



Universidad Mayor de San Andrés
Facultad de Ingeniería
Carrera de Ingeniería Industrial



REVISTA INDUSTRIAL 4.0

ISSN 2958-017x

Edición Impresa Nro. 9
Junio 2024

PRESENTACIÓN

El Revista Industrial 4.0, florece en su novena edición digital, en cinco años de fructífera labor de publicación de artículos de investigación, desarrollo tecnológico e innovación. La plataforma de la Carrera de Ingeniería Industrial, luce más que nunca como una palestra de la producción científica, que busca mostrar a la sociedad y al mundo, los ribetes de la generación de conocimiento de hombres y mujeres profesionales, que indagan nuevas vetas del saber.



M. Sc. Ing. Fernando Sanabria Camacho
Director Instituto Investigaciones Industriales

Hoy más que nunca la academia necesita ser protagonista, en un contexto en el que la humanidad, busca soluciones a sus múltiples problemas de subsistencia. El propio desarrollo tecnológico, ha despegado sin medir consecuencias, efectos e impactos de tipo social y ambiental. La variable económica parece ser la que prevalece en todo momento, aunque carente de la consideración de las previsiones del riesgo. Por ello, es vital que la academia fortalezca sus instrumentos de gestión de la ciencia, tecnología e innovación, con visión de pertinencia y sostenibilidad.

Dicho proceso se consolida con la fase culminante de la difusión y transferencia de los resultados intermedios y finales, las lecciones aprendidas, los hallazgos, las innovaciones y el potencial de esperanza que los investigadores, deben mostrar y compartir. Por ello, la importancia de la oportunidad que la Revista Industrial 4.0 ofrece a la comunidad académica y científica de ingeniería industrial y las disciplinas complementarias. Por el impulso demostrado, sin duda, ocupará el sitio de las revistas especializadas indexadas de Latinoamérica, en el corto plazo.

M.Sc. Ing. Fernando Sanabria Camacho
Director Instituto Investigaciones Industriales

**Universidad Mayor de San Andrés
Facultad de Ingeniería
Carrera de Ingeniería Industrial**

**Dra. María Eugenia García Moreno
Dr. Tito Estévez Martini
Ing. Freddy Gutierrez Barea
Ing. Miguel Muñoz Black
Ing. Franz José Zenteno Benítez**

**Rectora
Vicerrector
Decano Facultad de Ingeniería
ViceDecano Facultad de Ingeniería a.i.
Director de Carrera Ingeniería Industrial**

**Revista Industrial 4.0
Edición Impresa N° 9 - Junio 2024
Impresa: ISSN 2958-017X
En Línea: ISSN-L 2958-0188**

**Comite Editor:
Ing. Mónica Lino Humerez
Ing. Grover Sanchez Eid
Ing. Fernando Sanabria Camacho**

**Diseño Versión Impresa & web:
Ing. Enrique Orosco Crespo**

**Imagen Tapa:
Carrera de Ingeniería Industrial**

**Imprenta:
Walking Graf**

**Depósito Legal:
4-3-68-20**

**Web:
<https://industrial.umsa.bo/revistaindustrial-40>
Email:
revistaindustrial4.0@umsa.bo**

**Av. Mcal. Santa Cruz N° 1175, Plaza del Obelisco
Mezzanine, Edificio Facultad de Ingeniería
TEI. 2205000-2205067, Int. 1402
Campus Universitario, Cota Cota - calle 30**

OBTENCION DE UN POLIMERO BIODEGRADABLE A PARTIR DE LA PEPA DE PALTA (GENERO PERSEA)

Ing. MSc. Jorge Alberto Vásquez Peñaranda,
jorgevasquezp@gmail.com
<https://orcid.org/0009-0008-9944-5718?lang=es>

Ing. Ayrton Mario Urbano Yucra,
Ayrtonm33@gmail.com
<https://orcid.org/0009-0006-9275-058X?lang=es>

Recibido: 29 de abril; aprobado: 26 de junio

RESUMEN

La palta es una planta arbórea, con alrededor de ochenta y cinco especies distribuidas en América (Canaza Callisaya, 2014). En Bolivia se encuentra en zonas tropicales, valles y Yungas donde se favorece su crecimiento y producción. Por otro lado, la contaminación ambiental fuertemente impactada por los polímeros sintéticos o plásticos derivados de hidrocarburos, mismos que se desechan al ambiente sin ninguna gestión y tardan cientos de años en degradarse (Mayorga Sosa, 2016), busca implementar nuevas tecnologías, como obtención de biofilm¹ (Maricela, 2020, pág. 21) o conglomerado de biopolímeros productos orgánicos de rápida degradación que permitirán sustituir progresivamente a los plásticos. La investigación se enfoca en determinar las mejores condiciones de operación para la obtención de un biofilm a partir de pepa de palta (Durán V. & Morales G.), se determinan de las condiciones adecuadas de operación para alcanzar buenas propiedades mecánicas. Se caracterizó la pepa de palta, para conocer el porcentaje de almidón, se obtuvo el biofilm a través de técnicas analíticas estándares y aplicación de herramientas estadísticas como diseño factorial; se realizaron varias corridas experimentales para obtener mayor elasticidad, resistencia del biofilm, espesor y densidad respectivamente (Rodriguez Sepulveda & Carlos, 2016). Se estudió su degradación bajo condiciones ambientales normales.

¹ La definición de biofilm es una comunidad estructurada y compleja de bacterias y otros microorganismos que se adhiere a una superficie. La población de un biofilm a menudo sufre cambios morfológicos y metabólicos, lo cual permite que los microorganismos sobrevivan en un entorno que de otro modo sería inhóspito. <https://es-mx.ecolab.com/articles/2020/09/what-is-biofilm>

Palabras clave: biofilm, almidón, degradación

OBTAINING A BIODEGRADABLE POLYMER FROM THE AVOCADO KERNEL (PERSEA GENUS)

ABSTRACT

Avocado is a tree plant, with about eighty-five species distributed in the Americas. In Bolivia, it is found in tropical zones, valleys, and Yungas where its growth and production are favored. On the other hand, environmental pollution is strongly impacted by synthetic polymers or hydrocarbon-derived plastics, which are discarded into the environment without any management and take hundreds of years to degrade, seeks to implement new technologies, such as obtaining biofilm or conglomerate of biopolymers, organic products of rapid degradation that will progressively replace plastics. The research focuses on determining the best operating conditions for obtaining a biofilm from avocado seed, the appropriate operating conditions are determined to achieve good mechanical properties. The avocado seed was characterized, to know the percentage of starch, and the biofilm was obtained through standard analytical techniques and application of statistical tools such as factorial design; several experimental runs were carried out to obtain greater elasticity, biofilm resistance, thickness, and density respectively. Its degradation under normal environmental conditions was studied.

Key words: Biofilm, starch, degradation.

1 INTRODUCCIÓN

A nivel mundial el uso indiscriminado de productos plásticos (Seymour & Carraher, 1995) ha ocasionado grandes niveles de contaminación ambiental y Bolivia no está libre de esta problemática, en todos los países se utilizan millones de bolsas plásticas todos los días, acostumbrando a la población a depender de ellas; se estima que el uso es de cerca de 578 mil bolsas por hora, 416 millones al mes y 5 mil millones por año, las cuales terminan en los basureros, en las calles, o en los océanos (Pabón Claudia, 2021).

Para comprender el enorme impacto ocasionado al medio ambiente, este se resume en lo siguiente: se demora un minuto para producir una bolsa plástica, se la utiliza entre 15 a 30 minutos y tarda 400 años en degradarse, pero al margen de afectar al medio ambiente, los productos plásticos también pueden generar serios problemas en la salud (Pabón Claudia, 2021).

En la actualidad existen diversos procesos que permiten la obtención de nuevos materiales biofilm, para reducir la contaminación ambiental. Entre los biopolímeros más estudiados, se encuentra el almidón procedente de diferentes fuentes, debido a su abundancia y su obtención a bajo costo. El objetivo es reemplazar a los polímeros sintéticos utilizando procesos que transformen el almidón en biopolímero y aportar con mejoras en las características físicas, químicas y mecánicas de las películas biodegradables o biofilm (Montes Hernandez, 2017, pág. 6).

Se emplean diversas sustancias para elaborar las biopelículas como los polisacáridos con capacidad de formar una matriz estructural, entre ellos se encuentran el almidón (Duran V y otros, 2005), carragenato, quitosano, pectina, además de las proteínas que mejoran las propiedades de barrera al oxígeno, entre las más utilizadas están el colágeno, gluten de trigo, proteína de leche, gelatina y finalmente lípidos como surfactantes, ceras y acetoglicéridos (Quezada Tobar, 2015).

Este estudio expone la obtención de un biopolímero (García Quñonez, 2015) en forma de biofilm (biopelícula) con aditivos químicos y condiciones óptimas, para mejorar las propiedades mecánicas, a partir de pepa de palta o aguacate del género persea, del Departamento de La Paz.

2 MATERIALES Y MÉTODOS

2.1 Caracterización parcial de la pepa de aguacate

2.1.1 Determinación del porcentaje de almidón

Para la determinación del porcentaje de almidón que existe en la pepa de palta, se utilizaron los métodos AOAC 996.11² y el método AACC 76-13.01³ a través del uso del Kit Enzimático K-TSTA-50A/K-TSTA100A.

El procedimiento indica moler la pepa de palta, tamizar con una malla de 0.5 mm. Pesar con precisión 100 mg de muestra de prueba, por duplicado (uno como blanco de muestra) en tubos de cultivo Corning (16 x 120 mm). En ambos tubos agregar 10 ml de solución tampón de acetato de sodio (100 mM, pH 5) y cloruro de calcio (5 mM). A un tubo (tubo de muestra) agregar 0.1 ml de α -amilasa termoestable sin diluir. Al segundo tubo (blanco de muestra) agregar 0.1 ml de solución tampón de acetato de sodio (100 mM, pH 5) y cloruro de calcio (5 mM). Tapar y agitar los tubos con ayuda de un centrifugador durante 3 segundos, e inmediatamente transferir a un baño maría a 30 °C, hasta 80 °C controlando el tiempo. Después de 10 minutos, agitar el contenido de los tubos durante 5 segundos y devolverlos al baño maría por 15 minutos más. Finalmente (desde la adición de α -amilasa), retirar los tubos del baño maría y mezclar vigorosamente el contenido durante 5 segundos en un centrifugador vórtex.

A continuación, colocar los tubos en un baño de agua a 50 °C permitiendo que se estabilicen durante 5 minutos. En uno de los tubos (el de muestra), agregar 0.1 ml de AMG sin diluir y agitación en vórtex durante 3 segundos. En el segundo tubo (blanco de muestra) agregar 0.1 ml de solución tampón de acetato de sodio (100 mM, pH 5) más solución de cloruro de calcio (5 mM). Llevar ambos tubos a incubación a 50 °C durante 30 minutos sin mezclar. Finalizado el tiempo de incubación retirar los tubos del baño maría y dejar enfriar a temperatura ambiente durante 10 minutos. Transferir 2 ml de cada solución (muestra y blanco de muestra) a tubos de microcentrífuga y centrifugar a 13.000 rpm durante 5 minutos (conservando los 8.2 ml restantes de solución de incubación). Agregar con precisión una alícuota de 1.0 ml de los sobrenadantes a tubos de 12 x 120 mm que contienen 4 ml de solución tampón de acetato de sodio (100 mM, pH 5) más cloruro de calcio (5 mM) y agitar vigorosamente el contenido.

² <https://es.scribd.com/document/346607912/78505224-996-11-Aoac-Starch-pdf>

³ Procedimiento de ensayo de almidón total (método megazima amilogucosidasa/alfa-amilasa) <https://www.cerealsgrains.org/resources/Methods/Pages/76Starch.aspx>

Posteriormente agregar 3.0 ml de reactivo GOPOD⁴ e incubar las soluciones a 50 °C durante 20 minutos. A continuación, medir la absorbancia frente al blanco de reactivo a 510 nm.

Procedimiento para los controles de glucosa: Tomar una alícuota de 0.1 ml de solución estándar de glucosa (1.0 mg/ml) más 3.0 ml de reactivo GOPOD. **Reactivo en blanco:** Tomar 0.1 ml de solución tampón de acetato de sodio (100 mM, pH 5) más solución de cloruro de calcio (5 mM) con 3.0 ml de reactivo GOPOD.

2.1.2 Determinación de las cenizas

Para el análisis de cenizas, ejecutar mediante la determinación de cenizas totales, método directo (A.O.A.C., 923.03, 1990)⁵.

2.1.3 Determinación de la humedad

Para la determinación de humedad se utiliza una balanza de humedad.

2.1.4 Determinación de extractivos

Para la determinación del porcentaje de extractivos, que consiste en la eliminación de material no estructural utilizar el método: Determination of Extractives in Biomass *Technical (Report NREL/TP-510-42619)*⁶

2.2 Procedimiento para la obtención de almidón a partir de la pepa de palta: Se realiza el procedimiento descrito a continuación:

Recepción: Recolectar la materia prima (pepa de palta) de un establecimiento de ventas o mercado.

Lavado: Realizar el lavado de las semillas de palta con agua potable y posteriormente con agua destilada, para facilitar el desprendimiento de las impurezas adheridas.

Pelado y cortado: Pelar de forma manual con la finalidad de retirar la cascara de la pepa de palta y reducir de tamaño para proceder a la extracción.

⁴ Reactivo de glucosa oxidasa/peroxidasa (GOPOD)

⁵ <https://www.um.es/web/innovacion/plataformas/ocw/listado-de-cursos/higiene-inspeccion-y-control-alimentario/practicas/cenizas>

⁶ <https://www.nrel.gov/docs/gen/fy08/42619.pdf>

Triturado: Es la reducción del tamaño, ampliando la superficie de contacto permitiendo que las células se rompan y broten los gránulos de almidón. Las pepas de palta trituran por 3 minutos a una velocidad entre (12000 – 15000) rpm.

Extracción por inmersión: Formar una mezcla de pepa triturada y agua en proporción de 1:5, y llevar a agitación entre 290 a 300 rpm por un tiempo de 1 a 2 horas.

Filtrado 1: Finalizada la extracción separar la máxima cantidad de fibra con ayuda de una tela filtrante formando una suspensión de almidón/agua.

Filtrado 2: Utilizar un tamiz malla 100, con la finalidad de eliminar la fibra restante.

Decantación: La decantación realizar por 8 horas, terminado el tiempo, eliminar cuidadosamente el sobrenadante.

Lavado de almidón: Lavar el almidón obtenido con agua y dejar sedimentar, posteriormente eliminar el sobrenadante. Repetir el procedimiento tres veces consecutivas, hasta obtener un almidón limpio.

Secado y molienda: Secar el almidón obtenido, en un horno a $T = 40\text{ }^{\circ}\text{C}$ por un tiempo de 24 horas hasta conseguir una humedad de 15 %. La molienda realizar con ayuda de un mortero y tamizar en una malla 100.

Caracterización parcial del almidón extraído: Para la caracterización parcial del almidón extraído, realizar los mismos análisis que para la pepa de palta.

Patrón de difracción de Rayos X: Realizar este estudio para determinar la morfología en un equipo de XDR⁷.

2.3 Metodología para la obtención de las películas biodegradables

Para la obtención de los biofilm de almidón de palta, utilizar el método solvent casting (vertido en solución o método húmedo) que presenta 2 etapas:

La primera etapa consiste en preparar soluciones de almidón de pepa de palta agregando el plastificante (poliol⁸) y un conservante (ácido acético), mezclar continuamente hasta llegar al punto de gelatinización del almidón $T = 80$ a $82\text{ }^{\circ}\text{C}$,

⁷ La difracción de rayos X (XRD) es la única técnica de laboratorio que permite obtener información de manera precisa y no destructiva, como la composición química, la estructura cristalina, el tamaño de los cristales, la deformación de redes, la orientación preferida y el espesor de las capas.

⁸ <https://datosobrelospoliolos.com/why-polyols/>

consiguiendo la pérdida de cristalinidad del almidón y el posterior rompimiento de los enlaces de las moléculas de amilosa y amilopectina para transformarlo en un polímero amorfo (Lacerda y otros, 2015). En la segunda etapa, dejar de suministrar calor, comenzado el enfriamiento de las mezclas por el lapso de una hora, con la finalidad del ordenamiento espontáneo de los puentes de hidrógeno que se forman al enfriarse, a este fenómeno se denomina retrogradación. Posteriormente verter las mezclas en moldes, secado por 8 horas y desmolde de los biofilm.

Determinación del punto de gelatinización: Preparar suspensiones acuosas de almidón al 5 % midiendo la viscosidad a diferentes temperaturas y tiempos (Hendra S y otros, 2015).

Selección del mejor plastificante: Se consideran tres diferentes polióles: Glicerina, Etilenglicol y Sorbitol, con los que se realizaron las pruebas experimentales para la elaboración del biopolímero (biofilm) mediante el método solvent casting (Teno Díaz, 2018).

2.4 Diseño Experimental⁹

Se utilizó el diseño experimental como una herramienta estadística, para poder determinar la mejor composición del biofilm de almidón de papa de palta, considerando un diseño factorial del tipo 2^K . La variable respuesta obtenida de la composición, que presenta las mejores propiedades mecánicas como: máximo esfuerzo a ruptura y alto módulo de Young.

2.5 Determinación de las propiedades físicas

Se determinan las propiedades físicas de los biofilm: espesor y densidad. Para el espesor, medir con ayuda de un vernier. Para la densidad pesar la masa con una balanza digital y el volumen en probeta, registrar el desplazamiento del agua que corresponde al volumen del biofilm.

2.6 Análisis de las propiedades mecánicas

⁹ <https://www.statease.com/software/design-expert/>

Las pruebas mecánicas de los biofilm están bajo la norma International Standard ISO 527-1 Plastic - Determination of tensile properties¹⁰ que consiste en cortar probetas de 15 cm de largo y 2,5 cm de ancho, marcar la probeta a 2,5 cm por lado quedando 10 cm de longitud, sujetar con mordazas y agregar diferentes masas, sometiendo al biofilm a una tensión y deformación de su longitud inicial.

2.7 Degradación del biopolímero obtenido

Para el estudio de la degradación del biofilm, efectuar pruebas de pérdida del porcentaje de masa, sometiendo las muestras del biofilm y bolsas testigo de polietileno a condiciones ambientales por un tiempo determinado.

3 RESULTADOS Y DISCUSIÓN

3.1 Caracterización parcial de la pepa de palta

Con las pruebas realizadas, se obtienen los siguientes resultados:

Tabla N°1. Composición parcial de la pepa de palta

Composición	Porcentaje [%]
Almidón	21.32
Cenizas	1.15
Humedad	57.23
Extractivos	12.63

Fuente: Elaboración propia

3.2 Obtención del almidón de la pepa de palta

Se determinó el rendimiento de extracción de almidón con los valores promedio obtenidos, el porcentaje de almidón es 21.32 % para una masa de 180.17 g de pepa, se obtiene 38.41 g de almidón, del cual se extraen 10.91 g alcanzando un rendimiento de 28.40%.

3.2.1 Caracterización parcial del almidón extraído

Se estudiaron los mismos parámetros que para la pepa:

¹⁰ <https://www.iso.org/standard/56045.html>

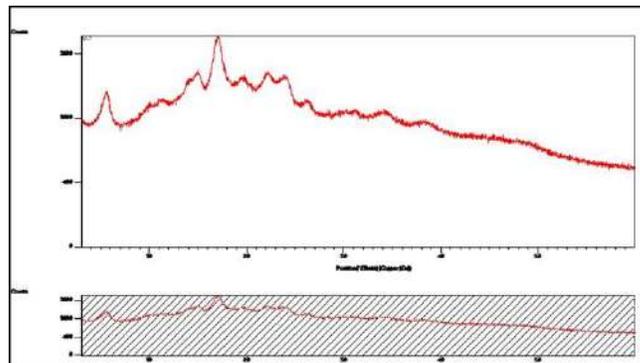
Tabla N°2. Caracterización parcial del almidón extraído

Composición	Porcentaje [%]
Pureza	47,88
Cenizas	2,53
Humedad	19,48

Fuente: Elaboración propia

3.2.2. Patrón de difracción de Rayos X

Figura N°1. Patrón de Difracción de Rayos X (DRX) de pepa de palta



Fuente: Difactograma obtenido del equipo DRX del IGEMA¹¹

Se puede observar en el difactograma de picos, el análisis DRX, un patrón que presenta el almidón de la pepa, pertenece al tipo B donde la geometría tridimensional presenta semicristalinidad característica que se utiliza para elaborar biofilm.

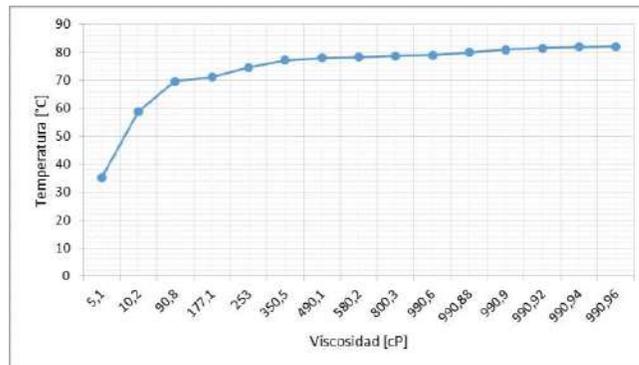
3.3 Obtención de las películas biodegradables (Oropeza Gonzales y otros, 2016)

3.3.1 Determinación del punto de gelatinización

Se utilizó un viscosímetro tipo rotacional (Rivera Garcia y otros, 2018) modelo PRO marca FUNGILAB, utilizando husillos L1, L3 y L4 a 180 RPM por un tiempo de 50 min.

¹¹ Instituto de Investigaciones Geográficas de la UMSA

Gráfico N°1. Viscosidad vs Temperatura para determinación del punto de gelatinización



Fuente: Elaboración propia

El gráfico muestra una tendencia, a medida que aumenta la temperatura también lo hace la viscosidad, debido a que los gránulos de almidón comienzan a aumentar de tamaño y absorben agua, llegando hasta un punto máximo de viscosidad donde a partir de los 520 cP, no varía significativamente y permanece constante; este punto se lo conoce como punto de gelificación y se encuentra entre un rango de 80 a 82 °C. Posteriormente se considera la temperatura de gelatinización a 82 °C.

3.3.2 Selección del mejor plastificante

Para la selección del mejor plastificante se realizaron las pruebas por duplicado y con la misma composición para los tres polioles (glicerina, etilenglicol y sorbitol), presentando los siguientes resultados: etilenglicol y sorbitol, posterior al secado, las muestras presentaron una apariencia agrietada y roturas, no formando así un buen biofilm (figura N°2), para la glicerina se presenta una mejor sinergia (figura N° 3), mostrando mejor apariencia sin agrietamientos en el biofilm, por esta razón se consideró como mejor plastificante a la glicerina.

Figura N°2. Biofilms con plastificantes etilenglicol y sorbitol



Fuente: Elaboración propia

Figura N°3. Biofilm con glicerina



Fuente: Elaboración propia

3.3.3 Pruebas preliminares

A continuación, se detalla los rangos de trabajo de los componentes que se utilizaron:

Tabla N°3. Rangos de trabajo de los componentes

Componente	Rango
Solución de almidón	4 – 5 %
Glicerina	0.2 – 0.3 ml/g almidón
Temp. de secado	40 – 60 °C

Fuente: Elaboración propia

La concentración de la solución de almidón esta entre 4 a 5 % debido a que valores inferiores al 4% no se forma el biopolímero, observándose presencia de agua y valores superiores al 5% tiende a formarse una solución altamente viscosa (espesa) la cual no permite ser moldeada fácilmente.

La relación de glicerina versus cantidad de almidón está en el rango de 0.2 a 0.3 ml/g almidón, ya que inferior a 0.2 ml de glicerina, el biofilm no tiene consistencia elástica por lo tanto es quebradizo y superior a 0.3 ml empieza a presentar adsorción de humedad debido a la propiedad higroscópica propia de la glicerina.

La temperatura de secado está en el rango de 40 a 60 °C debido a que inferior a los 40 °C de secado el biofilm es atacado por microorganismos, mientras que superior a 60 °C comienza a quebrarse por un decremento excesivo de la humedad.

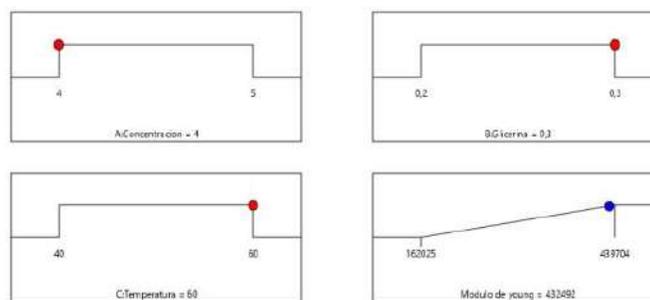
3.4 Análisis de los datos obtenidos a través del diseño experimental

El análisis de datos, estudia y analiza las variables respuesta como el módulo de Young (deformación a la ruptura) y el máximo esfuerzo a la ruptura, con la finalidad de obtener las mejores condiciones de formulación del biofilm.

3.4.1 Variable respuesta 1: módulo de Young

Se observan las gráficas de rampas para determinar valores óptimos:

Figura N°4. Representación numérica de las mejores condiciones para la elaboración del biopolímero con mayor deformación a la ruptura

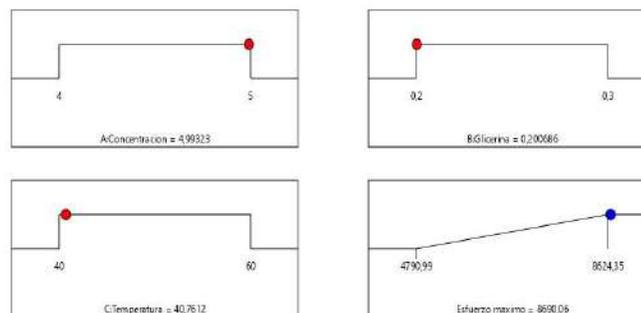


Fuente: Elaboración propia en el software Design Expert

El análisis numérico muestra que para obtener un mayor módulo de Young se trabaje a una concentración = 4 %, glicerina = 0.3 ml/g de almidón y temperatura = 60 °C.

3.4.2 Variable respuesta 2: esfuerzo máximo

Figura N°5. Representación numérica de las condiciones óptimas para la elaboración del biopolímero con mayor resistencia a la ruptura



Fuente: Elaboración propia en el software Design Expert

Para poder obtener una mayor resistencia a la ruptura, la concentración = 5 %, glicerina = 0.2 ml/g de almidón y temperatura = 40 °C.

3.5 Análisis de las propiedades físicas

Se obtuvo un espesor y una densidad promedio de 0.14 mm y 1.01 g/cm³ respectivamente, el espesor considerado es el adecuado para las propiedades mecánicas, la concentración de almidón afecta significativamente al espesor del biofilm, ya que, a mayor concentración, mayor es el espesor.

Respecto a la densidad el valor obtenido está dentro los rangos bibliográficos, en algunas investigaciones se obtuvieron valores mayores y en otras menores; cuando aumenta la cantidad de almidón la rigidez de la estructura es mayor y la expansión menor; por tanto, cuanto menor sea la expansión polimérica, mayor será la densidad.

3.6 Análisis de las propiedades mecánicas

La medición de las propiedades mecánicas está en función de los valores generados por el diseño experimental.

Para la formulación: Concentración = 4 %; Glicerina = 0,3 ml/g almidón y T = 40 °C:

Tabla N°4. Datos determinados para deformación y esfuerzo

N°	ϵ [%]	σ [KPa]
1	0	0
2	0,0038	542,6634
3	0,0060	1029,4189
4	0,0072	1273,4867
5	0,0088	1516,3196
6	0,0097	1759,0799
7	0,0106	2001,6707
8	0,0121	2244,1889
9	0,0150	2840,1937
10	0,0176	3084,2131
11	Max.	4790,9927

Fuente: Elaboración propia

Gráfico N°2. Deformación vs Esfuerzo



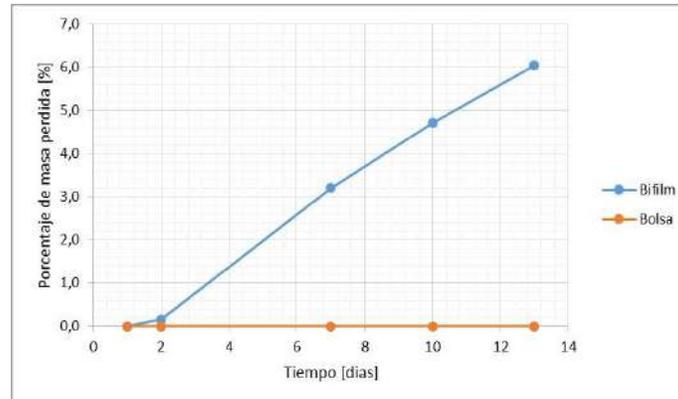
Fuente: Elaboración propia

El gráfico N° 2 permite linealizar los datos de la tabla N° 4 a través de la ecuación de una recta $y = A + Bx$, de donde se obtiene una ecuación que permite el cálculo del módulo de Young: $y = -62,417 + 186345 x$ y $r^2 = 0,9929$

3.7 Degradación del biopolímero

El estudio de la biodegradabilidad, se basa en la investigación: “Obtención de una película biodegradable a partir de semilla de aguacate” (Chapuel Tarapuez & Reyes Suarez, 2019). En condiciones ambientales $T = 18$ a 20 °C y por un tiempo de 2 semanas, se toma datos de masas en los días 1,2, 7, 10 y 13 de las muestras de las probetas del biopolímero y de bolsas de polietileno.

Gráfico N°3. Tiempo vs Porcentaje de pérdida de masa del biopolímero y bolsa de polietileno



Fuente: Elaboración propia

Se analizó y estudió el comportamiento de las muestras durante dos semanas, cómo se puede observar en el grafico N° 3, existiendo un aumento en el porcentaje de la pérdida de masa del biofilm de la pepa de palta a comparación de la bolsa de polietileno, que mantiene su masa constante durante el tiempo de experimentación, lo que indica que el biofilm obtenido, presenta una rápida degradación en comparación del polietileno.

4 CONCLUSIONES

Finalizada la investigación se logró determinar la composición parcial de la pepa de palta genero perseá, obteniéndose un porcentaje de almidón del 21,32 %, producto del promedio de las múltiples repeticiones y pruebas; el método A consistió en determinar el almidón total, sin almidón resistente, el cual dio un valor de 18,59 %; se realizaron dos pruebas con el método B, una para la pepa de palta como tal y otra para una pepa pretratada y sin extractivos, que consistió en determinar el almidón total con la finalidad de determinar el valor más próximo de la composición, los resultados pueden ser variables debido a que la pepa presenta un porcentaje de

almidón resistente de aproximadamente del 5 %. Se puso énfasis en la determinación del porcentaje de almidón debido a que éste, es la materia prima para obtener el biofilm.

Se seleccionaron los mejores aditivos, primero se eligió el método para la elaboración de los biofilm denominado solvent casting (Vertido en solución ó método húmedo), para el cual se requería: determinar la temperatura de gelatinización del almidón de la pepa, proporcionando un resultado de 81,9 a 82,1 °C, inmediatamente se seleccionó los aditivos que son: el almidón extraído, el solvente agua, un plastificante del tipo poliol debido a que no deben ser volátiles, y se consideraron para el estudio tres de ellos: glicerina, sorbitol y polietilenglicol además de un conservante para evitar el crecimiento de microorganismos en la superficie del biofilm, en este caso se utilizó el ácido acético a una concentración del 5 %. Para la selección del plastificante se realizaron pruebas experimentales con los 3 polioles, y los resultados obtenidos fueron: con etilenglicol y sorbitol se presentan pésimas propiedades mecánicas a comparación de la glicerina que presento una mejor sinergia para elaborar el biofilm a base de almidón de la pepa de palta, la glicerina presenta una presión de vapor más baja a comparación del etilenglicol y sorbitol siendo así menos volátil, en conclusión se la consideró como mejor plastificante para este estudio.

Para la obtención del biofilm a nivel laboratorio, se dividió en 2 fases: la primera fase consistió en extraer el almidón de pepa de palta, dando como resultados una masa de 10,91 g de almidón extraído, con estos datos se pudo calcular el rendimiento de extracción siendo del 28,40 %. Este rendimiento es aceptable debido a que solo se realiza la extracción con agua. Asimismo, se realizó un análisis de DRX con la finalidad de encontrar si el almidón obtenido presenta zonas semicristalinas, el patrón de difracción que corresponde pertenece al tipo B.

La segunda fase consistió en realizar la polimerización del almidón por el método de vertido en solución (solvent casting) o también llamado el método húmedo, con lo que se pudo determinar los rangos de operación de los componentes para la formulación del biofilm.

Los rangos obtenidos permitieron el planteamiento del diseño experimental, como herramienta estadística para determinar la mejor composición para la elaboración de biofilm, se planteó un diseño factorial 2^k con 3 factores: concentración de la solución de almidón, cantidad de glicerina por gramo de almidón y temperatura de secado; las variables respuesta fueron: módulo de Young (deformación la ruptura) y el esfuerzo (resistencia a la ruptura).

Las mejores propiedades mecánicas se obtuvieron con los resultados del diseño experimental, obteniéndose: concentración = 4%, glicerina = 0.3 ml/g de almidón y temperatura = 60 °C y concentración = 4%, glicerina = 0.2 ml/g de almidón y temperatura = 40 °C, la primera permite tener una mayor deformación a la ruptura o mayor elasticidad y la segunda permite tener una mayor resistencia a ruptura o soporte de cargas muy pesadas.

Para las propiedades físicas y mecánicas del biofilm obtenido se determinaron el espesor y densidad dando como resultados $e = 0.148$ mm y $\rho = 1.01$ g/cm³ respectivamente. En cuanto a las propiedades mecánicas se midieron la deformación a la ruptura y resistencia a la ruptura de 8 formulaciones por duplicado concluyendo que los datos obtenidos para las diferentes formulaciones presentan pendientes elevadas lo que refiere a valores altos del módulo de Young, interpretando que el biofilm obtenido es como un plástico rígido que soporta la deformación (Morales Reyes, 2011), pero con características quebradizas.

La degradación del biofilm comparado con una bolsa de polietileno común, por un tiempo de 2 semanas, muestra que el biofilm pierde el 6 % de su masa en catorce días, por lo que en las condiciones adecuadas puede degradarse completamente en un periodo de hasta tres años.

5 REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

Canaza Callisaya, E. (2014). *Caracterización morfológica de ecotipos de paltos (persea spp) en la colonia Litoral, Provincia Caranavi del Departamento de La Paz*. repositorio.umsa.bo.

Chapuel Tarapuez, A. Y., & Reyes Suarez, J. X. (2019). *Obtención de una película biodegradable a partir de los almidones de semilla de aguacate (persea americana mill) y banano (musa acuminata aaa) para el recubrimiento de papaya*. Universidad de Guayaquil.

- Duran V, J., Mónica, M. G., & Roland, Y. L. (2005). Formulación para la obtención de un polímero biodegradable a partir de almidón de yuca, variedad MBRA 383. *Revista Científica Guillermo de Ockham*, 3(2), 127 - 133.
- Durán V., J., & Morales G., M. A. (s.f.).
- García Quñonez, A. V. (2015). *Obtención de un polímero biodegradable a partir de almidón de maíz*. ITCA El Salvador.
- Hendra S, G., Fauzy Ramadhan, T., & Annisa Maharani, S. (2015). Effect of Gelatinization Temperature and Chitosan on Mechanical Properties of Bioplastics from Avocado Seed Starch (*Persea americana* mill) with Plasticizer Glycerol . *The International Journal Of Engineering And Science (IJES)* , 4(12), 36 - 43.
- Lacerda, L., Carvalho Filho, M., & Mottin Demiate, I. (2015). Los efectos del tratamiento calor-humedad en gránulos de almidón de aguacate: análisis termoanalítico y estructural. *Revista de análisis térmico y calorimetría* , 120(1), 387 - 393. <https://doi.org/10.1007/s10973-014-3987-9>
- Maricela, S. (2020). Elaboración y caracterización de películas biodegradables obtenidas con almidón nanoestructurado. *Universidad Veracruzana. Instituto de Ciencias Básicas. Región Xalapa*.
- Mayorga Sosa, J. F. (2016). *Análisis y optimización de un molino de trituración para envases desechables pet*. Universidad Politecnica Salesiana, Quito, Ecuador.
- Montes Hernandez, A. . (2017). Películas biodegradables con propiedades bioactivas. *Revista Venezolana de Ciencia y Tecnología de alimentos*(2218-4384).
- Morales Reyes, M. A. (2011). *Generalidades y aplicación de películas y recubrimientos comestibles en la cadena hortofrutícola*. Buenavista, México.
- Oropeza Gonzales, R., Adriana, M. H., & Carlos, P. P. (2016). Películas biodegradables a base de almidón: propiedades mecánicas, funcionales y biodegradación. *Revista Venezolana de Ciencia y Tecnología de Alimentos*, 65 - 93.
- Pabón Claudia, V. M. (2021). *Circula Recursos*. intracolla.cl: <https://www.intracolla.cl/>
- Quezada Tobar, M. D. (2015). Aprovechamiento del propóleo para la elaboración de película biodegradable para el recubrimiento del mango. Ecuador.
- Rivera Garcia, L. M., Correa Ospina, C., & Alzate Carvajal, A. (2018). *Gelatinización y gelificación de almidones*. UNIVERSIDAD DEL QUINDÍO. MAESTRÍA EN QUÍMICA. QUÍMICA DE ALIMENTOS.
- Rodriguez Sepulveda, L., & Carlos, O. A. (2016). Aplicaciones de mezclas de biopolímeros y polímeros sintéticos: Revisión bibliográfica. *Ciencia Ingeniería y Educación Científica*, 25(2). <https://doi.org/https://doi.org/10.14483/udistrital.jour.RC.2016.25.a9>
- Seymour, R., & Carraher, C. (1995). *Introducción a la Química de los polímeros*. REVERTÉ S.A.
- Teno Díaz, J. (2018). *Preparación y caracterización de nuevos materiales nanocompuestos termoplásticos*. Universidad Carlos III de Madrid.

Bodas de Marmol

85

*Años Formando
Profesionales Exitosos*

**Todos los Derechos Reservados
Carrera de Ingeniería Industrial
Facultad de Ingeniería
Universidad Mayor de San Andrés**

La Paz - Bolivia 2024