



*Obtención de películas bioplásticas a partir del mucílago del Nopal (*Opuntia ficus-indica*) proveniente de la estación experimental Tunshi, Chimborazo*

*Obtaining bioplastic films from Nopal mucilage (*Opuntia ficus-indica*) from the Tunshi experimental station, Chimborazo*

*Obtenção de filmes bioplásticos de mucilagem Nopal (*Opuntia ficus-indica*) da estação experimental Tunshi, Chimborazo*

Karina Gabriela Salazar Llangarí<sup>I</sup>  
[gabriela.salazar@esPOCH.edu.ec](mailto:gabriela.salazar@esPOCH.edu.ec)  
<https://orcid.org/0000-0003-0527-3289>

Alex Estuardo Erazo Lara<sup>II</sup>  
[alex.erazol@esPOCH.edu.ec](mailto:alex.erazol@esPOCH.edu.ec)  
<https://orcid.org/0000-0003-4069-9269>

Blanca Alexandra Oñate Bastidas<sup>III</sup>  
[blanca.oniate@esPOCH.edu.ec](mailto:blanca.oniate@esPOCH.edu.ec)  
<https://orcid.org/0000-0003-2377-7616>

Erick Alexander Villarreal Jaramillo<sup>IV</sup>  
[erick.villarreal@esPOCH.edu.ec](mailto:erick.villarreal@esPOCH.edu.ec)  
<https://orcid.org/0000-0002-9833-8397>

**Correspondencia:** [gabriela.salazar@esPOCH.edu.ec](mailto:gabriela.salazar@esPOCH.edu.ec)

Ciencias Técnicas y Aplicadas  
Artículo de Investigación

\* **Recibido:** 23 de octubre de 2022 \* **Aceptado:** 12 de noviembre de 2022 \* **Publicado:** 28 de diciembre de 2022

- I. Máster Universitario en Química Sostenible, Ingeniera Química, Escuela Superior Politécnica de Chimborazo (ESPOCH) - Sede Morona Santiago, Macas, Ecuador.
- II. Máster Universitario en Administración de Empresas, Ingeniero Agrónomo, Escuela Superior Politécnica de Chimborazo (ESPOCH) - Sede Morona Santiago, Macas, Ecuador.
- III. Magíster en Dirección de Comunicación Empresarial e Institucional, Escuela Superior Politécnica de Chimborazo (ESPOCH) - Sede Morona Santiago, Macas, Ecuador.
- IV. Investigador Independiente - Morona Santiago, Macas, Ecuador.

## Resumen

El propósito de la investigación fue obtener películas bioplásticas a partir del uso del mucílago del Nopal (*Opuntia ficus-indica*) proveniente de la estación experimental Tunshi, en la provincia de Chimborazo. Se seleccionó la vía húmeda para la obtención del mucílago debido al rendimiento (75%) que ofrece dicho medio de extracción. Para la obtención de las biopelículas se usó 6 formulaciones basadas en la metodología "Gel casting" establecida por (Pascoe 2019), que involucra el uso del mucílago de nopal como componente principal además de 3 aditivos que permiten mejorar el comportamiento plástico de nuestro polímero natural. Una vez realizada la caracterización físico-mecánica de las biopelículas se pudo determinar que la formulación 4 nos ofrece óptimos resultados, que en el caso de su repetición 2 alcanza una resistencia a la ruptura de 17 N, además de una resistencia a la tensión de 3,24 N/cm<sup>2</sup>. Se pudo conocer que las muestras colocadas en agua tienen un tiempo menor de degradación a comparación de las muestras colocadas en suelo y ambiente.

**Palabras Clave:** Plástico; Bioplástico; Nopal (*Opuntia ficus-indica*); Mucílago de Nopal; Polímero natural; Biodegradable; Propiedades físico-mecánicas; tecnología de materiales.

## Abstract

The purpose of the research was to obtain bioplastic films from the use of Nopal mucilage (*Opuntia ficus-indica*) from the Tunshi experimental station, in the province of Chimborazo. The wet route was selected to obtain the mucilage due to the yield (75%) offered by said extraction medium. To obtain the biofilms, 6 formulations were used based on the "Gel casting" methodology established by (Pascoe 2019), which involves the use of nopal mucilage as the main component in addition to 3 additives that allow improving the plastic behavior of our natural polymer. . Once the physical-mechanical characterization of the biofilms was carried out, it was possible to determine that formulation 4 offers us optimal results, which in the case of its repetition 2 reaches a resistance to rupture of 17 N, in addition to a resistance to tension of 3 .24 N/cm<sup>2</sup>. It was possible to know that the samples placed in water have a shorter degradation time compared to the samples placed in soil and environment.

**Keywords:** Plastic; bioplastic; Nopal (*Opuntia ficus-indica*); Nopal mucilage; natural polymer; Biodegradable; Physical-mechanical properties; Materials technology.

## Resumo

A leitura é uma das atividades mais importantes para adquirir conhecimento e mediar processos de aprendizagem, enquanto a leitura crítica requer habilidades de ordem superior, como análise, síntese, inferência e julgamento de valor, que não são apenas importantes no campo da educação, mas também fundamentais e recurso valioso na vida e no desenvolvimento pessoal. Por isso é fundamental estimular a leitura, por meio de estratégias e atividades que promovam hábitos eficazes. Este estudo busca sintetizar as estratégias que vêm sendo aplicadas para o desenvolvimento da leitura crítica em alunos. Para isso, foi realizada uma revisão bibliográfica dos estudos relacionados, por meio de uma análise de conteúdo, esses trabalhos forneceram métodos, estratégias e atividades que permitem melhorar o nível de leitura crítica, dentre os principais estão a realização de resumos, diagramas, organizadores gráficos, palavras-chave e dados relevantes dos textos, propõe-se também a aplicação de atividades para socializar os textos lidos, por meio de brainstorming, mesa redonda, painéis ou debates. Além da utilização de recursos digitais interativos como vídeos, imagens, áudios, arquivos e bases bibliográficas, bem como a busca do significado de palavras desconhecidas.

**Palavras-chave:** Plástico; bioplástico; Nopal (*Opuntia ficus-indica*); Mucilagem de Nopal; polímero natural; Biodegradável; Propriedades físico-mecânicas; tecnologia de materiais.

## Introducción

El ingreso de la industria plástica en la sociedad fue vista en un principio como una necesidad para procesos de empaquetamiento, embasamiento, transporte, manejo y producción de una gran variedad de productos, esto por la capacidad de producción de plásticos con una gran variedad de propiedades, por tal motivo la cantidad y tipos de plásticos producidos han ido en un crecimiento a lo largo de los años (Vázquez et al. 2016). Durante las primeras décadas de producción, este tipo de materiales no eran reconocidos como una problemática ambiental debido al nulo conocimiento que se tenía acerca de la composición de este tipo de polímeros, los cuales se derivan principalmente del petróleo, materia prima cuya degradación en el ambiente involucra periodos largos de tiempo (Smith et al., 2018).

La perspectiva actual sobre la industria del plástico ha cambiado drásticamente puesto que hoy la cantidad de desechos plásticos presentes en el entorno es evidente (Rivera et al., 2020), en 2019 la producción de plásticos a nivel mundial llegó a las 322 millones de toneladas (López, Pumaquero y López 2020), según cifras correspondientes al centro internacional de Ley Ambiental, la producción de plástico a nivel mundial representa en la actualidad el 3,8% del total de emisiones de carbonó y se estima que para el 2050 esta

industria representara el 13% de dichas emisiones (Hamilton et al., 2019).

Datos como los mencionados anteriormente generan en la sociedad la obligación de buscar alternativas a la producción de plásticos sintéticos, hoy en día existe una gran cantidad de estudios que proponen la obtención de materiales bioplásticos mediante el uso de materias primas que permitan una rápida degradación de estas en el ambiente, entre las distintas investigaciones desarrolladas se encuentra el uso del mucílago del nopal, una sustancia hidrocoloide, considerada un polímero de origen natural (Majdoub, Roudesli y Deratani, 2001).

El objetivo del presente proyecto fue obtener películas bioplásticas a partir del mucílago del nopal, agregando distintos aditivos, se llevó a cabo un proceso de selección del método de extracción, obtención de las biopelículas, caracterización y análisis del tiempo de degradación de las mismas.

## **Metodología**

### **Selección del método de extracción**

Para la selección del método de extracción se usó dos metodologías o procesos de obtención del mucílago del Nopal, en este caso se usó dos vías de extracción como lo son la vía húmeda y seca, cuyas metodologías se presentan a continuación:

#### **Vía húmeda**

Para la extracción de mucílago del nopal mediante la vía húmeda se usó la metodología propuesta por (Sepúlveda et al., 2007) con sus respectivas modificaciones, dicho procedimiento consiste de la selección y retiro de espinas de las pencas seleccionadas, lavado y desinfectado de las muestras con 5% de hipoclorito de sodio, troceado en secciones alargadas de la materia prima, extracción con el uso de una extractora industrial, determinación del porcentaje de mucílago obtenido en función de los pesos iniciales y maceración del mucílago obtenido para una preservación de la misma.

#### **Vía seca**

Para la extracción del mucílago del nopal mediante la vía seca se usó la metodología de (Abraján, 2007) con modificaciones, el proceso comienza con la desinfección y encendido de la estufa a 100 C, picado de la pulpa del nopal en secciones alargadas de entre 3 a 5 mm, registro de los códigos y pesos de las bandejas a usarse para el secado de la materia prima, pesado de las bandejas con las muestras seleccionadas, ingreso de las bandejas, pesado periódicamente hasta alcanzar un peso constante, pesado final del mucílago obtenido, almacenamiento adecuado del mucílago obtenido para evitar absorción de humedad, determinación del porcentaje de mucílago obtenido en función de los pesos de las muestras iniciales.

Mediante la comparación del rendimiento obtenido en las distintas vías de extracción se seleccionó un método para su uso en la posterior etapa de obtención de las películas bioplásticas.

## Obtención de las películas bioplásticas

Para la obtención de las distintas películas bioplásticas se utilizó la técnica “Gel casting” usada por (Pascoe, 2019), esta técnica consiste en el uso de distintos aditivos los cuales mejoren las características físico mecánicas del polímero natural, que en este caso es el mucílago extraído, el proceso consiste en:

- Colocar en un vaso de precipitación el mucílago de nopal y la proteína.
- Homogeneizar mediante la ayuda de un agitador magnético y una espátula en un rango de 300 a 400 rpm durante 10 minutos a 70°C.
- Aumentar la temperatura a 90°C y adicionar la glicerina y cera derretida.
- Agregar entre 4 a 14 ml de agua destilada y agitar constantemente a 600 rpm durante 10 minutos, hasta observar viscosidad en la mezcla
- Verter la mezcla en los moldes previamente seleccionados.
- Secar las biopelículas preparadas a temperatura ambiente y pesar hasta lograr un valor constante que indique que la muestra está seca.



**Figura 1:** Elaboración del bioplástico

## Resultados y Discusión

### Resultados de determinación del método de extracción

Para el proceso de determinación del método de extracción del mucílago del nopal, se usó dos pencas, una de estas fue sometida a la vía seca y otra a la vía húmeda, en este caso las pencas seleccionadas fueron recolectadas en horas de la mañana y sus características se presentan a continuación:

1. **Tabla 1:** Características de las pencas seleccionadas

No.	Pencas de nopal ( <i>Opuntia ficus-indica</i> )			
	Peso (g)	Largo (cm)	Alto (cm)	Ancho (cm)
1	1125	40	15.3	3,2
2	730	35	15	2,7

Fuente: Villarreal Erick, 2022

### Resultados vía Seca (Estufa)

Para el proceso de obtención del mucílago seco se usó la metodología mencionada por Abraján en 2007, aplicando ciertas modificaciones que permitieron optimizar el tiempo de secado de las muestra, las modificaciones aplicadas consisten en un aumento de la temperatura de la estufa, se trabajó con una temperatura de 100°C, y se revisó la reducción del peso cada 15 minutos hasta observar un peso constante, el tiempo total de secado de las muestras fue de alrededor de 24 horas, posteriormente con ayuda de un mortero se procedió a pulverizar las muestras secas y finalmente se tamizó para obtener el peso final de las muestras, el peso inicial de la penca con cascara fue de 1125 g, el peso de la penca sin cascara fue de 553 g.

2. **Tabla 2:** Reducción del peso de las muestras en la estufa

Día	Hora	Peso (g)			Suma
		B1	B2	B3	
Día 1	11:38	185	184	134	553 g
	11:53	174	181	181	
	12:08	164	180	179	
	12:23	154	174	168	
	12:38	142	169	161	
	12:53	133	164	155	
	13:45	97	146	131	
	14:00	86	140	122	
	14:15	74	135	116	
	14:30	62	128	109	
	14:45	55	125	102	
	15:00	47	118	97	
Día 2	8:00	5	4	5	14 g

Fuente: Villarreal Erick, 2022

Observaciones: transcurridas casi 4 horas de observación de la variación del peso de las muestras se puede comprobar que la bandeja 1 es la que muestra una reducción del peso mucho más acelerada en comparación a las otras 2 bandejas, esto presumiblemente por el grosor de las láminas colocadas, las mismas que varían entre 1 a 4 mm, en el caso de las bandejas 2 y 3 se colocó laminas con un espesor aproximado de entre 3 a 7 mm.



**Figura 2:** Mucilago seco tamizado

### Rendimiento de la Vía Seca

Para el cálculo del rendimiento se requiere el peso inicial de la muestra que ingreso al proceso y el peso final del mucílago extraído.

$$\%R = \frac{\text{Peso final (g)}}{\text{Peso inicial de la muestra (g)}} * 100$$

$$\%RB1 = \frac{5 \text{ g}}{185 \text{ g}} * 100 = 2,70 \%$$

$$\%RB2 = \frac{4 \text{ g}}{184 \text{ g}} * 100 = 2,17 \%$$

$$\%RB3 = \frac{5 \text{ g}}{185 \text{ g}} * 100 = 2,70 \%$$

$$\%RGS = \frac{14 \text{ g}}{553 \text{ g}} * 100 = 2,53 \%$$

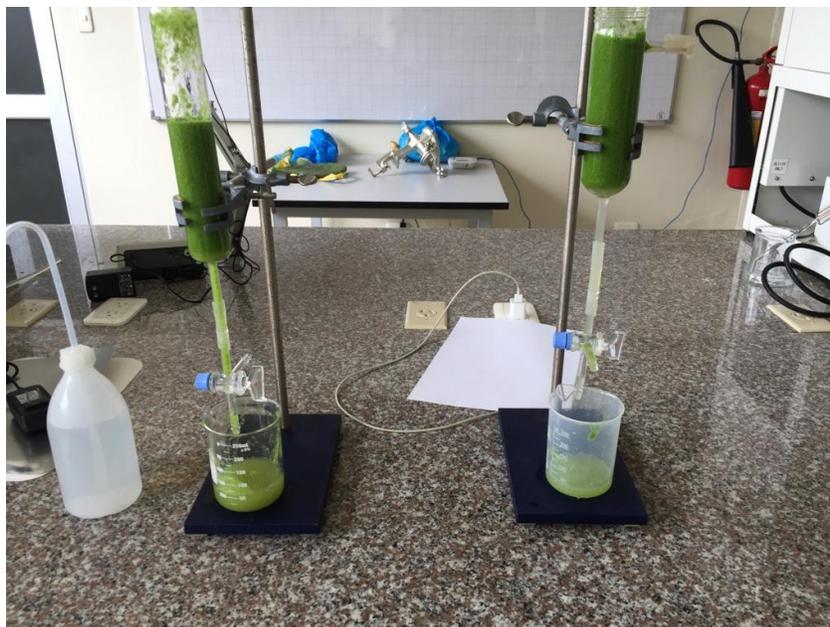
### Resultados vía Húmeda

Para el proceso de obtención del mucílago líquido se usó la metodología mencionada por Pascoe en 2016, se separó la muestra en 3 pesos similares, en el caso de las dos primeras muestras se utilizó únicamente la pulpa de la penca, es decir que los residuos sólidos de la corteza fueron eliminados mediante filtración, en la tercera muestra se mantuvo la parte sólida y parte de la corteza de la penca, esto para comparar el rendimiento con y sin la piel.

3. **Tabla 3:** Peso de muestras para la vía húmeda

N.-	Peso inicial de la muestra (g)	Peso de mucílago extraído (g)
M1	244	93
M2	244	95
M3 (con piel)	242	182
Total	730	370

Fuente: Villarreal Erick, 2022



**Figura 3:** Decantado del mucílago líquido

#### Rendimiento de la Vía húmeda

$$\%RB1 = \frac{93 \text{ g}}{244 \text{ g}} * 100 = 38,14 \%$$

$$\%RB3 = \frac{182 \text{ g}}{242 \text{ g}} * 100 = 75,21 \%$$

$$\%RB2 = \frac{95 \text{ g}}{244 \text{ g}} * 100 = 38,93 \%$$

$$\%RGS = \frac{188 \text{ g}}{488 \text{ g}} * 100 = 38,52 \%$$

#### Comparación del rendimiento de la Vía húmeda vs Vía seca

4. **Tabla 4:** Porcentaje de rendimiento de extracción de cada metodología

Vía seca	Vía húmeda (sin corteza)	Vía húmeda (con corteza)
2,53%	38,52%	75,21%

Fuente: Villarreal Erick, 2022

En base al rendimiento obtenido en los distintos medios de extracción, se seleccionó la vía húmeda con corteza para el proceso de obtención de las películas bioplásticas, evaluando concentraciones y comparando las características físico-mecánicas

### Caracterización fisicoquímica del mucílago del nopal seleccionado

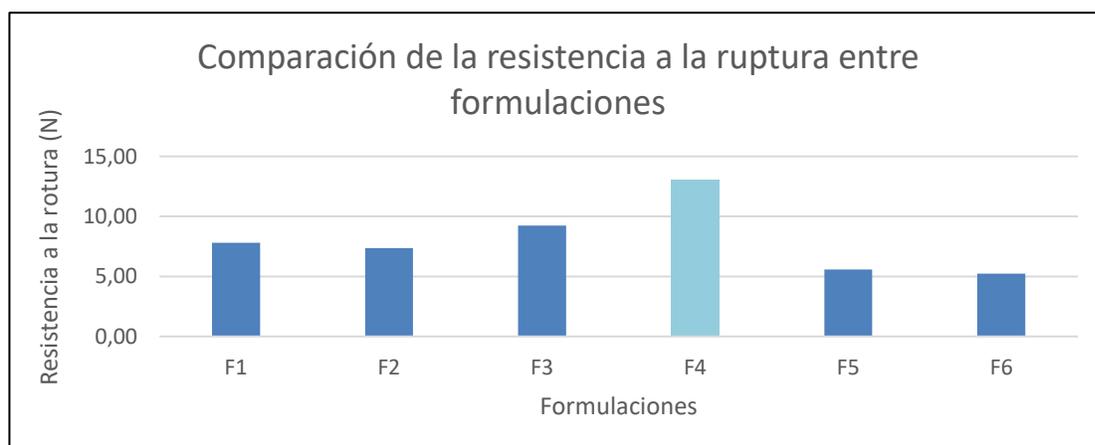
5. **Tabla 5:** Características físico-químicas del mucílago seleccionado.

Parámetro	Mucílago
Humedad	94,67%
Peso seco	5.33%
Solubilidad	54.2%
Densidad	0.9482g/ml
pH	4.40
% Ceniza	2,85%
Color	Verde oscuro
Sabor	Amargo
Textura	Viscosa
Aroma	Pastoso

Fuente: Villarreal Erick, 2022

### Resultados de las características físico-mecánicas obtenidas

- **Resistencia a la ruptura:**



1.1.1.1.1 **Gráfico 1:** Resistencia a la ruptura entre formulaciones

Realizado por: Villarreal Erick, 2022

Grouping Information Using the Tukey Method and 95% Confidence			
Formulación	N	Mean	Grouping
4	3	13,037	A
3	3	9,24	A B
1	3	7,800	B
2	3	7,36	B
5	3	5,590	B
6	3	5,243	B

Means that do not share a letter are significantly different.

6. **Figura 4:** Información del método Tukey para Resistencia a la ruptura

Realizado por: Villarreal Erick, 2022

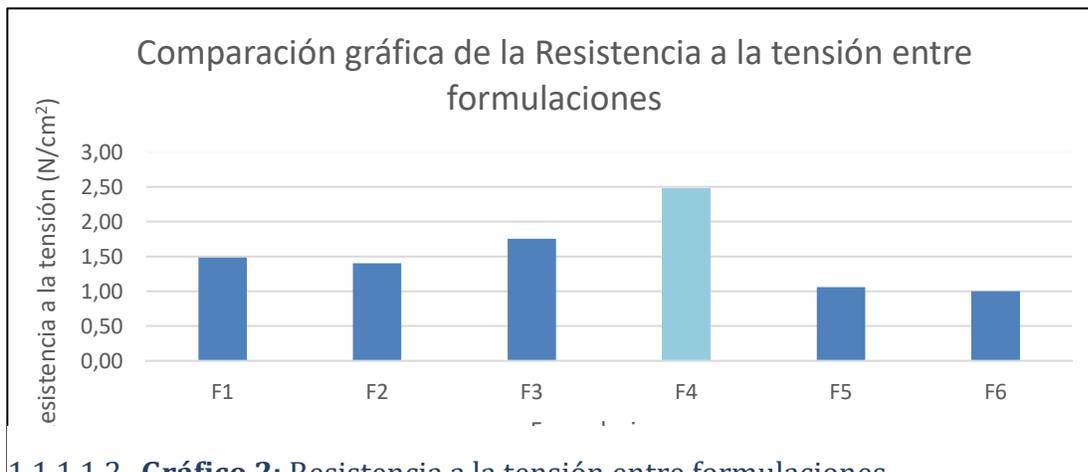
7. **Tabla 6:** ANOVA para Resistencia a la ruptura

Fuente	Suma de Cuadrados	Gl	Cuadrado Medio	Razón-F	Valor-P
Entre grupos	122,29	5	24,458	6,84	0,003
Intra grupos	42,93	12	3,578		
Total (Corr.)	165,22	17			

Fuente: Villarreal Erick, 2022

Se realizó un ANOVA para la resistencia a la ruptura que nos indica que la formulación 4 ofrece el mejor resultado entre formulaciones, siendo su media 13,037N, la tabla nos detalla una razón-F de 6,84 y un valor-P 0,003, es decir que existe una variación estadística considerable entre formulaciones a un nivel de confianza de 95%, el método Tukey detalla que la media de la formulación 4 ofrece un valor mayor y a su vez la formulación 6 nos arroja la menor Resistencia a la ruptura.

- **Resistencia a la tensión:**



1.1.1.1.2 **Gráfico 2:** Resistencia a la tensión entre formulaciones

Realizado por: Villarreal Erick, 2022

8. **Figura 5:** Información del método Tukey para Resistencia a la tensión

Grouping Information Using the Tukey Method and 95% Confidence			
Formulación	N	Mean	Grouping
4	3	2,483	A
3	3	1,757	A B
1	3	1,483	B
2	3	1,403	B
5	3	1,060	B
6	3	1,0000	B

Means that do not share a letter are significantly different.

Realizado por: Villarreal, Erick, 2022

9. **Tabla 7:** ANOVA para Resistencia a la tensión

Fuente	Suma de Cuadrados	Gl	Cuadrado Medio	Razón-F	Valor-P
Entre grupos	4,441	5	0,8881	6,89	0,003
Intra grupos	1,546	12	0,1289		
Total (Corr.)	5,987	17			

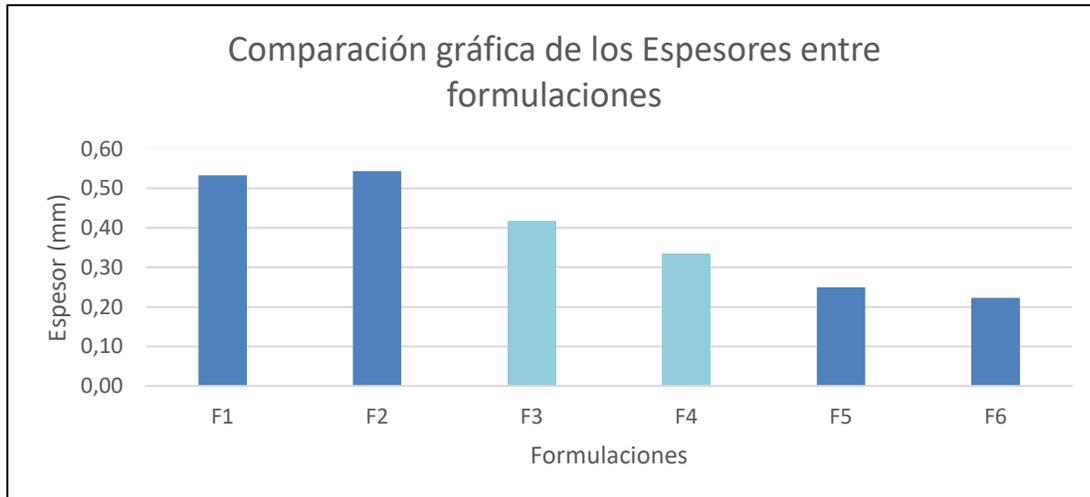
Fuente: Villarreal Erick, 2022

Se realizó un ANOVA para la resistencia a la tensión que nos indica que la formulación 4 ofrece el mejor resultado entre formulaciones, siendo su media 2,483 N/cm<sup>2</sup>, la tabla nos detalla una razón-F de 6,89 y un valor-P 0,003, es decir que existe una variación estadística considerable entre formulaciones a un nivel de confianza de 95%, el método Tukey detalla que la media de la formulación 4 ofrece un valor mayor y a su vez la formulación 6 nos arroja la menor resistencia a la tensión.



**Figura 6:** pruebas mecánicas al bioplástico

- **Espesor**



**Figura 7:**

### 1.1.1.1.3 Gráfico 3: Espesores entre formulaciones

Realizado por: Villarreal, Erick, 2022

Información del método Tukey para Espesor

Grouping Information Using the Tukey Method and 95% Confidence			
Formulación	N	Mean	Grouping
2	3	0,543	A
1	3	0,5333	A
3	3	0,417	A
4	3	0,3333	A
5	3	0,2500	A
6	3	0,22333	A

Means that do not share a letter are significantly different.

Realizado por: Villarreal, Erick, 2022

10. **Tabla 8:** ANOVA para Espesor

Fuente	Suma de Cuadrados	GI	Cuadrado Medio	Razón-F	Valor-P
Entre grupos	0,2853	5	0,05705	1,17	0,379
Intra grupos	0,5853	12	0,04878		
Total (Corr.)	0,8706	17			

Fuente: Villarreal Erick, 2022

Se realizó un ANOVA para el espesor que nos indica que la formulación 2 tiene el mayor espesor entre formulaciones, siendo su media 0,543 mm, la tabla nos detalla una razón-F de 1,17 y un valor-P 0,379, es decir que no existe una variación estadística considerable entre formulaciones a un nivel de confianza de 95%, el método Tukey detalla que la media de la formulación 2 ofrece un valor mayor y a su vez la formulación 6 nos arroja el menor valor.



**Figura 8:** Medición del espesor de las muestras

- **Humedad**

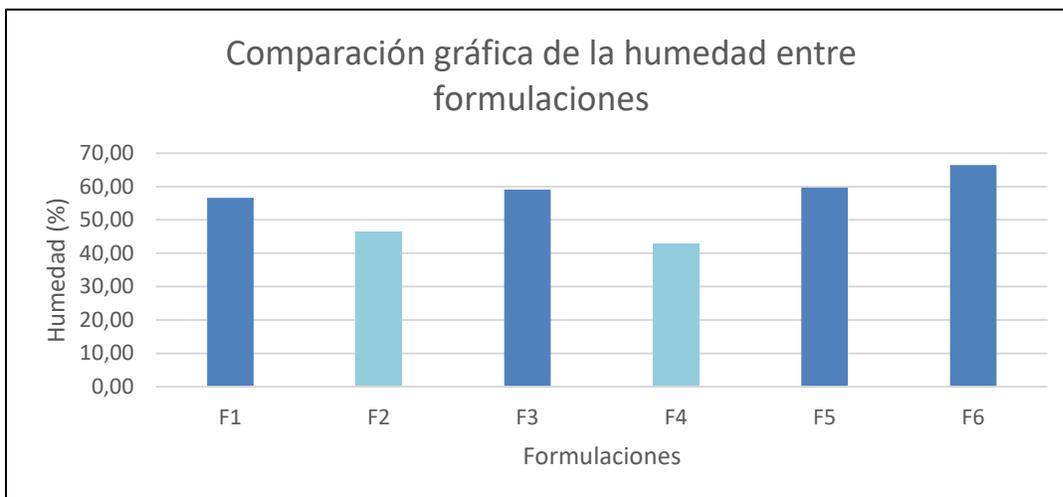


Figura 9:

#### 1.1.1.1.4 Gráfico 4: Humedad entre formulaciones

Realizado por: Villarreal, Erick, 2022

#### Información del método Tukey para Humedad

```

Grouping Information Using the Tukey Method and 95% Confidence
Formulación  N   Mean  Grouping
6             3   66,40  A
5             3   59,66  A B
3             3   59,14  A B
1             3   56,660 A B
2             3   46,47  A B
4             3   42,75  B
Means that do not share a letter are significantly different.
    
```

Realizado por: Villarreal, Erick, 2022

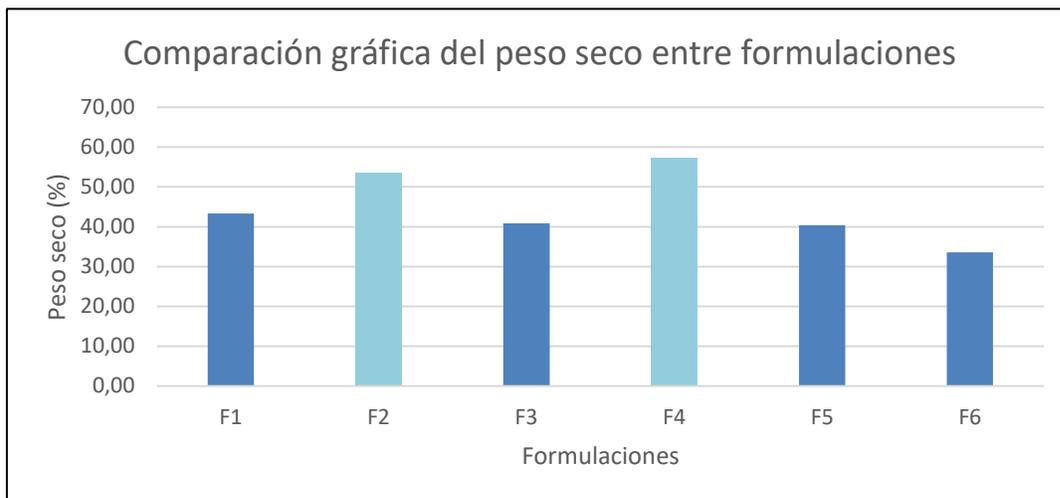
Tabla 9: ANOVA para el porcentaje de Humedad

Fuente	Suma de Cuadrados	Gl	Cuadrado Medio	Razón-F	Valor-P
Entre grupos	1182,8	5	236,56	3,87	0,026
Intra grupos	734,3	12	61,19		
Total (Corr.)	1917,1	17			

Fuente: Villarreal Erick, 2022

Se realizó un ANOVA para el porcentaje de Humedad que nos indica que la formulación 6 tiene el mayor porcentaje de humedad entre formulaciones, siendo su media 66,40%, la tabla nos detalla una razón-F de 3,87 y un valor-P 0,026, es decir que existe una variación estadística considerable entre formulaciones a un nivel de confianza de 95%, el método Tukey detalla que la media de la formulación 6 ofrece un valor mayor y a su vez la formulación 4 nos arroja el menor porcentaje.

• **Peso seco**



**Figura 10:**

1.1.1.1.5 **Gráfico 5:** Peso seco entre formulaciones

Realizado por: Villarreal, Erick, 2022

Información del método Tukey para Peso seco

Grouping Information Using the Tukey Method and 95% Confidence			
Formulación	N	Mean	Grouping
4	3	57,25	A
2	3	53,53	A B
1	3	43,340	A B
3	3	40,86	A B
5	3	40,34	A B
6	3	33,60	B

Means that do not share a letter are significantly different.

Realizado por: Villarreal, Erick, 2022

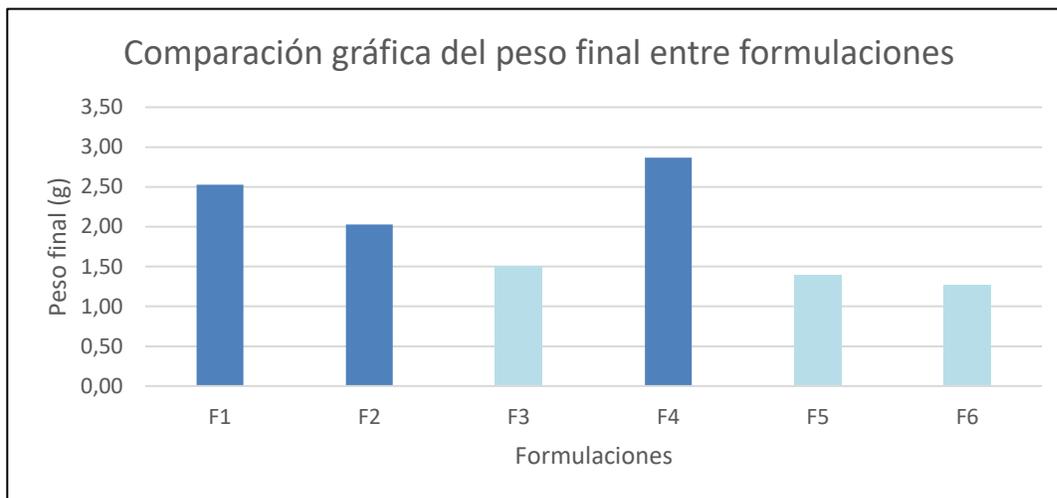
**Tabla 10:** ANOVA para el porcentaje de Peso seco

Fuente	Suma de Cuadrados	Gl	Cuadrado Medio	Razón-F	Valor-P
Entre grupos	1182,6	5	236,51	3,87	0,026
Intra grupos	734,1	12	61,18		
Total (Corr.)	1916,7	17			

R Fuente: Villarreal Erick, 2022

Se realizó un ANOVA para el porcentaje de peso seco que nos indica que la formulación 4 tiene el mayor porcentaje de peso seco entre formulaciones, siendo su media 57,25%, la tabla nos detalla una razón-F de 3,87 y un valor-P 0,026, es decir que existe una variación estadística considerable entre formulaciones a un nivel de confianza de 95%, el método Tukey detalla que la media de la formulación 4 ofrece un valor mayor y a su vez la formulación 6 nos arroja el menor porcentaje.

• **Peso final**



**Figura 11:**

1.1.1.1.6 **Gráfico 6:** Peso final entre formulaciones

Realizado por: Villarreal, Erick, 2022

Información del método Tukey para Peso final

Grouping Information Using the Tukey Method and 95% Confidence			
Formulación	N	Mean	Grouping
4	3	2,867	A
1	3	2,5267	A
2	3	2,030	A
3	3	1,503	A
5	3	1,39000	A
6	3	1,263	A

Means that do not share a letter are significantly different.

Realizado por: Villarreal, Erick, 2022

**Tabla 11:** ANOVA para el Peso final

Fuente	Suma de Cuadrados	Gl	Cuadrado Medio	Razón-F	Valor-P
Entre grupos	6,484	5	1,2969	2,47	0,093
Intra grupos	6,304	12	0,5253		
Total (Corr.)	12,788	17			

Fuente: Villarreal Erick, 2022

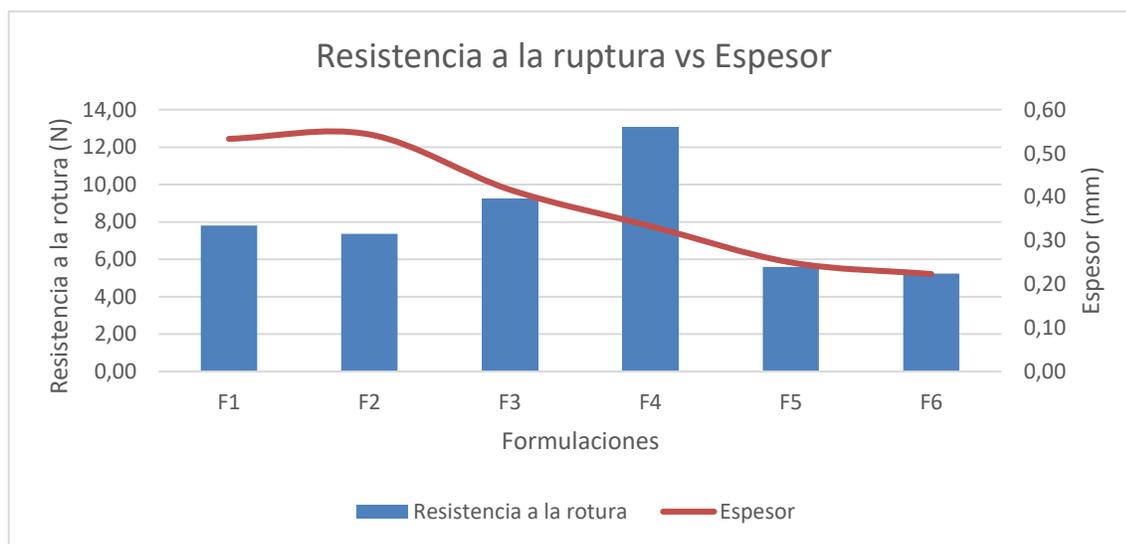
Se realizó un ANOVA para el peso final que nos indica que la formulación 4 tiene el mayor peso final entre formulaciones, siendo su media 2,867g, la tabla nos detalla una razón-F de 2,47 y un valor-P 0,097, es decir que no existe una variación estadística considerable entre formulaciones a un nivel de confianza de 95%, el método Tukey detalla que la media de la formulación 4 ofrece un valor mayor y a su vez la formulación 6

nos arroja el menor porcentaje.



Figura 12: Medición del peso final de las muestras

### Comparación entre la resistencia a la rotura y el espesor



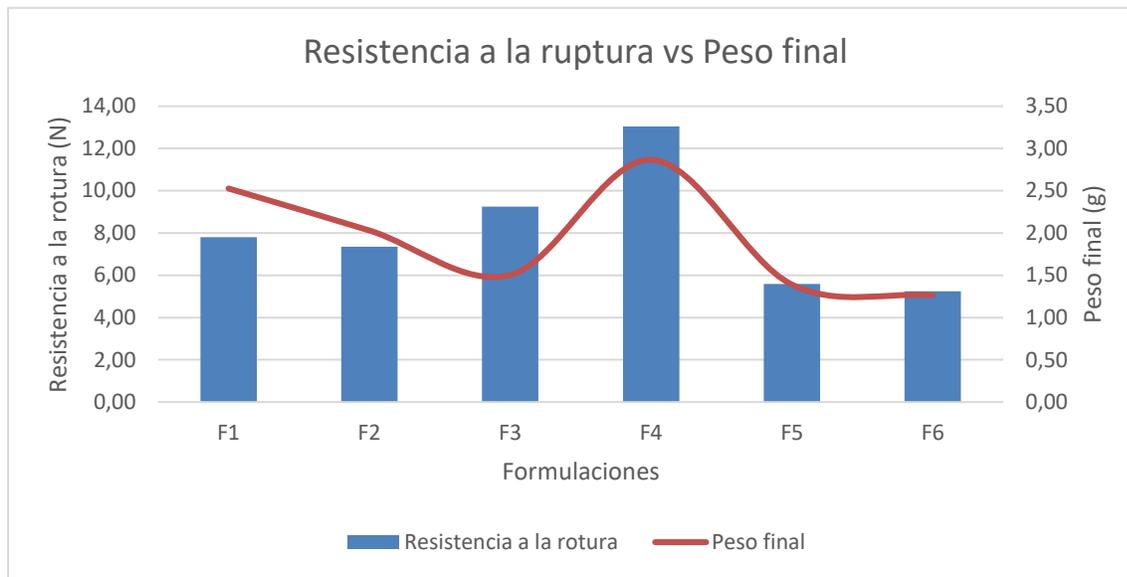
#### 1.1.1.1.7 Gráfico 7: Resistencia a la ruptura vs Espesor entre formulaciones

Realizado por: Villarreal, Erick, 2022

En la comparación de la resistencia a la ruptura con el espesor, los resultados indican que estas características no

son directamente proporcionales como lo indica el gráfico 7-4, puesto que la formulación 4 (F4) a pesar de no poseer el valor más alto de espesor (0,33 mm) presenta el valor más óptimo de resistencia a la rotura (13 N). La formulación 2 presenta la peor relación espesor/resistencia a la ruptura.

### Comparación entre la Resistencia a la ruptura vs el Peso final



#### 1.1.1.1.8 Gráfico 8: Resistencia a la ruptura vs Peso final entre formulaciones

Realizado por: Villarreal, Erick, 2022

Realizando una comparación de los resultados de la resistencia a la ruptura con el espesor de las formulaciones podemos constatar que los valores encontrados de estas características son en su mayoría directamente proporcionales, tal como lo indica el (gráfico 8-4), es así que la formulación 4 con un peso final de 2,87g ofrece la mayor resistencia a la ruptura (13 N), de igual forma sucede con la formulación 6, que posee el menor peso final así como la menor resistencia a la tensión de todas las formulaciones, en este caso la única formulación que no sigue esta tendencia es la formulación 3, misma que posee un peso final similar a la formulación 5 y 6, pero presenta una resistencia a la ruptura mayor (9,24 N).

### Valoración del proceso de degradación de las películas bioplásticas

Para la valoración de la degradación de las distintas biopelículas obtenidas se analizó la disminución del peso de las muestras expuestas a los distintos medios de degradación en función del tiempo, para esta valoración se monitoreo los valores semanalmente durante 5 semanas, Gráficas de degradación de las biopelículas en distintos medios

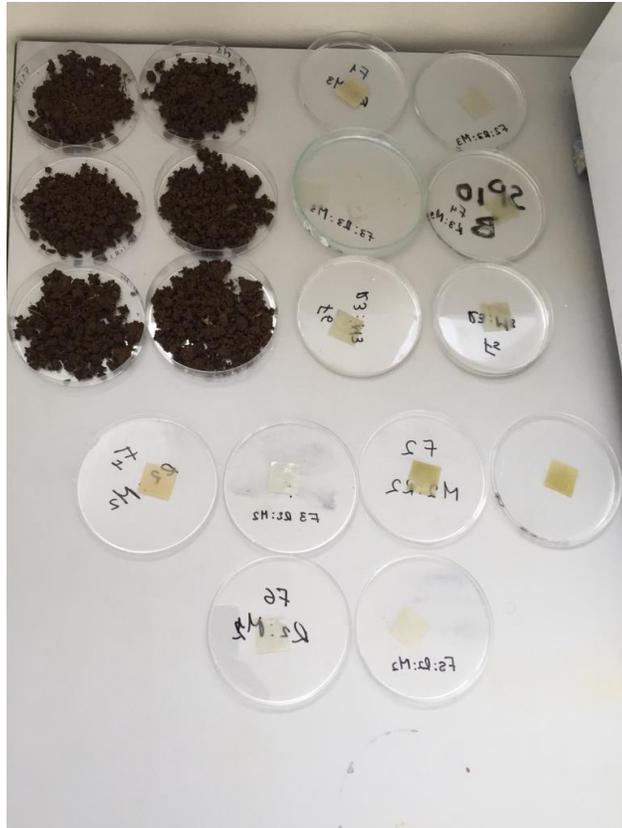
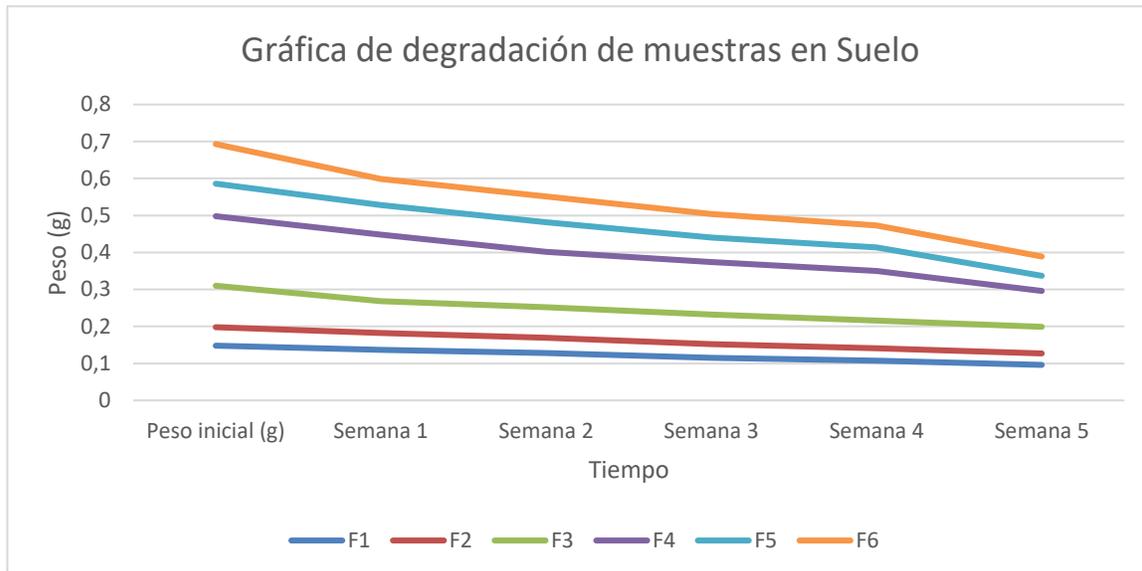


Figura 13: Muestras en distintos medios de degradación

## SUELO

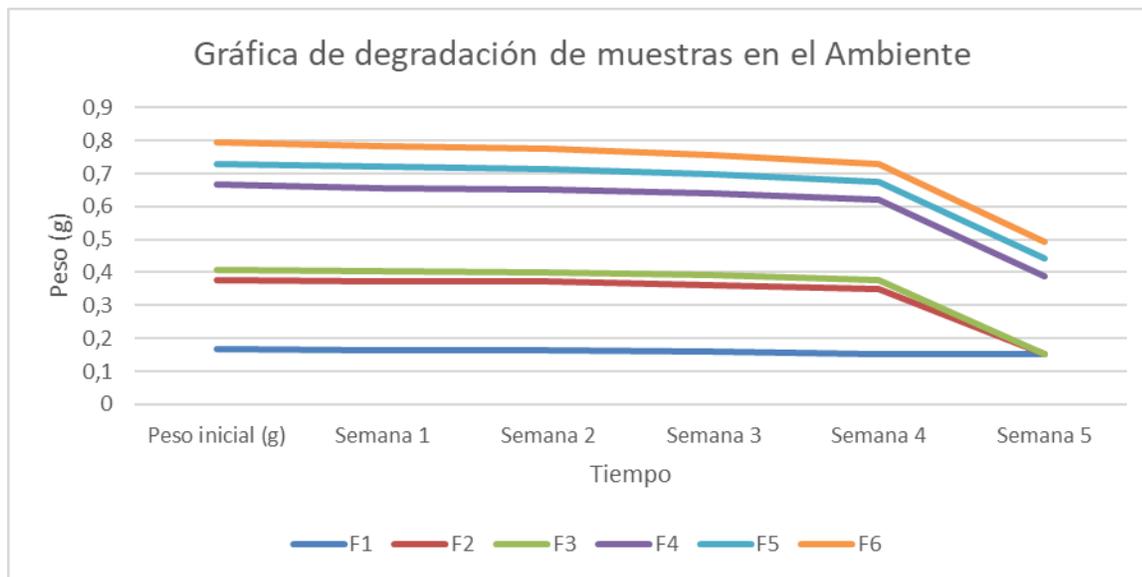


### 1.1.1.1.9 Gráfico 9: Degradación de muestras en suelo en función del tiempo

Realizado por: Villarreal, Erick, 2022

Las muestras colocadas en suelo tienen una buena velocidad de degradación, como lo indica el gráfico (9-4), esto ya que en el caso de las formulaciones 1, 2 y 3 su porcentaje de degradación alcanzó un 35, 38 y 36 % respectivamente, situación que cambia con las formulaciones 4, 5, y 6, porque estas alcanzan un 48, 53 y 51 % respectivamente de porcentaje de degradación, dicha velocidad de degradación nos permite estimar que las tres primeras formulaciones alcanzaran una descomposición total en aproximadamente 3,5 meses, por otra parte, las formulaciones 4, 5, y 6 logran una descomposición total en 2,5 meses aproximadamente.

AIRE

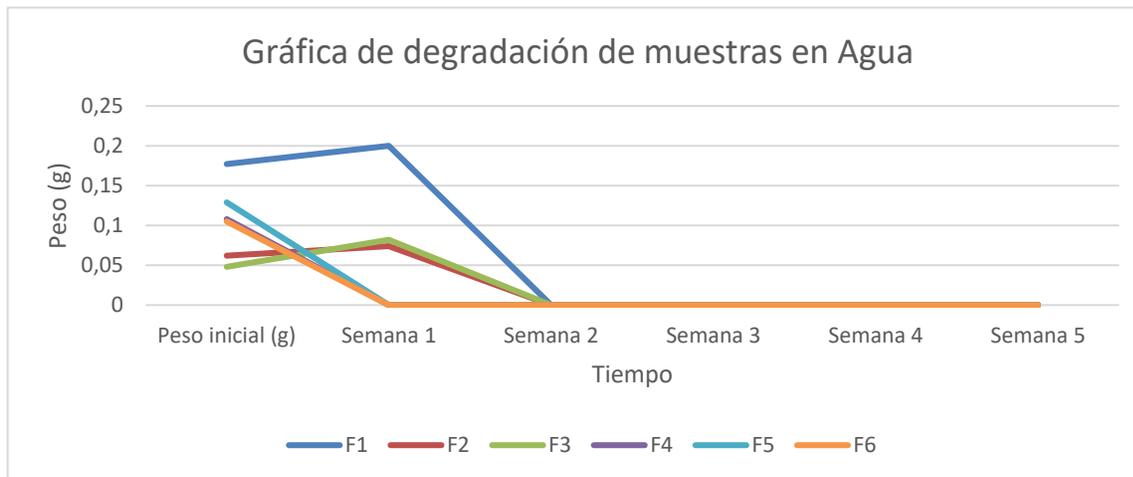


1.1.1.1.10 **Gráfico 10:** Degradación de muestras en el ambiente en función del tiempo

Realizado por: Villarreal, Erick, 2022

Para las muestras colocadas en el ambiente o aire el gráfico 10-4 permite interpretar que el aire no es el medio ideal para la degradación de dichas muestras, ya que durante las primeras 4 semanas no existe una reducción significativa del peso en comparación al inicio del proceso, siendo apenas la semana 5 la que evidencia cierto porcentaje de degradación en las muestras de las formulaciones 1, 2, 3, 4 y 5, por otra parte, la formulación 6 no presenta variación alguna en su peso por lo que se presume que esta muestra se vio afectada por la humedad presente en el ambiente, los valores encontrados no permiten estimar un tiempo para la degradación total.

## AGUA



### 1.1.1.11 Gráfico 11: Degradación de muestras en agua en función del tiempo

Realizado por: Villarreal, Erick, 2022

Las muestras colocadas en agua son las que evidencian una velocidad de degradación mayor en comparación a los otros medios, puesto que como se observa en el gráfico 11-4, las muestras de las formulaciones 4,5 y 6 lograron una descomposición total en alrededor de 1 semana. Las muestras de las formulaciones 1,2 y 3 alcanzaron un 100% de descomposición en 2 semanas, esto presumiblemente por la influencia de la concentración de cera natural utilizada.

## Conclusiones

- Se determinó las características fisicoquímicas del mucílago de nopal (*Opuntia ficus-indica*) seleccionado en función a la eficiencia de los métodos de extracción usados, en este caso la vía húmeda fue el medio que nos ofreció un mayor rendimiento alcanzando un 75%.
- Se seleccionó variables y parámetros para la obtención de las distintas películas bioplásticas a partir del mucílago del nopal (*Opuntia ficus-indica*), estableciendo así 6 formulaciones que utilizan aditivos naturales como la glicerina (3g), proteína natural (6 a 3g), cera de abeja (3,5 a 1,5g) en cantidades inferiores en comparación a la cantidad de mucílago de Nopal (18g).
- Se estableció las características físico-mecánicas de las películas bioplásticas obtenidas en las distintas formulaciones, dentro de las características físico-mecánicas más importantes se encuentran la resistencia a la ruptura, resistencia a la tensión y espesor, mismas que alcanzan los valores más eficientes en la formulación 4, con una resistencia a la ruptura de 17 N, resistencia a la tensión de 2,86 N/cm<sup>2</sup> y un espesor de 0,33 mm.

- Mediante la caracterización físico-mecánica realizada fue posible conocer que las biopelículas obtenidas tuvieron óptimos resultados, siendo la composición y el moldaje de la formulación 4 la más eficiente. Se estimó el proceso y tiempo de degradación de las biopelículas obtenidas en medios como el suelo, aire y agua, las muestras poseen una buena velocidad de degradación, puesto que la formulación 5 alcanza un 53% en las primeras 5 semanas, por otra parte, las muestras colocadas en agua son las que presentan la más alta velocidad de degradación, alcanzando una degradación del 100% en todas las formulaciones a las 2 semanas de iniciado el proceso

## Referencias

1. Abraján, p., 2007. Evaluación de tres métodos de secado para la extracción y recuperación de gel de tuna. Escuela superior politécnica del chimborazo [en línea], vol. 1, no. 235, pp. 148. Disponible en: [http://digilib.unila.ac.id/4949/15/bab ii.pdf](http://digilib.unila.ac.id/4949/15/bab%20ii.pdf).
2. Hamilton, l., feit, s., muffet, c., kelso, m., rubright, s., bernhardt, c., schaeffer, e., moon, d., morris, j. Y labbe, r., 2019. Plastic & climate: the hidden costs of a plastic planet. Ciel, earthworks, gaia, hbbf, ipen, t.e.j.a.s., upstream, & breakfreefromplastic [en línea], pp. 1-108. Disponible en: <https://www.ciel.org/wp-content/uploads/2019/05/plastic-and-climate-final-2019.pdf>.
3. López, j., pumaquero, j. Y lópez, j., 2020. Análisis de la contaminación ambiental por plásticos. Polo del conocimiento, vol. 5, no. 12, pp. 725-742. Doi 10.23857/pc.v5i12.2139.
4. Majdoub, h., roudesli, s. Y deratani, a., 2001. Polysaccharides from prickly pear peel and nopals of *opuntia ficus-indica*: extraction, characterization and polyelectrolyte behaviour. Polymer international, vol. 50, no. 5, pp. 552-560. Issn 10970126. Doi 10.1002/pi.665.
5. Pascoe, s., 2019. Formulación de una película plástica natural utilizando nopal verdura spp. Universidad del valle de atemajac, no. February.
6. Rivera-garibay, álvarez-filip, rivas, m., garelli, o., perez, e. Y estradar, n., 2020. Impacto de la contaminación por plásticos en áreas naturales protegidas mexicanas. Green-peace, vol. 53, no. 9, pp. 1689-1699. Issn 1098-6596.

7. Sepúlveda, e., Sáenz, c., Aliaga, e. Y Aceituno, c., 2007. Extraction and characterization of mucilage in *Opuntia* spp. *Journal of arid environments*, vol. 68, no. 4, pp. 534-545. Issn 01401963. Doi 10.1016/j.jaridenv.2006.08.001.
8. Smith, m., Love, d., Rochman, c. Y Neff, r., 2018. Microplastics in seafood and the implications for human health. *Current environmental health reports*, vol. 5, no. 3, pp. 375-386. Issn 21965412. Doi 10.1007/s40572-018-0206-z.
9. Vázquez, a., Beltrán, m., Espinosa, r.m. y Velasco, m., 2016. El origen de los plásticos y su impacto en el ambiente. *Researchgate* [en línea], vol. 303045381, no. 1, pp. 1-9. Doi 10.13140/rg.2.1.3260.5047. Disponible en: [https://www.researchgate.net/publication/303045381\\_el\\_origen\\_de\\_los\\_plasticos\\_y\\_su\\_impacto\\_en\\_el\\_ambiente](https://www.researchgate.net/publication/303045381_el_origen_de_los_plasticos_y_su_impacto_en_el_ambiente).

© 2023 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/>).