



EDUCACIÓN

SECRETARÍA DE EDUCACIÓN PÚBLICA

Instituto Tecnológico de Oaxaca



TECNOLÓGICO
NACIONAL DE MÉXICO

DEPARTAMENTO DE INGENIERÍA QUÍMICA Y BIOQUÍMICA

“2020, Año de Leona Vicario, Benemérita Madre de la Patria”

REG-8510-08 Rev.01

INSTITUTO TECNOLÓGICO DE MÉXICO CAMPUS OAXACA

“Desarrollo de láminas a base de hoja de elote (*Zea Mays*) para la elaboración de vasos biodegradables”

TESIS PROFESIONAL
PARA OBTENER EL TÍTULO DE
INGENIERO QUÍMICO

PRESENTA:

GUSTAVO ALONSO SANTAELLA RIOS

OAXACA DE JUÁREZ, OAX., MES DEL 2021



Av. Ing. Víctor Bravo Ahuja #125 esq.clz Tecnológico.C.P.68030.Oaxaca, Oax.
Tels. (951)5015016. Email: jefatura.quimica@itoxaca.edu.mx
Página oficial: www.oaxaca.tecnm.mx



Número de Registro: RPHL-072
Fecha de inicio: 2017-04-10
Término de la certificación: 2021-04-10

Agradecimientos.

Agradezco a la vida por darme el tiempo, salud y perseverancia para alcanzar una meta más en mi vida.

Le doy gracias al departamento de Química y Bioquímica del Instituto Tecnológico de Oaxaca por haberme dado las facilidades para la realización de este proyecto pese a la situación en la que nos encontramos.

Gracias a mis asesores la M. en C. Aymara Judith Díaz Barrita y al Dr. Marco Antonio Sánchez Medina por permitirme la estadía en sus laboratorios, además de los consejos y dedicación a este trabajo.

Agradezco de manera infinita a mis padres María del Carmen Rios Santiago y Virgilio Alonso Santaella Rivas a quienes fueron mi guía y soporte durante la carrera, a quienes sin duda puedo decir que este título universitario es nuestro y no solo mío. A mi Hermanito Esau, que a pesar de ser tan diferentes sepa que lo quiero mucho y que espero que tenga el éxito que se merece.

Agradezco a mi “Welita Chayo” quien falleció al iniciar la carrera, pero su recuerdo y amor me animaba cada vez que mi alma y mi ser querían claudicar, su presencia me acompaña hoy y siempre.

A mis amistades que me hicieron pasar los mejores momentos de la carrera con su compañía, viajes y diversión. Que me hicieron generar lazos que espero tener por mucho tiempo.

Un agradecimiento final a todas las personas que estuvieron en mi vida, incluso a las que han llegado o llegaran. Aunque sea un instante, ellos me hicieron madurar y crecer como estudiante, profesionalista y también personalmente.

Gracias Tavito, por no rendirte, que la vida te seguirá dando muy malos momentos pero siempre dependerá de ti hacerlos maravillosos, recuerda la frase “todo lo que siempre has querido está del otro lado del miedo”. Eres muy inteligente, espero que la vida nos permita tener más alegrías en nuestro futuro.

RESUMEN

Los materiales usados comúnmente para la elaboración de vasos son generalmente no biodegradables o el proceso de degradación suele ser muy tardado de acuerdo a la composición del vaso. La demanda de materiales no biodegradables va en descenso, aumentando políticas medio ambientales que prohíben su uso.

El presente trabajo expone el proceso de elaboración y preparación de una lámina de hoja fresca de elote que tenga características impermeables y que presente buena resistencia mecánica.

Se caracterizó bromatológicamente la hoja de elote y posteriormente se realizaron las láminas. Para ello, se partió de un lote de hojas frescas de elote, las cuales se, seleccionaron, molieron y moldearon hasta conseguir láminas delgadas. Por otro lado, se elaboraron películas comestibles a diferentes concentraciones de mucilago de nopal, se determinó solubilidad en las diferentes películas. Por último, la película se adhirió a la lámina y se evaluó permeabilidad.

El grosor promedio de las láminas obtenidas fue de 0.9982 mm. Las mezclas de películas mejor evaluadas fueron M3 y M2, siendo la última de estas la que presentaba mejores características para ser adherida a la lámina. La película M2 tuvo un grosor de 0.0356 mm y un tiempo de solubilidad en agua de 5:32 h.

Para emitir un resultado, se realizaron pruebas de adición lamina-película evaluando las principales condiciones en las que no se deformó, maltrató y no presentó fallas estructurales.

INDICE GENERAL

	Página
ÍNDICE DE FIGURAS	6
INDICE DE TABLAS	7
INTRODUCCIÓN.....	8
OBJETIVOS	10
JUSTIFICACIÓN	11
I. MARCO TEÓRICO.....	12
1.1. Maíz (Zea mays).	12
1.1.1. Botánica del maíz	13
1.1.2. Subproductos del maíz.....	15
1.2. Nopal (Género Opuntia).....	16
1.2.1. Botánica del nopal.....	18
1.2.2. Usos del nopal	19
1.3. Películas comestibles.	22
1.3.1. Definición.....	22
1.3.2. Clasificación de las películas comestibles	23
1.3.3. Uso e importancia de las películas comestibles	25
1.4. Elaboración de vasos.....	28
1.4.1. Características y tipos de vasos.....	28
1.4.2. Proceso de elaboración de vasos	31
1.4.3. Problemática e impacto sobre el uso de plástico de un solo uso	34
II. DESARROLLO EXPERIMENTAL.....	37
2.1. Análisis bromatológico de lámina a base de hojas de elote.....	42
2.1.1. Determinación de humedad	42
2.1.2. Determinación de extracto etéreo	43
2.1.3. Determinación del contenido de proteína	43
2.1.4. Determinación del contenido de cenizas	44
2.1.5. Determinación de fibra cruda.....	44
2.1.6. Determinación de carbohidratos.....	45
2.2. Elaboración de lámina a base de hojas de elote.....	37
2.3. Elaboración de película grado alimenticio a base de nopal.....	46
2.3.1. Selección del nopal.....	46

2.3.2.	Extracción de mucílago de nopal en solución acuosa	47
2.3.3.	Elaboración de película a base de mucílago de nopal	47
2.4.	Caracterización física de la película de comestible a base de mucilago de nopal. ⁴⁸	
2.4.1.	Determinación del grosor de la película.....	48
2.4.2.	Determinación de la solubilidad de la película.....	48
2.4.3.	Determinación del peso de la película.....	49
2.4.4.	Pruebas de adherencia de la película comestible a la lámina de elote ..	49
III.	Resultados y discusiones	50
3.1.	Análisis bromatológico de las hojas de elote.....	50
3.2.	Elaboración de películas comestibles.	52
3.3.	Evaluación de la película.....	54
3.3.1.	Grosor de la película.....	54
3.3.2.	Solubilidad de la película.....	56
3.3.3.	Peso de la película.....	57
3.3.4.	Adherencia de la película comestible a láminas de hoja de elote.....	58
	CONCLUSIONES.....	59
	SUGERENCIAS	60
	BIBLIOGRAFÍA.....	61
	ANEXOS.....	66

ÍNDICE DE FIGURAS

Página

Figura 1. 1 Diferentes partes de una planta de maiz	14
Figura 1. 2 Partes de una planta de nopal.....	18
Figura 1. 3 Tipos de vasos desechables.....	31
Figura 1. 4 Diagrama de los pasos del proceso productivo.....	32
Figura 2. 1 Diagrama general del proceso de producción de las láminas (autoría propia).....	37
Figura 2. 2 Hojas y materia inservible separadas del costal.	38
Figura 2. 3 Ebullición de las hojas de elote.	39
Figura 2. 4 Hojas de elote en proceso de lavado.	40
Figura 2. 5 Hojas trituradas en molino-triturador tipo holandés.	40
Figura 2. 6 Proceso de moldeado.	41
Figura 2. 7 Proceso de lisado.	41
Figura 2. 8 Variedades de nopal utilizadas para la extracción de mucílago.	46
Figura 3. 1 lamina a base de hojas de elote.....	50
Figura 3. 2 Películas comestibles de mucílago de nopal en diferentes concentraciones: a) M1, b) M2, c) M3, d) M4, e) M5.	54
Figura 3. 3 Pruebas de solubilidad en las películas comestibles a) M2, b) M3.	57
Figura 3. 4 Adición de la película a la lámina a) lamina de hoja de elote sin recubrir, b) lamina de hoja de elote con recubrimiento M3, c) lamina de hoja de elote con recubrimiento M2.....	58

INDICE DE TABLAS

	Página
Tabla 1. 1 Comparación de tipos de películas comestibles.	24
Tabla 2. 2 Diseño experimental para la obtención de películas comestibles a base de mucílago de nopal.....	48
Tabla 3. 1 Grosor promedio de la lámina de hoja de elote.....	50
Tabla 3. 2 Composición bromatológica porcentual de la lámina de hoja de elote.	51
Tabla 3. 3 Composición química de la hoja de maíz y del bagazo de caña. Comparación con valores publicados (Prado, 2012).	51
Tabla 3. 4 Evaluación del comportamiento de las mezclas elaboradas con mucílago de nopal.....	53
Tabla 3. 5 Medidas del grosor de la película M2.....	55
Tabla 3. 6 Espesores de películas de fécula de papa y quitosano a diferentes concentraciones (Díaz Barrita, 2004).	55
Tabla 3. 7 Solubilidad de las películas de mucilago de nopal en agua.	56
Tabla 3. 8 Comparación de peso promedio de muestra seca de la película comestible.....	57

INTRODUCCIÓN

El vaso desechable se dio a conocer en 1908 por el inventor estadounidense Hugh Moore. En un principio, la fabricación de vasos no era más que un accesorio de lujo con el que se vendían bebidas como pretexto, la fabricación de un vaso desechable de papel era costosa, por lo que solo se vendía y distribuía en lugares que pudiesen ser asequeables, incluso metiendo publicidad en dichos vasos como si de un medio de comunicación se tratase. Fue en 1909 cuando el uso de los vasos se empezó a distribuir como uso médico, debido a que, al no haber vasos desechables, la población americana solía consumir en una misma tasa en los lugares donde se ofrecía algún tipo de bebida, lo cual provocaba que las enfermedades se transmitieran con mayor facilidad al compartir tazas o vasos de vidrio, cerámica o algún metal. Fue de esta manera que el vaso desechable se convirtió en una cuestión de higiene y salubridad, estableciendo leyes que recomendaran el uso de vasos desechables en lugares públicos como estaciones de ferrocarril, hospitales y escuelas (CurioSfera Historia, 2020).

El vaso de plástico se dio a conocer en los años 60 por Dixie Cups, marcando un antes y un después (PUNTOQPACK, 2018). Al ser de plástico, esto generaba un menor costo de producción, debido a que los materiales plásticos estaban teniendo su auge en esa época. La fácil producción de productos de plástico es muy popular hasta la fecha, ya que, a lo largo de los años, con la apertura de los tratados de libre comercio y la globalización, se ha evidenciado la necesidad de contar con productos hechos con diferentes polímeros en los cuales también destacan los recipientes, como platos, cubiertos y por supuesto, vasos.

A medida que avanzan los programas de conciencia medio ambiental, la rentabilidad de las actividades productivas sobre plásticos depende cada vez más de la optimización de los recursos, la incorporación de nuevas tecnologías de fabricación y empleo de métodos que sustituyan materiales no degradables por nuevos que sean amables con el ambiente.

Tan solo en México, según datos de la ANIQ, y la Asociación Nacional de Industrias del Plástico (ANIPAC), estiman que el consumo de unicel es de 125 mil toneladas anuales. De las cuales 25% son destinados a la industria de alimentos y bebidas, con el uso de empaques desechables y el 75% restante, para la construcción y embalaje (Valor Compartido, 2020). Dejando este porcentaje de consumo destinado a alimentos con 31 mil toneladas aproximadas de producción. Desconociendo en las cifras los vasos de tipo PET y polipropileno, debido a que estos no son usualmente colocados en una categoría separada que se pueda contar.

Desde inicios del 2000 diferentes gobiernos han volteado su interés a la problemática que representan los plásticos de un solo uso, buscando con ello nuevas tecnologías verdes que puedan sustituir los envases plásticos por envases que sean reciclables, reutilizables o por lo menos que tengan mayor biodegradabilidad en el medio ambiente. Debido a esto, varias industrias a inicios de la década del 2010 empezaron a crear alternativas para sustituir desechables plásticos, tal es el caso de los productos a base de celulosa como los vasos de fécula de maíz o productos “a base de plantas” los cuales solo están mezclados con algún polímero, reduciendo así su tiempo de degradación, pero no sigue siendo un producto completamente orgánico. Ocurre la misma situación en los vasos de papel, ya que, si bien se conforma por una hoja biodegradable, en la parte interna se encuentra un recubrimiento plástico que permite soportar las temperaturas altas.

Por tal motivo, el presente trabajo estableció el desarrollo de un proceso para elaborar una lámina con compuestos orgánicos que pueda ser usada a futuro para la elaboración de vasos o contenedores biodegradables, además de una película comestible con baja solubilidad al agua para adicionarla a la lámina.

En los siguientes capítulos se muestran las técnicas de elaboración para una lámina a base de hojas de elote, así como la elaboración de una película de mucílago de nopal, acompañada de otros biopolímeros, y la aplicación de la película a la lámina.

OBJETIVOS

OBJETIVO GENERAL

Elaborar láminas a base de hoja de elote (*Zea mays*), recubiertas con una película comestible con alta resistencia térmica.

OBJETIVOS ESPECÍFICOS

1. Caracterizar bromatológicamente láminas de hoja de elote (*Zea mays*).
2. Evaluar físicamente las películas comestibles a base de mucilago de nopal.
3. Elaborar una película comestible con alta resistencia térmica y baja solubilidad.

JUSTIFICACIÓN

De acuerdo con la 64 legislatura del Congreso Local, en la publicación de la reforma a Ley de Prevención y Gestión Integral de los Residuos Sólidos (Zavala, 2019), Oaxaca se coloca como uno de los estados en que impulsa la anulación de plásticos desechables de un solo uso, la cual entró en vigor a partir del 28 de junio del 2019 (Zavala, 2019). Esta reforma prohíbe adquirir y distribuir contenedores plásticos en la capital oaxaqueña, dando esto pie a encontrar alternativas que disminuyan el impacto ambiental que dichos plásticos generan, siendo los vasos de algún tipo de celulosa o de cartón una de esas alternativas más comunes al hablar de vasos biodegradables desechables.

Aunque si bien la fécula de maíz es un tipo de celulosa conveniente en la formación de vasos, no es un producto completamente orgánico al estar mezclado con polímeros. El totomoxtle, conocido comúnmente como la cáscara u hoja que cubre la mazorca del elote cuando está seco, se usa normalmente por los campesinos para dar de comer a los animales, en la elaboración de los tradicionales tamales (gob.mx, 2017), para algunas artesanías que se exponen en algunas comunidades, entre otros. La hoja de elote fresca o verde es usada como recipiente de alimentos; por ejemplo, en el centro histórico de la capital oaxaqueña, se utilizan para servir botanas populares como los “esquites” y así sustituir los vasos de unicel. La cáscara de manera natural es resistente a dicho líquido, por lo cual se consideró como materia prima para la elaboración de láminas.

Por esta razón, este proyecto tiene como intención desarrollar láminas a base de hoja de elote, que tengan las características para resistir líquidos sin que se maltrate o deforme, contribuyendo así con una alternativa más de productos biodegradables y que puedan competir con los ya existentes en el mercado, como los vasos de fécula de maíz o de papel.

I. MARCO TEÓRICO

1.1. Maíz (*Zea mays*).

El maíz o comúnmente llamado elote en México, es un alimento esencial en nuestra cultura, ya que es consumido en todo el país en toda clase de platillos, las hojas de elote, el elote y e incluso las hojas de la misma planta es utilizada como alimento para animales en el ramo de la ganadería o como abono de plantas como es el caso de la agricultura. Pero no solo es en el caso de México, el maíz goza de gran importancia económica mundial ya sea como alimento humano, para el ganado o como materia prima de un gran número de productos industriales. Cerca del 40 % del maíz producido en los países tropicales se usa para la alimentación animal, concretamente para ganado y establecimientos avícolas (Paliwal, 2001). El consumo del elote (*Zea Mays*) en México representa el principal alimento de varias familias en el país, al hablar de maíz en México se le debe de dar una importancia económica, social e incluso cultural. Se reportan en el país 64 razas de maíz, de las cuales 59 son nativas y cinco fueron descritas en otras regiones (González Amaro, 2013). En 2012 se publicó en el Diario Oficial de la Federación el acuerdo por el que se determinan centros de origen y centros de diversidad genética del maíz estableciendo como tal a los Estados de Baja California, Baja California Sur, Chihuahua, Coahuila, Nuevo León, Tamaulipas, Sinaloa y Sonora (gob.mx, 2018). En el 2017 México ocupó el octavo lugar en producción de elote a nivel mundial, pero siendo uno de los países que más lo consume.

Aunque en algunos estados de la república, como es el estado de Oaxaca se le ha dado un mayor uso, ya que aunque Oaxaca no figura en los primeros diez estados en cuanto a producción de maíz, la utilidad que se le otorga a la planta llega a ser muy extensa; desde las hojas del elote que secas (totomoxtle) sirven como cobertura para algunos alimentos o esculturas tradicionales, las hojas verdes son utilizadas en el centro de la capital oaxaqueña como recipientes de alimentos populares mexicanos. es importante mencionar que el estado posee una riqueza en variedad de maíces o hasta el silosontle que hay quienes lo remiendan en bebidas

calientes. En el estado se conocen 35 razas de maíz, de las cuales sobresalen 20 en cuanto a producción, distribuidas en el estado (Aragón Cuevas, 2011).

La región de Valles Centrales en Oaxaca, no tiene una producción tan basta de elote, la región con mayor producción es la mixteca, donde destaca Silacayoápan y Huajuapán (INEGI, 1997). Aun así, el producto llega a la capital en el mercado de la central de abastos con origen mixto, ya que hay vendedores originarios de dicha región del estado, como vendedores provenientes del estado de Puebla. Por la demanda del producto en la región de valles centrales, conseguir hojas de elote no representa mucho problema, ya que incluso el estado cuenta con centros de venta como lo son mercados, tianguis o incluso agrarios en las poblaciones cercanas a la capital que suelen cultivar el maíz para consumo o venta.

1.1.1. Botánica del maíz

El maíz es un tipo de cultivo agrícola que ha sido sembrado desde antes de la llegada de los españoles al país, por lo que conserva algunos nombres en su taxonomía que guardan el acervo náhuatl que denota un legado histórico. El maíz y sus parientes silvestres los teocintles, se clasifican dentro del género *Zea* perteneciente a la familia Gramínea o Poaceae, que incluye también a importantes cultivos agrícolas como el trigo, arroz, avena, sorgo, cebada y caña de azúcar (CONACYT - CIBIOGEM, 2019).

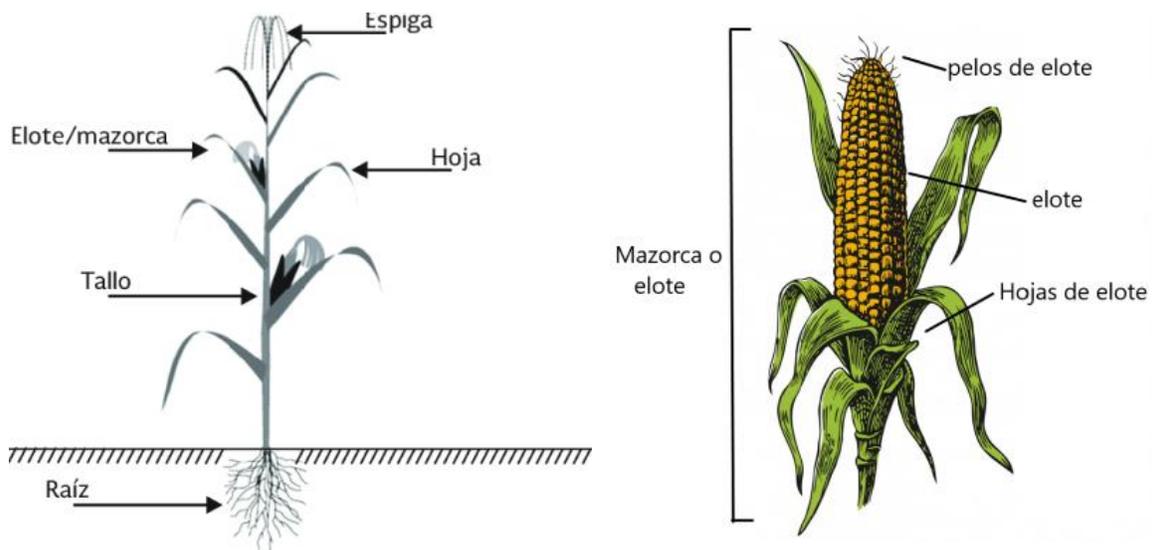
Tomando en cuenta la composición de una planta de maíz según GRUPO SACSA (Figura 1.1) tenemos:

- a) Espiga o panícula.** Siendo espiga el nombre común de a panícula, es la porción masculina de la flor. Se encuentra en lo alto de la planta y atrae a las abejas y otros insectos.
- b) Tallo.** Los tallos de maíz son el cuerpo principal de la planta. Dependiendo de la variedad, el tallo puede crecer varios metros de altura y es bastante

resistente. El tallo es bastante estable, ya que debe aguantar las mazorcas de maíz.

- c) **Hojas.** Al igual que cualquier otra planta, las plantas de maíz pueden tener numerosas hojas en el tallo. Las hojas pueden ser largas y suelen crecer poco antes de curvarse en una posición hacia abajo.
- d) **Mazorcas o elote.** Las mazorcas de maíz abarcan la seda, cáscara, granos y olote (corazón de la mazorca) de la planta de maíz. La recolección de las mazorcas se produce cuando las plantas maduran.
- e) **Seda.** La seda es parte de la parte femenina de la flor de la planta. Esta surge de la parte superior de la hoja de maíz y puede ser de color verde, amarillo o marrón, dependiendo de la variedad de maíz, seda es el nombre traducido en inglés, ya que es llamado popularmente como “pelo de elote” pero su nombre científico es “*Stigma maydis*”.
- f) **Cáscara:** La cáscara se refiere a las hojas verdes que rodean las mazorcas de maíz. Estas hojas protegen los granos del maíz, que es la porción comestible de la planta.
- g) **Raíces.** Las plantas de maíz tienen dos secciones diferentes de raíces. Las raíces aéreas crecen sólo en la parte superior del suelo, mientras que las raíces de la corona están bajo el suelo.

Figura 1. 1 Diferentes partes de una planta de maíz (Autoría propia).



1.1.2. Subproductos del maíz

Al hablar de consumo de maíz se suele hablar o pensar en los granos de elote, ya que es el consumo popular en México de dichos granos, las mazorcas (el cual es el fruto de la planta del maíz) cuando están tiernas y maduras son consideradas un manjar que tiene múltiples formas de consumo, el grano seco es molido para formar harina de la cual se puede obtener una gran variedad de productos intermedios, como la masa y posteriormente tortillas, de las cuales se desprenden una gran cantidad de alimentos que conforman a lo que la mayoría de la gastronomía mexicana respecta. Pero eso es solo al hablar del fruto del maíz, ya que realmente toda la planta es utilizada con diferentes usos en lo que respecta a la gastronomía, a la ganadería o a lo artesanal.

Algunos otros usos alimenticios en varias de las etapas de crecimiento del maíz que menciona (Ortega, 2014) son las siguientes: las espigas jóvenes del maíz que se cosechan antes de la floración de la planta tienen una buena utilidad como hortalizas. Las mazorcas se pueden tostar enteras y consumir al momento. Las mazorcas verdes del maíz común son también usadas a gran escala, tanto asadas sobre carbón o hervidas en agua con sal o cal, o sin ella. Cuando se cosechan las mazorcas jóvenes (mazorcas baby) o las mazorcas verdes, se obtiene un buen forraje (Paliwal, 2001). El maíz con los granos en estado pastoso es el más adecuado para usar como forraje ya que contiene más materia seca y elementos digeribles por hectárea que cualquier otro cultivo. Las mazorcas inmaduras y muy jóvenes se cosechan cuando los estambres están por emerger fuera de las hojas de cobertura o justo al poco tiempo de aparecer, pero siempre antes de que los estambres hayan sido polinizados (Ortega, 2014).

La planta se ha utilizado desde tiempos prehispánicos no solo con fin alimenticio ya que la variedad es dada también en usos medicinal, forrajero, combustible, ceremonial y tributario, además del uso pelo de elote y granos rojos como medicinal, olores para combustible (como material para encender y conservar el fuego), hojas y totemoxtle para artesanía y tallo de la planta como material de construcción (Estrada, 1989). Actualmente conocemos otras maneras para darle uso al maíz: los

tallos como material de construcción, las hojas secas se pueden usar para fabricar papel, las hojas de la mazorca sirven como envoltura de cigarros y tamales, en la elaboración de figuras artesanales, o en tiras angostas para rellenar colchones, y las raíces y bases de los tallos sirven como abono orgánico dejándolos en el terreno. Actualmente, el maíz se utiliza en cientos de productos industriales, es fuente de materia prima para producir almidón y derivados, como edulcorantes, aceite y alcohol (González Amaro, 2013).

Por último, cabe destacar el uso del maíz tropical como materia prima para la producción de bioetanol. Para ello se obtiene un jarabe de maíz tropical a base de azúcares y de la levadura *Saccharomyces cerevisiae* a partir del cual se producirá bioetanol (Chen, Kaur, Dien, Below, & Vincent, 2013). Durante el periodo de estudio, se espera que la producción de etanol en EE.UU. incremente, pero a un ritmo menor que el observado durante los años de expansión, 2005 a 2009. Asimismo, se prevé que el 36% de la demanda total de maíz se utilice en la producción de etanol durante la proyección base. A la par de lo anterior, se espera un incremento en los rendimientos de producción de maíz, lo cual permitirá satisfacer incrementos en esta demanda (CONACYT - CIBIOGEM, 2019).

1.2. Nopal (Género *Opuntia*).

El nopal es un tipo de planta arbustiva perteneciente al género *Opuntia*. Este género llega a tener más de 300 especies y todas ellas son provenientes de América, desde el norte de Estados Unidos (Utah y Nebraska), hasta la Patagonia (Cactus y suculentas, 2019). Este tipo de planta no tiene un hábitat propio, ya que se pueden encontrar en zonas de alta o baja temperatura; aunque cabe mencionar que tiene preferencia en ecosistemas áridos como estepas y desiertos siendo. En América Latina se han registrado de 191 y 215 especies. En México existen 93 especies de *Opuntia* silvestres, de las que 62 son endémicas, una cantidad que hace suponer que este territorio es el centro de origen de la especie (Vela, 2021).

Tan solo en el estado de Oaxaca hay 33 números de especies endémicas, las cuales que están distribuidas en todo el estado. México es uno de los principales productores de hortalizas, el cual ocupa el 2.59% de la superficie agrícola nacional. El nopal se ubica entre las 15 hortalizas más importantes (Fideicomiso de Riesgo Compartido, 2017).

Las nopaleras en el país tienen un nombre en específico, debido a que muestran antigüedad prehispánica, y su consumo en cuanto a los cladodios o sus frutos, llamados, tuna. Son de buen comer. Esta fruta preciada es la que le otorga el nombre a la planta de nopal en México de acuerdo a la etimología náhuatl.

De acuerdo a (Vela, 2021) las variedades de nopal en México son de acuerdo a su fruto, las más conocidas son:

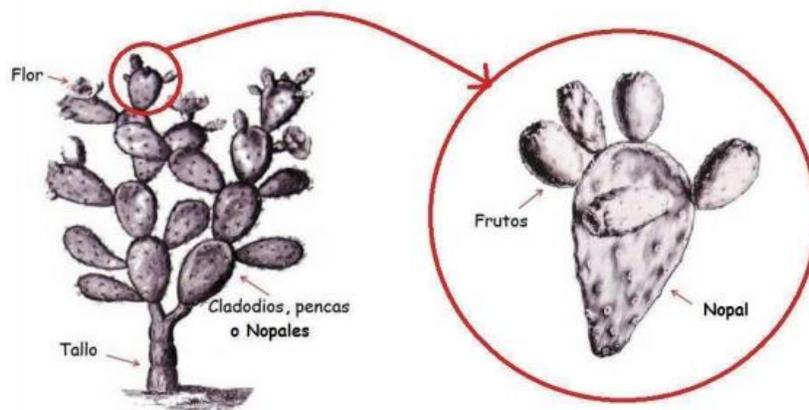
- a) ***Oznochnopalli***. porque las tunas que en ellos se hacen son amarillas por de dentro.
- b) ***Tlatocnochnopalli***. Las tunas que en ellos se hacen son por de fuera coloradillas, y por de dentro rosadas. Son de muy buen comer.
- c) ***Anochtli***. Son coloradas por de fuera, y por de dentro son moradas. Son grandes y tienen grueso el hollejo.
- d) ***Tzohualnochnopalli***. La fruta que en ellos se hacen se llama *tzohualnochtli*. Son coloradas de fuera, y de dentro son gruesas y largas.
- e) ***Tzaponochnopalli***. Tienen las hojas redondas y pardillas y verdes. Son medianos. No ahíjan. Son baxuelas. La fruta de estos árboles *tzaponochtli* son redondas como zapotes.
- f) ***Lanexnopalli***. El fruto de los *tlanexnochtli*. Son estas tunas moradas oscuras; son redondas como zapotes.
- g) ***Camaxtle***. Y el fruto dellos también se llaman *camaxtle*. Son tunas blancas que tiene el hollejo grueso y acedo: pero el meollo es dulce.
- h) ***Xoconochnopalli***. Son muy espinosas y tiene las espinas agudas y largas. Las tunas de estos árboles se llaman *xoconochtli*; quiere decir “tunas agras”.

Son blancas. Tienen los hollejos acedos y gruesos, que hacen dentera. Comerse crudas y también cocidas. El meollo es pequeño y dulce.

1.2.1. Botánica del nopal

El nopal es una planta que, aunque muy diferente de otros grupos de árboles como las coníferas o las palmeras, puede confundirse con otras cactáceas. Es una especie perene y suculenta, es decir, no pierde hojas en una estación del año y guarda una gran cantidad de agua en sus tallos. Su estructura consta de varios tallos y ramas formados por unos segmentos planos llamados cladodios o pencas, que pueden ramificarse. Alcanza una altura de entre 3 y 5 metros (BioEnciclopedia, s.f.). La parte interna de dichos cladodios está dividida en dos tipos de tejido vegetal, el parénquima y clorénquima, presente ambos generalmente en las cactáceas. La parte interna de un tono verdoso claro es el parénquima, donde es formado el mucílago de los opuntias además de ser donde se lleva a cabo la fotosíntesis en las Opuntias; por otra parte, la clorénquima es la parte exterior del nopal, la cual es del tono más verdoso y está presente en el mesófilo de las hojas y tallos jóvenes, generalmente, en las zonas más verdes de una planta.

Figura 1.2 Partes de una planta de nopal (Magro, 2017).



Las características entre las especies son variables. Se diferencian en la forma de los cladodios, la presencia o ausencia de espinas, en el color y tamaño de sus frutos, entre otras características botánicas (Pérez Maurice, 2017).

De acuerdo a (Cactus y suculentas, 2019) la mayoría de los opuntias comparten similitudes en sus partes, también vistas en la figura 1.2, las cuales son:

- a) **Flores.** Las flores tienen estambres que se mueven al contacto con un polinizador, provocando que el polen llegue a otras plantas o se auto polinice la flor.
- b) **Penca.** También conocidos como cladodios, las pencas son los tallos fotosintéticos de cutícula gruesa y cerosa que evita la evaporación y transpiración.
- c) **Tuna (Fruto).** Las tunas o frutos ya maduros, son turgentes y dulces. Tienen en su cavidad cientos de semillas y su desarrollo dura de tres a seis meses.
- d) **Nopal.** Los nopales pueden crecer postrados sobre el suelo o erguidos y ramificados, generando una corteza con porte de árbol.
- e) **Areola.** Son estructuras propias de las cactáceas en la que nacen las espinas y que puede dar lugar a otra penca, a una flor o a raíces.
- f) **Espinas.** Crecen en las areolas junto a con minúsculas hojas, que desaparecen conforme las espinas aumentan de tamaño y se endurecen.
- g) **Ahuates.** También llamadas gloquideas, estas diminutas espinas se desprenden fácilmente y son características del género.

1.2.2. Usos del nopal

Los nopalitos son un alimento nutritivo, rico en fibra y económico, ya sea que se consuman crudos, asados o guisados. El nopal fresco tiene grandes atributos alimenticios, tiene un alto contenido de zinc, fósforo, calcio y vitamina C (Fideicomiso de Riesgo Compartido, 2017).

Algunos beneficios del nopal:

- a)** Controla los síntomas de la diabetes
- b)** Crean una sensación de saciedad
- c)** Ayuda a eliminar el colesterol
- d)** Inhibe o suspende el crecimiento de varias especies bacterianas
- e)** Benéficos en heridas e infecciones de la piel
- f)** Propiedades Anticancerígenos
- g)** Ayudan a eliminar toxinas
- h)** Es un auxiliar para el control de peso
- i)** Es hipoglucemiante, es decir reduce los niveles de azúcar de personas con diabetes
- j)** El nopal mostró ventaja incluso sobre la manzana

Pero esto es hablando de los beneficios generales del nopal, ya que también es usado para la fabricación de ciertos productos extrayendo el mucílago de los cladodios, de acuerdo a (Nopal hecho en México, 2012) se pueden producir por ejemplo:

- a)** Pectina de nopal. Es utilizada como agente hidrocoloide (goma) gelificante.
- b)** Jabón de tocador. Se utiliza la fibra de nopal por lo que adquiere propiedades benéficas, como controlar el cutis graso pues tiene un pH neutro, también sirve para exfoliar la piel eliminando células muertas, y tiene un importante bajo impacto ambiental por ser biodegradable.
- c)** Shampoo líquido para manos. Se adiciona el mucílago (baba) del nopal, adquiriendo propiedades astringentes ayudando a tener las manos limpias con una pequeña porción.

- d)** Yogurt. Es elaborado con yogurt natural para después adicionarle el nopal, a fin de obtener un producto natural, libre de colorantes artificiales ni conservadores industriales, para ayudar al control y mejor funcionamiento del aparato digestivo.
- e)** Harina de nopal. Se utiliza el nopal deshidratado.
- f)** Capsulas para adelgazar. Sirven como auxiliar para el control de peso, elaboradas con nopal deshidratado.
- g)** Gel reductivo. Hecho con el mucílago del nopal.
- h)** Crema humectante. Se elabora con mucílago de nopal, brindando una capa humectante en la piel.

Así mismo:

- a)** Pasta dental. Es elaborada con la fibra de nopal.
- b)** Dulce cristalizado. El nopal fresco se somete a un proceso de cristalización
- c)** Miel. Se elabora con nopal y azúcar en el fuego hasta obtener la consistencia deseada.
- d)** Pulque. Es elaborado con nopal crudo.
- e)** Enjuagues. Se utiliza la baba de nopal.
- f)** Mascarillas. Utilizan el mucílago del nopal.
- g)** Comprimidos. Se elaboran con nopal deshidratado.

Aunque se ha buscado darle mayor uso al mucílago de nopal con innovaciones o investigaciones para que tenga un campo de trabajo más extenso, ya que tiene buenas características que son útiles en múltiples campos de desarrollo.

1.3. Películas comestibles.

Durante siglos se han creado recubrimientos con el fin de perdurar alimentos y evitar su descomposición rápida; como lo es la capa de cera que se le ha puesto a quesos para evitar el crecimiento de hongos en países europeos, la gelatina que ha sido desde hace mucho la inclusive el agregar alguna grasa en alimentos cuya oxidación es rápida, estas películas tienden a limitar la transferencia de humedad y oxígeno los cuales son responsables de la descomposición de la mayoría de los alimentos. Esto promueve la vida del alimento durante un tiempo extra, además, cabe destacar que la búsqueda de alternativas para disminuir el impacto ambiental mediante el uso de películas comestibles en lugar de películas plásticas o metálicas como es el caso del aluminio. Habiendo una diferencia entre las películas y recubrimientos.

1.3.1. Definición

Las películas comestibles fuera de tener una definición propia, tienen una explicación de lo que son, ya que tienen un trasfondo más de lo que realmente representa y se podría definir mejor por su utilidad. Dichas películas consisten de una capa finísima de un material polímero comestible que recubre frutas, vegetales y otros alimentos, de modo que se retrase su descomposición y mejore su color (Gonzalez Espada, 2016). Hay dos diferentes tipos de aditamentos comestibles; una película comestible y un recubrimiento, de los cuales son caracterizados por la forma en la que se adiciona a un alimento, así mismo el grosor variaría dependiendo el tipo de alimento e inclusive el aditamento comestible, ya que un recubrimiento comestible puede llegar a tener mayor grosor que una película comestible. Un recubrimiento comestible consiste en la aplicación de una película comestible delgada que recubre o separa los componentes del alimento, creando una barrera entre el alimento y la atmósfera que lo rodea. Dicha barrera protege, inhibiendo o retrasando la migración de humedad, oxígeno, dióxido de carbono u otros compuestos, pudiendo además servir como vehículo para la incorporación de

aditivos como los compuestos antioxidantes o agentes antimicrobianos o incluso cualquier ingrediente que se quiera incorporar en la superficie de un producto (Serra, 2014). Como se puede ver, un recubrimiento y una película no son muy diferentes, ya que sus funciones primarias son las mismas, el inhibir la transferencia de oxígeno y humedad, entonces, la diferencia principal es básicamente la manera en la que se forman, siendo que las películas son preformadas y los recubrimientos se forma directamente sobre los productos en los que se aplican (Bosquez, Vernon, Pérez, & Guerrero, 2000).

1.3.2. Clasificación de las películas comestibles

La elaboración de una película comestible puede ser de diferentes componentes, usualmente se hacen de materiales de origen animal o vegetal para que puedan ser biodegradables, dichas películas son desarrolladas dependiendo de qué alimento se le adicionará, o inclusive, para el propósito final que tiene, ya que si bien las películas tienden a ser comestibles en ciertos alimentos como la cobertura de algunas manzanas o ciruelas, hay otros tipos de productos que solo se les adiciona algún recubrimiento o película para servir como contenedor de grado alimenticio tal como suele ser en la película encontrada en el interior de algunos vasos de papel.

Dichos materiales biodegradables se utilizan actualmente en diversos sectores (medicina, agricultura, alimentación, envases y embalaje, entre otros) teniendo en cuenta las características funcionales que debe presentar el material según la aplicación específica a la que se destine (Parzanese, 2010).

La clasificación de las películas es mejor definida por sus formulaciones; tomando en cuenta tres tipos de base las cuales son: películas a base de carbohidratos, películas a base de proteínas y películas a base de mezclas entre biopolímeros, se puede seleccionar la adecuada de acuerdo al uso que se le desee dar. Ya que una película comestible o recubrimiento comestible se clasifica en base al material estructural, de modo que se habla que estos están basados en lípidos,

polisacáridos, proteínas o mezclas de estos (Quintero Cerón, Falguera Pascual, & Muñoz Hernández, 2010).

Tabla 1. 1 Comparación de tipos de películas comestibles (Aguilar Méndez, 2005)

Base de la película	Formación	Compuestos formadores	Desventaja
Carbohidratos	Implica frecuentemente la formación de un gel y/o la evaporación de un solvente	Celulosa y derivados. Goma gelán. Quitósán. Pululán. Alginato. Carragenanos, pectinas y agar. Almidón.	Su naturaleza hidrofílica hace que presenten una baja resistencia a la pérdida de agua
Proteínas	La formación de películas por proteínas se forma a partir de redes macromoleculares continuas, de baja humedad y más o menos ordenadas.	Proteína de soya Proteína de la leche. Gluten de trigo. Gelatina.	Proteínas como la gliadina, caseína y glicina (proteínas globulares y psedoglobulares) necesitan otro proceso para formar una red
A partir de mezclas entre biopolímeros	La formación por mezclas de biopolímeros consta en contrarrestar las deficiencias propias de cada componente y mejorar las propiedades y características del material resultante.	Cera de carnauba, candelilla y cera de abeja. Parafinas. Aceites minerales. Acetoglicéridos. Ácido oleico.	Las películas como producto de este tipo de mezclas son generalmente para uso como materiales de empaque y recubrimientos.

Además, se pueden incorporar otros componentes que ayuden a mejorar las propiedades finales de películas y recubrimientos comestibles como plastificantes y/o faciliten su obtención como surfactantes y emulsionantes (Sanchez-Gonzales, Vargas, Gonzales-Martinez, Chafer, & Chiralt, 2008). Tomando en cuenta que usualmente hay tres bases comunes de películas y recubrimientos comestibles, como se muestra una tabla 1.1 de acuerdo a (Aguilar Méndez, 2005).

1.3.3. Uso e importancia de las películas comestibles

El uso de una película o recubrimiento comestible en aplicaciones alimentarias y en especial en productos altamente perecederos, se basa en ciertas características tales como costo, disponibilidad, atributos funcionales, propiedades mecánicas (tensión y flexibilidad), propiedades ópticas (brillo y opacidad), su efecto barrera frente al flujo de gases mejor conocido como el intercambio de oxígeno entre el medio externo con el interno, resistencia estructural al agua, a microorganismos y su aceptabilidad sensorial. Estas características son influenciadas por parámetros como el tipo de material implementado como matriz estructural, las condiciones bajo las cuales se preforman las películas (tipo de solvente, pH, concentración de componentes, temperatura, entre otras), y el tipo y concentración de los aditivos (plastificantes, antimicrobianos, antioxidantes, emulsificantes, etc.) (Guilbert, Gontard, & Gorris, 1996).

Los recubrimientos comestibles forman una atmósfera modificada pasiva que puede influenciar diferentes cambios en productos frescos y mínimamente procesados en aspectos tales como actividad antioxidante, color, firmeza, calidad sensorial, inhibición del crecimiento microbiano, producción de etileno y compuestos volátiles como resultado de anaerobiosis (Oms-Oliu, Soliva-Fortuny, & Martin-Belloso, 2008).

Las películas (films) y recubrimientos antimicrobianos han innovado el concepto de empaque activo y se han desarrollado para reducir, inhibir o detener el crecimiento de microorganismos sobre la superficie de los alimentos (Appendini & H., 2002).

En la mayoría de productos frescos o procesados, la contaminación microbiana se lleva a cabo y con una alta intensidad sobre la superficie del alimento, por lo tanto, se requiere un efectivo sistema de control de crecimiento de dicha biota (Padgett, Han, & Dawson, 1998). Tradicionalmente, los agentes antimicrobianos son adicionados directamente a los alimentos, pero su actividad puede ser inhibida por diferentes sustancias que forman parte del alimento, de manera que se puede disminuir su eficiencia. En tales casos, la implementación de películas o recubrimientos antimicrobianos puede ser más eficiente que los aditivos que se utilizan en el producto alimenticio, ya que desde éstos se puede migrar selectiva y gradualmente compuestos desde el empaque a la superficie del alimento (Ouattara, Simard, Piette, Bégin, & Holley, 2000).

Las películas comestibles tienen en la actualidad diferentes aplicaciones, y está previsto que su uso se expandirá con el desarrollo de los sistemas de recubrimiento activo (Active Coating Systems). Esta segunda generación de materiales de recubrimiento puede emplear sustancias químicas, compuestos fotoquímicos, enzimas o microorganismos vivos que previenen, por ejemplo, el crecimiento microbiano o la oxidación de lípidos en productos alimentarios que han sido recubiertos. De esta manera los biomateriales actúan como transportadores de dichos compuestos que serán acarreados a lugares objetivos como el intestino, sin perder su actividad al estar dentro de tal matriz o durante su paso por el tracto gastrointestinal (Korhonen, 2005).

Las tecnologías emergentes basadas en películas y recubrimientos comestibles aplicados a productos hortofrutícolas procesados, mínimamente procesados y comercializados en fresco, buscan extender la vida útil de los alimentos al mantener la calidad, generar valor agregado y direccionarlos de acuerdo a las necesidades y gustos del consumidor. Las PC y RC son estructuras capaces de transportar sustancias que traen beneficios no sólo para el alimento, sino que también pueden generar bienestar mediante la encapsulación de compuestos bioactivos, lo cual ofrece la posibilidad de desarrollar productos nuevos e innovadores con efecto nutracéutico o funcional. Es indispensable reconocer que las películas comestibles

deben ser evaluadas con respecto a su estabilidad microbiológica, adhesión, cohesión, humectabilidad, solubilidad, transparencia, propiedades mecánicas, sensoriales y de permeabilidad tanto al vapor de agua como a los gases, ya que de éstas se pueden predecir y optimizar su composición y comportamiento. En la actualidad los estudios siguen encaminados hacia la caracterización de nuevas películas basadas en hidrocoloides de fuentes no convencionales, y hacia la determinación de la capacidad que estas poseen para liberar compuestos con funciones preestablecidas (Quintero Cerón, Falguera Pascual, & Muñoz Hernández, 2010). La capacidad de los RC y PC para acarrear compuestos debe ser utilizada en el desarrollo de productos innovadores o la potenciación de los productos frescos y mínimamente procesados, mediante la encapsulación de sustancias aisladas de los subproductos agroindustriales tales como vitaminas, antioxidantes, colorantes naturales, sabores, compuestos aromáticos. Así mismo, deben evaluarse las interacciones y la estabilidad que puedan ofrecer dichas matrices (Quintero Cerón, Falguera Pascual, & Muñoz Hernández, 2010).

Aunque en la actualidad no hay trabajos relacionados de películas comestibles adicionados a algún tipo de vaso, cabe destacar el aumento en la producción de películas comestibles. Como es el caso del Instituto Tecnológico de Estudios Superiores de Monterrey (ITESM) cuyo proyecto "Películas biodegradables". Tiene el fin de conseguir vías alternas que permitan la utilización de polímeros con menor impacto en el ambiente, investigadores han desarrollado un proceso innovador y ecológico a partir de cáscaras de frutas como naranja, toronja y mango (Toche, 2018). A pesar de que el ITESM no es el único centro de investigación que ha intentado producir películas comestibles, este se destaca por ser los primeros en proponer adicionar una película para contenedores de alimentos; ya que si bien, las películas comestibles se han desarrollado desde hace muchos años atrás, no hay antecedentes de la elaboración de una película biodegradable para recipientes.

1.4. Elaboración de vasos.

Una de las grandes ventajas de los vasos de plástico es la higiene, debido a que su superficie lisa impide la retención de microbios que puedan afectar a la salud del consumidor. Además, al ser desechables, no será necesario lavarlos al finalizar el evento de modo que ahorrarás también en mantenimiento (Envases del mediterráneo, 2019).

La ventaja de los vasos desechables es su variedad. Cada gama de producto ofrece unas propiedades distintas, haciéndola ideal para una aplicación específica. En otras palabras, las características de un vaso de plástico permiten elegir el más conveniente para nuestra necesidad. Eso sí, la diversidad de materiales puede confundir si no se está familiarizado con ellos. Por eso, es necesario hacer un repaso de cada gama y sus cualidades (MONOUSO, 2021).

1.4.1. Características y tipos de vasos

De acuerdo a (MONOUSO, 2021), los vasos de plástico se pueden dividir en tres tipos de vasos desechables:

1. Vasos de plástico: Fabricados desde polímeros provenientes de combustibles fósiles, como el petróleo, son los vasos con mayor demanda en el mercado.
2. Vasos de plástico biodegradables: Este tipo de recipientes para bebida tienen la capacidad de degradarse de forma natural, luego de ser utilizados y desechados de forma correcta.
3. Vasos de plástico compostable: Los vasos compostables se pueden convertir en abono orgánico luego de pasar por un proceso de transformación industrial.

Dichos vasos son usualmente conocidos por el tipo de material del cual se conforma; ya que, aunque se puede decir que un vaso es de plástico, también cabe mencionar el tipo de polímero por el cual está conformado, ya que inclusive, de este

último se determina el uso que se le va a dar al vaso. Es decir, no se ocupa el mismo vaso de poliestireno que tiende a utilizarse más como aislante térmico a uno de polipropileno que es más duro y usado. A continuación, se muestran tipos de polímeros y materiales con los que se producen vasos y que comúnmente se encuentran en el mercado de acuerdo a (Envases del mediterráneo, 2019):

a) Vasos desechables FOAM. Los vasos FOAM están hechos de poliestireno expandido, caracterizado por su aspecto espumoso y blanco. También se los conoce como vasos de corcho o vasos EPS y combinan a la perfección la rigidez con la ligereza.

Una de las principales ventajas de estos tipos de vasos desechables es que su superficie permite la impresión de logotipos o frases corporativas, por lo que muchas empresas lo prefieren como packaging o promocionar su marca.

Además de eso, son muy resistentes a temperaturas elevadas, por lo que muchas cafeterías los usan en la entrega de bebidas para llevar. También se puede servir bebidas heladas.

b) Vasos de Poliestireno. Estos tipos de vasos de plástico se caracterizan por su alta transparencia, asemejándolas a un vaso de cristal. Sin embargo, se diferencian de ellas por su flexibilidad. En este aspecto podemos distinguir dos clasificaciones de poliestireno: el Termo conformado y el Inyectado.

El vaso de Poliestireno Termo conformado también es conocido como vaso de plástico PS cristal y cuenta con aislamiento térmico y apariencia transparente. De todos los tipos de vasos de plástico, éste es el más económico y sirve para usarlos en toda clase de eventos especiales.

El vaso de Poliestireno Inyectado, en cambio, cuenta con una pared más dura y gruesa que el de PS cristal. También se puede fabricar en diversos colores, por lo que son ideales para celebraciones.

- c) **Vasos de Polipropileno.** Son altamente resistentes en comparación a otros materiales plastificados. En este caso, también existen dos clasificaciones: el Termo formado y el Inyectado.

El vaso de Polipropileno Termo formado, también conocido como PP, presenta una alta resistencia a las caídas y, debido a su proceso de fabricación, se pueden calentar bebidas al microondas sin ningún inconveniente.

En cuanto al vaso desechable de Polipropileno Inyectado, cuenta con una alta capacidad de resistencia a las grietas y son muy resistentes. También resultan ser más duros y rígidos que los termos formados, por lo que son perfectos para bebidas calientes y frías.

- d) **Vasos de plástico PET.** Son conocidos por su ligereza y alta resistencia a los impactos. Son actualmente uno de los tipos de vasos de plástico más utilizados por los locales gastronómicos o establecimientos de bebidas que ofrecen refrescos, batidos y gaseosas para llevar.

Otra gran característica de estos tipos de vasos de plástico es su transparencia, permitiendo visualizar el líquido a ingerir con mayor claridad. Y, además de eso, muchos modelos incluyen una tapa de plástico para evitar que las bebidas se vuelquen durante su traslado.

El inconveniente de estos tipos de vasos desechables es que no son aptos para bebidas calientes.

- e) **Vasos de plástico biodegradable PLA.** El bioclástico o plástico PLA ofrece la posibilidad de contener líquidos fríos y caliente de forma segura y sin modificar su composición o forma.

El componente principal de este tipo de vasos es almidón de maíz, dándole características que lo hacen completamente biodegradable.

- f) **Vasos de papel.** Los vasos de papel y cartón de color blanco o color Krafft ideales para ser usados como vasos desechables aptos para resistir líquidos calientes hasta 85°C.

Cuentan con un laminado en su interior de PLA que los hace completamente compostables y los impermeabiliza, además de ser perfectos para cualquier líquido caliente sea cual sea. También se pueden usar estos vasos desechables biodegradables para bebidas frías.

Siendo estos los materiales más comunes para la elaboración de vasos más comunes que son encontrados en el mercado, algunos de estos son mostrados en la figura 1.3.

Figura 1. 2 Tipos de vasos desechables (Guanacos verdes, 2011).



1.4.2. Proceso de elaboración de vasos

La elaboración de vasos no tiene un proceso complicado, ya que únicamente consta de tres pasos importantes que se desarrollan durante toda la producción de acuerdo a (zupla, 2020), dichos procesos se repiten en varias industrias ya que se podría decir que es un proceso general, los pasos son los siguientes:

- a) **Extrusión y laminación.** En este proceso se emplea la extrusora, que se alimenta con materia prima nueva y de reciclaje (en nuestro caso poliestireno

y polipropileno) y la impulsa con un tornillo sin fin en una cámara rodeada de resistencias eléctricas para calentar hasta una temperatura específica. Este material fundido se extruye por un cabezal plano y pasa luego una serie de rodillos de laminación para lograr especificaciones precisas de ancho y espesor. Según el tipo de máquina, este material entra caliente directamente en el termo formador o se enfría y se embobina para su posterior uso.

b) Termo formado. Se inicia en la sección de alimentación de la máquina termo formadora que recibe el material laminado y lo calienta para fundirlo y darle la fluidez apropiada. Al llegar a la zona de los moldes, la lámina caliente se empuja en las cavidades con aire comprimido, dándole forma y cortando el borde de cada pieza.

El producto final se apila y se empaca, mientras que el sobrante de la lámina se reutiliza, moliéndolo e incorporándolo como material de reciclaje en un nuevo proceso de laminación.

c) Empaque. Los productos terminados se apilan en cantidades preestablecidas, se meten en bolsas, y estas en cajas, para ser almacenadas y luego comercializadas.

Figura 1. 3 Diagrama de los pasos del proceso productivo (Zupla, 2020).



Este proceso es repetido en los vasos de material como polipropileno, poliestireno y otros pseudo plásticos que están elaborados de subproducto vegetal. Ya que se repite la necesidad de tener “perlas plásticas” del polímero correspondiente como materia prima para poder elaborar vasos desechables de material plástico. La figura 1.4 incluye los pasos principales del proceso productivo: Extrusión, laminación y termo formado.

Dicho proceso no es el mismo en la elaboración de vasos de papel, ya que estos llevan otro desarrollo al ser de una materia prima diferente. Los pasos para la elaboración de vasos de papel de acuerdo a (Miley, 2018) son los siguientes:

- a) Impresión.** El papel llega a las fábricas de vasos en grandes rollos. Un lado del rollo está cubierto de plástico o de un reverso encerado que eventualmente se convertirá en el interior de los vasos. Estos rollos de papel son alimentados a unas máquinas grandes que imprimen los diseños seleccionados en el lado no-cubierto del papel. Una vez impresos, la máquina recorta los diseños en el papel para formar pequeñas hojas conocidas como “planos”. Cada plano se convertirá en un nuevo vaso. Los planos varían en tamaño, dependiendo del tamaño del vaso que se quiere hacer.

- b) Proceso de formado.** Una vez que los planos han sido apilados son ingresados en el extremo de una gran máquina. Esta máquina enrolla los vasos en cilindros y los sella calentando la cubierta de cera en el interior de los vasos de papel. Al mismo tiempo, un rollo de papel es ingresado en el otro extremo de la misma máquina y se recortan círculos de papel para formar el fondo de los vasos. Las tiras de papel sobrante después de que los vasos han sido recortados se envían a reciclaje. La máquina junta los fondos con los cilindros y los une entre sí con calor.

- c) Formación de bordes y empaçado.** Los vasos son enviados a través de un tobogán hacia otra máquina que enrolla el papel en la parte superior de

los vasos. Esto crea el borde de cada uno de los vasos. Los vasos son entonces enviados a través de un tubo de vacío hacia el departamento de empacado, en donde los dejan caer en tubos que los amontonan unos dentro de otros. Una vez que se ha apilado en número deseado de vasos, esta pila es enviada a través de la máquina que los envuelve en plástico y luego los sella. El paquete de vasos está entonces listo para ser empacado y después enviado. El proceso entero de fabricar y empacar los vasos toma cerca de un minuto.

d) Prueba. Los derrames son muy poco comunes. Sin embargo, algunos vasos al azar son extraídos de la línea de producción y revisados. Los vasos que son extraídos para ser probados son colocados en un soporte especial por encima de un espejo. El espejo permite que la persona que esté realizando la prueba observe el interior del vaso para asegurarse de que no tenga fugas. Si se encuentra alguna fuga la producción de esa línea en particular se ve detenida hasta que se encuentre el problema y se solucione.

1.4.3. Problemática e impacto sobre el uso de plástico de un solo uso

Todos los días vemos ser utilizados cantidades enormes de productos desechables, tan solo con ver un basurero por las mañanas, se puede ver que por lo menos se encuentra un contenedor de alimentos desechable, ya sea un plato, un vaso o un recipiente para guardar alimentos. Para la industria alimenticia, los aspectos “positivos” de utilizar contenedores desechables es que tienden a ser baratos y “ahorran” la limpieza de otro tipo de contenedores. No obstante, no todo es positivo a la hora de consumirlos. El uso de este tipo de productos acrecienta el problema de contaminación producida por los seres humanos a nivel mundial, el cual se ha ido transformando en un tema controversial alrededor del mundo. El uso de productos desechables, usados dentro de la industria alimentaria en México, debe

de prohibirse al ser un material biológicamente no biodegradable y altamente contaminante para el medio ambiente (Daniel Martínez, 2018).

La Organización Internacional del Café estima que al año se utilizan 600 mil millones de vasos de papel y plástico. El problema es que una vez que nos terminamos nuestros lattes o frapuccinos, esos vasos terminan en basureros, o peor, en el océano como contaminación plástica. De todos estos desperdicios, Starbucks asegura que es responsable solamente del uno por ciento, es decir de 6 mil millones de vasos anualmente (Directo al Paladar México, 2019)

La Organización de las Naciones Unidas (ONU) estimó que habrá 12 mil millones de toneladas de basura plástica en los vertederos y en el océano para el año 2050. Es por eso que se debe celebrar cada pequeño paso que damos para eliminar completamente su uso, desde las pequeñas acciones individuales hasta las leyes que limitan y prohíben la utilización de cualquier tipo de plástico de un solo uso. Diversas ciudades de México ya cuentan con legislaciones para limitar e incluso prohibir su uso. Por ejemplo, en la Ciudad de México ya se aprobó una reforma que elimina completamente la utilización de estos productos para el año 2021.

A nivel internacional es de reconocer que México, Colombia, Perú y Chile, países que forman la Alianza del Pacífico (AP), recientemente firmaron una declaración conjunta con la que pretenden eliminar al 100% la utilización de plásticos desechables en un plazo de tres años. Con este acuerdo se pretende dar continuidad a lo pactado en la Agenda 2030 de la Organización de las Naciones Unidas y los Objetivos de Desarrollo Sostenible (Sesma Suárez, 2019).

La firma de este compromiso por parte de México es un gran paso en materia de cuidado al medio ambiente, ya que su objetivo es desarrollar estrategias y políticas a nivel local, nacional y global para promover la gestión integral de los plásticos, la disminución de su uso, y, eventualmente, su total eliminación (Sesma Suárez, 2019).

Para reducir el impacto que los vasos desechables de un solo uso generan, deberíamos entender como ciudadanía que dichos recipientes pueden ser

cambiados por alternativas más amigables para el medio ambiente. Las leyes cada vez cambian más a políticas de cero plásticos de un solo uso en diferentes estados. De no tener un control o mala gestión de dichos residuos, se seguirán ocasionando daños al medio ambiente, a la salud humana y otras especies e incluso a la economía, por lo que se debe promover alternativas ecológicas para eliminar su uso

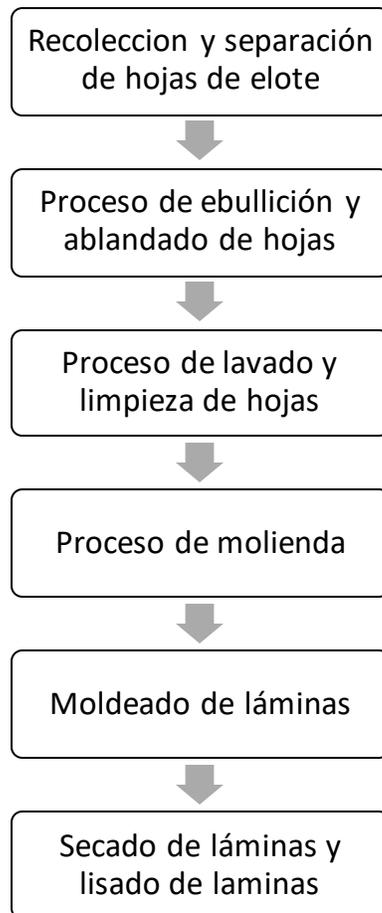
II. DESARROLLO EXPERIMENTAL

Se utilizaron hojas frescas de elote que se adquirieron en la central de abasto de la Ciudad de Oaxaca de Juárez, Oaxaca. Las hojas se lavaron y se desinfectaron en una solución de hipoclorito de sodio a 200 ppm, poniéndose en refrigeración hasta su uso.

2.1. Elaboración de lámina a base de hojas de elote.

Para la elaboración de láminas a base de hojas frescas de elote se siguieron los pasos que se observan en la figura 2.1.

Figura 2. 1 Diagrama general del proceso de producción de las láminas (autoría propia).



El proceso para el desarrollo de láminas a base de hoja de elote se realizó en el taller de papel “El artesano”, localizado en la comunidad de San Agustín Etlá, Oaxaca.

A continuación, se describen los pasos para la obtención de las láminas:

Recolección y separación de hojas de elote: Las hojas de elote fueron separadas de manera mecánica y limpiadas (Figura 2.2), desechando así la materia inservible (olotes, hojas, cáscara y tallo de la planta).

Figura 2. 2 Hojas y materia inservible separadas del costal.



Los 15 kilogramos de hojas fueron colocados en un recipiente metálico grande con un kilogramo de Bicarbonato de Sodio comercial (NaHCO_3). Llenando con agua al límite de las hojas y colocando un bloque en la parte superior para evitar el movimiento de las hojas al promover la ebullición, el proceso de ebullición fue de 4 a 5 horas para ablandar las hojas.

El agua junto con el bicarbonato de sodio promovió a los filamentos de las hojas a ablandarse, manteniéndose suaves para el proceso de molienda, además que de esta manera se esterilizaron las hojas de algún agente microbiano o un tipo de hongo que se pueda quedar en la hoja.

Proceso de ebullición y ablandado de hojas: Las hojas limpias se colocaron, dentro de un recipiente metálico, en una solución de NaHCO_3 y se llevó a ebullición por 4-5 horas, con la finalidad de ablandar la materia prima (Figura 2.3).

El proceso de lavado fue realizado en el área de limpieza de la fábrica, el objetivo era eliminar el tono oscuro del agua que se obtuvo después de la ebullición, ya que esto contiene pigmentos y la suciedad de las hojas.

Figura 2. 3 Ebullición de las hojas de elote.



Lavado y limpieza de las hojas: al finalizar el tiempo de ablandado de las hojas, se realizó lavados con agua hasta obtener un agua clara y nuevamente se procedió a revisar la materia prima para dejarla libre de materia extraña (Figura 2.4). Durante este proceso se pudo hacer limpieza de la materia prima en caso de que haya quedado algún grano de maíz o *Stigma*.

Molienda: Lista la materia prima se llevó a un molino-triturador tipo holandés. En la primera molienda se separan los filamentos o nervios con el limbo de la hoja para llevarlos a una segunda molienda, la cual consiste en disminuir el tamaño de dichos filamentos (Figura 2.5). En la tercera molienda se reduce el tamaño de las partículas fibrosas para obtener la pulpa.

Estos fueron zambullidos en la tina donde se colocó la pulpa, la cual fue sacada y acomodada con pequeños golpes, para quedar de manera uniforme en el marco.

Figura 2. 4 Hojas de elote en proceso de lavado.



Figura 2. 5 Hojas trituradas en molino-triturador tipo holandés.



Moldeado de láminas: La pulpa se colocó en recipientes grandes, dentro de los cuales se introdujeron en bastidores con mallas finas para que quede atrapada la mayor cantidad de pulpa. Posteriormente, el bastidor se puso sobre una placa metálica con yeso, y, finalmente una tela de fieltro (Figura 2.6). Este proceso se repitió hasta que no se pudo retener pulpa en el bastidor.

Los batidores se llevaron a una prensa para eliminar la mayor cantidad de agua y compactarlas.

Secado y lisado de láminas: Se retiró la tela de fieltro del bastidor, quedando adherida la lámina de fibra de elote, y ésta se colocó en un lugar fresco para su secado a temperatura ambiente. Posteriormente, una vez seca la lámina de hoja de elote, se pasó 3 o 4 veces por un tórculo o gattorno, para evitar que se “crackelen” al momento de ser utilizadas.

Figura 2. 6 Proceso de moldeado.



El tórculo hizo que la lámina de sea más lisa, suave y fácil de doblar, con lo cual le da flexibilidad como si de un papel tipo cartulina se tratara. Las hojas tuvieron una dimensión de 50 x 50 cm aproximadamente, ya que aún conserva bordes irregulares en la periferia de la hoja (Figura 2.7). Terminando el proceso de elaboración de la lámina de fibras de las hojas del elote.

Figura 2. 7 Proceso de lisado.



A las láminas de hoja de elote obtenidas se les midió el grosor, tomando una superficie de 14 cm^2 y con ayuda de un micrómetro se tomaron 10 puntos aleatorios obteniendo un promedio de estos.

2.2. Análisis bromatológico de lámina a base de hojas de elote.

Se determinó en la hoja de elote: porcentaje de humedad, porcentaje de grasa, porcentaje de proteínas, porcentaje de ceniza, porcentaje de fibra curda y porcentaje de carbohidratos. Todas las pruebas se hicieron en base a las normas mexicanas, mostrando como resultado el promedio de tres lecturas.

2.2.1. Determinación de humedad

Para determinar el contenido de humedad se siguió el procedimiento de la norma nacional mexicana NMX-F-083-1986 (Diario Oficial de la Federación, 1986) y de (Reyes Rojas, 2007) (Ver Anexo 1).

El porcentaje de humedad se determinó utilizando la ecuación 1:

$$\% \text{ de Humedad} = \frac{(P - P_1)}{P_2} \times 100 \quad \text{(Ecuación 1)}$$

En donde:

P = Peso del recipiente con la muestra húmeda, en gramos.

P_1 = Peso del recipiente con la muestra seca, en gramos.

P_2 = Peso de la muestra en gramos.

2.2.2. Determinación de extracto etéreo

Para la medición del extracto etéreo o grasas se siguió el procedimiento de la Norma Nacional Mexicana NMX-F-089-S-1978 (Diario Oficial de la Federación, 1961). Ver Anexo 2.

El porcentaje de extracto etéreo se determinó utilizando la ecuación 2.

$$\% \text{ de extracto etereo} = \frac{P-p}{M} \times 100 \quad \text{(Ecuación 2)}$$

Donde:

P = Masa en gramos del matraz con grasa.

p = Masa en gramos del matraz sin grasa.

M = Masa en gramos de la muestra.

2.2.3. Determinación del contenido de proteína

Para la determinación del contenido de nitrógeno proteico se siguió procedimiento de acuerdo a la Norma Nacional Mexicana NMX-F-068-S-1980 (Diario Oficial de la Federación, 1980) (Anexo 3).

El porcentaje del contenido de nitrógeno se determinó mediante la ecuación 2.

$$\% \text{ de nitrógeno} = \frac{V \times N \times 0.014 \times 100}{m} \quad \text{(Ecuación 3)}$$

En donde:

V = Volumen de ácido clorhídrico empleado en la titulación, en cm³.

N = Normalidad del ácido clorhídrico.

m = Masa de la muestra en g.

0.014 = Mili equivalente del nitrógeno.

El por ciento de proteínas se obtiene multiplicando el por ciento de nitrógeno obtenido por el factor correspondiente, siendo 6.25 el valor para “todos los otros alimentos”.

2.2.4. Determinación del contenido de cenizas

Para la determinación del contenido de cenizas se utilizó el procedimiento de acuerdo a la Norma Oficial Mexicana NMX-F-066-S-1978 (Diario Oficial de la Federación, 1978).

El porcentaje de cenizas se determinó mediante la ecuación 4.

$$\% \text{ cenizas} = \frac{(P - p) \times 100}{M} \quad \text{(Ecuación 4)}$$

Donde:

P = Masa del crisol con las cenizas en gramos.

p = Masa de crisol vacío en gramos.

M = Masa de la muestra en gramos.

2.2.5. Determinación de fibra cruda

Para la determinación del contenido de fibra se utilizó el procedimiento de acuerdo a la Norma Oficial Mexicana NMX-F-090-S-1978 (Diario Oficial de la federación, 1978).

El porcentaje de fibra cruda se determinó mediante la ecuación 5.

$$\% \text{ de Fibra Cruda} = \frac{(W_2 - W_3)}{W_1} \times 100 \quad \text{(Ecuación 5)}$$

Donde:

W_1 = Peso de la muestra en gramos.

W_2 = Peso del residuo seco en gramos.

W_3 = Peso de las cenizas en gramos.

2.2.6. Determinación de carbohidratos

La determinación de carbohidratos o hidratos de carbono en una muestra no es más que el cálculo mediante una diferencia con respecto a las anteriores determinaciones, las que implican la humedad, cenizas, proteínas, grasa y fibra cruda (Vera A., 2016).

La fórmula para la determinación de hidratos de carbono es:

$$HC\ disp = 100 - (H + C + P + Gtotal + Ftotal) \quad \text{(Ecuación 6)}$$

Donde:

H = porcentaje de Humedad.

C = porcentaje de Cenizas.

P = porcentaje de Proteínas.

Gtotal = porcentaje de Grasa total.

Ftotal = porcentaje de Fibra total.

2.3. Elaboración de película grado alimenticio a base de nopal.

Para el desarrollo de las películas comestibles a base de mucílago de nopal, como primer paso, se seleccionó la variedad de nopal a usar, posteriormente se procedió a obtener el mucílago y, finalmente, se realizaron las formulaciones de las películas.

2.3.1. Selección del nopal

Se trabajó con tres especies: *Opuntia joconostle* F.A.C. Weber ex Diguet, *Opuntia lasiacantha* (Pfeiff.) y *Opuntia robusta* H.L. Wendl. Ex Pfeiff (Figura 2.8).

Figura 2. 8 Variedades de nopal utilizadas para la extracción de mucílago.



El proceso de selección del nopal se realizó tomando en cuenta los siguientes parámetros:

1. La cantidad de parénquima de nopal extraída por gramos de los cladodios debió superar a la cantidad de clorénquima en gramos.
2. La cantidad de mucílago en solución acuosa extraída del parénquima de nopal, debe ser mayor o igual a la concentración de 2 grados Brix.
3. La superficie desechada de clorénquima por corte en los cladodios no debe tener espinas de mayor tamaño a un aguante para su fácil manipulación.

El nopal seleccionado debió de cumplir por lo menos dos de los tres parámetros establecidos.

2.3.2. Extracción de mucílago de nopal en solución acuosa

Al nopal congelado se le hicieron cortes para separar el parénquima (la parte de interés) de la clorénquima. Se llevaron a ebullición 300 g de parénquima en 250 ml de agua destilada por 20 min para extraer la mayor cantidad de mucílago.

Después del calentamiento, la solución se llevó a molienda mecánica, con ayuda de un mortero y un pistilo. Se filtró la solución en una malla 60 (250 μm) y se midieron los grados con ayuda de un refractómetro Brix marca GRANDBEING medición 0% - 90%, resolución 1% y precisión 1%.

2.3.3. Elaboración de película a base de mucílago de nopal

La elaboración de las películas comestibles se realizaron conforme la técnica de Salinas-Salazar y col. (2015).

Las formulaciones se diseñaron empleando un diseño reticular simplex para dos componentes con ayuda del programa MiniTab (Anexo 6). Se obtuvieron cinco mezclas formadas por: mucílago de nopal, Tween 20, glicerol, ácido oleico, cera de abeja y grenetina (Tabla 2.1). Las concentraciones para los primeros cuatro componentes se dejaron constantes, variando únicamente la cera de abeja y la grenetina. Todas las mezclas se hicieron por triplicado.

Para formar la película se mezclaron todos los reactivos en un vaso de precipitados y se llevó a calentamiento a 90°C, con agitación constante, hasta su completa disolución. La mezcla se homogeneizó en una licuadora (Oster Modelo 4127-13) por 5 min; una vez a temperatura ambiente, se desgasificó la solución por 20 min y se vaciaron alícuotas de 10 ml en platos de poliestireno limpios, colocándose en un

deseCADador hasta su completo secado. Cada una de mezclas fueron repetidas por triplicado en la fase de elaboraci3n de la pel3cula.

Tabla 2. 1 Dise1o experimental para la obtenci3n de pel3culas comestibles a base de muc3lago de nopal.

Componente y concentraci3n (%)

<i>Mezcla</i>	Cera de abeja (A)	Grenetina (B)	Tween 20 (C)	Glicerol (D)	1cido Oleico (E)	Muc3lago de nopal (F)
<i>M1</i>	1.00	0.00	0.9	0.5	0.5	97.1
<i>M2</i>	0.50	0.50	0.9	0.5	0.5	97.1
<i>M3</i>	0.25	0.75	0.9	0.5	0.5	97.1
<i>M4</i>	0.75	0.25	0.9	0.5	0.5	97.1
<i>M5</i>	0.00	1.00	0.9	0.5	0.5	97.1

2.4. Caracterizaci3n f3sica de la pel3cula de comestible a base de mucilago de nopal.

2.4.1. Determinaci3n del grosor de la pel3cula

Se determin3 el grosor de la pel3cula comestible con un micr3metro digital (marca Generic). Se tomaron diez puntos a lo largo del di1metro y se obtuvo un promedio.

2.4.2. Determinaci3n de la solubilidad de la pel3cula

Se cortaron cuadros de 2 x 2 cm de pel3cula de muc3lago de nopal y se colocaron en vasos de precipitados, uno conteniendo 200 ml de agua destilada y otro 200 ml de agua com3n a temperatura ambiente. Se realizaron cinco pruebas de cada uno.

Se tomó el tiempo que la película permaneció intacta en el agua; es decir, el tiempo se dejó de contar cuando la película se empezó a deshacer o se comenzó a tornar color opaco. El resultado obtenido fue el promedio de las repeticiones.

2.4.3. Determinación del peso de la película

Las películas obtenidas se pesaron por separado en una balanza analítica digital. El resultado obtenido fue el promedio del peso de cinco películas.

2.4.4. Pruebas de adherencia de la película comestible a la lámina de elote

Se cortaron cuadros de lámina de hoja de elote de 7x7 cm, evitando pliegues o dañar la superficie de ésta. Posteriormente, se adhirió la película comestible y se colocó en el horno a 50 °C por 5-10 min. Una vez terminado el secado se colocaron las muestras en el desecador por 2 semanas para un secado a temperatura ambiente.

Las películas para evaluar la adherencia fueron las muestras M2 y M3.

Las láminas recubiertas con las películas se evaluaron visualmente, observando que la superficie se encontrara completamente lisa y la adherencia se observara en toda la lámina.

III. Resultados y discusiones

3.1. Elaboración de la lamina de hoja de elote.

La lámina de hoja de lote obtenida (Figura 3.1) presentó un color amarillo opaco, con poca resistencia, dureza, resiliencia y flexibilidad. Presentó características similares a una lámina de cartón delgado comercial..

Figura 3. 1 lamina a base de hojas de elote



En la tabla 2.1 se observa el valor promedio del grosor de la lámina de hoja de elote obtenida, el cual fue de 0.9982 mm. El espesor es ligeramente mayor a un vaso de papel marca “Iguana azul”, el cual es de 0.850 mm.

Tabla 3. 1 Grosor promedio de la lámina de hoja de elote.

Corrida	Grosor de la lámina en mm
1	0.959
2	0.915
3	0.876
4	0.959
5	1.007
6	0.932
7	0.965
8	0.925
9	1.246
10	1.168
Promedio	0.9982

3.2. Análisis bromatológico de las hojas de elote.

Los resultados fueron tabulados para poder ser observados, los cuales se muestran a continuación para ser explicados.

Tabla 3. 2 Composición bromatológica porcentual de la lámina de hoja de elote.

Humedad	Extracto etéreo	Proteínas	Fibra cruda	Cenizas	Carbohidratos
6.5655	3.6201	3.7603	65.7485	1.7463	18.5593

Es notable la cantidad de fibra cruda que contiene la lámina mostrada en la tabla 3.2, al ser un producto elaborado únicamente con las fibras de hojas de elote es entendible que posea mayor porcentaje en esta categoría; de igual manera, explica la cantidad en carbohidratos, ya que engloban azúcares como almidones.

Tabla 3. 3 Composición química de la hoja de maíz y del bagazo de caña. Comparación con valores publicados (Prado, 2012).

Compuesto	Hoja de mazorca porcentaje (%) base seca	Bagazo de caña porcentaje (%) base seca	Bagazo de caña de azúcar porcentaje (%)* base seca
Holocelulosa	78,86	73,24	59-76
α -Celulosa	43,14	41,67	32-44
Lignina	23,00	19,98	19-24
Cenizas	0,761	1,300	1,5-5,0

La tabla 3.3 muestra la composición de diferentes productos, siendo de interés la hoja de mazorca base seca, ya que no hay estudios de la hoja fresca. En dicha tabla se muestran los compuestos de holocelulosa, la cual es la mezcla de fibra y carbohidratos, los cuales son relativamente parecidos a la lámina de hoja de elote desarrollada, siendo 84.3 % mientras que en la hoja de mazorca se encuentra 78.86 %. La hoja de elote común está compuesta por nervaduras (fibra) y limbo, mientras la lámina se compone únicamente por nervadura (fibra) de hoja, eso explica el aumento en el porcentaje de fibra en la lámina desarrollada.

De acuerdo con Prado-Martínez, 2012, el contenido de holocelulosa en las hojas de mazorca es poco adecuado, dado que se encuentra en el intervalo de los materiales usados comúnmente en la producción de pulpa para papel (67%-70% material base seca) de acuerdo a las tablas de Hurter, 1997. Aunque hay que considerar que la base para la elaboración fueron hojas frescas, esto pudo haber afectado a la formación de holocelulosa.

Otro aspecto que comparte el análisis es el estudio de cenizas, la cual resulta mayor en la lámina debido a ser un producto con mayor cantidad de fibra y no de celulosa como la hoja de mazorca común.

3.3. Elaboración de películas comestibles.

Tomando en cuenta los parámetros de selección de nopal, las películas se realizaron con la variedad *Opuntia Lasiacantha*, ya que esta se ajustaba a dichos parámetros, además de ser más accesible que las otras variedades. Una vez extraído el mucílago, se realizaron cinco mezclas preseleccionadas observadas en el Anexo 6, de las cuales se eligieron las mezclas 1 y 2, debido a que estas fueron más consistentes al momento de la preparación, es decir, estas no presentaron una separación bifásica, tuvieron presencia de coágulos ocasionados por algún componente en mayor cantidad, presentaron cuarteaduras o presencia de grumos en el proceso de secado. En la tabla 3.4 se muestra la evaluación que se tomó en cuenta para descartar las mezclas.

Los cambios observados en las muestras durante el periodo de elaboración y secado en tres semanas mostraron:

- 1) Mientras más cera de abeja contenga la muestra, el tiempo de secado es mayor.
- 2) Las películas que tienen mayor concentración de grenetina que cera de abeja se contaminan menos.

- 3) La cera de abeja tiende a separar en dos fases la solución de mucílago de nopal mientras se enfría la mezcla, lo cual muchas veces termino en ruptura de la película.
- 4) El color de la película seca es de un tono más opaco mientras más cera de abeja contenga.
- 5) Las películas de cera de abeja tienden a tener una mayor dureza a comparación de las de grenetina.

Tabla 3. 4 Evaluación del comportamiento de las mezclas elaboradas con mucílago de nopal.

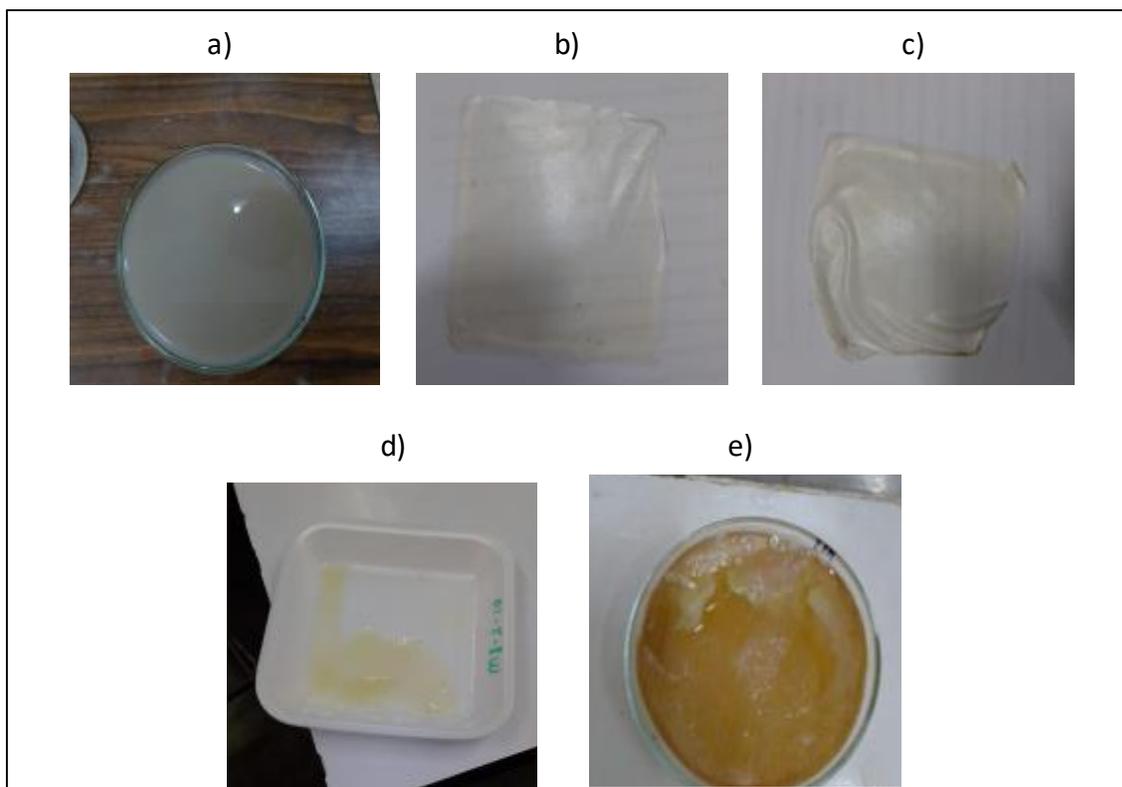
Mezcla	Bifase de la mezcla en estado líquido	Presencia de coágulos en la mezcla en estado líquido	Cuartheadura de la película	Grumos en la película	Presencia de contaminación en el proceso de elaboración
M1-1	-	X	X	-	-
M1-2	-	-	X	-	-
M1-3	-	X	X	X	-
M2-1	-	-	-	-	-
M2-2	-	-	-	X	-
M3-3	-	-	-	-	-
M3-1	-	-	-	-	X
M3-2	-	-	-	X	-
M3-3	-	-	-	-	-
M4-1	X	-	X	X	X
M4-2	-	X	X	X	X
M4-3	-	X	-	X	-
M5-1	-	X	-	X	X
M5-2	X	X	-	X	X
M5-3	X	X	-	-	X

Mediante un análisis de medias (Anexo 2), se seleccionaron dos mezclas: M2 y M3, de las cuales tenían una diferencia que se consideró poco significativa a comparación de las demás mezclas: M1, M4 y M5 (M4, aunque el estadístico de prueba señaló que podría entrar dentro de las pruebas, se decidió quitar debido a que era deficiente), las cuales quedaron descartadas debido a su mala formación, observadas en la figura 3.2.

Una vez descartadas las películas anteriores, se elaboraron únicamente películas con la mezcla M2 y M3. Los recipientes fueron seleccionados de poliestireno debido a la facilidad de retirar la película.

Las dos mezclas seleccionadas conservaron sus formas y no se observaron cambios, exceptuando contaminación en la película M3 mientras mayor volumen se adicione de la mezcla a los recipientes de vaciado.

Figura 3. 2 Películas comestibles de mucílago de nopal en diferentes concentraciones: a) M1, b) M2, c) M3, d) M4, e) M5.



3.4. Evaluación de la película.

3.4.1. Grosor de la película

Aunque se logró la formación de película con la mezcla M2 y M3, únicamente pudo evaluarse la película M2, puesto que la textura de la M3 fue muy pegajosa, lo que impidió la toma de lecturas.

Los resultados de la medición del grosor en la película M2 se muestran en la tabla 3.5.

Tabla 3. 5 Medidas del grosor de la película M2.

Corrida	Grosor de la película en mm
1	0.026
2	0.026
3	0.035
4	0.047
5	0.039
6	0.027
7	0.037
8	0.052
9	0.028
10	0.035
Promedio	0.0356

El grosor promedio de la película M2 fue de 0.0356 y se observó, aunque no fue posible medirlo, que la concentración de grenetina influyó en éste, siendo mayor cuando la concentración de grenetina fue mayor (1%). Un resultado parecido del espesor de las películas obtenidas en este trabajo se presenta en el trabajo de Díaz-Barrita (2004), en el cual se aprecia que a mayor concentración de fécula de papa y de quitosano, grosor de la película aumenta (Tabla 3.6).

Tabla 3. 6 Espesores de películas de fécula de papa y quitosano a diferentes concentraciones (Díaz Barrita, 2004).

Película	Grosor (mm)		
	1%	2%	3%
Fécula de papa	0.007	0.018	0.027
Quitosano	0.022	0.034	0.082

3.4.2. Solubilidad de la película

En la tabla 3.7 se muestran los resultados de solubilidad, para las películas M2 y M3, en agua a temperatura ambiente.

Tabla 3. 7 Solubilidad de las películas de mucilago de nopal en agua.

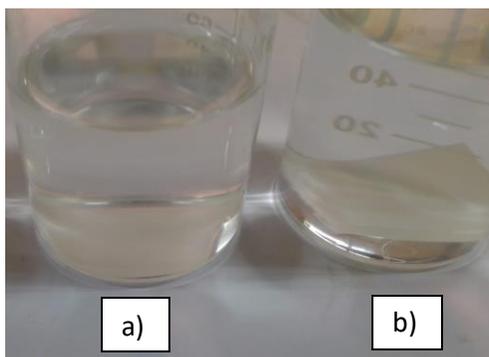
Corrida	Solubilidad en agua de la mezcla M2 (hrs)	Corrida	Solubilidad en agua de la mezcla M3 (hrs)
1	5:35	1	6:00
2	5:25	2	6:15
3	5:40	3	6:30
4	5:35	4	6:25
5	5:30	5	6:00
6	5:35	6	6:25
7	5:25	7	6:30
8	5:30	8	6:00
9	5:30	9	6:15
10	5:40	10	6:10
Promedio	5:32	Promedio	6:15

La película M3 es menos soluble en agua, aproximadamente media hora de diferencia, respecto a la película M2 (Figura 3.3). Sin embargo, la película M3 era difícil de manipular a comparación de la película M2, ya que presentó adhesividad consigo misma

Abraján Villaseñor (2008) hace mención que la solubilidad de las películas se ve más afectada por el tipo de lípido adicionado que por el contenido de mucilago. Otros autores coinciden que las películas de mucilago de nopal son recubrimientos para uso de permeabilidad de agua y respiración en alimentos que pretendan alargar su vida de anaquel (González González, 2011; Salinas et al, 2015). Es por eso que las películas a base de mucilago de nopal no presentaron buena resistencia

al agua, resistiendo un máximo de 6 hrs en ella. puesto que su alcance no cubre el objetivo.

Figura 3. 3 Pruebas de solubilidad en las películas comestibles a) M2, b) M3.



3.4.3. Peso de la película

En la tabla 3.8 se muestran los pesos de las películas obtenidas. Se puede apreciar que hay una pérdida de peso mayor en la película M2 respecto a la M3, esto pudo deberse a la formación de costra de células superficiales secas que impiden la salida de humedad de la película (Abraján Villaseñor, 2008).

Tabla 3. 8 Comparación de peso promedio de muestra seca de la película comestible.

Nombre de la muestra	Peso final (g)	Perdida de humedad (g)
M2	2.07	7.76
M3	2.13	7.61

3.4.4. Adherencia de la película comestible a láminas de hoja de elote

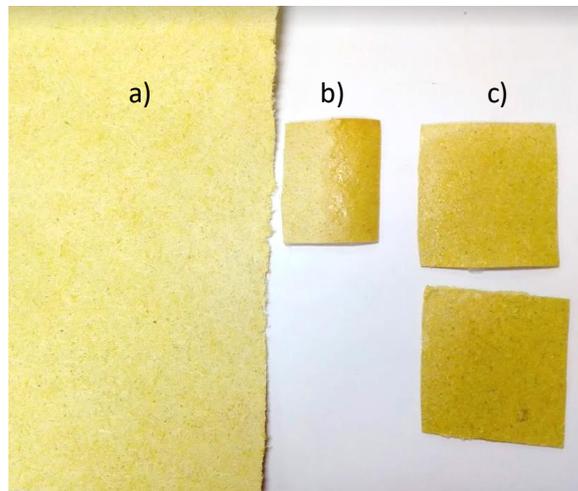
Las películas seleccionadas para la evaluación de adherencia a las láminas de hoja de elote fueron la M2 y M3, ya que presentaron los mejores resultados de manera visual (lisa y transparente).

Las láminas recubiertas con la película M2 visualmente no presentaron crecimiento microbiano, la adhesión de la película a la lámina fue fácil y no presentó rugosidad; la lámina adquirió cierto brillo con la película y no presentó permeabilidad a la humedad.

Las láminas recubiertas con la película M3 visualmente no presentaron crecimiento microbiano, la adhesión de la película a la lámina fue fácil, pero presentó rugosidad y formación de burbujas de aire; la lámina adquirió cierto brillo con la película y no presentó permeabilidad a la humedad.

En la figura 3.4 se presenta la lámina de hoja de elote sin recubrimiento y con recubrimiento. Se pudo observar que la película que mejor adherencia tuvo fue la M2.

Figura 3. 4 Adición de la película a la lámina a) lamina de hoja de elote sin recubrir, b) lamina de hoja de elote con recubrimiento M3, c) lamina de hoja de elote con recubrimiento M2.



CONCLUSIONES

1. Se realizó un estudio bromatológico a la lámina de hoja de elote de acuerdo a las Normas Oficiales Mexicanas, obteniendo los siguientes resultados: porcentaje de humedad 6.5655%, porcentaje de extracto etéreo 3.6201%, porcentaje de proteínas 3.7603%, porcentaje de fibra cruda 65.7485%, porcentaje de cenizas 1.7463% y carbohidratos 18.5593%.
2. Las películas comestibles a base de mucilago de nopal fueron evaluadas en cuanto a grosor, solubilidad, peso y adherencia. Siendo óptima la mezcla M2 debido a su mejor manipulación al interactuar con la lámina de hoja de elote.
3. Las películas a base de mucilago de nopal, no presentan una adecuada resistencia térmica, además de presentar baja solubilidad. Por lo que no son funcionales para la elaboración de vasos biodegradables.

SUGERENCIAS

1. Se planteó la adición de mucilago de nopal al proceso de elaboración de la lámina de hoja de elote por parte de los artesanos del taller, esto con la intención de que fuesen más “fuertes y firmes” las hojas de acuerdo a la experiencia que habían tenido al trabajar con otro tipo de fibras naturales. Sin embargo, este proceso se omitió durante este proyecto debido a que la intención era usar la fibra en su estado más fresco. Pero el uso del mucilago de nopal como fijador de las hojas puede quedar a consideración de quién desee realizar mas pruebas para la fabricación de láminas de fibras naturales.
2. Se sugiere el uso de otro tipo de película comestible, ya que la presentada durante este trabajo no permitieron el tiempo de solubilidad adecuados o buena capacidad térmica para ser usados como recubrimiento para la elaboración de vasos.
3. Se presenta la opción de investigación y pruebas de moldeado para vasos, ya que la lámina de hoja de elote presentó buenas características de resistencia para su uso, siendo posiblemente capaz de soportar líquidos con un recubrimiento adecuado.

BIBLIOGRAFÍA

- Abraján Villaseñor, M. A. (2008). Efecto del método de extracción en las características químicas y físicas del mucílago del nopal (*Opuntia ficus-indica*) y estudio de su aplicación como recubrimiento comestible. (*Tesis doctoral*). Universidad Politécnica de Valencia, Valencia.
- Aguilar Méndez, M. A. (2005). *PROPIEDADES FÍSICAS Y MECANICAS DE PELICULAS BIODEGRADABLES Y SU EMPLEO EN EL RECUBRIMIENTO DE FRUTOS DE AGUACATE (Tesis de maestría)*. INSTITUTO POLITECNICO NACIONAL, México, D.F.
- Appendini, P., & H., H. J. (2002). Review of antimicrobial food packaging. *Innovative Food science and emerging technologies*(3), 113 – 126.
- Aragón Cuevas, F. (2011). Maíces nativos de Oaxaca. *Conferencia de Inifap* (pág. 30). Oaxaca: SAGARPA, Gobierno Federal.
- BioEnciclopedia. (s.f.). *bioenciclopedia.com*. Obtenido de bioenciclopedia.com: <https://www.bioenciclopedia.com/nopal/>
- Bosquez, M., Vernon, E., Pérez, L., & Guerrero, L. (2000). Películas y Cubiertas Comestibles para la Conservación en Fresco de Frutas y Hortalizas. *Industria Alimentaria*, 22(1):14-29, 32-36.
- Cactus y suculentas. (2 de Febrero de 2019). *cactusysuculentas.org*. Obtenido de cactusysuculentas.org: <https://www.cactusysuculentas.org/cactus/opuntia/>
- Chen, M. H., Kaur, P., Dien, B., Below, F., & Vincent, M. L. (2013). Use of tropical maize for bioethanol production. *World Journal of Microbiology and Biotechnology*, 29(8), 1509-1515.
- CONACYT - CIBIOGEM. (2019). *gob.mx*. Obtenido de GOBIERNO DE MÉXICO: <https://www.conacyt.gob.mx/cibiogem/index.php/maiz>
- CurioSfera Historia. (16 de Septiembre de 2020). *CurioSfera-Historia.com*. Obtenido de CurioSfera-Historia.com: <https://curiosfera-historia.com/historia-del-vaso-desechable-inventor/#:~:text=El%20inventor%20del%20vaso%20de,vender%20el%20trago%20de%20agua>.
- Curiosidades de la ciencia y de la Tecnología. (24 de Abril de 2013). *Blogspot.com*. Obtenido de <http://jatronica.blogspot.com/>: <http://jatronica.blogspot.com/2013/04/generalidades-acerca-del-fosforo.html>
- Daniel Martínez, I. (20 de Febrero de 2018). *derechoenaccion.cide.edu*. Obtenido de derechoenaccion.cide.edu: <http://derechoenaccion.cide.edu/por-que-debe-prohibirse-el-uso-de-unicel-en-la-industria-alimenticia-en-mexico-i-ii/>
- Diario Oficial de la Federación. (1961). *DETERMINACIÓN DE EXTRACTO ETÉREO (MÉTODO SOXHLET) EN ALIMENTOS*. Norma Nacional Mexicana NMX-F-089-S-1978.

- Diario Oficial de la Federación. (1978). *DETERMINACIÓN DE CENIZAS EN ALIMENTOS*. Norma Oficial Mexicana NMX-F-066-S-1978.
- Diario Oficial de la Federación. (1978). *DETERMINACIÓN DE CENIZAS EN ALIMENTOS*. Norma Oficial Mexicana NMX-F-066-S-1978.
- Diario Oficial de la federación. (1978). *DETERMINACIÓN DE FIBRA CRUDA EN ALIMENTOS*. Norma Nacional Mexicana NMX-F-090-S-1978.
- Diario Oficial de la Federación. (1980). *ALIMENTOS. DETERMINACIÓN DE PROTEÍNAS*. Norma Nacional Mexicana NMX-F-068-S-1980.
- Diario Oficial de la Federación. (1986). *ALIMENTOS. DETERMINACIÓN DE HUMEDAD EN PRODUCTOS ALIMENTICIOS*. Norma Nacional Mexicana NMX-F-083-1986.
- Díaz Barrita, A. J. (2004). Conservación del color del gusano de maguey con películas comestibles. (*Tesis profesional*). Instituto Tecnológico de Oaxaca, Oaxaca de Juárez.
- Directo al Paladar México. (3 de Junio de 2019). *directoalpaladar.com.mx*. Obtenido de [directoalpaladar.com.mx: https://www.directoalpaladar.com.mx/bebidas/que-se-hace-con-los-millones-de-vasos-desechables-de-cafe](https://www.directoalpaladar.com.mx/bebidas/que-se-hace-con-los-millones-de-vasos-desechables-de-cafe)
- Envases del mediterráneo. (25 de Septiembre de 2019). *envasesdelmediterraneo.com*. Obtenido de [envasesdelmediterraneo.com: https://www.envasesdelmediterraneo.com/blog/tipos-de-vasos-de-plastico](https://www.envasesdelmediterraneo.com/blog/tipos-de-vasos-de-plastico)
- Estrada, L. E. (1989). *El código florentino: su información etnobotánica*. Chapingo, Estado de México: Colegio de Postgraduados.
- Fideicomiso de Riesgo Compartido. (20 de Enero de 2017). *gob.mx*. Obtenido de [gob.mx: https://www.gob.mx/firco/articulos/el-nopal-orgullosamente-un-producto-de-mexico-para-el-mundo?idiom=es](https://www.gob.mx/firco/articulos/el-nopal-orgullosamente-un-producto-de-mexico-para-el-mundo?idiom=es)
- gob.mx. (5 de Octubre de 2017). *gob.mx*. Obtenido de El totomoxtle; mucho más que forraje: materia prima hasta para la elaboración de artesanías: <https://www.gob.mx/siap/es/articulos/el-totomoxtle-mucho-mas-que-forraje-materia-prima-hasta-para-la-elaboracion-de-artesantias?idiom=es>
- gob.mx. (23 de Agosto de 2018). *gob.mx*. Obtenido de Gobierno de México: <https://www.gob.mx/aserca/articulos/maiz-grano-cultivo-representativo-de-mexico?idiom=es#:~:text=La%20Producci%C3%B3n%20de%20ma%C3%ADz%20en>
- González Amaro, R. M. (5 de Junio de 2013). *inacol.mx: El Instituto de Ecología*. Recuperado el 28 de Noviembre de 2020, de <https://www.inacol.mx/inacol/index.php/es/2013-06-05-10-34-10/17-ciencia-hoy/1020-usos-del-maiz>
- Gonzalez Espada, W. J. (19 de Enero de 2016). *cienciapr.org*. Recuperado el 6 de Enero de 2021, de [cienciapr.org: https://www.cienciapr.org/es/external-news/las-peliculas-comestibles-y-su-importancia-en-la-industria-de-alimentos-0](https://www.cienciapr.org/es/external-news/las-peliculas-comestibles-y-su-importancia-en-la-industria-de-alimentos-0)

- González González, L. R. (Diciembre de 2011). Desarrollo y evaluación de una película comestible obtenida del mucilago de nopal (*Opuntia ficus-indica*) utilizada para reducir la tasa de respiración de nopal verdura. (U. S. Bolívar, Ed.) *INVESTIGACIÓN UNIVERSITARIA MULTIDISCIPLINARIA*, 10, 10.
- GRUPO SACSA. (6 de Julio de 2015). *gruposacsa.com.mx*. Recuperado el 29 de Noviembre de 2020, de <http://www.gruposacsa.com.mx/diferentes-partes-de-una-planta-de-maiz/>
- Guilbert, S., Gontard, N., & Gorris, L. G. (1996). Prolongation of the shelf-life of perishable food products using biodegradable films and coatings. *Lebensmittel Wissenschaft und Technology*(29), 10-17.
- Hurter, W. (1997). Nonwood plant fiber uses in papermaking. *Agricultural Residues*, 117.
- INEGI. (1997). *EL MAIZEN EL ESTADO de OAXACA*. Aguascalientes: Instituto Nacional de Estadística, Geografía e Informática.
- Korhonen, H. (2005). Technology options for new nutritional concepts. *International Journal of Dairy Technology*, 11(55), 79 – 88.
- Miley, M. (1 de Febrero de 2018). *fabricación de productos: cuidatudinero.com*. Obtenido de [cuidatudinero.com](https://www.cuidatudinero.com): <https://www.cuidatudinero.com/13118996/como-se-fabrican-los-vasos-de-papel>
- MONOUSO. (2021). *MONOUSO.ES*. Obtenido de [MONOUSO.ES](https://blog.monouso.es): <https://blog.monouso.es/vasos-de-plastico-desechables/>
- Nopal hecho en México. (14 de Mayo de 2012). *Blogs personales: blogspot.com*. Obtenido de [blogspot.com](http://nopal-hecho-mexico.blogspot.com): <http://nopal-hecho-mexico.blogspot.com/2012/05/productos-de-nopal.html>
- Oms-Oliu, G., Soliva-Fortuny, R., & Martín-Belloso, O. (2008). Using polysaccharide-based coatings to enhance quality and antioxidant properties of fresh-cut melon. *LWT- Food science and technology*(41), 1862 – 1870.
- Ortega, I. S. (2014). Maíz I (*Zea mays*). *Reduca (Biología)*. *Serie Botánica*. 7(2), 151-171.
- Ouattara, B., Simard, R., Piette, G., Bégin, A., & Holley, R. A. (2000). Inhibition of surface spoilage bacteria in processed meats by application of antimicrobial films prepared with chitosan. *International Journal of Food Microbiology*(62), 139 – 148.
- Padgett, T., Han, L. Y., & Dawson, P. L. (1998). Impact of edible coatings on nutritional and physiological changes in lightly-processed carrots. *Postharvest Biology and technology*(14), 51 – 60.
- Paliwal, R. L. (2001). Introducción al Maíz y su importancia. En R. L. Paliwal, G. Granados, H. R. Lafitte, & A. y. Violic, *El maíz en los trópicos. Mejoramiento y producción* (págs. 1-3). Roma: . Colección FAO: Producción y Protección Vegetal 28. Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación.

- Parzanese, M. (2010). *Alimentos Argentinos - MinAri*. Obtenido de alimentosargentinos.org: http://www.alimentosargentinos.gob.ar/contenido/sectores/tecnologia/Ficha_07_PelículaComestible.pdf
- Pérez Maurice, M. B. (2017). *EVALUACIÓN DE NOPALES (Opuntia ficus indica) COMO FUENTE DE CALCIO*. Proyecto final de ingeniería, UNIVERSIDAD ARGENTINA DE LA EMPRESA, Buenos Aires Argentina.
- Prado-Martínez, M. e. (12 de Enero de 2012). Caracterización de hojas de mazorca de maíz y de bagazo de caña para la elaboración de una pulpa celulósica mixta. *Madera y Bosques*, 18(3).
- PUNTOQPACK. (13 de Marzo de 2018). *PuntoQpack Packaging Gastronómico*. Obtenido de puntoqpack.com: <https://www.puntoqpack.com/blog/la-evolucion-de-los-vasos-n23#:~:text=El%20vaso%20de%20pl%C3%A1stico%20se,mismo%20recipiente%20para%20beber%20todos>.
- Quintero Cerón, J., Falguera Pascual, V., & Muñoz Hernández, J. (2010). Películas y recubrimientos comestibles: importancia y tendencias recientes en la cadena hortofrutícola. *Tumbaga*, 5, 93-118.
- Quintero Cerón, J., Falguera Pascual, V., & Muñoz Hernández, J. A. (2010). Películas y recubrimientos comestibles: importancia y tendencias recientes en la cadena hortofrutícola. *Tumbaga*(5), 93-118.
- Reyes Rojas, A. M. (2007). *MEDICIÓN DE PARÁMETROS BROMATOLÓGICOS EN UN CANDIDATO A MATERIAL DE REFERENCIA DE HARINA DE MAÍZ*. TESIS PROFESIONAL, INSTITUTO TECNOLÓGICO DE OAXACA.
- Salinas Salazar, V. M., Trejo Márquez, M. A., & Lira Vargas, A. (2015). PROPIEDADES FÍSICAS, MECÁNICAS Y DE BARRERA DE PEÍCULAS COMESTIBLES A BASE DE MUCÍLAGO DE NOPAL COMO ALTERNATIVA PARA LA APLICACIÓN EN FRUTOS. *Revista Iberoamericana de Tecnología Postcosecha*, 16(2), 193-198.
- Sanchez-Gonzales, L., Vargas, M., Gonzales-Martinez, C., Chafer, M., & Chiralt, A. (2008). *Incorporación de productos naturales en recubrimientos comestibles para la conservación de alimento*. Universidad Politécnica de Valencia, Departamento de Tecnología de Alimentos, Instituto Universitario de Ingeniería de Alimentos para el Desarrollo.
- Serra, M. (2014). *ania.es*. Obtenido de ania.es: <https://www.ainia.es/insights/recubrimientos-comestibles-son-algo-mas-que-una-tecnologia-de-conservacion/>
- Sesma Suárez, J. (15 de Agosto de 2019). *Excelsior.com*. Obtenido de Excelsior.com: <https://www.excelsior.com.mx/opinion/jesus-sesma-suarez/adios-a-los-plasticos-de-un-solo-uso-en-mexico/1330555>
- Toche, N. (27 de Enero de 2018). *ARTE E IDEAS: EL ECONOMISTA.COM*. Obtenido de ELECONOMISTA.COM: <https://www.economista.com.mx/arteseideas/Películas-biodegradables-para-preservar-el-medio-ambiente-20180127-0019.html>

- Valor Compartido. (17 de Julio de 2020). *ValorCompartido.com*. Obtenido de ValorCompartido.com: <https://valor-compartido.com/mitos-y-realidades-del-unicel/>
- Vela, E. (3 de Febrero de 2021). *arqueologiamexicana.mx*. Obtenido de arqueologiamexicana.mx: <https://arqueologiamexicana.mx/mexico-antiguo/de-las-mas-de-200-clases-de-nopal>
- Vera A., G. (2016). Determinación de azúcares totales, Hidratos de carbono disponibles y Factores de cálculo de energía en alimentos. *Seminario organizado por ACHIPIA* (pág. 23). Santiago de Chile: Laboratorio Centro de Alimentos, INTA, Universidad de Chile.
- Zavala, J. C. (30 de Junio de 2019). Entra en vigor ley que prohíbe envases y embalajes de PET y unicef en Oaxaca. *EL Universal*, pág. Virtual.
- zupla. (2020). *Procesos productivos zupla*. Obtenido de zupla.com: <http://www.zupla.com.ve/procesos-productivos/>

ANEXOS.

Anexo 1. Determinación del contenido de humedad de acuerdo a la Norma Nacional Mexicana NMX-F-083-1986.

La preparación de la lámina debe hacerse lo más pronto posible para evitar ganancia o pérdida de humedad en el laboratorio.

Material y equipo.

- a) Balanza con sensibilidad de 0.1 mg;
- b) Cápsulas con tapa de 5, 8 o 10 cm de diámetro;
- c) Horno o estufa eléctrica con control de temperatura;
- d) Desecador;
- e) Pinzas para crisol;

El material debe estar limpio y lavado con agua destilada, ya que el agua del grifo podría causar una alteración en el resultado por las sales contenidas. Para llevar a cabo la medición del contenido de humedad, es necesario cortar nuestra lamina en cuadros pequeños de aproximadamente 0.5 mm a 0.2 mm cuadrados.

Procedimiento de medición.

- a) Pesar cada una de las charolas de aluminio a ser utilizadas y ponerlas en la estufa a 100°C por un periodo de 8h como mínimo.
- b) Colocar las charolas en un desecador y dejar temperar por 30 minutos.
- c) Registrar el peso de las charolas. La muestra a medir se homogeneiza antes de pesarla, agitando el contenedor en diferentes direcciones con ayuda de una pinza para crisol.

- d) Pesar 1.5 a 2.0 g de la lámina cortada, la muestra debe ser repartida homogéneamente sobre la superficie de la charola para evitar que se queme o tenga un calentamiento irregular. Toda la manipulación se realiza con pinzas.

- e) Colocar las charolas con el material dentro de la estufa por un periodo de 24h a una temperatura de 100°C.

- f) Pasar las charolas al desecador y dejar atemperar por 30 min.

- g) Registrar los valores de peso en la bitácora.

Repetitividad.

La diferencia máxima permisible entre dos determinaciones, como mínimo, efectuadas por el mismo analista con el mismo equipo y la misma muestra no debe ser mayor de 0.1%, en caso contrario repetir la determinación.

Anexo 2. Determinación de extracto etéreo de acuerdo a la Norma Nacional Mexicana NMX-F-089-S-1978.

Reactivos.

- a) Éter de petróleo.

Aparatos e instrumentos.

- b) Extractor Soxhlet.
- c) Cartucho de extracción de tamaño adecuado para el extractor
- d) Parrilla eléctrica de placa con termostato.
- e) Estufa (100 – 110°C) con termostato y termómetro.
- f) Balanza analítica con sensibilidad de 0.1 mg.

Procedimiento.

- 1) Transferir 0.1 a 0.5 g de muestra finamente dividida en el cartucho o dedal; cubrir con una porción de algodón.

- 2) Colocar el cartucho dentro del extractor Soxhlet. En la parte inferior ajustar un matraz con cuerpos de ebullición (llevados previamente a peso constante por calentamiento a 100 – 110°C). Colocar el refrigerante.

- 3) Añadir éter por el extremo superior del refrigerante en cantidad suficiente para tener 2 o 3 descargas del extractor (alrededor de 80 ml).

- 4) Hacer circular el agua por el refrigerante y calentar hasta que se obtenga una frecuencia de unas 2 gotas por segundo.

- 5) Efectuar la extracción durante 4 a 6 horas. Suspender el calentamiento, quitar el extractor del matraz y dejar caer una gota de éter del extractor a un papel o vidrio de reloj, si al evaporarse el éter se observa una mancha de grasa, ajustar el Soxhlet de nuevo al matraz y continuar la extracción.

- 6) Evaporar suavemente el éter del matraz y secar a 100°C hasta peso constante.

Anexo 3. Determinación de proteínas de acuerdo a la Norma Nacional Mexicana NMX-F-068-S-1980.

Reactivos

- 1) Los reactivos que se mencionan a continuación, deben ser grado analítico, cuando se indique agua, debe entenderse agua destilada.
- 2) Ácido sulfúrico concentrado
- 3) Sulfato de cobre pentahidratado
- 4) Hidróxido de sodio: Disolver con 500 cm³ de agua 500 g de hidróxido de sodio.
- 5) Sulfato de sodio anhidro
- 6) Ácido bórico al 4%
- 7) Solución de ácido clorhídrico 0.02 N
- 8) Indicador Shiro Tashiro: Disolver 0.2 g de rojo de metilo en 60 cm³ de alcohol y aforar a 100 cm³ con agua. Disolver 0.2 g de azul de metileno y aforarlos a 100 cm³ con agua. Mezclar 2 partes de rojo de metilo y una de azul de metileno.

Materiales.

- a) El equipo de vidrio empleado debe cumplir con los requisitos que establece la NMX-BB-014.
- b) Matraces Kjeldahl de 500 y/o 800 cm³
- c) Material común de laboratorio

Aparatos e instrumentos.

- a) Digestor y destilador Kjeldahl
- b) Balanza analítica con ± 0.1 mg de sensibilidad

Procedimiento

- a) Determinar la masa, en la balanza analítica, de aproximadamente un gramo de muestra y pasarla cuantitativamente a un matraz Kjeldahl, añadirle 2 g de sulfato de cobre, 10 g de sulfato de sodio anhidro, 25 cm³ de ácido sulfúrico y unas perlas de vidrio.
- b) Colocar el matraz en el digestor y calentar cuidadosamente a baja temperatura hasta que todo el material esté carbonizado, aumentar gradualmente la temperatura hasta que la disolución esté completamente clara y dejar por 30 minutos más a esa temperatura.

- c) Enfriar y añadir de 400 a 450 cm³ de agua para disolver completamente la muestra, agregar 3 o 4 gránulos de zinc, un poco de parafina cuando sea necesario y 50 cm³ de hidróxido de sodio 1:1.

- d) Inmediatamente conectar el matraz a un sistema de destilación, el cual previamente se le ha colocado en la salida del refrigerante un matraz Erlenmeyer de 500 cm³ que contenga 50 cm³ de ácido bórico y unas gotas del reactivo Shiro Tashiro como indicador.

- e) Destilar hasta que haya pasado todo el amoníaco, que unas gotas de destilado no den alcalinidad con el papel tornasol, aproximadamente 300 centímetro cúbicos.

NOTA: Las primeras gotas de destilado deben hacer virar el color del indicador de violeta a verde.

- f) Retirar el matraz receptor y titular el destilado con ácido clorhídrico 0.1 N.

Anexo 4. Determinación de fibra cruda de acuerdo a la Norma Nacional Mexicana NMX-F-090-S-1978.

Reactivos y materiales.

- Solución acuosa de Ácido sulfúrico 0.255 N disolver 1.25 g de H₂SO₄ en 100 ml de agua. Verificar la concentración por titulación
- Solución acuosa de Hidróxido de sodio 0.313 N disolver 1.25 g de NaOH en 100 ml de agua. El agua debe estar libre o casi libre de Na₂CO₃. Verificar la concentración por titulación.
- Asbesto preparado. Extender una capa delgada de asbesto de fibra mediana o larga, lavar en una cápsula de porcelana, calentar durante 16 horas a 600°C, hervir durante 30 minutos con ácido sulfúrico al 1.25%, lavar cuidadosamente con H₂O y hervir 30 minutos con Hidróxido de sodio al 1.25%, filtrar, lavar una vez con agua, secar y calcinar durante 2 horas a 600°C.
- Crisoles de porcelana.
- Desecador.
- Embudo Buckner con matraz tipo Kitasato, para filtrar por succión.
- Papel satinado para fibra cruda o lino de 40 hilos por 2.5 cm.
- Papel filtro de cenizas conocidas.

Aparatos.

Aparato de digestión para fibra cruda con placas calientes y de reflujo constante para vasos de precipitado de 600 ml. La placa caliente debe calentar de tal modo que 200 ml de agua a 25°C alcancen su ebullición con agitación en 15 minutos.

Procedimiento.

1. A 0.1 a 0.5 g de muestra se le extrae la grasa, la que sí es menor del 1% la extracción puede ser omitida.
2. Transferir a un vaso de 600 ml, evitar la contaminación con la fibra de papel.
3. Agregar 1 g de asbesto preparado y 200 ml de ácido sulfúrico al 1.25% hirviendo.
4. Colocar el vaso en el aparato sobre la placa caliente pre ajustado para que hierva exactamente 30 minutos. Girar el vaso periódicamente para evitar que los sólidos se adhieran a las paredes.

5. Quitar el vaso y filtrar a través de papel o tela de lino.
6. Enjuagar el vaso con 50-70 ml de agua hirviendo y verterla sobre el papel satinado o el lino.
7. Lavar el residuo tantas veces como sea necesario, hasta que las aguas de lavado tengan un pH igual al del agua destilada.
8. Transferir el residuo al vaso con ayuda de 200 ml de NaOH al 1.25% hirviendo y calentar a ebullición exactamente 30 minutos.
9. Quitar el vaso y filtrar en Buckner con papel filtro de masa cocida y cenizas conocidas.
10. Lavar con agua hasta que las aguas de lavado tengan un pH igual al del agua destilada. Transferir el residuo a un crisol a masa constante y secar a 130°C durante 2 horas.
11. Enfriar y determinar su masa.
12. Calcinar a 600°C durante 30 minutos.
13. Enfriar y determinar su masa.

Anexo 5. Determinación de cenizas de acuerdo a la Norma Nacional Mexicana NMX-F-066-S-1978.

Materiales.

- Crisol de porcelana.
- Pinzas para crisol.
- Desecador.

Aparatos e instrumentos.

- Parrilla eléctrica con regulador de temperatura.
- Mufla.
- Balanza analítica con sensibilidad de 0.1 mg.

Procedimiento.

1. En un crisol a masa constante, poner de 3 a 5 g de muestra por analizar; colocar el crisol con muestra en una parrilla y quemar lentamente el material hasta que ya no desprenda humos, evitando que se proyecte fuera del crisol.
2. Llevar el crisol a una mufla y efectuar la calcinación completa.
3. Dejar enfriar en la mufla, transferirlo al desecador para su completo enfriamiento y determinar la masa del crisol con cenizas.

Anexo 6. Diseño reticular simplex para la elaboración de la película M

Componentes: 2 Puntos del diseño: 5

VARIABLES DE PROCESO: 0 Grado de retículo: 1

Total de la mezcla: 1.00000

Número de límites para cada dimensión

Tipo de punto 1 0

Dimensión 0 1

Número 2 1

Número de puntos del diseño por cada tipo

Tipo de punto 1 2 0 -1

Distinto 2 0 1 2

Réplicas 1 0 1 1

Número total 2 0 1 2

Límites de los componentes de la mezcla

Comp	Cantidad		Proporción		Pseudocomponentes	
	Inferior	Superior	Inferior	Superior	Inferior	Superior
A	0.0000	1.0000	0.0000	1.0000	0.0000	1.0000
B	0.0000	1.0000	0.0000	1.0000	0.0000	1.0000

Tabla de diseño (aleatorizada)

Corrida	Tipo	A	B
1	1	1.0000	0.0000
2	0	0.5000	0.5000
3	-1	0.2500	0.7500
4	-1	0.7500	0.2500
5	1	0.0000	1.0000

Anexo 7. ANOVA unidireccional: M1, M2, M3, M4, M5

Donde:

M1: Mezcla 1
M2: Mezcla 2
M3: Mezcla 3
M4: Mezcla 4
M5: Mezcla 5

Fuente	GL	SC	MC	F	P
Factor	4	16201	4050	4.33	0.011
Error	20	18722	936		
Total	24	34923			

S = 30.60 R-cuad. = 46.39% R-cuad.(ajustado) = 35.67%

ICs de 95% individuales para la media
basados en Desv.Est. agrupada

Nivel	N	Media	Desv.Est.	IC Inferior	IC Superior
M1	5	59.80	43.49	16.31	103.29
M2	5	93.20	15.21	77.99	108.41
M3	5	86.40	18.62	67.78	105.02
M4	5	33.00	23.33	9.67	56.33
M5	5	33.20	40.83	-7.43	73.83

Desv.Est. agrupada = 30.60