



Universidad Autónoma de Baja California
Facultad de Ingeniería, Arquitectura y Diseño



Ingeniería en Nanotecnología

Propuesta de polímero biodegradable a base de
Opuntia ficus-indica

Tesis que para obtener el grado de

Ingeniero en nanotecnología

Presenta

Alejandra López Peraza

Director de tesis:

M.I. Guillermo Amaya Parra

Codirector de tesis:

Dr. Priscy Alfredo Luque Morales

Ensenada, Baja California, México

Agosto, 2019

UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE BAJA CALIFORNIA
FACULTAD DE INGENIERÍA, ARQUITECTURA Y DISEÑO

"Propuesta de polímero biodegradable a base de *Opuntia ficus-indica*"

TESIS

PARA CUBRIR LOS REQUISITOS NECESARIOS PARA OBTENER EL TÍTULO DE

INGENIERO EN NANOTECNOLOGÍA

PRESENTA:

Alejandra López Peraza

Aprobada por:



M.I. Guillermo Amaya Parra
Director
(presidente)



Dr. Ulises Jesús Tamayo Pérez
Sinodal
(vocal)



Dr. Rubén Cesar Villarreal Sánchez
Sinodal
(vocal)



Dr. Prisey Alfredo Luque Morales
Codirector
(secretario)



Dr. José de Jesús Zamarrípa Topete
Sinodal
(vocal)

AGRADECIMIENTOS

Agradezco a mi director y codirector de tesis quienes apoyaron el proyecto con sus conocimientos, resolviendo dudas y guiándome por el camino correcto, M.I. Guillermo Amaya Parra y Dr. Priscy Alfredo Luque Morales.

También agradezco a la institución UABC por abrirme sus puertas y hacerme formar parte de ella al aceptarme como estudiante y de igual manera permitir el uso de laboratorios, así como proporcionar las herramientas de trabajo a lo largo de la carrera para el cumplimiento de prácticas y proyectos como este que contribuyen a mejorar mis habilidades, que han dado lugar a mi forjamiento como profesional.

Mis agradecimientos son de igual manera al Ing. Carlos A. Mayoral Romo de Mechanical Team Samsung Tijuana Park (SAMEX) quien apoyo el proyecto con la realización de pruebas mecánicas.

También mis agradecimientos a todo docente que a lo largo de mi estudio brindaron conocimientos, ayuda y paciencia.

A todos mis compañeros que gracias a su amistad y apoyo que teníamos fue posible lograr diferentes metas a lo largo de la carrera. Especialmente agradezco a mis compañeras con las que inicié el proyecto, Géneva K. Martínez Zúñiga y Gabriela I. Carballo López por su gran ayuda, apoyo moral y paciencia.

DEDICATORIA

A mi querida madre por su apoyo y paciencia.

Y a ti, precioso lector, grrr <3

CONTENIDO

Resumen.	1
Lista de figuras.	2
Lista de tablas.	3
CAPÍTULO I Introducción	
1.1 Antecedentes.	5
1.2 Planteamiento del problema.	9
1.3 Objetivos.	10
1.3.1 Objetivo general.	10
1.3.2 Objetivos específicos.	10
1.4 Justificación.	10
CAPÍTULO II Marco teórico	
2.1 Química verde.	13
2.2 Polímeros biodegradables.	13
2.3 Patentes.	14
2.3.1 Síntesis y proceso, para elaborar un material plástico biodegradable.	14
2.3.2 Flexible elastomer articles and methods of manufacturing.	14
2.3.3 Resilient plastic material and process for making it.	14
2.3.4 Biodegradable plastic with antibacterial property and preparation method thereof.	15
CAPÍTULO III Metodología	
3.1 Materiales y reactivos	17
3.2 Síntesis del polímero a base de nopal.	18

3.3 Prueba de biodegradabilidad.	20
3.4 Prueba mecánica.	21
CAPÍTULO IV Resultados	
4.1 Prueba de biodegradabilidad.	24
4.2 Prueba mecánica.	32
CAPÍTULO V Conclusiones y trabajo a futuro	
5.1 Conclusiones.	35
5.2 Trabajo a futuro.	36
Referencias bibliográficas.	37
Anexo.	41

RESUMEN

En los últimos años, la venta y distribución de productos plásticos biodegradables ha incrementado, debido a la preocupación de la sociedad por el cuidado del medio ambiente. Así como la responsabilidad social de las empresas por buscar un enfoque ecológico en sus procesos y productos. De la mano a ello, varios países alrededor del mundo, incluyendo México, han dado iniciativas y puesto en vigor leyes que ayuden a regular el uso de productos plásticos desechables, como son las bolsas de plástico. La American Society of Testing Materials (ASTM) ha dado definición a lo que es un polímero biodegradable, México desde el 2006 forma parte de esta sociedad. En este trabajo, se presenta la propuesta de un polímero biodegradable con posible aplicación en el área de productos plásticos desechables, para la sustitución de los actuales productos a base de petróleo que son dañinos para el ecosistema debido a su mal manejo como desecho.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1. Procesamiento de la penca de nopal.	18
Figura 2. Integración de la mezcla cera/glicerina a la mezcla nopal/grenetina.	19
Figura 3. Moldeado, secado (48 horas) y desmolde.	20
Figura 4. Plástico biodegradable A) con la forma del molde donde se secó por 48 horas, B) un acercamiento al plástico al estirarlo.	24
Figura 5. Resultados de la prueba de biodegradabilidad del plástico sintetizado: A) primer día, B) 5 días después, C) 10 días después D) 14 días.	25
Figura 6. Resultado al mes de la prueba de biodegradabilidad del plástico sintetizado, la muestra fue colocada en un jardín.	26
Figura 7. Fotografía del producto sintetizado en el molde de la prueba 2.	26
Figura 8. Fotografías de la prueba 2, antes de ser colocado en los lugares descritos.	27
Figura 9. Fotografías de la prueba 2 a 5 días de exposición al ser colocado en los lugares descritos.	28
Figura 10. Fotografías de la prueba 2 a 9 días de exposición al ser colocado en los lugares descritos.	29
Figura 11. Fotografía de prueba 2 pasado 120 días dentro de una bolsa plástica de cierre hermético parcialmente abierto.	30
Figura 12. Muestras de plástico biodegradable con la forma del molde donde se secó por 48 horas. Grosor aproximado a 1/8 cm y 1 cm, I y II, respectivamente.	31

LISTA DE TABLAS

Tabla 1. Resultados de las pruebas mecánicas realizadas por Samsung a dos muestras, M1 y M2, del plástico.	32
Tabla 2. Valores de resistencia a la tracción, máximo y elongación a la rotura para bolsas tipo C, bolsas comunes [47].	41
Tabla 3. Valores de resistencia a la tracción, máximo y elongación a la rotura para bolsas tipo D, bolsas biodegradables [47].	41

CAPÍTULO I
INTRODUCCIÓN

1.1 Antecedentes

En la actualidad, la industria de los productos plásticos es basada en el petróleo como materia prima. La demanda de estos productos ha ido en aumento desde su aparición en 1860 cuando Wesley Hyatt generó un sustituto del marfil en las bolas de billar a partir de un método de procesamiento a presión de la piroxilina, un nitrato de celulosa de baja nitración tratado previamente con alcanfor y una cantidad mínima de disolvente de alcohol. Hoy los materiales plásticos representan una utilidad indispensable en diversas actividades tanto industriales como cotidianas. En los últimos años, la venta y distribución de productos plásticos biodegradables ha incrementado, debido a la preocupación de la sociedad por el cuidado del medio ambiente. Así como la responsabilidad social de las empresas por buscar un enfoque ecológico en sus procesos y productos.

En mayo del año 2018, la Comisión Europea propuso 10 reglas para la reducción de producción, consumo y desecho de plásticos. Entre esas reglas figuran [1]:

1. La prohibición de los plásticos de un sólo uso (como los utensilios, vasos, bolsas y platos desechables) a menos que sean biodegradables o compostables.
2. La implementación de leyes regulatorias sobre el obsequio de productos desechables (como cajas, bolsas y utensilios).
3. Los productores de plásticos deberán de ayudar a costear la colección y tratamiento de los desechos plásticos, por lo que se enfatizará el uso de materiales ecológicos, biodegradables o compostables, alternativos a los actuales.
4. Nuevos requerimientos para etiquetar los productos con instrucciones para el desecho efectivo de los plásticos.

Uniéndose al movimiento europeo, México en 16 de sus entidades, Yucatán, Chihuahua, Coahuila, Aguascalientes, Michoacán, Estado de México, Sinaloa, Baja California, Nuevo León, Veracruz, Baja California Sur, Guerrero, Tamaulipas, Tlaxcala, Oaxaca y Chiapas, están llevando procesos sobre el control de productos plásticos desechables de un solo uso, popotes, desechables o bolsas plásticas [2]. En el municipio de Ensenada B.C. México, en 2019 entra en vigor una reforma al Reglamento para el Control de Calidad Ambiental de este Municipio, la modificación fue en el artículo 43 Quarter, en esta modificación se prohibirá que los sitios mercantiles y de servicios proporcionen bolsas plásticas y utensilios desechables a sus clientes; esto con el objetivo de que para el 2022 se elimine el uso excesivo de bolsas plásticas en el municipio [3]. Motivados por este cambio que beneficia a la ciudad se decidió proponer un material alternativo a los plásticos a base de petróleo, específicamente para su uso en productos de un sólo uso, como las bolsas plásticas de uso común.

Hoy en día se busca implementar alternativas más amigables con el medio ambiente, como es la química verde, que consiste en reducir o eliminar sustancias peligrosas y tóxicas en los procesos de diseño, manufactura y aplicación de productos químicos, es hacer un proceso más sustentable, tratar de hacer uso de recursos renovables y disminuyendo o eliminando desechos [4-5]. La química verde tiene 12 principios [6-12]:

1. Prevención. Preferir evitar generar residuo en lugar de reciclarlo, tratarlo o usarlo posteriormente.
2. Economía atómica. En los métodos de síntesis empleados se ha de buscar que todos los reactivos se incorporen al producto final, evitando así subproductos.

3. Uso de metodologías que generen productos con toxicidad reducida. Los métodos de síntesis se han de diseñar para utilizar y producir sustancias con poca o nula toxicidad, tanto para el hombre como para el medio ambiente.
4. Generar productos eficaces, pero no tóxicos. Los productos han de ser eficientes a la vez que reducen su toxicidad.
5. Reducir el uso de sustancias auxiliares. Se ha de evitar el uso de sustancias no indispensables (solventes, reactivos separadores, etc) y si se usan que sean lo más inocuo posible.
6. Disminuir el consumo energético. El requerimiento energético será catalogado según impacto medio ambiental y económico para así reducir lo mayor posible.
7. Utilización de materias primas renovables. Las materias primas deberán ser renovables siempre que sean técnica y económicamente viables.
8. Evitar la derivatización innecesaria. Se evitará en lo posible la formación de derivados (grupos de bloqueo, de protección/desprotección, modificación temporal de procesos físicos/químicos).
9. Potenciación de la catálisis. Se emplearán catalizadores (lo más selectivos), reutilizables en lo posible, en lugar de reactivos estequiométricos.
10. Generar productos biodegradables. El diseño de los productos ha de ser de manera que al finalizar su función no permanezcan en el medio ambiente, sino que se transformen en productos degradados inocuos.
11. Desarrollar metodologías analíticas para la monitorización en tiempo real. Las metodologías analíticas serán desarrolladas para permitir el monitoreo y control en tiempo real de los procesos, previo a la formación de productos secundarios.

12. Minimizar el potencial de accidentes químicos. Se elegirán las sustancias empleadas en los procesos químicos de forma que se minimice el riesgo de accidentes químicos, incluidas las emanaciones, explosiones e incendios.

Un plástico se refiere a ciertos tipos de materiales sintéticos obtenidos mediante fenómenos de polimerización o multiplicación artificial de los átomos de carbono en largas cadenas moleculares de compuestos orgánicos [13]. Los plásticos son derivados del petróleo y dependen en su totalidad de este recurso fósil no renovable, aunque algunos se pueden obtener a partir de otras sustancias naturales [13-14]. La palabra biodegradable por definición hace alusión a un material que al exponerse a los elementos es fácilmente descompuesto por bacterias de putrefacción, hongos carnosos y otros organismos saprobios [15], en otras palabras, dicho de una sustancia que puede ser degradada por acción biológica [16]. Un polímero biodegradable es aquel que puede ser degradado completamente por el medio ambiente, reduciendo así el impacto ambiental que estos materiales producen. Así, el polímero es transformado en sustancias simples o en componentes menores como agua, dióxido de carbono y biomasa que finalmente se asimilan al medio ambiente [17].

Opuntia ficus-indica es, entre las cactáceas, la de mayor importancia agronómica, tanto por sus sabrosos frutos como por sus tallos que sirven de forraje o pueden ser consumidos como verdura [18]. En la literatura que reporte sobre plásticos biodegradables se encontraron pocas que utilizaran el nopal como base [19-21]. Asimismo, se propone llevar a cabo una síntesis económica, fácil y rápida, tomando en cuenta que se busca industrializar la producción de

nuevos plásticos biodegradables que cubran las necesidades humanas como lo hace un plástico convencional a base de petróleo.

El objetivo de este trabajo es sintetizar un plástico biodegradable a base de nopal y derivados de producto animal y evaluar su biodegradabilidad al estar expuesto a la intemperie. Este trabajo se considera el primer paso para la síntesis de un plástico biodegradable a base de nopal con las características ideales para su uso como producto de uso rápido desechable, como bolsa plástica de uso común.

1.2 Planteamiento del problema

En los últimos años el aumento de usos de productos plásticos ha ido creciendo, según una publicación de National Geographic, la mitad de los plásticos manufacturados se ha dado desde el año 2000, llegando en 2015 a 448 millones de toneladas en plásticos manufacturados, además comenta que menos de la quinta parte de los plásticos son reciclados [22]. Esto conlleva a la acumulación de estos desechos que enferman al ecosistema, afectando a especies vegetales y animales, incluyendo al humano. Además, alrededor del mundo se han propuesto e implementado iniciativas y leyes que prohíben o que incitan a llevar un control de los productos plásticos, especialmente los de un solo uso como lo son bolsas plásticas, popotes, etc. El Parlamento Europeo aprobó una ley que prohíbe para 2021 una amplia gama de artículos de plástico de un solo uso, como pajillas (pitillos o popotes), bastoncillos de algodón y cubiertos [23], o inclusive aquí en México, al menos 16 entidades han prohibido o están en proceso de limitar el uso de popotes, bolsas de plástico o desechables [2], en Ensenada, el 6 de

marzo de 2019, entra en vigor la ley que prohíbe el uso y obsequio de bolsas plásticas en establecimientos comerciales [24].

El problema identificado, no solamente es el exceso de residuos plásticos, ya que su aumento presenta un peligro al medio ambiente y a la salud de las especies tanto vegetales como animales, incluyendo al humano, y notoriamente en especies marinas, sino también la falta de alternativas ecológicas limitadas que se presentan a los consumidores.

1.3 Objetivos

1.3.1 Objetivo general

Desarrollar un polímero biodegradable por medio de una síntesis de química verde.

1.3.2 Objetivos específicos

- Sintetizar un plástico a base de nopal (*Opuntia Ficus-Indica*).
- Implementar una metodología amigable con el medio ambiente para la elaboración de un polímero biodegradable.
- Realizar pruebas de biodegradabilidad al polímero sintetizado.
- Realizar pruebas de resistencia mecánica al polímero sintetizado.

1.4 Justificación

La gran cantidad de plásticos a base de petróleo, en 2015 se alcanzó globalmente la cantidad de 448 millones de toneladas en plásticos manufacturados [22], en México, a pesar

de ser el país en primer lugar que reciclo en América Latina en 2017 solo se alcanzó reciclar el 58% [25]. Adoptando gradualmente las normativas que han surgido para el control y/o prohibición de productos plásticos de un solo uso, a su vez se vive con los escasos de productos ecológicos alternativos, razón por la que es necesario crear una alternativa amigable con el medio ambiente económica y accesible al consumidor local de la región, ya que las alternativas ecológicas ofrecidas son de un precio poco competitivo comparado con los productos derivados del petróleo. Por ello, la elaboración de un plástico a base de nopal promete ser una buena alternativa para atacar este problema, con una solución ecológicamente viable para aplicaciones de productos plásticos de un solo uso que satisfaga la comodidad, usos y hábitos de los consumidores finales.

CAPÍTULO II

MARCO TEÓRICO

2.1 Química verde

Existe un enorme deterioro del medio ambiente que ha generado la necesidad de buscar alternativas que conduzcan a la sostenibilidad ambiental. Una de estas herramientas es la "química verde", concepto que contempla el diseño de productos y procesos que reduzcan la generación de sustancias peligrosas y maximicen la eficiencia en la utilización de recursos materiales y energéticos. El empleo de tecnologías menos contaminantes, permitirá a las empresas químicas mitigar los efectos ambientales asociados a su actividad, reduciendo el consumo de materiales e incrementando la participación de recursos renovables [26]. Como ya se mencionó, la química verde tiene 12 principios: prevención, economía atómica, uso de metodologías que generen productos con toxicidad reducida, generar productos eficaces pero no tóxicos, reducir el uso de sustancias auxiliares, disminuir el consumo energético, utilización de materias primas renovables, evitar la derivatización innecesaria, potenciación de la catálisis, generar productos biodegradables, desarrollar metodologías analíticas para la monitorización en tiempo real y minimizar el potencial de accidentes químicos.

2.2 Polímeros biodegradables

Una de las alternativas para la fabricación de productos plásticos que puede sustituir la funcionalidad de un plástico a base de petróleo es el uso de polímeros biodegradables. México forma parte, desde el año 2006, de la American Society of Testing Materials (ASTM) o ASTM International, líder reconocido a nivel mundial en el desarrollo y entrega de las normas internacionales de consenso voluntario [27], que define un polímero biodegradable como el polímero capaz de descomponerse en dióxido de carbono, metano, agua, compuestos orgánicos o biomasa debido a la acción enzimática de microorganismos, de manera controlada en un

periodo específico [28]. Existen diversos parámetros para cuantificar la biodegradabilidad de un compuesto, y cada país establece sus propios requerimientos, pero en general se pretende conseguir entre 60 y 90% de descomposición del material en un lapso de 60 a 90 días [29].

2.3 Patentes

Si se realiza una búsqueda de que productos patentados existen en relación al uso de alternativas al uso de plásticos a base de petróleo se presentarían cientos de propuestas, las siguientes son patentes que afectan o afectarían a este proceso si se desea proteger.

2.3.1 Síntesis y proceso, para elaborar un material plástico biodegradable

En el documento “Síntesis y proceso, para elaborar un material plástico biodegradable” WO 2016/093685 A1, presentado por el Instituto Superior Autónomo de Occidente A.C. (2016) [19], se presenta la generación de un plástico biodegradable a base del mucílago de *Opuntia ficus-indica* (64g), grenetina (18g), cera de Candelilla (9g) y glicerina (9g).

2.3.2 Flexible elastomer articles and methods of manufacturing

En la patente US20040091504A1 “Flexible elastomer articles and methods of manufacturing” [30] hacen uso de extractos botánicos (aloe vera, kepler, okra, chia, nopal, etc.) para la síntesis de elastómeros. Diferentes capas de elastómeros (alternados con poliuretano, silicona, etc.) son usados para crear guantes quirúrgicos y artículos médicos (catéteres, condones, etc.).

2.3.3 Resilient plastic material and process for making it

En la patente US2386264A “Resilient plastic material and process for making it” [31] del mucílago de cactáceas como el nopal, un adhesivo albuminoide como coagulante para la

estabilización del mucílago. Sintetizan un xeroplástico a través de un proceso térmico, lo colocan en un molde y al enfriarse se mantiene su forma. El plástico no es inflamable.

2.3.4 Biodegradable plastic with antibacterial property and preparation method thereof

En la patente CN101880446A “Biodegradable plastic with antibacterial property and preparation method thereof” [32] utilizan tintes antibacteriales obtenidos de diferentes plantas (loto, caléndula, frijoles negros, etc.) en la síntesis de bioplástico a base de ruibarbo.

CAPÍTULO III
METODOLOGÍA

El experimento fue realizado en el laboratorio Nano 1 de la Facultad de Ingeniería, Arquitectura y Diseño (FIAD), de la Universidad Autónoma de Baja California (UABC) Campus Sauzal, Ensenada. La metodología es un mezclado y secado de un conjunto de ingredientes, es decir, la preparación de una mezcla con los ingredientes y materiales del punto 3.1 y su posterior secado en molde.

3.1 Materiales y reactivos

Para la síntesis de polímero biodegradable se empleó:

- Nopal (*Opuntia ficus-indica*)
- Glicerina
- Grenetina
- Cera de abeja
- Un termómetro
- Un termoplato
- Varilla de vidrio
- Una licuadora
- Un molde
- Balanza analítica
- Vaso precipitado
- Agitador magnético

3.2 Síntesis del plástico a base de nopal

La síntesis del material plástico biodegradable se llevó a cabo en tres partes. La primera consiste en el procesamiento de la penca del nopal descrita en la *Figura 1*, la segunda es la integración que consistió en preparar una mezcla total de cera, glicerina, nopal y grenetina pasando por distintos tiempos de agitación y temperatura, descrita en la *Figura 2* y por último la tercera parte del proceso es el moldeado, secado y desmolde representado en la *Figura 3*.

A continuación, se describen a detalle cada parte que integran esta síntesis.

El procesamiento de la penca del nopal que consiste en limpiar y licuar la penca de nopal hasta lograr una mezcla homogénea proceso que se describe de manera gráfica en la *Figura 1* a continuación en las siguientes secciones A) donde es necesario retirar las espinas de las pencas del nopal, B) posteriormente se enjuaga y cortar en trozos para ser licuado sección C) donde se agregan de 5 a 15 ml de agua según su densidad hasta lograr incorporar una solución homogénea, sección D) se pesan 64 gr de esta solución homogenizada para un posterior proceso descrito en la *Figura 2*.

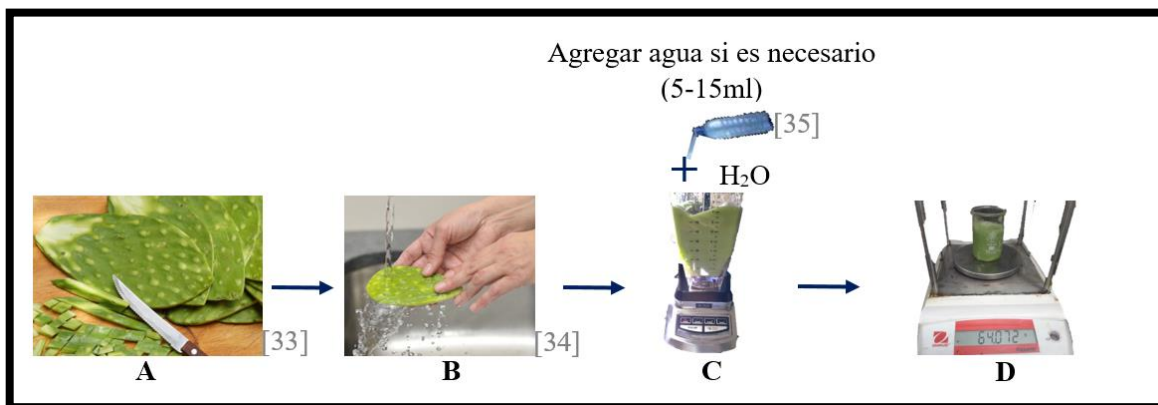


Figura 1. Procesamiento de la penca de nopal.

Segunda sección del proceso, la integración.

En la *Figura 2* en la sección A) se tienen los 64 gr de esta solución previamente pesada a la que se le agregaron 18 gr de grenetina y se agitó con una varilla de vidrio hasta conseguir una mezcla verde homogénea, B) luego se calentó dicha mezcla a 70°C por 10 minutos con agitación, C) después se agregaron 9 gr de glicerina y 9 gr de cera de abeja a la mezcla, D) luego se calentó por 15 minutos a 90°C con la misma agitación.

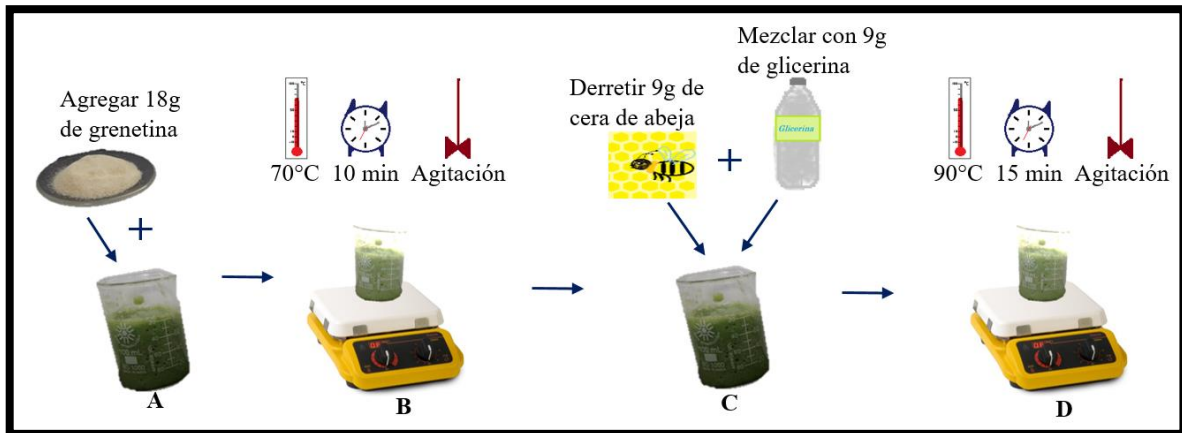


Figura 2. Integración de la mezcla cera/glicerina a la mezcla nopal/grenetina.

A continuación, se presenta la tercera parte de la síntesis, el moldeado, secado y desmolde representado en la *Figura 3* que consistió en verter la mezcla final de la *Figura 2* en moldes pre determinados para tratar de estandarizar el grosor del polímero sintetizado, para su posteriormente al depósito es secado por 48 horas y retirado del molde, para dejarlo secar por los 5 días siguientes.

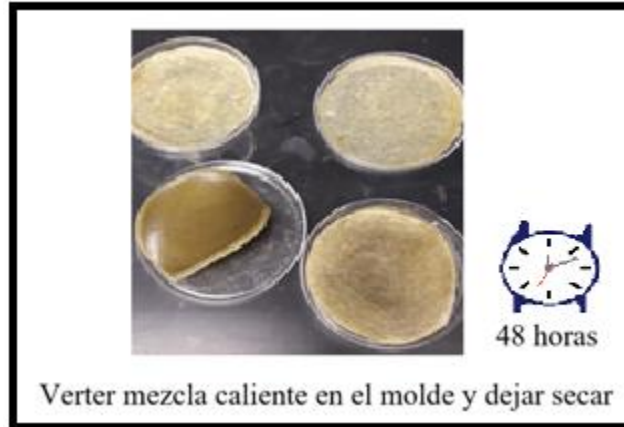


Figura 3. Moldeado, secado (48 horas) y desmolde.

3.3 Prueba biodegradabilidad

Un trozo del plástico se colocó en un lugar propicio para el desarrollo de bacterias, así como se procuró la exposición a las condiciones climatológicas y de radiación solar habitual de algunos de estos plásticos para la zona noroeste del país, específicamente se realizó en un jardín de hogar. Tomando fotografías del antes y el después para documentar la degradación del plástico a través del tiempo, un periodo de prueba de 30 días, *prueba 1*.

Los ambientes de exposición de las muestras documentadas por 9 días, *prueba 2*, fueron lugares como el baño, refrigerador, ventana, lavaplatos, maseta (con tierra y planta), bolsa plástica de camiseta dejada en exterior, bolsa plástica de cierre hermético marca Ziplo, y otra en bolsa plástica con cierre hermético al cual se dejó entre abierto, dentro de una casa con exposición al viento exterior, contacto con personas y expuesto a pelaje felino. La diferencia de las muestras de la *prueba 1* con las de la *prueba 2* es la distribución de la mezcla en el molde, en *prueba 2* se realizó con un grosor más delgado y uniforme.

3.4 Prueba mecánica

Las pruebas mecánicas se llevaron a cabo en las instalaciones de la compañía Samsung en el departamento de pruebas mecánicas, ubicados en Tijuana, B. C., con el fin de caracterizar los productos de la síntesis.

Las pruebas mecánicas a las que se sometió el bioplástico sintetizado fueron pruebas de resistencia a la tensión, a la compresión, al impacto, entre otras, son pruebas destructivas estándares que se aplican a los materiales para evidenciar su comportamiento y resistencia a la deformación y/o rotura, debido a su sometimiento a distintas fuerzas externas, estas pruebas son importantes en el diseño de dichos materiales ya que estos serán o son aplicados a un determinado propósito en donde su funcionamiento y desempeño depende de su resistencia a la deformación bajo la influencia de distintas fuerzas a las que se enfrentara, así se garantiza que el material es adecuado para la aplicación a la que se destine [36-41].

Una prueba de tensión se define, como un ensayo que permite conocer las características de un material cuando se somete a esfuerzos de tracción [42]. Es una de las pruebas más comunes que se aplica a materiales para conocer sus propiedades como resistencia, modulo elástico, endurecimiento por deformación [43]. En si consiste en someter al material a un estrés, una tensión para conocer su rotura [44-45]. Dicha rotura suele representarse como un valor al cual el material presenta una deformación, dicha deformación se refiere a la diferencia de geometría que presenta antes y después de ser sometido a un esfuerzo de carga, se le conoce como deformación elástica al alargamiento de enlaces atómicos, mientras que la deformación plástica implica el reacomodo de enlaces [46], en otras palabras, la deformación elástica es aquella que resulta temporal, es decir, al quitar el esfuerzo aplicado el material recupera su estado inicial, mientras que la deformación plástica resulta no recuperable, ésta deformación

suele comenzar con una fase de deformación elástica [47-48]. Se puede definir la deformación real total como la suma de una deformación elástica y una deformación plástica [49].

CAPÍTULO IV

RESULTADOS

4.1 Prueba biodegradabilidad

Muestra con 30 días de exposición, prueba 1

Los resultados obtenidos del estudio realizado al plástico sintetizado expuesto por 30 días a condiciones propensas a las bacterias muestran un plástico flexible y resistente.

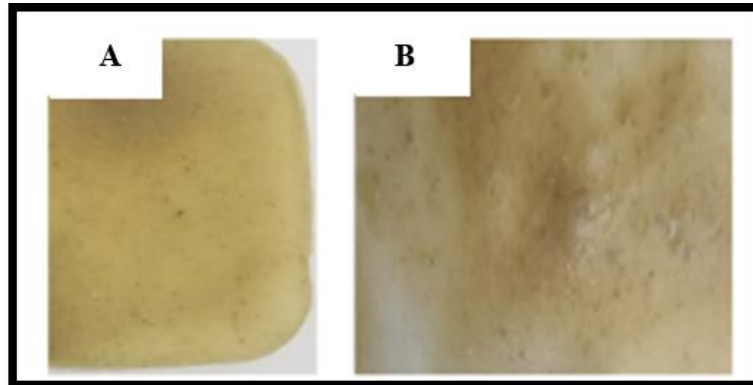


Figura 4. Plástico biodegradable A) con la forma del molde donde se secó por 48 horas, B) un acercamiento al plástico al estirarlo.

Como se observa en la *Figura 4* se presenta un grosor irregular de la película plástica, que se ve reflejado en el color verde claro con manchas oscuras del material. Esta característica no deseada se podría mejorar al momento de verter la mezcla sobre el molde, aunque se advirtió cierta dificultad para esparcir la mezcla caliente sobre el molde (ya que fue de manera manual) porque ésta se enfriaba y endurecía con relativa rapidez. Para evitar grosores y colores no homogéneos en el plástico biodegradable, se propone el uso de moldes de dos caras, con el cual se controle el espesor y relieve de la mezcla y que se abra para dejar secar.

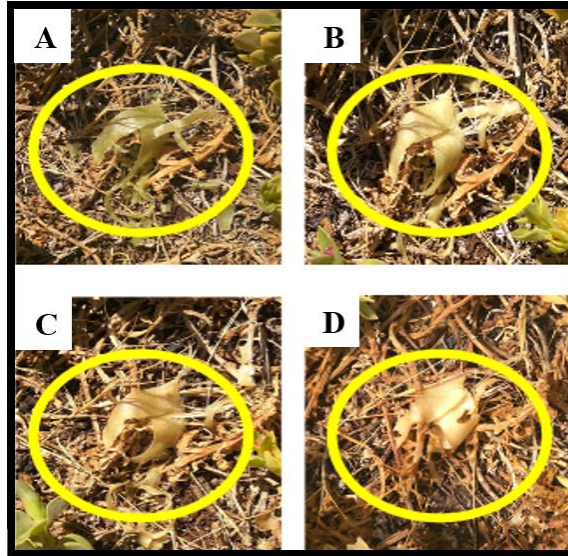


Figura 5. Resultados de la prueba de biodegradabilidad del plástico sintetizado: A) primer día, B) 5 días después, C) 10 días después D) 14 días.

Los resultados indican una degradación satisfactoria del plástico biodegradable. Como se observa en la figura 5 la contaminación de este tipo de plásticos en la naturaleza desde el día 1 se integra visualmente a la misma con apariencia de una hoja verde y conforme pasan los días luce como una hoja seca en degradación, La prueba de biodegradabilidad a la intemperie muestra que la radiación solar decolora rápidamente el plástico, como se puede observar en la *Figura 5B*. A partir de la segunda semana, el plástico empieza a presentar agujeros, *Figura 5D*, los cuales se incrementan a los 30 días, cambiando a un color café más oscuro, simulando una hoja seca ver *Figura 6*.



Figura 6. Resultado al mes de la prueba de biodegradabilidad del plástico sintetizado, la muestra fue colocada en un jardín.

Muestra con 9 días de exposición, prueba 2

Las muestras solo fueron capturadas el día 1, 5 y 9 de exposición.



Figura 7. Fotografía del producto sintetizado en el molde de la prueba 2.

En la *Figura 7* se ilustra otra muestra sintetizada, *prueba 2*, en donde se aprecia una mayor uniformidad en color y grosor, esto debido a que el vaciado fue más cuidadoso e

inmediatamente tras finalización de la síntesis y sin perturbar su reposo, lo que hace a este paso importante para considerar a la hora de dar forma.

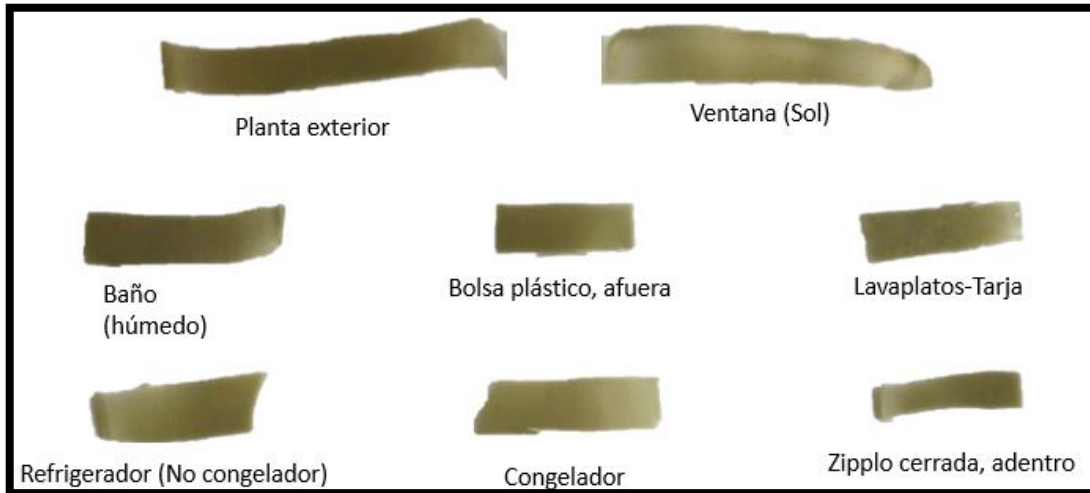


Figura 8. Fotografías de la *prueba 2*, antes de ser colocado en los lugares descritos.

En la *Figura 8* se ilustran trozos de la muestra de la *Figura 7*, los cuales fueron colocados en los respectivos lugares que se indican. En la *Figura 9* y *Figura 10* se muestran los trozos a cuatro y nueve días después de su síntesis, respectivamente, sin embargo, a simple vista no hay aún cambios visibles, con excepción de la muestra colocada en *ventana* y la muestra colocada en una *planta exterior*, en ellas se observa un cambio en su posición en referencia a la estructura visual que presenta, el motivo de ello se debe a la exposición del Sol y de la humedad del medio, principalmente, lo que concuerda a su vez con las muestras de la *prueba 1*, las cuales fueron expuestas al intemperie, recibiendo también luz solar directa y humedad, además de estar más propensas a un contacto directo con microorganismos, bacterias por ejemplo, e insectos, los cuales aceleran la degradación.

Las restantes muestras colocadas en los otros lugares se mantuvieron no solo visualmente iguales, sino que al tacto presentaban una ligera rigidez, especialmente las colocadas en *refrigeración*. En cambio, las muestras *de la ventana y planta exterior* su rigidez disminuía un poco con el calor, en el caso de la colocada en una *planta exterior*, expuesta a la lluvia, presento una ligera viscosidad pasado varios días en agua, *Figura 10A y 10B*.

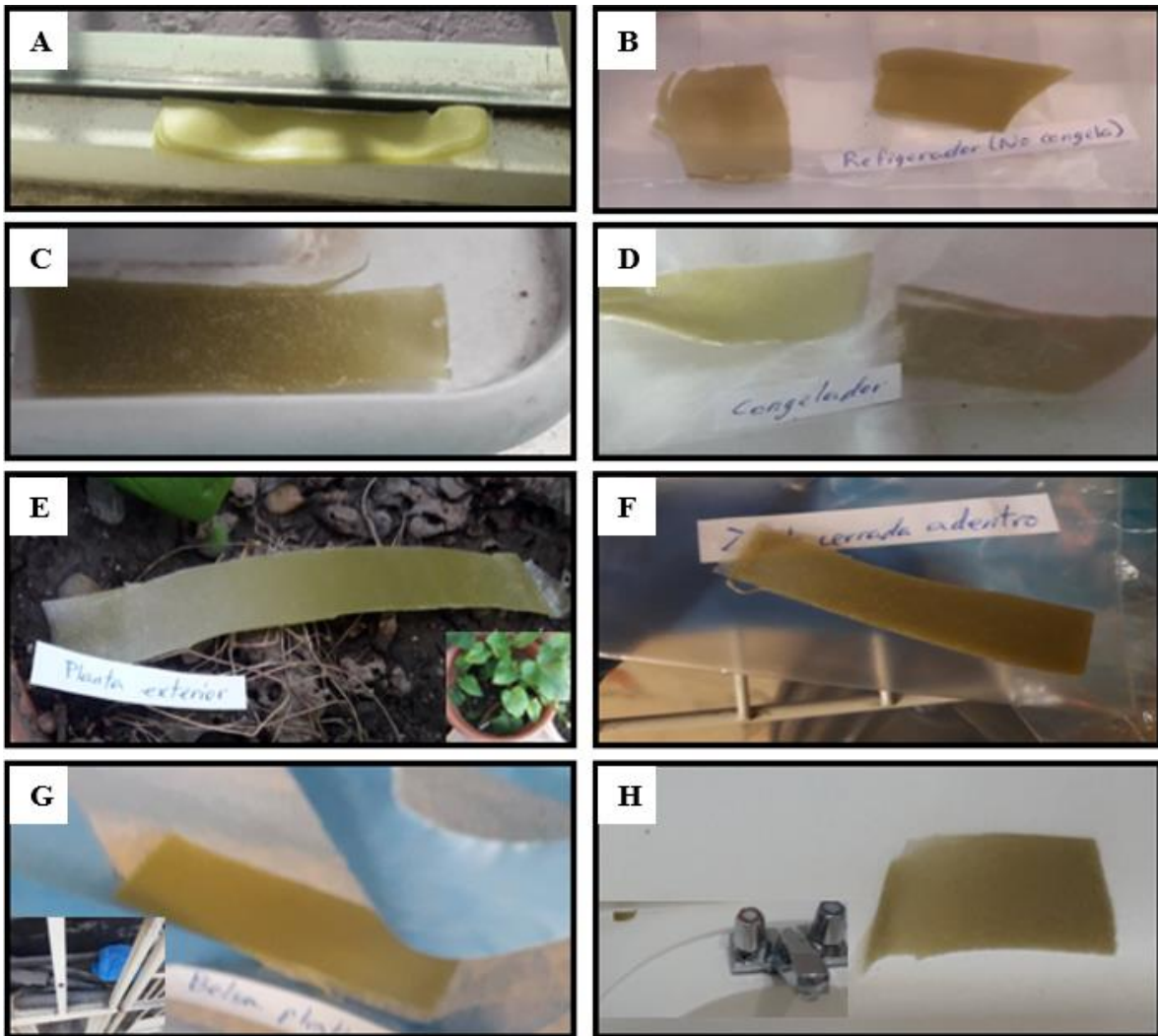


Figura 9. Fotografías de la *prueba 2* a 5 días de exposición al ser colocado en los lugares descritos, de izquierda a derecha y de arriba abajo: ventana (A), refrigerador (B), lavaplatos-tarja (C), congelador (D), planta exterior (E), ziplo cerrada (F), bolsa plástica en exterior (G) y baño (H).

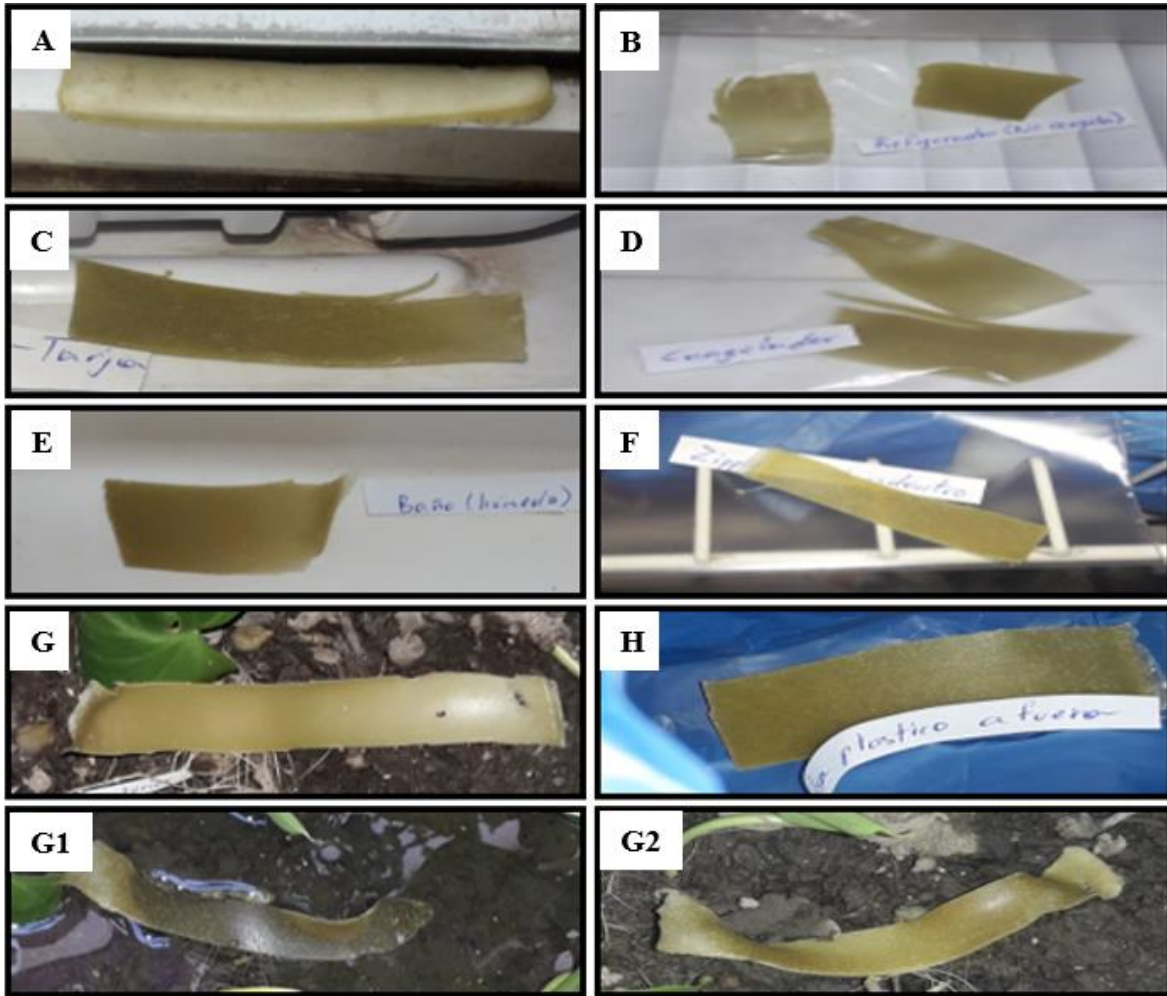


Figura 10. Fotografías de la prueba 2 a 9 días de exposición al ser colocado en los lugares descritos, de izquierda a derecha y de arriba abajo: ventana (A), refrigerador (B), lavaplatos-tarja (C), congelador (D), baño (E), zipplo cerrada (F), planta exterior (G), bolsa plástica en exterior (H), G1 y G2 en planta exterior tras 15 y 16 días de exposición, respectivamente.



Figura 11. Fotografía de *prueba 2* pasado 120 días dentro de una bolsa plástica de cierre hermético parcialmente abierto.

La *Figura 11* es una muestra que se colocó en una bolsa de plástico con cierre hermético parcialmente abierto, la cual se expuso al interior de una casa con contacto con aire exterior, humedad, sol y ambiente contaminado con pelaje felino, a pesar de que haya estado semi cerrado, la proliferación de microorganismo fue rápida, lo cual pudo deberse a que también estuvo en contacto directo con piel de distintas personas, al finalizar los cuatro meses la textura, a través de la bolsa tenía distintas características, la parte cercana al cierre, al exterior, presentó una textura grisácea y seca, mientras que en la parte superior se presentó una textura amarillenta con consistencia viscosa parecida a la miel, junto a aglomerados negros. La consistencia viscosa puede deberse a los componentes de glicina y al mismo jugo del nopal, la parte seca y gris puede deberse al secado del producto en esa zona junto a acumulación de polvo del exterior, cabe mencionar que esta zona seca dejaba apreciar la grenetina, como puntos, y betas de la cera de abeja.

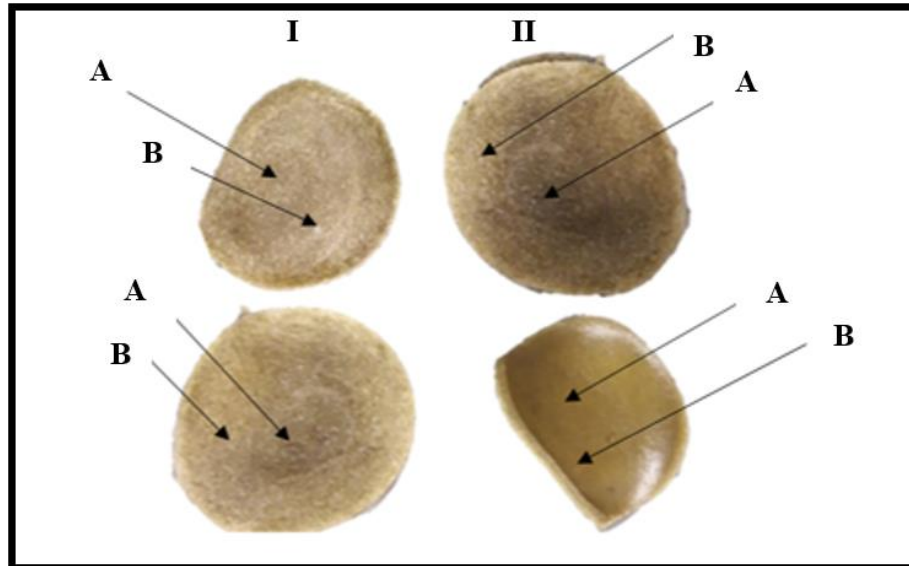


Figura 12. Muestras de plástico biodegradable con la forma del molde donde se secó por 48 horas. Grosor aproximado a 1/8 cm y 1 cm, I y II, respectivamente.

A) Color verde con tonalidades color cafés amarillentas, debido al color nativo del nopal.

B) Puntos pequeños de color blanco y/o beige debido a la cera animal.

En la *Figura 12* se ilustra muestras colocadas en un molde circular con un grosor aproximado de 1/8 cm y 1 cm, I y II respectivamente. Al observar con atención se pueden apreciar los colores característicos de algunos insumos empleados, como lo son el nopal, *12A*, y cera animal, *12B*.

4.2 Prueba mecánica

Tabla 1: Resultados de las pruebas mecánicas realizadas por Samsung a dos muestras, M1 y M2, del plástico. Se aprecia los valores del espesor de distintas áreas * (e), el espesor promedio (\bar{e}), la distancia de prueba (DP) y la rotura (rup). Herramientas utilizadas: Vernier, maquina medición 3D (micro-Vu), PushPull (Shimpo).

<i>M</i>	<i>E</i>	\bar{E}	DP mm	rupKgf
	1.94			
<i>M1</i>	1.95			
	2.07	2.015	20	6.31
	2.1			
	0.78			
<i>M2</i>	0.82			
	0.67	0.825	20	3
	1.03			

* Las muestras no están uniformes por esa razón se sacó un promedio del grosor del material.

La distancia en la que se realizó la prueba fue a 20mm.

En la *Tabla 1* se muestran los resultados obtenidos al realizar las pruebas a dos muestras del plástico, en donde una muestra con un espesor promedio de 2.015 mm una tensión de rotura de 6.31 kg f, mientras la otra muestra de 0.825 de espesor tuvo una tensión de rotura de 3 kg f. Estos valores de roturas si se comparan con los obtenidos con bolsas no biodegradables o con bolsas biodegradables, como expresan en (*Remersaro, J.; et al. 2010*)[50], ver *Anexo Tablas Espesor-Rotura*, son semejantes, buenos en términos de resistencia, sin embargo, si se observa el espesor promedio, 0.023 mm en dicho artículo con el 2.015 o el 0.825 mm, se aprecia

notablemente una diferencia, entre más uniforme y delgado sea el grosor será mejor la resistencia en el sentido de que la tensión se realizara más uniforme a lo largo del material, tanto viéndolo del lado ahorrativo en recursos como en el ahorro de espacio y estética, más si se aplica a un producto bien formado, como son las bolsas. Cabe mencionar que las síntesis de las muestras de la *prueba 2* presentaron una mayor uniformidad en el molde, sin embargo, no se realizaron pruebas mecánicas de éstas.

Con lo anterior se puede saber que el polímero sintetizado reacciona con el medio ambiente de una forma favorable en términos de degradación, siendo así un polímero biodegradable, el moldeado es fácil en los primeros minutos tras finalizar la síntesis, lo que nos indica que es posible darle diversas formas. La cera de abeja es la principal responsable del endurecimiento rápido, debido a su alta temperatura de fusión (90°C).

El lado negativo, en términos de almacenamiento ya sea como muestras o viendo su aplicación como polímero para la fabricación de bolsas practicas u otros productos de un solo uso, es que como se observa en la *Figura 4* y *Figura 11*, el ataque de microorganismos, especialmente bacterias, ya que son las principales degradadoras de la materia, es muy rápido, lo que presentaría un problema en su ya dicho almacenamiento o en caso posible de su comercialización.

CAPÍTULO V

CONCLUSIONES Y TRABAJO A

FUTURO

5.1 Conclusiones

Se logró sintetizar un polímero biodegradable a base de nopal (*Opuntia ficus-indica*).

Se obtuvo una degradación favorable del plástico de nopal tanto para las muestras expuestas al ambiente durante 9 días y las muestras expuestas durante 30 días, en ambas al pasar de los días se apreciaba un cambio notable en la coloración, especialmente en la muestra expuesta por 30 días la incorporación del residuo de plástico en ambientes naturales sucedió desde el día 1 debido a su coloración natural, dificultando su identificación visual en comparación a su entorno. Con ello se concluye que se logró una estandarización de síntesis amigable con el medio ambiente para la elaboración de un producto plástico biodegradable a base de nopal.

Considerando los resultados se llega a la conclusión de que el material sintetizado puede ser mejorado modificando variables en el proceso de síntesis, como puede ser las cantidades de cera o glicerina, así como la forma en que se realiza el vaciado para el moldeado y el molde mismo, para obtener un producto más funcional, es decir, es fácil darle forma al producto si se tiene cuidado en su etapa de moldeado-secado, debido que el grosor y uniformidad tienen lugar aquí. Como último, también se logró identificar problemas a resolver en futuros trabajos, como es el espesor, debido a que este al ser más grueso y no uniforme se crea un material que no resiste uniformemente la tensión además de que un espesor muy grueso dificultaría algunas posibles aplicaciones como lo son las bolsas, otros puntos de posible mejora es el método de modelado, las cantidades óptimas de los recursos para diferentes fines, ya sea algo blando o más rígido, aquí se puede jugar con la cera especialmente ya que es la que da mayor rigidez, y el problema de crecimiento bacteriano, que, si bien se quiere que sea degradable, si se ha de sacar un producto puede prolongar un poco más la vida útil de éste.

5.2 Trabajo a futuro

Para un total cumplimiento de los objetivos se propone un trabajo a futuro para realizar una revisión bibliográfica para proponer diversas alternativas para la mejora del proceso base que se tiene, proceso trabajado previamente, para encontrar las cantidades optimas de los reactivos, así como la posible modificación de éste, incluyendo la forma de llenar el molde, en el sentido de optimizar velocidad y forma. Los insumos que se proponen emplear se esperan que sigan siendo todos de origen natural con nula o mínima intervención de procesos químicos previos, y de igual forma que el insumo base sea regional.

De igual manera, es importante estandarizar el proceso de elaboración para así sintetizar un plástico a base de nopal por química verde que posea propiedades antibacterianas, para ello se tiene la propuesta de un trabajo a futuro en donde se agreguen nanopartículas que confieran estas propiedades, pudiendo ser nanopartículas de óxido de zinc (ZnO), y a la vez ser su obtención por medio de un agente reductor y estabilizador.

Referencias bibliográficas

- [1] Comisión Europea (28 de mayo de 2018). *Single - use plastics*. Consultado el 23 de octubre de 2018 en: https://ec.europa.eu/commission/news/single-use-plastics-2018-may-28_en
- [2] EXCELSIOR (24 de marzo de 2019). *Medio país veta plásticos; proponen uso de materiales biodegradables*. EXCELSIOR, consultado el 01 de abril de 2019 en: <https://www.excelsior.com.mx/nacional/medio-pais-veta-plasticos-proponen-uso-de-materiales-biodegradables/1303496#view-1>
- [3] García, Jayme (17 de julio de 2018). *Aprueba Cabildo de Ensenada prohibir uso de bolsas de plásticos en establecimientos comerciales*. La Frontera, consultado el 23 de octubre de 2018 en: <https://www.frontera.info/EdicionEnLinea/Notas/Ensenada/17072018/1357598Aprueba-Cabildo-de-Ensenada--prohibir--uso-bolsas-de-plasticos-en--establecimientos-comerciales.html>
- [4] Rochefort, D.; Leech, D. ; Bourbonnais, R. (2004). *Electron transfer mediator systems for bleaching of paperpulp*. Green Chem. 2004,6, 6-14
- [5] Manahan, S. *Introducción a la química ambiental*. Primera edición. Editorial Reverté. México. Pág. 8.
- [6] Doria Serrano, M. (2009). *Química verde: un nuevo enfoque para el cuidado del medio ambiente*. Educación Química, 20(4), 412–420.
- [7] Anastas, P.; Kirchhoff M. (2002). *Origins, Current Status, and Future Challenges of Green Chemistry*. Acc. Chem. Res., Vol.35, pp. 686-694.
- [8] Warner J.; Cannon A.; Dye K. (2004). *Green chemistry*. Environ. Impact Assess. Rev., (24), 775-799.
- [9] Hutchings G. (2007). *A golden future for green chemistry*. Catal. Today, (122), 196-200.
- [10] Morales, M.; Martínez, J.; Reyes, L.; et al. (2011). *¿Qué tan verde es un experimento?* Educación química, 22(3), 240-248.
- [11] Reyes, L. (2012). *Aporte de la química verde a la construcción de una ciencia socialmente responsable*. Educación química, 23(2), 222-229.
- [12] García, F.; Dobado, J. (2008). *Química sostenible: una alternativa creíble*. An. Quím., 104(3-9, 205-210
- [13] Segura, D.; Noguez, R.; Espín, G. (2014). *Contaminación ambiental y bacterias productoras de plásticos biodegradables*. Biotecnología, (14), 361-372

- [14] Meneses, J.; Corrales, C.; Valencia, M. (2007). *Síntesis y caracterización de un polímero biodegradable a partir del almidón de yuca*. Rev. EIA. Esc. Ing. Antioq no.8 Envigado July/Dec. 2007. On-line versión ISSN 2463-0950
- [15] Biodegradable. (2000). *Diccionario de ecología: paisajes, conservación y desarrollo sustentable para Latinoamérica*. Atenas/Grecia.
- [16] Biodegradable. *Diccionario de la Real Academia Española*. España. Visto en línea el 11 de julio de 2019.
- [17] Labeaga, A. (2018). *Polímeros biodegradables. Importancia y potenciales aplicaciones (Master)*. Universidad Nacional de Educación a Distancia.
- [18] Kiesling, R. *Origen, domesticación y distribución de Opuntia ficus-indica*. Instituto de Botánica Darwinion. Argentina. Consultado el 24 de junio de 2019 en http://jpacd.org/downloads/Vol3/RAC_2.pdf
- [19] Instituto Superior Autónomo de Occidente A.C. (2016). *Mezcla y proceso, para elaborar un material plástico biodegradable*. México. WO 2016/093685 A1.
- [20] Pascoe, S.; Martínez, C.; Varela, J. (2013). *Formulación de una película plástica utilizando nopal verdura spp*. Universidad del Valle de Atemajac, 15 págs.
- [21] UNAM. (29 de septiembre de 2013). *El plástico de nopal (una alternativa sustentable)*. Recuperado de: www.feriadelasciencias.unam.mx/anteriores/feria21/feria118_01_el_plastico_del_nopal_una_alternativa_sustentable.pdf
- [22] Parker, Laura. (20 de diciembre 2018). *Fast facts about plastic pollution*. National Geographic. Consultado el 23 de octubre de 2018 en: <https://news.nationalgeographic.com/2018/05/plastics-facts-infographics-ocean-pollution/>
- [23] Britton, Bianca (28 de marzo de 2019). *Parlamento Europeo prohíbe artículos de plástico de un solo uso*. CNN. Consultado el 01 de mayo de 2019 en: <https://cnnespanol.cnn.com/2019/03/28/parlamento-europeo-prohibe-articulos-de-plasticode-un-solo-uso/>
- [24] Reynoso, Selene (06 de febrero de 2019). *Entra en vigor la ley prohibición de bolsas de plástico a partir del 06 de marzo*. Cadena Noticias Consultado el 01 de mayo de 2019 en: <https://cadenanoticias.com/nacional/2019/02/entra-en-vigor-la-ley-prohibicion-de-bolsas-deplastico-a-partir-del-06-de-marzo>

- [25] Aguilera, Roció. (17 de mayo de 2018). *México, a la cabeza del reciclaje de plástico en América*. EL PAIS, consultado el 24 de junio de 2019 en: https://elpais.com/internacional/2018/05/16/actualidad/1526429688_205528.html
- [26] Pájaro, N; Olivero, V.; Jesús, T. 2011. *Química verde*. Universidad de Catagena. Ciencia e Ingeniería Neogranadina, 21(2).
- [27] Rodríguez, I. (2014). *Interpretación de normas internacionales de distintos ordenamientos bajo el acuerdo de obstáculos técnicos al comercio de la OMC*. Boletín Mexicano de Derecho Comparado, nueva serie, año XLVII, núm. 140, mayo-agosto de 2014, 617-648.
- [28] Cabildo, M.; Claramunt, R.; Cornago, M.; et al. (2012). *Reciclado y tratamiento de residuos*. UNED. ISBN electrónico: 978-84-362-6006-9
- [29] Nudelma, N. (2004). *Química sustentable*. Ediciones UNL. Argentina.
- [30] Curtis H. (2003). *Flexible elastomer articles and methods of manufacturing*. Estados Unidos. US20040091504A1
- [31] Roberts, P. (1943). *Resilient plastic material and process for making it*. Estados Unidos. US2386264A
- [32] Una, S.; Song, J.; Zhang, M. (2010). *Biodegradable plastic with antibacterial property and preparation method thereof*. China. CN101880446A
- [33] Declé, D. *¿Cómo limpiar y conservar los nopales por más tiempo?* [Figura 1]. Recuperado de: www.cocinadelirante.com
- [34] Sánchez, J. *Lavar bien las pencas de nopal con agua*. [Figura 1]. Recuperado de: cocinaycomparte.com
- [35] MISSAQUAPLANET. [Figura 1]. Recuperado de: <https://www.missaquaplanet.com/wp-content/uploads/2016/05/cerveau-eau-2.jpg>
- [36] Element Materials Technology. *Materials testing Mechanical Testing Service*. element.com Recuperado el 14 de julio de 2019 de: <https://www.element.com/materials-testing-services/mechanical-testing-services>
- [37] GUNT HAMBUG. *Mechanical testing methods*. gunt.de Recuperado el 11 de Julio de 2019 de: https://www.gunt.de/images/download/Mechanical-materials-testing-methods-basic-knowledge_english.pdf

- [38] Conseco de la Cruz, R.; Camarillo, K.; Silva, A.; Lesso, R. (2011). *Experimentación y análisis por MEF del comportamiento de hiperelástico en materiales usados en calzado deportivo*. Ingenier. Mecáni. Tecnolog., 4(1), México.
- [39] Groover, M. (1997). *Fundamentos de manufactura moderna. Materiales, procesos y sistemas*. 1ª Edición. Practice-Hall.
- [40] Hibbeler., R. (2006). *Mecánica de materiales*. Sexta edición. Practice-Hall. México.
- [41] UNAM. *Servicios. Laboratorio de Pruebas Mecánicas*. fata.unam.mx Recuperado el 11 de julio de 2019 de: http://www.fata.unam.mx/servicios/pruebas_mecanicas/info
- [42] Quintanilla, P.; Rivera, Y.; Muñoz, Y.; Castillo, T. *Análisis de Prueba Mecánica de Tensión de aluminio 6061 bajo diferentes condiciones de método, tratamiento térmico y acabado superficial*. CIO, México.
- [43] Kalpakjian, S.; Schmid, S. (2002). *Manufactura, ingeniería y tecnología. Cuarta edición*. Pearson educación. México.
- [44] Hsu, J.; Michael, J.; Fisk, J. (2009). *AAOS. Atlas de ortesis y dispositivos de ayuda*. Cuarta edición. ELSEVIER MOSBY.
- [45] CYTI. *Ensayo de Tensión*. cyti.com.mx Recuperado el 14 de julio de 2019 de: <http://www.cyti.com.mx/tension.asp>
- [46] Gonzáles, J. 2003. *Metalurgia mecánica*. Editorial Limusa
- [47] Deformación elástica. (2004). *Diccionario Ciencias de la Tierra*. Oxford-Complutense, España.
- [48] Deformación plástica. (2004). *Diccionario Ciencias de la Tierra*. Oxford-Complutense, España.
- [49] Goulet, J.; Pierre, J. (2001). *Prontuario de resistencia de los materiales*. Paraninfo. España.
- [50] Remersaro, J.; Medina, D.; Hernández, M.; Latrónica, L. (2010). *Ensayos físico-químicos para el estudio de la degradación de bolsas de supermercado*. Revista del Laboratorio Tecnológico del Uruguay. 48 - INN TEC - No. 5 – 2010

Anexo

Tablas Espesor-Rotura (Máximo)

Bolsas C				
Espesor medio (mm) 0.023				
	Tracción longitudinal		Tracción transversal	
Probeta	Máximo (Kgf/mm²)	Elongación (%)	Máximo (Kgf/mm²)	Elongación (%)
1	3,23	348	2,49	437
2	3,7	360	2,33	398
3	4,19	335	2,62	464
4	4,12	398	2,61	460
5	3,84	327	2,44	469
Promedios	3,816	353,6	2,498	445,6

Tabla 2. Valores de resistencia a la tracción, máximo y elongación a la rotura para bolsas tipo C, bolsas comunes [47].

Bolsas D				
Espesor medio (mm) 0.023				
	Tracción longitudinal		Tracción transversal	
Probeta	Máximo (Kgf/mm²)	Elongación (%)	Máximo (Kgf/mm²)	Elongación (%)
1	2,51	322	1,9	428
2	2,82	335	1,45	423
3	2,64	280	1,56	430
4	2,52	258	1,54	347
5	2,58	303	1,5	449
Promedios	2,614	299,6	1,59	415,4

Tabla 3. Valores de resistencia a la tracción, máximo y elongación a la rotura para bolsas tipo D, bolsas biodegradables [47].