



Universidad Autónoma de Querétaro  
Facultad de Ingeniería  
Maestría en Diseño e Innovación

### TESIS

Desarrollo de un producto elaborado con escamas de pescado como alternativa al uso de materiales plásticos

Que como parte de los requisitos para obtener el grado de

Maestría en Diseño e Innovación

Presenta:

I.D. Dalila Rubicela Cruz Fabián

Dirigido por:

MDI. Anelisse Yerett Oliveri Rivera

### SINODALES

MDI. Anelisse Yerett Oliveri Rivera

Presidente

Dr. Juvenal Rodríguez Reséndiz

Secretario

Dra. Ma. Sandra Hernández López

Vocal

Dr. Juan Fernando García Trejo

Suplente

Dr. Dimas Talavera Velázquez

Suplente

Dr. Manuel Toledano Ayala  
Director de la Facultad

[Firma]  
Firma

[Firma]  
Firma

[Firma]  
Firma

[Firma]  
Firma

[Firma]  
Firma

Dra. Ma. Guadalupe Flavia Loarca Piña  
Directora de Investigación y Posgrado

## RESUMEN

La problemática generada por el uso indiscriminado de plásticos, también llamados polímeros sintéticos y su persistencia en el ambiente, ha impulsado la investigación para el desarrollo de nuevos materiales y métodos de producción que permitan generar productos que presenten las mismas propiedades pero que tengan un periodo de degradación más corto. La siguiente investigación desarrolla un material elaborado con escamas de pescado como una alternativa a la contaminación por plásticos, los cuales se están acumulando en el ambiente de manera irracional. La metodología del proyecto comprende tres fases, en la primera se definieron los parámetros y variables para la transformación de las escamas mediante el diseño de un método experimental factorial: temperatura, presión y tiempo; se elaboraron pastillas de 2.54 cm de diámetro con tres texturas diferentes y se realizaron pruebas de deformación por dureza con un dispositivo analizador de texturas encontrando que, a mayor presión aplicada, el material fue más compacto y obtuvo una textura similar al plástico. En la segunda fase se desarrolló un dispositivo para la transformación con los valores ya determinados obteniendo láminas circulares del material de 25 cm de diámetro, se realizaron pruebas de absorción y densidad con normas estandarizadas de la ASTM y pruebas químicas para conocer su biodegradabilidad y cantidad de elementos tóxicos contenidos. En la tercera fase se utilizaron las láminas obtenidas para elaborar productos con la limitante de no estar en contacto directo con líquidos ni con alimentos debido a la absorción y a los altos índices encontrados de un metal pesado el material. Por lo tanto, se propone utilizarlo en la industria del empaque y embalaje que, además, es la responsable de generar la mayor cantidad de plásticos en México. Se propone elaborar una alternativa al polipropileno el cual es el plástico que se produce en mayores cantidades a nivel mundial. También se presentan alternativas al papel. Se concluyó que elaborar un producto a partir de un desecho de la industria pesquera fue posible utilizando únicamente procesos de transformación físicos, bajo costo energético y ningún tipo de aditivo químico. El utilizar materiales ecológicos no exime del consumismo irracional que debe ir tomando caminos hacia el reuso y el reciclado de materiales para lograr ciclos de vida completos sin contaminar. También se hace especial cuidado en el uso de recursos naturales para evitar su sobreexplotación y su extinción.

**(Palabras clave:** escamas de pescado, desecho, tilapia, materiales, ecológico, polímero)

## SUMMARY

The problem generated by the indiscriminate use of plastics, also called synthetic polymers and their persistence in the environment, has driven research for the development of new materials and production methods that allow generating products that have the same properties but have a period of shorter degradation. The following research develops a material made with fish scales as an alternative to contamination by plastics, which are accumulating in the environment in an irrational manner. The project methodology comprises three phases, the first one defines the parameters and variables for the transformation of the scales by means of the design of a factorial experimental method: temperature, pressure and time; 2.54 cm diameter pellets were made with three different textures and hardness deformation tests were performed with a texture analyzer device finding that, at higher applied pressure, the material is more compact and obtains a texture similar to plastic. In the second phase a device is developed for the transformation with the values already determined by obtaining circular sheets of material of 25 cm in diameter, absorption and density tests were carried out with standardized standards of the ASTM and chemical tests to know its biodegradability and amount of toxic elements contained. In the third phase, the sheets obtained were used to produce products with the limitation of not being in direct contact with liquids or food due to the absorption and the high found indices of a heavy metal material. Therefore, it is proposed to be used in the packaging industry, which also generates the most plastics in Mexico. It is proposed to develop an alternative to polypropylene which is the most produced plastic in the world. Alternatives to paper are also presented. It is concluded that making a product from a waste of the fishing industry is possible using only physical transformation processes, low energy cost and no type of chemical additive. The use of ecological materials does not exempt the irrational consumerism that should be taking paths towards reuse and recycling of materials to achieve complete life cycles without polluting. Special care is also taken in the use of natural resources to avoid overexploitation and their extinction.

**(Key words:** fish scales, waste, tilapia, materials, ecological, polymer)

## DEDICATORIAS

A todos quienes creyeron en el proyecto.  
A mi familia y amigos que aportaron tiempo, ideas y enriquecieron mi vida  
durante el desarrollo de la presente.

## AGRADECIMIENTOS

Se hace un especial agradecimiento al  
Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología (CONACYT)  
por el apoyo brindado durante el desarrollo de la investigación.  
Al Fondo de Proyectos Especiales de Rectoría (FOPER)  
de la Universidad Autónoma de Querétaro (UAQ)  
A mi directora MDI. Anelisse Oliveri,  
a mis asesores Dr. Juvenal Rodríguez, Dra. Ma. Sandra Hernández,  
Dr. Juan García y Dr. Dimas Talavera  
A la Dra. Sandra Mayén y al Ing. Armando Granados de la Facultad de Química  
A los alumnos Dayán Álvarez, Héctor Rodríguez, Óscar Pérez y Ángel Hernández  
Al M.I Geovanny Vergara, al Dr. Edgar Rivas, a la Lic. Adriana Quintanar.  
Quienes fueron parte importante de la presente investigación.

# ÍNDICE

RESUMEN	ii
SUMMARY	iii
AGRADECIMIENTOS	iv
ÍNDICE	vi
ÍNDICE DE FIGURAS	viii
ÍNDICE DE TABLAS	x
I. INTRODUCCIÓN	1
II. ANTECEDENTES	3
2.1 Problemática	3
2.2 Proyectos con materia prima ecológica	7
2.2.1 Materiales compuestos con fibras y desechos de pescado	9
2.2.2 Extracción de colágeno en peces	10
2.2.3 Reciclado de escamas	11
2.2.4 Hidrolización de escamas	11
2.2.5 Compósitos con escamas	11
2.2.6 El plástico de escamas de pescado	12
2.3 Contexto de innovación	13
2.3.1 La Economía circular	13
2.3.2 El ecodiseño	14
2.3.3 La filosofía cradle to cradle	14
2.4 Los plásticos	16
2.4.1 Procesos de transformación de plásticos	17
2.5 Sinterización	19
2.6 Escamas de pescado como materia prima	19
2.7 Productos biodegradables	20
2.8 Políticas y normas ambientales de producción y consumo	21
III. JUSTIFICACIÓN	24
IV. HIPOTESIS	25
4.1 Hipótesis estadística	25
V. OBJETIVOS	26

5.1 General	26
5.2 Específicos	26
VI. METODOLOGÍA	27
6.1 Materiales y recursos	29
6.2 Fase I Definición de parámetros	31
6.2.1 Diseño del experimento	31
6.3 Fase II. Desarrollo del dispositivo y elaboración de láminas	39
6.3.1 Partes del dispositivo	40
6.3.2. Proceso de transformación	42
6.3.3. Pruebas de Absorción de Agua y densidad	43
6.3.5 Análisis Químicos	45
6.4 Fase III. Producto alternativo al plástico convencional	46
VII. RESULTADOS Y DISCUSIÓN	51
7.1 Fase I Definición de parámetros	51
7.2 Fase II Desarrollo del dispositivo y elaboración de láminas	55
7.2.1 Resultados de las pruebas de absorción de agua y densidad	56
7.2.1 Análisis Químicos	60
7.3 Fase III. Producto alternativo al plástico convencional	62
IX. REFERENCIAS	73
APÉNDICE A	78
ANÁLISIS FINANCIERO DE LÁMINAS DE PAPEL ELABORADAS CON ESCAMAS	78

## ÍNDICE DE FIGURAS

<b>Figura</b>		<b>Página</b>
Fig. 2.1.-	Suelo contaminado por vertederos. Fuente: Demos, 2016.	4
Fig. 2.2.-	Mar contaminado por plásticos. Fuente: Powers, 2015.	4
Fig. 2.3.-	Tortuga herida por un popote plastic. Fuente: El universal, 2016	4
Fig. 2.4.-	Plástico utilizado cotidianamente derretido con el calor de los alimentos.	4
Fig. 2.5.-	Comparación entre desechables biodegradables y de unicel. Fuente:Elaboración propia.	5
Fig. 2.6.-	Desarrollo de polímeros, biopolímeros y su producción en millones de ton Fuente: Adaptación, Thompson, 2009.	7
Fig. 2.7.-	Platos Tapari con hojas verdes y secas. Fuente: (Ideas Verdes)	7
Fig. 2.8.-	Productos innovadores Biotrem. Fuente: (www.biotrem.pl)	8
Fig. 2.9.-	Productos elaborados con plantas acuáticas. Fuente: (www.diconexiones.com)	8
Fig. 2.10.-	Porcentaje de colágeno en subproductos. Fuente (Pang et al., 2013)	10
Fig. 2.11.-	Vasos creados por Erik de Laurens. Fuente: (Etherington, 2011)	12
Fig. 2.12.-	Clasificación de los polímeros Fuente: Elaboración Propia.	17
Fig. 6.1.-	Metodología General del Proyecto. Fuente: Elaboración Propia.	28
Fig. 6.2.-	Metodología del Doble Diamante. Fuente: Elaboración Propia.	29
Fig. 6.3.-	Etapas de la fase I. Fuente: Elaboración Propia.	30
Fig. 6.4.-	Recolector de escamas de pescado. Fuente: Fotografía Propia.	30
Fig. 6.5.-	Calcinación de escamas a 200°C. Fuente: Toma Propia.	33
Fig. 6.6.-	Pastilla compactación baja. Etapa I.Fuente: Toma Propia.	33
Fig. 6.7.-	Molino de granos y licuadoras industriales. Fuente: Toma Propia.	34
Fig. 6.8.-	Escamas molidas. Fuente: Toma Propia.	36
Fig. 6.9.-	Máquina montadora. Fuente: Toma Propia.	36
Fig. 6.10.-	Pastilla compactación media. Etapa II. Fuente: Toma Propia.	37
Fig. 6.11.-	Pastilla compactación alta. Etapa III. Fuente: Toma Propia.	38
Fig. 6.12.-	Analizador de Texturas. Fuente: Toma Propia.	38
Fig. 6.13.-	Banda ceramica para la aplicación de la temperatura. Fuente: Toma Propia.	39
Fig. 6.14.-	Ingeniería asistida por computadora del dispositivo transformador	40
Fig. 6.15.-	Maquinado de moldes de aluminio. Fuente: Toma propia.	40
Fig. 6.16.-	Control de la temperatura. Fuente: Toma propia.	41



Fig. 6.17.-	Pastillas de escamas de pescado. Fuente: Toma propia.	41
Fig. 6.18.-	Producción de pastillas de escamas. Fuente: Toma propia.	42
Fig. 6.19.-	Estufa de secado. Fuente: Toma propia.	42
Fig. 6.20.-	Desecador. Fuente: Toma propia.	43
Fig. 6.21.-	Pastillas de escamas de pescado. Fuente: Toma propia.	43
Fig. 6.22.-	Saturación de muestras. Fuente: Toma propia.	44
Fig. 6.23.-	Peso de muestras saturadas. Fuente: Toma propia.	44
Fig. 6.24.-	Segmentación de plásticos por mercado	44
Fig. 6.25.-	Producción mundial de plástico por categoría (%)	44
Fig. 6.26.-	Productos con empaque plástico	48
Fig. 6.27.-	Producto con empaque plástico PP	49
Fig. 6.28.-	Diagrama de funcionamiento de la prensa montadora. Fuente: Toma Propia.	50
Fig. 6.29.-	Diagrama de funcionamiento de la prensa montadora. Fuente: Toma Propia.	50
Fig. 7.1.-	Carga aplicada al las pastillas de baja compactación. Objetivo reducción 5%	52
Fig. 7.2.-	Carga aplicada al las pastillas de compactación media. Objetivo reducción 5%	53
Fig. 7.3.	Carga aplicada al las pastillas de compactación alta. Objetivo reducción 5%	54
Fig. 7.4.-	Dispositivo desarrollado con niveles de calor y presión a través del tiempo	55
Fig. 7.5.-	Prueba de muestras emparejadas escamas	56
Fig. 7.6.-	Prueba de muestras en el horno de secado	57
Fig. 7.7.-	Grafica comparativa de los % de absorción de escamas, unicel, papel	58
Fig. 7.8.-	Grafica comparativa de las densidades de escamas, unicel, papel	58
Fig. 7.9.-	Prueba t de muestras emparejadas escamas/unicel	60
Fig. 7.10.-	Prueba t de muestras emparejadas escamas/papel	60
Fig. 7.11.-	Gráfica del porcentaje de biodegradabilidad	62
Fig. 7.12.-	Producto propuesto elaborado con escamas de pescado	63
Fig. 7.13.	Logotipo propuesto para la empresa SKMA	64
Fig. 7.14.-	Precio del papel batería	65
Fig. 7.15.-	Render del producto de escamas de pescado	65
Fig. 7.16.-	Serigrafía natural con el pigmento de la grana cochinilla	66
Fig. 7.17.-	Producto propuesto elaborado con escamas de pescado	67
Fig. 7.18.-	Etiquetas Tótem, impresas con grana cochinilla	67
Fig. 7.19.-	Intervención pictórica del artista Edgar Trujillo	67
Fig. 8.1.-	Organizaciones y empresas con posibles colaboraciones	71

## ÍNDICE DE TABLAS

<b>Cuadro</b>		<b>Página</b>
Tabla. 6.1.-	Prueba de calcinación y experimento con escamas sin tratamiento	32
Tabla. 6.2.-	Trituración y experimentación	35
Tabla. 6.3.-	Experimentación con espesores	37
Tabla 7.1.-	Valores obtenidos de las pruebas de laboratorio.	51
Tabla. 7.2.-	Porcentajes de absorción y densidad	59
Tabla. 7.3.-	Metales pesados en el material de escamas y su límite permisible en productos	61
Tabla. 7.4.-	Resultados de biodegradabilidad del material de escamas	62
Tabla. 7.5.-	Costos aproximados de una lámina de 25 cm de diámetro	64

## I. INTRODUCCIÓN

El papel de los diseñadores es un factor clave en la creación de objetos con bajo impacto ambiental, ya que son los responsables de concebir los productos de la vida cotidiana. Actualmente existe una infinidad de materiales sintéticos ampliamente usados en la sociedad moderna, como lo son los plásticos, originados a partir de petróleo, un recurso no renovable y agresivo con el ambiente en toda su cadena (Delgado, 2011).

Los materiales plásticos, con una disposición anual de 170 millones de ton a nivel mundial, son un problema medioambiental especialmente con el incremento continuo de su producción y consumo (Kim, Kim, Lee, & Choi, 2006). La descomposición de estos productos tarda más de 500 años en degradarse, comparado con los productos orgánicos que se degradan en 3 o 4 semanas, además la degradación de plásticos genera partículas de plástico más pequeñas muchas de ellas altamente tóxicas, las cuales a pesar de ya no ser evidentes, también se acumulan en los ecosistemas (Segura, Noguez, & Espín, 2007), contaminando el suelo, el aire y el agua, afectando gravemente a todas las especies que los habitan, disminuyendo la calidad de vida de las especies, así como la del ser humano al consumir y desechar irracionalmente productos elaborados con materias primas químicas altamente tóxicas (Nourbakhsh, Ashori, & Kaszemi, 2013).

A partir de estos efectos nocivos de los plásticos, han surgido diversas propuestas que se enfocan en el uso de materiales alternativos, sin embargo, a pesar de las investigaciones y desarrollo de materiales biodegradables, amigables con el medio, éstos no son utilizados con éxito ya que resultan ser muy costosos debido a que la mayoría requiere síntesis químicas para su producción (Nourbakhsh, Ashori, & Kaszemi, 2013).

Es por lo anterior, que actualmente ha surgido una línea de productos ecológicos elaborados con materiales alternativos, tal como los platos "Tapari" (Ideas verdes, 2016), elaborados con hojas de árboles cocidas con fibras vegetales; también Biotrem, una empresa que elabora platos con salvado de trigo y agua mediante presión, calor y vapor de agua (Biotrem, 2016); Zostera Stool que con plantas acuáticas producen un ecomaterial muy parecido al corcho, aplicado al

diseño de objetos cotidianos (Urbina, 2015), entre otros. Además, se han utilizado a nivel laboratorio, semillas de tamarindo, cáscaras de camarón (Isam, 2014), escamas en matrices poliméricas (Sataphathy *et al.*, 2009; Nourbakhs *et al.*, 2013; Borah *et al.*, 2015). Entre muchos otros más, éstos no han sido aplicados a una escala considerable, y con las nuevas políticas ambientales que ya se han implementado en diferentes países del mundo y llegado a México en algunos estados, no se han propuesto alternativas que no alteren ni amenacen la economía de la sociedad ya que las alternativas actuales son muy costosas debido a sus procesos de producción.

En la búsqueda de materiales que pueden ser usados en el diseño y producción de elementos biodegradables de bajo costo, México es el décimo productor mundial de tilapia, contribuyendo con el 1.8% de la producción total mundial (SAGARPA, 2015), desechando más de 2,253 ton de escamas al año. Dichas escamas se pueden utilizar transformándolas con procesos físicos como el calor. Respecto a esto, el principal antecedente es un material diseñado y producido en Reino Unido, por Erick de Laurens, quien obtuvo diferentes objetos artísticos (Etherington, 2011).

El desafío de ese proyecto es encontrar una textura mejorada, poder hacer un registro de los parámetros necesarios para la producción del material y obtener un producto útil a la sociedad.

Por lo anterior el presente proyecto propone utilizar escamas de tilapia, un desecho obtenido de la industria pesquera para aprovecharlas y transformarlas en un producto útil sin requerir síntesis químicas ni altos gastos energéticos que aumenten su costo de producción y que al final de su ciclo de vida pueda degradarse reincorporándose a la naturaleza.

## II. ANTECEDENTES

La nueva tendencia ecológica del diseño basa sus proyectos en el uso de desechos y biomateriales para desarrollar nuevos productos con un ciclo de vida completo, buscando beneficios no solo en el desarrollo ambiental, también en el humano, en la conservación de energía y recursos naturales (Hebel et al., 2014).

El papel de los diseñadores es un factor clave en la creación de proyectos con bajo impacto ambiental ya que son los responsables de conceptualizar el producto y todo su ciclo de vida. Éstas nuevas tendencias han hecho que los diseñadores utilicen materias primas naturales y ecológicas, en muchos casos reutilizan desechos para contribuir a la disminución del deterioro en los ecosistemas.

Actualmente existen diversos proyectos que han desarrollado productos con materiales ecológicos, algunos ya no utilizan síntesis químicas, sin embargo, en muchos de ellos, las síntesis son indispensables lo que aumenta los costos. En su mayoría resuelven parcialmente la problemática generada por el consumo irracional de productos sintéticos, los cuales se están acumulando rápidamente en el planeta, disminuyendo así la calidad de vida de los seres que lo habitamos.

### **2.1 Problemática**

El uso indiscriminado de plásticos sintéticos y su persistencia en el ambiente ha impulsado la investigación para el desarrollo de nuevos materiales y métodos de producción que permitan generar plásticos que presenten las mismas propiedades pero que tengan un periodo de degradación más corto. Debido a su durabilidad y alta resistencia al ataque microbiano los plásticos tienden a acumularse en el ambiente natural causando un daño irreversible (Nourbakhsh et al., 2013) contaminando el suelo (Fig. 2.1), el aire al incinerarlos, los ríos, el mar (Fig. 2.2) incluyendo a todas las especies que en él habitan: invertebrados, tortugas (Fig. 2.3), peces, aves marinas y mamíferos que han ingerido o se han enredado en los desechos plásticos lo que ocasiona movimientos y alimentación alteradas, reduciendo su rendimiento reproductivo, laceraciones, úlceras y la muerte (Laist, 1997; Derraik, 2002; Gregory, 2009 (Gregory, 2009)). Esto impacta directamente en el ser humano, al consumir estas especies contaminadas (See

Teuten et al., 2009) y sobre todo al usar cotidianamente productos plásticos (Fig.2.4) ya que una alta gama de materia prima química utilizada en esta industria es conocida por ser altamente tóxica (Thompson et al., 2009).



Fig. 2.1.- Suelo contaminado por vertederos

Fuente: Demos, 2016.



Fig. 2.2.- Mar contaminado por plásticos

Fuente: Powers, 2015.



Fig.2.3.- Tortuga herida por un popote plástico

Fuente: El universal, 2016



Fig. 2.4.- Plástico utilizado cotidianamente derretido con el calor de los alimentos.

Fuente: Fotografía propia.

Se han encontrado fragmentos de plástico (<5 mm) acumulados de forma considerable en los mares, muchos de origen desconocido pero que probablemente provienen de la degradación de objetos más grandes. En la arena de playas y estuarios son muy abundantes los microfragmentos de acrílico, polipropileno, polietileno, poliamida (nylon), poliéster, polimetacrilato, etc. en una abundancia que va de los 3 a 5 kg/km<sup>2</sup>, hasta los 30 kg/km<sup>2</sup>. Estas cantidades aumentan considerablemente cada año (Segura *et al.*, 2007).

La existencia de residuos plásticos en los mares no sólo representa un problema estético, sino un peligro para los organismos marinos que sufren daños por

ingestión y atragantamiento. Cientos de miles de mamíferos marinos mueren al año por esta causa. En aves se determinó que 82 de 144 especies estudiadas contenían fragmentos de plástico en sus estómagos (Segura *et al.*, 2007). Además, existen en el océano pacífico al menos dos islas de basura más grandes que el estado de Texas, compuestas de más del 90% de plástico, el cual acumula compuestos químicos tóxicos. Organismos marinos planctónicos y animales filtradores ingieren estos plásticos los cuales quedan atrapados en sus tejidos (Segura et al., 2007). Esto amenaza la vida del plancton fotosintético responsable de más del 50% del oxígeno que respiramos.

A pesar de que el problema de la contaminación se ha intentado resolver con la elaboración de productos plásticos biodegradables éstos no son ampliamente utilizados a causa de sus altos costos (Nourbakhsh *et al.*, 2013) debido a las síntesis químicas que requieren en su elaboración; por ejemplo, un plato rectangular desechable es hasta un 500% más costoso que uno elaborado con plásticos convencionales como el unigel (Fig.- 2.5) (Packgreen, 2016).



Fig. 2.5.- Comparación entre desechables biodegradables y de unigel

Fuente: Elaboración propia.

Más de un tercio de la producción actual de plásticos se utiliza para hacer piezas de envases, que son desechados rápidamente, vertiéndose más de ocho millones de toneladas en los océanos cada año (Segura et al., 2007)

Los plásticos sintéticos basados en petróleo, un recurso no renovable, dañinos en el ambiente en toda su cadena, al ser ampliamente usados en la sociedad moderna, con una disposición mundial anual de 170 millones de ton, son un

problema medioambiental significativo por su degradación excesivamente lenta y su toxicidad, especialmente con el incremento continuo de su producción y consumo (Kim et al., 2006). La descomposición de estos productos tarda más de 500 años en degradarse, comparado con los productos orgánicos que se biodegradan en 3 ó 4 semanas y la de telas de algodón en 5 meses. La degradación de plásticos genera partículas de plástico más pequeñas que, a pesar de ya no ser evidentes, también se acumulan en los ecosistemas (Segura et al., 2007).

Si se mantiene la cultura del uso de estos productos y sus índices de consumo siguen en aumento, en el año 2030 se necesitará lo equivalente a dos planetas Tierra para satisfacer las necesidades humanas (Fund, 2010).

El desarrollo sustentable y sostenible del producto es especialmente importante en la industria del diseño, en donde ha sido aceptado rápidamente, pero no al ritmo esperado por diseñadores industriales y arquitectos. La cultura de productos ecológicos ha influenciado a la industria para incorporar los últimos descubrimientos científicos en sus áreas de trabajo, por lo que han comenzado a realizar prácticas de investigación, aplicación tecnológica y diseño, particularmente en la distribución y aprovechamiento de materiales (Peters, 2014).

La diversidad de los materiales adecuados ambientalmente y amigables con la salud humana como los biopolímeros, para la concepción de productos finales es limitada y desde su aparición, no han aumentado su producción comparados con la producción de plásticos que se incrementa con los años suponiendo un avance tecnológico, pero incrementando los daños al medio ambiente (Fig. 2.6). Datos muestran que la demanda mundial por los materiales plásticos, superará los 300 millones de toneladas en el año 2020 (Murali, 2013).



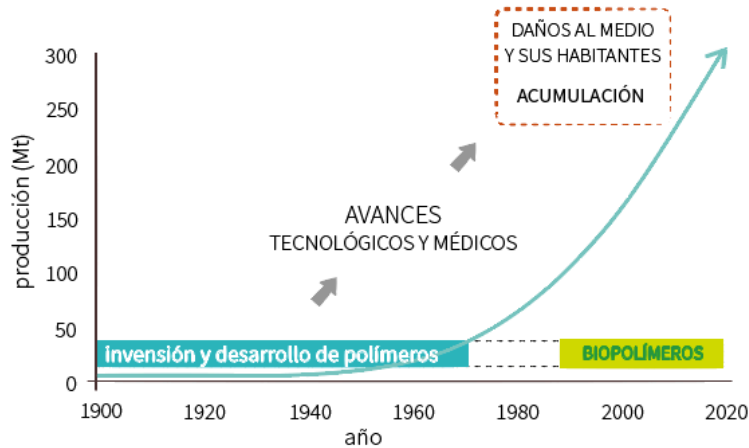


Fig. 2.6.- Desarrollo de polímeros, biopolímeros y su producción en millones de ton

Fuente: Adaptación. Thompson. 2009.

## 2.2 Proyectos con materia prima ecológica

Nepal es un país en contra del consumismo, en contra de comprar, utilizar y tirar, por lo tanto, desarrollaron unos platos desechables elaborados con hojas totalmente biodegradables: Los platos Tapari, que además de ser baratos y totalmente artesanales son respetuosos con el medio ambiente. Las hojas utilizadas pertenecen al árbol Shorea Robusta, las cuales se unen entre sí con fibras vegetales. Se realizan dos tipos de platos y cuencos, con hojas recién colectadas de los árboles y con hojas secas (Fig.2.7) (*Ideas Verdes, 2016*).



Fig. 2.7.- Platos Tapari con hojas verdes y secas

Fuente: (Ideas Verdes)

Por otro lado, Biotrem es una empresa polaca que se dedica a la producción de platos biodegradables elaborados con salvado de trigo y agua mediante máquinas de alta presión, temperatura y vapor de agua. Sus productos son resistentes a altas y bajas temperaturas, además pueden ser utilizados en hornos de microondas (Fig. 2.8) (Biotrem, 2016).



Fig. 2.8.- Productos innovadores Biotrem

Fuente: (www.biotrem.pl)

En otro proyecto, la diseñadora alemana Carolin Pertsch utiliza plantas acuáticas (zosteras marinas) para producir un eco-material “Zostera Stool” muy parecido al corcho aplicado a objetos de diseño cotidianos. En la costa alemana, existe una alfombra de pasto orgánico de miles de toneladas cubriendo las playas, que luego es retirada y llevada a los vertederos, este desecho es la materia prima compactada que con ayuda de una bio-resina producida con aceite vegetal, es aplicado en diversos productos de diseño. Este proyecto tiene como objetivo además de la creación de un nuevo material, el concientizar a la población para pensar en alternativas de materiales para el futuro (Fig. 2.9) (Urbina, 2015).



Fig. 2.9.- Productos elaborados con plantas acuáticas

Fuente: (www.diconexiones.com)

También existe un proyecto de espuma biodegradable con semillas de tamarindo. En el cual, Alfredo Maciel, científico del Instituto de Investigaciones en Materiales, en la Universidad Autónoma de México en colaboración con Abel Humberto Cortés Arce, Maestro en Ciencias e Ingeniería de Materiales, desarrolló una espuma biodegradable la cual podría sustituir al poliestireno expandido (unicel), y que a la intemperie, hongos y bacterias demorarían sólo tres meses en degradarla (Boletín UNAM, 2017). Sin embargo, para el desarrollo utilizan síntesis químicas, lo cual aumenta los costos, y sigue contaminando al ambiente.

En el Instituto Wyss de Harvard, se encontró un método que permite la fabricación en serie de un plástico biodegradable obtenido a partir del quitosano, una forma de la quitina, un compuesto natural que proviene de la concha de los camarones, de otros crustáceos o insectos. Este material ecológico tiene características similares a las de los plásticos convencionales, pero no se acumula en el ambiente, superando asimismo a los bioplásticos gracias a que es totalmente biodegradable, la única desventaja son los altos costos de producción. Cada año se obtienen en el mundo 120,000 toneladas de quitina de los residuos de mariscos, que son utilizadas en la industria farmacéutica, alimenticia o cosmética (Isan, 2014).

### **2.2.1 Materiales compuestos con fibras y desechos de pescado**

En un trabajo de investigación realizado por Nourbakhsh *et al.* (2013) se utilizaron desechos de pescado (70% de proteínas, 7.8% de grasa y 6.6% de humedad), como agente de refuerzo biodegradable para compósitos con matrices poliméricas. En este proyecto, fueron evaluadas las propiedades mecánicas (flexión, tensión, elongación y ensayo de resistencia al choque) de compósitos formados con fibra de cáscara de arroz, fibra de bagazo y desechos de pescado en diferentes porcentajes, de acuerdo a las normas de la American Society for Testing and Materials (ASTM). Se midieron también los índices de biodegradabilidad usando el método de prueba de degradación por suelo. Los resultados mostraron que adicionar desechos de pescado no aumentó las propiedades mecánicas, pero incrementó los índices de degradación comparados con las muestras sin desecho.

### 2.2.2 Extracción de colágeno en peces

En el Instituto Tecnológico Superior de Tierra Blanca (ITSTB) perteneciente al Tecnológico Nacional de México, se trabaja en un proyecto titulado “Propiedades funcionales de extractos proteicos del tipo colagenoso, extraídos de residuos de la industria pesquera” bajo la dirección de Abel Arce Ortiz, estudiante de maestría. Este proyecto propone aprovechar integralmente los recursos pesqueros de su región, y actualmente se trabaja en la caracterización del colágeno extraído de peces para determinar sus propiedades funcionales y canalizarlas para el beneficio de otros productos (Valis, 2017).

En otras investigaciones, el colágeno se ha obtenido principalmente de la piel del pescado, seguido por las aletas y los huesos (Pang, Chang, & Kwan, 2013) las escamas son el subproducto que contiene la menor cantidad de colágeno (Fig. 2.10), por su gran cantidad de minerales y otras proteínas, por lo que se podrían aprovechar de una manera más eficiente en otro tipo de aplicaciones.

#### CANTIDAD DE COLÁGENO EN SUBPRODUCTOS DE LA INDUSTRIA PESQUERA

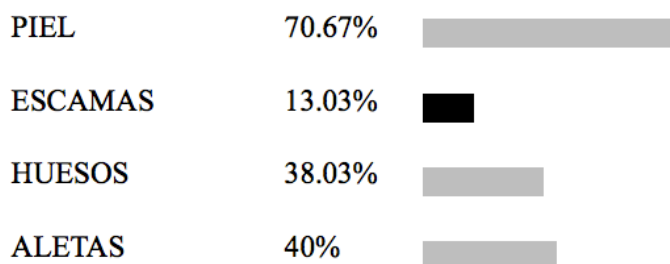


Fig. 2.10.- Porcentaje de colágeno en subproductos

Fuente: (Pang *et al.*, 2013)

En cuanto a los proyectos que han utilizado específicamente escamas de pescado en el desarrollo de productos o investigaciones, se encontraron los que se describen a continuación.

### **2.2.3 Reciclado de escamas**

Estudiantes del Instituto Tecnológico de Lázaro Cárdenas (ITLAC), en Michoacán, buscando disminuir el impacto ambiental utilizando escamas de pescado, consideradas como un desecho, encontraron que los materiales producidos a partir de estos residuos pueden ser útiles en el desarrollo de productos tales como, prótesis de cadera, rellenos dentales, sustituto de Botox para la refinación de la piel, soportes catalizadores, entre otros. Rafael Urbina Lemus, iniciador del proyecto, menciona que empresas de otras ciudades llegan a recolectar estos desechos y propone un centro de acopio y transformación de escamas para su reutilización (Núñez, 2017).

### **2.2.4 Hidrolización de escamas**

En un proyecto realizado por investigadores en la India, se hidrolizaron escamas de pescado (*Lates calcarifer*) bajo condiciones ácidas controladas, el producto neutralizado permitió convertirlas en una lámina de colágeno, sin embargo, se utilizó un agente químico, ácido clorhídrico, para desmineralizarlas. Se concluyó que las escamas de pescado pueden ser utilizadas para elaborar vendas médicas (Sankar *et al.*, 2008).

### **2.2.5 Compósitos con escamas**

En un estudio realizado en la India (Satapathy, Patnaik, & Pradhan, 2009), se desarrolló un compósito elaborado con escamas de pescado (*Labeo rohita*) trituradas como fase de refuerzo en una resina epóxica. Se caracterizó y se analizó su comportamiento en una erosión simulada. Este nuevo material presentó baja porosidad, mejoró la micro-dureza y disminuyó ligeramente la resistencia a la tensión y a la flexión, comparado con una resina sin escamas.

En otro estudio del mismo país, basado en el alto potencial de las fibras naturales para el desarrollo de nuevos materiales, al observar que, de cada kilogramo de pescado producido, se obtenían 76.67 gr de escamas de pescado, se experimentó en el diseño y fabricación de un material reforzado con escamas utilizando como fase matriz una resina polimérica. Se fabricaron compósitos con tres diferentes porcentajes de escamas trituradas, obteniendo resultados

favorables, ya que el uso de la bio-fibra en una matriz de resina fue factible con la técnica del moldeo manual de materiales compuestos. Se fabricó una lámina biodegradable, que presentó una alta variedad de aplicaciones en ingeniería en las que sus propiedades podrían ser explotadas potencialmente (Borah *et al.*, 2016).

### **2.2.6 El plástico de escamas de pescado**

Existe en la literatura un proyecto nombrado “La fiesta del pez”, el cual está basado en la resistencia de adhesión de las proteínas del pescado, tal como se presenta en la vejiga natatoria del esturión cuando se usa como material base obteniendo una goma de pescado de gran calidad como adhesivo (Peters, 2014).

Este material de escamas fue desarrollado en el Royal College of Art, UK en donde el alumno Erick de Laurens, elaboró objetos de escamas de pescado, con fines académicos, sin llegar a desarrollar una tecnología determinada. Diseñó y elaboró vasos, goggles para nadar, lentes (Fig. 2.11). Pintó las escamas con tintes naturales y también las usó como incrustaciones en muebles. Utilizó calor y presión para dar forma a sus piezas sin agentes externos ni materiales adicionales. No se registraron las variables definidas para lograr la compactación, ni se detalló el proceso. El material fue aplicado al arte (Etherington, 2011).



Fig. 2.11.- Vasos creados por Erik de Laurens

Fuente: (Etherington, 2011)

Esta investigación podría jugar un rol importante en la transición de químicos obtenidos a partir de petróleo a químicos basados en bio-materiales: las escamas de pescado se acumulan en grandes cantidades en la industria pesquera y contienen un componente que funciona como una sustancia termoplástica, que permite que fibras y partículas sean capaces de integrarse para formar un componente sólido de construcción (Hebel, *et al.*, 2014). Con base en este último antecedente, se desarrolló un producto elaborado con un material de escamas de pescado.

Lo que todos los proyectos anteriores tienen en común es una causa ambiental, la mayoría funcionando a partir de filosofías o disciplinas que tienen como objetivo el cuidado del entorno, mediante un desarrollo sustentable y sostenible.

## **2.3 Contexto de innovación**

### **2.3.1 La Economía circular**

El actual sistema de producción, consumo y gestión de residuos, está limitando cada vez más los recursos naturales finitos, aumentando los costos de extracción y la disponibilidad de materias primas haciéndolo insostenible a largo plazo. Los principios de la economía circular determinan: 1. Desincentivar la generación de residuos, 2. Crear estímulos económicos para que los materiales mantengan su valor, 3. Propiciar la recirculación de materiales a través del reuso y el reciclaje, 4. Reducir la extracción y uso de materiales vírgenes, 5. Aumentar el aprovechamiento de las capacidades energéticas de los residuos, 6. Evitar que los residuos impacten negativamente la salud humana y el medio ambiente. Y 7. Contribuir al uso sostenible de los recursos materiales utilizados en la producción (Pérez, 2014). Este sistema de producción y consumo, elimina los residuos al aprovecharlos como materia prima en los nuevos ciclos productivos, desvincula el crecimiento económico de la degradación ambiental y minimiza o elimina el uso de sustancias tóxicas en el desarrollo de productos. Los materiales no quedan inutilizados cuando un producto termina su vida útil, al contrario, éstos regresan a las cadenas productivas, se trata de un proceso cíclico o circular en donde los residuos no existen a diferencia del modelo económico actual lineal: extraer-consumir-generar residuos-desechar (Ellen Macarthur Foundation, 2013).

### **2.3.2 El ecodiseño**

Una de las herramientas clave en la economía circular es el ecodiseño el cual permite reducir los distintos impactos ambientales de un determinado producto/servicio a lo largo de todo su ciclo de vida. El eco-diseño reduce costos de producción, el consumo de productos y recursos, optimiza la calidad y aumenta la vida útil de los productos, selecciona recursos más sostenibles o con menor consumo energético, busca la utilización de tecnologías más limpias, y minimiza los costes de manipulación de residuos y desechos y, al mismo tiempo hace frente a la normativa gubernamental y atiende las presiones de los consumidores, entre otros. Por tanto, el eco-diseño permite reducir los distintos impactos ambientales de un determinado producto/servicio a lo largo de todo su ciclo de vida (Balboa y Domínguez, 2014).

### **2.3.3 La filosofía cradle to cradle**

La filosofía Cradle to Cradle representa la aplicación de la economía circular al mundo del diseño y a la producción industrial, plantea las bases de un nuevo paradigma de diseño inteligente basado en el cierre del ciclo de vida de los productos, tal y como ocurre en la naturaleza (McDonough y Braungart, 2003).

El químico alemán Michael Braungart y el arquitecto estadounidense William McDonough desarrollaron esta teoría, que llaman “de la cuna a la cuna” (“cradle to cradle” en inglés), que defiende que es tiempo para los seres humanos de jugar un papel constructivo en la naturaleza y atajar los problemas desde su mismo origen, trabajando para que desde el propio diseño y concepción de cualquier producto se tengan en cuenta todas las fases de su ciclo de vida (extracción, procesamiento, utilización, reutilización, reciclaje, etc.) de manera que el balance de gastos, así como que el aporte de materias primas y energía sea positivo. Proponen productos que, una vez finalizada su vida útil, no se conviertan en basura inútil, sino que puedan ser devueltos al suelo para que se descompongan y se conviertan en alimentos para plantas y animales, y en nutrientes para la tierra; o, en caso contrario, que puedan ser reincorporados a los ciclos industriales para proporcionar materias primas de alta calidad para nuevos productos (Cárdenas, 2016).



Esta filosofía menciona que, para ciertos productos, la durabilidad no es la estrategia óptima pues terminan en la basura o son difícilmente recuperables mediante reciclaje, es prioritario diseñar bienes de consumo de tal manera que la pureza del material se mantenga y sus componentes sean fácilmente regenerados o devueltos a la tierra (McDonough, 2007).

### **2.3.4 Ecoinnovación**

Actualmente es de gran importancia la relación entre el concepto de negocio y medio ambiente, ya que entre las grandes empresas se ha priorizado el desarrollo y uso de tecnologías ambientales para favorecer su puesto en el mercado económico causando el menor daño posible a los ecosistemas.

La ecoinnovación se define como cualquier forma de innovación que representa un avance importante hacia los objetivos del desarrollo sostenible, mediante la reducción de los efectos de los modos de producción en el medio ambiente, el aumento de la resistencia de la naturaleza a las presiones medioambientales o un aprovechamiento más eficiente y responsable de los recursos naturales.

La organización para la Cooperación y el Desarrollo (OCDE) consideró como ecoinnovación a todas aquellas actividades que producen bienes y servicios para medir, prevenir, limitar, minimizar o corregir daños ambientales en materia de agua, aire o contaminación, así como los problemas relacionados con residuos, contaminación acústica y ecosistemas, las cuales incluyan tecnologías más limpias, además de productos y servicios que reduzcan el riesgo ambiental y minimicen la contaminación con eficiencia en el uso de recursos. Todas aquellas empresas que no comiencen a innovar en el cuidado del ambiente, al mismo tiempo que desarrollan negocios, son empresas que pueden ser consideradas obsoletas, porque el usuario final tiende a ser más exigente en cuanto a sus decisiones de compra. Este concepto engloba recuperar materias primas y transformarlas insertándolas en nuevas cadenas de producción para crear nuevos productos con la misma calidad de los productos de primer uso (Gatica, 2016).

## 2.4 Los plásticos

Una vez comprendida la problemática relacionada con el mal uso de los productos plásticos o también llamados polímeros sintéticos, es imperativo entender su naturaleza. Los plásticos son moléculas de cadena larga formadas por muchos monómeros unidos entre sí, son parte de la gran cantidad de polímeros que existen en la actualidad. Muchos polímeros importantes son compuestos de carbono e hidrógeno, en combinación con oxígeno, nitrógeno, flúor o silicio. A veces contienen aditivos como fibras, cargas, pigmentos y otros similares que mejoran aún más sus propiedades. Son materiales que se pueden moldear fácilmente. Los polímeros se pueden dividir en dos clases de acuerdo a la procedencia de la materia prima: naturales y sintéticos (Ecured, 2009) (Fig. 2.11).

Los polímeros sintéticos se comenzaron a utilizar de forma masiva en la década de los ochenta cuando se propuso utilizar menos recursos naturales, sustituyendo las materias primas tradicionales (hierro, cobre, plomo, madera, vidrio, etc.) cuya extracción también requería un alto consumo de energía y materiales, por otras nuevas sustancias (sintéticas, fibras, plásticos, etc.) que al parecer exigían menor cantidad de recursos, sin embargo no se consideró un control específico sobre la cantidad de residuos tanto en la producción como en el consumo, esto provocó que con el tiempo, se acumularan irracionalmente en el planeta debido al tiempo en que se degradan, ya que en su mayoría tardan cientos de años (Carpintero, 2003).

Los plásticos se pueden clasificar a su vez, según la estructura de sus enlaces químicos (Fig. 2.12), en: termoplásticos, elastómeros y termofijos (también conocidos como termoestables). Los termoplásticos son aquellos con un esquema estructural de largas moléculas lineales o ramificadas, unidas entre sí sólo por enlaces secundarios. Los elastómeros se derivan de los termoplásticos, poseen anclajes químicos en sus enlaces primarios entre moléculas, anulando la posibilidad de reprocesar ese material, entre sus principales propiedades se encuentra la posibilidad de cambiar apreciablemente su geometría al someterla a deformación mecánica, recuperando la geometría original al eliminar la tensión. Y los termoestables, poseen una estructura de malla tridimensional con numerosos enlaces secundarios entre segmentos de cadena; presentan propiedades de bajo alargamiento a la rotura e infusibilidad. De acuerdo a esta clasificación, se procesan para darles forma por medio de moldeo, inyección, deformación, entre

otros procesos de transformación de acuerdo a la naturaleza de cada uno (Shackelford, 2007).

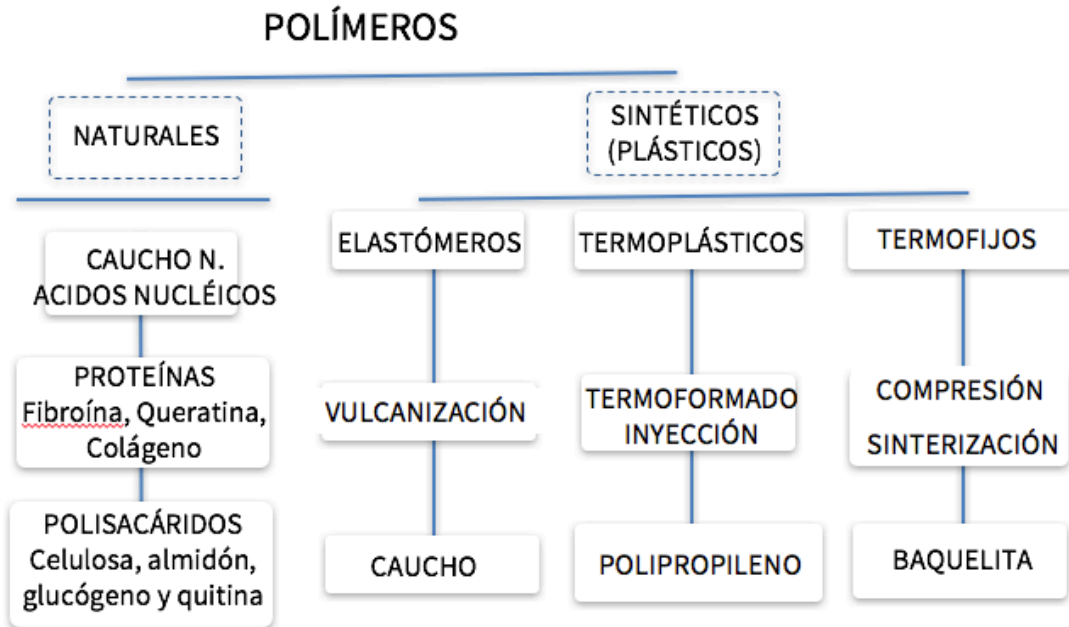


Fig. 2.12.- Clasificación de los polimeros  
Fuente: Elaboración Propia.

### 2.4.1 Procesos de transformación de plásticos

Existen diferentes procesos para transformar plásticos. El proceso empleado depende en cierta medida de su estructura interna. Generalmente los termoplásticos se calientan hasta que se suavizan y luego adquieren una nueva forma mediante moldes, luego se enfrían para conservar su forma; debido a las bajas temperaturas requeridas (generalmente menos de 200°) el proceso de transformación se realiza con rapidez, en tiempos inferiores al minuto (Shackelford, 2004).

Uno de los procesos utilizados con los materiales termoplásticos es el termoformado, en éste, una lámina de plástico calentada normalmente inferior a 200°C, es forzada a adaptarse a los contornos de un molde por medio de presión en tiempos inferiores al minuto. Se puede aplicar presión mecánica con troqueles

coincidentes o se puede usar vacío para que la lámina calentada se acople al interior de un troquel abierto (Shackelford, 2007).

Por otra parte, con los materiales termofijos, que no han sido completamente polimerizados antes de ser procesados para darles forma final, se usa un proceso donde una reacción química entrecruza las cadenas del polímero formando una red de material polimérico adquiriendo una forma permanente. La polimerización final se puede llevar mediante la aplicación de calor y presión o por acción catalítica a temperatura ambiente o a temperaturas más altas (Smith y Hashemi, 2006), un segundo proceso de estos materiales es permitir que la masa líquida del prepolímero sintético se adapte a la geometría deseada y se espera a que la reacción química se complete (Shackelford, 2007).

Para los materiales termofijos, se utilizan procesos como el moldeo por compresión. En este moldeo, la resina plástica que puede estar precalentada, se carga en un molde caliente que tiene una o varias cavidades. La parte superior del molde es presionada hacia abajo sobre la resina plástica y la presión aplicada y el calor funden la resina y fuerzan al plástico licuado a llenar las cavidades. Es necesario continuar con el calentamiento (uno o dos minutos) para completar los enlaces entrecruzados de la resina termoestable y luego se extrae la pieza del molde. Estos plásticos no se ablandan con el calor, presentan una mayor resistencia térmica que el resto de los plásticos, su estructura macroscópica posee gran compactación y rigidez. Su fragilidad es inversamente proporcional a su resistencia térmica. Estos plásticos no son reciclables, ya que durante el proceso de moldeo la reacción interna da lugar a un material muy resistente una vez transformado imposible de fundirse para su reutilización.

Los productos plásticos derivados del petróleo han representado diferentes beneficios para la sociedad y futuros avances tecnológicos y médicos, sin embargo el incremento acelerado de la población y la generación de sus residuos además del aumento en el precio de este recurso no renovable requieren nuevas alternativas y tecnología, entre ellas surge una tendencia en sustituir tales polímeros por materiales biodegradables que provienen de recursos renovables y en algunos casos presentan propiedades similares a los plásticos elaborados a partir de petróleo (Pacheco, 2014).

Este proyecto propone utilizar escamas de pescado para el desarrollo de un producto que pueda sustituir a un producto plástico convencional, que, a diferencia de los productos biodegradables existentes en el mercado, éste no requiera síntesis químicas ni demande mayores cantidades de energía para su transformación.

## **2.5 Sinterización**

Es un proceso por el cual se consigue obtener productos metálicos o cerámicos con formas y propiedades prefijadas a partir del polvo o triturado elemental. Las fases principales que comprende el proceso son: Elaboración de la materia prima (polvos o granos elementales), mezcla de componentes, conformado de la materia prima mediante presión, sinterización de la materia prima mediante presión y temperatura y acabado de las piezas (Cembrero, *et al.*, 2005). La parte técnica del sinterizado se basa en el prensado de polvos en moldes de metal para consolidar la pieza por calentamiento controlado (Machado et al., 2017).

## **2.6 Escamas de pescado como materia prima**

Las escamas son elementos esqueléticos que cubren y protegen la piel de los peces, básicamente son estructuras de colágeno tipo I ( $\text{HO}_2\text{CCH}(\text{NH}_2)\text{CH}_2\text{SH}$ ) compactadas en varias capas reforzadas con una fase mineral llamada Hidroxapatita (Ikoma et al., 2003) (biocristal formado por átomos de calcio, fósforo, e hidrógeno, de acuerdo con la fórmula  $\text{Ca}_{10}(\text{PO}_4)_6(\text{HO})_2$  (García et al., 2006). Las escamas tienen las mismas características encontradas en otras estructuras como huesos, dientes y tendones mineralizados (Troncoso y Torres, 2013). Todos esos materiales están formados por un componente orgánico proteico (colágeno tipo I), un componente mineral (hidroxapatita) y agua (Ikoma et al., 2003). Recientemente se reportó que las escamas de pescado pueden presentar quitina acomplejada con proteínas, colágeno e hidroxapatita (Kumari, Kumar, Abanti, & Kumar, 2017).

La industria procesadora de pescado genera una gran cantidad de desechos que debido a su escasa revalorización, son eliminados, y pueden llegar a ser incluso superiores al 50% del peso total, entre éstos se incluyen los recortes de músculo, piel y aletas, espinas, cabezas, vísceras y escamas, las cuales son

abundantemente disponibles y pueden ser convertidas en productos con alto valor agregado (Alok Satapathy *et al.*, 2009).

México es el décimo productor mundial de tilapia, contribuyendo con el 1.8% de la producción total, lo que equivale a más de 100 mil toneladas al año (SAGARPA, 2015). De acuerdo con investigaciones en criaderos de tilapia de Amazcala de 1 kg. de tilapia nilótica, 22.53 gr. son escamas de pescado (Putzu, 2016), obteniendo como desecho únicamente de tilapia, más de 2,253 ton de escamas al año en nuestro país.

## **2.7 Productos biodegradables**

La ASTM define a un plástico biodegradable como un plástico degradable en el cual la degradación resulta de la acción que ocurre naturalmente de microorganismos como bacterias, hongos y algas (Rudnik, 2008). Un plástico puede ser degradable sin ser biodegradable, puede desintegrarse en piezas o en un polvo invisible pero no ser asimilado por microorganismos. Un plástico puede ser degradable y biodegradable, pero sin ser compostable (Stevens, 2002).

Existen cuatro ambientes de biodegradación para productos plásticos, en función de dónde finalice la vida útil del producto y son: en suelo, agua, vertederos y composta. Cada ambiente contiene diferentes microorganismos y tiene condiciones especiales para la degradación. En el suelo, los hongos son mayormente responsables de la degradación de materia orgánica incluyendo fibras y polímeros (Behjat *et al.*, 2009). Sin embargo, se considera que el compostaje es el medio más favorable, ya que mediante este proceso se consigue valorizar los residuos, obteniendo un compost que puede ser empleado en agricultura, en lugar de simplemente eliminar dichos residuos (Pascual, 2011).

Para garantizar que un producto o un envase es biodegradable o compostable, es necesario realizar ensayos, preferiblemente métodos de prueba estandarizados (Pascual, 2011). Las siguientes pruebas son algunas de las utilizadas para determinar la biodegradación de materiales plásticos, sin embargo, también se puede determinar por demanda de oxígeno para calcular el porcentaje de biodegradabilidad.

ASTM D5988-12 Método de prueba estándar para determinar la biodegradación aeróbica de materiales plásticos en el suelo.

D6340-98 -07 Método de prueba estándar para determinar la biodegradación aeróbica de materiales plásticos radiomarcados en un medio acuoso o compost.

ASTM D6691 - 09 Método de prueba estándar para determinar la biodegradación aeróbica de materiales plásticos en el medio marino por un consorcio microbiano definido o inóculo natural de agua marina.

La producción de plásticos derivados de recursos naturales implica un consumo menor de energía, así como menor emisión de gases tipo invernadero al ambiente. Además, el producir plásticos a partir de biomasa implica la independencia del petróleo (Sprajcar et al., 2012).

Por lo tanto, es de suma importancia que nuevos materiales plásticos sean diseñados pensando en un ciclo de vida completo, tomando en cuenta un método seguro para su disposición final, que después de ser útiles puedan biodegradarse en un proceso de compostaje o bien cumplir con un ciclo de vida completo, todo esto garantiza el desarrollo sostenible de un producto el cual está definido en el Informe Brundtland como aquel desarrollo que satisface las necesidades del presente sin comprometer las necesidades de las generaciones futuras.

## **2.8 Políticas y normas ambientales de producción y consumo**

Una de las tendencias mundiales de los últimos años en materia legislativa y a nivel gubernamental, ha sido la prohibición o normalización de productos plásticos contaminantes.

Existen ya diversas propuestas de ley que impulsan proyectos ecológicos sustentables, en Francia, los productores tienen hasta el año 2020 para asegurarse de que todos los platos vendidos provengan de fuentes biológicas y puedan usarse en la composta, se está adaptando una prohibición no solo a las bolsas plásticas sino a todo tipo de utensilios plásticos; se espera que esto sea un ejemplo para las demás naciones (Collin, 2016).

En cuanto a normas, la UNE- EN- ISO 14001 titulada Sistemas de gestión ambiental. Requisitos con orientación para su uso, demuestra que las actividades productivas una empresa se adecuan a los estándares en cuanto a materia medioambiental promueven la protección del medio natural y previenen cualquier tipo de contaminación.

La norma UNE-EN 13432:2001 de envases y embalajes, determina los requisitos para un compostaje y biodegradación en un tiempo menor a 6 meses. Contiene un programa de ensayo y criterios de evaluación para la aceptación final del envase o embalaje.

En México, derivado del Plan Nacional de Desarrollo 2013-2018, el Gobierno Federal oficializó el Programa Especial de Producción y Consumo Sustentables (PEPyCS) 2014- 2018, que establece las normas para que todos los sectores productivos del país participen en la adopción de actividades que reduzcan la dependencia de los recursos naturales, la generación de emisiones y residuos, e impulsen el reciclaje y el reúso de materiales, haciendo sustentables las cadenas productivas (SEMARNAT, 2014). Para que las políticas nacionales y locales de México se alineen con las nuevas directrices establecidas en los estándares internacionales, así como en el PEPyCS, se requiere realizar cambios estructurales, profundos, en los sistemas que actualmente operan. En todo el mundo, pero sobre todo en el país, es necesario transitar hacia patrones de consumo y producción sostenibles (Pérez, 2017).

Las políticas de prohibición de materiales plásticos comenzaron hace unos años, sin embargo, son poco aplicadas y están implementándose poco a poco en cada uno de los estados del país.

Algunos estados han prohibido el uso de bolsas, popotes y unicel, y pronto será una realidad en todo el país. Ante estas nuevas leyes, no se tienen aún previstos los materiales que se utilizarán como alternativas sustentables. El Estado de Querétaro, al ser el noveno estado a nivel nacional que reporta mayor recolección de residuos sólidos al día, según cifras del INEGI 2014 (El financiero, 2018), requiere una estrategia inmediata debido a las políticas actualmente implementadas. El presidente de la Asociación Nacional de Industrias del Plástico (ANIPAC) declaró que, a largo plazo, prohibir el uso de productos plásticos llevaría al incremento en el consumo de los mismos, un ejemplo es el de las bolsas ya que una encuesta realizada por la Secretaría del Medio Ambiente y Recursos Naturales (SEMARNAT) el 97% de las personas en México utilizan



bolsas plásticas para tirar la basura que generan en sus casas (Alcántara, 2018). Esto lleva a la venta irregular de bolsas plásticas para basura con mayores tamaños y espesores que las utilizadas anteriormente.

Sin alternativas preparadas, se afecta directamente a la economía de la sociedad. Muchas personas que se dedican a vender comida, utilizan productos plásticos convencionales al vender para llevar, muchas veces sus clientes no consideran los recipientes reutilizables y tienen que optar por un desechable. Los desechables amigables con el medio resultan más caros en un porcentaje mayor al 200% que los desechables plásticos contaminantes, todo esto es por las síntesis químicas que requieren en sus etapas de producción.

Este proyecto propone utilizar escamas de pescado para el desarrollo de un producto que pueda sustituir a un producto plástico convencional, que, a diferencia de los productos biodegradables existentes en el mercado, éste no requiera síntesis químicas ni demande mayores cantidades de energía para su transformación.

### III. JUSTIFICACIÓN

El presente proyecto propone transformar, mediante un dispositivo elaborado, un desecho natural de la industria pesquera, en un producto que aporte a la producción de materiales ecológicos, desarrollando un producto sustentable, amigable con el medio ambiente, se intenta así reducir parcialmente la contaminación de los plásticos convencionales.

Con las legislaciones ambientales sobre la prohibición de algunos productos plásticos, implementadas de manera gradual y oficial, no quedan alternativas para la sociedad tanto ambientales, económicas y sobre todo de concientización para adoptar mejores prácticas en beneficio no sólo del planeta sino de los seres que lo habitamos.

Es así que se pretende satisfacer parte del mercado de productos plásticos utilizando materia prima natural, en esta investigación se usan escamas de pescado, debido a su gran similitud con las texturas plásticas y no se contempla aplicar síntesis químicas para no obtener altos costos de producción como la mayoría de los productos biodegradables actuales.

En cuanto a la rentabilidad de la producción, como trabajo futuro se propone que el dispositivo transformador de escamas se implemente en una comunidad pesquera, la cual puede permitir a los habitantes, elaborar sus propios productos útiles, e incluso venderlos, así se recuperaría parte de la inversión para elaborar un nuevo dispositivo y llevarlo a otras comunidades. Por lo tanto, el presente proyecto está determinado como una innovación social, la cual está definida por la Comunicación de la Comisión Europea como aquella innovación que consiste en encontrar nuevas formas de satisfacer las necesidades sociales que no están cubiertas adecuadamente por el mercado o el sector público, o de producir los cambios de comportamiento necesarios para resolver los retos de la sociedad, se capacita a los ciudadanos y se generan nuevas relaciones sociales y nuevos modelos de colaboración.

Se propone utilizar un material de desecho obtenido de una especie marina, transformarlo en un objeto útil sin requerir síntesis químicas ni gastos energéticos altos, y que al final de su ciclo de vida, se reincorpore al ambiente.

## IV. HIPOTESIS

$H_A$ : Es posible sinterizar escamas de pescado mediante la aplicación de temperatura y presión para desarrollar un material con una deformación y absorción de agua que permitan utilizarse en un producto ecológico que promueva una alternativa al uso del plástico convencional, el se acumula en el ambiente y lo contamina.

$H_0$  : Con variables de calor y presión el material no se sinteriza

$H_A$  : Con variables de calor y presión el material se sinteriza

$H_A > H_0$

El sinterizado será determinado mediante los valores de absorción y densidad obtenidos en las muestras.

### 4.1 Hipótesis estadística

$H_{O1}$ : La deformación del material de escamas aumenta o se mantiene a mayor tiempo de sinterización en la aplicación de temperatura y presión.

$H_{O1}$ :  $\mu_1 \geq \mu_2$

$H_{A1}$ : La deformación del material de escamas disminuye a mayor tiempo de sinterización con la aplicación de temperatura y presión.

$H_{A1}$ :  $\mu_1 < \mu_2$

$\mu_1$ : Deformación del material sinterizado por 20 min

$\mu_2$ : Deformación del material sinterizado por 10 min

## V. OBJETIVOS

### 5.1 General

Desarrollar un producto con base en escamas de pescado sinterizadas mediante un dispositivo desarrollado, aplicando diferentes niveles de calor y presión, como alternativa al uso de un producto plástico.

### 5.2 Específicos

1. Determinar las condiciones de pre-transformación y recolección de las escamas de pescado.
2. Desarrollar un dispositivo para la sinterización de escamas de pescado previamente tratadas, que permita la aplicación de distintos niveles de calor y presión definidas mediante un diseño factorial de tres niveles.
3. Elaborar un producto de escamas mediante el proceso de sinterización en el dispositivo desarrollado, que sustituya a un producto plástico contaminante.
4. Validar el producto mediante normas estandarizadas de la ASTM, cuantificando absorción de agua, densidad, biodegradabilidad y toxicidad del mismo.

## VI. METODOLOGÍA

El método utilizado durante la investigación fue cuantitativo, exploratorio y experimental (Hernandez et al., 2006). En un diseño experimental se manipulan de manera intencional variables independientes para analizar las consecuencias de tal manipulación sobre otras variables dependientes.

El proyecto contempla tres fases (Fig. 6.1):

En la primera fase, definición de parámetros, se definen las magnitudes para la transformación de las escamas. Se experimenta con el material. Se identifica una estrategia para la recolección de las escamas. Se realizan pruebas de deformación por dureza en un analizador de texturas.

La segunda fase, desarrollo del dispositivo, comprende la elaboración del dispositivo transformador de escamas, el cual emite temperatura y presión. Se realizaron pruebas mediante un software CAD y CAE para simular si el material soportaba las cargas a aplicar. Durante esta misma fase, se generaron pastillas de 20 cm de diámetro de escamas de pescado y se realizaron pruebas de absorción de agua y densidad con normas de la *American Society for Testing and Materials* (ASTM).

La última fase, producto alternativo al plástico convencional, comprende el diseño, estandarización e identificación de la oportunidad de mercado del producto a elaborar con escamas de pescado. Se hicieron pruebas de etiquetas y empaque como alternativa al plástico convencional y se modeló en 3D una alternativa al papel para obtener un producto estandarizado elaborado con escamas, además se encontraron más aplicaciones al material.

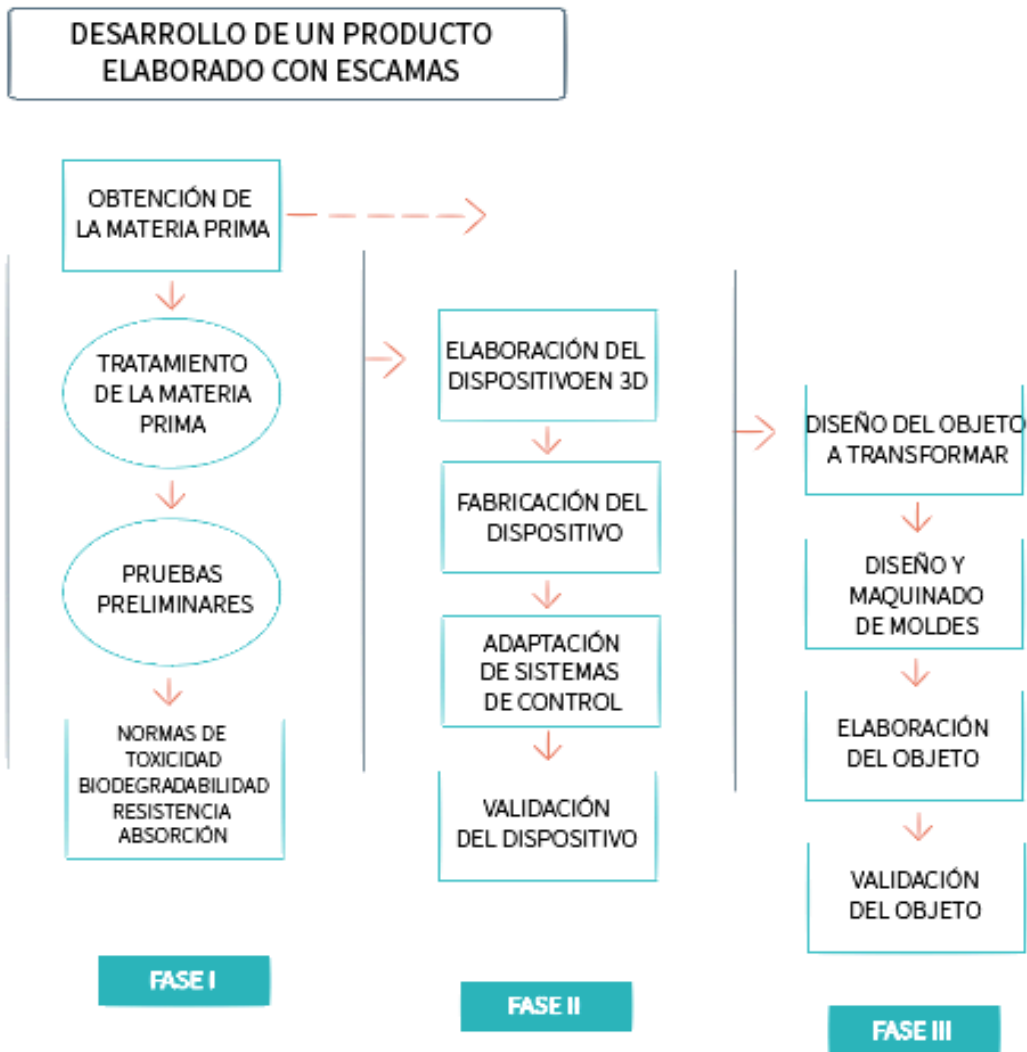


Fig. 6.1.- Metodología General del Proyecto.  
Fuente: Elaboración Propia.

Como base para la concepción creativa, se utilizó la metodología del Doble Diamante (Fig. 6.2).

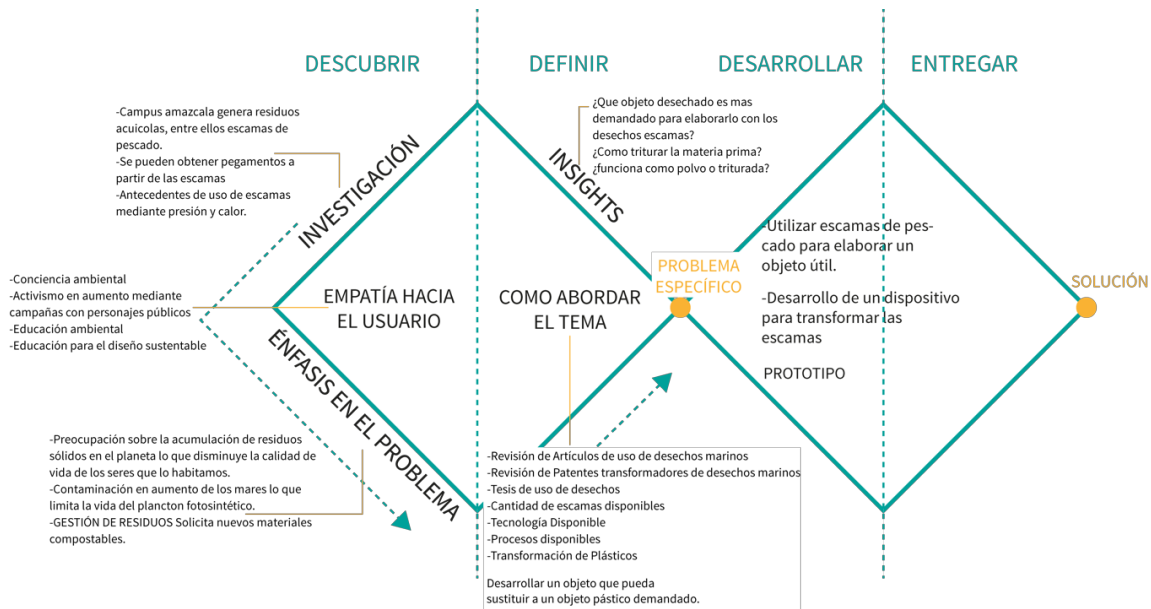


Fig. 6.2.- Metodología del Doble Diamante

Fuente: Elaboración Propia.

## 6.1 Materiales y recursos

Los talleres de manufactura, el Centro de Diseño e Innovación Tecnológica (CEDIT) y el laboratorio de Mecatrónica de la Facultad de Ingeniería, el laboratorio de metalurgia de la Facultad de Química y el de Bioingeniería de la UAQ campus Amazcala, son espacios equipados que se necesitaron para el desarrollo de la investigación. También se contó con un Fondo de Proyectos Especiales de Rectoría (FOPER), para elaborar la máquina que permitió validar el desarrollo y transformación del material, el dispositivo funciona con variables de temperatura y presión basados en una prensa montadora marca Buehler modelo Simplimet II. Para validar las características del material se utilizaron normas estandarizadas de la ASTM de absorción. La validación de la biodegradabilidad y el contenido de elementos tóxicos, se realizó bajo las condiciones de los

laboratorios de la Unidad de Servicios Químicos Analíticos del Centro de Estudios Académicos sobre Contaminación Ambiental (CEACA).

Se recolectó una cantidad considerable de escamas de pescado, desecho de la industria pesquera, recolectadas en el rancho “MOJI”, en la comunidad de San Juan del Río y en los mercados locales de la ciudad de Querétaro (Fig. 6.3).



**Fig. 6.3.- Escamas de pescado**  
Fuente: Fotografía Propia.

Para ello se utilizó una patente disponible ISSN 2013-6714, la cual describe un escamador manual de pescado con características orientadas a impedir que las escamas salgan despedidas sin control cuando se desprenden del pescado por la acción del escamado, y un escamador recolector que cuenta con un espacio para contenerlas (Fig. 6.4).



**Fig. 6.4.- Recolector de escamas de pescado**  
Fuente: Fotografía Propia.



## **6.2 Fase I Definición de parámetros**

Para definir los valores para transformar el material, se diseñaron experimentos factoriales de tipo transversal (Hernandez et al., 2006). Las pruebas preliminares se realizaron en el periodo de Mayo del 2017 a Agosto del 2017, en los laboratorios de la Facultad de Química y se obtuvieron pastillas con diferentes texturas. Incluyendo una textura plástica.

El proceso comenzó con la recolección de escamas. Después se lavaron y se secaron. Se utilizó una porción de escamas sin ningún tratamiento previo, solo lavado y secado. Otra porción se utilizó con un tratamiento de molido con tres dispositivos diferentes para conocer el de mayor rendimiento cantidad/tiempo.

### **6.2.1 Diseño del experimento**

De acuerdo con Montgomery (2006), los factores son un grupo específico de tratamientos (presión, temperatura, tiempo, peso etc.). En un factor cuantitativo sus niveles pueden asociarse con puntos en una escala numérica.

Para la identificación de factores y variables respuesta, la determinación del tratamiento de la materia prima, los valores de presión y los rangos de temperatura se utilizó un experimento factorial y se consideraron 3 etapas.

#### **6.2.1.1 Preliminares**

Para conocer la temperatura de calcinación de las escamas, se sometieron a tres temperaturas diferentes en una mufla F47954 Thermo Scientific Thermolyne (Tabla 6.1).

Tabla 6.1. Prueba de calcinación y experimento con escamas sin tratamiento.

FACTORES	NIVEL	VARIABLE RESPUESTA
<b>Calcinación de escamas</b>		
Temperatura de calcinación.	50°C 100°C 200°C	Escamas calcinadas
<b>Escamas comprimidas</b>		
Presión de la Máquina montadora.	5ksi 7ksi 9ksi	-Def. según dureza
Tiempo a una temperatura constante (140-180°C).	15 min 20 min 30 min	-Carga a objetivo -Resiliencia

La temperatura soportada por las escamas, después del tratamiento térmico fue de 200°C, temperatura en la cual alcanzaron su calcinación (Fig. 6.5).



Fig. 6.5.- Calcinación de escamas a 200°C

Fuente: Fotografía propia.

Esta prueba permitió validarlas para ser probadas en una prensa montadora marca Buehler modelo Simplimet II (Fig.6.6), que funciona bajo los parámetros de la transformación del fenol-formaldehído (Baquelita) utilizando una presión que va del rango 1 a 10 ksi y temperaturas aproximadas a 140°C (Norma Oficial Mexicana DGN-B-79-1977) sin superar los 200°C.



Fig. 6.6.- Máquina montadora

Fuente: (Fotografía propia)

Se sometieron 3gr por pastilla a diferentes presiones en las cuales el material no se compactó. Las pasillas elaboradas sin triturar las escamas no presentaron una compactación al tacto. Se obtuvo su deformación por dureza, su resiliencia y su carga a objetivo con una reducción objetivo del 5% (Fig. 6.7).

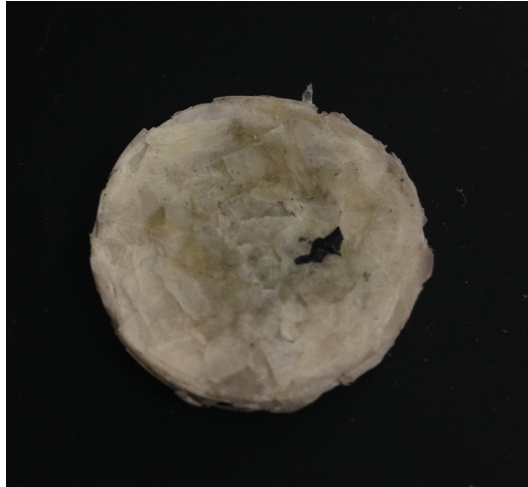


Fig. 6.7.- Pastilla de escamas no trituradas.

Fuente: Fotografía Propia.

### **6.2.1.2 Trituración de la materia prima**

Las escamas se procesaron con tres dispositivos diferentes para obtener un triturado uniforme y un mayor rendimiento. Se utilizó un molino de granos y dos tipos de licuadoras industriales. Se hizo un análisis de rendimiento para seleccionar un dispositivo, esto para conocer si el tiempo de molido es un factor determinante en la textura final del material. Una vez triturado el material, se hicieron pruebas con dos presiones diferentes: siete y nueve kilogramos por pulgada cuadrada (ksi), dos tiempos diferentes (15 y 20 min) y una temperatura constante. Después se sometieron a pruebas para conocer sus deformaciones según su dureza, sus cargas objetivo con un objetivo reducción del 5%, y su resiliencia la cual es indicada como la capacidad de memoria de un material para recuperarse de una deformación (Tabla 6.2).

Tabla 6.2. Trituración y experimentación.

<b>Trituración de la materia prima</b>				
<b>FACTORES</b>	<b>NIVEL</b>		<b>VARIABLE RESPUESTA</b>	
Tipo de triturado	Molino de café Licuadora Industrial Licuadora industrial 2		Rendimiento (Tiempo/cantidad)	
<b>Experimentación con la materia prima triturada</b>				
<b>Factores</b>	Presión	Tiempo	Temperatura	<b>Variables respuesta</b>
<b>Niveles</b>	7ksi	15 min 20 min	150-180°C	-Def. según dureza
	9ksi	15 min 20 min		-Carga a objetivo -Resiliencia

Los equipos utilizados fueron un molino de granos marca Krups 25185 con una capacidad de 85.04 gr, una licuadora industrial marca International modelo LI-3A y una licuadora marca Vitamix MOD1891 (Fig. 6.8).

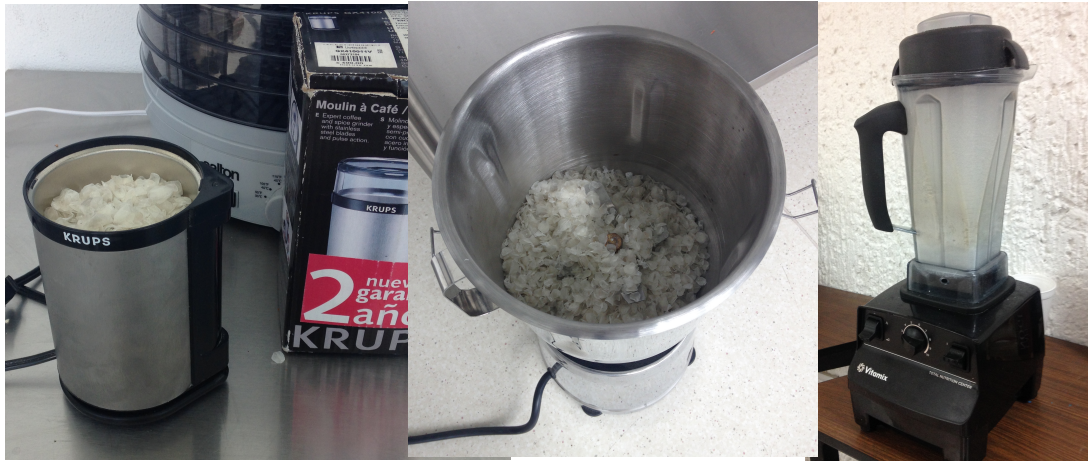


Fig. 6.8.- Molino de granos y licuadoras industriales

Fuente: Fotografía Propia.

El material triturado presentó una textura suave, con partículas heterogéneas entrelazadas, con una similitud al algodón (Fig. 6.9).

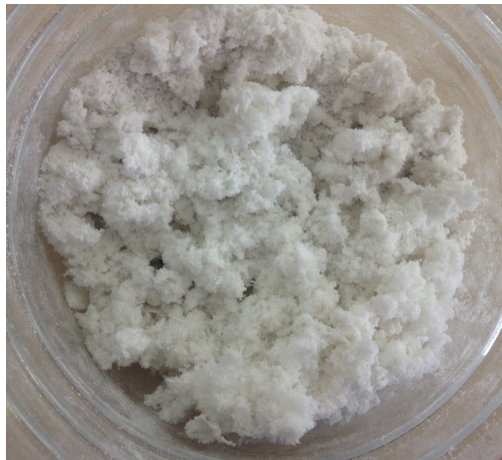


Fig. 6.9.- Material de escamas molido

Fuente: Toma Propia.

Las pastillas obtenidas con el material triturado, de tres cm de diámetro (Fig. 6.10), obtuvieron una textura mucho más lisa al tacto que las anteriores.



Fig. 6.10.- Pastilla elaborada con escamas trituradas

Fuente: Toma Propia.

### 6.2.1.3 Espesor del material

Otro parámetro a experimentar fue el espesor del material. Se colocaron tres cantidades diferentes de escamas: 3, 2 y 1 gr en la prensa montadora para obtener tres espesores diferentes (Tabla 6.3).

Tabla 6.3. Experimentación con espesores.

III. Espesor del material				
FACTORES	Peso	Presión	Tiempo y Temp.	VARIABLES RESPUESTA
Niveles	3 gr	9 ksi	20 min 180°C	-Def. según dureza -Carga a objetivo -Resiliencia
	2 gr			
	1 gr			

En el espesor de 2 y 3 gramos no se observaron diferencias considerables entre sí ya que fueron muy parecidas a las pastillas de la etapa anterior, en cambio en

la pastilla con 1 gr se obtuvo un material con un mayor grado visible de compactación y se logró obtener una significativa sinterización comparada con las pastillas de las demás etapas, la mejora de la textura fue considerable, el material tuvo una similitud considerable con una resina polimérica (Fig. 6.11).



Fig. 6.11.- Pastilla de escamas de pescado sinterizadas, textura plástica.

Fuente: Fotografía Propia.

Para medir la dureza de las pastillas, se analizaron en un dispositivo analizador de texturas marca Brookfield CT3-4500 para obtener los valores de deformación según dureza, carga a objetivo con un objetivo reducción del 5% y resiliencia (Fig. 6.12).



Fig. 6.12.- Analizador de Texturas

Fuente: Fotografía Propia.



### 6.3 Fase II. Desarrollo del dispositivo y elaboración de láminas

Se realizó un análisis del funcionamiento de la máquina prensa montadora marca Buehler modelo Simplimet II (Fig. 6.8), y se desarrolló un dispositivo a mayor escala, utilizando una prensa hidráulica con manómetro. Se montó una resistencia de banda cerámica con moldes de aluminio. Este dispositivo permitió obtener pastillas de mayor tamaño aplicando los valores obtenidos en la fase I.

Este dispositivo escalado se elaboró con base en el análisis de la prensa montadora y su diagrama de funcionamiento (Fig. 6.13). Como resultado se determinaron algunos componentes para la elaboración del dispositivo transformador de escamas.

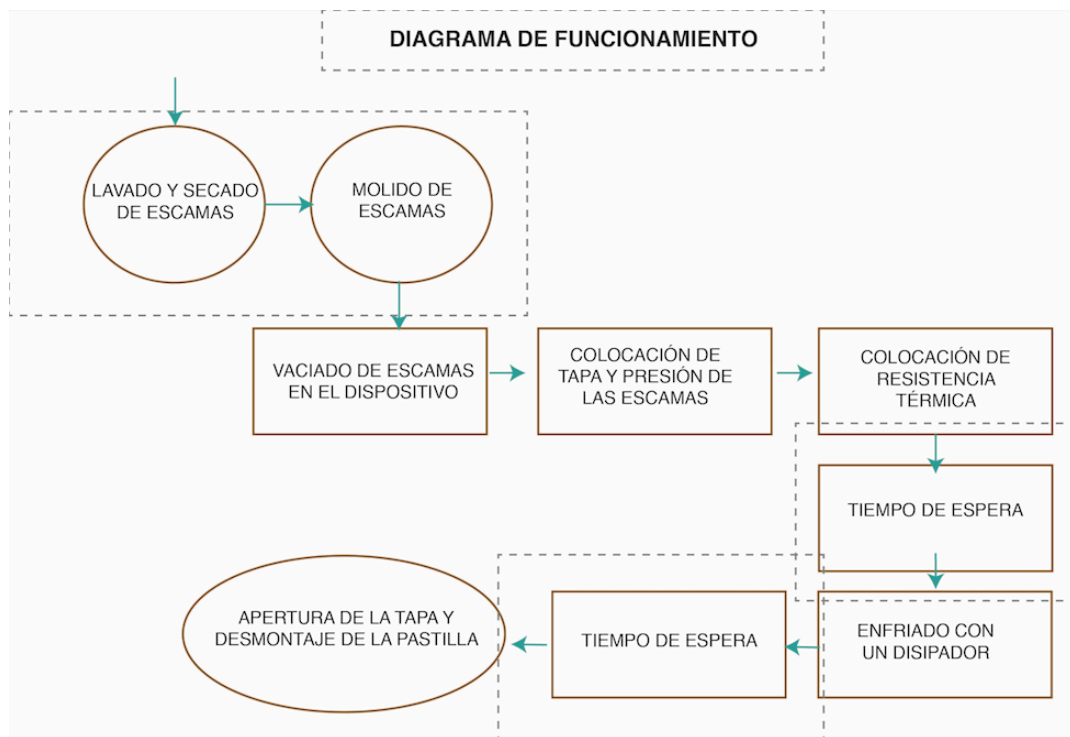


Fig. 6.13.- Diagrama de funcionamiento de la prensa montadora

Fuente: Elaboración Propia.

### 6.3.1 Partes del dispositivo

*Banda cerámica.* Se establecieron las dimensiones de la misma: 25 cm de diámetro para abarcar una mayor área. Incrementando la medida de acuerdo a las limitantes de los requerimientos económicos y técnicos (Fig. 6.14).

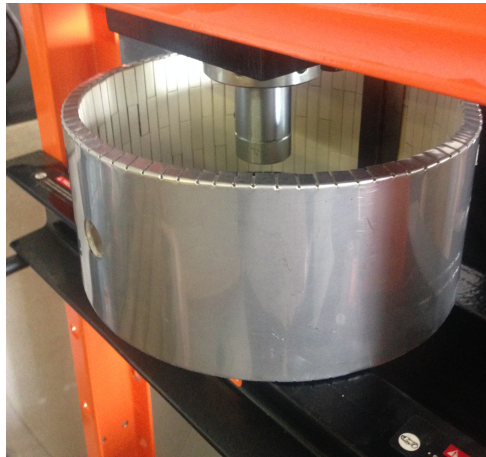


Fig. 6.14.- Banda cerámica para la aplicación de la temperatura

Fuente: Fotografía Propia.

*Moldes del dispositivo.* Se determinó utilizar Aluminio debido a su conductividad térmica, lo que hizo que el calor se disipara con mayor rapidez dentro del molde (Fig. 6.15).



Fig. 6.15.- Maquinado de moldes de aluminio

Fuente: Fotografía Propia

*Prensa Hidráulica.* Para la estructura del dispositivo, se utilizó una prensa marca Truper por cuestiones de financiamiento y disponibilidad.

**Altura del dispositivo.** La altura es adecuada al operario estándar con una medida de mínimo 81-85cm de altura en un área de trabajo (Fonseca, 1991).

**Base de soporte.** Esta base contuvo un sistema de enfriamiento. Después de analizar los pasos a seguir en la prensa montadora, se determinó que existe un problema al enfriar el molde, ya que se utilizan disipadores manuales y se requiere mucho cuidado para que el operario no sufra quemaduras, además con la base y el sistema de enfriamiento se eliminan los lapsos de tiempo de espera en el enfriado.

La base y los moldes del dispositivo se validaron con un análisis de ingeniería asistida por computadora (en el programa Solidworks) para determinar las resistencias y las cargas a soportar (Fig. 6.16).

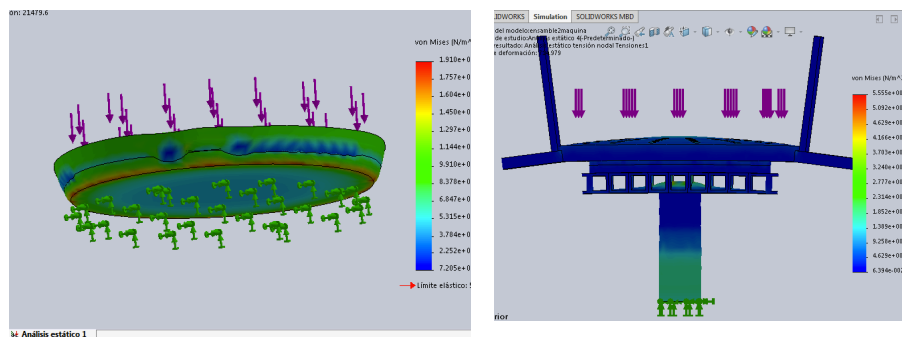


Fig. 6.16.- Ingeniería asistida por computadora del dispositivo transformador de escamas

Fuente: Elaboración Propia.

**Gato Hidráulico.** Se utilizó un gato Hidráulico con un manómetro de 12 toneladas, el cual se instaló en el dispositivo a utilizar.

**Controlador de temperatura.** Se utilizó un controlador de temperatura Autonics TCN4S-24R, el cual se instaló en la prensa estructura del dispositivo (Fig. 6.17).



Fig. 6.17.- Control de la temperatura

Fuente: Fotografía propia.

### 6.3.2. Proceso de transformación

Una vez ensamblado el dispositivo, se procedió a elaborar pastillas de aproximadamente 24 cm de diámetro como máximo (Fig. 6.18), primero se vaciaron las escamas en el molde de aluminio y se aplicaron los parámetros obtenidos en la fase I, se aplicó calor y presión en un tiempo de 20 min. Su proceso de transformación (Fig. 6.19) permitió obtener distintos colores y texturas.



Fig. 6.18.- Pastillas de escamas de pescado

Fuente: Toma propia.



Fig. 6.19.- Producción de pastillas de escamas

Fuente: Fotografía propia.

### 6.3.3. Pruebas de Absorción de Agua y densidad

Las pastillas obtenidas con el dispositivo desarrollado, se evaluaron mediante la norma estandarizada de la American Society of Testing Materials (ASTM): *D570-96 Método de prueba estándar para la absorción de agua en plásticos*, esta prueba fue seleccionada para caracterizar el material y para conocer si era factible utilizarlo en un producto desechable como un plato, y se comparó con un plástico convencional (unicel) y un papel encerado (Fig. 6.20 y 6.21).

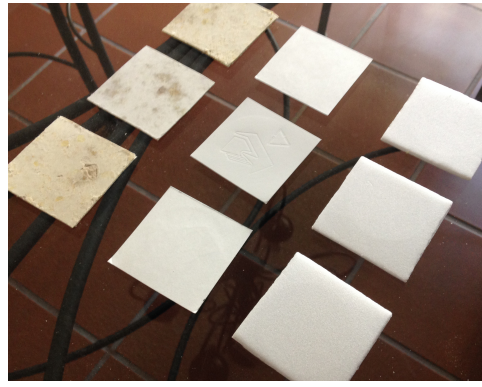


Fig. 6.20.- Horno de secado. Fotografía propia Fig. 6.21.- Horno de secado. Fuente: Fotografía propia.

De acuerdo con la norma, se utilizó un horno de secado marca Riossa, para eliminar cualquier tipo de humedad del material de escamas y del papel, a una temperatura de 110°C. El unicel se secó a una temperatura menor (55°C) debido a su límite inferior de reblandecimiento de 85°C. Los tres materiales por un tiempo de 60 minutos (Fig. 6.22). Después se colocaron en un desecador para enfriarse y no absorber la humedad del ambiente (Fig. 6.23).



Fig. 22.- Horno de secado. Fuente: Fotografía propia.

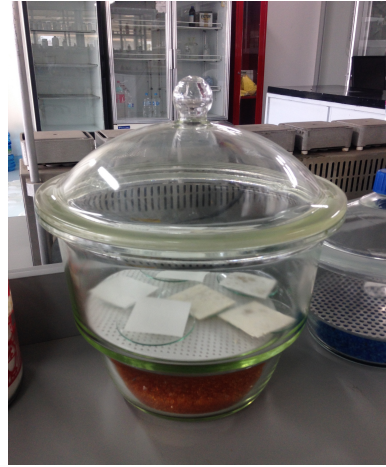


Fig. 23.- Desecador. Fuente: Fotografía propia

Se obtuvo el peso seco de cada muestra en una balanza de precisión marca METTLER TOLEDO. Posteriormente se saturaron en agua destilada durante 120 minutos (Fig. 6.24). Finalmente se pesaron para conocer su peso saturado (Fig. 6.25) y se realizaron los cálculos para conocer los porcentajes de absorción. Se determinaron también sus densidades ( $\text{g}/\text{cm}^3$ ).

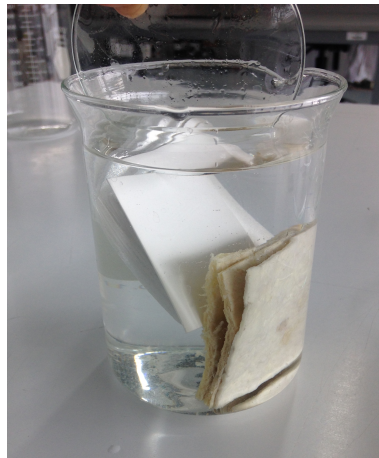


Fig. 24.- Saturación de muestras. Fotografía propia

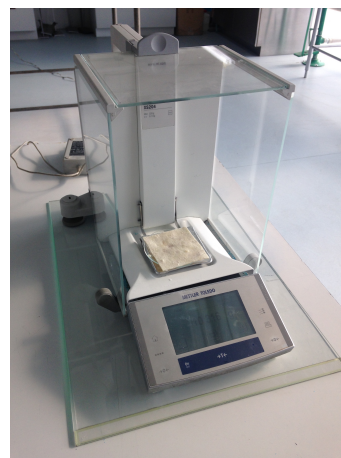


Fig. 25.- Peso de muestras. Fotografía propia

### **6.3.3.1 Análisis estadísticos**

Mediante un software de análisis estadístico, se analizaron los resultados de la prueba ASTM D570-96 con pruebas estadísticas t, con una significancia del 0.05 en el cual se compararon las medias de los porcentajes de absorción de agua y las densidades obtenidas del material de escamas, el plástico convencional (unicel) y el papel encerado, con una muestra de 10 elementos por material.

### **6.3.5 Análisis Químicos**

#### **6.3.5.1 Elementos tóxicos contenidos en el material**

La prueba de determinación de metales pesados fue realizada con el método de espectroscopía de absorción atómica electrotérmica, horno de Grafito (AA-HG), en la Unidad de Servicios Químicos Analíticos del Centro de Estudios Académicos sobre Contaminación Ambiental de la Universidad Autónoma de Querétaro, para conocer si la cantidad de metales pesados: Mercurio (Hg), Plomo (Pb), Cadmio (Cd) y Cromo (Cr) se encontraba dentro del límite permisible para productos en contacto con alimentos. Estos metales presentes en grandes cantidades en el ambiente y en algunos alimentos, son los responsables de diversas intoxicaciones causando daños en la salud humana y animal, como lesiones congénitas, cáncer e incluso la muerte (Londoño, Londoño, & Muñoz, 2016).

#### **6.3.5.2 Pruebas de biodegradabilidad**

Se realizaron las pruebas de biodegradabilidad en la Unidad de Servicios Químicos Analíticos (USQA) del Centro de Estudios Académicos Sobre Contaminación Ambiental, en la Universidad Autónoma de Querétaro en Junio del 2018, durante un periodo extendido de 21 días, determinando la demanda bioquímica de oxígeno (DQO) y la demanda química de oxígeno (DQO) con las que se calculó el porcentaje de Biodegradabilidad de acuerdo a las normas NMX-AA-028-SCFI-2001, NMX-AA-030/1-SCFI-2012 y NMX-AA-21-1985. La técnica analítica utilizada presentó una efectividad del 96.43%.

## **6.4 Fase III. Producto alternativo al plástico convencional**

En esta tercera y última parte de la metodología, se identificó un producto a elaborar con las láminas compuestas de escamas de pescado.

Se realizó un análisis de innovación en una colaboración con estudiantes de Innovación, Mercados y Desarrollo Tecnológico, del Instituto Tecnológico de Monterrey, campus Monterrey, y se determinó, entre otros puntos, que:

-Existe aproximadamente un consumo de 5.3 millones de toneladas de plástico en México, por lo que la industria del plástico mantiene un valor que supera los 23 mil millones de dólares

-La innovación es potenciadora porque permite que se generen otras innovaciones a partir de ella y se agregue a la base de conocimiento existente (Schilling, 2017).

-Las innovaciones potenciadoras no destruyen ni vuelven obsoletos los procesos anteriores, en cambio agregan a la base existente y mejoran. El producto final de esta innovación es algo que no se ha visto en el mercado por lo que se pueden implementar nuevas tecnologías para mejorarlo en cuanto a propiedades. También se puede usar este material para sustituir una gran parte de los productos que actualmente están hechos de plástico. El proceso para conseguir este producto puede generar nuevas innovaciones en los procesos de muchas industrias similares y sus sustitutos amigables con el medio ambiente.

-Industria del Plástico es Cuasi Perfecta, ya que las empresas influyen muy poco en la manipulación de precios y se maximiza el bienestar de todos los competidores (Schilling, 2017). El precio en esta industria se determina por medio de la oferta y la demanda. Según una investigación realizada por el INEGI, la industria del plástico en México cuenta con más de 3000 empresas compitiendo, lo cual demuestra que la industria no es dominada por pocas y grandes empresas. Esto permite que no existan desventajas muy significativas al momento de entrar al mercado por cuestión de competencia de precios.

-La patente se encuentra en proceso para que no sea apropiada para usos lucrativos, sino al contrario, para desarrollarla con el mayor potencial posible y así convertirse en una patente libre que muchos proyectos puedan replicar. Sin embargo, la Universidad no se cierra a la posibilidad de vender el permiso si alguien lo solicita.



-Se pueden tener muchos grupos de interés ya que es una innovación que reemplaza materiales convencionales contaminantes. Muchas organizaciones de reciclaje y de cuidado al medio ambiente pueden estar interesadas y dispuestas a apoyar al desarrollo de la innovación, por ejemplo, el Centro Mexicano de Derecho Ambiental (CEMDA), la Secretaría de Desarrollo Sustentable (SEDESU), entre otros, las cuales pueden impulsar el desarrollo de esta innovación.

-Los productos ecológicos son aquellos que son producidos respetando el medio ambiente (Schilling, 2017). El producto es totalmente ecológico ya que se toma una materia prima considerada como desecho y se transforma solamente mediante un proceso de temperatura y compresión. ECOCERT apoya la certificación de productos ecológicos y los define como los productos que han sido producidos en base a normativas que buscan el cuidado y la protección del medio ambiente

-El producto tiene una producción de bajo costo ya que es barato recolectar las escamas de tilapia, un desecho de la industria del pescado y se transforma con procesos físicos.

-Cambiando factores se pueden obtener diferentes tipos de productos como por ejemplo un material más cercano al cartón. Se recomienda que una vez que los productos estén bien establecidos y exista un reconocimiento de marca se empiece a crear una gama de productos más grande. Con los mismos procesos se puede crear una línea de productos ecológicos y buenos con el medio ambiente que se complementen.

Por otro lado, para la selección del producto a elaborar, además de los análisis toxicológicos, se tomaron como referencia las gráficas de la industria plástica las cuales indican que la industria de empaque y embalaje es la que utiliza más elementos de plástico en México (Fig. 6.26).

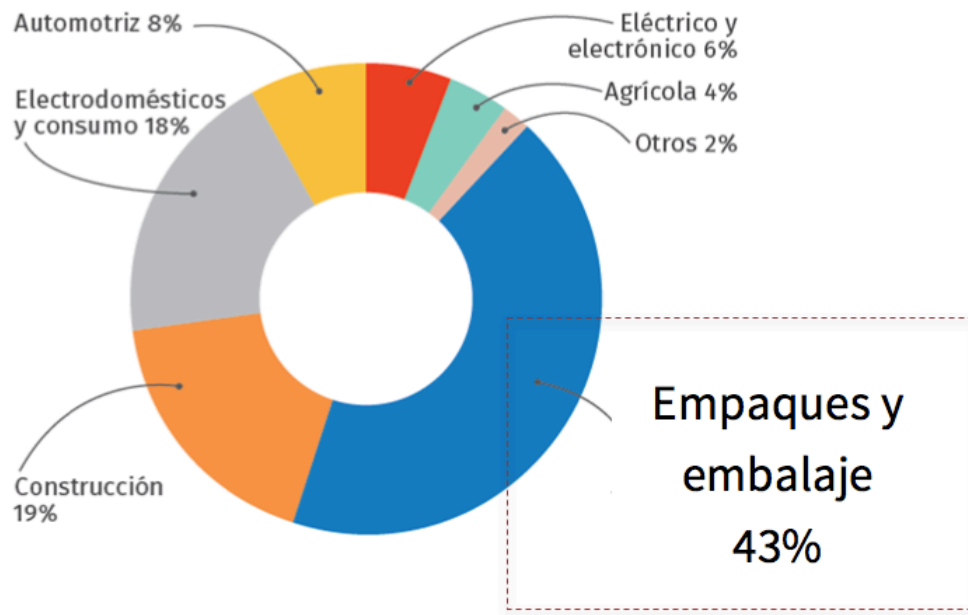


Fig. 6.26.- Segmentación de plásticos por mercado

Fuente: Plastics Technology, 2017.

También se identificó el tipo de plástico más transformado en el mundo y de acuerdo a la Fig. 6.27 es el Polipropileno (PP), un plástico común en objetos de los residuos sólidos domiciliarios ya que con él se fabrican numerosos envases de un solo uso, de alimentos o empaques, en su mayoría superfluos. Este material es muy versátil, con propiedades como peso ligero, alta resistencia al calor, a la rigidez y flexión de retención.

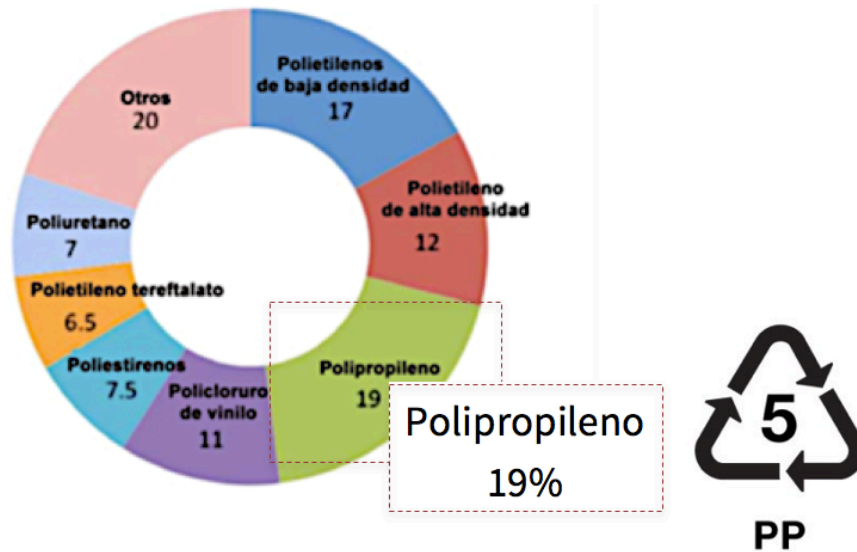


Fig. 6.27.- Producción mundial de plástico por categoría (%)

Fuente: Plastics Europe. The facts, 2013

En la revisión, para ser factiblemente alternativo a un plástico convencional, se determinó un grupo específico de empaque el cual en su mayoría estuviera elaborado con PP y no requiriera contacto directo con líquidos, y son los productos de retail elaborados para contener o sujetar diferentes tipos de productos de uso final. Se pueden encontrar ejemplos en productos de papelería, ferretería (Fig. 6.28 y 6.29 ) entre otros sectores. Es importante resaltar que las etiquetas en productos de alta gama, son otro ejemplo el cual puede ser sustituido, ya que hoy en día el reconocimiento de marca es una parte importante para el éxito de las empresas y si se integran elementos sustentables como el uso de materiales ecológicos beneficiando su responsabilidad ambiental, éstas pueden ser parte de la recién conceptualizada ecoinnovación.



Fig. 6.28.- Productos con empaque plástico

Fuente: Fotografía propia



Fig. 6.29.- Producto con empaque plástico PP

Fuente: Fotografía propia

## VII. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

### 7.1 Fase I Definición de parámetros

La temperatura de calcinación para las escamas de pescado fue de 200°C. Lo que permitió poder someterlas a pruebas en la máquina prensa montadora.

El dispositivo seleccionado para la trituración de las escamas, después de utilizar tres equipos diferentes, fue la licuadora industrial marca Vitamix MOD1891 con un tiempo de 4 min, ya que con esos parámetros se obtenía un mayor rendimiento cantidad/tiempo, comparado con los otros dos dispositivos en donde la cantidad de escamas molidas en el mismo tiempo era menor. Se obtuvieron aproximadamente 500 gr en un tiempo de 30 min. Lo que se puede optimizar en trabajos posteriores.

Se identificaron los valores de presión, los rangos de temperatura y el tiempo requeridos para la transformación y los resultados fueron 9ksi y 140-180°C por 15 minutos (Tabla 7.1. Con estos valores se obtuvo una pastilla de mayor calidad en la compactación y textura, con una menor deformación a la dureza.

Tabla 7.1. Valores obtenidos de las pruebas de laboratorio.

VARIABLE	VALOR
Temperatura	150-180°C
Tiempo	20min
Presión	9ksi
Peso	1gr

Para comprobar la menor deformación a la dureza, se utilizó un texturómetro donde se obtuvieron las variables respuesta con una carga aplicada de 14 N por

un tiempo aproximado de 125 s. Se obtuvieron gráficas en donde se puede comprobar que, en la primera pastilla elaborada con escamas sin triturar, se obtuvo una deformación según dureza de 0.30 mm, una carga a objetivo de 12.74 N y una resiliencia de 1.05, se deduce que la poca compactación de la pastilla hizo que la carga aplicada fuera mayor a comparación de las pastillas con escamas trituradas. Las partículas de la primera muestra de pastillas obtuvieron una menor cohesión al comprimirlas (Fig. 7.1).

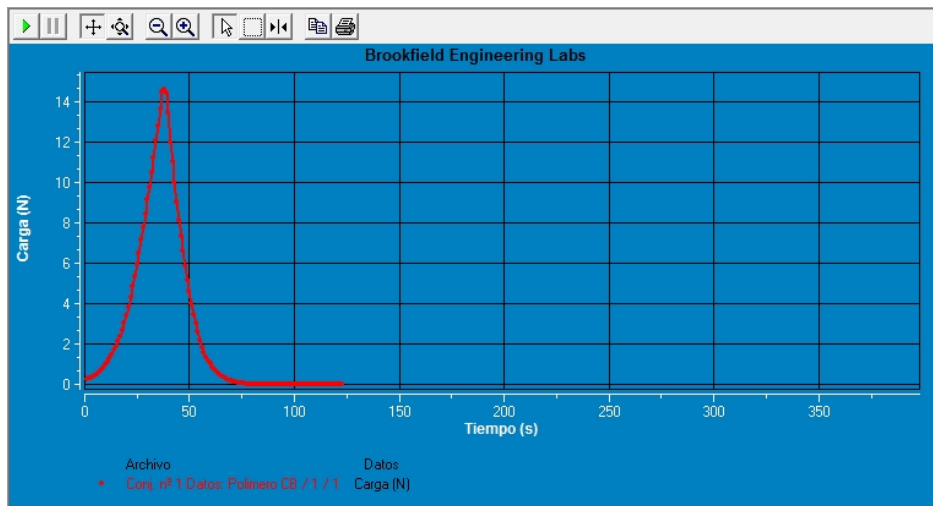


Fig. 7.1.- Carga aplicada a las pastillas sin trituración. Objetivo reducción 5%

Fuente: Analizador de texturas

Las pastillas obtenidas con la materia prima triturada, presentaron una gráfica en donde se observa que se requiere una mayor carga para su deformación, la carga total aplicada fue de 12N en un tiempo aproximado de 150s, la carga fue menor ya que para la deformación del 5% en esta pastilla más compacta se necesitaba menos esfuerzo. Los valores obtenidos fueron: una deformación según dureza de .20 mm, una carga a objetivo de 8.02 N y una resiliencia de 0.82 (Fig. 7.2).

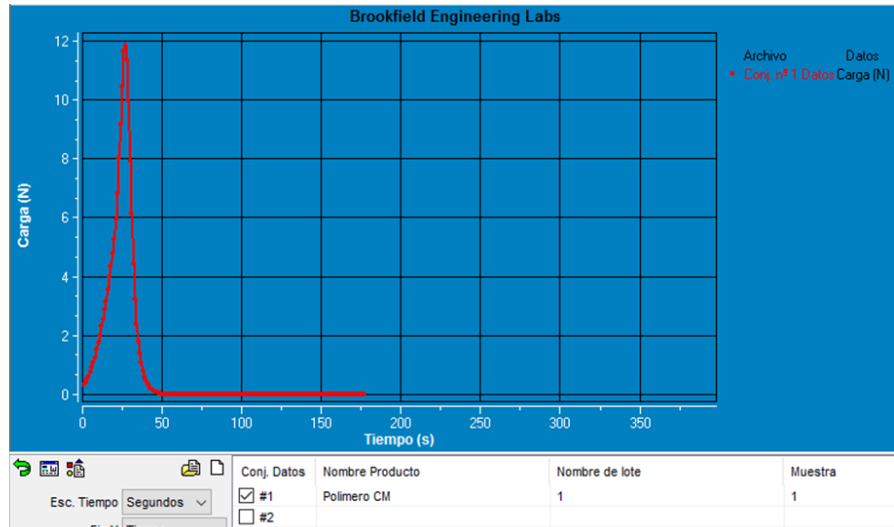


Fig. 7.2.- Carga aplicada a las pastillas de compactación media. Objetivo reducción 5%

Fuente: Analizador de texturas

Las pastillas con menor grosor, mostraron físicamente una mayor compactación, requirieron una fuerza menor para la medición de su textura, se aplicaron aproximadamente 4 N en un tiempo aproximado de 100 s. (Fig. 7.3), con un sinterizado notable, las pastillas presentaron los siguientes datos: una deformación según dureza de 0.11 mm, una carga a objetivo de 3.25 N y una resiliencia de 0.60

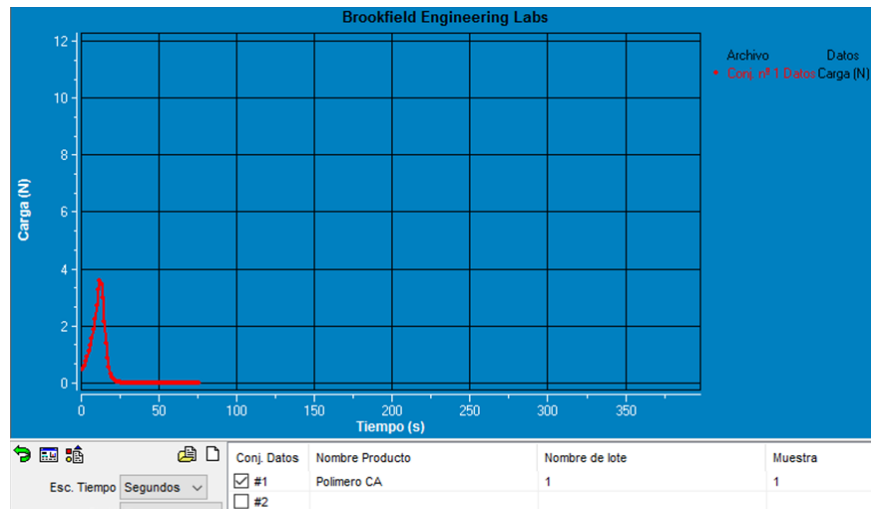


Fig. 7.3.- Carga aplicada a las pastillas de compactación alta. Objetivo reducción 5%

Fuente: Analizador de texturas

En la gráfica final, se deduce que a mayor presión y tiempo aplicados para la generación de la pastilla, se obtuvo una menor deformación por dureza, menor resiliencia y se requirió una menor carga para deformarla un 5% de su total (Fig.7.4 ).

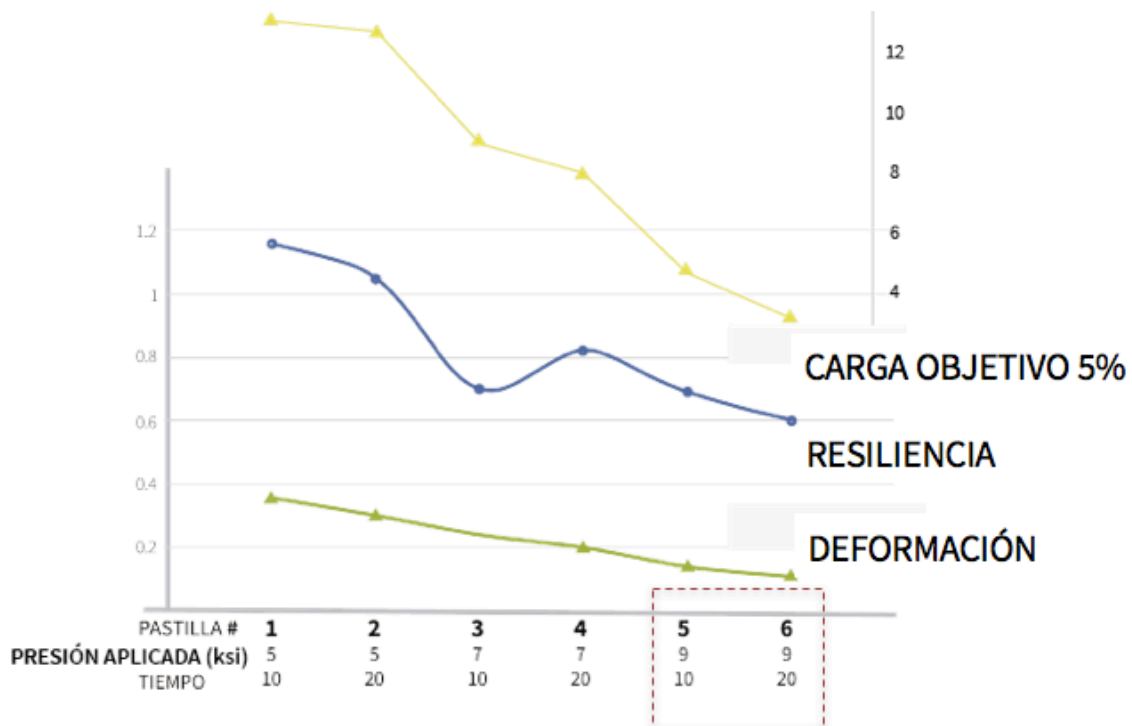


Fig. 7.4.- Gráfica de los resultados del analizador de texturas

Fuente: Analizador de texturas

Se observó que un mayor tiempo de temperatura permitió un grado de sinterización mayor. La resiliencia indicó la capacidad de retornar a su estado original después de una deformación, obteniendo así que la pastilla más delgada tuvo un menor valor debido a su dureza. Las cargas aplicadas fueron menores en la última pastilla ya que su dureza impide la aplicación de mayor fuerza con un parámetro de reducción del 5%, lo que indica que su grado de sinterización y por tanto cohesión de sus partículas alcanzó los valores más bajos de deformación.

Se demuestra así en la primera fase que es posible transformar escamas de pescado para desarrollar un material que promueva una alternativa al uso del



plástico. Se obtuvo un material con alto grado de dureza, y se comprueba así, su sinterización.

Las escamas de pescado fueron utilizadas sin ningún tipo de aditivos ni síntesis químicas, demostrando así que es posible sinterizar escamas de pescado para desarrollar un material que promueva una alternativa al uso del plástico convencional permeable, obteniendo como resultado un aumento cada vez mayor en los valores de dureza. Por lo tanto, se tuvo un material con condiciones de sinterización adecuadas para un producto final.

## **7.2 Fase II Desarrollo del dispositivo y elaboración de láminas**

Con el dispositivo desarrollado después de seleccionar los componentes de mercado descritos en el apartado 6.3.1 para escalar la prensa montadora y así generar una pastilla de escamas de mayores dimensiones, se elaboraron láminas de escamas con un diámetro aproximado de 25 cm (Fig. 7.5). Éstas se elaboraron con una adaptación de los parámetros establecidas en la Fase I.



**Fig. 7.5.- Dispositivo desarrollado con niveles de calor y presión y regulación de tiempo**

Fuente: Fotografía propia

El funcionamiento del dispositivo comienza con la colocación de material triturado de escamas de pescado en los moldes de aluminio, después, se selecciona la temperatura y el tiempo a comprimir, posteriormente se comprime con ayuda del compresor hidráulico del dispositivo. Se espera el tiempo establecido y se procede a retirar la lámina de escamas del molde de aluminio. Para esto, se

utiliza una presión aproximada de 9ksi, una temperatura de 200°C para una mayor compactación, y un tiempo de 20 min.

Las láminas obtenidas presentaron diferentes tonos en su color y en su conformación, dependiendo del tiempo y la cantidad de escamas utilizadas, a mayor tiempo de compresión, se tornaban más amarillas, y a menor se obtenían láminas de color blanco (Fig.7.6).



Fig. 7.6.- Diferencias en el color de las láminas de escamas. Fotografía propia

### **7.2.1 Resultados de las pruebas de absorción de agua y densidad**

Estas pastillas se sometieron a la prueba ASTM *D570-96* para determinar sus propiedades de absorción de agua en porcentaje y su densidad. Se compararon con láminas de un plástico convencional (unicel) y un papel encerado. Los resultados mostraron que el material elaborado con escamas posee altos índices de absorción de agua (150%) comparado con el papel encerado (90%) y el unicel (50%), se hace una comparación gráfica en donde se observa una estabilidad menor en la absorción del material de escamas, lo que sugiere una mayor compresión entre sus partículas (Fig.7.7). Además, la porosidad en el material requerirá de un elemento que lo haga impermeable para poder alcanzar los valores requeridos y ser una alternativa viable al plástico. El material, por lo tanto, puede funcionar como alternativa a productos plásticos que no requieran el contacto con líquidos.

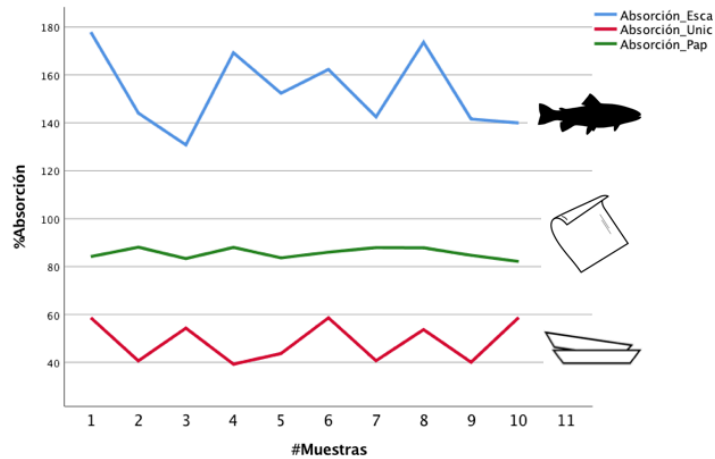


Fig. 7.7.- Gráfica del porcentaje de absorción de agua en muestras del material de escamas, papel y unicel.

Fuente: (Software Spss)

Por otro lado, la gráfica de la densidad muestra un comportamiento similar a la absorción posee una mayor densidad comparada con los otros dos materiales, es decir, se encuentra una mayor cantidad de masa en el material de escamas en un mismo volumen. Existe por lo tanto una mayor cohesión entre las partículas del material elaborado con escamas de pescado, demostrando así su sinterización (Fig. 7.8).

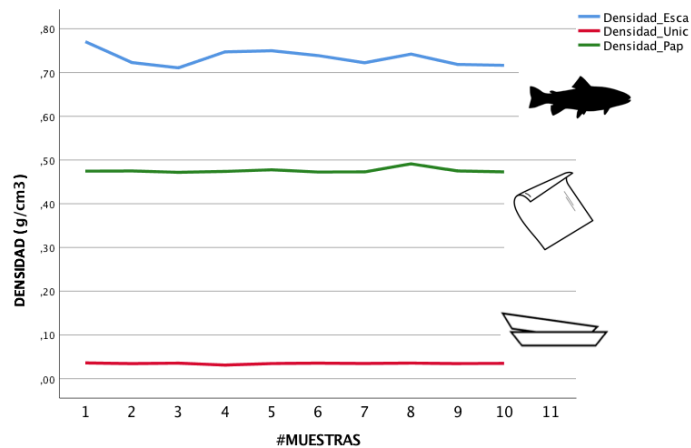


Fig. 7.8- Gráfica de la densidad del material de escamas, papel y unicel.

Los valores numéricos muestran el promedio de las nueve muestras seleccionadas para realizar la prueba de absorción. El material elaborado con escamas posee mayores índices de absorción de agua y densidad comparado con el papel encerado y el unigel (Tabla 7.2).

Tabla 7.2. Porcentajes de absorción y densidad

MATERIAL	ABSORCIÓN DE AGUA (%)	DENSIDAD
ESCAMAS DE PESCADO	153.43	0.73
PAPEL ENCERADO	85.21	0.47
POLIESTIRENO EXPANDIDO	48.85	0.05

Por lo tanto, la absorción y la densidad presentadas en el material de escamas de pescado no permite que se utilice como alternativa de plásticos contenedores de líquidos, sin embargo, hay una extensa gama de productos plásticos que no requieren el contacto con líquidos.

### 7.2.1.1 Análisis estadísticos

Para sustentar los resultados anteriores, se hicieron pruebas estadísticas t de muestras emparejadas con el programa IBM SPSS, para comprobar si las medias de los valores de absorción y densidad del material escamas/unigel y escamas/papel eran estadísticamente diferentes con una hipótesis Nula que determina que la densidad y absorción de los tres materiales son iguales. Al comparar las medias se observó si había correlación entre el material obtenido y los dos materiales convencionales. En base a los resultados de la prueba t entre la absorción y la densidad de las escamas/unigel, se rechaza la hipótesis nula que enuncia que las medias entre las escamas y el unigel son iguales, es decir, no se puede sustituir el material del unigel por las escamas pues el *p value* es menor a 0.05. La desviación estándar entre la absorción de las escamas y la del unigel es de 16.56% con un límite inferior de 92.72 y un límite superior de 116. Respecto a la densidad se obtuvo una desviación estándar de 0.01 g/cm<sup>3</sup> con un límite inferior de 0.68 y límite superior de 0.71, la prueba estadística muestra que hay

una diferencia significativa entre la densidad del unigel y la de las escamas (Fig. 7.9). En cuanto a la relación escamas/papel, el *p value* es menor a 0.05, se rechaza la hipótesis nula ya que las medias son diferentes, en absorción se tiene 15.63 % y en densidad 0.01 g/cm<sup>3</sup> (Fig. 7.10). Tanto el unigel como el papel, poseen una mayor diferencia con el papel de escamas en los valores de absorción comparados con los valores de densidad. Las escamas de pescado para poder sustituir unigel o papel encerado, deberían ser útiles en productos sólidos, ya que en líquidos la absorción no lo permitiría.

➔ **Prueba T**

**Estadísticas de muestras emparejadas**

		Media	N	Dev. Desviación	Dev. Error promedio
Par 1	Absorción_Esca	153,433449	10	16,2510487	5,1390328
	Absorción_Unic	48,858763	10	8,6316194	2,7295577
Par 2	Densidad_Esca	,733922	10	,0188441	,0059590
	Densidad_Unic	,034698	10	,0013607	,0004303

**Correlaciones de muestras emparejadas**

		N	Correlación	Sig.
Par 1	Absorción_Esca & Absorción_Unic	10	,229	,524
Par 2	Densidad_Esca & Densidad_Unic	10	-,047	,897

**Prueba de muestras emparejadas**

		Diferencias emparejadas							
		Media	Dev. Desviación	Dev. Error promedio	95% de intervalo de confianza de la diferencia		t	gl	Sig. (bilateral)
					Inferior	Superior			
Par 1	Absorción_Esca - Absorción_Unic	104,574686	16,5608732	5,2370079	92,7277507	116,421621	19,968	9	,000
Par 2	Densidad_Esca - Densidad_Unic	,6992233	,0189574	,0059948	,6856620	,7127846	116,637	9	,000

Fig. 7.9.- Prueba t de muestras emparejadas escamas/unigel

Fuente: (Software Spps)

➔ Prueba T

**Estadísticas de muestras emparejadas**

		Media	N	Desv. Desviación	Desv. Error promedio
Par 1	Absorción_Esca	153,433449	10	16,2510487	5,1390328
	Absorción_Pap	85,599668	10	2,2790734	,7207063
Par 2	Densidad_Esca	,733922	10	,0188441	,0059590
	Densidad_Pap	,475719	10	,0056928	,0018002

**Correlaciones de muestras emparejadas**

		N	Correlación	Sig.
Par 1	Absorción_Esca & Absorción_Pap	10	,344	,331
Par 2	Densidad_Esca & Densidad_Pap	10	,277	,439

**Prueba de muestras emparejadas**

		Media	Desv. Desviación	Desv. Error promedio	95% de intervalo de confianza de la diferencia		t	gl	Sig. (bilateral)
					Inferior	Superior			
Par 1	Absorción_Esca - Absorción_Pap	67,8337807	15,6154411	4,9380361	56,6631671	79,0043943	13,737	9	,000
Par 2	Densidad_Esca - Densidad_Pap	,2582028	,0181155	,0057286	,2452438	,2711619	45,072	9	,000

Fig. 7.10.- Prueba t de muestras emparejadas escamas/papel

Fuente: (Software Spps)

## 7.2.1 Análisis Químicos

### 7.2.1.1 Resultados de las pruebas de elementos pesados

Las concentraciones obtenidas de Mercurio y Cromo en el material de escamas de pescado superaron el límite permitido en productos alimenticios, mientras que las concentraciones de Plomo, Cadmio y Arsénico están dentro del límite permisible según las normas especificadas (Tabla 7.3).

Tabla 7.3. Metales pesados en el material de escamas y su límite permisible en productos alimenticios.

METAL	CONCENTRACIÓN mg/kg	LÍMITE PERMISIBLE mg/kg	NORMA
Mercurio (Hg)	1.63	1	NOM-028-SSA1-1993
Cromo (Cr)	1.63	0.1	NORMA EUROPEA 2014
Plomo (Pb)	0.15	0.5	NOM-242-SSA1-2009

Cadmio (Cd)	0.017	0.5	NOM-242-SSA1-2009
Arsénico (Ar)	13.33	80	NOM-242-SSA1-2009

En el Reglamento No. 10/2011 de la comisión sobre materiales y objetos plásticos destinados a entrar en contacto con alimentos, perteneciente al Diario Oficial de la Unión Europea, en el artículo 11: Límites de migración específica, se menciona que los materiales y objetos plásticos no cederán sus constituyentes a los alimentos en cantidades superiores a los límites de migración específica (LME) que establece, sin embargo el mercurio y el cromo no se mencionan, por lo que el punto número dos determina que para este tipo de sustancias, se aplicará un LME general de 60 mg/kg.

Por otra parte, la Directiva Europea 94/62/EC1 de embalaje y residuos de embalaje y la regulación de la Coalición de Gobiernos del Noreste (CONEG), de Estados Unidos, requieren que la suma de la concentración de los niveles de plomo, cadmio, mercurio y cromo hexavalente presentes en el embalaje o sus componentes no debe exceder de 100 ppm (partes por millón) (SIEGWERK, 2012). La suma de los metales pesados presentes en el material elaborado con de escamas es de 3.427 mg/kg, y ésta no excede los 100 ppm (100 mg de sustancia en un kg del material total).

Destaca el 13.33 mg/Kg de Arsénico en el material de escamas, lo que nos lleva a compararlo además con el límite permitido por la OMS en los alimentos y el agua potable el cual es de 50-100 µg/L. Además, se menciona que el Arsénico en pescados y mariscos es orgánico, lo que disminuye su toxicidad.

Estos resultados determinan la factibilidad, por el momento, de utilizar el material de escamas en productos que no estén en contacto con los alimentos, que, aunque no se rebasan los límites permisibles en productos en contacto con alimentos, para productos alimenticios si se superaron los límites. Por lo tanto, se proponen más alternativas de uso.

### 7.2.1.2 Resultados de Biodegradabilidad

Los resultados obtenidos en las pruebas de Biodegradabilidad se muestran en la tabla. El material elaborado con escamas de pescado es biodegradable en un 0.3% en un periodo de 21 días (Tabla 7.4) (Fig. 7.11).

Tabla 7.4. Resultados de biodegradabilidad del material de escamas.

IDENTIFICACIÓN	DQO (mg/g)	DBO <sub>21</sub> (mg/g)	DBO <sub>21</sub> / DQO(%)
ESCAMAS DE PESCADO	94.80	0.295	<b>0.3</b>



GRÁFICA DEL % DE BIODEGRADABILIDAD  
NORMA NMX-AA-028-SCFI-2001  
NMX-AA-030/1-SCFI2012  
NMX-AA-21-1985

Fig. 7.11.- Gráfica del porcentaje de biodegradabilidad de muestras del material de escamas

Fuente: (USQA)

### 7.3 Fase III. Producto alternativo al plástico convencional

En esta fase, se logró identificar un producto potencialmente rentable como alternativa al plástico polipropileno que no requiere el contacto con elementos líquidos. El material de escamas posee gran potencial en la industria del empaque y el embalaje, a pesar de contener dos elementos fuera de los límites permisibles para productos en contacto directo con alimentos, en esta industria si cumple con los límites y además es la que utiliza la mayor cantidad de plástico reportado (Fig. 7.12).





Fig. 7.12.- Producto propuesto elaborado con escamas de pescado como alternativa en la industria del empaque

Fuente: Fotografía Abiel Jiménez

Se propuso el nombre de la empresa transformadora de escamas el cual es SKMA, se propone un logotipo (Fig. 7.13) y los costos determinados de acuerdo a un análisis financiero el cual es importante conocer para la adaptación social del producto en las comunidades pesqueras que estén interesadas en adquirir el proceso de transformación. Así se podrá recuperar la inversión para poder instalar más dispositivos en otras comunidades. Los costos aproximados de las láminas de papel de 25 cm de diámetro se presentan en la tabla 7.5.

Tabla 7.5 Costos aproximados de una lámina de 25 cm diámetro

Precio Total del dispositivo transformador		\$18,000.00
Precio propuesto de cada lámina circular		\$ 8.00
300 piezas al día	Ganancia anual	\$ 864,000.00
	Menos costos fijos y variables	\$ -170,040.00
	UTILIDAD ANUAL	\$ 693,960.0



Fig. 7.13.- Logotipo propuesto para la empresa SKMA

Fuente: Fotografía propia

En el mercado existe un producto similar llamado papel batería, a la venta con tres espesores diferentes, con aplicaciones, académicas, de diseño y arquitectónicas, es vendido en negocios de productos de oficina del país (Fig. 7.14)

**BATERIA IMPORTADA GRUESO ENTERO** \$133.00 MXN

☆☆☆☆☆

Código de Barras: 2050000307713  
SKU: 206059  
Marca: Fórmula  
Modelo: Entero

Batería importada (papel Ilustración), papel batería grueso entero color crema 78 X 100 cm aproximadamente.

Largo: 100cm  
Ancho: 78 cm  
Unidad: Pza.

Compartir: [f](#) [t](#) [g+](#) [e](#)

Agregar a mi lista de deseos

Chat

Fig. 7.14.- Precio del papel Batería

Fuente: Lumen

Este producto podría ser sustituido por el papel de escamas de pescado. Si se hace una estimación en costos, el papel ecológico con una dimensión de 78x100cm tendría un costo base aproximado de \$ 121.00 (Fig. 7.15). Este producto está propuesto como una innovación social, para poder instalar maquinaria en comunidades pesqueras y que las escamas obtenidas puedan utilizarse directamente y localmente para fabricar el papel, por lo tanto se realizó un análisis financiero, concluyendo que la comercialización del papel es viable debido a que las tasas internas de retorno (TIR) fueron superiores a las tasas de retorno mínimas aceptadas (TREMA), los datos se verifican en el APÉNDICE A.

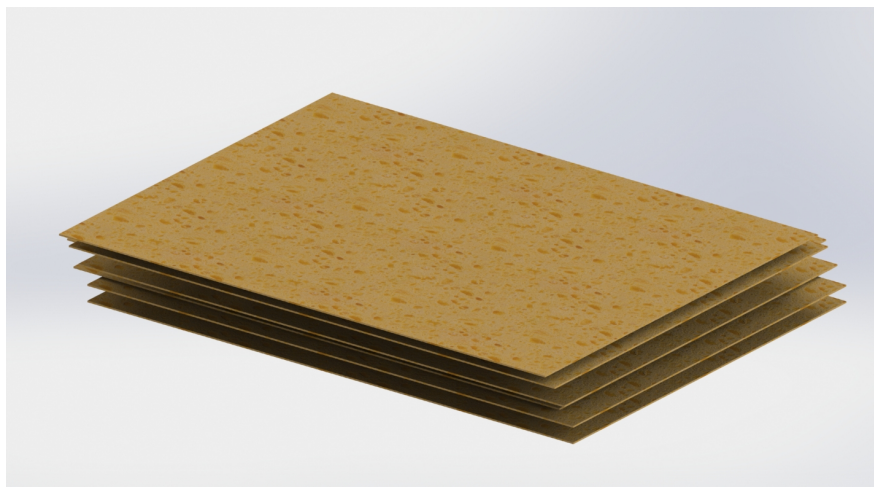


Fig. 7.15.- Render del producto de escamas de pescado

Fuente: Elaboración propia

Además, el material fue impreso con un pigmento natural llamado grana cochinilla (Fig. 7.16), el cual es un parásito del nopal, utilizado ancestralmente como pintura para diversos usos en diferentes países de Latinoamérica principalmente en México. El papel de escamas se adecuó positivamente a la impresión ya que no se observó ninguna expansión de la tinta sobre el papel.



Fig. 7.16.- Serigrafía natural con el pigmento de la grana cochinilla.

Fuente: Fotografía propia

También se propone ser una alternativa en el uso de etiquetas para productos que utilizan actualmente el plástico como material prioritario, estos elementos podrían ser considerados superfluos, sin embargo, para el uso de estrategias eficaces debe existir una apropiación de parte del usuario para cualquier tipo de empresa, mejor aún si es para la concientización del cuidado del entorno y de la salud (Fig. 7.17).



Fig. 7.17.- Producto propuesto elaborado con escamas de pescado como alternativa de etiquetas plásticas

Fuente: Fotografía propia

Un ejemplo claro es la empresa Tótem, dedicada a la ropa sustentable y a concientización sobre el ciclo de vida textil contaminante, la cual tiene un requerimiento de impresión de etiquetas para su marca, por lo que se realizaron pruebas con el material de escamas, obteniendo resultados favorables (Fig. 7.18).

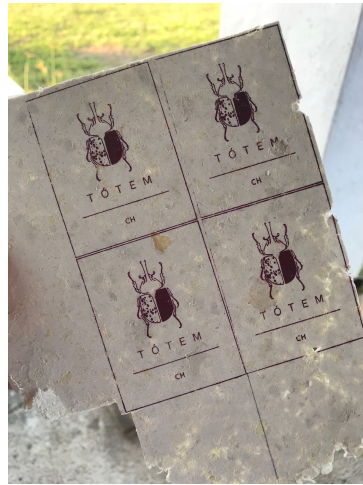


Fig. 7.18.- Etiquetas de la marca Tótem, impresas con el pigmento de la grana cochinilla sobre un papel elaborado con escamas de pescado.

Fuente: Fotografía propia

Por otro lado, se tiene un gran potencial en la industria del arte, pues se pueden utilizar como lienzos para diferentes técnicas artísticas. Se han requerido láminas para poder intervenirlas por pintores dedicados al cuidado del medio y al uso de materiales ecológicos (Fig. 7.19).



Fig. 7.19.- Intervención pictórica del artista Edgar Trujillo sobre el papel elaborado con escamas.

Fuente: Fotografía propia

## VIII. CONCLUSIONES

El desarrollo de nuevos materiales amigables con el medio para el inicio de una nueva era de investigaciones y aplicaciones, no solo es parte de la tendencia hacia nuevas políticas gubernamentales si no hacia los hábitos de la sociedad en general. Este proyecto pretende ser un impulso más en el desarrollo de materiales ecológicos y sobre todo en el aprovechamiento de residuos.

Se rechaza la hipótesis nula, aceptando la alternativa, por lo que: Es posible sinterizar escamas de pescado mediante la aplicación de temperatura y presión para desarrollar un material con una deformación y absorción de agua que permitan utilizarse en un producto ecológico que promueva una alternativa al uso del plástico convencional, el cual contamina y se acumula en el ambiente.

No se utilizó ningún tipo de aditivo químico y se transformó mediante un dispositivo de sinterización desarrollado en el presente proyecto. La recolección y el tratamiento de las escamas de pescado son procesos factibles que requieren la introducción de una herramienta mejorada a partir de la patente existente del escamador de pescados, con potencial a ser replicado en zonas con mayor producción de Tilapia.

El dispositivo transformador, escalable en todos sus componentes, puede generar productos con mayores dimensiones.

El material de escamas posee la propiedad de absorción (160%) y densidad ( $0.75 \text{ g/cm}^3$ ) adecuados para utilizarlos como alternativa de plásticos que no requieran contacto con líquidos, con gran potencial para usarlo en productos que requieran estos valores como requerimientos.

La biodegradabilidad del material de escamas es de 0.3% en 21 días lo que asegura su degradación en un tiempo casi 25 veces menor, comparado con los más de 500 años que tardan los plásticos en degradarse.

Los análisis toxicológicos demostraron que no es posible utilizar el material en contacto directo con alimentos, a menos que se garantice la baja presencia de mercurio en los peces de los cuales se obtendrán las escamas, o también que se desarrolle una alternativa sustentable de remoción de mercurio en el material.

Los elementos tóxicos contenidos están por debajo de los límites permisibles en empaques y embalajes, por lo cual se propone que el material de escamas sea una alternativa en esa industria que, además, es responsable de la más alta

producción y demanda de plástico, en específico del polipropileno. Se propone utilizarlos en empaques de productos de retail, como la industria ferretera, de papelería, así como etiquetas las cuales son de un solo uso, la mayoría desechadas en el instante en el que los productos son adquiridos.

Se propuso un producto laminar de 78x100 cm con un costo estimado de \$127.13, como alternativa al papel cartulina batería cuyo precio es mayor.

En una sociedad consumista, las alternativas a productos contaminantes no solucionan el daño a los ecosistemas, por lo que es importante que además de sustituir materiales, se tenga especial interés en la disminución o reducción del uso de productos que no son de primera necesidad y sobre todo por prácticas como reciclaje y reuso. Se requieren así, estrategias para la concientización de la sociedad y así, gradualmente, se dejen de utilizar productos superfluos (que no son indispensables), que al ser evitados no alteren la función y objetivo final del consumo primario.

El uso de biomateriales para la elaboración de productos es un paso en el intento de modificar el paradigma del consumismo irracional, ya que el hecho de contar con materiales no contaminantes, no nos exusa de continuar produciendo objetos o empaques innecesarios que son convertidos inmediatamente en basura.

Se propone también el compromiso por no alterar la naturaleza de los ecosistemas, buscando una sustentabilidad y sostenibilidad en la producción o recolección de materia prima para que, a largo plazo, los ecosistemas no sean sobreexplotados.

Se propone una reducción mínima en la concepción de productos y en la utilización de recursos aún si son sostenibles.

## **8.1 Trabajos a futuro**

Se obtuvo un fondo de emprendimiento de la Facultad de Ingeniería de la Universidad Autónoma de Querétaro para la optimización en la recolección de escamas de pescado, con un rediseño del escamador.

Existen diferentes organizaciones interesadas en la reproducción del proyecto, así como empresas interesadas en adquirir el papel obtenido de las escamas de pescado (Fig 8.1). Se realizará en un proyecto posterior, la reproducción de la



pastilla obtenida en la etapa I de la primera fase de la metodología ya que cuenta con características impermeables y se elaborará con mayores dimensiones.

Se propone investigar sobre el papel que se está utilizando en diferentes investigaciones para utilizarlo como batería para la contención energética.

Se propone una caracterización más extensa para conocer sus propiedades como material piezoeléctrico, térmico, conductor de electricidad, flamable, entre otras propiedades.

Al triturarlo se genera un material muy parecido al algodón, lo cual permite experimentar también en usos textiles.

Se tuvo una participación en la Expo Encuentro Industrial y comercial 2018 en la que se tuvo conocimiento del interés de empresas dedicadas a la producción de materiales compuestos para usar las escamas como fase de refuerzo.

Se mandó la continuación del proyecto a la convocatoria de la Secretaria de Desarrollo Sustentable para aplicar al Fondo para la Protección Ambiental y el Desarrollo Sustentable en Querétaro, actualmente en fase de arbitraje.



Fig. 8.1.- Organizaciones y empresas interesadas

Fuente: Imagen propia

El presente proyecto participó en el XII Encuentro Latinoamericano de Diseño con la ponencia Materiales ecológicos: ¿Una solución para el diseño sustentable?

En el Congreso de Innovación Agroindustrial para el Crecimiento Socioeconómico de Latinoamérica y el Caribe con la ponencia: Escamas de pescado y su uso en materiales compuestos

También tuvo la aceptación en el 12 Coloquio de la Facultad de Ingeniería con el tema: Uso de escamas de pescado, un desecho de la industria pesquera, como fase de refuerzo en compósitos poliméricos, una revisión.

Video del proyecto y página de la propuesta de empresa Skma



[https://youtu.be/UXtN\\_POkJT4](https://youtu.be/UXtN_POkJT4)



SKMA

## IX. REFERENCIAS

- Abenojar J., Velasco F., Martínez M.A. Influencia de la temperatura de sinterización en las propiedades mecánicas del sistema Al+20% Fe/B. *Metalurgia* 42 (2) ISSN: 0034-8570.
- Alcántara, V. (Marzo de 2018). Tecnología del plástico. Recuperado el 19 de Octubre de 2018, de Las iniciativas contra los plásticos siguen aumentando en México: <http://www.plastico.com/temas/Las-iniciativas-contra-los-plasticos-siguen-aumentando-en-Mexico+124584>
- Balboa C.H., Domínguez S. M. 2014. Economía circular como marco para el ecodiseño: el modelo ECO-3. *Revista Informador técnico*. Vol. 78, no. , p82-90.
- Behjat, T., Russly, A.R., Luqman, C.A., Yus, A.Y., Nor Azowa I. (2009). Effect of PEG on the biodegradability studies of kenak cellulose – polyethylene composites. *Int. Food Res J*; 16(2):243-7
- Biotrem. 2016. Biotrem. Recuperado el 28 de Noviembre de 2016, de Biotrem: <http://biotrem.pl/en/#products-intro>
- Boletín UNAM. 2017. Dirección General de Comunicación Social. Recuperado el 2 de Abril de 2017, de Con semillas de tamarindo, desarrollan en la UNAM espuma biodegradable: [http://www.dgcs.unam.mx/boletin/bdboletin/2017\\_159.html](http://www.dgcs.unam.mx/boletin/bdboletin/2017_159.html)
- Borah, A., Suchiang, D., Debnath, K., Alam, M., y Muralidhar, M. 2016. Studies on Design and Fabrication of Polymer Based Composite Materials with Fish Scale Reinforcement. *Journal of Mechanical and Civil Engineering* , 6-11.
- Carpintero, O. (2003). Los costes ambientales del sector servicios y la nueva economía: entre la desmaterialización y el "efecto rebote". *Economía Industrial*. Research Gate, IV(352), 59-76.
- Cárdenas M. A. 2016. Aproximación a un modelo de sistematización sostenible para el diseño. Universidad Autónoma del Estado de México. Tesis de licenciatura
- Cornish, A. M. L., 1997. El ABC de los plásticos. Universidad Iberoamericana. Departamento de diseño industrial, gráfico y textil. México.
- Collin, J.-F. 2016. La ley de transición energética francesa para el crecimiento verde. *Cuadernos de Energía* , 48-54.
- CONAPESCA (2016). Estadísticas de producción pesquera. México. Consultado el 10 de Agosto de 2017 [http://www.conapesca.gob.mx/wb/cona/estadisticas\\_de\\_produccion\\_pesquera](http://www.conapesca.gob.mx/wb/cona/estadisticas_de_produccion_pesquera)
- Delgado, R. G. (2011). *Petróleo, Medio Ambiente, Cambio Climático y Seguridad. Nómadas*
- Ecured. (17 de 11 de 2009). Conocimiento con todos y para todos. Recuperado el 14 de 06 de 2018, de Ecured: <https://www.ecured.cu/index.php?title=Plástico&oldid=1583985>
- El financiero. (26 de Marzo de 2018). Economía, mercados y negocios. Recuperado el 19 de octubre de 2018, de Queretanos, entre los mayores generadores de basura del país: <http://www.elfinanciero.com.mx/bajio/queretanos-entre-los-mayores-generadores-de-basura-del-pais>
- Ellen Macarthur Foundation. 2013. The circular economy. Recuperado el 21 de Enero de 2017, de Ellen mac arthur foundation: <http://www.ellenmacarthurfoundation.org/circular-economy/circular-economy/thecircular-model-an-overview>

- Etherington, R. 2011. The Fish Feast by Erik de Laurens. Recuperado el 07 de Mayo de 2016, de Dezeen: <http://www.dezeen.com/2011/07/15/the-fish-feast-by-erik-de-laurens/>
- FAO. 2016. El estado mundial de la pesca y la acuicultura 2016. Roma. FAO. Consultado el 12 de Agosto de <http://www.fao.org/3/a-i5555s.pdf>
- Fonseca, X. (1991). Las medidas de una casa. Antropometría de la vivienda. Ed. Pax, México, D.F.
- Fund, W. W. (2010). Informe Planeta Vivo . Londres: VIII edición.
- Fuentes, P. L. 2012. Desarrollo de nuevos aceros sinterizados de alta resistencia aleados mecánicamente con Nb. Tesis Doctoral. Universidad Carlos III de Madrid. Leganés, España.
- Gatica P. G. (2016). Ecoinnovación para un desarrollo empresarial sustentable. Recuperado el 4 de Febrero de 2017, de Conacyt prensa <http://conacytprensa.mx/index.php/ciencia/ambiente/11097-ecoinnovacion-para-un-desarrollo-empresarial-sustentable>
- García-Garduño, M V; Reyes-Gasga, J; (2006). La hidroxiapatita, su importancia en los tejidos mineralizados y su aplicación biomédica. *Tip Revista Especializada en Ciencias Químico-Biológicas*, 9(1) 90-95. Recuperado de <http://www.redalyc.org/articulo.oa?id=43211937005>
- Gregory, M. R. (2009). Environmental implications of plastic debris in marine settings - Entanglement, ingestion, smothering, hangers-on, hitch-hiking and alien invasions. *Philosophical Transactions of The Royal Society B Biological Sciences*.
- Hebel, D. E., Wisniewska, M. H., & Heisel, F. (2014). *Building from waste: Recovered Materials in Architecture and Construction*. Birkhäuser Verlag GmbH, Basel, Switzerland.
- Hernández Sampieri, R., Fernández-Collado C., Baptista I. P. (2006) *Metodología de la Investigación*. Ed. McGraw-Hill. Mexico D.F.
- Ideas Verdes. 2016. Platos Desechables Hechos Con Hojas. Recuperado el 2 de Diciembre de 2016, de Medio Ambiente Ideas verdes: <http://www.ideasverdes.es/platos-desechables-hechos-con-hojas>
- Ikoma, T., Kobayashi, H., Tanaka, J., Walsh, D. and Mann, S. (2003). Microstructure, mechanical, biomimetic properties of fish scales from *Pagrus major*. *Journal of Structural Biology*, 142, 327-333
- Isan, A. (12 de Mayo de 2014). Inventan un plástico ecológico a partir de cáscaras de camarón. Recuperado el 6 de Diciembre de 2016, de Ecología Verde: <https://www.ecologiaverde.com/inventan-un-plastico-ecologico-a-partir-de-cascaras-de-camaron/>
- James, E., Mark et al. High performance biodegradable materials from oriented starch derivatives. U. S. patent 6,218,532 - Cincinnati, USA, 2001.
- Kalpakjian S., Schmid S. R., 2002. *Manufactura, ingeniería y tecnología*. México. Cuarta Edición. ISBN: 970-26-0137-1
- Kim, H., Kim, H. J., Lee, J. W., & Choi, I. G. (2006). Biodegradability of bio-flour filled biodegradable poly (butylene succinate) bio-composites in natural and compost soil. *Polym Degrad Stab*, 5(91), 1117-27.
- Kumari, S., Kumar, S. A., Abanti, S., & Kumar, P. R. (2017). Physicochemical properties and characterization of chitosan synthesized from fish scales, crab and shrimp shells. *International Journal of Biological Macromolecules*, 104(1879-0003), 1697-1705.

- Londoño, F. L., Londoño, M. P., & Muñoz, G. F. (2016). Los riesgos de los metales pesados en la salud humana y animal. *Biotecnología en el Sector Agropecuario y Agroindustrial*, 14(2), 145-153.
- Montgomery, D.C. (2006). *Diseño y análisis de experimentos*, 2a. Edición, Ed. LIMUSA México.
- McDonough, W. 2007. Cradle to cradle design. Recuperado de [http://www.ted.com/talks/lang/es/william\\_mcdonough\\_on\\_cradle\\_to\\_cradle\\_design.htm](http://www.ted.com/talks/lang/es/william_mcdonough_on_cradle_to_cradle_design.htm)
- McDonough, W., Braungart, M. 2003. *Cradle to cradle*. Editorial McGraw-Hill, Nueva York. ISBN:978-08-6547-587-8
- Nourbakhsh, A., Ashori, A., & Kaszemi, T. (2013). Characterization and biodegradability of polypropylene composites using agricultural residues and waste fish. *Composites: Part B*, 279-238.
- Núñez, D. 2017. Estudiantes aminoran impacto ambiental con reciclaje de escamas de pescado. Recuperado el 04 de Marzo de 2017, de Noticias: [http://lodehoyenelpuerto.com/noticias/index.php?option=com\\_k2&view=item&id=23290:buscan-estudiantes-de-itlac-aminorar-impacto-ambiental-con-reciclaje-de-escamas-de-pescado&Itemid=](http://lodehoyenelpuerto.com/noticias/index.php?option=com_k2&view=item&id=23290:buscan-estudiantes-de-itlac-aminorar-impacto-ambiental-con-reciclaje-de-escamas-de-pescado&Itemid=)
- O.P Troncoso y F.G. Torres (2013). The Nanocomposite Laminate structure in fish scales from *Arapaima Gigas*. Proc. 2nd Int. Conf. and Exhibition on Materials Science and Engineering.
- Pang, S., Chang, Y. P., & Kwan, K. W. (2013). The evaluation of the suitability of fish Wastes as source of collagen. 2nd International Conference on Nutrition and food Sciences. 53, págs. 63-65. Singapore: IPCBEE.
- Pascual (2011). Determinación de la biodegradabilidad y compostabilidad de los materiales plásticos. Obtenido de <http://www.packaging.enfasis.com/articulos/18915-determinacion-la-biodegradabilidad-y-compostabilidad-los-materiales-plasticos>
- Pérez H. J.D., Toriz G. E. D. 2017. Modelos de economía circular para la producción y el consumo sostenibles en México. *Revista electrónica Anfei Digital*. Recuperado de [www.anfei.org.mx/revista](http://www.anfei.org.mx/revista)
- Peters, S. (2014). *Material Revolution II New Sustainable and multi-purpose materials for design and architecture*. (W. d. Gruyter, Ed.) Basel: Birkhäuser Basel.
- Powers, R. (2015). Ocean Plastic Gets Cloudy. En línea Earthzine. Obtenido de <http://earthzine.org/2015/03/11/ocean-plastic-gets-cloudy/> el 11 de mayo del 2016.
- Putzu, P. T. (17 de noviembre de 2016). Investigación de desechos de Tilapia. Universidad Autónoma de Querétaro campus Amazcala. (C. F. Dalila, Entrevistador)
- Ramírez, E., y Galán, L. 2012. *El ecodiseño como herramienta básica de gestión Industrial*.
- Rubio, R.S.O.(2013). Revisión de los avances en el desarrollo de polímeros biodegradables, su producción y comercialización en México para su uso en envase y embalaje (Packaging). Tesis de licenciatura. Universidad Autónoma de Querétaro, Querétaro, Querétaro.
- Rudnik., E. (2008). *Compostable polymer materials*. El sevier. Hungría
- Sabino, Carlos A. (1996). *El proceso de investigación*, 2a. edición, Ed. Lumen/Hvmanitas, Argentina.
- SAGARPA (2016). Origen y producción de Tilapia. Consultado el 3 de Junio del 2016 en <http://www.gob.mx/sagarpa/articulos/conoce-sobre-el-origen-y-produccion-de-la-tilapia-mojarra/>

- Sankar, S., Sekar, S., Mohan, R., Rani, S., Sundaraseelan, J., y Sastry, T. 2008. Preparation and partial characterization of collagen sheet from fish (Lates Calcarifer) scales. *International Journal of Biological Macromolecules* , 6-9.
- Sascha, P., (2014). *Material Revolution II New Sustainable and multi-purpose materials for design and architecture*. Editor Walter de Gruyter. Birkhäuser Basel.
- Satapathy, A., Patnaik, A., & Pradhan, M. K. (2009). A study on processing, characterization and erosion behavior of fish (Labeo-rohita) scale filled epoxy matrix composites. *Materials and Design*, 2359-2371.
- Schilling, Melissa A. *Strategic Management of Technological Innovation*. Fifth Edition ed., McGraw Hill, 2017.
- Segura, D., Noguez, R., & Espín, G. (2007). Contaminación ambiental y bacterias productoras de plásticos biodegradables. *Biotecnología*, 361-371.
- SEMARNAT. 2014. *Estrategia Nacional de Producción y Consumo Sustentable*. México: Gobierno Federal
- Shackelford, J. F. (2007). *Introducción a la ciencia de materiales para ingenieros* (Sexta ed.). Davis, California, EUA: Pearson.
- SIEGWERK. (2012). Ink, heart & soul. Recuperado el 12 de marzo de 2018, de Declaración de ausencia de Plomo, Cadmio, Mercurio y Cromo Hexavalente: <https://www.siegwerk.com/en/our-responsibility/product-responsibility/product-safety-statements/nocache/1.html>
- Sprajcar M, Horvat P & Krzan A (2012) Biopolymers and bioplastics: plastics aligned with nature, *Plastice proyect*. Innovative value chain for development for sustainable plastics in Central Europe. European Union. pp. 1-32.
- Stevens, E.S (2002). How Green are Green plastics? *BioCycle* 43-42.
- Tepić G., Pejakov T., Lalić B., Vukadinović V., Milisavljević S. (2013) The application of recycled aluminium and plastics in enviromental protection. *Metalurgija*; 52(3):395-8.
- Torres, P. (Comunicación directa, 2016) Universidad Autónoma de Querétaro. Campus Amazcala.
- Tukker, A., Eder, P., Charter, M., Haag, H., Vercalsteren, A., & Wiedmann, T. (2001). Eco design: The state of implementation in Europe. Conclusions of a State of the Art Study for IPTS. *The Journal of Sustainable Product Design*, 147-161.
- Urbina, I. 2015. Zostera Stool: plantas acuáticas utilizadas en un nuevo biomaterial. Recuperado el 3 de Marzo de 2017, de Di-Conexiones: <http://www.di-conexiones.com/zostera-stool-plantas-acuaticas-utilizadas-en-un-nuevo-biomaterial/>
- Valis, D. 2017. Evalúan extracción de colágeno marino de residuos pesqueros. Recuperado el 29 de Abril de 2017, de Conacyt Prensa: <http://conacytprensa.mx/index.php/tecnologia/biotecnologia/13517-extraccion-colageno-marino-de-residuos-pesqueros>

# APÉNDICES

## APÉNDICE A

### ANÁLISIS FINANCIERO DE LÁMINAS DE PAPEL ELABORADAS CON ESCAMAS

Considerando un préstamo de \$300,000.00 a 3 años, para comprar la maquinaria que nos proporcionará 42 láminas al día, con una venta de 42 láminas diarias, considerando además que la materia prima no tiene costo y se absorben únicamente los costos del transporte, del recolector y del lavado, se elaboró una proyección financiera calculándola en tres escenarios diferentes: base, pesimista y optimista.

Para determinar la Tasa de rendimiento Mínima Aceptable (TREMA), Tasa interna de Retorno (TIR) en cada escenario, se tomaron en cuenta los siguientes parámetros:

- Las tasas de interés fueron proyectadas en el escenario base con datos reales
- En los otros dos escenarios fueron proyectados con tasas mayores y menores según el caso.
- Se hizo una investigación de campo en los precios de venta de la competencia, para establecer el precio en el escenario base, en el optimista se aumentó y en el pesimista se consideró un precio menor.
- Para determinar los costos variables, en el escenario base se hizo una proyección considerando la inflación en años anteriores, en el optimista se utilizó el mismo valor que en el base y en el pesimista se aumentó.
- En el escenario base, los costos fijos fueron determinados con datos reales de sueldos y salarios, así como con los gastos de funcionamiento del lugar de trabajo, estipulados con los datos del Banco de México de inflaciones en años anteriores.
- En el escenario optimista no hubo ningún cambio en los costos fijos y en el pesimista las tasas de inflación se incrementaron el doble del escenario base.

En los tres escenarios, en el flujo neto de efectivo, se muestran utilidades desde el primer año hasta el último, observando una baja de utilidades en el segundo, tercero y cuarto año debido al préstamo, recuperándose en el quinto año (Fig. A1).



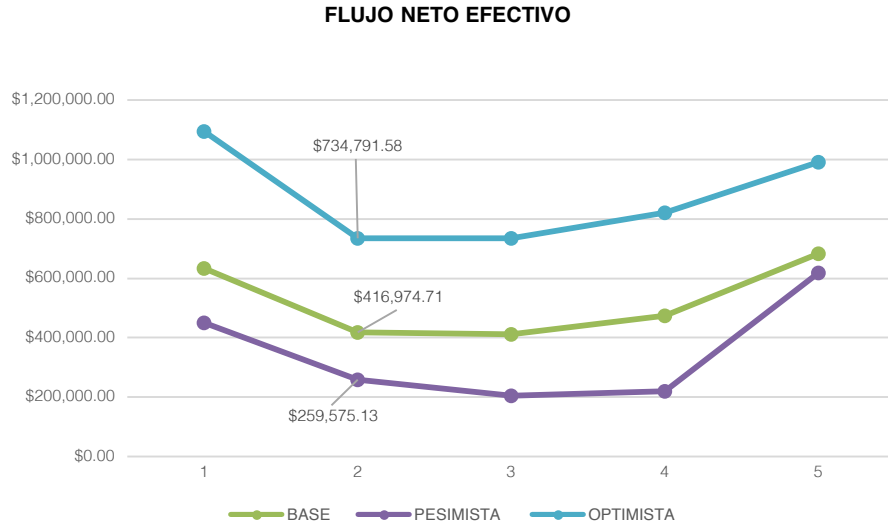


Fig. A1. Flujo neto de efectivo en la proyección financiera del papel de escamas  
Fuente: Imagen propia

En la comparación de la TIR y la TREMA, en los tres escenarios la TIR es mayor que la TREMA cumpliendo con la regla que establece el análisis financiero. Es decir, el proyecto es viable (Fig. A2).

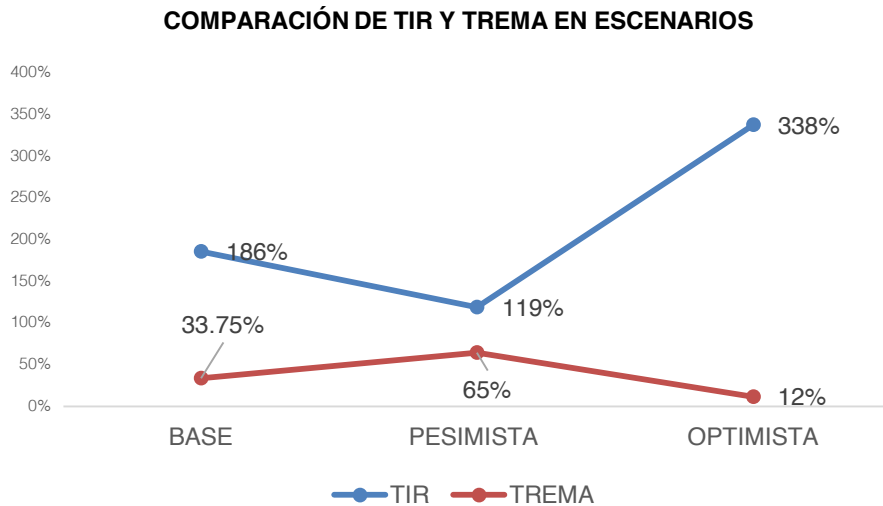


Fig. A2. Comparación de TIR y TREMA en tres escenarios financieros  
Fuente: Imagen propia

En cuanto al Plazo de recuperación de la inversión inicial (Payback), en el escenario base el préstamo se llega pagar en 471 días, en el pesimista casi en 500, y en el optimista en 428 días (Fig. A3).

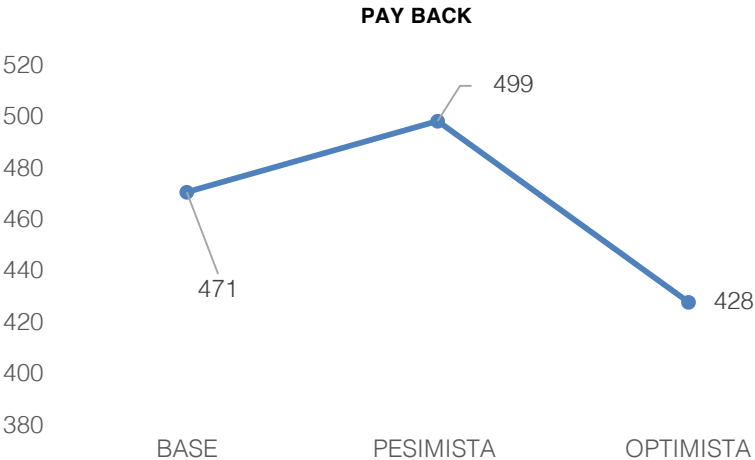


Fig. A3. Plazo de recuperación en días en la proyección financiera del papel de escamas

Fuente: Imagen propia