



Obtención de una Biopelícula a Partir de Almidón de Maíz Chulpi (Zea Mays Amylosaccharata) para Embalaje de Alimentos

Obtaining a Biofilm from Chulpi Corn Starch (Zea Mays Amylosaccharata) For Food Packaging

Obtenção de um Biofilme de Amido de Milho Chulpi (Zea Mays Amylosaccharata) para Embalagens de Alimentos

Jhomara Elizabeth Maza-Martinez ^I
mazajhomy9@esPOCH.edu.ec
<https://orcid.org/0000-0001-7863-7966>

Hugo Javier Sánchez-Moreno ^{II}
hugo.j.sanchez@esPOCH.edu.ec
<https://orcid.org/0000-0003-0074-3237>

Linda Mariuxi Flores-Fiallos ^{III}
linda.flores@esPOCH.edu.ec
<https://orcid.org/0000-0003-2782-6470>

Marina Leonor Bonilla-Lucero ^{IV}
marina.bonilla@esPOCH.edu.ec
<https://orcid.org/0000-0003-2119-4126>

Correspondencia: mazajhomy9@esPOCH.edu.ec

Ciencias Técnicas y Aplicadas
Artículo de Investigación

***Recibido:** 02 de enero de 2022 ***Aceptado:** 22 de enero de 2022 * **Publicado:** 16 de febrero de 2022

- I. Investigador Independiente, Riobamba, Ecuador.
- II. Escuela Superior Politécnica de Chimborazo (ESPOCH), Riobamba, Ecuador.
- III. Escuela Superior Politécnica de Chimborazo (ESPOCH), Riobamba, Ecuador.
- IV. Escuela Superior Politécnica de Chimborazo (ESPOCH), Riobamba, Ecuador.

Resumen

El objetivo de la investigación fue el de obtener una biopelícula a partir de almidón de maíz chulpi (*Zea Mays Amylosaccharata*) para embalaje de alimentos evitando la contaminación ambiental, este estudio se realizó mediante la extracción del almidón por método húmedo, el cual se basó en un análisis factorial 2k, donde se varió las revoluciones por minuto (A y B) y el tiempo de trituración (45-60 s), se alcanzó el rendimiento de estos 4 tratamientos cuyo procedimiento de extracción fue: limpieza de la materia prima, lavado, remojo, triturado, filtrado, decantado, secado, y tamizado. Una vez adquirido el almidón se caracterizó a nivel de laboratorio, en donde se efectuaron pruebas físicas, químicas proximales y microbiológicas; y la prueba de amilosa se la estableció en el Instituto Nacional de Investigaciones Agropecuarias. Después se empezó con la formulación de las biopelículas, donde se trabajó con el análisis factorial 2k, y se varió la concentración de glicerina y la concentración del almidón, por lo que se lograron 4 tratamientos con 4 repeticiones cada uno con un total de 16 muestras de biopelículas; finalmente se identificó las biopelículas mediante análisis de tracción, biodegradación, físicos y análisis químicos proximales los cuales fueron ensayados a nivel de laboratorio, y la prueba mecánica se la realizó en el laboratorio LenMav. Al examinar el rendimiento de la extracción de almidón se eligió al Tratamiento 2 con un valor de 27.306% correspondiéndole un (RPM A Y 60 s; y una amilosa de 25.63%), asimismo en el bioplástico el mejor rendimiento fue el Tratamiento del plástico 2, el cual mostró buena tracción y una excelente biodegradabilidad, relacionándolo con la formulación (1 g almidón, 0,75mL de glicerina). Se concluyó que el almidón de maíz chulpi es óptimo para la formulación de las biopelículas, ya que cumplió su tiempo de degradación estimado y benefició el embalaje de alimentos, evitando la contaminación ambiental.

Palabras claves: Ingeniería Química; Maíz Chulpi (*Zea Mays Amylosaccharata*); Almidón; Formulaciones; Caracterización.

Abstract

The aim of the research was to obtain a biofilm from chulpi corn starch (*Zea Mays Amylosaccharata*) for food packaging avoiding environmental contamination. This study was carried out by means of the extraction of starch by wet method, which was based on a factorial analysis 2k, where the revolutions per minute (A and B) and the crushing time were varied (45-60 s). The performance of these 4 treatments was achieved, the extraction procedure of which was:

cleaning of the raw material, washing, soaking, crushing, filtering, decanting, drying, and sieving. Once the starch was acquired, it was characterized at the laboratory level, where physical, proximal chemical and microbiological tests were carried out; and the amylose test was established at the National Institute of Agricultural Research. Then, the formulation of the biofilms began, in which 2k factorial analysis was used, and the glycerin concentration and the starch concentration were varied. 4 treatments were achieved with 4 repetitions each with a total of 16 biofilm samples. Finally, the biofilms were identified by traction, biodegradation, physical and proximal chemical analysis, which were tested at the laboratory level, and the mechanical test was carried out in the LenMav laboratory. When examining the performance of the starch extraction, treatment 2 was chosen with a value of 27.306% corresponding to a (RPM A Y 60 s; and an amylose of 25.63%). Likewise, in bioplastic, the best performance was Plastic Treatment 2, which presented good traction and excellent biodegradability, relating it to the formulation (1 g starch, 0.75mL glycerin). It was concluded that chulpi corn starch is optimal for biofilm formulation, because it fulfilled its estimated degradation time and benefited food packaging, avoiding environmental contamination.

Keywords: Keywords: Chemical Engineering; Chulpi corn (*Zea Mays Amylosaccharata*); Starch; formulations; Characterization.

Resumo

O objetivo da pesquisa foi obter um biofilme de amido de milho chulpi (*Zea Mays Amylosaccharata*) para embalagens de alimentos evitando a contaminação do meio ambiente, este estudo foi realizado pela extração do amido pelo método úmido, que foi baseado em uma análise fatorial 2k, onde as revoluções por minuto (A e B) e o tempo de moagem (45-60 s) foi alcançado o rendimento desses 4 tratamentos, cujo procedimento de extração foi: limpeza da matéria-prima, lavagem, embebição, moagem, filtragem, decantação, secagem e peneiração. Uma vez adquirido o amido, o mesmo foi caracterizado em nível laboratorial, onde foram realizados testes físicos, químicos proximais e microbiológicos; e o teste de amilose foi estabelecido no Instituto Nacional de Pesquisa Agrícola. Em seguida, iniciou-se a formulação dos biofilmes, onde se trabalhou a análise fatorial 2k, e variou-se a concentração de glicerina e a concentração de amido, para os quais foram realizados 4 tratamentos com 4 repetições cada com um total de 16 amostras de biofilmes. ; Por fim, os biofilmes foram identificados por meio de tração, biodegradação, análises físicas e químicas proximais, que foram testadas em nível laboratorial, e o teste mecânico foi

realizado no laboratório LenMav. Ao analisar o rendimento da extração do amido, o Tratamento 2 foi escolhido com um valor de 27,306% correspondente a (RPM AY 60 s; e uma amilose de 25,63%), assim como no bioplástico o melhor desempenho foi o Tratamento Plástico 2, que apresentou boa tração e excelente biodegradabilidade, relacionando-a com a formulação (1 g de amido, 0,75 mL de glicerina). Concluiu-se que o amido de milho chulpi é ideal para a formulação de biofilmes, pois atendeu seu tempo estimado de degradação e beneficiou as embalagens dos alimentos, evitando a contaminação ambiental.

Palavras-chave: Engenharia Química; Milho Chulpi (*Zea Mays Amylosaccharata*); Amido; formulações; Caracterização.

Introducción

El presente trabajo de investigación “Obtención de una biopelícula a partir de almidón de maíz chulpi (*Zea mays Amylosaccharata*) para embalaje de alimentos”, se enfoca en obtener material polimérico (almidón) utilizando como materia prima al maíz chulpi, y mediante un proceso de extracción de método húmedo, decantación, secado y tamizado, ir incorporando conservantes y aditivos, para obtener una biopelícula de excelentes características que permita conservar alimentos, mejorar la calidad de vida útil, reduciendo su perecibilidad.

En la actualidad existen varias investigaciones, tanto en la ciencia como en la tecnología que brindan la oportunidad de cambiar los hábitos y malas costumbres con el uso y abuso de los plásticos. Así se determina mediante valores que “Solo en 2019, la producción e incineración de plástico agregará más de 850 millones de toneladas métricas de gases de efecto invernadero a la atmósfera, equivalente a la contaminación de 189 nuevas centrales eléctricas de carbón” (Residuos profesional , 2019).

En Ecuador se producen cerca de 939.000 toneladas al año en desperdicios lo que empuja a buscar una solución que sea amigable con el ambiente y que conserve las propiedades organolépticas de los alimentos. Por lo cual se han realizado diversos estudios que demuestran la efectividad de las biopelículas en la conservación de alimentos, mejorando su vida comercial, calidad, y círculo económico.

En el pasar de los años existen varios estudios que han comprobado la efectividad de las biopelículas como: plastificantes, antioxidantes, surfactantes, especialmente en la disminución de la perecibilidad de alimentos. El almidón obtenido será caracterizado con la finalidad de conocer las características más importantes: porcentaje de amilosa y amilopectina, sólidos solubles, pH, entre otros; que permitan obtener una biopelícula de buenas propiedades mecánicas.

Se realizarán diversas formulaciones a partir del almidón obtenido y aditivos cuyos datos serán validados utilizando un paquete estadístico. La biopelícula obtenida será caracterizada y utilizada en la conservación de alimentos frente a un blanco sin este recubrimiento; además de asegurar el objetivo de esta investigación con la comprobación del tiempo en que demora la biodegradación de las biopelículas obtenidas.

Se tiene por objetivo

- Realizar formulaciones a partir del almidón obtenido y aditivos.
- Determinar la vida útil de los alimentos recubiertos con la biopelícula.

Materiales y Métodos

La presente investigación se basa en un diseño factorial 2k para la formulación del bioplástico, de la siguiente manera:

Se realiza la formulación de los bioplásticos, teniendo dos variables importantes que fueron la concentración del almidón y la concentración de la glicerina, variando los tratamientos de la siguiente manera: (+, +); (+, -); (-, -); (-, +). Así se tuvieron 4 tratamientos y se realizaron 4 repeticiones obteniendo 16 muestras de bioplástico en total, a través de la cual se obtiene las mejores propiedades para el embalaje de alimentos. A continuación, se muestra la división de variables en los tratamientos.

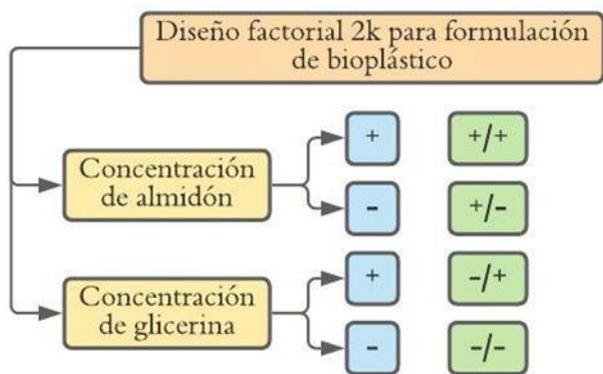


Figura 1. Diseño factorial 2k para formulación de bioplástico

Realizado por: Maza, Jhomara, 2021.

De esta manera se analizan 16 muestras, con las cuales se realizan las placas de tendidos en bandejas, previo para la realización de las pruebas finales del compostaje; para la formulación de las películas se sigue el proceso descrito en el diagrama de flujo de la **Figura 2**. Cabe mencionar que en la formulación de las películas de bioplástico se mantienen constantes los valores de vinagre y agua respectivamente.

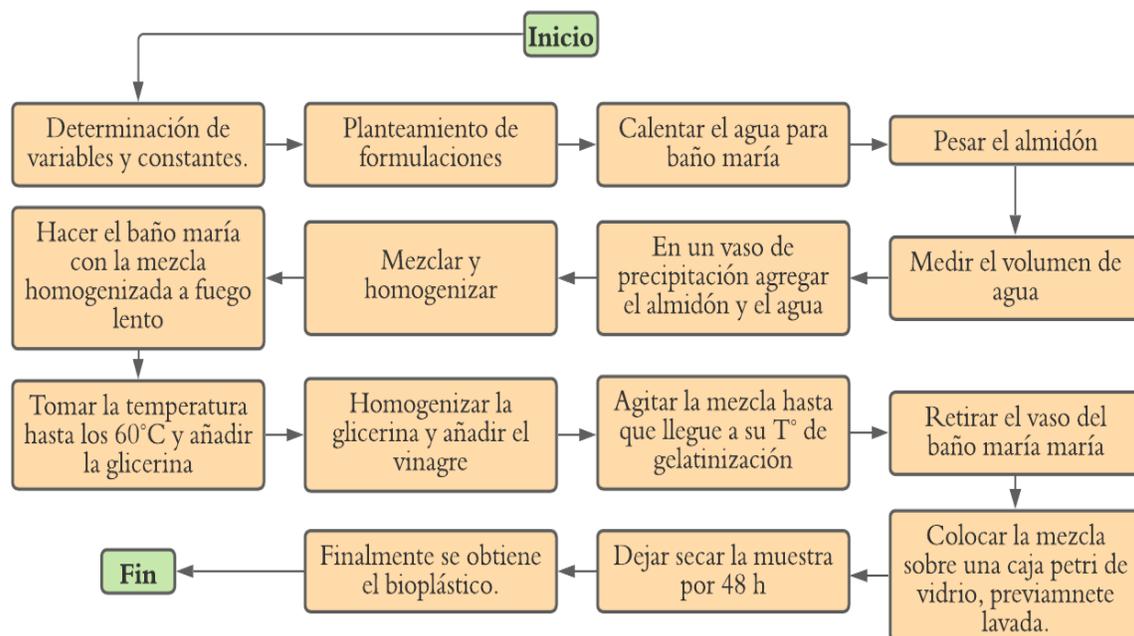


Figura 2. Diagrama de flujo del proceso para formulación del bioplástico

Realizado por: Maza, Jhomara, 2021.

Equipos:

- Balanza analítica digital, marca OHAUS EXPLORER, modelo EX623. Serie: B704630506, Max 220 g, min 0,0001 mg.
- Estufa, marca ESCO, modelo Isotherm OFA-54-8, Máx. Temperatura. 300 °C / 572 °F, volumen 115 L, serial 2015-T01866.
- Mufla, marca THERMO SCIENTIFIC, modelo FB1415M, Máx. Temperatura 1200 °C (2192 °F), Serie: 0146448301170117.
- pHmetro Orion Star-A1215, los Medidores de Banco de pH Thermo Scientific Orion Star A111 combinan sencillez con precisión para aplicaciones específicas de pH, rango: -2.00 a 16.00.

Materiales:

- Varilla de agitación.
- Crisoles, cápsulas de porcelana
- Probetas de 10 mL, 50 mL, 100 mL.
- Vasos de precipitación de vidrio de 100 mL, 250 mL, 500 mL.
- Reverbero, malla.
- Cajas petri
- Termómetro
- Estilete

Reactivos:

- Glicerina
- Ácido acético

Para el planteamiento de las formulaciones se trabajó con base en la investigación de (Nárvaez 2016), para la elaboración de bioplástico, así se detalla a continuación las formulaciones planteadas con el diseño factorial 2^2 .

Así se produce 4 tratamientos para las formulaciones, con cuatro repeticiones, teniendo las variables que son el almidón y la glicerina, puesto que la glicerina es la que le confiere las propiedades de elasticidad y flexibilidad, además de que el ácido acético contribuye en la homogenización de la mezcla.

Resultados y Discusión

Resultados

Una vez caracterizado el almidón de maíz chulpi se procede a formular los mejores tratamientos para obtener biopelículas de la mejor calidad, es por ello que se plantea un diseño factorial 2^2 , como se puede observar en la Tabla 1; cuyas variables serán la concentración del almidón y la concentración de glicerina, así se varía el almidón entre 1-2 gramos, y a la glicerina entre 0,5 y 0,75 mL. De la misma manera para generar la mezcla se añade como constantes al agua y al ácido acético, con una cantidad de 40 mL de agua y 7 mL de ácido acético, así se realizaron 4 tratamientos con 4 repeticiones cada uno, obteniéndose así un total de 16 biopelículas, como se ve en la Tabla 2.

Tabla 1. Resultados análisis factorial 2^2 para la formulación de las biopelículas a partir del almidón de maíz chulpi.

n o.	tratamiento	variable	repetición	temperatura (°c)	tiempo elaboración (min)	secado				espesor (mm)	
						lugar	método	temperatura (°c)	tiempo (h)		
1	TP1	CA1: CG1	R1	70	4	LABORATORIO INVESTIGACIÓN	SECA DO NATURAL	25	48	0.16	0.1 3
2			R2		4					0.13	
3			R3		4					0.12	
4			R4		4					0.11	
5	TP2	CA1: CG2	R1		5					0.15	0.1 575
6			R2		5					0.15	
7			R3		5					0.17	
8			R4		5					0.16	
9	TP3	CA2: CG1	R1		4					0.12	0.1 125
10			R2		4					0.11	
11			R3		4					0.12	
12			R4		4					0.1	
13	TP4	CA2: CG2	R1		5					0.14	0.1 45
14			R2		5					0.18	
15			R3		5					0.13	
16			R4		5					0.13	

Realizado por: Maza, Jhomara, 2021.

En la Tabla 1 se muestra el rendimiento para la formulación de los bioplásticos elaborados, en relación a los espesores de los mismo teniendo así 16 muestras para lo cual se nombró de la siguiente manera: TP1, TP2, TP3 y TP4, para los Tratamientos del plástico 1, 2, 3, y 4 respectivamente, con tiempo y temperatura de secado estimado para cada caso.

Tabla 2. Análisis de varianza ANOVA para la formulación de bioplásticos

ANÁLISIS DE VARIANZA						
<i>Origen de las variaciones</i>	<i>Suma de cuadrados</i>	<i>Grados de libertad</i>	<i>Promedio de los cuadrados</i>	<i>F</i>	<i>Probabilidad</i>	<i>Valor crítico para F</i>
Muestra	0.0009	1	0.0009	2.9589	0.1111	4.7472
Columnas	0.0036	1	0.0036	11.8356	0.0049	4.7472
Interacción	2.5E-05	1	0.0000	0.0822	0.7792	4.7472
Dentro del grupo	0.00365	12	0.0003			
Total	0.008175	15				

Realizado por: Maza, Jhomara, 2021

En la Tabla 2 se muestra el análisis estadístico de varianza mediante ANOVA, con lo que se obtiene un valor de interacción de 0.7792 el cual es $>$ a 0,50 lo que determina que no existe diferencia significativa entre los tratamientos.

Tabla 3. Formulaciones realizadas basándose en el diseño factorial 2²

Formulación	Porcentaje Peso a Peso			
	Almidón	Glicerina	Agua Destilada	Ácido acético
1	1	0,5	40	7
2	1	0,75	40	7
3	2	0,5	40	7
4	2	0,75	40	7

Realizado por: Maza, Jhomara, 2021



Figura 3. Bioplásticos obtenidos del diseño experimental 2k
Realizado por: Maza, Jhomara, 2021.

Resultados de la caracterización de bioplásticos ensayos físicos y mecánicos

Se realiza el análisis por separado de cada muestra de bioplástico por tratamiento, en donde se elaboraron más muestras en moldes de mayor tamaño para cortar los tamaños que se necesitan para continuar con la realización de las demás pruebas. Por consiguiente, se caracterizó los bioplásticos de manera cualitativa a través del análisis sensorial como se muestra en la tabla 2-3.

Tabla 4. Resultado de la determinación del tratamiento óptimo del diseño experimental del bioplástico.

Formulaciones	Parámetros			
	Aspecto	Textura	Flexibilidad	Resistencia
T1	Ligeramente opaco	Lisa	Flexible	Fuerte
T2	Poco opaco	Lisa	Poco flexible	Débil
T3	Ligeramente opaco	Lisa	Flexible	Fuerte
T4	Ligeramente traslúcido	Lisa	Flexible	Fuerte

Realizado por: Maza, Jhomara, 2021.

Espesor

En la siguiente tabla se muestra los valores de espesor obtenidos para el TP1, TPA2, TP3 y TP4 con sus respectivas repeticiones y su límite de referencia estimado bibliográficamente.

Tabla 5. Resultados del ensayo de determinación de espesor de la biopelícula.

TRATAMIENTO	VARIABLE	REPETICIÓN	ESPESOR	LÍMITE DE REFERENCIA
TP1	CA1: CG1	R1	0.16	0,120 ± 0,010 mm (Angueta Mishell, y otros, 2019 págs. 65-67)
		R2	0.13	
		R3	0.12	
		R4	0.11	
TP2	CA1: CG2	R1	0.15	
		R2	0.15	
		R3	0.17	
		R4	0.16	
TP3	CA2: CG1	R1	0.12	
		R2	0.11	
		R3	0.12	
		R4	0.1	
TP4	CA2: CG2	R1	0.14	
		R2	0.18	
		R3	0.13	
		R4	0.13	

Realizado por: Maza, Jhomara, 2021.

En el siguiente gráfico se determina como varia los espesores para los 4 tratamientos de repetición en repetición, observando un equilibrio entre las 16 muestras.

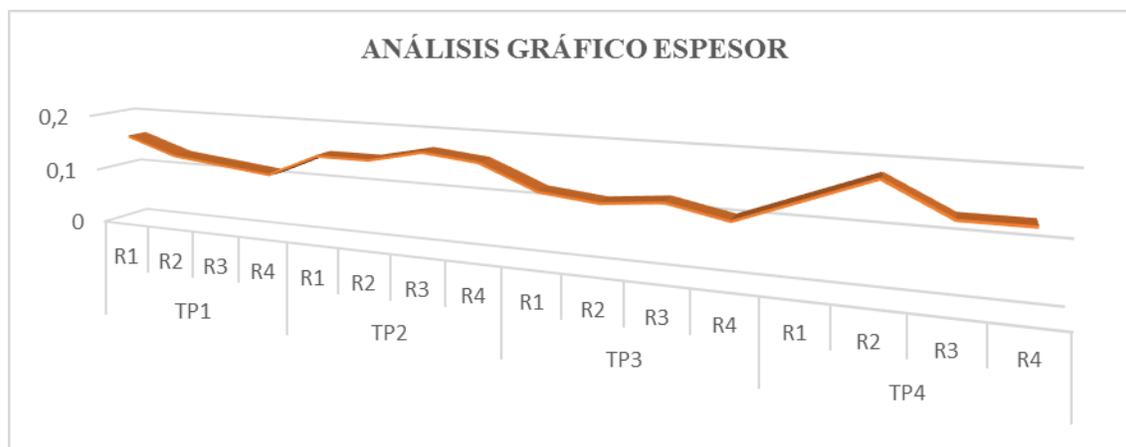


Gráfico 1: Análisis grafico del espesor de la biopelícula obtenida del almidón de maíz chulpi
Realizado por: Maza, Jhomara, 2021

Contenido de humedad

En la siguiente tabla se observa los valores de humedad determinados experimentalmente para los TP1, TP2 TP3, y TP4, para cada repetición estableciendo el límite de referencia bibliográficamente.

Tabla 6. Resultados del ensayo de determinación de humedad de la biopelícula.

TRATAMIENTO	VARIABLE	REPETICIÓN	HUMEDAD (%)	LÍMITE DE REFERENCIA
TP1	CA1: CG1	R1	18.2	19,3-22,1% (Escobar, y otros, 2009 págs. 33-35)
		R2	17.1	
		R3	18.0	
		R4	17.7	
TP2	CA1: CG2	R1	14.4	
		R2	15.1	
		R3	13.7	
		R4	15.6	
TP3	CA2: CG1	R1	14.4	
		R2	13.4	
		R3	15.3	
		R4	15.7	
TP4	CA2: CG2	R1	13.0	
		R2	12.7	
		R3	15.2	
		R4	15.7	

Realizado por: Maza, Jhomara, 2021.

El siguiente gráfico muestra el porcentaje de humedad que se determinó para los 4 tratamientos del bioplástico, como se observa mantenido un valor estimado para las repeticiones.

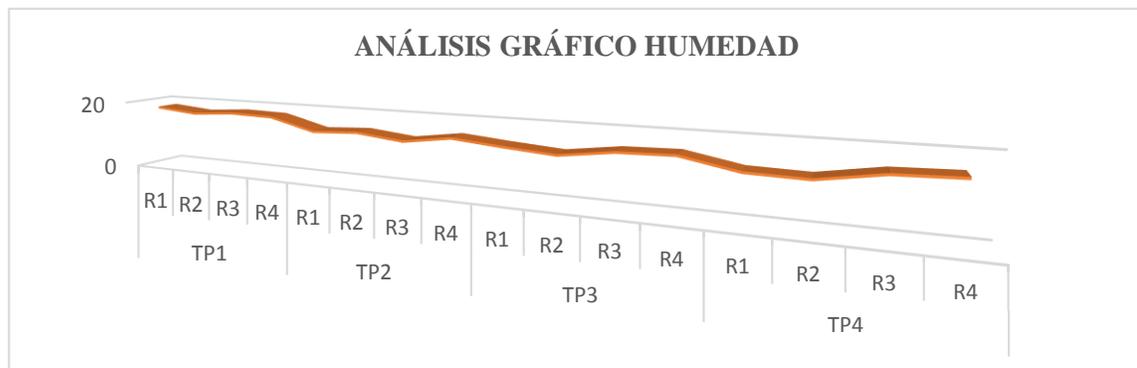


Gráfico 2: Análisis grafico de humedad de la biopelícula obtenida del almidón de maíz chulpi

Realizado por: Maza, Jhomara, 2021

Solubilidad

En la siguiente tabla se determina el valor de solubilidad analizando experimentalmente, para los TP1, TP2, TP3, y TP4; mediante sus repeticiones y los límites de referencia esperados para este estudio los cuales son obtenidos bibliográficamente.

Tabla 7. Resultados del ensayo de determinación de solubilidad de la biopelícula.

TRATAMIENTO	VARIABLE	REPETICIÓN	SOLUBILIDAD (%)	LÍMITE DE REFERENCIA
TP1	CA1: CG1	R1	45.67	39,0-59,5 % (Escobar, y otros, 2009 págs. 33-36)
		R2	43.28	
		R3	43.75	
		R4	44.58	
TP2	CA1: CG2	R1	53.07	
		R2	54.10	
		R3	52.80	
		R4	53.25	
TP3	CA2: CG1	R1	41.80	
		R2	40.65	
		R3	41.06	
		R4	41.25	
TP4	CA2: CG2	R1	56.34	
		R2	55.35	
		R3	57.04	
		R4	56.75	

Realizado por: Maza, Jhomara, 2021.

En el siguiente gráfico se visualiza los valores de la tabla anterior para los 4 tratamientos y sus repeticiones viendo que existe cierta similitud entre el TP1 y TP3 y entre el TP2 y TP4.

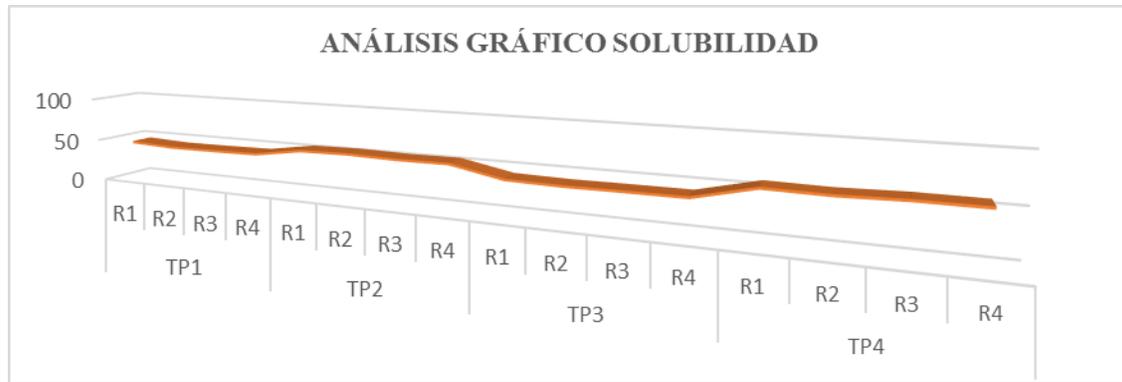


Gráfico 3: Análisis gráfico de solubilidad de la biopelícula obtenida del almidón de maíz chulpi
Realizado por: Maza, Jhomara, 2021

Permeabilidad

En la siguiente tabla se visualiza los valores obtenidos de permeabilidad experimentalmente, para los TP1, TP2, TP3 y TP4; con sus respectivas repeticiones y basándose en el límite de referencia obtenido bibliográficamente.

Tabla 8. Resultados del ensayo de determinación de permeabilidad de la biopelícula.

TRATAMIENTO	VARIABLE	REPETICIÓN	PERMEABILIDAD (g/h*m*Mpa)	LÍMITE DE REFERENCIA
TP1	CA1: CG1	R1	0.00219	0,00219±0,0010 (Villada, y otros, 2013 págs. 1-10)
		R2	0.00217	
		R3	0.00215	
		R4	0.00220	
TP2	CA1: CG2	R1	0.00232	
		R2	0.00229	
		R3	0.00227	
		R4	0.00231	
TP3	CA2: CG1	R1	0.00160	
		R2	0.00158	
		R3	0.00162	
		R4	0.00159	
TP4	CA2: CG2	R1	0.00203	
		R2	0.00210	
		R3	0.00207	
		R4	0.00204	

Realizado por: Maza, Jhomara, 2021.

En el siguiente gráfico se puede observar cómo varía la permeabilidad del TP1 al TP4, manteniendo un equilibrio entre el TP1, TP2 y TP4; mientras que el TP3 es menor a los otros tratamientos.

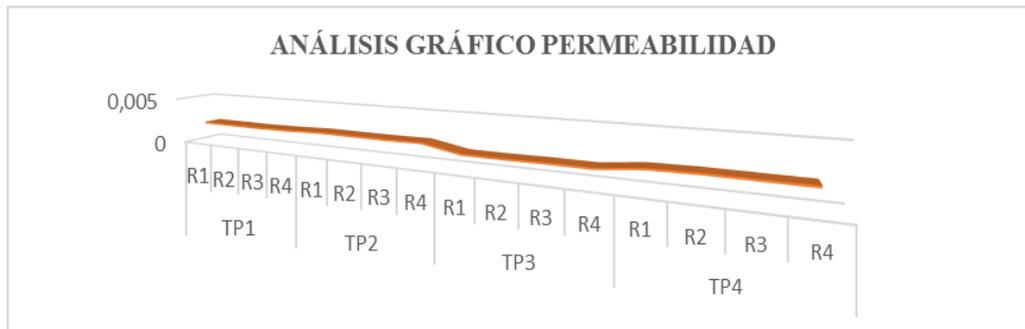


Gráfico 4: Análisis grafico de permeabilidad de la biopelícula obtenida del almidón de maíz chulpi
Realizado por: Maza, Jhomara, 202

Ensayo de Tracción

Se determina a través del informe entregado por el laboratorio LenMav, el mismo que se basó en la norma NTE- INEN 2635:012, con los valores correspondientes a los cuatro tratamientos de las probetas que se entregaron, los análisis se realizaron en:

- Equipo: Máquina Universal de ensayos (WAW600B) Marca: Jinan Liangong Testing Technology CO., LTD
- Serie: 7136
- Certificado: LNM-F-201650006-CÓD IDENT: M2

Los resultados entregados se visualizan en la siguiente tabla:

Tabla 9. Resultados de la prueba de tracción del bioplástico

TRATAMIENTO	MÓDULO ELASTICIDAD (Mpa)	CARGA DE FLUENCIA (N)	ESFUERZO DE FLUENCIA (MPa)	CARGA MÁXIMA (N)	ESFUERZO MÁXIMO (Mpa)	ELONGACIÓN (%)
T1	1.88E+01	1.75	1.8	2.35	2.42	28.68
T2	2.39E+01	1.45	1.55	2.16	2.3	33.58
T3	2.46E+02	15.9	12.9	16.91	13.72	6.04
T4	2.73E+02	8.32	7.96	8.52	8.15	5.3

Realizado por: Maza, Jhomara, 2021

Así se puede visualizar en el siguiente gráfico que la tracción para el TP1 y TP2 son similares y que los TP3 y TP4 también lo son, analizados solo para una repetición.

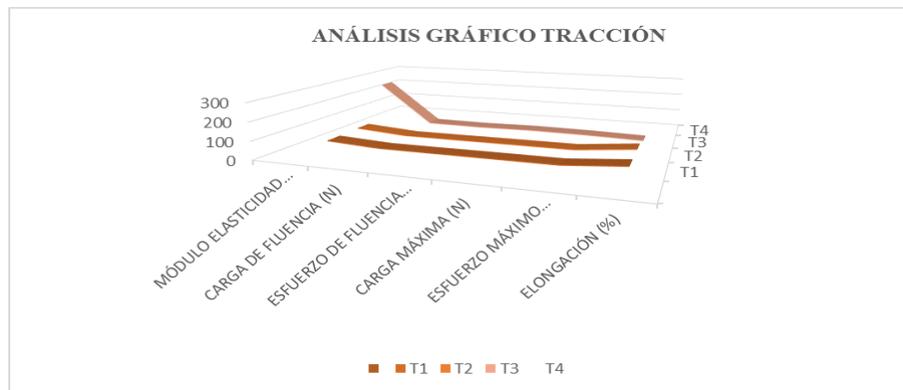


Gráfico 5: Análisis gráfico de la tracción de la biopelícula obtenida del almidón de maíz chulpi
Realizado por: Maza, Jhomara, 2021

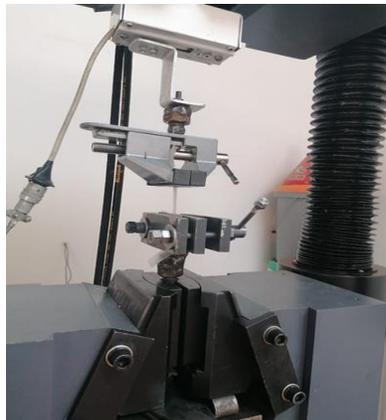


Figura 3-3. Realización del ensayo de tracción del tratamiento 4.
Realizado por: Maza, Jhomara, 2021.

Biodegradabilidad

Para la realización de las pruebas de biodegradación se realiza el análisis en tres condiciones diferentes, el primero se lo realiza en agua, el segundo el aire y el tercero en tierra, para la obtención de estos datos se analizó por 30 días las muestras en sus respectivas condiciones, valorando los datos obtenidos cada 5 días, así se puede observar en la **Tabla 10**, **Tabla 12** y **Tabla 13**.

Para apreciar el porcentaje perdido en cada muestra, se lo hizo mediante el cálculo por área, para ello se partió de la lámina de la biopelícula de cada tratamiento con un tamaño de 3x3 en cada condición. Dada la circunstancia en que se encontró cada muestra y lo complicado de la toma de valores para el cálculo de área, se usó la herramienta de Paint, con la cual a través de la resolución de los pixeles se transformó a la escala en mm, para con ello obtener valores exactos y el cálculo del área de cada lámina para cada tratamiento y para cada condición previamente establecida.

Tabla 10. Resultados de la biodegradación de la biopelícula en Agua.

N°	BIODEGRADACIÓN EN AGUA												
	0.00	5	%	10	%	15	%	20	%	25	%	30	%
T1	9.00	7.43	17.44	5.41	39.89	3.99	55.67	2.82	68.67	1.95	78.33	0.86	90.44
T2	9.00	7.18	20.22	5.43	39.67	4.16	53.78	2.87	68.11	1.96	78.22	0.84	90.67
T3	9.00	7.10	21.11	5.36	40.44	3.99	55.67	3.22	64.22	2.22	75.33	0.91	89.89
T4	9.00	7.40	17.78	6.20	31.11	4.10	54.44	3.40	62.22	2.30	74.44	0.98	89.11

Realizado por: Maza, Jhomara, 2021.

Así se puede visualizar en el siguiente gráfico que la biodegradación se mantiene entre los TP1, TP2, y TP3 y que solo para el TP4 varía un poco.

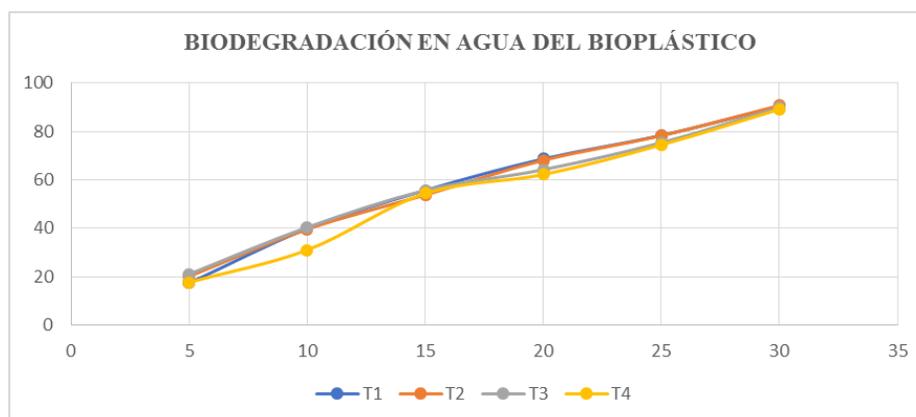
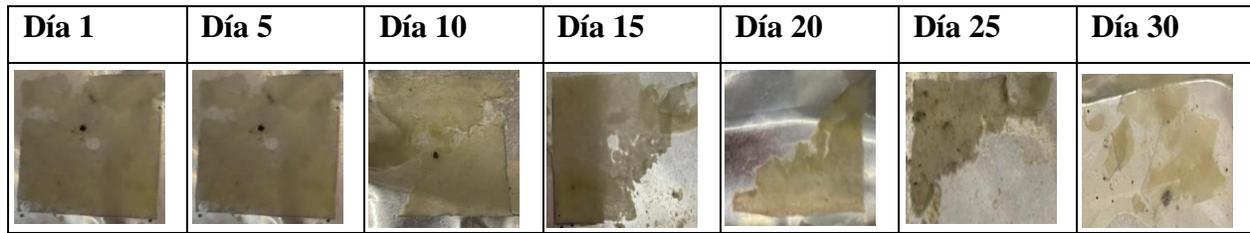


Gráfico 6: Resultados de la biodegradación en agua del bioplástico.

Realizado por: Maza, Jhomara, 2021

En la siguiente tabla se visualiza el cambio que se obtuvo de la biodegradación en agua por 30 días.

Tabla 11. Resultados de la biodegradación en agua.



Realizado por: Maza, Jhomara, 2021

Se realiza biodegradación en aire para los 4 tratamientos como se muestra en la siguiente tabla

Tabla 12. Resultados de la biodegradación de la biopelícula en Aire.

N°	BIODEGRADACIÓN EN AIRE												
	0.00	5	%	10	%	15	%	20	%	25	%	30	%
T1	9.00	8.82	2.00	8.27	8.11	7.76	13.78	6.28	30.22	5.86	34.89	4.43	50.78
T2	9.00	8.85	1.67	8.21	8.78	7.21	19.89	6.25	30.56	5.86	34.89	4.35	51.67
T3	9.00	8.91	1.00	8.38	6.89	7.84	12.89	6.79	24.56	5.88	34.67	4.56	49.33
T4	9.00	8.94	0.67	8.44	6.22	7.87	12.56	6.81	24.33	5.93	34.11	4.58	49.11

Realizado por: Maza, Jhomara, 2021.

En el siguiente gráfico se determina la variación de biodegradación en aire, para los 4 tratamientos del plástico, existiendo mayor variación entre el TP2 y TP4.

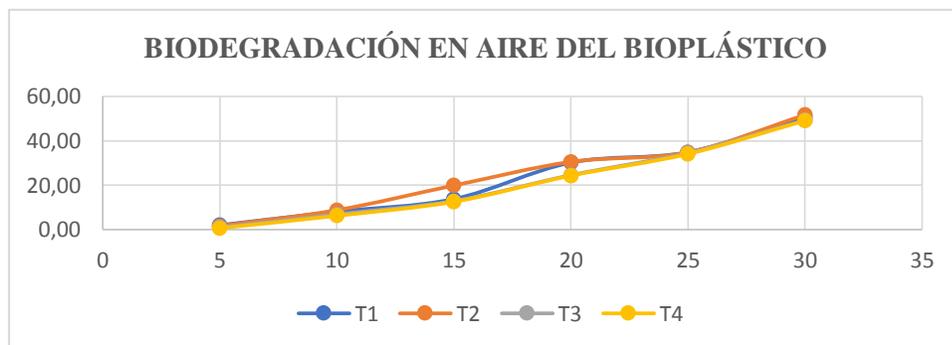


Gráfico 7: Resultados de la biodegradación en aire del bioplástico.

Realizado por: Maza, Jhomara, 2021

Se realiza biodegradación en suelo para los 4 tratamientos como se muestra en la siguiente tabla

Tabla 13. Resultados de la biodegradación de la biopelícula en Suelo.

N°	BIODEGRADACIÓN EN SUELO												
	0.00	5	%	10	%	15	%	20	%	25	%	30	%
T1	9.00	6.92	23.11	5.93	34.11	4.45	50.56	3.98	55.78	3.09	65.67	0.84	90.67
T2	9.00	6.99	22.33	5.88	34.67	4.37	51.44	3.86	57.11	2.99	66.78	0.74	91.78
T3	9.00	6.94	22.89	5.95	33.89	4.47	50.33	3.94	56.22	3.12	65.33	0.86	90.44
T4	9.00	6.97	22.56	5.98	33.56	4.52	49.78	3.99	55.67	3.13	65.22	0.87	90.33

Realizado por: Maza, Jhomara, 2021.

En el siguiente gráfico se determina que la biodegradación en suelo resultó muy buena para los cuatro tratamientos, así como se puede observar.

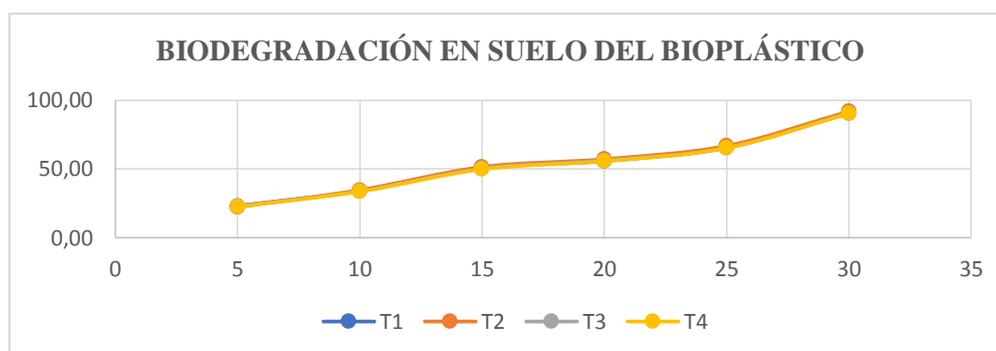


Gráfico 8: Resultados de la biodegradación en suelo del bioplástico.

Realizado por: Maza, Jhomara, 2021

En la siguiente tabla se visualiza el cambio que se obtuvo de la biodegradación en suelo por 30 días.

Tabla 14. Resultados de la biodegradación en suelo.

Día 1	Día 5	Día 10	Día 15	Día 20	Día 25	Día 30

Realizado por: Maza, Jhomara, 2021

Resultados de la aplicación de la biopelícula en el producto

La parte de aplicación de biopelícula es esencial, y se analizará comparando la fruta envuelta con la fruta al ambiente, lo que permitirá determinar si el empleo de la biopelícula es eficiente, así se determina un análisis sensorial de la frutilla que será la fruta sometida al estudio, la misma que se observa en la **Tabla 15**.

Tabla 15. Análisis sensorial de la frutilla envuelta en la biopelícula a partir de almidón de maíz chulpi

ANÁLISIS SENSORIAL DE LA FRUTILLA				
Tipo de estudio	Textura	Sabor	Olor	Aspecto
Frutilla al ambiente	Suave	Agrio	Rancio	Deshidratado
Frutilla envuelta	Duro	Dulce	Dulce	Firme

Realizado por: Maza, Jhomara, 2021

Determinación de la formulación óptima de la biopelícula según la aplicación del diseño factorial 2², mediante el análisis estadístico ANOVA.

Para la determinación de las formulaciones óptimas, para el desarrollo de la investigación se realiza el diseño factorial 2², mediante el cual se estableció un estudio de variables y constantes así se tiene que la concentración de almidón y concentración de glicerina serán las variables teniendo valores de (1-2 g para el almidón) y (0,5-0,75 ml para la glicerina) y las constantes serán el vinagre (7ml) y el agua (40 ml), así se estima las porciones añadidas en la **Tabla 3**, en cuanto a la variación de cada tratamiento. De esta manera se comienza el análisis mediante un estudio de varianza ANOVA, como se puede observar la **Tabla 2** la misma que permite comprobar que al tener un valor de 0,7792 en la interacción y ser mayor a 0,50 no existe una diferencia significativa entre estos 4 tratamientos extraídos, por lo que se estima entre ellos, cuál será el que beneficie su elaboración en términos de costos y de producción. Es así que, al analizar varios factores, como tiempo de secado, optimización de materia prima y tiempo de degradación, se elige como el mejor tratamiento al TP2 debido a que su tiempo de secado es menor, se necesita la mitad en concentración de almidón, mantiene buenas propiedades en cuanto a la tracción y su tiempo de degradación en las 3 condiciones avanza con el mayor porcentaje, teniendo así una biopelícula económica y de buen rendimiento

Una vez analizada la hipótesis general, la cual se centra en obtener una biopelícula que mantenga a la fruta envuelta con sus características organolépticas, se determina el estudio de prueba envolviendo a la frutilla como fruta de muestra.

De esta manera se establece un tiempo de 7 días para determinar visualmente el cambio que existe entre la frutilla envuelta con la biopelícula y la frutilla al ambiente, el análisis se empezó al mismo tiempo, teniendo resultados muy favorables los cuales se los puede observar en la **Tabla 15** en donde la biopelícula mantiene todas las características organolépticas de la frutilla, mantiene su textura, su olor, su aspecto, lo que beneficia dentro de la industria al evitar contaminación ambiental y al evitar el desecho de alimentos, en este estudio no se presencia el desprendimiento de vapor de agua, comprobando así que la biopelícula cumple con sus funciones de recubrimiento de alimentos.

Discusión

Una vez obtenidas las formulaciones en base al estudio factorial 2^2 se obtuvieron 4 tratamientos con 4 repeticiones, teniendo en total 16 muestras de biopelículas, que mediante un estudio de ensayos experimentales, se determina las características principales, asumiendo la importancia de las concentraciones variantes, que en este caso es el almidón y la glicerina; como lo menciona (Nárvaez 2016) la glicerina es considerada como el material que le confiere elasticidad y maleabilidad a las películas, por lo cual se realiza el estudio de humedad, solubilidad, permeabilidad, espesor, pruebas mecánicas, sensoriales y de biodegradación de las biopelículas de las muestras obtenidas, en base a un patrón y realizando las pruebas por triplicado en la mayor parte de ensayos analizados.

Análisis sensorial de la biopelícula.

Se realizó el análisis sensorial de la biopelícula mediante el estudio organoléptico, atribuyéndole propiedades cualitativas que en esta investigación fueron el aspecto, la textura, la flexibilidad y la resistencia, así lo menciona también (Vih-sida 2009) que se considera una biopelícula de buena calidad, cuando presenta un aspecto translucido, es lisa, mantiene una buena flexibilidad y buena resistencia; que el tratamiento con mejor características según el análisis sensorial es el TP4 como se puede observar en la **Tabla 1**, ya que le confiere una aceptación a todas las cualidades valoradas en el apartado.

Al comparar el análisis sensorial obtenido con base en el almidón de maíz chulpi con el obtenido en base al almidón de maíz, se encuentra una leve diferencia, debido a que la biopelícula de maíz es completamente translúcida según (Avellán et al. 2020) y la biopelícula de maíz chulpi es ligeramente translúcida, afectando un poco la opacidad de la biopelícula obtenida en esta investigación. En relación con las demás características valoradas en este análisis sensorial, se mantiene igual para ambos tipos de maíz.

Análisis de determinación de espesor.

Para la determinación del espesor se basó en la norma INEN 2542, la cual mantiene valores de referencia de $0,120 \pm 0,010$ mm que según (Angueta Giraldo y Giraldo Tigua 2019, p. 65-67) son los valores específicos, para la obtención de biopelículas de buena calidad, y al comparar los valores normalizados, con los valores obtenidos experimentalmente se tiene una aceptación muy buena ya que según la **Tabla 1** la mayoría de los valores se encuentran dentro de la norma, y al compararlo con el estudio de (Angueta Giraldo y Giraldo Tigua 2019), se tiene en promedio un valor de 0,120 con las biopelículas elaboradas en base al almidón de maíz, mientras que el promedio de las biopelículas obtenidas con el almidón de maíz chulpi es de 0.136 de los 16 tratamientos realizados, teniendo una diferencia de 0,016, entre los espesores de estas dos investigaciones, teniendo un valor relativamente bajo.

Análisis de determinación de humedad

Se realizó el análisis de porcentaje de humedad, para este estudio se basó en la Norma INEN 1462, la cual establece valores de referencia de 19,3-22,1% para el bioplástico según (Alimentarios 2011, p. 33-35), lo que permite normalizar el valor obtenido experimentalmente en el laboratorio, es así que de las 16 muestras obtenidas en la **Tabla 6** al realizar el promedio se obtuvo un valor de 15,33% lo que quiere decir que este valor se encuentra fuera de norma, pero es aceptable ya que como lo menciona (Agama-Acevedo et al. 2013) el maíz chulpi es un grano seco que en su análisis proximal mantiene un nivel de humedad menor a lo establecido por ser las características de su procedencia.

Si se compara el valor de humedad de la biopelícula obtenida con maíz chulpi y la obtenida con el maíz se tiene que la humedad de estas biopelículas a base de almidón de maíz es de 16,14%, por

lo cual se puede determinar que este valor de humedad depende mucho del tipo de material con el que se extraiga el almidón.

Análisis de determinación de Solubilidad

La solubilidad de la biopelícula obtenida de las formulaciones se la realizó en el laboratorio bajo la determinación del análisis gravimétrico, mediante la cual se obtuvieron resultados muy bien valorados según el estudio de (Zárate 2011, p. 97), debido a que a mayor cantidad de glicerina, mayor va a ser el valor de la solubilidad obtenida en el bioplástico, sabiendo que esto se complementa con el almidón, mientras esta relación vaya a la par e incrementa el valor del almidón y de la glicerina, se tiene un mayor valor de solubilidad, así se puede comprobar con los resultados de la **Tabla 7** en donde al determinar el promedio entre los 4 tratamientos analizados, se tiene que un valor de 48.77%, y lo que la norma permite es un valor de 39,0-59,5 %, mencionada por (Alimentarios 2011, p. 33-36), comparando que el valor analizado está dentro de la norma; así se puede determinar que los mejores tratamientos son el TP2 y TP4, para las muestras analizadas.

Análisis de determinación de permeabilidad

Una vez analizada la permeabilidad bajo la norma de ASTM 96 se puede determinar los parámetros establecidos de $0,00219 \pm 0,0010$ por (JOAQUIN D y VILLADA C 2013, p. 1-10) que los valores obtenidos experimentalmente en la **Tabla 8**, están dentro de norma y corresponden a los valores de permeabilidad según investigaciones realizadas, así lo menciona (Zárate 2011), que al igual que en la solubilidad del bioplástico, es en la permeabilidad, es decir que ha mayor concentración de glicerina, se presentara mayor permeabilidad en el bioplástico, lo que quiere decir que en el tratamiento TP2 y TP4 existirá mayor desprendimiento de vapor de agua, y al momento de embalar algún alimento con este bioplástico afecte a las características organolépticas del alimento a embalar.

Si se revisa el **Gráfico 4**, se puede visualizar como la variación de la glicerina afecta por completo en los datos que se van obteniendo, como lo menciona en la investigación de (Hernández-Gutiérrez, Rodríguez-Tomé y Cordero-Fernández 2014, p. 3-5), ya que al ser la glicerina un compuesto hidrofóbico, mantiene una estrecha relación en el comportamiento en la estructura de los bioplásticos.

Análisis de determinación de la prueba de tracción.

Para la determinación de este análisis se envió una muestra de probeta por cada tratamiento al laboratorio de LenMav, el mismo que se basó en la norma NTE- INEN 2635:012, mediante el cual se analizaron varios aspectos que determinan las propiedades mecánicas de la biopelículas, así se puede observar en la **Tabla 9**, que los valores de módulo de elasticidad medido en Mpa van incrementando, del tratamiento 1 al 4, siendo mayor el del tratamiento 4, que según (Ingeniería, Granda Sánchez y Jeyson 2019, p. 4-6), este valor de módulo de elasticidad varía dependiendo del procedimiento utilizado en la formulación con el aumento de la cantidad de plastificante, es por ello que el tratamiento 4 al tener mayor cantidad de glicerina y de almidón presenta un valor más elevado en el módulo de elasticidad.

Otro aspecto que se valora es la carga de fluencia que según (Ingeniería, Granda Sánchez y Jeyson 2019, p. 4-6), es un factor importante ya que es la deformación de la red cristalina de las biopelículas, y según la investigación que se realizó se puede decir que el tratamiento con mayor carga de fluencia es el tratamiento 3 con un valor de 15.9 N, debido a que esto depende de la cantidad del plastificante que se empleó con la cantidad del almidón, buscando estimar un equilibrio entre el módulo de elasticidad y la carga de fluencia para su tiempo de degradación posteriormente, diferenciándose con el esfuerzo de fluencia en que esta será la carga que soporta la placa de probeta en MPa, para el tiempo en que demora en deformarse aplicando la fuerza sobre la probeta.

Conjuntamente se realiza un estudio de la carga máxima y el esfuerzo máximo de la biopelícula de la **Tabla 9**, que al compararlo con el estudio de (Espinoza y Puglisevich 2007, p. 76-78), la cual es una investigación de biopelículas a partir del almidón del maíz se tiene un valor de esfuerzo máximo de 2.124 MPa en promedio el cual es un valor muy parecido al del TP1 y TP2 cuyo valor promedio de los dos tratamientos es de 2.26 Mpa, de la biopelícula del maíz chulpi, pero muy diferente en cuanto al valor del TP3 y TP4, lo que nos da la idea de que el esfuerzo máximo será más débil con una mayor concentración del plastificante añadido, lo cual es totalmente contrario al estudio de elasticidad y esfuerzo de fluencia-de esta investigación.

Por último el porcentaje de elongación de la biopelícula del maíz chulpi comparando con el estudio de (Espinoza y Puglisevich 2007, p. 77-79), mantiene un valor del 41.1% en la obtención de biopelícula a partir del maíz, el mismo que es alto comparado con el porcentaje de elongación del maíz chulpi es cual es de 18.4%, por lo que se puede decir que el porcentaje de elongación es menor

debido a que en los tratamientos TP3 y TP4 se tiene valores muy bajos de elongación porque sus biopelículas son rígidas y no permiten mayor elongación al tener mayor cantidad de almidón en su estructura afectado de esta manera en la flexibilidad de estos plásticos, mientras que en los tratamientos TP1 y TP2 mantienen una buena flexibilidad

Finalmente el tratamiento TP3 y TP4 debido a la diferente formulación que mantienen, variando el almidón y plastificante le confieren a la biopelícula mayor rigidez, y menor flexibilidad, afectando los valores de degradación que se determinara en el siguiente apartado. Cabe mencionar que para las determinaciones de todas las pruebas analizadas, se tomó en cuenta el espesor para cada tratamiento, teniendo un promedio de 0.12 mm de los cuatro tratamientos, lo que se encuentra dentro de la norma del espesor de $0,120 \pm 0,010$ mm según (Angueta Giraldo y Giraldo Tigua 2019, p. 65-67).

Análisis de determinación de la Biodegradabilidad del plástico.

Para la determinación de la biodegradabilidad del bioplástico, se analizó este estudio en tres condiciones, que son agua, aire y suelo, mediante la cual se obtuvieron datos de degradación en porcentaje y se comparan las tres, durante el tiempo de 30 días, basándose en la norma ISO 13432 así se tiene el promedio de la **Tabla 10**, del análisis en agua, con un valor de 90.03%, y mediante el **Gráfico 6** se puede apreciar que la curva del TP2 es constante y muy parecida al TP1, y se degrada con mayor facilidad que el TP4, que de la misma manera mantiene valores relacionados con el TP3; que presenta un valor de degradación menor en comparación a los 4 tratamientos, teniendo en cuenta que los factores principales que influyen en esta degradación es el pH, la temperatura del medio y la humedad.

De acuerdo al promedio de la **Tabla 11**, se tiene un valor del 50.22% siendo la mitad de la degradación esperada, ya que al ser aeróbica, sus propiedades estructurales se mantienen, y su tiempo de degradación es más demorado, así se puede determinar mediante el **Gráfico 7**, que existe una gran variación de las curvas del TP1 y TP2, teniendo porcentajes de degradación demorada y degradación acelerada en varios días, y por el contrario existe una curva constante entre el TP3 y TP4, como se puede observar en la gráfica. Este tiempo de degradación es bajo ya que según (Vidal 2000, p. 69-72) existe dos tipos de biodegradación, la primaria y secundaria, siendo este tipo de degradación la primaria ya que produce discretas alteraciones en las moléculas originales, lo que

hace que se vaya perdiendo poco a poco las propiedades físico-químicas. Así se tiene la reacción en medio aerobio o en presencia de oxígeno:



Por ultimo al analizar el promedio de la **Tabla 12**, se tiene un valor de 90.81%, siendo este tipo de investigación secundaria según (Vidal 2000, p. 69-72) ya que al estar inmersa en el suelo presenta una degradación anaeróbica y en esta se produce la metabolización del material por microorganismos como fuentes de carbono y energía, lo que produce la transformación en compuestos inorgánicos, de esta manera se estima según el **Gráfico 8** que la curva de los tratamientos del 1 al 4 son constantes, teniendo una degradación progresiva con la siguiente reacción anaeróbica:



Finalmente, al comparar la biodegradación en estas tres condiciones, se puede determinar que la biopelícula mantiene una mejor degradación en el suelo y en el agua, al tener una degradación secundaria que mediante la mineralización ayuda a que la biopelícula se logre degradar en los 30 días, sin embargo, la degradación en aire al ser menor no deja de tener un valor apreciable al completar al menos el 50% de su proceso degradativo.

Así se demuestra que la hipótesis general puede ser aceptada, al analizar los resultados obtenidos en base a las características estudiadas experimentalmente.

Conclusiones

- Se realizaron formulaciones del bioplástico a partir del almidón de maíz chulpi (*Zea Mays Amylosaccharata*), utilizando un análisis factorial 2^2 , analizando cuatro tratamientos, con variables como la concentración de almidón y glicerina, y con las constantes que fueron el agua y vinagre; determinando estadísticamente con la varianza que no existe diferencia significativa entre estos 4 tratamientos, y debido a esto se eligió el TP2 el mismo que tiene en su composición 1 gramo de almidón, 0,75 ml de glicerina, 7 ml de vinagre y 40 ml de agua; ya que optimiza recursos y tiene las características óptimas para el embalaje de alimentos, atribuyéndole un buen rendimiento con menor concentración de almidón, presentando buena resistencia mecánica según el informe de tracción; con un valor de 33,58% de elongación siendo el mayor de los 4 tratamientos analizados, y además de esto posee buena degradación en las tres condiciones analizadas, con un valor de 90,67% para

el agua, 51,67% para el aire y 91,78% para el suelo; concluyendo que los aditivos como el agua, el vinagre y la glicerina son componentes esenciales que ayudan a la maleabilidad, homogenización y flexibilidad, de las biopelículas, siendo estas de muy buena calidad.

- Se determinó la vida útil de los alimentos con el recubrimiento de las biopelículas, mediante el análisis en el ambiente, con un blanco y el otro embalado con la biopelícula obtenida a partir del almidón de maíz chulpi, se lo realizó con la frutilla como blanco de estudio, y se determinó en un tiempo de 7 días que la biopelícula con la cual se embolsó a la frutilla es de muy buena calidad y mantiene a la fruta, ya que las propiedades organolépticas no se alteraron, y la fruta se mantuvo fresca, con muy buena apariencia, como si hubiera estado dentro del refrigerador, no presentó permeabilidad al momento de cubrir la frutilla por lo que no se evidencia el paso de vapor de agua, concluyendo así que ayuda a mantener la fruta sin alterar sus propiedades.

Referencias

- 1 **Angueta Mishell y Giraldo , Liliana. 2019.** Bitstream. *ELABORACIÓN DE ENVASES BIOPLÁSTICOS MEDIANTE EL APROVECHAMIENTO DE MATERIAS PRIMAS VEGETALES CON FINES INDUSTRIALES* . [En línea] 2019. <https://repositorio.uteq.edu.ec/bitstream/43000/4177/1/T-UTEQ%200071.pdf>.
- 2 **Bravo, Jenny Marcela Guamán. 2019.** DSPACE. *ESPOCH*. [En línea] 29 de 05 de 2019. <http://dspace.esPOCH.edu.ec/bitstream/123456789/11069/1/96T00540.pdf>.
- 3 **Escobar, D, y otros. 2009.** Gerencia de Proyectos Alimentarios, Laboratorio Tecnológico del Uruguay. *Películas biodegradables y comestibles desarrolladas en base a aislado de proteínas de suero lácteo: estudio de dos métodos de elaboración y del uso de sorbato de potasio como conservador*. [En línea] 2009.
- 4 **2019.** Residuos profesional . *Center for International Environmental Law*. [En línea] 20 de Junio de 2019. <https://www.residuosprofesional.com/estudio-impacto-ambiental-plastico/#:~:text=Solo%20en%202019%2C%20la%20producci%C3%B3n,costos%20ocultos%20de%20un%20planeta>.
- 5 **Villada, Hector Samuel y Joaqui , Diego Fabian. 2013.** Scielo. *PROPIEDADES ÓPTICAS Y PERMEABILIDAD DE VAPOR DE AGUA EN PELÍCULAS PRODUCIDAS*

A PARTIR DE ALMIDÓN. [En línea] 2013.
<http://www.scielo.org.co/pdf/bsaa/v11nspe/v11nespa07.pdf>. No. 2 (59- 68).

©2022 por los autores. Este artículo es de acceso abierto y distribuido según los términos y condiciones de la licencia Creative Commons Atribución-NoComercial-CompartirIgual 4.0 Internacional (CC BY-NC-SA 4.0) <https://creativecommons.org/licenses/by-nc-sa/4.0/>.