineal y puede soportar cargas axiales. Incluso con la misma estructura molecular, una fuerza que actúa perpendicular a la dirección de las cadenas moleculares debido a su baja ramificación, tiene una alta cristalinidad y la distancia entre las moléculas de polímero adyacentes es estrecha, lo que hace que este plástico sea denso y duradero, lo que hace ser un plástico de alta dureza pero baja resistencia al impacto y al alargamiento (CMEmaterials, s.f.). Puede provocar mayores grados de deformación y rotura y, por tanto, una menor resistencia a la flexión. Sandoval (2023) reportó que la resistencia de las muestras hechas de materiales 100% vírgenes era mayor que la de las mezclas que contenían materiales reciclados. Estas diferencias corresponden a una diferencia del 6% cuando se añade un 30% en peso de rHDPE (HDPE reciclado) y una diferencia del 16% cuando se combina con un 50% en peso de rHDPE. Esto muestra que a medida que aumenta la proporción de material reciclado en la mezcla, la resistencia a la tracción disminuye y, como resultado, también aumenta la deformación hasta la falla.

Al realizar pruebas de compresión y flexión en las placas ecológicas de HDPE, es importante tener en cuenta esta relación inversa y cómo las propiedades mecánicas

se pueden adaptar para cumplir con requisitos específicos según la aplicación de las placas de HDPE, si el producto requiere soportar cargas axiales, el triturado es una opción mejor en comparación con el material peletizado.

Teniendo esto en cuenta, ambos métodos requieren ajustes en el diseño, la formulación del material o el proceso de fabricación para lograr un rendimiento óptimo.

México

Universidad Juárez Autónoma de Tabasco.

## 8 Conclusión

En el Centro de Acopio y Tratamiento de Residuos (CATRE), se recolectan PET, HDPE y PP como residuos plásticos susceptibles de aprovechamiento. En promedio, se acopian 1.58 kg/día de HDPE, representando el 24% del volumen total recolectado.

La elección del HDPE como material para la fabricación de placas se debe a su precio fluctuante en el mercado y a sus características como un material altamente reciclable.

El diseño de fabricación de las placas ecológicas permite la creación de tablas grandes con un mayor volumen de material utilizado, lo que también contribuye a una mayor homogeneidad en las mismas.

La resistencia a la compresión fue mayor para el HDPE peletizado; sin embargo, en las pruebas de flexión, este material mostró una menor resistencia en comparación con el HDPE triturado. En cuanto a la flexión, el HDPE triturado demostró una mayor resistencia que el HDPE peletizado.

## 9 Referencias

- Centro de Información Técnica (CIT) - Gerencia Técnica. (1999). Boletín técnico informativo N.15: Manual de valorización de los residuos plásticos (2ª ed.). Fipma-Caip – Plastivida, Argentina. Disponible en: <http://ecoplas.org.ar/pdf/15.pdf>
- Alamar Tarazona, C. (2020). Estudio del impacto del reciclaje en las propiedades mecánicas, térmicas y reológicas del polímero HDPE. Universitat Politècnica de València. <http://hdl.handle.net/10251/160067>
- Caballero Meza, B, Florez Lengua, O y Alvarez Carrascal, J. (2017). *Elaboración de bloques en cemento reutilizando el plástico polietileno - Tereftalato (PET) como alternativa sostenible para la construcción*. Universidad de Cartagena. Disponible en: <https://repositorio.unicartagena.edu.co/handle/11227/4404>
- Pola Tellechea, M. J. (2019, 17 de marzo). Se ahoga Tabasco en basura plástica. Diario Presente. <https://www.diariopresente.mx/tabasco/se-ahoga-tabasco-en-basura-plastica/230626>
- Moli de Imagen 14. Placas ecológicas de HDPE triturado (izquierda) y peletizado (derecha). (Foto de autor) PI. Recuperado de <https://www.mexicoautonomade-tabasco.com/sistema-de-codificacion-spi>
- Plástico.com. Todo sobre el polietileno de alta densidad (HDPE): usos, ventajas y mercado actual. Recuperado de <https://www.plastico.com/es/noticias/todo-sobre-el-polietileno-de-alta-densidad-hdpe-usos-ventajas-y-mercado-actual>
- WasteTrade. Introduction to Plastics: High-Density Polyethylene (HDPE). Recuperado de <https://www.wastetrade.com/es/resources/introduction-to-plastics/types-of-plastics/high-density-polyethylene-hdpe/>
- Roca Girón, I. E. (Año). Estudio de las propiedades y aplicaciones industriales del polietileno de alta densidad (PEAD) (Tesis de licenciatura, Universidad de San Carlos de Guatemala). Recuperado de [http://biblioteca.usac.edu.gt/tesis/08/08\\_0639\\_Q.pdf](http://biblioteca.usac.edu.gt/tesis/08/08_0639_Q.pdf)
- Moore, C. J. . 2008. Synthetic polymers in the marine environment: A rapidly increasing, long-term threat. Environmental Research: 131-139 <https://doi.org/10.1016/j.envres.2008.07.025>
- Royer S-J, Ferrón S, Wilson ST, Karl DM (2018) Production of methane and ethylene from plastic in the environment. PLoS ONE 13(8): e0200574. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0200574>

- ECOCE. (s. f.). ECOCE | Asociación Ambiental Sin Fines de Lucro. [https://www.ecoce.mx/guias\\_reciclabilidad\\_apr\\_pet](https://www.ecoce.mx/guias_reciclabilidad_apr_pet)
- Kulkarni, P., Ravekar, V., Rao, P. R., Waigokar, S., & Hingankar, S. (2022). Recycling of waste HDPE and PP plastic in preparation of plastic brick and its mechanical properties. *Cleaner materials*, 5, 100113. <https://doi.org/10.1016/j.clema.2022.100113>
- Tesfaw, S., Fatoba, O., & Mulatie, T. (2022). Evaluation of tensile and flexural strength properties of virgin and recycled high-density polyethylene (HDPE) for pipe fitting application. *Materials Today: Proceedings*, 62, 3103-3113. <https://doi.org/10.1016/j.matpr.2022.03.385>
- Cerrar el grifo: Cómo el mundo puede poner fin a la contaminación por plásticos y crear una economía circular. (s. f.-b). UNEP - UN Environment Programme. [https://wedocs.unep.org/bitstream/handle/20.500.11822/42277/Plastic\\_pollution.pdf?sequence=4](https://wedocs.unep.org/bitstream/handle/20.500.11822/42277/Plastic_pollution.pdf?sequence=4)
- [https://unesdoc.unesco.org/ark:/48223/pf0000375312\\_spa.locale=es](https://unesdoc.unesco.org/ark:/48223/pf0000375312_spa.locale=es)
- World Health Organization: WHO. (2019, 22 agosto). La OMS anima a investigar sobre los microplásticos y a reducir drásticamente la contaminación por plásticos. *Organización Mundial de la Salud*. Recuperado 7 de marzo de 2024, de <https://www.who.int/es/news/item/22-08-2019-who-calls-for-more-research-into-microplastics-and-a-crackdown-on-plastic-pollution>
- Gaggino, R., (2008). Ladrillos y placas prefabricadas con plásticos reciclados aptos para la autoconstrucción. *Revista INVI*, 23(63), 137-163. <https://www.redalyc.org/comocitar.oa?id=25806306>
- Ugalde, R. S. (2020). Comportamiento de la demanda de productos madereros. Análisis de la situación en Santiago del Estero. *Redalyc.org*. <https://www.redalyc.org/articulo.oa?id=48168008007>
- García, M. J., Esteve, P., & Baños-González, I. (2018). Los futuros maestros ante el problema de la contaminación de los mares por plásticos y el consumo. *Revista Eureka sobre Enseñanza y Divulgación de las Ciencias*, 16(1), 1-17. [https://doi.org/10.25267/rev\\_eureka\\_ensen\\_divulg\\_cienc.2019.v16.i1.1501](https://doi.org/10.25267/rev_eureka_ensen_divulg_cienc.2019.v16.i1.1501)
- López-Fernández, María del Mar y Franco-Mariscal, Antonio Joaquín. (2021, abril-junio). Indagación sobre la degradación de plásticos con estudiantes de secundaria. *Educación Química*, 32(2). DOI: <http://dx.doi.org/10.22201/fq.18708404e.2021.2.76553>
- Eriksen, M., Lebreton, L., Carson, H. S., Thiel, M., Moore, C. J., Borroero, 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, 9(12), e111913. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0111913>
- Martín, C., Fajardo, C., Costa, G., Sánchez-Fortún, S., Andrés, M. D. S., González, F., Nande, M., Mengs, G., & Martín, M. (2021). Bioassays to assess the ecotoxicological impact of polyethylene microplastics and two organic pollutants, simazine and ibuprofen. *Chemosphere*, 274, 129704. <https://doi.org/10.1016/j.chemosphere.2021.129704>
  - Castañeta, G. (2020). Microplásticos: un contaminante que crece en todas las esferas ambientales, sus características y posibles riesgos para la salud pública por exposición. <https://www.redalyc.org/journal/4263/426365043004/html/>
  - Stanton, T. H., Johnson, M. F., Nathanail, P., MacNaughtan, W., & Gomes, R. L. (2020). Freshwater microplastic concentrations vary through both space and time. *Environmental Pollution*, 263, 114481. <https://doi.org/10.1016/j.envpol.2020.114481>
  - Vethaak, A., & Leslie, H. (2016). Plastic debris is a human health issue. *Environmental Science & Technology*, 50(13), 6825-6826. <https://doi.org/10.1021/acs.est.6b02569>
  - Campanale, C., Massarelli, C., Savino, I., Locaputo, V., & Uricchio, V. F. (2020). A detailed review study on potential effects of microplastics and additives of Concern on human health. *International Journal of Environmental Research and Public Health*, 17(4), 1212. <https://doi.org/10.3390/ijerph17041212>
  - Castañeda, R. A., AvlijasSuncica, Anouk, S., & Ricciardi, A. (2014). Microplastic pollution in St. Lawrence River Sediments. *Canadian Journal of Fisheries and Aquatic Sciences*, 71(12), 1767-1771. <https://doi.org/10.1139/cjfas-2014-0281>
  - Flores, P. (2020). «La problemática del consumo de plásticos durante la pandemia de la covid-19». *South Sustainability*, 1(2), e016. DOI: 10.21142/SS-0102-2020-016
  - Geyer, R., Jambeck, J. R. y Law, K. L. (2017). «Production, use, and fate of all plastics ever made». *Science Advances*, 3(7), pp. 25-29. DOI: 10.1126/sciadv.1700782.
  - Ritchie, H. (2018). «FAQs on plastics». Disponible en: [https:// ourworldindata.org/faq-on-plastics#are-plastic-alternativesbetter-for-the-environment](https://ourworldindata.org/faq-on-plastics#are-plastic-alternativesbetter-for-the-environment)
  - Purca, S. y Henostroza, A. (2017). «Presencia de microplásticos en cuatro playas arenosas de Perú». *Revista Peruana de Biología*, 24(1), pp. 101-106. DOI: 10.15381/rpb.v24i1.12724.
  - Klemeš, J., Fan, Y., Tan, R. y Jiang P. (2020). «Minimising the present and future plastic waste, energy and environmental footprints related to COVID-19». *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 127(April). DOI: 10.1016/j.rser.2020.109883.d

- Organización de las Naciones Unidas (ONU). (2019). «Compromiso mundial para reducir los plásticos de un solo uso». Noticias ONU. Disponible en: <https://news.un.org/es/story/2019/03/1452961>
- Departamento Temático de Derechos de los Ciudadanos y Asuntos Constitucionales del Parlamento Europeo a petición de la Comisión de Peticiones (PETI), Los impactos ambientales del uso de plásticos y microplásticos, los residuos y la contaminación: medidas nacionales y de la UE.
- Bastias, F. A. (2022). Beneficios ambientales del reciclaje de residuos plásticos posconsumo para la producción de postes en Mendoza, Argentina. Revista U.D.C.A. Actualidad & Divulgación Científica, 25 (Supl.1). <https://doi.org/10.31910/rudca.v25.nsupl.1.2022.2145>
- Khoo, H. H. (2019). LCA of plastic waste Recovery into Recycled Materials, Energy and Fuels in Singapore. Resources, Conservation and Recycling, 145, 67-77. <https://doi.org/10.1016/j.resconrec.2019.02.010>
- Davidson, M. G., Furlong, R. A., & McManus, M. (2021). Developments in the Life Cycle Assessment of Chemical Recycling of Plastic Waste – a review. Journal of Cleaner Production, 293, 126163. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2021.126163>
- Sevigné-Itoiz, E., Gasol, C. M., Rieradevall, J., & Gabarrell, X. (2015). Contribution of plastic waste recovery to greenhouse gas (GHG) savings in Spain. Waste Management, 46, 557-567. <https://doi.org/10.1016/j.wasman.2015.08.007>
- Celi-Simbaña, S. S. (s. f.). Microplásticos, un problema de salud pública emergente. [http://scielo.sld.cu/scielo.php?script=sci\\_arttext&pid=S1028-99332023000100041](http://scielo.sld.cu/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1028-99332023000100041)
- Schwabl, P., Köppel, S., Königshofer, P., Bucsecs, T., Trauner, M., Reiberger, T., & Liebmann, B. (2019). Detection of various microplastics in human stool. Annals of Internal Medicine, 171(7), 453-457. <https://doi.org/10.7326/m19-0618>
- Koelmans, A. A., Besseling, E., & Shim, W. J. (2015). Nanoplastics in the aquatic Environment. Critical review. En Springer eBooks (pp. 325-340). [https://doi.org/10.1007/978-3-319-16510-3\\_12](https://doi.org/10.1007/978-3-319-16510-3_12)
- Clara, B. P. (s. f.). Presencia de microplásticos en aguas y su potencial impacto en la salud pública. [https://scielo.isciii.es/scielo.php?script=sci\\_arttext&pid=S1135-57272019000100012](https://scielo.isciii.es/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1135-57272019000100012)
- Rivas, Miguel y Garelli, Ornela. Impacto de la contaminación por plásticos en la biodiversidad y Patrimonio Biocultural de México | Heinrich-Böll-Stiftung - Ciudad de México | México y el Caribe. (2021, 10 marzo). Heinrich-Böll-Stiftung - Ciudad de México | México y el Caribe.

<https://mx.boell.org/es/2021/03/10/impacto-de-la-contaminacion-por-plasticos-en-la-biodiversidad-y-patrimonio-biocultural>

- Contaminación por plásticos. Uno de los mayores desafíos ambientales del siglo XXI. (2020, 4 agosto). ECODES - Tiempo de actuar. <https://ecodes.org/hacemos/cultura-para-la-sostenibilidad/salud-y-medioambiente/observatorio-de-salud-y-medio-ambiente/contaminacion-por-plasticos-uno-de-los-mayores-desafios-ambientales-del-siglo-xxi>
- United Nations Environment Programme. (2020). Los microplásticos también están contaminando nuestros suelos. UNEP. <https://www.unep.org/es/noticias-y-reportajes/reportajes/los-microplasticos-tambien-estan-contaminando-nuestros-suelos>
- Lin, D., Gao, Y., Dou, P., Qian, S., Zhao, L., Yang, Y., & Fanin, N. (2020). Microplastics negatively affect soil fauna but stimulate microbial activity: Insights from a field-based microplastic addition experiment. Proceedings of The Royal Society B: Biological Sciences, 287(1934), 20201268. <https://doi.org/10.1098/rspb.2020.1268>
- Juárez, D. (2023, 29 enero). Microplásticos en el aire: Respiramos una tarjeta del metro cada semana en la Ciudad de México. Corriente Alterna. <https://corrientealterna.unam.mx/ambiental/microplasticos-en-el-aire/>
- De Souza Machado, A. A., Kloas, W., Zarfl, C., Hempel, S., & Rillig, M. C. (2018). Microplastics as an emerging threat to terrestrial ecosystems. Global Change Biology, 24(4), 1405-1416. <https://doi.org/10.1111/gcb.14020>
- ABC. (2021, 1 julio). La acumulación de plásticos en el medio ambiente amenaza con desencadenar daños irreversibles. Diario ABC. [https://www.abc.es/sociedad/abci-acumulacion-plasticos-medio-ambiente-amenaza-desencadenar-danos-irreversibles-202107020125\\_noticia.html](https://www.abc.es/sociedad/abci-acumulacion-plasticos-medio-ambiente-amenaza-desencadenar-danos-irreversibles-202107020125_noticia.html)
- Maldonado Álvarez, Sofía. De Tecnología Del Plástico, S. M. Á. P. (2023, 27 junio). Polietileno: un panorama sobre sus propiedades, aplicaciones y futuro. Plástico. <https://www.plastico.com/es/noticias/polietileno-un-panorama-sobre-sus-propiedades-aplicaciones-y-futuro>
- Velilla Godoy, Teresa. Estudio de la polimerización de etileno y propileno en sistemas homogéneos y heterogéneos: Correlación estado del catalizador – propiedades de los polímeros formados. Universidad de Chile, Facultad de Ciencias Físicas y Matemáticas, Departamento de Ingeniería química y Biotecnología. Tesis de Doctorado, 2007. [https://repositorio.uchile.cl/bitstream/handle/2250/102864/velilla\\_tg.pdf?sequence=3&isAllowed=y](https://repositorio.uchile.cl/bitstream/handle/2250/102864/velilla_tg.pdf?sequence=3&isAllowed=y)

- González Castillo, Mireille., Núñez Plascencia, Luis Alfonso, Chávez Martínez, A. Ulises., 2015. Estudio de factibilidad de materiales a emplear en la manufactura del sistema hidrodinámico de enfriamiento de techos con recuperación de energía (SHETRE), Instituto Tecnológico de Colima.  
<https://dspace.colima.tecnm.mx/bitstream/handle/123456789/139/Reporte%20tecnico%20Mireille%20Gonz%C3%A1lez.pdf?sequence=1&isAllowed=y>
- Rodríguez García, María del Carmen, “Análisis de los cambios superficiales de residuos poliméricos (PET, PS, PSE, HDPE, LDPE) después del tratamiento por plasma de resplandor”. Tecnológico de Estudios Superiores de Tianguistenco, División de Ingeniería Industrial. Tesis de Licenciatura. 2022.  
<https://rinacional.tecnm.mx/bitstream/TecNM/4916/1/An%C3%A1lisis%20de%20los%20cambios%20superficiales%20de%20residuos%20polim%C3%A9ricos.pdf>
- Villablanca, C. M. (2012). Propiedades físicas y mecánicas de compuestos de polietileno reciclado y harinas de corteza y madera de pinus radiata fabricados mediante moldeo por inyección. Redalyc.org. <http://www.redalyc.org/articulo.oa?id=48522716002>
- Rivera, R. (2004). Propuesta de reciclaje mecánico de plásticos en la ciudad de Piura. Tesis de pregrado en Ingeniería Industrial y de Sistemas. Universidad de Piura. Facultad de Ingeniería. Programa Académico de Ingeniería Industrial y de Sistemas. <https://hdl.handle.net/11042/1180>
- PCC Group. (2022, 11 mayo). Propiedades y usos del polietileno en la industria y en los hogares - Portal de productos del grupo PCC. Portal de productos del grupo PCC. <https://www.products.pcc.eu/es/blog/propiedades-y-usos-del-polietileno-en-la-industria-y-en-los-hogares/>
- Jiménez, S., & Andrés, J.L. (2016). Usos y aplicaciones del plástico PEAD reciclado en la fabricación de elementos estructurales para construcción de vivienda en Colombia. <https://repositorio.escuelaing.edu.co/bitstream/handle/001/432/CF-Maestr%EDa%20en%20Ingenier%EDa%20Civil-1104418979.pdf;jsessionid=C3817880A15919F5800A936488A8F299?sequence=1>
- Nilvarosales. (2021, 16 julio). HDPE: Plástico resistente y reciclable. Ecosistemas Rosales. <https://ecosistemasrosales.home.blog/2021/07/16/hdpe-polietileno-de-alta-densidad/>
- Olarte, F. (2023, 2 julio). Tipos de plásticos: toxicidad y usos. Blog sobre ecología. <https://www.ecovidasolar.es/blog/tipos-de-plasticos-toxicidad-y-usos/>
- Velez, E. (2023, 25 julio). ¿Cómo se recicla el HDPE? ventajas y por qué hacerlo. Soliplast - Pallets Plásticos. <https://soliplast.com/ventajas-y-beneficios/como-recicla-hdpe/>

- Rodríguez-Bruceta, P. A. (2015). Propuesta de un procedimiento para el reciclado del polietileno de alta densidad. Redalyc.org. <http://www.redalyc.org/articulo.oa?id=443543740004>
- Tornero, I. (2023, 30 marzo). ¿Qué aplicaciones tiene el polietileno reciclado? Sintac Recycling. <https://sintac.es/que-aplicaciones-tiene-el-polietileno-reciclado/>
- Ma, Y., Meng, J., & Lin, X. (2022). Preparation and properties of HDPE/MVQ thermoplastic vulcanizate with low-temperature-resistant super toughness and shape memory properties. European Polymer Journal/European Polymer Journal, 179, 111530. <https://doi.org/10.1016/j.eurpolymj.2022.111530>
- Techawinyutham, L., Tengsuthiwat, J., Srisuk, R., Techawinyutham, W., Rangappa, S. M., & Siengchin, S. (2021). Recycled LDPE/PETG blends and HDPE/PETG blends: mechanical, thermal, and rheological properties. Journal Of Materials Research And Technology/Journal Of Materials Research And Technology, 15, 2445-2458. <https://doi.org/10.1016/j.jmrt.2021.09.052>
- Gómez Sandoval, J. C. (2023). Evaluación de las propiedades térmicas, reológicas y mecánicas de mezclas entre HDPE virgen con HDPE reciclado. [Tesis de maestría, UNIVERSIDAD EAFIT]. <https://repository.eafit.edu.co/server/api/core/bitstreams/60789a26-83be-4b0f-bc13-98525968a33e/content>
- Supraciclaje Recicladora. (2020, 9 julio). Precio de chatarra, empresa de compra venta de chatarra en México. <https://upcycle.global/es/precios-hoy/>
- Barrios-Hernández, M. L. (2014). Consideraciones de las propiedades mecánicas y térmicas para la elaboración de un ducto de riego a partir de materiales poliméricos postconsumo. Revista Tecnología En Marcha, 27(3), pág. 53–61. <https://doi.org/10.18845/tm.v27i3.2066>
- Nicolas, G. M., & Rigail, A. (2009, 16 febrero). Estudio de las propiedades mecánicas y reológicas del polietileno de alta densidad y antioxidante en base de fosfitos durante cinco ciclos de inyección. <https://www.dspace.espol.edu.ec/xmlui/handle/123456789/89?show=full&locale-attribute=en>
- Marín, J. A. (2021). Variación de la resistencia a la compresión del concreto  $F_c = 210 \text{ kg/cm}^2$  al reemplazar el agregado fino por HDPE reciclado en diferentes porcentajes [Tesis de licenciatura, Universidad Privada del Norte]. Repositorio de la Universidad Privada del Norte. <https://hdl.handle.net/11537/28622>
- Quezada, A. R. B., & Rigail, A. (2007). Evaluación de polietilenos de alta densidad reciclados para aplicaciones en mobiliario urbano. ResearchGate.

[https://www.researchgate.net/publication/28795185\\_Evaluacion\\_De\\_Polietilenos\\_De\\_Alta\\_De\\_nsidad\\_Reciclados\\_Para\\_Aplicaciones\\_En\\_Mobiliario\\_Urbano](https://www.researchgate.net/publication/28795185_Evaluacion_De_Polietilenos_De_Alta_De_nsidad_Reciclados_Para_Aplicaciones_En_Mobiliario_Urbano)

- Blanco Alcalá, G. (2006). Instituto Tecnológico y de Estudios Superiores de Monterrey, Evaluación técnica y plan de negocios para la producción de mobiliario de “madera plástica”, formulada con PET reciclado y aserrín [Tesis de Maestría].  
[https://repositorio.tec.mx/bitstream/handle/11285/567567/docstec\\_4718.pdf?seq](https://repositorio.tec.mx/bitstream/handle/11285/567567/docstec_4718.pdf?seq)
- Polietileno de alta densidad | CMEmaterials. (s. f.).  
<http://www.ub.edu/cmmaterials/es/content/polietileno-de-alta-densidad>
- Upcycle Global, Supraciclaje Recicladora. (2020, 9 julio). Compra venta de chatarra y reciclados por kilogramos <https://upcycle.global/es/precios-hoy/>
- La acumulación de plásticos en el medio ambiente amenaza con desencadenar daños irreversibles. Diario ABC. Tomado de: [https://www.abc.es/sociedad/abci-acumulacion-plasticos-medio-ambiente-amenaza-desencadenar-danos-irreversibles-202107020125\\_noticia.html](https://www.abc.es/sociedad/abci-acumulacion-plasticos-medio-ambiente-amenaza-desencadenar-danos-irreversibles-202107020125_noticia.html)
- “Los microplásticos en el aire provocan que respiremos como una tarjeta de metro a la semana”. (Ilustración: Ivan Ortiz). Tomado de: Juárez, D. (2023, 29 enero). Microplásticos en el aire: Respiramos una tarjeta del metro cada semana en la Ciudad de México. Corriente Alterna. <https://corrientealterna.unam.mx/ambiental/microplasticos-en-el-aire/>
- Los microplásticos también están contaminando nuestros suelos. UNEP. <https://www.unep.org/es/noticias-y-reportajes/reportajes/los-microplasticos-tambien-estan-contaminando-nuestros-suelos> Tomado de: United Nations Environment Programme. (2021).
- Gran Mancha del Pacífico Norte. Asadi, D. A. (Fotografía). Tomado de: Una isla de plástico en el Océano Pacífico. iAgua. <https://www.iagua.es/blogs/darya-ahmadi-asadi/isla-plastico-oceano-pacifico>
- “La contaminación plástica se ha convertido en uno de los desafíos ambientales más apremiantes de nuestro tiempo”. Tomado de: Detengamos el flujo de residuos plásticos. (2020, 10 abril). The Nature Conservancy. <https://www.nature.org/es-us/que-hacemos/nuestras-prioridades/ciudades-saludables/detener-residuos-plasticos/>

<b>Alojamiento de la Tesis en el Repositorio Institucional</b>	
Título de Tesis:	Análisis de las Propiedades Mecánicas de Placas de HDPE Reciclado como Alternativa para la Sustitución de Mobiliario Institucional de MDF-Melamina
Autor	Ing. Yael Isaac Córdova López
ORCID	<a href="https://orcid.org/0009-0001-9519-7058">https://orcid.org/0009-0001-9519-7058</a>
Resumen de la tesis:	La inadecuada gestión de los residuos plásticos ha convertido a este material en un problema para el planeta. Esta problemática exige un cambio de paradigma, donde los residuos se transformen en materiales útiles a través de soluciones innovadoras (ONU, 2019; Castañeda <i>et al.</i> , 2014; Campanale <i>et al.</i> , 2020). En este proyecto se llevó a cabo un proceso de reciclaje mecánico por fundición y compresión de residuos de HDPE generado en la DACBiol-UJAT. El proceso consta de diversos pasos: recolección y acopio de plásticos, molienda, lavado del plástico triturado, secado del material triturado, moldeado y fundición del plástico, prensado del material fundido, desmoldeado y acabado de la placa. Se realizaron pruebas mecánicas de resistencia a la compresión y flexión, a muestras de las placas de HDPE triturado, y de HDPE en pelets. Los resultados indicaron que la resistencia a la compresión fue mayor para el HDPE peletizado; sin embargo, en las pruebas de flexión, este material mostró una menor resistencia en contraste con el HDPE triturado. En cuanto a la flexión, el HDPE triturado mostró una mejor resistencia que el HDPE en pelets.
Palabras clave de la Tesis:	Residuos, Plásticos, HDPE, Reciclaje, Pruebas mecánicas.
Referencias citadas:	<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Campanale, C., Massarelli, C., Savino, I., Locaputo, V., &amp; Uricchio, V. F. (2020). A detailed review study on potential effects of microplastics and additives of Concern on human health. <i>International Journal of Environmental Research and Public Health</i>, 17(4), 1212. <a href="https://doi.org/10.3390/ijerph17041212">https://doi.org/10.3390/ijerph17041212</a></li> <li>▪ Castañeda, R. A., AvlijasSuncica, Anouk, S., &amp; Ricciardi, A. (2014). Microplastic pollution in St. Lawrence River Sediments. <i>Canadian Journal of Fisheries and Aquatic Sciences</i>, 71(12), 1767-1771. <a href="https://doi.org/10.1139/cjfas-2014-0281">https://doi.org/10.1139/cjfas-2014-0281</a></li> <li>▪ Organización de las Naciones Unidas (ONU). (2019). «Compromiso mundial para reducir los plásticos de un solo uso». Noticias ONU. Disponible en: <a href="https://news.un.org/es/story/2019/03/1452961">https://news.un.org/es/story/2019/03/1452961</a></li> </ul>