



Universidad Politécnica de Puebla

Programa Académico de Posgrado

**Transformación del girasol silvestre *Tithonia tubiformis* como sucedáneo del poliestireno expandido en la industria del embalaje**

TESIS QUE PARA OBTENER EL GRADO DE

Maestría en Gestión e Innovación  
Tecnológica

Presenta:

**GUSTAVO MARTÍNEZ SALAZAR**

**Director:** Dra. María Leticia Ramírez Castillo

**Co-Director:** Dr. Misael Murillo Murillo

Juan C. Bonilla, Puebla, México, Febrero 2024.

*Esta tesis se realizó en el Departamento de Posgrado de la Universidad Politécnica de Puebla, ubicada en Tercer carril del Ejido Serrano S/N, San Mateo Cuanalá, Juan C. Bonilla, Puebla, México, CP 72640.*



Universidad Politécnica de Puebla  
Maestría en Gestión e Innovación Tecnológica

# **Transformación del girasol silvestre *Tithonia tubiformis* como sucedáneo del poliestireno expandido en la industria del embalaje**

Tesis realizada  
por:

**GUSTAVO MARTÍNEZ SALAZAR**

Aprobada por el jurado el 30 de junio del 2023

**Profesor (Firma)**

Dra. María Leticia Ramírez Castillo

\_\_\_\_\_

Dr. Misael Murillo Murillo

\_\_\_\_\_

M.C. Fernando González  
Manzanilla

\_\_\_\_\_

M.C. Williams Ortiz Martínez

\_\_\_\_\_

Juan C. Bonilla, Puebla, México, enero 2024.



Universidad Politécnica de Puebla  
Maestría en Gestión e Innovación Tecnológica

Copyright ©All rights reserved. Universidad Politécnica de Puebla, 2030.

Copyright statement

*(Firma)*

Gustavo Martínez Salazar

La búsqueda de alternativas sustentables de energía y productos elaborados con materiales amigables con el medio ambiente es actualmente punta de lanza de importantes esfuerzos innovadores en materia tecnológica y científica. En efecto, dentro del marco de la sustentabilidad como parte de las tendencias ambientales actuales, el poliestireno expandido (EPS, por sus siglas en inglés), conocido en México como unicele y en Estados Unidos como Styrofoam, ha sido identificado como un material perjudicial para el medio ambiente. En este trabajo, se estudió una alternativa para la sustitución del unicele,

En este sentido y para este material, al xilema o tallo del girasol silvestre se le conoce como *Tithonia tubiformis* y su nombre regional es polocote. Se trata de una maleza abundante en diversas regiones de México, y es más común en otoño e invierno. Actualmente esta planta no es aprovechada e incluso se le ve como maleza indeseable ya que, durante la quema estacional, constituye una fuente de incendios forestales y como generador de gases de efecto invernadero. Sin embargo, el tallo de esta planta posee ciertas características mecánicas, similares a las del poliestireno expandido, y puede ser una alternativa al uso extendido de este material en la industria del embalaje; e inclusive, que se empleen para el desarrollo potencial de una nueva cadena de valor que conduce a la obtención de beneficios ambientales, económicos y sociales. Por lo anterior, se propuso el diseño de un proceso de transformación del tallo del polocote para sustituir al poliestireno expandido, específicamente para su uso en la industria del embalaje.

**Palabras Clave:** Girasol silvestre, *Tithonia tubiformis*, tallo de girasol, polocote, embalaje, poliestireno expandido, biodegradable.

### Abstract

The search for sustainable energy alternatives and products made from environment-friendly materials is nowadays subject of important innovative efforts on the Scientific and Technological fields. On a sustainability framework, expanded polystyrene, also known as *Styrofoam* and *Unicele* in Mexico, has been identified as a harmful material for the environment. This paper focus on the stem of *Tithonia tubiformis*, a wild sunflower plant that grows abundantly in several mexican regions, commonly during fall and winter season that is not currently exploited and is commonly burned at dry season, creating wildfires and greenhouse gases. The stem of the plant has certain mechanical properties like expanded polystyrene and is feasible to become a substitute to the extended use of this material on the packaging industry, even potentially developing a new value chain with environmental, economic and social benefits. A transformation process is proposed for the stem of the plant to substitute the extended use of polystyrene on the packaging industry.

**Keywords:** Wild Sunflower, Sunflower stalk, Packaging, Expanded Polystyrene, biodegradable, compostable, *Tithonia* *tubiformis*.

<b>1</b>	<b>Capítulo 1 Planteamiento del problema de investigación .....</b>	<b>12</b>
1.1	Introducción .....	12
1.2	Objetivos .....	13
1.2.1	Objetivo general .....	13
1.2.2	Objetivos específicos.....	13
1.3	Justificación.....	13
<b>2</b>	<b>Capítulo 2 Marco teórico .....</b>	<b>17</b>
2.1	Antecedentes.....	17
2.2	Industria del embalaje .....	17
2.3	Poliestireno expandido .....	24
2.3.1	Nomenclatura del poliestireno expandido .....	25
2.3.2	Proceso de expansión del poliestireno expandido .....	25
2.3.3	Propiedades físicas del poliestireno.....	25
2.3.4	Aplicaciones del poliestireno en la industria del embalaje.....	26
2.3.5	Emisiones atmosféricas y aspectos de salud .....	26
2.3.6	Reciclaje y sustentabilidad del Poliestireno Expandido .....	27
2.4	Embalaje biodegradable.....	27
2.4.1	Contexto internacional del embalaje biodegradable.....	27
2.4.2	Productos bio-basados.....	28
2.4.3	Compostabilidad del embalaje .....	29
2.5	Uso de plantas en la industria del embalaje .....	30
2.5.1	Planta de girasol como caso de éxito .....	30
2.5.2	Planta arvense <i>Tithonia tubiformis</i> .....	32
2.5.2.1	Caracterización de la planta <i>Tithonia tubiformis</i> .....	33
2.6	Protección intelectual .....	34
2.7	Estado del arte.....	35
2.7.1	Aprovechamiento del girasol como bioembalaje .....	35
2.7.2	Uso de hongos en la industria del embalaje .....	36
<b>3</b>	<b>Capítulo 3: Metodología.....</b>	<b>39</b>
3.1	Análisis cuantitativo.....	39
3.1.1	Bases de datos .....	39
3.1.2	Metodología de los siete pasos.....	39
3.1.2.1	Lluvia de ideas .....	40
3.1.2.2	Relevancia de la clasificación CPC.....	41
3.1.2.3	Revisión por la clasificación CPC.....	41
3.1.2.4	Revisión a profundidad.....	41
3.1.2.5	Revisión por las aplicaciones más relevantes .....	42
3.1.2.6	Opciones para ampliar la búsqueda .....	42
3.1.3	Mapeo bibliométrico .....	42
3.1.3.1	Mapas bibliométricos.....	42
3.1.3.2	Empleo del software VOSviewer .....	42
3.1.3.2.1	Software VOSviewer .....	42

3.1.3.2.2	Software VOSviewer para realizar mapas bibliométricos .....	42
<b>3.2</b>	<b>Proceso de transformación de xilema de polocote .....</b>	<b>44</b>
3.2.1	Recolección de materia prima .....	44
3.2.2	Elaboración de “cacahuate” .....	45
3.2.3	Elaboración de papel y cartón .....	46
3.2.4	Elaboración de material tipo unicef .....	47
<b>3.3</b>	<b>Diseños de los prototipos .....</b>	<b>47</b>
3.3.1	Aplicación de la Metodología TRIZ.....	47
<b>4</b>	<b>Capítulo 4: Resultados y discusión .....</b>	<b>54</b>
<b>4.1</b>	<b>Análisis cuantitativo.....</b>	<b>54</b>
4.1.1	Generación de mapas bibliométricos con VOSviewer.....	54
<b>4.2</b>	<b>Transformación del polocote.....</b>	<b>60</b>
4.2.1	Patentes relevantes para el proceso de transformación .....	60
4.2.2	Procesos de transformación .....	62
4.2.2.1	Elaboración de “loose-fill” o cacahuate.....	62
4.2.2.2	Elaboración de papel y cartón a partir de xilema de polocote .....	63
4.2.2.3	Elaboración de material tipo poliestireno expandido (EPS) .....	65
4.2.2.4	Diagrama de flujo del proceso general .....	65
<b>4.3</b>	<b>Prototipos de embalaje y molde.....</b>	<b>68</b>
4.3.1	Patentes relevantes .....	68
4.3.2	Aplicación de la Metodología TRIZ.....	68
4.3.2.1	Parámetros técnicos de contradicción .....	68
4.3.2.2	Matriz de Altshuller aplicada al diseño del prototipo .....	69
4.3.3	Diseño de los prototipos de embalaje y molde .....	71
<b>4.4</b>	<b>Normas aplicables.....</b>	<b>74</b>
4.4.1	Normas de compostabilidad y biodegradabilidad .....	74
<b>5</b>	<b>Capítulo 5: Conclusiones y Perspectivas.....</b>	<b>78</b>
<b>5.1</b>	<b>Conclusiones.....</b>	<b>78</b>
<b>5.2</b>	<b>Perspectivas .....</b>	<b>78</b>
	<b>Referencias Bibliográficas .....</b>	<b>81</b>

## Lista de Tablas

Tabla 2.1 De las 3R a las 15 R.....	18
Tabla 2.2 Categorías de los embalajes.....	19
Tabla 2.3 Propiedades mecánicas del poliestireno y pruebas de la ASTM que las determinan.....	26
Tabla 2.4 Caracterización biológica de la planta <i>Tithonia Tubiformis</i> (Jacq.) Cass (Vibrans H.2 ,1999). ....	34
Tabla 2.5 Revisión de los principales estudios relacionados con embalaje biodegradable.....	35
Tabla 3.1 Fuentes para investigación de patentes relacionadas. ....	39
Tabla 3.2 Clasificaciones CPC relevantes relacionadas con la invención.....	41
Tabla 3.3 Lineamientos para el desarrollo de productos.....	47
Tabla 4.1 Lista de principales clasificadores CPC analizados. ....	57
Tabla 4.2 Lista de patentes relacionadas con el proceso de transformación propuesto. ....	61
Tabla 4.3 Lista de patentes relacionadas con los prototipos de moldeo.....	68
Tabla 4.4 Patentes que tienen influencia para el desarrollo del prototipo. ....	68
Tabla 4.5 Parámetros técnicos de contradicción aplicables al prototipo: .....	69
Tabla 4.6 Parametros técnicos de contradiccion para el desarrollo del prototipo .....	70
Tabla 4.7 Lista de materiales para fabricar el molde del esquinero. ....	74
Tabla 4.8 Normas principales aplicables de compostabilidad y biodegradabilidad. ....	75
Tabla 4.9 Pruebas estandarizadas aplicables de compostabilidad y biodegradabilidad. ....	76

## Lista de Figuras

Figura 1.1 Objetivos de desarrollo sostenible (ONU, 2022).....	14
Figura 2.1 Diferencia en los conceptos de envase, empaque y embalaje (Amba Pack, 2023). .....	19
Figura 2.2 Industria global del embalaje, por geografía. ....	20
Figura 2.4 Empresas nacionales de embalaje industrial. ....	21
Figura 2.5 Empresas de embalaje industrial ecológico. ....	21
Figura 2.6 Simbología de embalaje industrial. ....	21
Figura 2.7 Significado de la simbología más usada en el embalaje industrial (Tecnicarbon, 2023). ....	22
Figura 2.8 Simbología de empaques ecológicos. ....	22
Figura 2.9 Industria global del embalaje por tipo. ....	23
Figura 2.10 Tipos de embalaje. ....	23
Figura 2.11 Empresas internacionales de botellas y envases de plástico. ....	24
Figura 2.12 Cadena de valor de la industria del embalaje. ....	24
Figura 2.13 Empresas internacionales de embalaje industrial biodegradable. ....	29
Figura 2.14 Empresas de embalaje industrial composteable. ....	30
Figura 2.15 Simbología de empaques ecológicos. ....	30
Figura 2.16 Campos de cultivo de girasol ( <i>Helianthus annuus</i> ). ....	31
Figura 2.17 Materiales biológicos y biodegradables fabricados a partir de residuos de girasol. ....	32
Figura 2.18 <i>Tithonia tubiformis</i> en floración en el mes de octubre. ....	32
Figura 2.19 Crecimiento de <i>Tithonia tubiformis</i> en terrenos baldíos de la región de Huejotzingo, Puebla. ....	33
Figura 2.20 Crecimiento de <i>Tithonia tubiformis</i> en un plantío de maíz de la región de Huejotzingo, Puebla. ....	33
Figura 2.21 Muestras de papel obtenido a partir del tallo del girasol en 1914, Zaverchnik (2014). ....	36
Figura 2.22 Ecovative Design, empresa fundada en 2007 basada en micelio de hongo y desechos de cultivos (Ellen MacArthur Foundation, 2023). ....	37
Figura 3.1 Vista del motor de búsqueda en el portal lens.org. ....	43
Figura 3.2 Vista de las opciones de creación de mapas bibliométricos en VOSviewer. ....	43
Figura 3.3 Condición y altura de la planta <i>Tithonia tubiformis</i> al momento del corte. ....	44
Figura 3.4 <i>Tithonia tubiformis</i> al momento del corte. ....	44
Figura 3.5 Preparación de <i>Tithonia tubiformis</i> como materia prima para el estudio. ....	45
Figura 3.6 Detalle de la preparación del tallo de <i>Tithonia tubiformis</i> como materia prima para el estudio. ....	45
Figura 3.7 Poliestireno comercial “cacahuete”. ....	46
Figura 3.8 Niveles de dificultad para la innovación. ....	48
Figura 3.9 Los 40 principios de inventiva de Altshuller. ....	50
Figura 3.10 Matriz de Contradicciones de Altshuller, las columnas y las filas son los parámetros que entran en contradicción. ....	51
Figura 4.1 Resultados de patentes relacionadas en el motor de búsqueda de lens.org. ....	54
Figura 4.2 Visualizador de redes en VOSviewer por citación para la búsqueda “sunflower, stalk, packaging”. ..	54
Figura 4.3 Visualizador de densidad en VOSviewer por citación para la búsqueda “sunflower, stalk, packaging”. 55	
Figura 4.4 Visualizador de redes en VOSviewer por texto para la búsqueda “sunflower, stalk, packaging”. ....	55
Figura 4.5 Visualizador de densidad en VOSviewer por texto para la búsqueda “sunflower, stalk, packaging”. ..	56
Figura 4.6 Fechas de publicación de patentes para la búsqueda “sunflower, stalk, packaging”. ....	56
Figura 4.7 Principales inventores en el tema para la búsqueda “sunflower, stalk, packaging”. ....	57
Figura 4.8 Visualizador de redes en VOSviewer por citación de principales inventores para la CPC B65D65/466. 58	
Figura 4.9 Visualizador de densidad en VOSviewer por citación de principales inventores para la CPC B65D65/466. ....	58
Figura 4.10 Visualizador de redes en VOSviewer para los términos más empleados para la CPC B65D65/466. .	59
Figura 4.11 Visualizador de densidad en VOSviewer para los términos más empleados para la CPC B65D65/466. 59	
Figura 4.12 Fechas de publicación de patentes para la CPC B65D65/466. ....	60

---

Figura 4.13 Carátula de la patente US20100323153A1 y diagrama correspondiente.....	62
Figura 4.14 Diagrama de flujo en bloques del proceso de obtención del “cacahuate”.....	63
Figura 4.15 Presentación “cacahuate” de polocote (cilindros de la parte superior) y poliestireno suelto en color verde.	63
Figura 4.16 Diagrama de Flujo del Proceso de transformación en papel y cartón de la planta <i>Tithonia tubiformis</i> .	64
Figura 4.17 Papel elaborado a partir de <i>Tithonia tubiformis</i> .....	65
Figura 4.18 Cartón elaborado a partir de <i>Tithonia tubiformis</i> .....	65
Figura 4.19 Diagrama de Flujo de Proceso de transformación de la planta <i>Tithonia tubiformis</i> en un sustituto del poliestireno (Biounisel).....	66
Figura 4.20 Placas moldeadas a partir de <i>Tithonia tubiformis</i> .....	66
Figura 4.21 Diagrama de flujo para el proceso general de transformación del polocote ( <i>Tithonia tubiformis</i> ). .	67
Figura 4.22 Diseño de molde para embalaje biodegradable, patente US-20170225381A1.....	69
Figura 4.23 Diseño de molde para pulpa de papel, patente US-6461480B1.....	69
Figura 4.24 Molde manual para inyección de piezas de poliuretano. ....	71
Figura 4.25 Esquinero estándar producto de la empresa Ecovative. ....	71
Figura 4.26 Concepto de prototipo para esquinero. ....	72
Figura 4.27 Dimensiones generales para prototipo de esquinero.....	72
Figura 4.28 Concepto simplificado de molde para esquinero. ....	73
Figura 4.29 Vistas generales y componentes de molde para esquinero. ....	73

I

## Planteamiento del problema de investigación

# 1 Capítulo 1 Planteamiento del problema de investigación

## 1.1 Introducción

Durante las últimas décadas, en el planeta se ha desarrollado en ciertos grupos poblacionales una conciencia ecológica que presiona para encontrar alternativas energéticas, métodos de producción, y materiales de menor impacto para los diversos ecosistemas, para restaurar la capa de ozono y para la salud, tanto del hombre como de otros seres vivos. La búsqueda de alternativas sustentables de energía, y los productos fabricados con materiales que son amigables con el medio ambiente, y que son hoy punta de lanza de importantes esfuerzos innovadores en materia tecnológica y científica.

En este contexto, deben identificarse las actividades humanas que generan mayores daños a nuestro planeta. Así, en algunos casos, el proceso de manufactura de ciertos bienes necesarios para nuestra vida cotidiana es el que mayor huella ecológica genera. En otros, es la inadecuada disposición final del producto la que genera graves problemas. En efecto, el poliestireno expandido (EPS por sus siglas en inglés), también llamado unicel en México, o styrofoam en Estados Unidos, ha sido identificado como un material perjudicial para el medio ambiente bajo las dos condiciones anteriores.

El poliestireno expandido (EPS por sus siglas en inglés) es un material basado en hidrocarburos con cualidades hidrofóbicas y muy resistente a la degradación; que son características que lo convierten en un material muy atractivo para la industria del embalaje. No obstante su popularidad, tanto los investigadores como los consumidores han cuestionado fuertemente sus efectos nocivos para el medio ambiente y la salud humana durante las últimas décadas. El programa ambiental de la Organización de las Naciones Unidas ha reportado que cada año, enormes cantidades de plásticos llegan a los océanos, las cuales se fragmentan en partículas pequeñas que se acumulan en zonas de convergencia. De ellas, un componente importante es el poliestireno expandido debido a su resistencia a la degradación (UNEP, 2011). Además, el EPS es producido a partir del estireno, que es ubicado como un material peligroso para la salud humana en exposiciones prolongadas a altas concentraciones debido a que potencialmente podría afectar la piel, los pulmones, el sistema nervioso, las funciones renales e incluso generar cáncer (CDHS, 1990). El estireno fue agregado por California a la lista de candidatos a sustancias cancerígenas (CEPA, 1999).

Debido a lo anterior, actualmente se realizan esfuerzos que buscan proponer sustitutos del poliestireno expandido por materiales con propiedades físicas semejantes, con la característica de ser sustentables a largo plazo, biodegradables y más amigables con el medio ambiente. Así, y con el fin de contribuir a los esfuerzos por mejorar las condiciones de los ecosistemas en nuestro planeta, en este trabajo se propone el aprovechamiento del tallo del girasol silvestre *Tithonia tubiformis* (Jacq. cass.) como sustituto factible del EPS.

La propuesta que se presenta en este trabajo implica el aprovechamiento de materia prima renovable, abundante, y cuyo costo en este momento, se derivaría de las labores de recolección, traslado y procesamiento, ya que la planta se obtiene de la naturaleza, en terrenos baldíos, e incluso es considerada como algo nocivo por los agricultores. Esto significaría una disrupción en la industria del embalaje, ya que se redefiniría la posición del proveedor y su poder de negociación al no depender de los precios fluctuantes del petróleo, beneficiando la posición del productor al darle mayor capacidad de negociación y la posibilidad de reescribir las reglas del juego en la industria.

## 1.2 Objetivos

### 1.2.1 Objetivo general

Implementar un proceso de transformación para el tallo de *Tithonia tubiformis* (girasol silvestre) para contribuir a la sustitución del Poliestireno Expandido (unicel) en la industria del embalaje.

### 1.2.2 Objetivos específicos

- Realizar el análisis cuantitativo (vigilancia tecnológica) mediante la búsqueda de patentes, en bases de datos nacionales e internacionales, del proceso de transformación de la planta *Tithonia tubiformis* para su uso como material de embalaje.
- Diseñar un prototipo de embalaje biodegradable y un molde que permita fabricarlo.
- Realizar el Diagrama del Proceso de transformación propuesto para la fabricación del embalaje biodegradable.

## 1.3 Justificación

En los últimos años, la industria mundial del embalaje de protección creció significativamente impulsada, en buena medida, por el éxito del comercio por internet. En efecto, se estimó que entre el 2014 y el 2019, esta industria creció a un ritmo del 5% anual (TFG, 2015). Uno de los materiales más ampliamente utilizados en esta industria es el poliestireno expandido, que ha sido considerado como un material perjudicial para los ecosistemas, además de ser potencialmente dañino para la salud humana y de otras especies. Por lo anterior, este material fue recientemente prohibido en diversas ciudades de Estados Unidos y el mundo (BBC, 2015), llegando incluso a su prohibición en la ciudad de México de acuerdo con Bolaños en 2019.

En el escenario ideal, todos los productos transformados por el hombre tendrían que ser biodegradables para degradarse de forma natural y reintegrarse a los ciclos normales de materia dentro de los ecosistemas. En este sentido, el movimiento denominado embalaje verde o green packaging en inglés, ha aumentado su importancia a nivel mundial debido a los incrementos en costos energéticos y la transportación de los materiales tradicionales para el embalaje, normativas ambientales más estrictas, además de una conciencia creciente de los consumidores y grandes distribuidores de bienes por fenómenos como el calentamiento global y la contaminación plástica en los océanos. Se consideró que, para 2014, el embalaje biodegradable sería el sector que más crecería dentro de la industria del embalaje, y la demanda en los Estados Unidos para embalaje, hecho con base en material reciclado, reutilizable y degradable, llegaría a 41.7 mil millones de dólares americanos, consumiendo 26.3 millones de toneladas de material (TFG, 2011).

Dentro de este marco de sustentabilidad en este trabajo se estudió el xilema o tallo del girasol silvestre *Tithonia tubiformis*, una maleza abundante en diversas regiones de México, común en las estaciones de otoño e invierno y que actualmente no es aprovechado, es incluso mediante la quema estacional un fuerte generador de gases de efecto invernadero y una posible razón de muchos incendios forestales. El xilema o tallo de esta planta posee ciertas características similares a las del Poliestireno Expandido y puede ser una alternativa al uso extendido de este material en la industria del embalaje, e incluso, desarrollar potencialmente una nueva cadena de valor que implica la obtención de beneficios ambientales, económicos y sociales. Se propuso el diseño de un proceso de transformación del tallo del polocote para sustituir al poliestireno expandido, específicamente para su uso en la creciente industria del embalaje en el mundo, siendo el embalaje un producto de valor agregado que es de gran importancia por los bienes de consumo que protege.

Cabe mencionar que este proyecto responde a varios objetivos de la Agenda 2030 para el Desarrollo Sostenible, tiene alcance en América Latina y el Caribe y fue aprobada en septiembre de 2015 por la Asamblea General de las Naciones Unidas. Esto incluye temas altamente prioritarios y, como se observa en la Figura 1.1, contiene 17 objetivos con 169 metas, el presente trabajo contribuye a los siguientes objetivos:

- Número 8 Trabajo decente y crecimiento económico.
- Número 9 Industria, Innovación e Infraestructura.
- Número 11 Ciudades y comunidades sostenibles.
- Número 12 Producción y consumo responsables.
- Número 13 Acción por el clima.



Figura 1.1 Objetivos de desarrollo sostenible (ONU, 2022).

Se busca que el presente proyecto permita visualizar alternativas para estimular el crecimiento económico sostenible y para la creación de nuevos empleos en una amplia región del país, además de proponer avances tecnológicos que son esenciales para encontrar soluciones permanentes a los desafíos económicos y ambientales. Se busca generar comunidades más sostenibles con la promoción de industrias afines a través de la inversión en investigación e innovación científicas (ONU,2022).

Para lograr crecimiento económico y desarrollo sostenible, es urgente reducir la huella ecológica mediante un cambio en los métodos de producción y consumo que permitan limitar el aumento global de la temperatura. La gestión eficiente de los recursos naturales compartidos y la forma en que se eliminan los desechos tóxicos y los contaminantes son vitales para lograr este objetivo (ONU, 2022). Es muy importante también generar propuestas de solución que no aumenten el riesgo a la seguridad alimentaria, tratando de minimizar el uso de tierras de cultivo para efectos industriales. En este vasto contexto, la presente propuesta busca obtener beneficios a partir de una plaga que amenaza

permanente los rendimientos de los campos de cultivo en una amplia región del país con el menor impacto ecológico posible.

II

**Marco teórico**

### 2.1 Antecedentes

Los plásticos son ampliamente utilizados en la vida cotidiana para generar gran diversidad de productos, ya que son materiales que se caracterizan por sus excelentes propiedades, maleabilidad, y facilidad para ser procesados. En efecto, aproximadamente 140 millones de toneladas de polímeros sintéticos son producidos cada año (Pogaku, 2013), los cuales, en buena medida terminan siendo desechados. Los embalajes de un solo uso de origen doméstico constituyen el 60% del total de desechos en el mundo (Zheng, 2005).

El poliestireno expandido es uno de los materiales con mayor presencia en la vida cotidiana y es muy utilizado en la industria del embalaje debido a que está compuesto en un 98% por aire (TEMEPP, 2012). Las características particulares del material incluyen un peso ligero, durabilidad, resistencia a la humedad y facilidad de moldeo; además de su bajo costo lo convierten en un material preferido desde el punto de vista logístico por encima de otros materiales. Su estructura espumada ofrece una resistencia extraordinaria tanto a esfuerzos mecánicos como a los impactos y aporta excelentes propiedades de aislamiento térmico.

En Estados Unidos, durante el 2014 se estimó que, para sustituir completamente el embalaje de protección basado en EPS, se tendrían que consumir 1117 millones de kilogramos de papel y cartón como sustituto (TACC, 2014), lo cual, pese a la consideración popular, implica también un mayor costo económico y ecológico por la deforestación y las enormes cantidades de agua que consumiría la industria papelera. Pese a las iniciativas en ciudades y países por desincentivar el consumo del EPS, en 2013 se produjeron 21 millones de toneladas a nivel mundial (Ho, 2017).

El EPS es un material que es considerado normalmente como no biodegradable, aunque en realidad se degrada a un ritmo muy lento, que depende de las condiciones del ambiente. Se han realizado estudios en suelos cultivados con elevada presencia de hongos, microorganismos, e invertebrados en los cuales se encontró sólo un 1 % de degradación después de 90 días (Ho, 2017). Aunado a lo anterior, la capacidad de ser reciclado es muy pobre debido a la inviabilidad económica y logística para su reaprovechamiento en estos momentos. Se estima que el material ocupa aproximadamente el 25% del volumen en los tiraderos de los Estados Unidos (Bayer 2010), pese a que solo representa una cantidad mínima en el peso total de los desechos. Un volumen de 0.028m<sup>3</sup> de este material tiene el contenido energético de un litro y medio de petróleo, que permitiría a un automóvil avanzar aproximadamente 13 kilómetros (Bayer 2010); malgastando así un recurso valioso y no renovable. De esa manera, utilizar eficientemente los recursos energéticos ayuda a sostener los sectores de transporte, industrial, residencial y comercial de una nación, por lo que cualquier cambio significativo en el precio de los recursos energéticos impacta negativamente “el costo por hacer negocios”, afectando profundamente la economía de los países (USDA, 2008).

Debido a lo anterior, actualmente se realizan esfuerzos para proponer sustitutos del poliestireno expandido por materiales con propiedades físicas semejantes, con la característica de ser biodegradables y con una menor huella ecológica.

### 2.2 Industria del embalaje

Con el advenimiento de la Revolución Industrial a finales del siglo XIX, los consumidores por primera vez tuvieron al alcance una gran cantidad de bienes procesados y experimentaron la competencia entre los mismos. En este esquema de mercado, el cliente tuvo toda la facultad para exigir mayor valor por su dinero, de modo que la integridad del producto y la presentación comenzaron a ser cada vez más importantes.

El embalaje es visto por muchas personas sólo como un medio para contener un producto. Sin embargo, su costo llega a representar entre el 30 y el 40 % del precio final de un producto, mientras que, en el caso de que el embalaje sea reusable, baja el precio (Rodríguez, 2013). Actualmente, el embalaje se considera un producto en sí y es el origen de grandes empresas fabricantes de embalajes y de tecnologías de codificación y marcaje, para lo cual ha sido necesario el desarrollo de impresoras y máquinas empacadoras. Las estrategias ambientales para combatir el cambio climático buscan la disminución de los residuos implementando las 3R, que han ido incrementándose incluso hasta 15R, como se ve en la Tabla 2.1.

Tabla 2.1 De las 3R a las 15 R.

3R	10R	15R
Reducir Reutilizar Reciclar	Reordenar Reformular Reducir Reutilizar Refabricar Reciclar Revalorizar energéticamente Rediseñar Recompensar Renovar	Revalorizar Reestructurar Reducir Reutilizar Reciclar Redistribuir Resignificar Repensar Renovar Restaurar Reacondicionar Reunir Reusar Rehusar R-EVOLUCIÓN

La función del embalaje comienza desde la obtención del producto en la fuente de producción y abarca hasta el punto de uso final, en la manera más conveniente y efectiva en costo (USEPA, 1998), y además el enfoque actual aumenta la función hasta la deposición final del producto. Así, la industria del embalaje es esencial para sostener el sistema moderno de producción y distribución de bienes.

La mayoría de los bienes de consumo modernos vienen en un embalaje que debe cumplir alguna de las funciones siguientes (Davis, 2006):

- Proveer protección de daño físico, contaminación y deterioro.
- Hacer al producto más atractivo para la venta.
- Hacer al producto fácilmente reconocible y otorgarle identidad.
- Proporcionar información acerca del producto
- Optimizar los costos de distribución y de almacenamiento.
- Proveer al cliente conveniencia y seguridad.

Las categorías de los embalajes se muestran en la Figura 2.1 y en la Tabla 2.2, lo que permite seleccionar los diferentes materiales utilizados para su fabricación de acuerdo con sus aplicaciones. Aunque guardan mucha relación, frecuentemente se confunden los términos envase, empaque y embalaje; aun cuando estas palabras no son sinónimos, por lo que la Tabla 2.2 de (Davis, 2006) se modificó para precisar estos conceptos. Cabe señalar que la diferencia principal es el grado de contacto que tienen con el producto y su tamaño va aumentando conforme se aleja de este.



Figura 2.1 Diferencia en los conceptos de envase, empaque y embalaje (Amba Pack, 2023).

Tabla 2.2 Categorías de los embalajes (Amba Pack, 2023).

Categoría del embalaje	Descripción	Nombre	Ejemplo
Embalaje primario	El embalaje está en contacto directo con los bienes de consumo y es el utilizado por los usuarios finales.	Envase. Es el recipiente que alberga al producto directamente para conservarlo y resguardarlo, así como para evitar fugas y alteraciones o daños por el ambiente exterior.	Botellas que contienen líquidos como leche, refresco, agua. Latas metálicas de conservas.
Embalaje secundario	Incluye las aplicaciones más grandes como cajas, las cuales son utilizadas para contener cierta cantidad de embalajes primarios.	Empaque. Es el envase secundario que protege al producto y tiene fines publicitarios, informativos y comerciales. Puede ser una envoltura como una segunda piel. Como información suele tener la marca, la fecha de caducidad, tablas nutrimentales, instrucciones de uso. En alimentos debe cumplir la normativa de empaques para alimentos.	Caja de cartón para guardar las latas de conserva, de leche.
Embalaje terciario	Es el embalaje utilizado para ayudar en la transportación de grandes cantidades de bienes de consumo, tales como pallets de madera, o grandes envolturas plásticas.	Embalaje. Es el elemento que reúne varios empaques para transportarlos a su destino., generalmente de la fábrica hacia los puntos de venta. No suele tener información.	Bolsas grandes, cajas de cartón grandes, cajas de madera.

El mercado global de la industria del embalaje está valorado en USD \$400,000 millones con una participación casi equitativa entre Norteamérica, Asia, y Europa, según la Figura 2.2

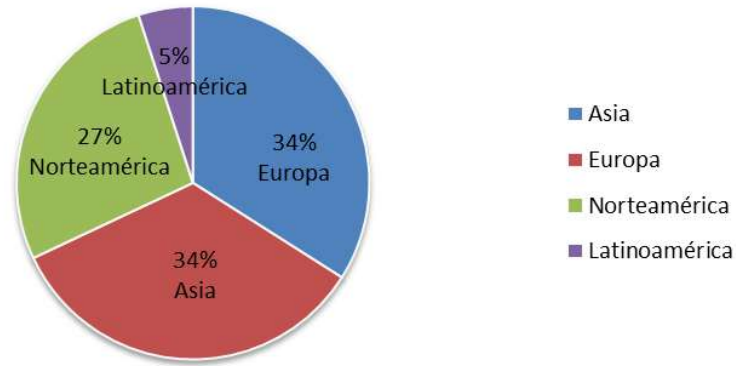


Figura 2.2 Industria global del embalaje, por geografía (EY, 2013).

En la Figura 2.3 se muestran diferentes marcas de empresas nacionales de empaques y en la Figura 2.4 de empresas nacionales de embalajes. Asimismo, se han establecido empresas ecológicas de embalaje, que han desarrollado materiales biodegradables amigables con el medio ambiente para contribuir a la lucha contra el cambio climático, como las de la Figura 2.5. Como se mencionó anteriormente, los embalajes suelen tener información relacionada con publicidad o con instrucciones de uso. En la Figura 2.6 se observan algunas simbologías de embalaje industrial de las muchas que se han propuesto. En la Figura 2.7 se muestran las más utilizadas con una breve descripción de su significado (Tecnicarbon, 2023) y en la Figura 2.8 se presenta la simbología para empaques ecológicos que se han desarrollado en la actualidad. Es de señalar que tanto el producto como el embalaje deben de cumplir las normas de calidad industrial.



Figura 2.3 Empresas nacionales de empaque industrial (AMEE, 2023).



Figura 2.4 Empresas nacionales de embalaje industrial (AMEE, 2023).



Figura 2.5 Empresas de embalaje industrial ecológico (Planecos, 2023).



Figura 2.6 Simbología de embalaje industrial (Alamy, 2023).



Figura 2.7 Significado de la simbología más usada en el embalaje industrial (Tecnicarbon, 2023).



Figura 2.8 Simbología de empaques ecológicos (Zenpack,2023).

El sector incluye cinco tipos principales de embalaje: papel y cartón, plásticos rígidos, vidrio, plástico flexible, y latas para bebidas. La Figura 2.9 muestra los porcentajes de cada uno, indicando que los más utilizados son el papel y el cartón que se reportan juntos con un 34 %, seguido de los plásticos rígidos con 27 % (EY, 2013). En la Figura 2.10 se pueden observar ejemplos de los tipos de embalaje y en la Figura 2.11 las marcas de empresas internacionales de botellas y envases de plástico.

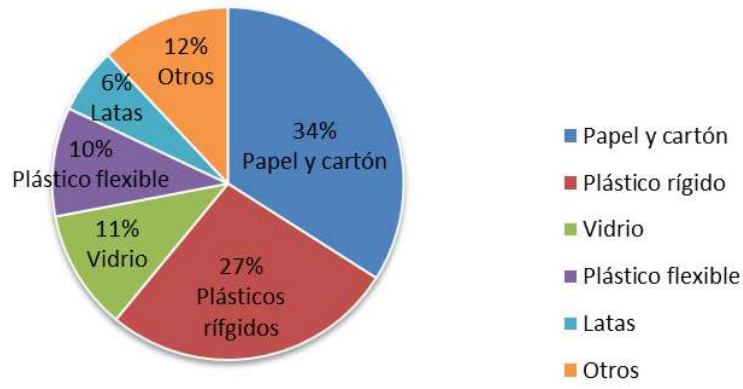


Figura 2.9 Industria global del embalaje por tipo (EY,2013).



Cartón



Papel Kraft



Almohadilla inflable



Burbuja



Foam



Foam



Cacahuete



Unicel



Unicel y cartón

Figura 2.10 Tipos de embalaje, elaboración propia.



Figura 2.11 Empresas internacionales de botellas y envases de plástico (NAPCOR, 2023).

La industria del embalaje depende de materias primas sin procesar que se transforman a fin de generar un bien de mayor valor agregado. Sin embargo, dentro de la cadena de valor, las empresas que realizan las actividades de conversión se encuentran siempre en una posición vulnerable, la Figura 2.12 representa las relaciones entre estos sectores.

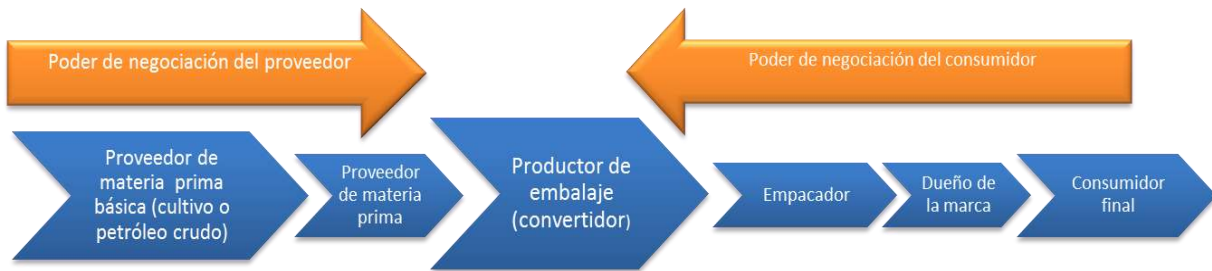


Figura 2.12 Cadena de valor de la industria del embalaje (EY, 2013).

Del lado de la proveeduría de materia prima (que equivale a más de la mitad del costo del embalaje), grandes consorcios internacionales proporcionan derivados del petróleo e insumos generados a partir de la industria maderera. Dichos consorcios son capaces de incrementar a voluntad el costo, cuando la disponibilidad de materia prima es menor y, de acuerdo con los precios variables de la energía, los cuales fluctúan cada semana. Del lado del consumidor, están también poderosas empresas de bienes de consumo que no desean incrementar el precio al cliente final (EY, 2013).

Por tanto, es evidente que para competir exitosamente en el mercado actual del embalaje se debe tener un gran cuidado en el manejo y previsión de la materia prima, así como de su precio, relacionado con su disponibilidad. En el caso de este estudio, en particular la industria del poliestireno depende del petróleo y de sus precios; es un área de oportunidad ya que en un futuro muy cercano el petróleo se agotará y es necesario encontrar con que sustituirlos.

### 2.3 Poliestireno expandido

El poliestireno expandido, conocido comercialmente en los Estados Unidos como Styrofoam, es uno de los tipos más comunes de plástico. Es un polímero sin color usado extensivamente para aplicaciones de bajo costo, se fabrica a partir del monómero aromático denominado estireno, manufacturado comercialmente a partir del petróleo (Gray, 2011).

En 1831 se descubrió el material llamado estireno al analizar los vapores expelidos al calentar una goma vegetal llamada storax. En aquella época, los científicos se percataron de que el estireno líquido era una de las inusuales sustancias que podían experimentar un cambio físico para pasar al estado sólido. Eventualmente se llegó a un método para producir el estireno de manera sintética (Klempner, 2004).

En 1929 la compañía Dow Chemical desarrolló el método de producción de torre que consistía en mezclar estireno y butileno en una torre de grandes dimensiones, lo cual provocaba la expansión en grandes barras de espuma, que después eran cortadas en las formas deseadas. Así surgió la marca registrada Styrofoam, cuyas barras eran usadas como parte del equipo de flotación para la marina estadounidense y boyas para la red antisubmarina durante la segunda guerra mundial. Después de la guerra, la empresa encontró utilidad para el material en la decoración y para aplicaciones aislantes. La empresa también desarrolló entre 1940 y 1960 el proceso de extrusión continua, que es la base para el proceso actual de producción (Klempner, 2004).

El uso total de las espumas de poliestireno en los Estados Unidos pasó de aproximadamente 710,000 toneladas en 1992, a 980,000 toneladas en 2002 y se proyectó un crecimiento del 3 % al 4% anual desde entonces (Ita, P. 1993).

### 2.3.1 Nomenclatura del poliestireno expandido

El poliestireno forma parte de la familia de los plásticos celulares, cuya densidad es notablemente reducida por la presencia de numerosas celdas dispuestas en su masa. Estas celdas construyen un sistema de dos fases (gas y sólido) en las que el sólido es continuo y compuesto de un polímero sintético o goma y la fase gaseosa es distribuida en receptáculos. Si estas celdas están interconectadas, el material se denomina “de célula abierta”, y si el gas está atrapado en cada una de estas celdas, se conoce como “de célula cerrada” (Klempner, 2004).

### 2.3.2 Proceso de expansión del poliestireno expandido

La manera más común de producir poliestireno expandido es a través del aprovechamiento de un polímero en fase líquida que contiene un agente de expansión, llevándolo posteriormente a un estado de baja densidad celular y preservando dicho estado. En general, el proceso consta de tres pasos (Klempner, 2004):

- La creación de pequeñas discontinuidades en las células en un fluido o fase plástica.
- El crecimiento de las células hasta un volumen deseado.
- La estabilización de la estructura celular resultante por medios físicos o químicos. El material es producido en cinco presentaciones principales: placa extruida, lámina extruida, gota moldeada expandida, espuma estructural moldeada por inyección, y relleno suelto para embalaje.

### 2.3.3 Propiedades físicas del poliestireno

Las principales propiedades del poliestireno se enlistan a continuación:

- Las espumas de poliestireno tienen una amplia gama de propiedades físicas, y estas características dependen de su composición y geometría.
- Los procedimientos de prueba para esta familia de materiales varían en cada país, La Asociación Americana de Pruebas de Materiales (ASTM por sus siglas en inglés) ha desarrollado una serie de procedimientos de prueba que se actualizan cada año. En la Tabla 2.3 se enumeran algunas de las propiedades mecánicas principales del poliestireno y la prueba de la ASTM correspondiente para su medición. Entre sus principales propiedades encontramos la densidad, resistencia a la compresión y a la tensión, así como módulo de compresión.
- Otras características físicas importantes del poliestireno son la inflamabilidad, temperatura máxima de servicio, resistencia a la humedad, propiedades eléctricas, acústicas, permeabilidad y degradación ambiental (Klempner, 2004).

Tabla 2.3 Propiedades mecánicas del poliestireno y pruebas de la ASTM que las determinan.

Propiedad	Valor	ASTM Test
Densidad	32 (kg/m <sup>3</sup> )	35
Resistencia a la compresión	207-276 (kPa al 10%)	D1621-310
Resistencia a la tensión	310-379 (kPa)	D1623-517
Resistencia a la flexión	379-517 (kPa)	D790-1138
Módulo de compresión	3.4-14 (MPa)	D1621-10.3
Módulo de corte	7.6-11 (MPa)	C273-241
Coefficiente de expansión lineal	5.4-7.2 (105/°C)	D696-6.3
Absorción de agua	1-4 (% volumen)	C272-0.02

### 2.3.4 Aplicaciones del poliestireno en la industria del embalaje

Tanto las espumas rígidas como las flexibles son ampliamente usadas en el embalaje por su bajo costo, facilidad de fabricación, resistencia a la humedad, conductividad térmica, buena apariencia para el consumidor, y propiedades mecánicas, especialmente las características compresivas. La baja densidad de la mayoría de los plásticos celulares reduce los costos de transportación, y las espumas con densidades de entre 4 a 32 kg/m<sup>3</sup> son las más utilizadas para estas aplicaciones (Klempner, 2004).

En los Estados Unidos, el volumen de poliestireno dedicado a la aplicación de embalaje pasó de 299,000 toneladas en 1982 a 694,000 en 2002 (Klempner, 2004). Se proyectó que el mercado de embalaje de protección en Estados Unidos aumentaría 5% por año hasta que llegara a valer USD \$6800 millones en 2019 impulsado fuertemente por las ventas por internet (TFG, 2015).

La información necesaria para el diseño de embalajes protectores incluye un análisis del impacto al cual el artículo puede ser sujeto y las propiedades de amortiguamiento del material. Es importante considerar también la vibración y aislamiento del impacto, diseño de embalaje de protección, selección de material amortiguante, y la caracterización del polímero celular (Paine, 2012). Para algunas aplicaciones, es indispensable que el embalaje sea muy limpio y no forme polvo, que sea resistente a la humedad, y para los componentes electrónicos es preciso que el material sea antiestático (Klempner, 2004).

### 2.3.5 Emisiones atmosféricas y aspectos de salud

El Programa de las Organización de las Naciones Unidas para el Medio Ambiental de las Naciones Unidas ha reportado que cada año, enormes cantidades de plásticos de consumo llegan a los océanos, las cuales se fragmentan en partículas pequeñas que se acumulan en zonas de convergencia. De estas, buena parte corresponde a poliestireno expandido debido a su alta resistencia a la degradación, acentuada por la carencia de rayos UV que propiciaría su desintegración (UNEP, 2011).

Todas las espumas plásticas tienen como agente expansivo o agente espumante a un gas inerte como el CO<sub>2</sub> o N<sub>2</sub>, los cuales son agentes químicos que liberan gases inertes. Éstos son hidroclorofluorocarbonos que contienen de 3 a 5 átomos de carbono, tales como HCFC-22, HCFC-142b, HCFC-141b, HFC-134a y HFC-152a. Desde la primera publicación de la teoría de la degradación de la capa de ozono causada por los clorofluorocarbonos (Molina, 1974), la industria plástica ha buscado desarrollar como respuesta procesos de transformación alternativos, y en el caso concreto del proceso de fabricación del Poliestireno expandido, desde 1990 ya no se emplean clorofluorocarbonos como agentes de expansión (Friend, 2005).

Los hidroclorofluorocarbonos son también sustancias altamente inflamables y constituyen un riesgo de incendio durante el proceso de fabricación de las espumas de poliestireno, por lo cual son una amenaza constante para la integridad de los trabajadores de esta industria (Klempner, 2004).

Aunado a lo anterior, los productos de la combustión de las espumas plásticas son comúnmente monóxido de carbono y dióxido de carbono, que presentan aditivos o monómeros sin reaccionar en algunas espumas plásticas. Esta situación puede limitar su uso para el contacto con alimentos o con humanos. Se recomienda no calentar alimentos directamente en contenedores hechos con EPS, ya que pueden desprender lixiviados que contaminan la comida con estireno, el cual en altas dosis en el organismo puede actuar como una neurotoxina (Friend, 2005).

### 2.3.6 Reciclaje y sustentabilidad del poliestireno expandido

Desde la década de los noventa se ha incrementado el interés respecto al impacto del ciclo de vida total de los productos, desde la adquisición de la materia prima hasta su deposición final. Este es un punto importante ya que, si sólo una porción del ciclo de vida es analizada, la decisión de compra entre cuál de las alternativas tiene un menor impacto ecológico, podría verse sesgada erróneamente. Diversas técnicas han sido desarrolladas en el mundo para la evaluación del ciclo de vida del producto; por ejemplo, el Lyfecycle Assessment de la EPA. Este enfoque en el ciclo de vida ha sido reinterpretado recientemente con el término sustentabilidad, el cual observa no sólo cuál producto es mejor o peor para el medio ambiente, sino también cómo un producto es fabricado, usado, y depuesto de tal manera que permita seguirlo produciendo y usando por un tiempo indeterminado (Harper, 2006).

Se ha detectado que cada año se desechan 2.3 millones de toneladas de poliestireno en los depósitos municipales de Estados Unidos, de las cuales 23% corresponde a contenedores y embalaje fabricados con este material (USEPA, 2015). Debido a la contaminación con la comida, muy poco del poliestireno expandido dedicado a envases de alimentos y bebidas es reciclado, y numerosos intentos en este sentido han mostrado su inviabilidad financiera desde la década de los noventa (Harper, 2000). Pese a lo anterior, 57 mil toneladas de poliestireno expandido reportan haber sido recicladas en 2013 (EPSIA, 2014) y la presentación en loose fill o “cacahuete” presenta un nivel considerable de recuperación, del orden del 30%.

Uno de los problemas al reciclar el poliestireno expandido es su baja densidad que, irónicamente tiene esta propiedad como su principal ventaja al ser usado como material de embalaje, ya que se generan elevados costos de transportación para su procesamiento. Ante este problema, se han generado soluciones como la aplicación de un solvente que convierte el material en gel y reduce el 90% de su volumen para su envío y posterior reciclaje (Harper, 2006).

México no es ajeno a estos esfuerzos, y en los últimos años cobró relevancia el desarrollo que hizo un equipo interdisciplinario de la UNAM que diseñó y construyó una máquina de reaprovechamiento de poliestireno expandido con la capacidad de producir pellets aprovechables para la fabricación de otros productos plásticos. En 2017 la empresa surgida a partir de esta investigación abrió en la ciudad de México el primer centro de acopio de EPS, con las ventajas de tener un proceso de bajo costo comparado con las soluciones desarrolladas en otros países (Urbina, 2017).

## 2.4 Embalaje biodegradable

El término “biodegradable” es ampliamente utilizado por muchos productos plásticos a fin de ser más fáciles de comercializar al ser “amigables con el medio ambiente”. De acuerdo con la ASTM, se define la biodegradación como la degradación que demuestra ser causada por la actividad biológica, particularmente la actividad de enzimas, que conducen a cambios sustanciales en la estructura química. Los productos resultantes de la degradación deben ser químicos como agua, dióxido de carbono, metano, compuestos inorgánicos, o biomasa (USDA, 2008).

### 2.4.1 Contexto internacional del embalaje biodegradable

En países donde la conciencia ecológica se ha desarrollado ampliamente, como en Alemania, se tienen regulaciones que alientan el uso de materiales biodegradables para la industria del embalaje. La 5ª. Revisión

de la Ordinance on the Avoiding and Recovery of Packaging Wastes hizo hincapié en la responsabilidad que tienen los fabricantes de sistemas de embalaje respecto del ciclo de vida del producto, incluida la deposición final, y ordenó desde su emisión en 2008 un aumento en la recuperación de los desechos de la industria del embalaje (Detzel, 2013). Actualmente en Europa, existen países como Suiza, Austria, Holanda, Luxemburgo, Suecia, Finlandia, Bélgica, Dinamarca y Noruega que tienen estrictos controles para la deposición final en tiraderos, en los cuales más del 90% de sus desechos son destinados al reciclaje o a la reconversión energética (PTF, 2019).

Llevando entonces la batuta, Alemania ha incentivado el desarrollo de plásticos biodegradables, algunos de los cuales están hechos a base de celulosa, pero también de derivados de comestibles como hojuelas de maíz, trigo y papa. Así han nacido alternativas al uso de plásticos convencionales como el poliestireno expandido, polietileno, entre otros. Al comparar este tipo de productos biodegradables contra sus contrapartes plásticas se detectaron ventajas en indicadores de cambio climático, emisión de partículas, conservación de la capa de ozono, aprovechamiento de recursos fósiles, y disminución en riesgos de cáncer, entre otras (Detzel, 2013).

La Agencia de Protección Ambiental de los Estados Unidos (EPA, por sus siglas en inglés) desarrolló en la década de los noventa el programa 33/50 como una medida para la reducción de agentes tóxicos emitidos al ambiente. El programa invitó a la industria a suscribir voluntariamente acuerdos que condujeran a la reducción de 17 agentes contaminantes en un 33% para finales de 1992, y en un 50% para 1995. Uno de los componentes mencionados en la iniciativa fue el benceno, que es el principal precursor del poliestireno expandido (USEPA, 1998).

Es importante resaltar que la creciente conciencia ecológica entre los consumidores hace que un 82% estén dispuestos a pagar más por un producto con embalaje biodegradable, donde un 29% podría pagar hasta 10% más por un producto con estas características (2023, Trivium).

## 2.4.2 Productos bio-basados

Un producto bio-basado o biomaterial se define como un producto comercial (que no es alimento ni forraje) que está compuesto total o parcialmente, de productos biológicos o materiales agrícolas domésticos renovables (incluyendo plantas, animales, material marino o forestal). Estos biomateriales tienen diferentes grados de degradación y son más sostenibles que los polímeros derivados del petróleo (USDA, 2008).

Dentro de los biomateriales encontramos a los plásticos biobasados o también llamados bioplásticos, que a diferencia de los biopolímeros que se generan directamente en la naturaleza como el almidón, las proteínas o la lignina; requieren de etapas de procesamiento químico antes de su utilización (Vázquez, 2013).

De acuerdo con la norma mexicana NMX-E-260-CNCP-2014, En la norma mexicana (CNCP, 2014) los bioplásticos se definen como plásticos cuya constitución proviene de las siguientes materias primas:

- Materias primas de origen renovable y biodegradables.
- Materias primas de origen renovable y no biodegradables.
- Materias primas de origen petroquímico biodegradables.

Entre los polímeros de base biológica más significativos en el mercado, podríamos citar los productos Natureworks de la empresa Cargill (Barrett, 2018), Mater-Bi y Eastar Bio de la empresa Novamont SpA, y Ecoflex de BASF, cuyas marcas se aprecian en la Figura 2.13. Un grupo de polímeros de base biológica resulta sumamente interesante: los polímeros de fécula, que son fácilmente biodegradables e incinerables, y con los cuales se pueden fabricar materiales como espuma de fécula biodegradable e incluso productos de embalaje. Estos productos podrían reemplazar al poliestireno expandido, al polietileno, y al polipropileno (Detzel, 2013).

Pese a todo lo anterior, los biomateriales están hechos con materiales vírgenes (no desechos), y tienen la enorme desventaja de ser elaborados con frecuencia a partir de cultivos comestibles, además de requerir

grandes cantidades de recursos energéticos y agua para su obtención. La reciclabilidad de estos materiales es un proceso complejo, que involucra una separación meticulosa y tratamientos especiales. En el 2005, los biomateriales atacaron a un nicho pequeño del mercado, sólo 0.2% del total (USDA, 2008) y en términos de calidad y precio todavía no han podido competir con plásticos como el poliestireno expandido. Se consideró prospectivamente que el mercado global de biopolímeros pasaría de 14,900 millones de dólares en 2007 a 53,021 millones de dólares en 2017, con un aumento del 355% en sólo diez años (IE, 2011).



Figura 2.13 Empresas internacionales de embalaje industrial biodegradable, elaboración propia.

### 2.4.3 Compostabilidad del embalaje

El compostaje es un proceso biológico en el que microorganismos convierten materia orgánica como excremento, hojas, papel y desechos de comida en una sustancia parecida al suelo llamada composta. Este proceso natural consiste en que un material orgánico es descompuesto por bacterias y hongos, los cuales utilizan materia orgánica como alimento, produciendo CO<sub>2</sub> y humus como producto final. Para realizarse requiere la disponibilidad de carbono que se usa como fuente de energía, nitrógeno para construir estructuras celulares, agua y oxígeno (Gaurav, 2007).

Actualmente se están desarrollando embalajes ecológicos obtenidos a partir de desechos orgánicos. Estos son de última generación que son composteables; y en la Figura 2.14 se presentan las marcas de empresas que han desarrollado esta tecnología. Asimismo, la simbología que se ha propuesto para embalajes ecológicos entre los que destacan los símbolos de biodegradable, composteable e incluso orgánico, Figura 2.15. La empresa BASF desarrolló Nature Fresh una biopelícula con base Ecovio® y Ecoflex®, se trata de un polímero extensible y compostable certificado para envasado automático a escala mundial. En la página del Foro Química y Sociedad (2023) se indica que combina cualidades estéticas (transparencia, antivaho) y garantiza un rendimiento similar a las películas (filmes) de PVC y mejor transmisión del vapor de agua que los films extensibles tradicionales.

Un proceso de compostaje se lleva a cabo en dos etapas, una de composteo activo y un periodo de curado. En la primera etapa la temperatura se eleva en presencia de oxígeno, lo cual resulta en un aumento

en la actividad microbiana. En la etapa posterior la temperatura disminuye, pero los materiales continúan con el proceso de degradación a un ritmo menor hasta que los microorganismos consumen todos los nutrientes y la totalidad del carbono ha sido convertido en dióxido de carbono. El composteo aeróbico se lleva a cabo en presencia de oxígeno, en ausencia de oxígeno el metabolismo cambia a un proceso anaerobio llamado digestión anaerobia (Gaurav, 2007).

La digestión anaerobia es también un proceso natural de degradación en el cual la materia orgánica se descompone en componentes químicos más simples, produciendo biogás y abono orgánico (biol). El biogás es una mezcla de gases compuesta en su mayoría por metano. El biol es un abono parecido al humus, que tiene utilidad para enriquecer los suelos y se usa como abono orgánico. La calidad de la composta producida de manera aeróbica es diferente de la generada por procesos anaeróbicos, ya que se involucran microorganismos diferentes (Gaurav, 2007).



Figura 2.14 Empresas de embalaje industrial composteable, elaboración propia.



Figura 2.15 Simbología de empaques ecológicos, elaboración propia.

## 2.5 Uso de plantas en la industria del embalaje

### 2.5.1 Planta de girasol como caso de éxito

La planta con nombre científico *Tithonia tubiformis* (Jacq.) Cass o girasol silvestre, como flora arvense y ruderal presenta un área de oportunidad real en la industria del embalaje, ya que su pariente cercano y con el que comparte muchas características, la planta de girasol *Helianthus annuus* es un caso de éxito bien documentado, como se puede apreciar en la Figura 2.16. En efecto, y de acuerdo con la página de Bioeconomía (2019), a partir del girasol se ha desarrollado un portfolio de productos; se entiende como portfolio a la colección de las mejores creaciones de un diseñador para ser mostrados a los clientes con el fin de comercializarlos. Fue la idea del diseñador holandés Thomas Vailly quien se unió a científicos de la Escuela Superior Nacional de Ingenieros y Técnicos para el Arte (ENSIACET) de Toulouse, Francia, para desarrollar

una variedad de materiales para el aprovechamiento integral del girasol, es decir, tanto de la flor, como de los residuos de la cosecha y de los obtenidos después del procesamiento del girasol.

Comúnmente, las semillas de la flor son usadas para producir aceite comestible, semillas o biocombustible; el aceite es extraído de las semillas prensándolo, y dejando como desecho la torta de prensado. La torta que queda después de extraer el aceite de las semillas se puede utilizar para fabricar alimento para animales, pegamento a base de agua o películas delgadas similares al cuero (bajo condiciones de presión y temperatura adecuadas).

El residuo de la cosecha, es decir los tallos después de una segunda cosecha, sirvieron para crear un material sostenible, un aglutinante no sintético y un barniz no tóxico. Para fabricar estos productos, se separan la corteza y la médula, las fibras de la corteza se calientan y comprimen para fabricar tableros; por otra parte, la médula se combina con el pegamento, a base de agua de la torta, para fabricar un material compuesto similar al poliestireno. El pegamento también se puede usar como adhesivo para pegar los materiales obtenidos y después recubrirlos con barniz de girasol.

De estos materiales biológicos y biodegradables obtenidos a partir de residuos del girasol, algunos se consideran bioplásticos por lo que tienen numerosas aplicaciones, como son pernos, paneles, tableros, muebles, estuches para teléfonos, vajillas, empaques, entre otros, Figura 2.17. No son un reemplazo al plástico porque sus propiedades son diferentes, pero tienen cualidades diferentes que pueden explotarse (Bioeconomía, 2019).

La página de Bioeconomía (2019) menciona que investigadores británicos y franceses desarrollaron un proyecto similar que es la fabricación mejorada de un antiguo material de construcción, hecho de una mezcla de agua, suelo y fibras como paja y cáñamo, opción ecológica para fabricar casas.



Figura 2.16 Campos de cultivo de girasol (*Helianthus annuus*). (Katiessunflowers,2024)



Figura 2.17 Materiales biológicos y biodegradables fabricados a partir de residuos de girasol, elaboración propia.

### 2.5.2 Planta arvense *Tithonia tubiformis*

El girasol silvestre cuyo nombre científico es *Tithonia tubiformis* (Jacq.) Cass, es una planta arvense y ruderal, en México se ha estimado entre 2298 y 2814 especies de flora arvense y ruderal (Villaseñor, 1998). En este contexto, sobresale la planta *Tithonia tubiformis* (Jacq.) Cass que es una de las dos especies arvenses más comunes de los estados de Puebla y Tlaxcala (Vibrans, 1999), las Figuras 2.18-2.20 muestran imágenes de la planta como maleza no deseada.

Las plantas arvenses son generalmente conocidas como "malezas" y compiten con los demás cultivos, reduciendo la productividad de estos. Han sido ampliamente estudiadas bajo diversos enfoques, entre los cuales se encuentran: el evolutivo, el ecológico, el agronómico y especialmente su resistencia a herbicidas (García, 2011). La mayoría de los artículos relacionados con malezas, abordan el problema de cómo lidiar con ellas o eliminarlas.

En contraste, en el contexto de la agricultura tradicional de México, numerosas especies de plantas arvenses se reconocen como recursos importantes para satisfacer diversas necesidades humanas, principalmente de alimento, medicina y forraje; en algunos casos, también se ha documentado su valor económico potencial (García, 2011).



Figura 2.18 *Tithonia tubiformis* en floración en el mes de octubre.



Figura 2.19 Crecimiento de *Tithonia tubiformis* en terrenos baldíos de la región de Huejotzingo, Puebla.



Figura 2.20 Crecimiento de *Tithonia tubiformis* en un plantío de maíz de la región de Huejotzingo, Puebla.

### 2.5.2.1 Caracterización de la planta *Tithonia tubiformis*

*Tithonia tubiformis* o girasol silvestre es también conocida como polocote, palocote, tempolocote, sunté, gigantón, andán, andani, y acahual. Su presencia ha sido documentada en casi todo el país, siendo los 27 estados en los que se encuentra: Aguascalientes, Campeche, Chiapas, Chihuahua, Coahuila, Colima, Distrito Federal, Durango, Estado de México, Guanajuato, Guerrero, Hidalgo, Jalisco, Michoacán, Morelos, Nayarit, Nuevo León, Oaxaca, Puebla, Querétaro, San Luis Potosí, Sinaloa, Tabasco, Tamaulipas, Tlaxcala, Veracruz y Zacatecas (Villaseñor, 1998). Esta planta silvestre es una planta nativa de América (Vibrans H.2, 1999). El polocote es la maleza más común y que más problemas origina en el sorgo para grano en el norte de Tamaulipas (Rosales, 2004). El Eje Volcánico Transmexicano divide las dos variedades principales de girasol silvestre en México: *Helianthus annuus* es sustituido por *Tithonia tubiformis* cuando uno avanza hacia el sur de esa cadena montañosa (Bye, 2009). Se ha reportado la presencia de la planta en otros cultivos como el ajonjolí, alfalfa, arroz, avena, cacahuete, calabaza, cebolla, frijol, frutales, girasol, linaza, maíz, así como en plantas ornamentales, sorgo, tabaco y trigo (Villaseñor, 1998). En la Tabla 2.4 se presenta la caracterización biológica de la planta *Tithonia Tubiformis* (Jacq.) Cass.

Tabla 2.4 Caracterización biológica de la planta *Tithonia Tubiformis* (Jacq.) Cass (Vibrans H.2 ,1999).

Característica	Descripción
Reino	Plantae
Subreino	Traqueobionta (plantas vasculares)
Superdivisión	Spermatophyta (plantas con semillas)
División	Magnoliophyta (plantas con flor)
Clase	Magnoliopsida (dicotiledóneas)
Subclase	Asteridae
Orden	Asterales.
Hábito y forma de vida	Planta anual, erecta, por lo general muy robusta.
Tamaño	De hasta 4 m de alto
Tallo	Cilíndrico, finamente estriado, veloso-hirsuto en toda su extensión, aunque el indumento es más denso en los tallos jóvenes y en los pedúnculos de las cabezuelas, de tal modo que se ven blanquecinos, cuando no es así, son rojizos o verdosos, más o menos ramificado.
Inflorescencia	Cabezuelas solitarias o agrupadas por varias en el extremo de las ramas, sobre pedúnculos fistulosos, ensanchados y cubiertos por pubescencia larga y densa hacia su extremo, hasta de 45 cm de largo; involucre anchamente campanulado, sus brácteas 15 a 25, de largo subigual o algo desigual, oblongas a lanceoladas, de 1.5 a 3.5 cm de largo, hispido-pilosas; receptáculo convexo a hemisférico, paleas ovadas, de 10 a 18 mm de largo, cuspidadas o aristadas y a menudo oscuras en el ápice.
Cabezuelas/Flores	Flores liguladas de 11 a 20, sus corolas amarillas a anaranjadas, las láminas elípticas, hasta de 5 cm de largo; flores del disco (30) 60 a 200, sus corolas amarillas o anaranjadas, 5 a 7 mm de largo, el tubo de 0.5 mm de largo
Frutos y semillas	Aquenio oblongo-cuneado, grueso, de 4 a 6 mm de largo, pálido, velutino, vilano de 2 aristas anchas, desiguales, hasta de 3.5 mm de largo, 12 a 14 escamas desiguales, lacerado-fimbriadas, de 0.3 a 1.2 mm de largo, a veces las aristas faltan.
Hábitat	Arvense y ruderal
Distribución por tipo de zonas bioclimáticas	Bosque de pino-encino, selva baja caducifolia.
Propagación, dispersión y germinación	Por semilla. Las semillas son dispersadas por el agua de riego, maquinaria agrícola y como contaminante de semilla certificada.
Fenología	Se le puede encontrar en floración de junio a noviembre. En terrenos agrícolas con riego puede estar en diferentes etapas fenológicas durante todo el año.

El xilema o tallo de la planta *Tithonia tubiformis* es un tejido leñoso de color blancuzco que conduce agua y sales inorgánicas en forma ascendente por toda la planta, proporcionando también soporte mecánico (Rodríguez Mora, 2013). El parecido físico y en propiedades mecánicas del xilema de polocote respecto al poliestireno expandido es significativo. Debido a que la densidad del xilema es de 0.028 g/cm<sup>3</sup>, en comparación con 0.010 g/cm<sup>3</sup> del EPS (Rodríguez Mora, 2013), se convierte en un sustituto potencial de este material, pero con las ventajas de ser un producto biodegradable, abundante en diversas regiones del país y que actualmente no genera ningún valor agregado. Por el contrario, esta maleza contribuye al calentamiento global ya que es quemada en la época más seca del año por los agricultores, con el inherente riesgo de provocar incendios descontrolados y afectar a los ecosistemas circundantes.

## 2.6 Protección intelectual

El término propiedad intelectual se refiere a ideas, conceptos, nombres, diseños y procesos que legalmente se protegen y están asociados con un producto de nueva creación. Se han creado mecanismos legales para proteger los derechos de propiedad intelectual a sus legítimos dueños, con la intención de incentivarles y recompensarles por crear nuevas invenciones útiles, así como divulgar también la información para beneficio de la sociedad a largo plazo (Ulrich, 2013).

En el contexto de la propiedad intelectual, una patente es un monopolio temporal otorgado por un gobierno a un inventor, para excluir a otros de usar, hacer o vender una invención. Para casi todos los productos diseñados, dos tipos básicos de patentes son relevantes: patentes de diseño y modelos de utilidad. Un tercer tipo de patente cubre a las plantas. La ley de patentes en casi todo el mundo evolucionó de la ley inglesa y por ello las leyes de patentes en diferentes países son muy parecidas (Ulrich, 2013).

Una patente de diseño puede verse como un “derecho de autor” limitado a un diseño ornamental, por lo cual para casi todos los productos las patentes de diseño son de valor muy escaso. En cuanto a las patentes de utilidad, las leyes de Estados Unidos permiten patentar una invención que se relacione con un nuevo proceso, máquina, artículo de manufactura, composición de materia o una nueva y útil mejora de alguna de estas cosas. Las leyes exigen que las invenciones patentadas sean útiles para alguien en algún contexto, y novedosas (que no sean conocidas públicamente y por lo tanto no evidentes en productos existentes, publicaciones o patentes anteriores). Como tercera característica, la idea a patentar no debe ser obvia, es decir, no debe ser claramente evidente a quien tenga “capacidad ordinaria en el arte” y que enfrenta el mismo problema que el inventor (Ulrich, 2013).

En México, la institución encargada de promover y proteger los registros de propiedad intelectual, es el Instituto Mexicano de la Propiedad Intelectual cuya misión es “...fortalecer el sistema de protección de derechos de la propiedad intelectual, otorgar protección a través del registro de patentes, modelos de utilidad, diseños industriales, marcas y denominaciones de origen, entre otros servicios, a fin de ayudar a combatir la piratería y la competencia desleal entre empresas, lo cual violenta la propiedad industrial (IMPI, 2018).

## 2.7 Estado del arte

### 2.7.1 Aprovechamiento del girasol como bioembalaje

La planta domesticada del girasol es uno de los cultivos más usados en el mundo para la generación de aceite a partir de su semilla. Por sus aplicaciones en la industria energética y alimenticia, tanto esta planta como sus variantes silvestres han sido sujetos de estudio en el mundo dadas sus características de adaptación a suelos áridos y semiáridos (Seiler, 2007). Por otra parte, las investigaciones sobre plásticos biodegradables comenzaron en la década de 1970 y continúan ahora en diferentes laboratorios alrededor del mundo (Pogaku, 2013). En la Tabla 2.5 se presentan algunos de los estudios más significativos sobre el uso de derivados del girasol y sus variantes, así como de aplicaciones de embalaje biodegradable.

*Tabla 2.5 Revisión de los principales estudios relacionados con embalaje biodegradable.*

Autor	Tipo de publicación	Año	Nombre del trabajo	Principales resultados
Zavertnik	Tesis	1914	Utilization of sunflower stalks in paper manufacture	Estudio para la utilización de tallos de girasol a fin de producir papel, mediante la transformación de la pulpa y el uso de agentes de blanqueado con resultados muy positivos, (ver Figura 2.21).
Erlandsson et al.	Artículo en revista científica	1997	The mode of action of corn starch and a prooxidant system in LDPE: Influence of thermooxidation and UV irradiation on the molecular weight changes.	Estudio sobre plásticos biodegradables a partir de fécula de maíz
Sun et al.	Artículo en revista científica	2012	Characterization of the mechanical behavior of Sunflower stem for bio-composite applications	Pruebas mecánicas realizadas en tallos de girasol

Seiler	Artículo en revista científica	2007	The potential of wild sunflower species for industrial uses	En las variantes silvestres se ha detectado el potencial de aprovechamiento industrial para generar bioetanol, caucho, azúcar, fructosa, biomasa, así como para mejorar el aprovechamiento del girasol y su semilla
Adewole et al.	Artículo en revista científica	2010	Removal of Heavy Metals from Soil Polluted with Effluents from a Paint Industry Using <i>Helianthus annuus L.</i> and <i>Tithonia diversifolia</i> as Influenced by Fertilizer Applications	Estudio de una variante de girasol silvestre, respecto a su capacidad para la remediación de suelos con presencia de metales pesados
Ali et al.	Capítulo de libro	2013	Starch-Based Biofilms for Green Packaging	Se preparó un biofilm con base en fécula de tapioca, las características mecánicas y biodegradabilidad fueron medidas, concluyendo que este material puede ser utilizado como alternativa a los derivados del petróleo en el embalaje para alimentos.



Figura 2.21 Muestras de papel obtenido a partir del tallo del girasol en 1914, (Zavertnik. 2014).

### 2.7.2 Uso de hongos en la industria del embalaje

La empresa Ecocradle de Ecovative Design es un caso de éxito en la industria del embalaje biodegradable, Figura 2.22. Es una compañía norteamericana dedicada al desarrollo de biomateriales, entre ellos su primer desarrollo exitoso llamado MycoComposite que emplea el micelio de hongos para entrelazar desechos de la industria agrícola, la premisa es que sus productos son fácilmente compostables en casa después de su uso. Los procesos de transformación tradicionales consumen materia prima para generar tanto un producto terminado como un desecho. Ecovative ha innovado al procurar aprovechar el desecho de bajo valor de alguien más, de esta forma, el 100% de ese desperdicio es destinado al producto final. Un producto terminado de la empresa requiere de dos entradas: desecho agrícola y micelio. Su producto insignia está destinado a la sustitución del poliestireno expandido, que ha sido identificado como un mercado con bajas barreras de entrada (Hummels, 2012). La compañía Ecovative fabrica embalaje para servidores DELL, botellas de vino, muebles de IKEA y para otros bienes de consumo que acentúan la conciencia ecológica.



*Figura 2.22 Ecovative Design, empresa fundada en 2007 basada en micelio de hongo y desechos de cultivos (Ellen MacArthur Foundation, 2023).*

Para la producción de Ecocradle se emplea sólo el 2% de la energía que estaría dedicada a la fabricación de poliestireno expandido. En 2008 la compañía ganó \$700,000 dólares con el primer premio en el Picnic Green Challenge. La empresa recibió un apoyo de \$180,000 dólares de la Fundación Nacional de Ciencia (NSF) de los Estados Unidos para desarrollar un proceso de esterilización que emplea aceites naturales para utilizar significativamente menos energía. Ha recibido apoyos también de la USDA, de la EPA, New York State Energy Research and Development Authority, y del NSF's Small Business Innovation Research program (Hummels, 2012).

El primer paso en la producción es la pasteurización de los desechos de arroz, algodón, maíz y otros cultivos. Posteriormente, se le adiciona a los desechos el micelio y son colocados en moldes que permitirán que el micelio crezca para obtener la forma deseada. El micelio crecerá en cinco días llenando los huecos y formando un material compacto sin necesidad de intervención alguna. Al final del proceso de crecimiento el producto es deshidratado y tratado con calor para asegurar que el micelio esté biológicamente muerto.

La fisiología del micelio es un factor clave en la fuerza y características finales del producto, ya que las paredes celulares del micelio están hechas de quitina, el mismo biopolímero presente en los exoesqueletos de insectos, y caparazones de langosta. Esto permite que el material sea muy fuerte y resistente al agua. Diferentes desechos agrícolas en varias mezclas son utilizados para crear diversas propiedades materiales que pueden ser ajustadas para generar las especificaciones deseadas de densidad, resistencia, apariencia, y textura (Zeller, 2012).

III

**Metodología**

## 3 Capítulo 3: Metodología

### 3.1 Análisis cuantitativo

#### 3.1.1 Bases de datos

La cuantimetría o bibliometría consiste en el análisis cuantitativo de la producción científica para investigar el desarrollo, estructura, dinámica, tendencias y relaciones de la práctica científica (Michán, 2013). Anteriormente, se realizaba principalmente mediante la búsqueda en los artículos científicos, pero va ganando preponderancia el análisis de patentes, sobre todo para prototipos y procesos. En la Tabla 3.1 se muestran las bases de datos consultadas.

Tabla 3.1 Fuentes para investigación de patentes relacionadas.

Nombre	Descripción	Página Web	Alcance
IMPI	Instituto Mexicano de la Propiedad Industrial	<a href="http://www.gob.mx/impi">http://www.gob.mx/impi</a>	Nacional
USPTO	Base de datos de patentes en texto completo y con imágenes, Estados Unidos	<a href="https://www.uspto.gov/">https://www.uspto.gov/</a>	Estados Unidos
ESP@CENET	Base de datos de la EPO (Oficina Europea de Patentes)	<a href="https://worldwide.espacenet.com/">https://worldwide.espacenet.com/</a>	Europa
LATIPAT-ESP@CENET	Base de datos de patentes publicadas de Latinoamérica	<a href="http://lp.espacenet.com/">http://lp.espacenet.com/</a>	Latinoamérica
PATENTSCOPE	Base de datos de aplicaciones de patentes internacionales de la OMPI (WIPO)	<a href="https://patentscope.wipo.int/search/es/advancedSearch.jsf">https://patentscope.wipo.int/search/es/advancedSearch.jsf</a>	Mundial
WIPO (OMPI)	World Intellectual Property Organization (Organización Mundial de la Propiedad Industrial)	<a href="http://www.wipo.int/portals/en/">http://www.wipo.int/portals/en/</a>	Mundial
WIPO (OMPI)	Base Mundial de Datos sobre Marcas	<a href="https://patentscope.wipo.int/search/es/result.jsf">https://patentscope.wipo.int/search/es/result.jsf</a>	Mundial (Español)

#### 3.1.2 Metodología de los siete pasos

El análisis cuantitativo se trata de realizar la vigilancia tecnológica y el análisis de las tendencias, al generar las propuestas de transformación de la planta en sus presentaciones en papel y moldeada, se hizo evidente que era necesario realizar una búsqueda en las bases de datos de protección intelectual para averiguar si había registro de estos procesos de transformación específicos, para evitar incurrir en plagio y analizar la susceptibilidad de patentar la innovación en México e incluso en otros países. La oficina de patentes de los Estados Unidos (USPTO por sus siglas en inglés) ha sugerido una metodología de siete pasos para llevar a cabo búsquedas de patentes utilizando recursos gratuitos tanto en su base de datos como con las de sus asociados (USPTO, 2020).

El uso de filtros por clasificación de patente (CPC), normalmente permite obtener resultados más relevantes que la búsqueda típica por palabra o por frase y la estrategia de búsqueda de los siete pasos está basada en este enfoque (USPTO 2, 2020). Los siete pasos sugeridos por esta metodología son los siguientes:

1. Lluvia de ideas para describir la invención.

2. Utilizar las palabras de la lluvia de ideas para efectuar búsquedas en las principales bases de datos de patentes a nivel mundial.
3. Verificar la relevancia de la clasificación CPC que se encontró, revisando la clasificación de la definición ligada a la búsqueda.
4. Obtener y revisar las patentes expedidas utilizando la clasificación CPC seleccionada.
5. Efectuar revisiones a profundidad de las patentes seleccionadas basadas en la información de la portada.
6. Obtener y revisar las aplicaciones para patentes publicadas utilizando las clasificaciones CPC que se hayan identificado.
7. Opciones para ampliar la búsqueda.

Se describe a continuación con mayor detalle en qué consiste cada uno de los pasos definidos en esta metodología.

### 3.1.2.1 Lluvia de ideas

El primer paso es realizar una lluvia de ideas para describir la invención con base en el propósito, composición y uso de esta, evitando términos genéricos como “dispositivo”, “proceso”, o “sistema”.

Con el propósito de identificar las palabras clave, se contestaron las siguientes preguntas:

- ¿Cuál es el propósito de la invención? Sustituir el EPS como material en la industria del embalaje por otro material biodegradable.
- ¿Se trata de un proceso o de un producto? Es un proceso.
- ¿De qué está hecho el invento? De una mezcla de tallos de girasol silvestre con otros componentes biodegradables.
- ¿Cómo se utiliza el invento? El material es extruido o moldeado como pieza de embalaje.
  - ¿Qué palabras clave describen la naturaleza de la invención? Se consideraron las palabras siguientes para caracterizar la invención: “wild sunflower stem”, “compostable packaging”, “Tithonia”, “Helianthus Annus stem”, “styrofoam compostable substitute”, “EPS compostable substitute”, “polystyrene substitute”, “compostable foam” “Wild sunflower stalk”, “Wild sunflower stem”, “moulded pulp packaging” “starch molded pulp”, “biodegradable packaging”, “sunflower styrofoam polystyrene”, “sunflower, stalk, packaging”, “sunflower, stem, packaging”, “sunflower, pith, packaging”
  - Como términos alternativos para búsquedas en español se utilizaron los términos: “polocote”, “gigantón”, “girasol”, “sustituto de unicef”.
  - Utilizar las palabras de la lluvia de ideas para efectuar búsquedas en las principales bases de datos de patentes a nivel mundial.

Se ingresaron los términos propuestos en el punto anterior en el buscador de la Oficina de patentes y marcas de los Estados Unidos (USPTO). Se colocó el término de búsqueda en la barra de búsqueda antecediendo la palabra “CPC” (Cooperative Patent Classification System), ya que utilizar sólo la palabra de búsqueda arrojaría una gran cantidad de resultados irrelevantes.

Utilizando como elementos de búsqueda las palabras derivadas de la lluvia de ideas del paso 1, se encontraron patentes con sus correspondientes clasificaciones CPC que podrían ser relevantes, como se muestra en la Tabla 3.2.

Tabla 3.2 Clasificaciones CPC relevantes relacionadas con la invención.

Nombre de la patente	Número de patente	Clasificación CPC
Recipientes biodegradables o que pueden convertirse en compost	ES2286385T3	B65D65/466
Biocomposite and/or biomaterial with sunflower seed shells/husks	10,919,189	C08L99/00
Biodegradable articles based on starch and process for producing them	US5262458A	C08L3/02
Packaging material	US20100323153A1	B32B3/10 B65D81/09 B65D65/466 Y02W90/10
Recovery of sunflower and other stems - cuts them into lengths to be dried and mixed with bonding agents for use as insulation and construction materials	DE19610247A1	C04B28/001 C04B18/248

### 3.1.2.2 Relevancia de la clasificación CPC

Para verificar la relevancia de la clasificación CPC que se encontró, se revisó la clasificación de la definición ligada a la búsqueda. Se accedió en USPTO a las patentes encontradas en el paso anterior, de esta forma se identificaron las siguientes clasificaciones CPC como las más relevantes para el campo de la innovación propuesta:

- B65D 65/466 Bio- or photodegradable packaging materials.
- C08L99/00 Compositions of natural macromolecular compounds or of derivatives thereof not provided for in groups C08L89/00 - C08L97/00.
- C08L 3/02 Starch; Degradation products thereof, e.g. dextrin B65D65/466 Bio- or photodegradable packaging materials.
- Y02W90/10 Bio-packaging, e.g. packing containers made from renewable resources or bio-plastics.

### 3.1.2.3 Revisión por la clasificación CPC

Posteriormente, se debe obtener y revisar las patentes expedidas utilizando la clasificación CPC seleccionada. Así, una vez identificadas las clasificaciones CPC relevantes, se hizo una búsqueda en la base de datos PatFT (Patents Full-Text and Image) de la página web de la USPTO.

En el buscador rápido de la página escribimos como elementos de búsqueda “C08L3/02”, y realizamos una búsqueda por CPC “Current CPC Classification”. Se repitió el procedimiento con las clasificaciones “B65D65/466” y “C08L99/00”, realizando una revisión de las publicaciones más relevantes al enfocarnos inicialmente en la portada de presentación o en el abstract y los dibujos representativos.

### 3.1.2.4 Revisión a profundidad

Se seleccionan las patentes publicadas más relevantes para realizar una revisión a profundidad, basándose en la información de la portada, y se revisa cada una a profundidad para encontrar similitudes con la invención de interés, prestando especial atención a los dibujos de las páginas adicionales, la especificación y las reivindicaciones. Las referencias citadas por el aplicante o por el examinante frecuentemente dirigen a otras patentes relevantes.

### 3.1.2.5 Revisión por las aplicaciones más relevantes

Obtener y revisar las aplicaciones para patentes publicadas, utilizando las clasificaciones CPC que se hayan identificado. Se utilizó el mismo enfoque de búsqueda del paso 4, al reducir los resultados a las aplicaciones más relevantes estudiando los abstracts y los dibujos representativos; al examinar de cerca estas patentes se revisaron las especificaciones, y reivindicaciones.

### 3.1.2.6 Opciones para ampliar la búsqueda

Se amplió la búsqueda para encontrar patentes adicionales utilizando las palabras clave identificadas y búsqueda por clasificaciones CPC en los portales ESPACENET de la comunidad europea, Patentsope de la WIPO y SIGA del Instituto Mexicano de la Protección Intelectual.

## 3.1.3 Mapeo bibliométrico

La idea de visualizar redes bibliométricas, también conocido como mapeo científico permite analizar grandes cantidades de redes bibliométricas, las cuales han ido aumentando en tamaño en los últimos años, llevando al desarrollo de herramientas de visualización cada vez más potentes (Börner, 2003).

### 3.1.3.1 Mapas bibliométricos

La cienciometría es una disciplina que emergió de la visualización de citas basada en dominios de conocimiento, la cual consiste en el estudio cuantitativo de la comunicación científica, que aplica la técnica bibliométrica específicamente a la literatura científica (Börner, 2003).

En la investigación bibliométrica se utilizan ampliamente los mapas basados en distancia, con los cuales la distancia entre dos elementos refleja la fuerza de la relación entre ellos, donde una distancia más corta normalmente indica una relación más estrecha. Bajo esta metodología es posible identificar clústeres o zonas más interrelacionadas entre sí. Otra manera de representar estas relaciones es utilizando mapas basados en gráficos, que emplean líneas para establecer las conexiones entre los elementos, lo cual facilita la interpretación ya que las leyendas no se superponen.

### 3.1.3.2 Empleo del software VOSviewer

#### 3.1.3.2.1 Software VOSviewer

VOSviewer 1.6.18 es una herramienta de software libre basada en redes de datos para visualizar y explorar mapas bibliométricos, especialmente útil para mapas que contienen relativamente grandes cantidades de elementos. Sus funciones principales son crear mapas basados en redes de datos de artículos científicos, investigadores, patentes y otras publicaciones científicas, donde los elementos en estas redes pueden ser conectados por co-autoría, co-ocurrencia, citas o co-citas; además de visualizar y explorar mapas mediante técnicas de visualización de red, de superposición y visualización de densidad, con la facilidad de poder hacer acercamientos para obtener un mayor detalle de las interrelaciones entre elementos (Van Eck, 2010)

Para construir una red se utilizan archivos bibliográficos archivados (Web of Science, Scopus, Dimensions, Lens, y PubMed files) y gestores de referencias de archivos (RIS, EndNote, y RefWorks).

#### 3.1.3.2.2 Software VOSviewer para realizar mapas bibliométricos

Se aplicó el software VOSviewer para realizar mapas bibliométricos relacionados con el proceso de transformación del polocote. En el portal Lens.org, que gestiona bases de datos de patentes y artículos científicos, se realizaron búsquedas ingresando los mismos términos utilizados en la metodología de los 7 pasos como se mostró en la Figura 3.1, exportando los resultados con las extensiones RIS y CSV a fin de poder utilizarlos como materia prima para el visualizador VOSviewer.

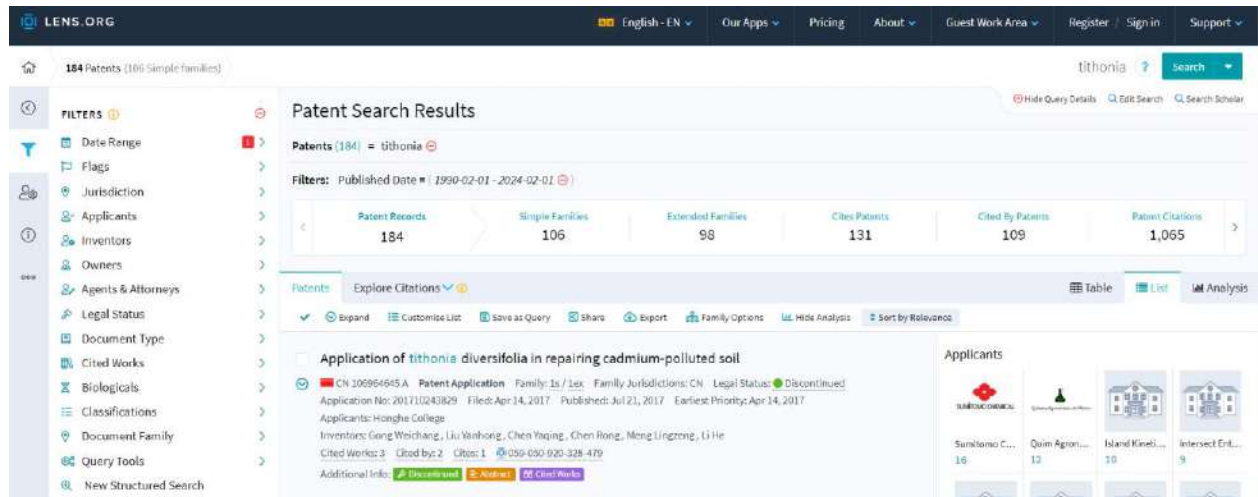


Figura 3.1 Vista del motor de búsqueda en el portal lens.org.

Posteriormente, se crearon en VOSviewer mapas basados en datos bibliográficos con los archivos RIS, y también mapas basados en texto con los archivos que lens.org exportó en formato CSV, como se puede observar en la Figura 3.2.

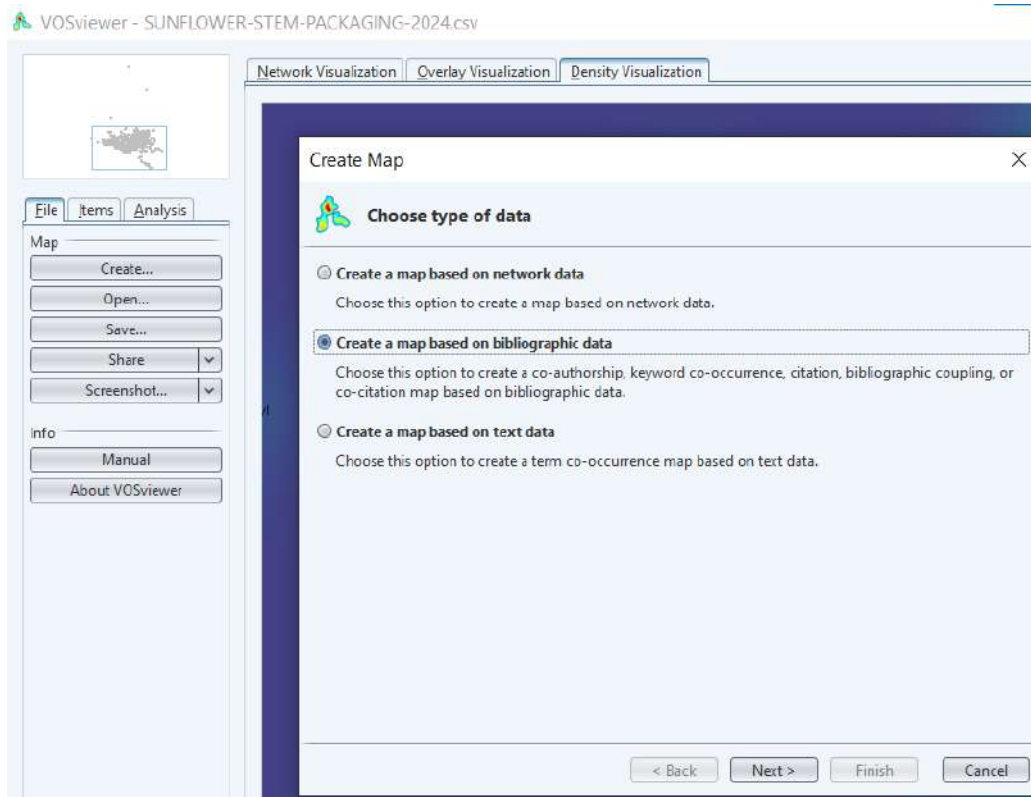


Figura 3.2 Vista de las opciones de creación de mapas bibliométricos en VOSviewer.

## 3.2 Proceso de transformación del xilema de polocote

### 3.2.1 Recolección de materia prima

Se utilizaron los tallos del girasol silvestre *Tithonia tubiformis* del municipio de Juan C. Bonilla, en el estado de Puebla, cortados en los meses de septiembre y octubre cuando la planta aún está verde. Se buscó una selección de tallos sin la presencia de hongos y que no mostraran los efectos de los plaguicidas que los agricultores utilizan para librarse de la maleza, como se aprecia en las Figuras 3.3 y 3.4.



*Figura 3.3 Condición y altura de la planta Tithonia tubiformis al momento del corte.*



*Figura 3.4 Tithonia tubiformis al momento del corte.*

El diámetro promedio de los tallos fue de 3 cm. Se cortó desde la parte inferior de la planta, a aproximadamente 10 cm del nivel del suelo y se desprendieron las ramas para dejar el tallo solo, con un promedio de altura de 2.5 m por tallo, Figuras 3.5 y 3.6.



*Figura 3.5 Preparación de Tithonia tubiformis como materia prima para el estudio.*



*Figura 3.6 Detalle de la preparación del tallo de Tithonia tubiformis como materia prima para el estudio.*

### **3.2.2 Elaboración de “cacahuete”**

Una vez obtenida la materia prima, se procedió a transformar los tallos en diferentes productos que pudieran ser utilizados en la industria del embalaje. Una de las presentaciones más comunes del poliestireno expandido en la industria del embalaje es en su forma suelta, llamada comercialmente cacahuete (loose-fill en inglés), en la cual el material no necesita tener una forma definida, y normalmente es utilizado en forma de esferas irregulares o en secciones circulares.

Para usar al polocote como sustituto de poliestireno expandido en presentación cacahuate, primero se eligieron los tallos de tamaño adecuado, se les removió manualmente la corteza exterior del tallo, para posteriormente cortarlo al largo y con el diámetro deseado. Incluso se seleccionó la planta al momento del corte para obtener un diámetro de aproximadamente 15 mm, como el poliestireno comercial cacahuate que se aprecia en la Figura 3.7.



*Figura 3.7 Poliestireno comercial "cacahuate".*

### 3.2.3 Elaboración de papel y cartón

La revisión bibliográfica realizada indicó que el material puede ser transformado en papel o cartón (Zavertnik, 1914), por lo que también se trabajó en este proceso. La elaboración de papel o cartón se realizó conforme al método propuesto por la Universidad de Chapingo (Pérez, 2021). El proceso principal es una hidrólisis alcalina a altas temperaturas, se inició con la molienda del polocote, material recolectado en los meses de septiembre y octubre, al cual se le adicionó hidróxido de sodio (NaOH) en un porcentaje de acuerdo con el peso del material húmedo y 100 ml de agua. A fin de llevar a cabo la hidrólisis del polocote, la solución fue sometida a tratamiento térmico en una autoclave a 15 lb/plg<sup>2</sup> de presión durante 30 minutos. Después se filtró el material quedándose con la torta de filtración y eliminando el filtrado negro, el material pulposo fue lavado repetidas veces para eliminar los residuos del líquido negro originado en la cocción. La pulpa obtenida se licuó y se colocó en agua en agitación para dispersar las fibras de la pulpa.

Por otra parte, se colocaron 25, 50 g, 25g de semilla de linaza en 100 ml, 200 ml y 100 ml de agua respectivamente, y se mantuvieron en ebullición durante 20 minutos. Se dejó enfriar y enseguida se filtraron las semillas de la baba de linaza producida durante la ebullición. La baba de linaza se adicionó a la pulpa para así obtener un material con consistencia pastosa disuelta en agua.

Para formar la hoja de papel se utilizaron bastidores con una tela plástica (hoja de acetato). El bastidor se introdujo lentamente en un ángulo de 45° en el recipiente donde se contiene la mezcla. El bastidor se niveló y se extrajo cuidadosamente de forma horizontal para la perfecta distribución de la pasta. El bastidor se colocó boca abajo sobre una hoja de acetato y se despegó del bastidor con cuidado. Una vez teniendo la pasta sobre el acrílico se le colocó un papel filtro y se prensó con una prensa manual hasta que la pasta estuviera completamente plana y sin humedad. Una vez eliminada el agua libre de la pasta (ya no estuviera húmeda) y bien plana se colocó en un desecador solar para obtener la hoja seca.

### 3.2.4 Elaboración de material tipo unicel

Un método alternativo se siguió para generar un material muy parecido al poliestireno expandido. Se molió el polocote a un tamaño aproximado de 1 mm de diámetro y se pesaron 0.5 g en seco, la linaza se preparó diluyendo 5 g en 50 ml de agua y se filtró la solución. A continuación, se mezcló el polocote con la linaza, se moldeó y finalmente se secó el material.

## 3.3 Diseños de los prototipos

A partir del análisis de las patentes, se aplicó la metodología TRIZ para realizar los diseños de los prototipos de embalaje biodegradable y de una máquina de moldeo para su fabricación. Los dibujos se elaboraron en el software CATIA V5. Para evaluar el rendimiento de un diseño exitoso de producto, en este caso el prototipo virtual de embalaje biodegradable empleando polocote. Se tomaron en consideración los lineamientos de desarrollo que se mencionan en la Tabla 3.3 (Ulrich, 2010).

Tabla 3.3 Lineamientos para el desarrollo de productos

Lineamientos	Descripción
Calidad del producto	Se deben satisfacer las necesidades del cliente, que en este caso es la industria del embalaje, poniendo especial énfasis en conservar una densidad en el material que compita con la del poliestireno expandido.
Costo de producto	El costo de manufactura del producto debe ser un factor siempre presente durante la fase de diseño, considerando también el costo de herramientas que se requerirán para producirlo. En el presente caso, se debe buscar que los procesos asociados de transformación para la fabricación del producto puedan ser sustentables y amigables con el medio ambiente en la mayor medida posible.
Tiempo de desarrollo	Implica con qué rapidez se completó el trabajo de desarrollo de producto, lo cual está asociado con el tiempo de respuesta a los cambios tecnológicos, y la rapidez con que se pueden obtener los rendimientos económicos de un trabajo.
Costo de desarrollo	El empleo del software paramétrico CATIA V5 permitió el rápido despliegue de propuestas y su análisis sin incurrir en costos de fabricación. Debido a las funciones básicas empleadas en el desarrollo del producto y del molde, se pudo completar el desarrollo con una licencia estudiantil disponible.

Las necesidades que sentaron la base de la aplicación de la Metodología TRIZ tanto para el diseño del prototipo como para el molde de fabricación se enuncian a continuación:

- Preservar las características mecánicas del material en el mayor grado posible.
- Obtener un proceso de transformación económico, sustentable y amigable con el ambiente. Propuesta de diseño robusta y flexible.

### 3.3.1 Aplicación de la Metodología TRIZ

A partir del análisis de las patentes, se utilizó la metodología TRIZ para la transformación del material y del diseño del molde. TRIZ (Teoriya Reshniya Izobretatelskikh Zadatch) es la abreviación en ruso para la teoría para la resolución de problemas (Altshuller, 2002). Esta teoría fue establecida por Genrich Altshuller quien descubrió a través del análisis de patentes la existencia de principios predecibles y reproducibles en el desarrollo de la ciencia y la tecnología. La existencia de principios ayuda a tener una estructura para definir un problema y ayuda a seguir ciertos criterios generales para encontrar una solución (Su, 2008).

Genrich Altshuller desarrolló la Metodología TRIZ para resolver problemas de inventiva ya que el trabajaba en la oficina de patentes rusa y junto con sus colaboradores analizaron miles de patentes encontrando coincidencias que lo llevaron al TRIZ. Esta metodología está basada en el conocimiento y análisis profundo de las patentes y proporciona herramientas para solucionar problemas. En la Figura 3.8 se muestran los niveles de dificultad para innovar, Altshuller encontró que menos del 1 % eran inventos fundamentales y realmente novedosos, de los cuales derivan los demás 99 % en mayor o menor grado de dificultad.



Figura 3.8 Niveles de dificultad para la innovación.

De acuerdo con Altshuller, los cinco niveles en el grado de dificultad de la innovación son los siguientes (Altshuller, 2007):

- Nivel 1: Se refiere a una solución simple de un problema técnico que no requiere de una gran sofisticación y que puede ser resuelto por cualquier persona en un oficio o profesión. De todos los problemas de innovación tecnológica, este nivel representa el 32% de los casos.
- Nivel 2: Se le define también como “mejora” y por lo tanto requiere de un pensamiento más avanzado que el nivel anterior. El problema y su solución se ubican dentro del entorno de una industria y se resuelve mediante conceptos y principios actuales, perfectamente definidos. Este nivel ocupa el 45% de todos los casos de innovación tecnológica.
- Nivel 3: En este caso se habla de una verdadera “invención” que resuelve un problema más complejo que en los niveles anteriores. El problema y su solución se circunscriben al área de una ciencia determinada, como, la química, la física, la biología, etc. El 19% de los casos de innovación tecnológica están representados en este nivel.
- Nivel 4: En este caso se habla ya de un “cambio de paradigma” mediante el cual se crea todo un nuevo sistema o proceso tecnológico. El problema y su solución se encuentran fuera de las fronteras de la ciencia donde surgió el problema. A este nivel le corresponde el 4% de los problemas de innovación.
- Nivel 5: También llamado de “descubrimiento”, se refiere a una invención pionera que crea todo un nuevo sistema o proceso. Tanto el problema como su solución se encuentran fuera de los límites de la ciencia contemporánea y será necesario hacer nuevos descubrimientos científicos. Según los estudios este es el nivel más avanzado de innovación tecnológica y corresponde al 0.3% del total.

Resolver un problema significa eliminar una contradicción, definida como un conflicto en un sistema determinado compuesto por una herramienta y un objeto (Rantanen, 2002). Según Altshuller en un sistema tecnológico, la contradicción es una condición que surge cuando entra en conflicto un subsistema con otro o cuando las propiedades de un subsistema entran en conflicto con ellas mismas, por lo que se hace necesario eliminar tales conflictos mediante una solución novedosa (Altshuller, 2007). En TRIZ se consideran dos tipos de contradicciones, las técnicas y las físicas. Para la aplicación de la TRIZ, definir las contradicciones que se pretenden eliminar es la pieza clave en cualquier problema de inventiva o innovación tecnológica. Una contradicción técnica existe cuando, tratando de mejorar un atributo, “A”, de un sistema tecnológico, otro atributo “B”, del mismo sistema tecnológico, se deteriora. Ese tipo de contradicciones surgen cuando se demandan funciones completamente diferentes o incompatibles de los subsistemas. La contradicción física se genera cuando una característica “X”, de un sistema tecnológico, se requiere cambiar y ese cambio, por otra razón, resulta negativo, entrando dicha característica en conflicto consigo misma (Coronado, 2005). Los tres postulados de Altshuller de la Metodología TRIZ son:

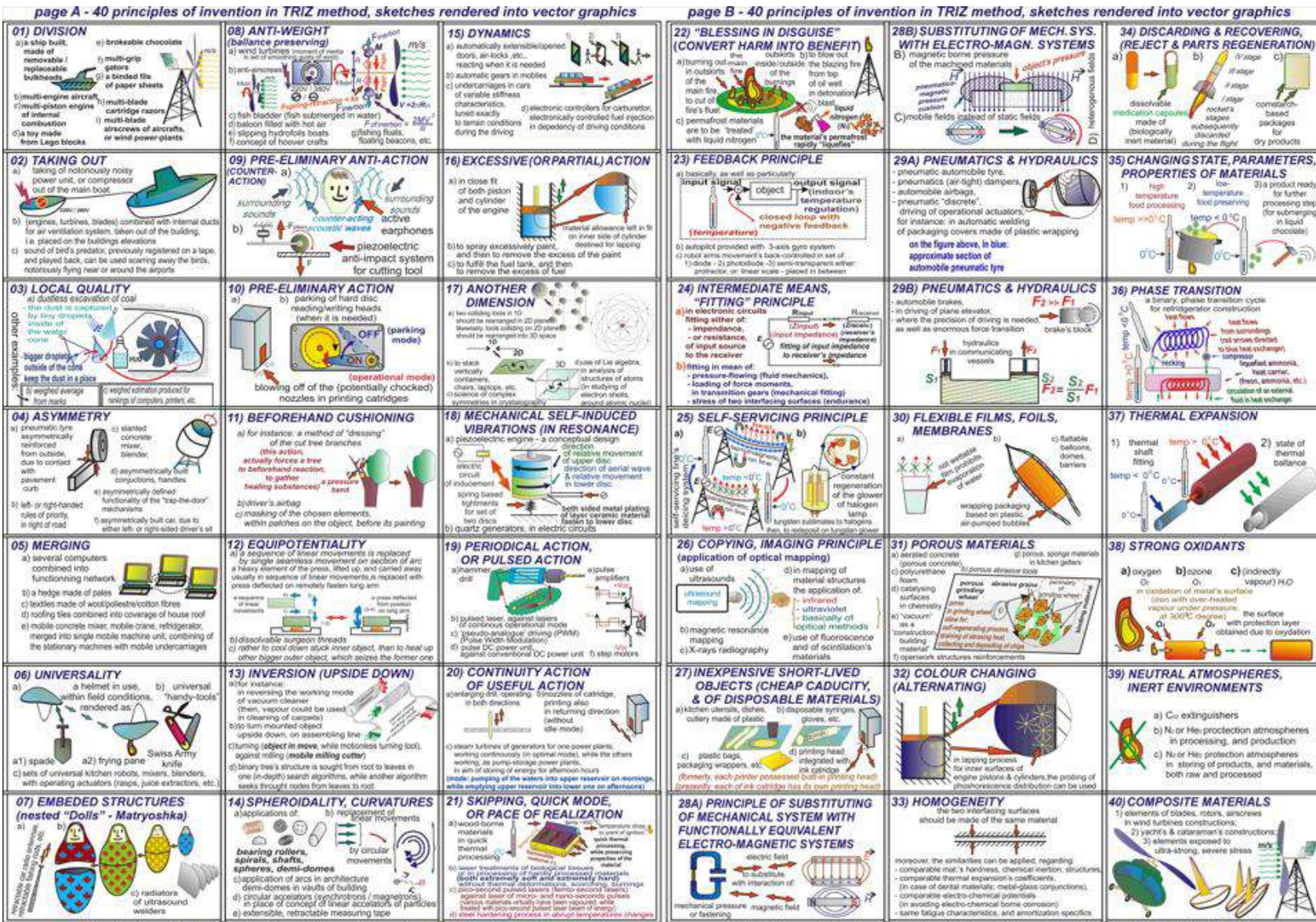
- Evolución de los sistemas tecnológicos. Cualquier sistema sufre transformaciones desde su etapa inicial de concepción hasta su etapa final de obsolescencia, siempre buscando un sistema ideal.
- Situación específica. Indica que cualquier solución depende del contexto en el que se desarrolle el problema.
- Solución inventiva. La que se dedica a resolver contradicciones, sean técnicas o físicas.
  - Contradicciones técnicas. Involucran a dos elementos en un sistema tecnológico, comúnmente cuando se desea mejorar un parámetro de un sistema, este empeora en otro parámetro, eso se define como “contradicción técnica.”
  - Contradicciones físicas. Las que corresponden a una sola parte del sistema tecnológico.

Uno de los aspectos importantes en la implementación de TRIZ es el análisis de recursos que existen ya en el sistema o cerca de este. Si pueden ser utilizados directamente o modificados para hacerlos útiles el problema podría “resolverse a sí mismo”. Dentro de dichos recursos podemos enlistar información, energía, propiedades y otros elementos que comúnmente podrían pasar desapercibidos (Rantanen, 2002).

Debemos considerar también el concepto de idealidad en la resolución de problemas técnicos, la cual mide qué tan cerca está el sistema de una solución ideal donde no hay concesiones (por ejemplo, el que algo sea pesado y ligero a la vez). Si una característica útil es potenciada entonces se mejora la idealidad, y también lo hace si empeora o se elimina una característica demeritoria (Rantanen, 2002).

El llegar a una solución final es un proceso que implica iteraciones y desarrollar patrones de evolución. Estos patrones permiten la transición de un nivel macro a otro más pequeño, para ir dividiendo el problema en partes más pequeñas. Los patrones pueden sugerir una idea vaga de la dirección para resolver un problema, aunque con frecuencia se requieren herramientas más específicas (Rantanen, 2002)

La mayoría de los problemas contienen al menos una contradicción, donde el esfuerzo de mejorar una cualidad afecta a otra, y se parte de la idea de que encontrar y resolver estas contradicciones conduce a la resolución de problemas reales. En la Metodología TRIZ, para resolver las contradicciones técnicas, Altshuller desarrolló la Matriz de Contradicciones la cual muestra, para los parámetros que entran en contradicción, varios principios que resuelven problemas similares. En efecto, en su análisis de las patentes, Altshuller encontró los parámetros que entran en contradicción y los 40 Principios de la Invención con los cuales se resuelve mejor esa contradicción en cada patente. La Figura 3.9 presenta los 40 principios de inventiva de la Metodología TRIZ y en la Figura 3.10 se muestra la Matriz de Contradicciones, en la cual las columnas y filas son los parámetros que entran en contradicción y los números en la intersección de la fila y la columna son los principios de inventiva con los que se soluciona esa contradicción.



A technique of Engineering Creativity and Inventive Thinking in Problem Solving

A technique of Engineering Creativity and Inventive Thinking in Problem Solving

Figura 3.9 Los 40 principios de inventiva de Altshuller.



Finalmente, el uso de la matriz de Altshuller comprende 5 pasos:

- Convertir el problema de diseño identificando el conflicto en el mismo de dos parámetros o características.
- Identificar la correlación de los dos parámetros o características de diseño con alguno de los 39 parámetros que entran en contradicción.
- Identificar entre los 40 principios de inventiva de Altshuller aquellos que permitan resolver el conflicto de diseño.
- Analizar los principios de inventiva correspondientes usando la matriz.
- Adaptar los principios de inventiva correspondientes a las posibles soluciones del problema de diseño.

IV

**Resultados**





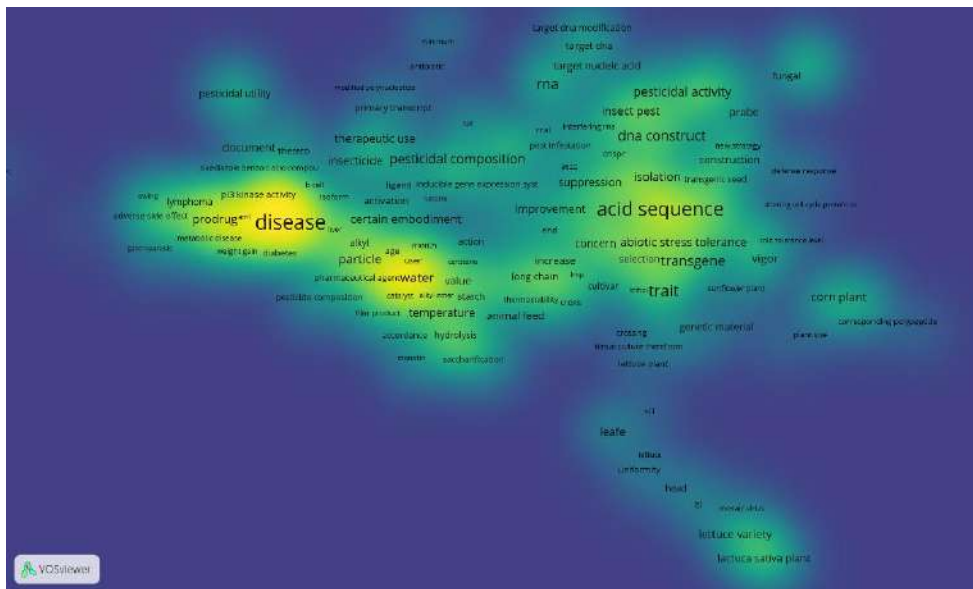


Figura 4.5 Visualizador de densidad en VOSviewer por texto para la búsqueda “sunflower, stem, packaging”.

Como información adicional provista directamente por el portal lens.org, podemos ver que la cantidad de patentes publicadas después del 2010 referentes al tema buscado se ha incrementado notablemente, alcanzando un pico en el 2020 como se puede apreciar en la Figura 4.6. En la Figura 4.7 podemos ver los nombres de los principales inventores.

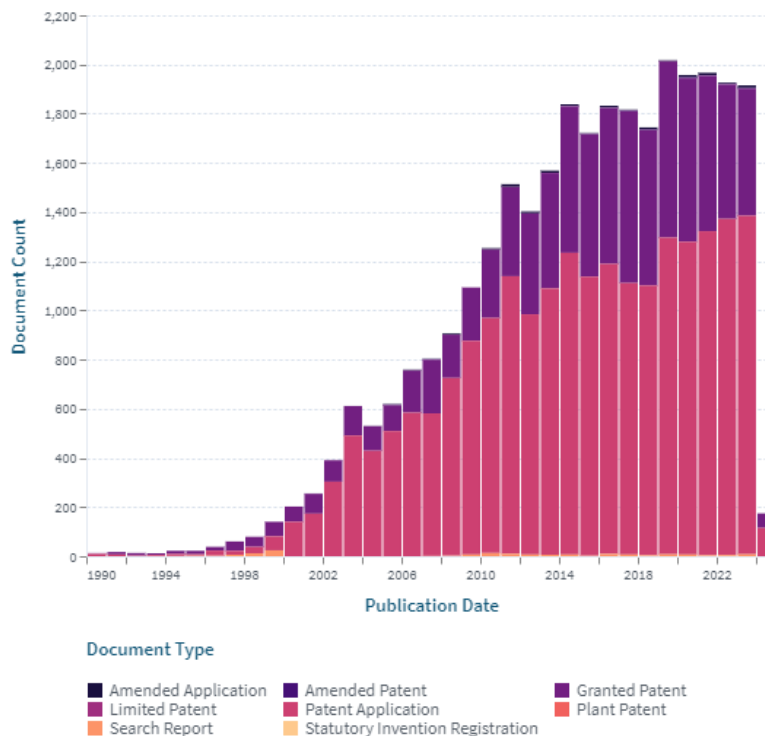


Figura 4.6 Fechas de publicación de patentes para la búsqueda “sunflower, stem, packaging”.

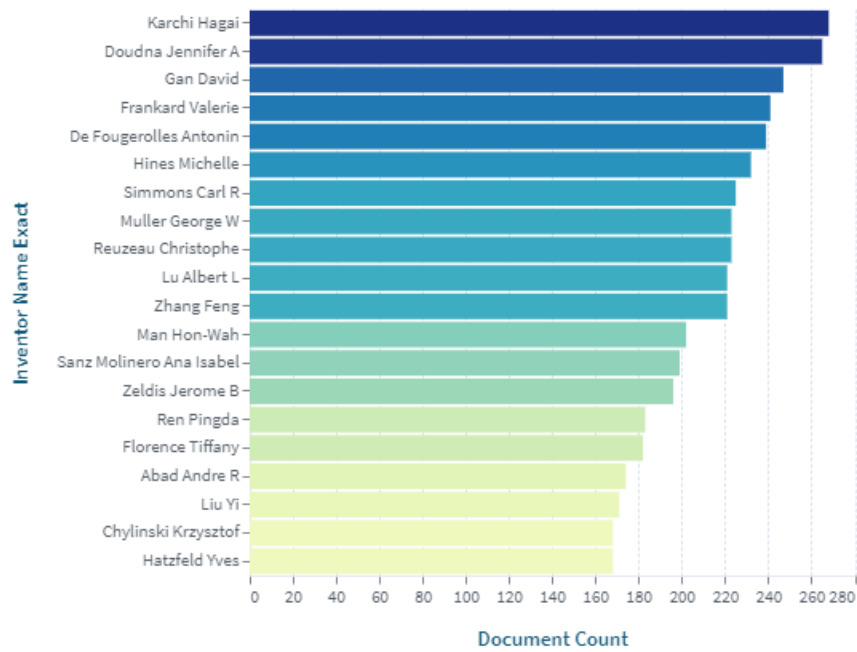


Figura 4.7 Principales inventores en el tema para la búsqueda "sunflower, stem, packaging".

En la Tabla 4.1 se puede observar que los principales 15 clasificadores CPC de las patentes analizadas no están relacionadas con las que identificamos mediante la metodología de los siete pasos como relevantes para la invención (B65D65/466, C08L89/00, C08L97/00, Y02W90/10).

Tabla 4.1 Lista de principales clasificadores CPC analizados.

Código de clasificación CPC	Conteo de documentos	Definición del CPC
Y02A40/146	4826	General Tagging of New Technological Developments general Tagging of Cross-Sectional Technologies.
C07K14/415	4134	Chemistry metallurgy from plants.
A61P35/00	3936	Human Necessities Antineoplastic agents.
A61P43/00	2957	Human Necessities Drugs for specific purposes.
C12N15/8261	2802	Chemistry metallurgy with agronomic (input) traits, e.g. crop yield.
A61K45/06	2266	Human Necessities Mixtures of active ingredients without chemical characterization.
A61P29/00	2015	Human Necessities Non-central analgesic, antipyretic or anti-inflammatory.
C12N15/8286	2002	Chemistry metallurgy for insect resistance.
A61P31/04	1595	Human Necessities Antibacterial agents.
A61P17/00	1559	Human Necessities Drugs for dermatological disorders.
C12N9/22	1489	Ribonucleases RNAses, DNAses catalytic nucleic acids.
C12N15/8247	1488	Chemistry metallurgy involving modified lipid metabolism, e.g. seed oil.
C12N15/8273	1449	Chemistry metallurgy for drought, cold, salt resistance.
Y02A50/30	1444	General Tagging of New Technological Developments general Tagging of Cross-Sectional Technologies.
C12N15/113	1412	Non-coding nucleic acids modulating the expression of genes.

Para obtener resultados más relevantes, se realizó una búsqueda en el portal lens.org de los términos B65D65/466 (correspondiente a Bio- or photodegradable packaging materials) AND packaging, con la cual se obtuvieron 4228 resultados para un período entre 1990 y enero de 2024. Posteriormente se ingresó esta información mediante tablas en formato RIS y CSV en VOSviewer para el análisis por citación y texto. En las Figuras 4.8 y 4.9 se puede observar que los principales autores en el tema durante los últimos 33 años han sido Remus Michael, Boswell Emily, y Clare Benjamin.

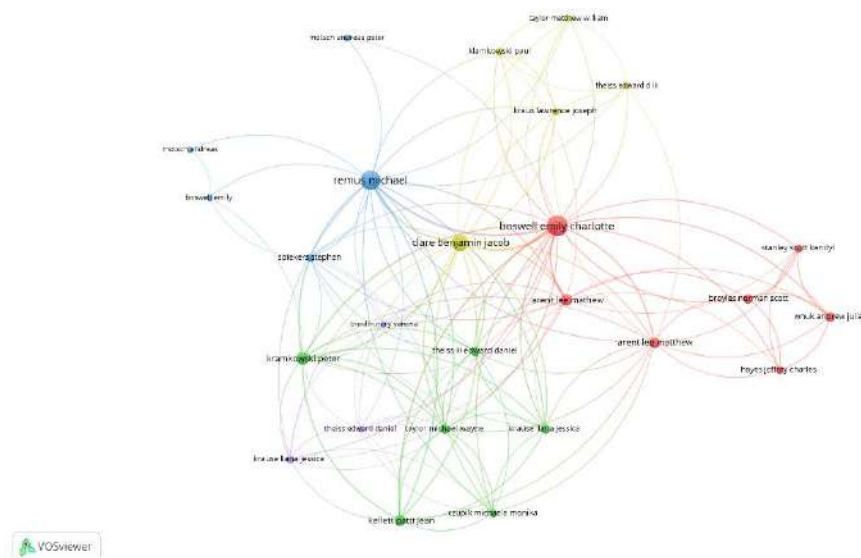


Figura 4.8 Visualizador de redes en VOSviewer por citación de principales inventores para la CPC B65D65/466 AND packaging.

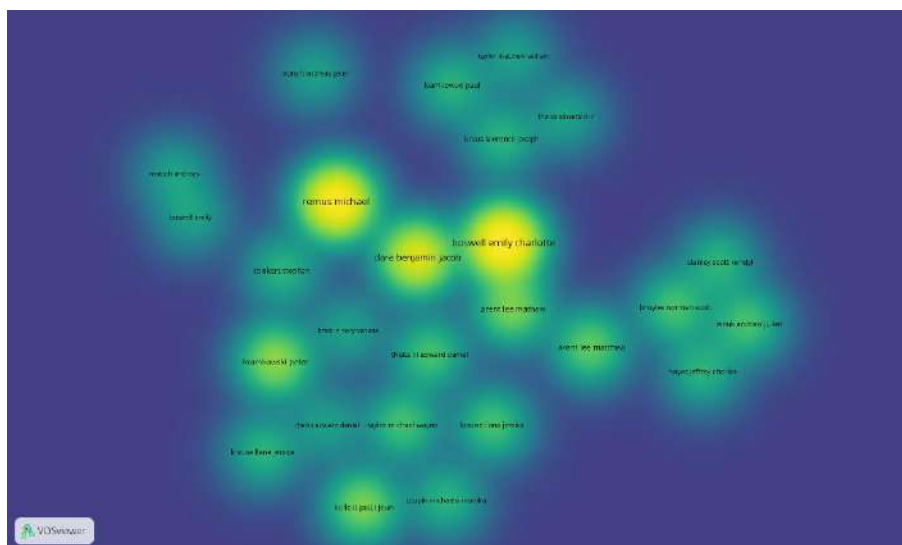


Figura 4.9 Visualizador de densidad en VOSviewer por citación de principales inventores para la CPC B65D65/466 AND packaging.

Con respecto a los principales términos abordados en las patentes, filtramos todos los términos que se repiten más de 10 veces en los abstracts, y como se aprecia en las Figuras 4.10 y 4.11 encontramos como

nodo importante en la parte superior la frase relevante biodegradable packaging material, relacionada estrechamente con las frases excellent flexibility, compressibility, resiliency y low density:

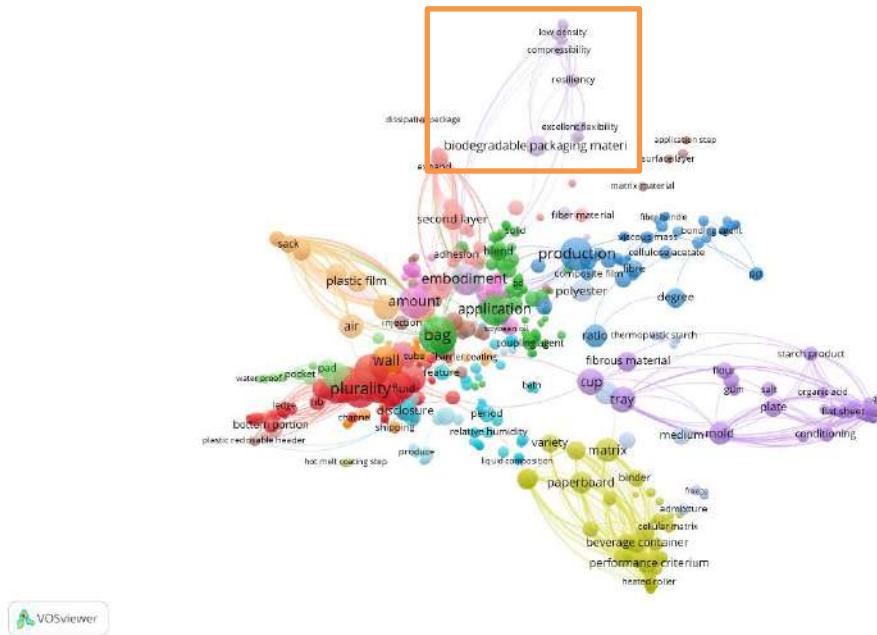


Figura 4.10 Visualizador de redes en VOSviewer para los términos más relevantes para la CPC B65D65/466 AND packaging.

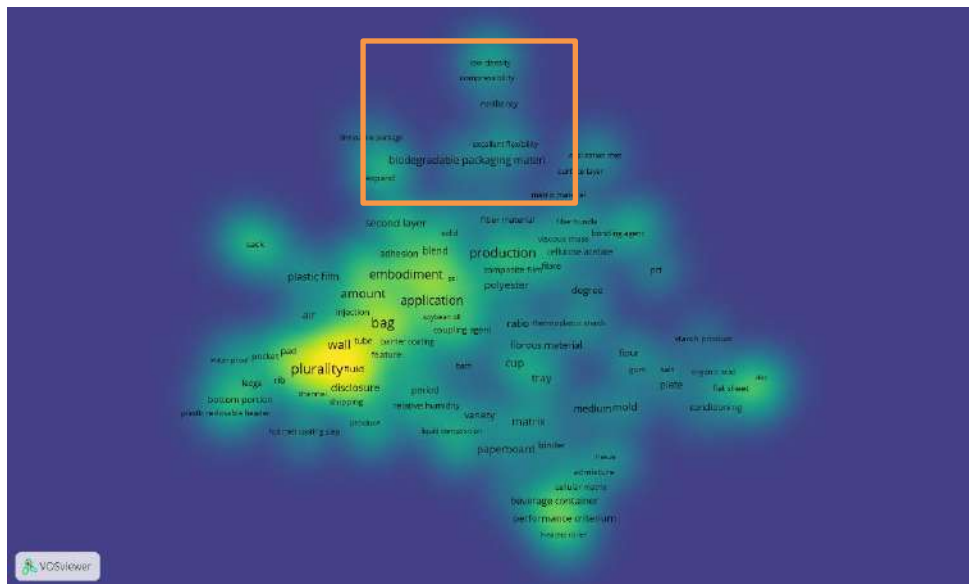


Figura 4.11 Visualizador de densidad en VOSviewer para los términos más relevantes para la CPC B65D65/466 AND packaging.

También es de resaltar que la tendencia para publicaciones de patentes con los términos B65D65/466 AND packaging ha ido incrementándose hasta alcanzar un pico en el año 2022 como se aprecia en la Figura 4.12, con lo que se puede evidenciar la vigencia del tema a nivel mundial:

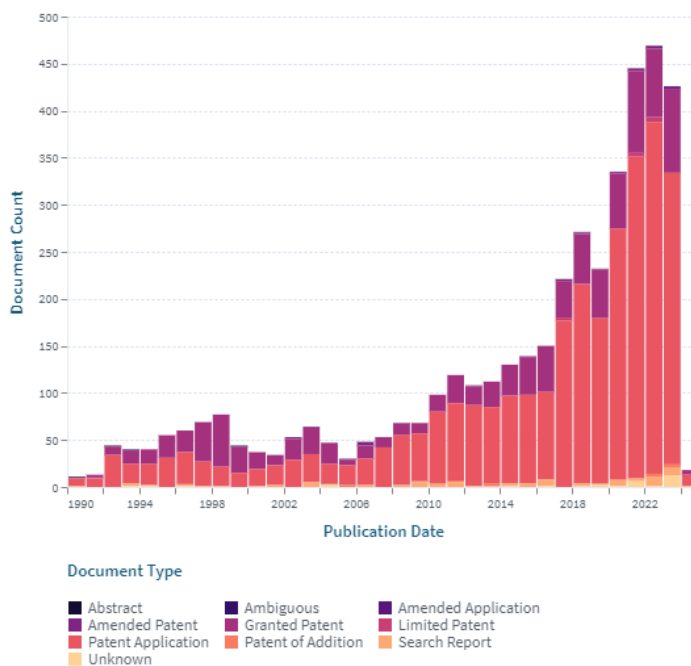


Figura 4.12 Fechas de publicación de patentes para la CPC B65D65/466 AND packaging, portal lens.org

## 4.2 Transformación del polocote

De acuerdo con las patentes de interés encontradas en las bases de datos, para la transformación de materia prima similar, se plantearon los productos que pueden ser obtenidos como alternativas al uso extendido del poliestireno usando polocote (*Tithonia tubiformis*).

En primer lugar, se elaboró el material de empaque denominado “cacahuete”, también se elaboró papel y cartón estableciéndose los procesos de transformación con base en la bibliografía revisada. Valga mencionar que la sustentabilidad de los procesos madereros, que rara vez ocurre en economías en vías de desarrollo como la nuestra, invita a buscar alternativas para la producción de materiales similares de igual o menor costo ecológico e incluso económico.

### 4.2.1 Patentes relevantes para el proceso de transformación

Tras llevar a cabo la metodología de los siete pasos recomendada por la USPTO, se encontraron patentes enfocadas en el aprovechamiento de la semilla del girasol o de la cascarilla, y muchas referentes al uso del almidón de diferentes orígenes para generar bioplásticos y otros componentes biodegradables. En la Tabla 4.2 se hace una relación de las patentes más relevantes con el proceso de transformación propuesto en este trabajo, así como su estatus al 14 de marzo de 2022. Se encontraron patentes activas, expiradas y en trámite, aunque ninguna se refería como tal al aprovechamiento específico del tallo o xilema de polocote (*Tithonia tubiformis*) como material para la elaboración de embalaje reciclable, y no se halló ningún resultado relevante en el registro de patentes de México.

Tabla 4.2 Lista de patentes relacionadas con el proceso de transformación propuesto.

Nombre de patente	No. Patente	Clasificaciones	Estatus
Packaging material	US20100323153A1	B32B3/10 B65D81/09 B65D65/466 Y02W90/10	Abandonada
Recovery of sunflower and other stems - cuts them into lengths to be dried and mixed with bonding agents for use as insulation and construction materials	DE19610247A1	C04B28/001 C04B18/248	Abandonada
Biofoam compositions for production of biodegradable or compostable products	US20110227254A1	B29C43/003	Abandonada
Biodegradable and water soluble packaging material	US5186990A	B29C67/24	Expirada
Recipientes biodegradables o que pueden convertirse en compost	ES2286385T3	B65D65/466	Activa
Sheets of starch based packing material, starch pellets for sheet extrusion and methods for forming the pellets and sheets	10,920,043	C08L3/02	Activa
Biodegradable articles based on starch and process for producing them	US5262458A	C08L3/02	Expirada
Composition and method of making biodegradable pellets	US20200048422A1	C08L3/02	Pendiente
Biocomposite and/or biomaterial with sunflower seed shells/husks	10,919,189	C08L99/00	Expirada
Aglutinante natural derivado de fibras medulares lipófilas (fibras internas de tallos o pedúnculos trituradas) separadas de tallos o pedúnculos de girasoles para alimentos procesados y alimentos procesados que lo contienen	ES2633187T3	A23L13/426	Activa
Biocomposite or biomaterial with sunflower seed husks / pods	ES2627510T3	B29C41/04	Activa
Biocomposite and/or biomaterial with sunflower seed shells/husks	US20180169908A1	B29C41/04	Pendiente

De las patentes analizadas, sobresalen la US20100323153A1 y la DE19610247A1 mostradas en la Tabla 4.2, con un estatus legal de “abandonadas” de acuerdo con el portal lens.org. La patente norteamericana inactiva US20100323153A1, guarda una similitud con el proceso propuesto en este trabajo, con la consideración importante de que sólo coloca un hilo a través de secciones de tallo de *Helianthus annuus* (otra variedad de girasol presente en Norteamérica) y que puede incluir o no la epidermis del mismo, como se aprecia en la Figura 4.13, esta patente no establece ningún proceso de modificación para la planta, y se reduce sólo a proponer una forma de unirla y organizarla para su uso como elemento de embalaje.

(19) **United States**  
 (12) **Patent Application Publication** (10) **Pub. No.: US 2010/0323153 A1**  
**Huskey** (45) **Pub. Date: Dec. 23, 2010**

---

(54) **PACKAGING MATERIAL** **Publication Classification**

(75) **Inventor:** Mary Huskey, Manistee, MI (US)

(51) **Int. Cl.**  
*B32B 3/10* (2006.01)  
*B23P 17/04* (2006.01)

(52) **U.S. CL.** ..... 428/131; 29/428

(57) **ABSTRACT**  
 A packaging material and method for making the material. The material having a member that may be made from a natural growing and biodegradable material, such as a sunflower stalk. The members may be connected to a string so that it is easy to clean if it falls to the ground or is removed from a package or box. The members or sunflower stalk segments may be securely fastened to a string, or they may be slidably disposed on a string. The string is also called a connector. The string or connector may also be biodegradable.

Correspondence Address:  
 ROBERT J. SAYFIE, P.C.  
 161 OTTAWA AVENUE NW, SUITE 407  
 GRAND RAPIDS, MI 49503 (US)

(21) **Appl. No.:** 12/488,613

(22) **Filed:** Jun. 22, 2009

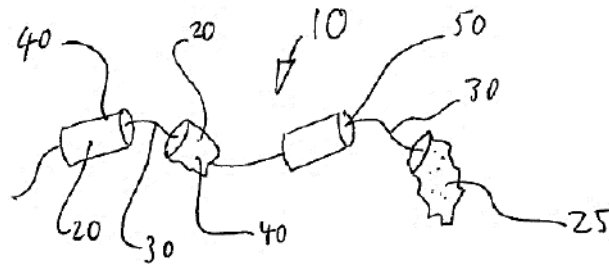


Figura 4.13 Carátula de la patente US20100323153A1 y diagrama correspondiente.

La patente alemana inactiva DE19610247A1 es de sumo interés ya que propone una amplia gama de procesos de transformación para los tallos de los girasoles, al ser aprovechados como elementos aislantes acústicos para la construcción; también para moldear, laminar o extruir mezclándolo con otros medios de adhesión. De lo anterior, se puede concluir que debido a que no hay patentes vigentes que lo limiten, el proceso de transformación específicamente del tallo del girasol silvestre que se propone en el presente trabajo es susceptible de ser patentado para aprovechar su licenciamiento y aprovechamiento comercial tanto en México como en USA y otros países.

## 4.2.2 Procesos de transformación

### 4.2.2.1 Elaboración de “loose-fill” o cacahuete

Una de las presentaciones más comunes del poliestireno expandido en la industria del embalaje es su forma suelta, llamada comercialmente cacahuete (loose-fill en inglés), en la cual el material no necesita tener una forma definida, y normalmente es utilizado en forma de esferas irregulares o en secciones circulares. En la Figura 4.14 se presenta el diagrama de flujo en bloques del proceso de obtención del “cacahuete”; resulta evidente que para la aplicación comercial deseada, será necesario utilizar un recubrimiento que evite su desintegración y dispersión en partículas pequeñas que puedan afectar al producto que protegen. La presentación “cacahuete” se observa en la Figura 4.15, se muestra el polocote cortado con un diámetro de aproximadamente 15 mm y largo de 3 cm y en verde el poliestireno suelto comercial.

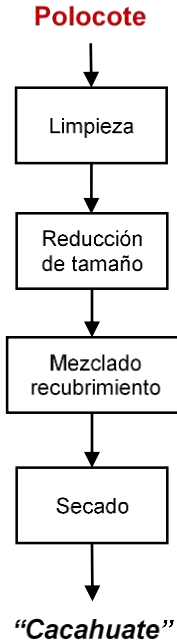


Figura 4.14 Diagrama de flujo en bloques del proceso de obtención del "cacahuate".



Figura 4.15 Presentación "cacahuate" de polocote (cilindros de la parte superior) y poliestireno suelto en color verde.

#### 4.2.2.2 Elaboración de papel y cartón a partir del xilema de polocote

Para la elaboración del cartón se utilizaron secciones circulares del tallo de la planta, a las cuales se les adicionó hidróxido de sodio (NaOH), compuesto alcalino que permite la digestión de la fibra a fin de eliminar la lignina de la pulpa vegetal. La lignina es un polímero amorfo que actúa en la planta a modo de cemento natural, rodea la pared de las fibras de celulosa e impide la unión entre ellas, es una sustancia hidrofóbica por lo que impide la absorción del agua imposibilitando la transformación de la pulpa en papel (Barbé, 2017). Para cumplir con la función de aglutinante se propuso la utilización de pulpa de linaza a fin de preservar los beneficios ecológicos del material y no utilizar aditivos sintéticos. En la Figura 4.16 se puede apreciar el diagrama de flujo del proceso que se siguió para la elaboración de papel y del cartón, siendo la principal diferencia el espesor de la hoja. Por su parte, en las Figuras 4.17 y 4.18 se pueden apreciar respectivamente, el papel y el cartón producidos.

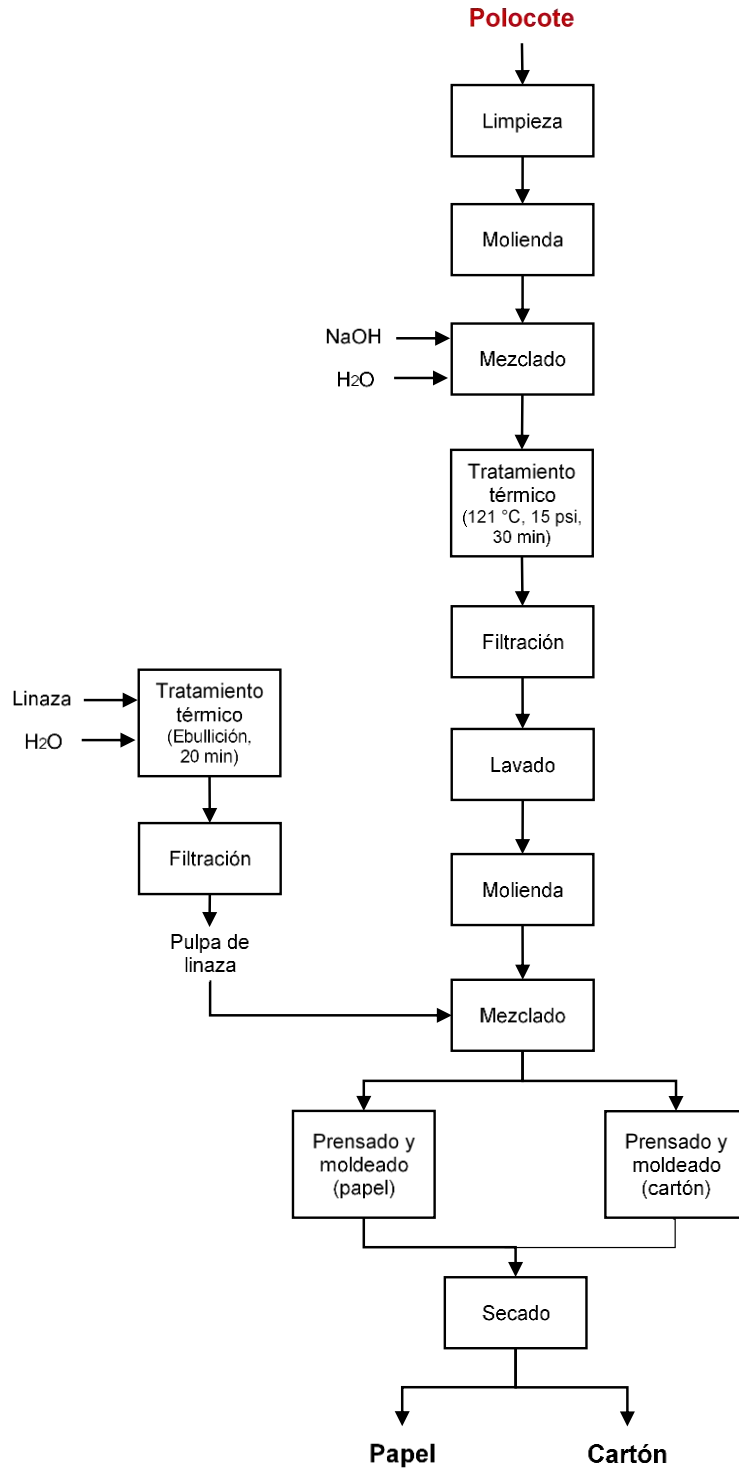


Figura 4.16 Diagrama de Flujo del Proceso de transformación en papel y cartón de la planta *Tithonia tubiformis*.



Figura 4.17 Papel elaborado a partir de *Tithonia tubiformis*.



Figura 4.18 Cartón elaborado a partir de *Tithonia tubiformis*.

#### 4.2.2.3 Elaboración de material tipo poliestireno expandido (EPS)

Este proceso fue similar al anterior, con la excepción de que no se utilizó calentamiento en la autoclave. Es de resaltar que al evitar el proceso térmico el impacto ecológico es todavía menor y el costo final también se verá reducido. En la Figura 4.19 se puede apreciar el diagrama de flujo del proceso descrito y en la Figura 4.20 el resultado obtenido, el cual tiene un espesor aproximado de 8 mm. Este material es el que más se asemeja al poliestireno expandido, al que podríamos llamar “biounicel”, y requeriría un recubrimiento biodegradable a fin de evitar la dispersión de partículas, una descomposición temprana y que retarde la flamabilidad, preservando sus bondades ecológicas.

Del análisis mecánico al xilema de polocote sin procesar que realizó (Juárez, 2013) en su tesina, se encontró que la densidad del polocote es de aproximadamente  $0.018\text{g/cm}^3$  contra  $0.010\text{g/cm}^3$  del poliestireno expandido (casi el doble), y que la estabilidad dimensional se mantuvo incluso a temperaturas mayores a  $120\text{ }^\circ\text{C}$  a diferencia del EPS que perdió toda la estabilidad dimensional. Se pudo observar en los prototipos la posibilidad de moldear la pulpa en frío mediante procesos como el prensado, laminado o la extrusión.

#### 4.2.2.4 Diagrama de flujo del proceso general

En la Figura 4.21 se muestra el Diagrama de Flujo para el proceso general de transformación del polocote (*Tithonia tubiformis*), en el cual se conjuntan todos los subprocesos mencionados anteriormente.

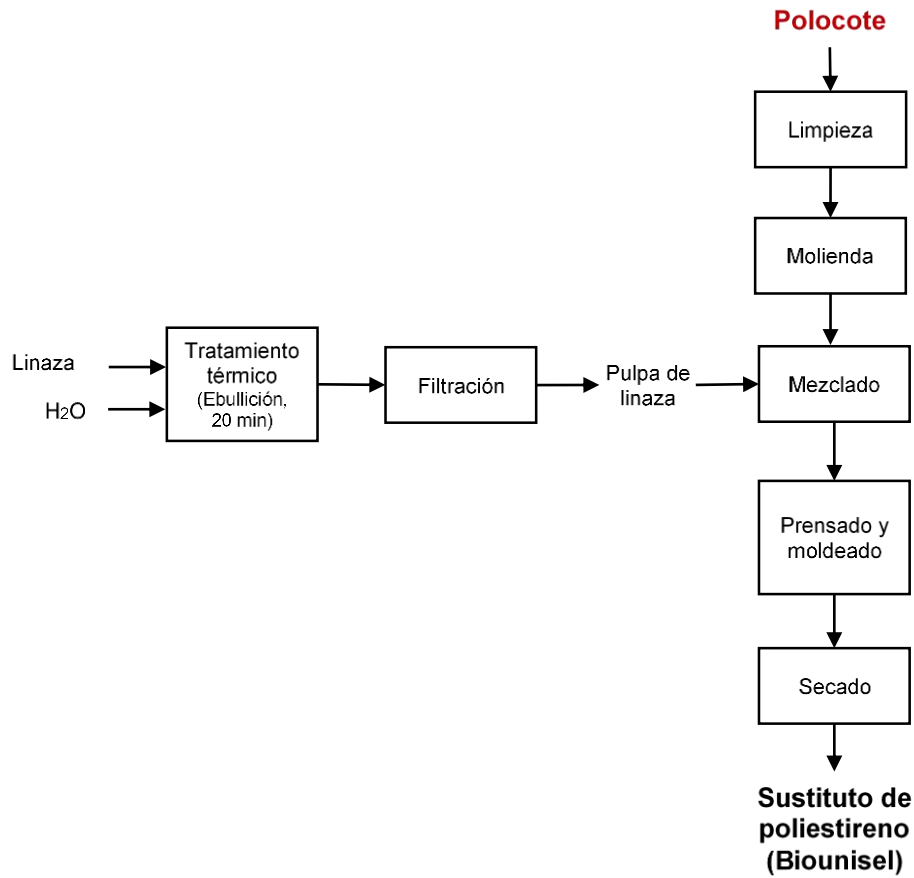


Figura 4.19 Diagrama de Flujo de Proceso de transformación de la planta *Tithonia tubiformis* en un sustituto del poliestireno (*Biounisel*).



Figura 4.20 Placas moldeadas a partir de *Tithonia tubiformis*.

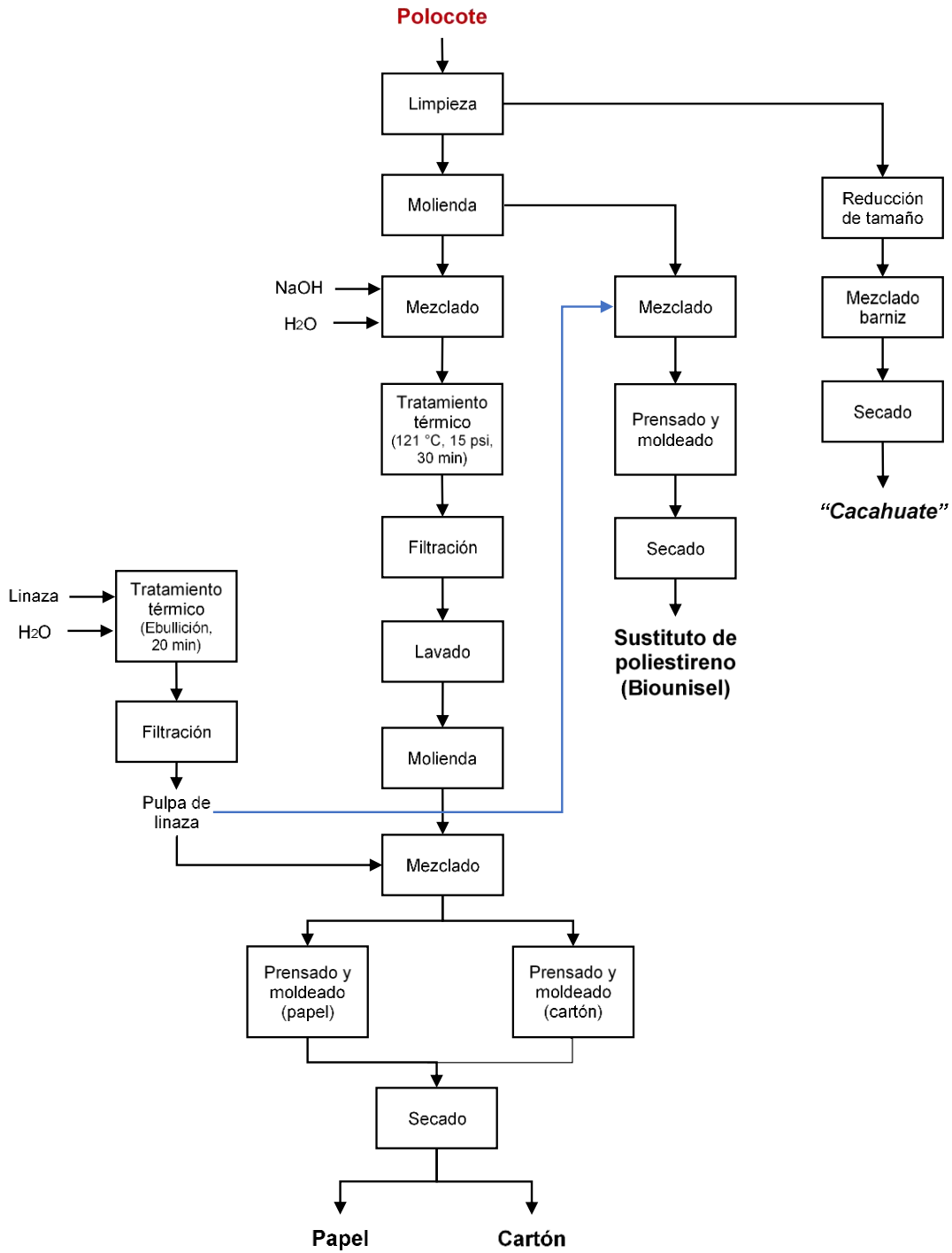


Figura 4.21 Diagrama de flujo para el proceso general de transformación del polocote (*Tithonia tubiformis*).

## 4.3 Prototipos de embalaje y molde

### 4.3.1 Patentes relevantes

Se encontraron patentes enfocadas en los prototipos de moldes para productos biodegradables, en la Tabla 4.3 se hace una relación de las patentes más relevantes que arrojó previamente el análisis cuantitativo, las cuales han sido promovidas principalmente por la dupla de Corbett y Romeo para la empresa Eco Logic Brands Inc. (US20150308050-A1, 2017) (US20170225381A1, 2018) (US-20140174634-A1, 2015). Estas patentes repiten nombres en diferentes años al tratarse de variantes para su misma línea de productos, pero siguen la misma estructura. Cabe mencionar que no se encontró ningún resultado relevante en el registro de patentes de México.

Tabla 4.3 Lista de patentes relacionadas con los prototipos de moldeo

Nombre de patente	No. Patente	Clasificaciones	Estatus
Process and machinery for integration of discrete parts into composite containers	US-20150308050-A1	D21J3/10	Activa
Manual container assembly and liner integration fixture for pulp-molded shell with polymer liner container systems	US-20140174634-A1	B65D11/02	Activa
Process and machinery for integration of discrete parts into composite containers	US-20170225381A1	B29C49/24	Activa
Procedure and machine to form a molded article	ES2751957T3	D21J7/00	Activa
Method of manufacturing pulp mold formed product	US6461480B1	D21J3/10	Activa

### 4.3.2 Aplicación de la Metodología TRIZ

#### 4.3.2.1 Parámetros técnicos de contradicción

También se buscaron patentes para el desarrollo del prototipo de molde. Cada una de las patentes mencionadas anteriormente, tienen influencia en el prototipo que se desarrolló, en la Tabla 4.4 se presenta la mejora que influyó en el diseño del prototipo por cada patente y en la Tabla 4.5 se muestran los parámetros técnicos de contradicción aplicables a nuestro prototipo.

Tabla 4.4 Patentes que tienen influencia para el desarrollo del prototipo.

Patente	Aportación
US-20170225381A1	Propone un diseño de molde semiautomatizado, escalable, con diseño en forma de bisagra, con maneral, económico para embalajes biodegradables
ES2751957T3	Propone un molde poroso para drenar líquidos con el fin de crear objetos basados en fibras de papel, que es un proceso similar al que se someterán las fibras de <i>Tithonia tubiformis</i>
US6461480B1	Propone un molde poroso para crear objetos basados en pulpas vegetales para producir papel, y el uso de una capa de malla que drena pero impide fugas del material que es un proceso similar al que se someterán las fibras de <i>Tithonia tubiformis</i>

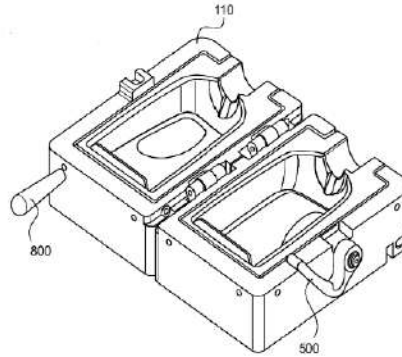


Figura 4.22 Diseño de molde para embalaje biodegradable, patente US-20170225381A1

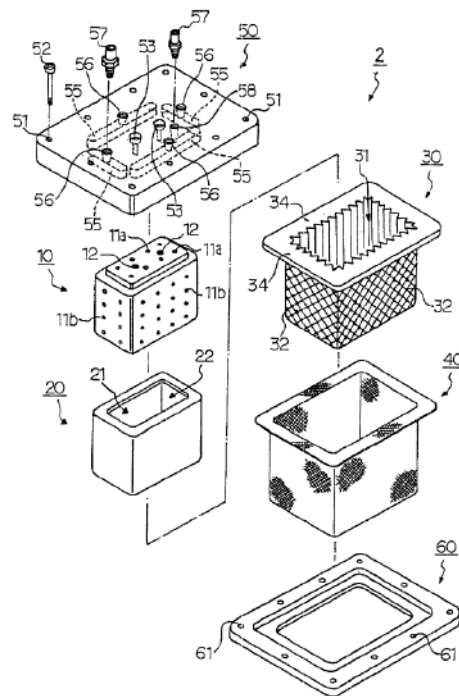


Figura 4.23 Diseño de molde para pulpa de papel, patente US-6461480B1

Tabla 4.5 Parámetros técnicos de contradicción aplicables al prototipo:

Mejora	Empeora
12 - Forma	13 - Estabilidad de la composición de un objeto
26 - Cantidad de sustancia o de materia	20 - Energía gastada por un objeto sin movimiento
2 - Peso del objeto estacionario	8 - Volumen de un objeto sin movimiento
30 - Daño externo que afecta a un objeto	8 - Volumen de un objeto sin movimiento

#### 4.3.2.2 Matriz de Altshuller aplicada al diseño del prototipo de embalaje

En la Tabla 4.6 se muestran los parámetros de inventiva de la Matriz de Altshuller, en función de las características de funcionalidad del prototipo de embalaje. Se realizó la comparación de los parámetros generales para obtener los principios de inventiva que se aplicaron para la propuesta del prototipo.

Tabla 4.6 Parámetros técnicos de contradicción para el desarrollo del prototipo de embalaje.

Prototipo de embalaje biodegradable		
Mejora		Empeora
Forma (12)		Estabilidad de la composición de un objeto (13)
Principios Recomendados		
Principios	Aplica (si/no)	¿Por qué?
33. Homogeneidad	Sí	Los componentes de la mezcla con la que se moldea la pieza de embalaje constituye una mezcla homogénea.
1. Segmentación	Sí	La pieza se dividirá en fragmentos más pequeños al final de su vida útil.
19. Acción periódica	No	La función a desempeñar no depende de la temporalidad.
4. Asimetría	No	Se busca la simetría en el embalaje prototipo
Mejora		Empeora
Estabilidad de la composición del objeto (13)		Duración de una acción de un objeto estacionario (16)
Principios Recomendados		
Principios	Aplica (si/no)	¿Por qué?
39. Ambiente inerte	No	Ni las condiciones de fabricación ni el uso final pueden ocurrir en el vacío.
3. Calidad local	Sí	La estructura celular permite que haya zonas con aire separadas por material más rígido que las cohesionan y da firmeza
35. Transformación de propiedades o cambio de parámetros	Sí	Se requiere un cambio del estado sólido del material como se encuentra en la naturaleza, a uno líquido para moldearlo y posteriormente al estado sólido.
23. Retroalimentación	Sí	Se requiere que el material se mantenga por un cierto período de tiempo, hasta que se coloque en un ambiente propicio que active los procesos de degradación.
Mejora		Empeora
Peso del objeto estacionario (2)		Volumen del objeto estacionario (8)
Principios Recomendados		
Principios	Aplica (si/no)	¿Por qué?
5. Consolidación o combinación	Sí	Los componentes de la mezcla con la que se moldea la pieza de embalaje constituye una mezcla homogénea.
35. Transformación de propiedades o cambio de parámetros	Sí	Se requiere el cambio de la composición sólida del tallo de la planta para inyectarla en forma líquida dentro del molde.
14. Esfericidad	Sí	En esencia, el material del tallo de la planta está compuesto por celdas o esferas que contienen aire y le brindan las propiedades deseadas.
2. Extracción	Sí	Para obtener las propiedades deseadas en el producto final, figurativamente se reemplaza material sólido con aire, haciéndolo muy ligero.
Mejora		Empeora
Resistencia (14)		Efectos secundarios dañinos (31)
Principios Recomendados		
Principios	Aplica (si/no)	¿Por qué?
15. Incremento dinámico o dinamismo	Sí	Porque necesitamos que el material se comporte de una manera durante su uso, y de otra en su deposición final.
35. Transformación de propiedades o cambio de parámetros	Sí	Porque necesitamos que el material se comporte de una manera durante su uso, y de otra en su deposición final.
22. Convertir algo dañino en benéfico	Sí	Si la resistencia a la degradación del embalaje es suficiente, se puede considerar incluso la alternativa del reciclaje, para no procesar más material virgen.
2. Extracción	No	Los componentes de la mezcla con la que se moldea la pieza de embalaje constituye una mezcla homogénea, no se puede separar algún elemento.

### 4.3.3 Diseño de los prototipos de embalaje y molde

Se diseñaron los prototipos de embalaje biodegradable y molde para su fabricación. En efecto, con el desarrollo del método de transformación para el material tipo poliestireno expandido (EPS) descrito previamente, se llegó a la conclusión de que se podía moldear una pieza sencilla de embalaje adaptando el sistema de inyección de poliuretano con moldes de cierre manual, con el cual se realizan las partes espumadas para la industria automotriz, el molde se observa en la Figura 4.24.



Figura 4.24 Molde manual para inyección de piezas de poliuretano.

Una de las piezas más simples, pero de enormes aplicaciones en la industria del embalaje es un esquinero, el cual sirve como protección para muebles y otros bienes de consumo. Se definió una pieza de 20mm de espesor, 70mm de largo y 80mm de altura en función de las dimensiones de la referencia existente en el mercado, esquinero que es un producto insignia de la empresa Ecovative, como la que se observa en la Figura 4.25. Se definieron ángulos de desmoldeo de  $2^\circ$  en las paredes verticales a fin de facilitar la expulsión de la pieza, como si se tratara de cualquier otra pieza plástica. En las Figuras 4.26, y 4.27 se aprecia el diseño final para el prototipo del esquinero; cabe mencionar que se pueden obtener cuatro esquineros al cortar la pieza en los dos ejes perpendiculares de simetría, y aplicando en el programa de diseño la densidad del polocote definida por (Juárez,2013) en  $18 \text{ kg/m}^3$  se obtuvo un peso teórico de 4 gramos para cada esquinero.



Figura 4.25 Esquinero estándar de referencia, producto de la empresa Ecovative.

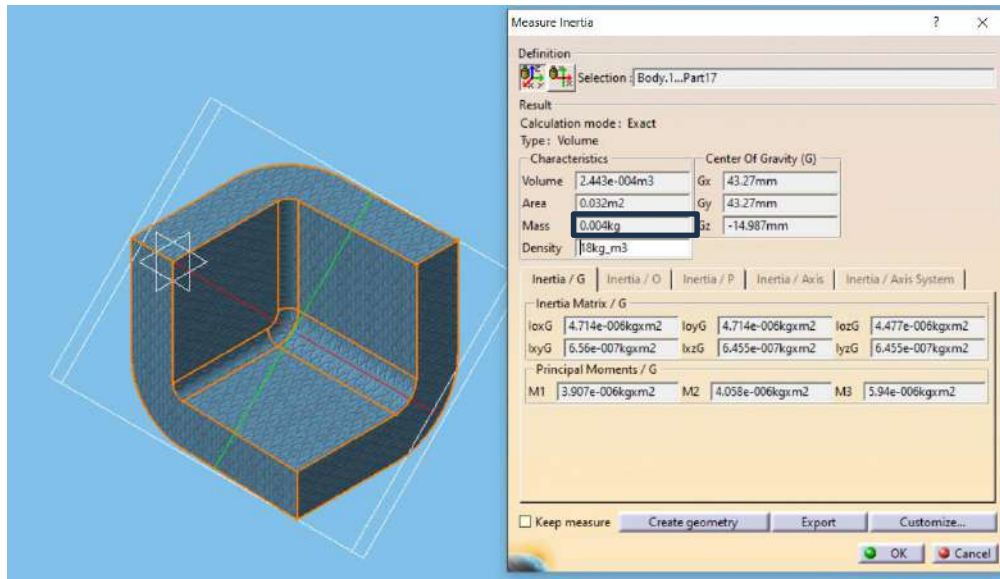


Figura 4.26 Concepto de prototipo para esquinero y peso teórico

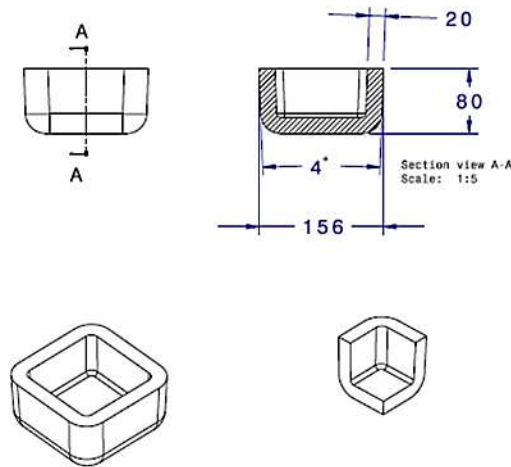


Figura 4.27 Dimensiones generales para prototipo de esquinero.

Una vez determinado el diseño de la pieza, se diseñó un molde manual con los elementos básicos de cualquier molde de inyección plástica (Rees, 2001), a saber:

- Placa de cavidad. Es la parte del molde que genera la geometría externa de la pieza, usualmente es la parte cóncava del herramental.
- Placa de core o núcleo. Es la parte del molde encargada de definir la geometría interna de la pieza, usualmente es la parte convexa del herramental.
- Zona de sello. Es el área de contacto entre las placas del molde, la cual se ajusta para asegurar un contacto pleno y evitar así la fuga de material que genera rebabas.
- Componentes de alineación. A fin de asegurar una alineación correcta al momento del cierre entre las dos placas del molde se utilizan elementos mecánicos de precisión que permiten coincidir las dos placas principales.

Aunado a lo anterior, se incorporaron en el diseño del prototipo del molde elementos identificados en las patentes que se analizaron con la metodología TRIZ, como la adición de orificios para permitir el drenado de la pulpa. Se confirmó también con el análisis de las patentes que el diseño con bisagras está comprobado a nivel industrial incluso para su aplicación específica en embalaje biodegradable y que no se requieren las típicas líneas de enfriamiento ya que es factible trabajar con el molde en frío.

Las diferencias sustanciales con respecto al proceso común de inyección plástica son que, en lugar de utilizar una prensa de alto tonelaje, para moldear la pieza se vacía la mezcla de polocote con linaza directamente en un punto de inyección del molde cerrado, a partir del cual se distribuye el material en toda la cavidad. Cabe destacar que este proceso de inyección es muy parecido al que se lleva a cabo en moldes para piezas de poliuretano. Después de haber inyectado la cantidad de material que asegure el llenado completo de la cavidad del molde, se libera el mecanismo de cierre manualmente y se abre completamente mediante una manija a fin de acceder y extraer la pieza inyectada. Considerando lo anterior, en las Figuras 4.28 y 4.29 se pueden ver el diseño para el molde manual que serviría para fabricar el esquinero de embalaje.

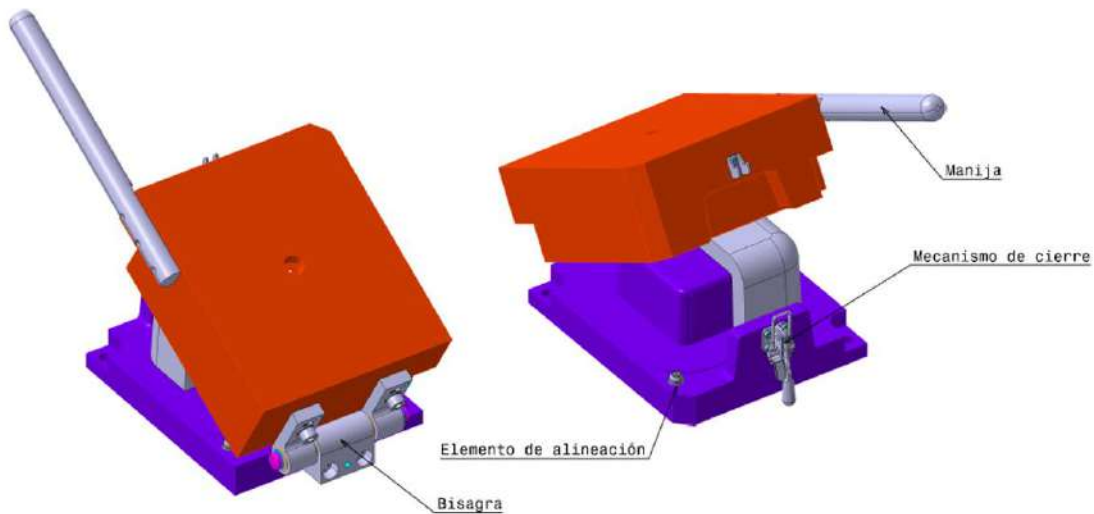


Figura 4.28 Concepto simplificado de molde para esquinero.

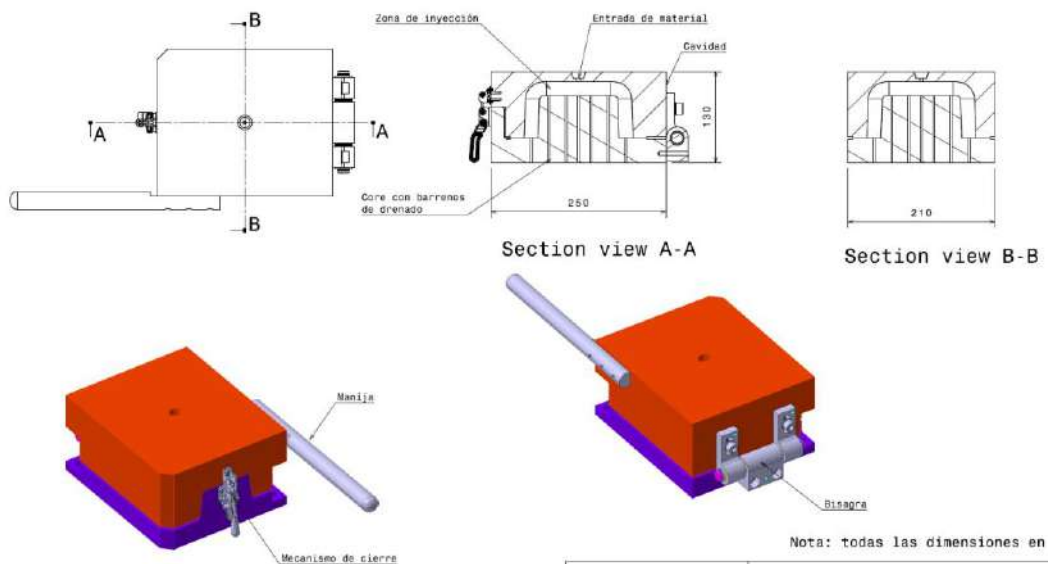


Figura 4.29 Vistas generales y componentes de molde para esquinero.

Aunque el alcance del proyecto sólo llega hasta la fase de diseño virtual del prototipo y del molde, se ha definido una lista de materiales, que se observa en la Tabla 4.7, con componentes estándar disponibles en el mercado empleados comúnmente para la fabricación de moldes y herramientas; estos son producidos en grandes volúmenes por empresas transnacionales con altos criterios de calidad a precios razonables. Se ha diseñado la menor cantidad posible de piezas para maquinar con proveedores externos. Respecto al material más importante y costoso de los moldes, el aluminio para las placas de cavidad y Core, se decidió utilizar el tipo 6061 por ser el más económico y funcional, así como el de mayor disponibilidad en el país. Se compraría el material en espesores comerciales y se llevaría a maquinar con algún proveedor de maquinado en CNC. Se estimó el costo de los materiales sin incluir mano de obra para el ensamble y ajuste del molde en aproximadamente en MXN \$26473.00 a precios de febrero de 2024.

*Tabla 4.7 Lista de materiales para fabricar el molde del esquinero.*

Posición	Cant.	Descripción	Proveedor
101	1	Bloque Cavidad Al 6061	Maquinado externo CNC
102	1	Manija	Maquinado externo convencional
201	1	Bloque Core Al 6061	Maquinado externo CNC
301	2	Bisagra	Maquinado externo convencional
302	1	Flecha bisagra Acero 4140T	Maquinado externo convencional
303	1	Bisagra central	Maquinado externo convencional
501	2	Z051-16 Centering Lock	Hasco
502	1	Clamp 323	DESTACO
504	6	6659K32_Oil-Embedded Flanged Sleeve Bearing	McMaster
505	2	98541A121_External Retaining Ring	McMaster
506	2	98687A311_General Purpose Steel Washer	McMaster
601	9	Tornillo Pavonado M4x16 SHCS	Tornillería
602	4	Tornillo Pavonado M10x25 SHCS	Tornillería

El resultado final del prototipo de embalaje y el molde correspondiente reflejan una síntesis de varias propuestas de diseño e iteraciones previas, en las cuales se analizaron otras alternativas como el uso de botadores convencionales para el sistema de expulsión, el cual se descartó por estar excedido para las necesidades de este tipo de moldes y no permitir el drenado del líquido al momento del moldeo. Desde los primeros conceptos hasta el diseño final se emplearon aproximadamente 60 horas. El molde propuesto podría considerarse de bajo costo por las dimensiones, peso, materiales y ser manual, pero también brinda la ventaja de que el mismo diseño es fácilmente escalable para una hipotética producción industrial al utilizar varios moldes uno al lado del otro.

## 4.4 Normas aplicables

### 4.4.1 Normas de compostabilidad y biodegradabilidad

Publicitar un producto como composteable implica que el producto se degradará por completo y regresará a la naturaleza dentro de un lapso relativamente corto de tiempo después de la deposición del usuario (TPITA, 2016). El afirmar que el proceso de transformación propuesto en este trabajo para el xilema de polocote permite obtener un producto biodegradable y amigable con el medio ambiente, precisa entonces de cumplir con ciertos marcos normativos. En la Tabla 4.8 se aprecian las principales normas ASTM e ISO, aplicables de biodegradabilidad y compostabilidad. La ASTM es la Sociedad Estadounidense para Pruebas y Materiales, por sus siglas en inglés American Society for Testing and Materials o ASTM International.

La asociación norteamericana ASTM ha generado los estándares D6400 y D6868, que se observan en la Tabla 4.8, para determinar si un producto es composteable, para lo cual debe cumplir con los siguientes lineamientos (TPITA, 2016):

- Descomponerse completamente. No debe permanecer más del 90 % del artículo.
- Regresar a la naturaleza. Dado que los productos de la composta serán reincorporados al suelo, la especificación D6400 define restricciones de ecotoxicidad y regula la presencia de metales para prevenir la bioacumulación de materiales en el suelo.
- Dependencia del espesor. La habilidad de un material o producto para convertirse en composta depende del espesor. Se debe especificar el máximo espesor con el que los requerimientos de compostabilidad se cumplen.
- La norma D6868 es una especificación similar para productos de varias capas, donde cada capa debe cumplir con los requerimientos de la norma D6400 de forma independiente.

También existe el estándar internacional ISO EN 13432, Tabla 4.8, enfocado en la compostabilidad del embalaje, basada en la caracterización, biodegradación, desintegración y ecotoxicidad de la composta. La caracterización del embalaje incluye un análisis de la composición de los materiales, metales pesados y contenido de carbono (Kale, 2007).

En la Tabla 4.9 se aprecian las pruebas estandarizadas pertinentes para validar las características de compostabilidad y biodegradabilidad en los Estados Unidos. Los estándares actuales de la ASTM relacionados con la composteabilidad y biodegradabilidad de un material pueden categorizarse en tres grupos, basado en los ambientes de exposición:

- Compostaje
- Digestión anaeróbica y tratamiento de lixiviados.
- Otros.

*Tabla 4.8 Normas principales aplicables de compostabilidad y biodegradabilidad.*

Norma	Título
ASTM D6400	Standard Spec. for Labeling of Plastics Designed to be Aerobically Composted in Municipal or Industrial Facilities
ASTM D6868	Standard Spec. for Biodegradable Plastics Used as Coatings on Paper and Other Compostable Substrates
EN 13432	Requirements for Packaging Recoverable Through Composting and Biodegradation – Test Scheme and Evaluation Criteria for the Final Acceptance of Packaging
ISO 17088	Specifications for Compostable Plastics

*Tabla 4.9 Pruebas estandarizadas aplicables de compostabilidad y biodegradabilidad.*

Categoría	Prueba estandarizada
Ambiente de composteo	D5929 “Standard Test Method for Determining Biodegradability of Materials Exposed to Municipal Solid Waste Composting Conditions by Respirometry”
Digestión anaeróbica y tratamiento de lixiviados	D5210 “Standard Test Method for Determining the Anaerobic Biodegradation of Plastic Materials in Presence of Municipal Sewage sludge
	D5271 “Standard Test Method for Determining the Aerobic Biodegradation of Plastic Materials in an Activated-Sludge Wastewater-Treatment System”
	D5526 Standard for Determining Anaerobic Biodegradation of Plastic Materials Under Accelerated Landfill Conditions
	D5511 Standard Test Method for Determining Anaerobic Biodegradation of Plastic Materials Under High-Solids Anaerobic Digestion Conditions
Otros	D5975 “Standard Test Method for Determining the Stability of Compost by Measuring Oxygen Consumption”

V

**Conclusiones**

## 5 Capítulo 5: Conclusiones y Perspectivas

### 5.1 Conclusiones

Se definieron procesos de transformación del xilema de polocote, basados en procedimientos comprobados en otras aplicaciones que también trabajan con pulpas vegetales. Mediante la elaboración de prototipos de embalaje biodegradable se confirmó la factibilidad de aprovechar este material como sustituto del poliestireno expandido en la industria del embalaje debido a su baja densidad, alta maleabilidad y menor impacto ecológico. De llegar a su comercialización, un biomaterial basado en el tallo de la planta *Tithonia tubiformis* cambiaría radicalmente el paradigma respecto a la importancia de la flora ruderal en México y el mundo, ya que no requeriría utilizar espacio ni recursos dedicados a la producción de alimentos para generar beneficios, además de ayudar a reducir la huella ecológica de una industria contaminante como lo es la del embalaje.

Aunque el presente trabajo no es exhaustivo, el análisis cuantitativo y mapeo bibliométrico realizados (vigilancia tecnológica) permitieron corroborar la actualidad y pertinencia del tema e incluso se puede visualizar una tendencia al alza para los años futuros. El molde diseñado aprovecha el conocimiento probado en otros moldes similares utilizados industrialmente y se alinea con el funcionamiento mostrado en las patentes más notables de moldes en la industria mundial del embalaje biodegradable. Los reportes más recientes de la industria confirman que el consumidor incluso está dispuesto a nivel mundial a pagar un costo adicional por un producto con embalaje biodegradable, por lo cual hay un nicho de mercado para la propuesta mostrada en este trabajo aún si el costo final fuera más alto que los materiales actuales (EPS).

Adicionalmente, el análisis de patentes confirma que las propuestas de procesos de transformación del material y el molde diseñado no incurrir en plagio que restrinja el proceso propuesto y es susceptible de ser protegida la propiedad intelectual de la invención en México y en el extranjero; por lo cual se debe proceder inmediatamente a la protección de la propiedad intelectual como un primer paso para una deseable futura comercialización.

### 5.2 Perspectivas

Cabe resaltar que la innovación obtenida aún no está en un grado suficiente de maduración para su exitosa introducción al mercado y/o para la comercialización de la tecnología, ya que aún faltan por realizarse las pruebas mecánicas de la ASTM en laboratorios certificados que ratifiquen completamente la factibilidad técnica de este nuevo material biodegradable y lo coloquen como una alternativa real a los productos ya existentes en el mercado. Esto requiere de una inversión considerable en capital intelectual y económico. Las características mecánicas más significativas para evaluar serían la resistencia a la compresión, resistencia a la tensión, resistencia a la flexión, módulo de compresión, estabilidad dimensional, módulo de corte, absorción del agua, e inflamabilidad.

Existen pruebas que determinan las cualidades de compostabilidad de un material, las cuales tendrían que ser realizadas para cuantificar esta característica en el material tanto en ambientes aeróbicos, anaeróbicos, así como para determinar la solubilidad en agua.

Hay desafíos logísticos importantes en la recolección de los tallos de la planta *Tithonia Tubiformis*, ya que se encuentra dispersa en una amplia región durante una temporada corta del año tanto en los caminos ruderales como directamente en los campos de cultivo, y su baja densidad puede ser contraproducente al requerir fletes adicionales y aumento en la huella de carbono para trasladar un peso reducido del material. Aunado a lo anterior, un manejo adecuado de los temas sociopolíticos con los ejidos y comunidades será clave para permitir un adecuado suministro. En paralelo, se puede explorar una colaboración más estrecha

con la industria de transformación de la semilla de girasol comercial a fin de aprovechar sus desechos de tallos como materia prima.

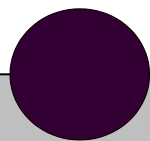
Debido a que en la elaboración del papel a partir de polocote se obtuvo como efecto secundario un residuo con agua que contiene sosa cáustica altamente contaminante, será de vital importancia medir apropiadamente el impacto ambiental de estos residuos líquidos y proponer posibles vías para su disminución, neutralización por PH o eliminación. Este aspecto demeritaría en gran medida el propósito fundamental de la innovación.

Será relevante hacer pruebas de reciclaje en el material, para analizar la posibilidad de reaprovecharlo antes de convertirlo en composta, revisando los desafíos logísticos y económicos de este proceso. La baja densidad del material podría representar un desafío importante tal como sucede con el reciclaje del EPS actualmente.

Se hizo evidente al generar los prototipos de biounicel que se requiere utilizar algún tipo de recubrimiento biodegradable también, con el propósito de evitar la dispersión de partículas, proteger contra la inflamabilidad, evitar una descomposición temprana del material pero que también posibilite su posterior y deseable degradación. El análisis de cuál pudiera ser este biofilm sería materia de estudios adicionales.

A fin de difundir la utilización del material a cualquier ubicación sin limitarse a la región del país donde crece la planta, se requerirá analizar las posibilidades de producir pellets con las propiedades de la planta en una forma similar a los que se utilizan en la industria de inyección plástica, así como ver la factibilidad de que estos pellets sean procesados en prensas existentes o customizadas. Esto permitiría extender potencialmente los beneficios del material a una escala global.

Los resultados obtenidos dejan abierta la puerta para estudios posteriores que profundicen en las posibilidades de aplicación que *Tithonia tubiformis* tiene en campos tales como el aislamiento térmico, como embalaje para alimentos y perecederos, como componente de conglomerados de madera, como aditivo para resinas de plástico a fin de brindarles una menor densidad, como planta capaz de recuperar suelos erosionados, e incluso como material de construcción.



**Referencias  
Bibliográficas**

## Referencias Bibliográficas

- Adewole, M. (2010). Removal of Heavy Metals from Soil Polluted with Effluents from a Paint Industry Using *Helianthus annuus* L. and *Tithonia diversifolia* as Influenced by Fertilizer Applications. *Bioremediation Journal*, 14(4), 169-179.
- Alamy (2023) *Packaging symbols*. Obtenido de <https://www.alamy.es/imagenes/packaging-symbols.html?sortBy=relevant>
- Altshuller, G. (2002). 40 Principles: TRIZ Keys to Innovation. Kawasaki, Japan: Technical Innovation Center Inc.:
- Altshuller, G. (2007). The innovation algorithm. Worcester, Ma: Technical Innovation Center.
- Amba Pack. (2023). *Tipos de embalaje*. Obtenido de <https://www.facebook.com/ambapack/photos/a.113748153935032/151098746866639/?type=3&theater>.
- Asociación Mexicana de Envase y Embalaje (2023). Obtenido de <https://www.amee.org.mx/socios.html>
- Atlas of the Future. (2023). Viviendo entre hongos, Ecovative Design. Obtenido de <https://atlasofthefuture.org/es/project/ecovative-design/>
- Barbé, Juan (2017). Las plantas y su papel. 102 recetas papeleras. Editorial HiFer, España.
- Barrett, A. (2018). Who is NatureWorks?. Bioplastic News. Obtenido de <https://bioplasticsnews.com/2018/06/05/natureworks-saga-thai-fiasco/>.
- Bayer, E. (2010). Are Mushrooms the New Plastic? Conferencia TEDGlobal. Recuperado el 2021, de [http://www.ted.com/talks/eben\\_bayer\\_are\\_mushrooms\\_the\\_new\\_plastic.html](http://www.ted.com/talks/eben_bayer_are_mushrooms_the_new_plastic.html)
- BBC. (2015). Recuperado el Mar de 2022, de <https://www.bbc.com/news/magazine-33334994>
- Bioeconomía. (2019). Un portafolio de productos a partir de girasol. Obtenido de <https://www.bioeconomia.info/2019/04/10/un-portafolio-de-productos-a-partir-de-girasol>.
- Bolaños, A. (2019). *La Jornada*. Recuperado el Mar de 2022, de <https://www.jornada.com.mx/2019/05/10/capital/031n1cap>
- Börner, K. (2003). Visualizing knowledge domains. *Annual Review of Information Science and Technology*, 37, 179-255.
- Bye, R. (2009). México: Centro de Origen de la Domesticación del Girasol. *Tip Revista Especializada en Ciencias Químico-Biológicas*, 12(1), 5-12. Obtenido de <http://tip.zaragoza.unam.mx/index.php/tip/article/view/18/18>
- California Department of Health Services. (1990). *Styrene, Hazard Evaluation System and Information Service (HESIS)*. Recuperado el 2021, de <https://www.cdph.ca.gov/Programs/CCDCPHP/DEODC/OHB/HESIS/CDPH%20Document%20Library/styrene.pdf>
- California Environmental Protection Agency. (1999). Final prioritized candidate chemicals under consideration for carcinogenicity evaluation.
- Centro de Normalización y Certificación de Productos, A.C. (2014). NMX-E-034-CNCP-2014 industria del plástico-contenido de negro de humo en poliolefinas-método de ensayo. Obtenido de [https://www.dof.gob.mx/nota\\_detalle.php?codigo=5391337&fecha=07/05/2015](https://www.dof.gob.mx/nota_detalle.php?codigo=5391337&fecha=07/05/2015)
- CONABIO. (s.f.). Malezas de México. Recuperado el 2021, de <http://www.conabio.gob.mx/malezasdemexico/asteraceae/tithonia-tubiformis/fichas/ficha.htm#1.%20Nombres>
- Corbett, J. (04 de Marzo de 2014). Estados Unidos Patente nº US-8663419-B2.
- Coronado, M. (2005). Innovación sistemática mediante TRIZ. Recuperado el 28 de Octubre de 2023, de [https://www.academia.edu/7046975/Innovacin\\_sistemtica\\_mediante\\_triz](https://www.academia.edu/7046975/Innovacin_sistemtica_mediante_triz)
- Davis, G. (2006). Biodegradable packaging based on raw materials from crops and their impact on waste management (Vol. 23). *Industrial Crops and Products*.
- Detzel, A. (2013). Study of the Environmental Impacts of Packagings Made of Biodegradable Plastics. Federal Ministry of Environment, *Nature Conservation and Nuclear Safety* (Alemania).
- Ellen MacArthur Foundation. (2023). Envase de "plástico de hongos": Ecovative. Obtenido de <https://ellenmacarthurfoundation.org/es/ejemplos-circulares/envase-de-plastico-de-hongos-ecovative>.
- EPS Industry Alliance. (2014). EPS Recycling Rate Report. EPS Industry Alliance. Recuperado el Mar de 2022, de <http://epsindustry.org/sites/default/files/EPS%20Recycling%20brochure%20PRINT%20no%20bleed.pdf>
- Erlandsson, B. (1997). The mode of action of corn starch and a prooxidant system in LDPE: Influence of thermooxidation and UV irradiation on the molecular weight changes. *Polymer Degradation and Stability*, 55, 237-245.
- Experts, Industry. (2011). *Biomaterials, a global market overview*.
- EY. (2013). Unwrapping the packaging industry: Seven factors for success. Recuperado el 2021, de [http://www.ey.com/Publication/vwLUAssets/Unwrapping\\_the\\_packaging\\_industry\\_%E2%80%93\\_seven\\_factors\\_for\\_success/\\$FILE/EY\\_Unwrapping\\_the\\_packaging\\_industry\\_-\\_seven\\_success\\_factors.pdf](http://www.ey.com/Publication/vwLUAssets/Unwrapping_the_packaging_industry_%E2%80%93_seven_factors_for_success/$FILE/EY_Unwrapping_the_packaging_industry_-_seven_success_factors.pdf)
- Friend, D. (2005). The Pros and Cons of Styrofoam. University of Illinois Extension. Obtenido de <http://abe-research.illinois.edu/pubs/factsheets/Styrofoam.pdf>
- García, C. A. (2011). Patrones de diversidad y aspectos etnobotánicos de las plantas arvenses del valle de Tehuacán-Cuicatlán: el caso de San Rafael, municipio de Coxcatlán, Puebla. *Revista Mexicana de biodiversidad*, 82(3). Recuperado el 2021, de [http://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci\\_arttext&pid=S1870-34532011000300025](http://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1870-34532011000300025)
- Gray, J. (2011). *Polystyrene: properties, Performance and Applications*. Nueva York: Nova Science Publishers, Inc. .
- Harper, C. (2000). Plastics Recycling and biodegradable plastics. En *Handbook of plastics Technologies* (pág. 8.60). McGraw-Hill.
- Harper, C. (2006). *Handbook of plastics Technologies*. McGraw-Hill.
- Ho, B. (2017). An overview on biodegradation of polystyrene and modified polystyrene: the microbial approach. *Critical Reviews in Biotechnology*. Recuperado el 2021, de [https://www.researchgate.net/publication/318854130\\_An\\_overview\\_on\\_biodegradation\\_of\\_polystyrene\\_and\\_modified\\_polystyrene\\_the\\_microbial\\_approach](https://www.researchgate.net/publication/318854130_An_overview_on_biodegradation_of_polystyrene_and_modified_polystyrene_the_microbial_approach)
- Hummels, H. (2012). Stairway to successful innovation. Maastricht University. Obtenido de [https://sustainable-finance.nl/upload/researches/Hummels-et-al\\_Stairway-to-succesful-innovation.pdf](https://sustainable-finance.nl/upload/researches/Hummels-et-al_Stairway-to-succesful-innovation.pdf)
- Instituto Mexicano de la Propiedad Intelectual. (s.f.). Recuperado el Mar de 2022, de [https://www.gob.mx/cms/uploads/attachment/file/477532/Libro\\_Blanco\\_GRP-SAP\\_31102018\\_Light\\_pdf](https://www.gob.mx/cms/uploads/attachment/file/477532/Libro_Blanco_GRP-SAP_31102018_Light_pdf)

- Ita, P. (1993). Industry Study 485, Foamed Plastics. The Freedonia Group, Inc.
- Corbett, J. (2015). Estados Unidos Patente nº US-20140174634-A1.
- Corbett, J. (2017). Estados Unidos Patente nº US-20150308050-A1.
- Corbett, J. (2018). Estados Unidos Patente nº US20170225381A1.
- Juárez, Elias. (2013). Pruebas físicas y químicas de la xilema del *Helianthus annuus* l. como sustituto del poliestireno expandido en sistemas de embalaje (Tesina). Facultad de Ingeniería, Benemérita Universidad Autónoma de Puebla.
- Katiessunflowers (2024). Obtenida de: <https://www.katiessunflowers.com/>
- Kale G. (2007). Compostability of Bioplastic Packaging Materials: An Overview. *Macromolecular Bioscience*, 7(3), 255-277. doi:10.1002/mabi.200600168
- Kale, G. (2007). Compostability of Bioplastic Packaging Materials: An Overview. *Macromolecular journals*, 7, 255-77.
- Klempner, D. (2004). Polymeric Foams and foam technology en Polymeric Foams and Foam Technology. Hanser Publishers.
- Layla Michán, I. M.-V. (2013). Cienciometría para ciencias médicas: definiciones, aplicaciones y perspectivas. *Investigación en Educación Médica*, 2(6).
- Mary, H. (2009). Estados Unidos de América Patente nº US 2010/0323153 A1.
- Michaeli, W. e. (2001). Training in Injection Molding. Munich: Hanser.
- Molina, M. (1974). *Nature*, 810.
- Nature Fresh. (2023). *Foro Química y Sociedad*. Obtenido de <https://www.quimicaysociedad.org/nature-fresh-un-film-con-base-ecovio-y-ecoflex-polimeros-de-basf-es-el-primer-film-extensible-compostable-certificado-para-ensado-automatico-a-escala-mundial-y-tambien-esta-ce>.
- National Association for PET Container Resources (2023) *NAPCOR members*. Obtenido de <https://napcor.com/napcor-membership/membership-directory-resources/>
- ONU. (1998). Protocolo de Kyoto de la Convención Marco de las Naciones Unidas sobre el Cambio Climático. Obtenido de <https://unfccc.int/resource/docs/convkp/kpspan.pdf>.
- ONU. (2022). Objetivos de desarrollo sostenible. Obtenido de <https://www.un.org/sustainabledevelopment/es/objetivos-de-desarrollo-sostenible/>.
- ONU-CEPAL. (2018). La Agenda 2030 y los Objetivos de Desarrollo Sostenible una oportunidad para América Latina y el Caribe. Obtenido de [.https://sedeturproo.gob.mx/pmts2030/documentos/marco\\_normativo/La%20Agenda%202030%20y%20los%20Objetivos%20de%20Desarrollo%20Sostenible](https://sedeturproo.gob.mx/pmts2030/documentos/marco_normativo/La%20Agenda%202030%20y%20los%20Objetivos%20de%20Desarrollo%20Sostenible).
- Paine, F. (2012). *The Packaging User's Handbook* (Vols. ISBN 1461314836, 9781461314837). Springer Science & Business Media.
- Pérez, M. (2021). Dinámicas socioeconómicas y problemas socioambientales: la producción de papel amate en la sierra norte de Puebla, Mexico (tesis). Chapingo, Estado de México: Universidad Autónoma Chapingo.
- Planecos (2023). Perfil de empresa Planecos. Obtenido de <https://www.facebook.com/Planecos>
- PlasticsEurope. (2019). Plastics: the facts 2019. Obtenido de [https://www.plasticseurope.org/application/files/9715/7129/9584/FINAL\\_web\\_version\\_Plastics\\_the\\_facts2019\\_14102019.pdf](https://www.plasticseurope.org/application/files/9715/7129/9584/FINAL_web_version_Plastics_the_facts2019_14102019.pdf)
- Pogaku, R. (2013). Starch-Based Biofilms for Green Packaging. En *Developments in Sustainable Chemical and Bioprocess Technology*. Springer Science+Business Media. doi:10.1007/978-1-4614-6208-8\_41
- Rantanen, K. (2002). Simplified TRIZ: New Problem-Solving Applications for Engineers and Manufacturing Professionals. St. Lucie Press.
- Rees, H. (2001). Understanding Injection Mold Design. Munich: Hanser.
- Rodríguez, I. (2013). Biomaterial sustituto del poliestireno expandido. Recuperado el Mar de 2022, de <http://saberesciencias.com.mx/2013/09/14/biomaterial-sustituto-del-poliestireno-expandido/>
- Rosales Robles, R. (2004). Período crítico de competencia del polocote (*Helianthus annuus* L.) en sorgo para grano. (C. d. México, Ed.) *Agrociencia*, 39(2), 205-210.
- Sun, S. (2012). Characterization of mechanical behavior of sunflower stem for bio-composite applications, Conference Proceedings of the Society for Experimental Mechanics Series
- Schopf, P. (1996). Alemania Patente nº DE 19610247 A1.
- Seiler, G. (2007). The potential of wild sunflower species for industrial uses. *HELIA*, 29(46), 175-198. Recuperado el 2021, de [http://isasunflower.org/fileadmin/documents/HELIA\\_issues/Helia46/Helia\\_46\\_14\\_pp\\_175-198\\_.pdf](http://isasunflower.org/fileadmin/documents/HELIA_issues/Helia46/Helia_46_14_pp_175-198_.pdf)
- Su, C. (2008). Systematic Improvement in Service Quality through TRIZ Methodology: An Exploratory Study. *Total Quality Management*, 19, 222-243.
- Tecnicarton (2023). La simbología en el embalaje industrial. Obtenido de <https://www.dssmith.com/es/tecnicarton/sobre-tecnicarton/noticias/2020/7/la-simbologia-en-el-embalaje-industrial>.
- The American Chemistry Council and the Canadian Plastics Industry Association. (2014). Impacts of plastics packagings on life cycle consumption and greenhouse gas emissions in the United States and Canada, substitution analysis. Recuperado el Mar de 2022, de <https://plastics.americanchemistry.com/Education-Resources/Publications/Impact-of-Plastics-Packaging.pdf>
- The European Manufacturers of Expanded Polystyrene Packaging. (2012). EPS packaging for electronic devices: Tried and tested, safe, sustainable. Obtenido de [http://www.epsira.com/media/downloads/Fact\\_Sheet\\_LCA\\_TV\\_Packaging\\_Systems.pdf](http://www.epsira.com/media/downloads/Fact_Sheet_LCA_TV_Packaging_Systems.pdf)
- The Freedonia Group. (2011). Green Packaging: US Industry Study with Forecasts for 2014 & 2019. Recuperado el Mar de 2022, de <https://www.freedoniagroup.com/brochure/27xx/2721smwe.pdf>
- The Freedonia Group. (2015). Protective Packaging: Industry Study with Forecasts for 2019 & 2024, Estudio #3356. Recuperado el 15 de Marzo de 2021 de: <https://www.freedoniagroup.com/brochure/33xx/3356smwe.pdf>
- The Plastics Industry Trade Association. (2016). *Industrial Compostability Claims Checklist*. Recuperado el Mar de 2021, de <https://www.plasticsindustry.org/sites/default/files/Industrial%20Compostability%20Claims%20Checklist.pdf>
- Trivium Packaging. (2023) 2023 Buying Green Report. Recuperado el 11 de febrero de 2023 de <https://www.triviumpackaging.com/media/pe5hfxsp/2023buyinggreenreport.pdf>
- Ulrich, K. (2010). Diseño y desarrollo de productos (4 ed.). McGraw-Hill.
- United Nations Environment Program . (2011). Emerging issues in our global environment. *Plastic debris in the ocean, Year book 2011*.
- United States Department of Agriculture. (2008). U.S. Biobased Products: Market Potential and Projections Through 2025. Recuperado el 2021, de <https://www.usda.gov/oce/reports/energy/BiobasedReport2008.pdf>

- United States Environmental Protection Agency. (1998). Demonstration of Packaging Materials alternatives to Expanded Polystyrene. Recuperado el 2021, de <https://nepis.epa.gov/Exe/ZyNET.exe/30003N9A.TXT?ZyActionD=ZyDocument&Client=EPA&Index=1995+Thru+1999&Docs=&Query=&Time=&EndTime=&SearchMethod=1&TocRestrict=n&Toc=&TocEntry=&QField=&QFieldYear=&QFieldMonth=&QFieldDay=&IntQFieldOp=0&ExtQFieldOp=0&XmlQuery=>
- United States Environmental Protection Agency. (2015). Advancing Sustainable Materials Management: Facts and Figures 2013. Obtenido de [https://www.epa.gov/sites/production/files/2015-09/documents/2013\\_advncng\\_smm\\_rpt.pdf](https://www.epa.gov/sites/production/files/2015-09/documents/2013_advncng_smm_rpt.pdf)
- United States Patent and Trademark Office. (2020). <https://www.uspto.gov/sites/default/files/documents/patent-7step-classification.pdf>. Recuperado el Mar de 2022
- Urbina, E. (2017). Quieren darle 'otro chance' al unicef. *Manufactura*. Obtenido de <http://www.manufactura.mx/industria/2017/05/12/quieren-darle-otro-chance-al-unicef>
- Van Eck, (2010). Software survey: VOSviewer, a computer program for bibliometric mapping. *Scientometrics*, 84(2), 523-538.
- Van Eck, (2014). Visualizing bibliometric networks. En R. R. Y. Ding, *Measuring scholarly impact: Methods and practice* (págs. 385-320). Springer.
- Vázquez, A. (2013). Bioplásticos y plásticos biodegradables. Universidad Autónoma Metropolitana. Recuperado el 2021, de [http://biblioteca.anipac.mx/wp-content/uploads/2016/10/0046\\_Bioplasticos\\_Y\\_Plásticos\\_Degradables.pdf](http://biblioteca.anipac.mx/wp-content/uploads/2016/10/0046_Bioplasticos_Y_Plásticos_Degradables.pdf)
- Vibrans, H. (1999). Epianthropochory in Mexican weed communities. *American Journal of botany*, 86(4), 476-481. doi:<https://doi.org/10.2307/2656808>
- Villaseñor, J. (1998). Catálogo de malezas de México. Fondo de Cultura Económica .
- Zavertnik, J. (1914). Utilization of sunflower stalks in paper manufacture. (I. I. Technology, Ed.) Chicago, Illinois: Armour Institute of Technology.
- Zeller, P. (2012). Ecovative's Breakthrough Biomaterials. *Fungi Magazine*, 5(1), 51-56. Obtenido de [https://www.fungimag.com/spring-2012-articles/LR\\_Ecovative.pdf](https://www.fungimag.com/spring-2012-articles/LR_Ecovative.pdf)
- Zenpack (2023). *Decoding 20 Common Green Packaging Symbols*. Obtenido de <https://www.zenpack.us/blog/decoding-20-common-green-packaging-symbols/>
- Zheng, Y. (2005). A review of plastic waste biodegradation. En *Critical Review in Biotechnology*, 25 (págs. 243-250.).