

UNIVERSIDAD PERUANA UNIÓN
FACULTAD DE INGENIERIA Y ARQUITECTURA
Escuela Profesional de Ingeniería Ambiental



Una Institución Adventista

**Estudio de las concentraciones de mucilago de nopal
(*opuntia ficus -indica*) para elaboración de biopolímeros
degradables**

Por:

Diana Natali Miranda Agurto
Sheyla Estefanny Llanqui Ticona

Asesor:

Dr. Noe Benjamin Pampa Quispe

Lima, diciembre de 2019

DECLARACIÓN JURADA DE AUTORIA DE TRABAJO DE INVESTIGACIÓN

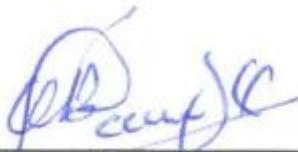
Noe Benjamin Pampa Quispe, de la Facultad de Ingeniería y Arquitectura, Escuela Profesional de Ingeniería Ambiental, de la Universidad Peruana Unión.

DECLARO:

Que el presente informe de investigación titulado: “ESTUDIO DE LAS CONCENTRACIONES DE MUCILAGO DE NOPAL (OPUNTIA FICUS - INDICA) PARA ELABORACIÓN DE BIOPOLÍMEROS DEGRADABLES” constituye la memoria que presentan las estudiantes Diana Natali Miranda Agurto y Sheyla Estefanny Llanqui Ticona para aspirar al Grado Académico de Bachiller en Ingeniería Ambiental cuyo trabajo de investigación ha sido realizado en la Universidad Peruana Unión bajo mi dirección.

Las opiniones y declaraciones en este informe son de entera responsabilidad del autor, sin comprometer a la institución.

Y estando de acuerdo, firmo la presente constancia en Lima, al 2 de noviembre del año 2019.



Dr. Noe Benjamin Pampa Quispe

ACTA DE SUSTENTACIÓN DE TRABAJO DE INVESTIGACIÓN

En Lima, Ñaña, Villa Unión, a 2 día(s) del mes de diciembre del año 2019, siendo las 11:50 horas,

se reunieron los miembros del jurado en la Universidad Peruana Unión Campus Lima, bajo la dirección del (de la) PhD. Leonor Segunda Bustinza Cabala, el (la)

secretario(a): Mg. Iliana del Carmen Gutierrez Rodriguez y los demás miembros:

Jug. Samuel Tito De la Cruz Napan, Mg. Ronald Hugo Rosales Meza

y el (la) asesor(a) Dr. Noe Benjamin Pampa Quispe

con el propósito de administrar el acto académico de sustentación del trabajo de

investigación titulado: Estudio de las concentraciones de mucilago de nopal (Opuntia Ficus-indica) para elaboración de biopolímeros degradables

de los (las) egresados (as): a) Diana Natali Miranda Agurto

b) Sheyla Estefanny Hangui Ticona

conducente a la obtención del grado académico de Bachiller en

Ingeniería Ambiental
(Denominación del Grado Académico de Bachiller)

El Presidente inició el acto académico de sustentación invitando a las candidato (a)/s hacer uso del tiempo determinado para su exposición. Concluida la exposición, el Presidente invitó a los demás miembros del jurado a efectuar las preguntas, y aclaraciones pertinentes, las cuales fueron absueltas por las candidato (a)/s. Luego, se produjo un receso para las deliberaciones y la emisión del dictamen del jurado.

Posteriormente, el jurado procedió a dejar constancia escrita sobre la evaluación en la presente acta, con el dictamen siguiente:

Candidato/a (a): Diana Natali Miranda Agurto

CALIFICACIÓN	ESCALAS			Mérito
	Vigesimal	Literal	Cualitativa	
<u>Aprobado</u>	<u>16</u>	<u>B</u>	<u>Bueno</u>	<u>Muy Bueno</u>

Candidato/a (b): Sheyla Estefanny Hangui Ticona

CALIFICACIÓN	ESCALAS			Mérito
	Vigesimal	Literal	Cualitativa	
<u>Aprobado</u>	<u>15</u>	<u>B-</u>	<u>Bueno</u>	<u>Muy Bueno</u>

(*) Ver parte posterior

Finalmente, el Presidente del jurado invitó a las candidato (a)/s a ponerse de pie, para recibir la evaluación final y concluir el acto académico de sustentación procediéndose a registrar las firmas respectivas.

Leonor Bustinza Cabala
Presidente/a

Dr. Noe Benjamin Pampa Quispe
Asesor/a

Diana Natali Miranda Agurto
Candidato/a (a)

[Firma]
Miembro

[Firma]
Secretario/a

[Firma]
Miembro

Sheyla Estefanny Hangui Ticona
Candidato/a (b)

Artículo de Revisión

Estudio de las concentraciones de mucilago de nopal (*Opuntia ficus -indica*) para elaboración de biopolímeros degradables

STUDY OF NOPAL MUCILAGE CONCENTRATIONS (*OPUNTIA FICUS INDICA*) FOR THE PRODUCTION OF DEGRADABLE BIOPOLYMERS

DIANA NATALI MIRANDA AGURTO [§], SHEYLA ESTEFANNY LLANQUI TICONA

[§]EP. Ingeniería Ambiental, Facultad de Ingeniería y Arquitectura, Universidad Peruana Unión

Resumen

El uso desmedido del plástico y la falta educación ambiental que existe genera grandes acumulaciones en distintos lugares causando un negativo impacto ambiental, esto conlleva a una creciente demanda de alternativas que buscan usar fuentes renovables como materia prima para la elaboración de biopolímeros, pero no basta con buscar nuevos insumos naturales asimismo encontrar una concentración adecuada llevaría a obtener un biopolímero de calidad. Por ello, esta investigación tiene por objetivo analizar las concentraciones óptimas de mucilago de nopal (*Opuntia Ficus Indica*) en la elaboración de biopolímeros degradables mediante revisiones bibliográficas. Los estudios han demostrado que la una concentración menor de 5 gr de mucilago de nopal el bioplástico presentará condiciones más favorables frente a las pruebas físicas y mecánicas a realizarse, además que a esa concentración del insumo se acorta el tiempo de degradación ambiental de la película. Los biopolímeros elaborados con concentraciones mayores a 20 gramos de mucilago de nopal presentan menor porcentaje de permeabilidad al vapor de agua (WVP) y mayor porcentaje en la prueba de solubilidad puesto que el mucilago contiene moléculas hidrofílicas que favorece la adsorción de las moléculas de agua.

Palabras clave: biopolímero, solubilidad, permeabilidad, concentración.

Abstract

The excessive use of plastic and the lack of environmental education that exists generate large accumulations in different places causing a negative environmental impact, this leads to a growing demand for alternatives seeking to use renewable sources as raw material for biopolymers, but it is not enough to look for new natural inputs, and finding an adequate concentration would lead to a quality biopolymer. For this reason, this research aims to analyze the optimal concentrations of nopal mucilage (*Opuntia Ficus Indica*) in the production of degradable biopolymers through literature reviews. Studies have shown that the concentration of less than 5gr of nopal mucilage in the bioplastic will be more favourable than the physical and mechanical tests to be performed, in addition, the time of environmental degradation of the film is shortened to that input concentration. Biopolymers produced with concentrations greater than 20 gr of nopal mucilage have a lower percentage of water vapour permeability (WVP) and higher percentage in the solubility test since mucilage contains hydrophilic molecules that favours adsorption of water molecules

Keyword: biopolymer, solubility, permeability, concentration

1. Introducción

En la actualidad el número de desechos plásticos es alarmante ya que a nivel nacional el plástico ocupa el segundo lugar de los residuos totales, y esto se incrementará durante el pasar de los años (MINAM, 2014). La mayoría de estos residuos no acaban en un relleno sanitario, por lo contrario, son desechados en cualquier lugar sin importar el impacto que esto podría generar al ecosistema, estos desechos se aglomeran en el suelo, aire y en el medio marino, los cuales presentan una amenaza directa e indirecta para la vida humana, flora y fauna (Webb, Arnott, Crawford, & Ivanova, 2013).

Debido a ello, en los últimos años se han buscado nuevas alternativas que ayuden a disminuir el impacto que los plásticos generan en el ambiente, con ese fin se han desarrollado ideas ecológicamente amigables como la elaboración de nuevos productos que minimicen el uso del mismo, dentro de ellas tenemos la elaboración de recubrimientos naturales, el aislamiento de algas y hongos que comen plástico y la sustitución de polímeros por biopolímeros y elaboración de bioplástico hechos a base de almidón de plantas, etc. Siendo la última opción la más empleada en la actualidad pues aparte de su factor ambiental también es económicamente factible el emplearlo.

Los bioplásticos a partir de fuentes renovables son de materia de fácil degradación y reducen significativamente el impacto ambiental en términos de efecto invernadero y consumo de energía. Las plantas al ser especies de fuentes renovables, vienen siendo empleadas como originarias de la materia prima para los bioplásticos, por las propiedades que brindan, en este artículo abordaremos específicamente la planta de Nopal (Mohanty, Misra, & Drzal, 2002); y (Moreno, Humarán, Báez, Báez, & León, 2017).

Los cladodios de Nopal presentan una alta concentración de mucílago, la conformación polimérica y su propiedad de viscosidad hacen que esta planta se pueda usar como una materia prima en la elaboración de películas plásticas (F. Ruiz, 2009). Los cladodios están formados por la epidermis que sintetiza y secreta a la cutina, espinas que brotan en la epidermis, y por el parénquima. (Vargas Rodríguez et al., 2016) determinó que la viscosidad varía directamente proporcional con el aumento de la concentración e inversamente con las temperaturas, por lo que este mucílago es un material para diversas aplicaciones. Salinas, Márquez & Lira (2015) Mencionan que el mucílago es un hidrocoloide capaz de formar una red estructural, siendo esta una característica necesaria para la formación de polímeros.

Dado a todo ello, la aplicación de bioplástico a base de mucílago de nopal representa una alternativa de reemplazo a los plásticos derivados del petróleo. Aunque existen estudios sobre el mucílago de nopal, aún son pocos los que desarrollan el tema de elaboración de bioplásticos con este insumo, siendo este un tema moderno y tecnológico el cual fomenta seguir investigando para su posterior redacción y publicación.

El objetivo del presente artículo es analizar las concentraciones de mucilago de nopal (*Opuntia Ficus Indica*), empleadas en la elaboración de bioplásticos degradables y obtener así la concentración más óptima para el proceso, mediante revisiones bibliográficas.

1. Desarrollo o Revisión

Contexto del origen y permanencia de los biopolímeros degradables

En la actualidad se viene generando un crecimiento industrial abrupto a nivel mundial, debido a la acción consumista y demandante de la humanidad, lo que conlleva al final a la fabricación desmedida de productos, que muchas veces tienen un solo uso como es el caso de los plásticos

de todo tipo, que luego vienen a convertirse en residuos sólidos, y al sumarse la inadecuada segregación y disposición de los mismos, repercute directamente al ambiente generando malestares visuales pues se rompe la vista paisajística de la zona en la que estos se encuentren esparcidos, además alteran el ecosistema en que se encuentre especialmente el ecosistema marino pues repercute directamente alterando la cadena trófica pues que muchas veces la fauna marina los confunden como alimento y los ingieren retardando así su sistema digestivo y en algunos casos eliminando el apetito por completo y como resultado mueren, además esto repercute en la salud de las personas pues se alimentan con peces llenos de micro plásticos, así lo menciona (Calderón & Sánchez, 2012).

El plástico es sin duda uno de los residuos sólidos que despierta mayor interés científico debido a los estudios estructurales que se les puede realizar como las pruebas de tensión y resistencia, modelo de Young y las propiedades de barrera entran en cuestión la solubilidad y la permeabilidad del vapor de agua además de la difracción de rayos X y la microscopía de barrido, etc. Así también para el proceso de degradación existen diferentes métodos entre los que más resaltan, la degradación química, térmica, Biológica, Mecánica, fotodegradación y la más empleada la degradación ambiental así lo menciona (Tello, 2017)

A raíz de la toma de conciencia ambiental que se viene desarrollando a nivel global, se busca alternativas que puedan reemplazar al plástico en sus usos pero que sean más amigables con el ambiente (Pizá, Rolando, Ramirez, Villanueva, & Zapata, 2017).

Según (G. Ruiz, 2006) “el plástico se produce a partir de compuestos petroquímicos y sus desperdicios permanecen en el medio ambiente produciendo un alto grado de contaminación daños potenciales directos a la vida silvestre”. (Greenpeace, 2015). Explica el contexto del problema con estos productos están ligados a su proceso de degradarse y el impacto que este tiene en el ambiente, sobre todo en la vida marina, repercutiendo directamente en la alteración de la cadena trófica pues el plástico al llegar a ese lugar se termina convirtiendo en micro plásticos y estos son ingeridos por la fauna marina.

Según (Gomez Contreras, 1991) menciona que una de las bases principales del desarrollo de la humanidad, es la realización de acciones de manera sostenible, a que así se podrá velar por el resguardo de los recursos no renovables para no desequilibrar por el desgaste de los mismos a las futuras generaciones, este concepto sin duda es el que debería primar sobre toda acción humana que pueda desencadenar impactos negativos directos al ambiente. Por ello es que surge la iniciativa de búsqueda de alternativas para el reemplazo del plástico por otro producto que cumpla las mismas funciones de este con la diferencia significativa que ésta alternativa debe contemplar el uso de recursos renovables así lo afirma (Badia, Gil, & Ribes, 2017).

Una de las medidas adoptadas como alternativas eficaces para disminuir el impacto en el ambiente de los plásticos provenientes de recursos no renovables como el petróleo, es sin duda la elaboración de Biopolímeros degradables o más conocidos en la actualidad como bioplásticos que tienen las características y propiedades similares a la de los plásticos con la única diferencia de ser más amigable con el ambiente (Sanchez, 2017).

Según (Escudero, 2011) los bioplásticos tienen su origen en materias orgánicas renovables, son estructuras poliméricas que permiten mantener completamente la integridad física durante su manufactura, posterior almacenamiento, envasado y uso del consumidor, pero al final de su vida útil son desechados y sufren cambios químicos por influencia de agentes ambientales y microorganismos, que lo transforman en sustancias simples o en componentes menores que eventualmente se asimilan al ambiente.

Para (Chariguamán, 2015) Los bioplásticos son polímeros con alto peso molecular y de origen natural proveniente de fuentes renovables como los hidrocoloides con carácter biodegradable. Son considerados una solución para disminuir la contaminación al medio ambiente por plásticos derivados de petróleo; pero sólo el uso de almidones no brinda las características físicas que las industrias demandan

Polímeros y Biopolímeros

Los polímeros son macromoléculas, originarias por la unión covalente de unidades básicas estructurales, la unión de unidades repetentes se llaman monómeros, estos son sin duda el elemento principal de todo polímero pues dependiendo de la ramificaciones o sitios de conexión que tienen se procede a su evaluación funcional, las uniones de monómeros se pueden realizar de manera lineal o ramificada, son llamadas cadenas poliméricas (Martínez, 1983). Según (Mijangos, 1999) se le puede determinar las propiedades del polímero mediante pruebas mecánicas, químicas, eléctricas, térmicas y ópticas.

Los biopolímeros o polímeros degradables son todas aquellas que garantizan su proceso de degradarse en un sistema biológico, y que se obtienen de todo recurso natural renovable, Según (Rubio & Guerrero, 2012). Estos están categorizados por sus fuentes provenientes las cuales son: de origen microbiano (Ácido poliláctico y polihidroxicanoatos), de origen marino (quitano/quitina), de origen agrícola (Lípidos y grasas e hidrocoloides), además del origen animal (colágeno /Gelatina). El nopal tiene entre sus propiedades el ser una planta hidrocoloide pues genera dispersión viscosa o gel, la cantidad de goma o gel que se genere dentro de la planta varía de acuerdo a la cantidad de años de madurez que este tenga (Silva, 2017).

Los hidrocoloides naturales, como los mucílagos o las gomas provenientes de exudados de semillas o tallos, pueden ser usados como fibra dietaria, modificadores de textura, agentes gelificantes, estabilizantes, emulsionantes, etc. Debido a las propiedades fisicoquímicas y funcionales que presentan las diferentes gomas, están influenciadas por la composición química, estructura molecular, extracción, además de las condiciones de procesamiento (Jiménez, 2014).

Propiedades del Mucílago de Nopal (*Opuntia Ficus Indica*)

Está comprobado que el nopal contiene un mucílago que puede ser utilizado como materia prima para la elaboración de bioplásticos. Algunos estudios que afirman lo expuesto, son los siguientes:

(Del Valle, Hernández, Guarda, & Galotto, 2005) resalta la importancia del nopal como un polisacárido capaz de formar geles en agua, absorbe grandes cantidades de agua disolviéndose y formando una mezcla viscosa o gelatinosa.

Por otro lado (Gebresamuel & Tsige Gebremariam, 2011) realizó la comparación de dos especies de nopal *Opuntia ficus indica* y *Opuntia littoralis* dando como resultado que ambos tipos de mucílago son suficientes para impartir la consistencia deseada industrialmente al líquido.

Además, (Salinas, Márquez, & Lira, 2015) recalca que el mucílago mantiene la capacidad de formar una red estructural, la cual es una característica para la formación de películas, esta cactácea presenta en su estructura química una similitud con algunas gomas comerciales.

Los nopales tienen sustancias viscosas generalmente llamadas mucílago, esto está constituido por carbohidratos de alto peso molecular y por dos polímeros naturales: amilasa y amilopectina. La amilasa se encuentra formando una cadena helicoidal que en solución tiene la capacidad de formar películas delgadas que, al secar, presentan alta rigidez. Según

La amilasa es un azúcar del mundo vegetal que todo almidón tiene y es empleado en el proceso de elaboración del bioplástico, debido a que es más fácil el aumentar el volumen entre sus cadenas con un plastificante como el glicerol. (Campos, González, & Reyes, 2009)

La amilopectina, como todo compuesto de alto peso molecular, presenta viscosidad elevada en estado puro, pero es altamente soluble en agua. Cuando se combinan se forma una solución acuosa con características de cohesión y propiedades mecánicas (Orozco, 2017).

(Cheng, Mei Lin, & Hsuen, 1996) Menciona que la amilopectina tiene la propiedad de hinchamiento en un almidón esto va directamente relacionado al grado de deformación que tendrá un bioplástico de acuerdo a la cantidad de amilopectina que contenga, pues a mayor poder de hinchamiento se producen geles más deformables.

Concentraciones de mucílago de nopal para elaboración de Biopolímeros degradables

En la tabla N° 1 se muestra la recopilación bibliográfica sobre las concentraciones óptimas para la elaboración de los biopolímeros. Las abreviaturas expuestas en el cuadro representan lo siguiente:

MN=Mucilago de nopal, GL=Glicerol, AP=Almidón de papa, PG=Propilenglicol, AG=Agua, PT=Pectina, AO=Ácido oleico, GR=Grenetina, PE=Proteína, CN=Cera natural

Tabla. 1.

Data recopilada de las diferentes concentraciones

Autor	Concentraciones									
	MN (gr)	GLIC (gr)	Agua (ml)	Pectina (gr)	AP (gr)	PG (gr)	Ácido oleico (gr)	Grenetina (gr)	Proteína (gr)	Cera Natural (gr)
(Espino et al., 2010)	2	1	50	-	-	-	-	-	-	-
(Vargas Rodríguez, Arroyo Gamiño, Fuentes Ramírez, & Contreras López, 2018)	1	0.5	50	-	-	-	-	-	-	-
(Guadarrama, Castaño, Velázquez, Carrillo, & Alvarez, 2018)	20	5	100	2	-	-	-	-	-	-
(Moreno et al., 2017)	2-3	2-3	18-22	-	2-4	-	-	-	-	-
(Gonzales Gonzales, 2007)	5	-	100	-	-	5	3	1	-	-
(Salinas et al., 2015)	1.5	-	-	-	-	-	-	1	-	-
(Pascoe Ortiz & Mendoza Arce, 2019)	0.6	0.1	-	-	-	-	-	-	0.25	0.1

En el año 2010 (Espino et al., 2010) desarrolló la caracterización de películas comestibles elaboradas a base de mucílago de nopal (*opuntia ficus indica*), la concentración que generó buenos resultados en las pruebas desarrolladas por él para la determinación de la calidad del bioplástico fueron de 2gr, 1 ml y 50ml de mucílago de nopal, glicerol y agua destilada. Las pruebas que realizó fueron las de Resistencia a la tracción (TS) y la permeabilidad del vapor de agua (VPA) cabe destacar que el resultado óptimo del producto final se puede ver influenciado debido a la correcta homogeneización de todos los insumos que se necesitaron en el proceso de elaboración de la película, pero no es determinante, dado que depende de la cantidad de insumos que se suministre para que el proceso de elaboración sea el correcto y los insumos se integren completamente, de los factores evaluados dentro del proyecto fue la consideración del proceso de degradación específicamente en la del tiempo, siendo la cantidad estimada en relación de 3 a 5 meses debido a que la película de bioplástico presenta un grosor insignificante, el deterioro en su totalidad está ligado directamente al grosor de las películas que estas presenten y al tipo de degradación que se emplee.

Según los trabajos desarrollados por (Vargas Rodríguez et al., 2016) las concentraciones que emplearon fueron 1 gr de Mucílago de nopal, 0.5 ml de glicerol, 50 ml de agua destilada, para (Salinas et al., 2015) obtuvo la concentración de 1.5 gr de mucílago de nopal, 1.5 gr Grenetina 1 gr, y para el trabajo presentado por (Gonzales Gonzales, 2007) obtuvo 5 gr mucílago de nopal, 5 gr Polietilenglico, 3 ml Ácido oleico/100 ml agua destilada, las concentraciones antes mencionadas fueron las más óptimas para la elaboración del bioplástico, se logra observar que la cantidad de concentración del mucílago de nopal es siempre menor a 5 gr, pues en concentraciones menor a ésta, se obtienen mejores resultados en las pruebas físicas y mecánicas tales como resistencia y elongación. El mucílago de nopal presenta una inmediata adaptabilidad con los insumos secundarios en el proceso de homogeneización de la mezcla, aportando así sus propiedades de viscosidad y retención de agua, para el proceso de degradación de estas películas de bioplástico se estima un rango de entre 4 a 6 meses el tiempo de demora para degradación completa, resaltando el tipo de degradación y el grosor de la película.

Para (Guadarrama, Castaño, Velázquez, Carrillo, & Alvarez, 2018) obtuvieron como concentraciones óptimas 20 gr de mucílago de nopal, 5 ml glicerol, 100 ml de agua destilada, 2 gr de Pectina, siendo estos los resultados más eficientes de las pruebas físicas y mecánicas, en este caso se logra observar que la cantidad de mucílago de nopal es elevada en comparación a los trabajos citados anteriormente, si bien se logró obtener el bioplástico, presenta una característica peculiar distinta a las demás películas en el grosor del mismo repercutiendo así en el proceso de su degradación ambiental, por lo que se estima tomará un periodo de 7 a 12 meses en descomponerse en su totalidad.

Para (Moreno et al., 2017) las concentraciones más óptimas fueron 2 gr de mucilago de nopal, 2 ml de glicerol y 22 ml de agua, además hizo uso 3 gr de almidón de papa, al ser homogenizado estos insumos se obtuvo una película de bioplástico de un grosor relativamente delgado el cual favoreció en el proceso de degradación pues su tiempo mínimo fue de entre 2 a 4 meses a degradación ambiental.

Para (Pascoe Ortiz & Mendoza Arce, 2019) las concentraciones más óptimas de los insumos fueron 0.6 gr de mucilago de nopal, 0.10 ml de glicerol, 0.25 gr de proteína y 0.10 gr de cera natural, al ser homogeneizados los insumos se logró obtener una mezcla semi viscosa la cual facilitó en el proceso de elaboración del bioplástico, además se pudo obtener un grosor mínimo, haciendo el tiempo de degradación menor a 4 meses aproximadamente.

(Pizá et al., 2017) Manifiesta que debido a la cantidad de insumo que se le añade a una mezcla este será de influencia trascendental, pues aumentará o disminuirá las propiedades de cada uno de los insumos, repercutiendo así en el producto final que se espera.

En los trabajos elaborados por (Pascoe Ortiz & Mendoza Arce, 2019), (Moreno et al., 2017), (Vargas Rodríguez et al., 2016), (Gonzales Gonzales, 2007), (Espino et al., 2010) y (Salinas et al., 2015). Acreditan que la cantidad de mucilago de nopal empleado para el proceso de elaboración de bioplásticos es menor o igual a 5 gr, siendo este el resultado promedio entre todas las investigaciones pues muestran resultados optimistas respecto a la calidad de la película elaborada. Además, con ello se pudo ratificar el poder de expansión de la amilopectina que se encuentra en el nopal y por ende el mucilago de nopal, aportando viscosidad a la mezcla de manera balanceada, estas cantidades de mucilago de nopal fueron tomadas como las más óptimas debido a que salieron ventajosas sobre los resultados de las pruebas realizadas por elongación y tracción, siendo estas determinantes en la obtención de la verificación de la calidad de un bioplástico.

Por lo tanto logramos asegurar que de acuerdo a los resultados obtenidos por (Guadarrama et al., 2018). La concentración mayor o igual que 20 gr de mucilago de nopal que se le adhiera a la mezcla, éste repercutirá en la generación del grosor de la película y por ende en la calidad del mismo, empleando mayor tiempo en el tipo de degradabilidad que se le quiera realizar. Por lo tanto, se llega a coincidir en la idea con los autores, que a mayor cantidad de mucilago de nopal en la mezcla se presenta mayores deformaciones que se le proporciona a la biopelícula esto debido a la alta permeabilidad con el que cuenta, todo lo contrario resulta el aplicar concentraciones menores o iguales a 5 gr de mucilago de nopal a la mezcla, pues a menor cantidad del mismo menor es el porcentaje de hinchamiento que realiza la amilopectina en el medio y menor permeabilidad, por ende no genera rangos abruptos deformaciones en las películas elaboradas.

En el análisis de la información recopilada se logró identificar las pruebas realizadas a los biopolímeros, las cuales se muestran en la Tabla N°2.

Tabla 2.

Pruebas realizadas a los biopolímeros

Autor	Pruebas realizadas	Permeabilidad	Solubilidad	Prueba de tracción	Prueba de elasticidad
(Espino et al., 2010)	Resistencia a la tracción (TS) Permeabilidad de Vapor de Agua (PVA) Prueba de elasticidad	-	-	8.47 N	6.20 N
(Vargas Rodríguez, Arroyo Gamiño, Fuentes Ramírez, & Contreras López, 2018)	Combustibilidad Ph, Resistencia del disolvente Resistencia a la tracción (Ts)., Prueba de elasticidad.	-	-	6.33 N	3.5 N
(Guadarrama et al., 2018)	Solubilidad Permeabilidad al vapor de agua (PVA) Análisis termo gravimétrico Calorimetría diferencial de barrido (DSC) Prueba de elasticidad Resistencia a la Tracción (TS)	+	+	1.5 N	0.86 N
(Moreno et al., 2017)	Resistencia al tacto Facilidad de moldeo Apariencia/Olor	-	-	-	-
(Gonzales Gonzales, 2007)	Permeabilidad al vapor de agua (PVA) Resistencia la tracción (TS) Prueba de elasticidad.	+	+	4.67 N	2.85 N
(Salinas et al., 2015)	Color Transparencia Permeabilidad al vapor de agua (PVA) Prueba de Resistencia a la tracción (TS) Prueba de elasticidad	-	-	3.85 N	2.8 N

En los estudios revisados se logra identificar las pruebas físicas y mecánicas que se aplicaron a los biopolímeros, siendo estas las pruebas de resistencia a la tracción, combustibilidad, resistencia del disolvente, espectroscopia infrarrojo, Análisis termo gravimétrico, calorimetría diferencial de barrido, resistencia al tacto, facilidad de moldeo, fuerza de fractura, solubilidad y permeabilidad, siendo estas dos últimas opciones las más resaltantes entre todas las demás debido a la reincidencia en toda la bibliografía recopilada

Una de las características principales del biopolímero es su capacidad de degradación por ello se relaciona el análisis de permeabilidad al vapor de agua y solubilidad.

La permeabilidad es el proceso de transferencia de masa y/ o energía en el cual se produce el paso de moléculas a través del material polimérico. Este proceso por tanto puede ser descrito por dos mecanismos, por un lado el flujo capilar, que implica el paso de moléculas a través de poros o bien defectos propios del material de envase, y el proceso de permeabilidad por difusión (Senss, 2016)

Para (Espino et al., 2010). Las películas de bioplástico elaboradas con 2 gr de mucilago de nopal tienen una baja permeabilidad y por ende un menor porcentaje de solubilidad. Para (Vargas Rodríguez et al., 2018). Las películas de bioplástico de 1 gr de mucilago de nopal obtienen una baja permeabilidad y una menor solubilidad. Según (Guadarrama et al., 2018), las biopelículas elaboradas con 20 gr de mucilago de nopal presentan un porcentaje mayor de permeabilidad y un menor nivel de solubilidad, Para (Moreno et al., 2017) las películas de bioplástico elaborados con 2 a 3 gr de mucilago de nopal tienen una bajo porcentaje de permeabilidad y una baja solubilidad, por su parte (Gonzales Gonzales, 2007) establece que con 5 gr de mucilago de nopal en la formación de la película, éste cuenta con mayor permeabilidad y mayor solubilidad, por ultimo (Salinas et al., 2015) menciona que 1.5 gr de mucilago de nopal cuenta con una baja permeabilidad y menor solubilidad. A partir de los resultados obtenidos se puede inferir que todas las revisiones bibliográficas mencionadas con anterioridad coinciden en que la permeabilidad al vapor de agua va a estar en función a la cantidad de mucilago que se le adhiera a la mezcla para elaboración del bioplástico, debido a la capacidad hidrofílica que presenta el mucilago de nopal.

En función a los resultados obtenidos en las pruebas de tracción y elasticidad para (Guadarrama et al., 2018) y (Gonzales Gonzales, 2007) presentan el menor tiempo de rotura de las películas, siendo un punto negativo para la resistencia del mismo, pues al contener una permeabilidad alta la película se deforma con mayor facilidad y se obtiene un tiempo y fuerza de rotura y elasticidad del mismo menores a 1.5 N. Las pruebas presentan una relación directamente proporcional. (Galgano et al., 2015) Menciona que la permeabilidad al vapor de agua es fundamental en las reacciones de degradación de las películas.

Aplicación de Biopolímeros

Al realizar la investigación sobre el mucílago de nopal como materia prima para elaboración de un biopolímero o bioplástico notamos que existe muy poca información específica de fuentes primarias y fuentes secundarias sobre el tema, por lo que es necesario seguir investigando la importancia del mucílago de nopal para la creación de bioplásticos específicamente el rango de concentraciones óptimas para la elaboración, en la recolección de información se logró identificar que el uso mayoritario del mucílago de nopal y sus concentraciones son para películas o recubrimientos comestibles para frutas conteniendo sus propiedades físicas intactas.

Los biopolímeros vienen siendo empleados en su mayoría como recubrimientos de alimentos para mantener propiedades antioxidantes en estos manteniéndolos intactos por más tiempo. También son empleados como materia prima en la elaboración de objetos de almacenamientos temporales como cajas, bolsas y estantes. Además, continúan en constante crecimiento pues son una alternativa “verde” y sostenible, resultando más ecológicos ya que reducen la huella de carbono y uso de un combustible como el petróleo.

Conclusiones

El mucílago del nopal (*Opuntia Ficus Indica*) tiene propiedades beneficiosas que son usadas en el proceso de elaboración de películas de bioplásticos, además el grado de concentración del mucílago de nopal es sin duda fundamental para la elaboración y obtención de un biopolímero, se recomienda que se establezca concentraciones específicas del mucílago de nopal en relación al grosor que se espera obtener pues dependiendo de ello afectará el proceso de degradación de la película.

Se llega a la conclusión que al usar una concentración menor o igual a 5 gr de mucílago de nopal, el bioplástico presentará condiciones más favorables frente a las pruebas físicas y mecánicas a realizarse, pero obtendrá una baja permeabilidad.

Además, se concluye que a mayor concentración de mucilago de nopal que tenga la película de biopolímero el grado de permeabilidad será mayor debido a la influencia del carácter hidrofílico del hidrocoloide usado, y por ende el grado de solubilidad será mayor debido a los azúcares contenidos en la amilasa y por el contrario el mayor uso de mucilago de nopal proporcionará menor permeabilidad a la película y una mayor solubilidad, por ello dependerá mucho de lo que se quiera ejercer y obtener que variará la concentración de mucilago de nopal a usar.

También se concluye que la película elaborada con altas concentraciones de mucilago de nopal son mas fácil de deformarse y resultan más fáciles de presentar rotura o agrietamiento,

Referencias

- Badia, J., Gil, O., & Ribes, A. (2017). Long-term properties and end-of-life of polymers from renewable resources. *Polymer Degradation and Stability*, 137, 35–57. <https://doi.org/10.1016/j.polymdegradstab.2017.01.002>
- Calderón, C., & Sánchez, I. (2012). Crecimiento económico y política industrial en México. *Problemas Del Desarrollo*, 43(170), 125–154. <https://doi.org/10.22201/iiec.20078951e.2012.170.32138>
- Campos, P., González, S., & Reyes, N. (2009). *Bio Plásticos Utilizados En La Agroindustria*. Retrieved from http://www.thesis.uchile.cl/tesis/uchile/2009/aq-campos_p/pdfAmont/aq-campos_p.pdf
- Chariguamán, J. (2015). *Caracterización de bioplástico de almidón elaborado por el método de casting reforzado con albedo de maracuyá (Passiflora edulis spp.)*. Retrieved from <https://bdigital.zamorano.edu/bitstream/11036/4560/1/AGI-2015-014.pdf>
- Cheng, Y., Mei Lin, M., & Hsuen, K. (1996). Effect of amylose content on the rheological property of rice starch. *Carbohydrates*, 73(4), 415–420.
- Del Valle, V., Hernández, P., Guarda, A., & Galotto, M. (2005). Development of a cactus-mucilage edible coating (*Opuntia ficus indica*) and its application to extend strawberry (*Fragaria ananassa*) shelf-life. *Food Chemistry*, 91(4), 751–756. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2004.07.002>
- Escudero, L. (2011). Determinación de la biodegradabilidad y toxicidad de materiales plásticos : Retrieved from <http://hdl.handle.net/10317/2001>
- Espino, M., Ornelas, J., Martínez, M. A., Santillán, C., Barbosa, G. V., Zamudio, P. B., & Olivas, G. I. (2010). Development and characterization of edible films based on mucilage of *Opuntia ficus-indica* (L.). *Journal of Food Science*, 75(6), 347–352. <https://doi.org/10.1111/j.1750-3841.2010.01661.x>
- Galgano, F., Condelli, N., Favati, F., Di Bianco, V., Perretti, G., & Caruso, M. C. (2015). Biodegradable packaging and EDIBLE COATING for fresh-cut fruits and vegetables. *Italian Journal of Food Science*. Chiriotti Editori. <https://doi.org/10.14674/1120-1770/ijfs.v70>
- Gebresamuel, N., & Tsige Gebremariam. (2011). Comparative Physico-Chemical Characterization of the Mucilages of Two Cactus Pears (*Opuntia spp.*) Obtained from Mekelle, Northern Ethiopia. *Journal of Biomaterials and Nanobiotechnology*, 3(January), 79–86.
- Gomez Contreras, J. (1991). Del desarrollo sostenible a la sustentabilidad Ambiental. *Revista Facultad de Ciencias Económicas*., 22(1), 147–203. <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-012740-5.50009-8>
- Gonzales Gonzales, L. (2007). Desarrollo y evaluación de una película comestible obtenida del mucílago de nopal (*Opuntia ficus-indica*) utilizada para reducir la tasa de respiración

de nopal verdura, 131–138.

Greenpeace. (2015). Un millón de acciones contra el plástico, 91–128.

<https://doi.org/10.1146/annurev.matsci.33.022802.091651>

Guadarrama, A., Castaño, J., Velázquez, G., Carrillo, H., & Alvarez, J. (2018). Effect of nopal mucilage addition on physical, barrier and mechanical properties of citric pectin-based films. *Journal of Food Science and Technology*, (9), 3739–3748.

<https://doi.org/10.1007/s13197-018-3304-x>

Jiménez, E. (2014). *Obtención del Mucilago de la cascara de la Tuna (Opuntia ficus- indica) a partir de diferentes metodos de extracción*. Universidad de Chile. Retrieved from

<http://repositorio.uchile.cl/bitstream/handle/2250/130028/Obtencion-del-mucilago-de-la-cascara-de-la-tuna.pdf?sequence=1&isAllowed=y>

Martinez, G. (1983). Un área de confluencia en la física: Polímeros. Retrieved from

<https://www.revistaciencias.unam.mx/en/139-revistas/revista-ciencias-4/1083-polimeros.html>

Mijangos, C. (1999). La investigación en materiales polímeros. Una necesidad de la sociedad.

Retrieved from <http://hedatuz.euskomedia.org/6577/1/05275280.pdf>

MINAM. (2014). *Sexto Informe Nacional de Residuos Sólidos de la gestión del ámbito municipal y no municipal 2013*. Retrieved from

<http://redrrss.minam.gob.pe/material/20160328155703.pdf>

Mohanty, A. K., Misra, M., & Drzal, L. T. (2002). Sustainable Bio-Composites from Renewable Resources in Green Materials world. *Journal of Polymers and the Environment*, 10(April), 19–26. <https://doi.org/10.1023/A:1021013921916>

Moreno, I., Humarán, V., Báez, P., Báez, G., & León, A. (2017). Transformacion del almidon de papa, mucilago de nopal y sabia en bioplasticos como productos de valor agregado amigables con el ambiente. *RA XIMHAI*, 13(3). Retrieved from

<http://www.redalyc.org/pdf/461/46154070021.pdf>

Orozco, E. (2017). *Elaboración y caracterización de películas de mucilago de Nopal-pectina: efecto de la concentración del mucilago de Nopal en las propiedades fisicoquímicas y mecánicas*. Universidad Autonoma del Estado de Mexico.

Pascoe Ortiz, S., & Mendoza Arce, M. (2019). Producción y Caracterización de Películas de Biopolímero de Nopal *Opuntia ficus-indica* (L .), (March).

Pizá, H., Rolando, S., Ramirez, C., Villanueva, S., & Zapata, A. (2017). *Analisis experimental de la Elaboración de Biplastico a partir de la Cascara de Plátano para el diseño de una linea de produccion alterna para las chifleras de Piura*. Retrieved from https://pirhua.udep.edu.pe/bitstream/handle/11042/3224/PYT_Informe_Final_Proyecto_Bioplastico.pdf?sequence=1&isAllowed=y

Rubio, M., & Guerrero, J. (2012). *Polímeros utilizados para la elaboración de películas biodegradables*. *Temas Selectos de Ingeniería de Alimentos* (Vol. 6). Mexico.

Ruiz, F. (2009). *Aplicación de películas comestibles a base de quitosano y mucílago de nopal*

en fresa (Fragaria ananassa) almacenada en refrigeración. ReVision.

- Ruiz, G. (2006). Obtencion y caracterizacion de un polimero biodegradable a partir del almidon de yuca. *Ingenieria y Ciencia*, 2(4). Retrieved from <http://www.redalyc.org/articulo.oa?id=83520401>
- Salinas, V., Márquez, A., & Lira, A. (2015). Propiedades físicas, mecánicas y de barrera de películas comestibles a base de mucílago de Nopal como alternativa para la aplicación en frutos. *Revista Iberoamericana de Tecnología Postcosecha*, 16(2), 193–198.
- Sanchez, K. (2017). *Comparación de la calidad de bioplásticos obtenidos del almidón de los residuos de papa y camote de restaurantes del mercado central del distrito de independencia, 2017*. Universidad Cesar Vallejo. Retrieved from http://repositorio.ucv.edu.pe/bitstream/handle/UCV/12651/Sanchez_HKR.pdf?sequence=4&isAllowed=y
- Senss, M. (2016). *Desarrollo de un Film bioplástico comestible para reducir el pardeamiento enzimático en frutas deshidratadas*. Universidad Argentina de la Empresa.
- Silva, M. (2017). Extracción del mucílago de la penca de tuna y su aplicación en el proceso de coagulación-floculación de aguas turbias.
- Tello, J. (2017). *Estudio de las propiedades mecánicas de bioplástico que contiene ácido poliláctico mediante pruebas de intemperismo*. Universidad Autónoma del Estado de México.
- Vargas Rodríguez, L., Arroyo Figueroa, G., Herrera Méndez, C. H., Pérez Nieto, A., García Vieyra, M. I., & Rodríguez Núñez, J. R. (2016). Propiedades físicas del mucílago de nopal. *Acta Universitaria*, 26(NE-1), 8–11. <https://doi.org/10.15174/au.2016.839>
- Webb, H. K., Arnott, J., Crawford, R. J., & Ivanova, E. P. (2013). Plastic degradation and its environmental implications with special reference to poly(ethylene terephthalate). *Polymers*, 5, 1–18. <https://doi.org/10.3390/polym5010001>