



**ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DE CHIMBORAZO**

**FACULTAD DE CIENCIAS  
CARRERA INGENIERÍA QUÍMICA**

**OBTENCIÓN DE PLÁSTICO BIODEGRADABLE A PARTIR DE  
LOS CLADODIOS DE NOPAL (*Opuntia tomentosa*) COMO  
ALTERNATIVA AL USO DE BOLSAS PLÁSTICAS  
CONVENCIONALES**

**Trabajo de Integración Curricular**

Tipo: Proyecto de Investigación

Presentado para optar el grado académico de:

**INGENIERO QUÍMICO**

**AUTOR:** ANDRÉS SEBASTIÁN QUISPE SOLÍS

**DIRECTOR:** Ing. MARCO RAÚL CHUIZA ROJAS MSc.

Riobamba – Ecuador

2022

© 2022, **Andrés Sebastián Quispe Solís.**

Se autoriza la reproducción total o parcial, con fines académicos, por cualquier medio o procedimiento, incluyendo cita bibliográfica del documento, siempre y cuando se reconozca el Derecho del Autor.

Yo, Andrés Sebastián Quispe Solís, declaro que el presente trabajo de titulación es de mi autoría y los resultados del mismo son auténticos. Los textos en el documento que provienen de otras fuentes están debidamente citados y referenciados.

Como autor asumo la responsabilidad legal y académica de los contenidos de este trabajo de titulación; el patrimonio intelectual pertenece a la Escuela Superior Politécnica de Chimborazo.

Riobamba, 26 de enero de 2022

ANDRES  
SEBASTIAN  
QUISPE  
SOLIS



Firmado  
digitalmente por  
ANDRES SEBASTIAN  
QUISPE SOLIS  
Fecha: 2022.01.26  
10:38:37 -05'00'

**ANDRÉS SEBASTIÁN QUISPE SOLÍS**  
**180510149-8**

**ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DE CHIMBORAZO**  
**FACULTAD DE CIENCIAS**  
**CARRERA INGENIERÍA QUÍMICA**

El Tribunal del Trabajo de Integración Curricular certifica que: El Trabajo de Integración Curricular; Tipo: Proyecto de Investigación. **OBTENCIÓN DE PLÁSTICO BIODEGRADABLE A PARTIR DE LOS CLADODIOS DE NOPAL (*Opuntia tomentosa*) COMO ALTERNATIVA AL USO DE BOLSAS PLÁSTICAS CONVENCIONALES**, realizado por el señor: **ANDRÉS SEBASTIÁN QUISPE SOLÍS**, ha sido minuciosamente revisado por los Miembros del Tribunal del Trabajo de Integración Curricular, el mismo que cumple con los requisitos científicos, técnicos, legales, en tal virtud el Tribunal Autoriza su presentación.

	<b>FIRMA</b>	<b>FECHA</b>
Ing. Marlon Ernesto Moscoso Martínez <b>PRESIDENTE DEL TRIBUNAL</b>	 Firmado electrónicamente por: <b>MARLON ERNESTO MOSCO SO MARTINEZ</b>	2022-01-26
Ing. Marco Raúl Chuiza Rojas. <b>DIRECTOR DE TRABAJO DE INTEGRACIÓN CURRICULAR</b>	 Firmado electrónicamente por: <b>MARCO RAUL CHUIZA</b>	2022-01-26
Ing. Mabel Mariela Parada Rivera. <b>MIEMBRO DEL TRIBUNAL</b>	 Firmado electrónicamente por: <b>MABEL MARIELA PARADA RIVERA</b>	2022-01-26

## **DEDICATORIA**

Dedico este trabajo principalmente a Dios, por haberme dado la vida y sobre todo permitirme llegar a este momento muy importante en mi formación como profesional. Gracias a mis padres por ser los principales promotores de mis sueños, gracias a ellos por cada día confiar y creer en mí con mucho amor y cariño les dedico todo mi esfuerzo como reconocimiento a todo el sacrificio puesto para que yo pueda estudiar. A mi hermano Darío que siempre ha estado junto a mí, brindándome su apoyo en momentos difíciles. A mis amigas Michele, Anabeth y Kerly por su amistad incondicional.

*Andrés*

## AGRADECIMIENTO

Agradezco a mi Dios todopoderoso por darme salud y vida, por estar conmigo en cada momento, por fortalecer mi corazón e iluminar mi mente y por haber puesto en mi camino a aquellas personas que han sido soporte y compañía durante todo este periodo de estudio.

A mis padres quienes con tanto sacrificio y esfuerzo han guiado mi vida para poder alcanzar todas mis metas, solamente me queda darle las gracias por confiar y creer en todas mis expectativas, por los consejos, valores y principios que me han inculcado, son mi motor y mi mayor inspiración.

A mis amigos. Con todos los que compartí dentro y fuera de las aulas, gracias por todo su apoyo y diversión los llevaré dentro de mi corazón.

A mi distinguida Escuela Superior Politécnica de Chimborazo en especial a todos los profesores y autoridades que conforman la carrera de Ingeniería Química, por haberme brindado la posibilidad de superarme como profesional y alcanzar mis metas propuestas.

A mi tutor Ing. Marco Chuiza y miembro Ing. Mabel Parada por su esfuerzo, dedicación, colaboración y sabiduría para ser un profesional de éxito y por haber compartido sus conocimientos y experiencias a lo largo de este trabajo de investigación.

*Andrés*

## TABLA DE CONTENIDOS

ÍNDICE DE TABLAS .....	ix
ÍNDICE DE FIGURAS .....	x
ÍNDICE DE GRÁFICOS .....	xi
ÍNDICE DE ANEXOS .....	xii
ÍNDICE DE ABREVIATURAS .....	xiii
RESUMEN .....	xiv
SUMMARY .....	xv
INTRODUCCIÓN .....	1

### CAPÍTULO I

1. MARCO TEÓRICO REFERENCIAL .....	2
1.1. Identificación del problema .....	2
1.2. Justificación de la investigación .....	3
1.3. Objetivos .....	4
1.3.1. <i>General</i> .....	4
1.3.2. <i>Específicos</i> .....	4

### CAPÍTULO II

2. MARCO METODOLÓGICO .....	5
2.1. Antecedentes de la investigación .....	5
2.1.1. <i>Antecedentes</i> .....	5
2.2. Marco conceptual o glosario .....	6
2.2.1. <i>Nopal (Opuntia tomentosa)</i> .....	6
2.2.1.1. <i>Taxonomía</i> .....	6
2.2.1.2. <i>Cladodios de nopal</i> .....	7
2.2.2. <i>Plástico</i> .....	8
2.2.2.1. <i>Plásticos biodegradables</i> .....	8
2.2.2.2. <i>Bioplásticos a partir de recursos renovables</i> .....	8
2.3. Planteamiento de la hipótesis .....	10
2.3.1. <i>General</i> .....	10
2.3.2. <i>Específicas</i> .....	10
2.4. Identificación de variables .....	11
2.4.1. <i>Obtención del mucílago de nopal</i> .....	11

2.4.1.1.	<i>Variable independiente</i>	11
2.4.1.2.	<i>Variable dependiente</i>	11
2.4.2.	<b>Formulación de plástico biodegradable</b>	11
2.4.2.1.	<i>Variable independiente</i>	11
2.4.2.2.	<i>Variable dependiente</i>	11
2.5.	<b>Operacionalización de variables</b>	12
2.6.	<b>Matriz de consistencia</b>	13
2.7.	<b>Tipo y diseño de investigación</b>	14
2.8.	<b>Unidad de análisis</b>	15
2.9.	<b>Población de estudio</b>	15
2.10.	<b>Tamaño de la muestra</b>	15
2.11.	<b>Selección de muestra</b>	16
2.11.1.1.	<i>Análisis para realizar la caracterización de los almidones extraídos</i>	18
2.12.	<b>Técnica de obtención de bioplástico</b>	20

### CAPÍTULO III

3,	<b>MARCO DE RESULTADOS Y DISCUSIÓN</b>	23
3.1.	<b>Datos obtenidos en los ensayos realizados</b>	23
3.1.1.	<i>Ensayos preliminares para la extracción de mucílago</i>	24
3.2.	<b>Cálculos</b>	29
3.2.1.	<i>Porcentaje de rendimiento de extracción de mucílago</i>	29
3.2.2.	<i>Porcentaje de humedad del plástico biodegradable</i>	29
3.2.3.	<i>Porcentaje de solubilidad de las películas bioplásticas</i>	30
3.2.4.	<i>Porcentaje de permeabilidad</i>	30
3.2.5.	<i>Porcentaje de biodegradabilidad</i>	31
3.3.	<b>Resultados</b>	33
3.3.1.2.	<i>Ensayos fisicoquímicos para el mucílago extraído</i>	35
3.3.2.1.	<i>Resultados de humedad</i>	36
3.3.2.2.	<i>Resultados de solubilidad</i>	37
3.3.2.3.	<i>Resultados de permeabilidad</i>	38
3.3.2.4.	<i>Resultados de Tracción</i>	40
3.3.2.5.	<i>Resultados de biodegradabilidad</i>	42
3.3.	<b>Prueba de hipótesis</b>	44
3.4.1.	<i>Hipótesis 1</i>	44
3.4.2.	<i>Hipótesis 2</i>	45
3.4.3.	<i>Hipótesis 3</i>	45



<b>3.4.4. Hipótesis 4</b> .....	46
<b>CONCLUSIONES</b> .....	45
<b>RECOMENDACIONES</b> .....	48
<b>BIBLIOGRAFÍA</b>	
<b>ANEXOS</b>	

## ÍNDICE DE TABLAS

<b>Tabla 1-2:</b> Antecedentes de la investigación .....	5
<b>Tabla 2-2:</b> Clasificación taxonómica del nopal ( <i>Opuntia tomentosa</i> ).....	6
<b>Tabla 3-2:</b> Operacionalización de Variables.....	12
<b>Tabla 4-2:</b> Matriz de consistencia .....	13
<b>Tabla 5-2:</b> Muestreo para la obtención de plástico biodegradable .....	14
<b>Tabla 6-2:</b> Técnica para la extracción de mucílago de nopal.....	16
<b>Tabla 7-2:</b> Pruebas para la caracterización de los mucílago extraídos.....	18
<b>Tabla 8-2:</b> Técnica de obtención de plásticos biodegradables .....	20
<b>Tabla 9-2:</b> Ensayos para caracterizar el bioplástico obtenido .....	22
<b>Tabla 1-3:</b> Datos obtenidos de las pencas de nopal ( <i>Opuntia tomentosa</i> ) .....	23
<b>Tabla 2-3:</b> Análisis sensorial de la penca de nopal ( <i>Opuntia tomentosa</i> ) .....	24
<b>Tabla 3-3:</b> Tratamientos para la extracción de mucílago de nopal .....	24
<b>Tabla 4-3:</b> Nomenclatura y formulaciones obtenidas .....	25
<b>Tabla 5-3:</b> Datos de espesores en cada repetición .....	25
<b>Tabla 6-3:</b> Datos necesarios para para determinar humedad .....	26
<b>Tabla 7-3:</b> Datos necesarios para determinar la solubilidad .....	26
<b>Tabla 8-3:</b> Datos necesarios para determinar la permeabilidad .....	27
<b>Tabla 9-3:</b> Datos necesarios para determinar el % elongación y la tensión .....	27
<b>Tabla 10-3:</b> Datos para determinar la biodegradabilidad en suelo, agua y ambiente .....	28
<b>Tabla 11-3:</b> Resultados del rendimiento de extracción .....	33
<b>Tabla 12-3:</b> Resumen estadístico para el rendimiento de extracción .....	34
<b>Tabla 13-3:</b> ANOVA para el rendimiento de extracción por tratamiento .....	34
<b>Tabla 14-3:</b> Análisis físico-químico y microbiológico del mucílago extraído .....	35
<b>Tabla 15-3:</b> Resultados de humedad para cada repetición .....	36
<b>Tabla 16-3:</b> Resultados de solubilidad para cada repetición.....	37
<b>Tabla 17-3:</b> Resultados de permeabilidad para cada repetición.....	38
<b>Tabla 18-3:</b> Resultados de tracción para cada repetición.....	40
<b>Tabla 19-3:</b> Resumen estadístico para % Elongación.....	40
<b>Tabla 20-3:</b> ANOVA para % Elongación por tratamientos .....	41
<b>Tabla 21-3:</b> Resultados de biodegradabilidad de cada repetición (agua, suelo y ambiente) .....	42

## ÍNDICE DE FIGURAS

<b>Figura 1-2:</b> Nopal Chamacuelo ( <i>Opuntia tomentosa</i> ) .....	7
<b>Figura 2-2:</b> Puntos del diseño.....	15
<b>Figura 1-3:</b> Pencas de nopal ( <i>Opuntia tomentosa</i> ).....	23
<b>Figura 2-3:</b> Dispersión por código de nivel para el rendimiento de extracción .....	34
<b>Figura 3-3:</b> Dispersión por código de nivel para el % Elongación .....	40

## ÍNDICE DE GRÁFICOS

<b>Gráfico 1-2:</b> Variables para el diseño factorial de la obtención del plástico biodegradable.....	14
<b>Gráfico 2-2:</b> Diagrama de bloques de extracción de mucílago .....	17
<b>Gráfico 3-2:</b> Diagrama de bloque del proceso de elaboración de plástico biodegradable .....	21
<b>Gráfico 1-3:</b> Humedad por tratamientos.....	36
<b>Gráfico 2-3:</b> Solubilidad por tratamientos .....	38
<b>Gráfico 3-3:</b> Permeabilidad por tratamientos .....	39
<b>Gráfico 4-3:</b> Propiedades mecánicas por tratamientos.....	41
<b>Gráfico 5-3:</b> Biodegradabilidad en suelo durante 27 días.....	43
<b>Gráfico 6-3:</b> Biodegradabilidad en agua durante 27 días.....	43
<b>Gráfico 7-3:</b> Biodegradabilidad en el ambiente durante 27 días.....	44

## **ÍNDICE DE ANEXOS**

**ANEXO A:** SELECCIÓN DE MATERIA PRIMA

**ANEXO B:** OPERACIONES UNITARIAS PARA LA EXTRACCIÓN DE MUCÍLAGO

**ANEXO C:** OBTENCIÓN DEL MUCÍLAGO

**ANEXO D:** FORMULACIÓN DEL PLÁSTICO BIODEGRADABLE

**ANEXO E:** OBTENCIÓN DEL PLÁSTICO BIODEGRADABLE

**ANEXO F:** PLÁSTICO BIODEGRADABLE

**ANEXO G:** PRUEBAS MECÁNICAS

**ANEXO H:** PRUEBA DE PERMEABILIDAD

**ANEXO I:** PRUEBA DE BIODEGRADABILIDAD

**ANEXO J:** RESULTADOS DE BIODEGRADABILIDAD

**ANEXO K:** RESULTADOS PRUEBA DE TRACCIÓN

## **ÍNDICE DE ABREVIATURAS**

**AOAC:** Association of Official Analytical Chemists

**ANOVA:** Análisis de la varianza con un factor

**ASTM:** American Society for Testing and Materials

**CA:** Acetato de celulosa

**CAB:** Acetato butirato de celulosa

**CAP:** Propionato de acetato de celulosa

**CM:** Concentración de mucílago

**CP:** Concentración de proteína

**FAO:** Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura

**MP:** Materia prima

**NTE:** Normas técnicas ecuatorianas

**PLA:** Poli ácido láctico

**PBT:** Polítri- metilentereftalato

**PTT:** Tereftalato de polítrimetileno

**RA:** Reactivo analítico

**RPM:** Revoluciones por minuto

## RESUMEN

El objetivo principal de la presente investigación es obtener plástico biodegradable a partir de los cladodios de nopal (*Opuntia tomentosa*) como alternativa al uso de bolsas plásticas convencionales, para lo cual se extrajo el mucílago contenido en los cladodios, mediante: selección, despinado, lavado y desinfección, troceado, exprimido y macerado. Por medio de una caracterización del mucílago se determinó un pH de 6,36%, humedad 9,05%, ceniza 26,72%, punto de gelatinización 82 °C y proteína 0,428%; entre los parámetros más importantes. Se efectuó un análisis de variables destacando el T6 con mayor rendimiento (48,18%) bajo condiciones de exprimido a 2 rpm durante por 90 seg. La mejor formulación para obtener plástico biodegradable fue el tratamiento TP4 con 8g de mucílago, 3g de proteína, 1g de plastificante y 0,5g de cera natural, mediante agitación y mezclado a temperatura controlada, dicho tratamiento presentó baja permeabilidad de  $0,000052 \frac{mmg}{m^2h}$  solubilidad de 14,85% y humedad de 26,73%; mantuvo una velocidad de degradación lenta. Las propiedades mecánicas presentaron una resistencia a la tensión del 226,22 MPa y una elongación del 238,35%. Se concluye que el plástico biodegradable obtenido puede ser reemplazado como bolsas plásticas de uso sanitario ya que sus valores se encuentran dentro de los límites establecidos por la NTE INEN 2290. Se recomienda el estudio usando diferentes plastificantes para mejorar las propiedades mecánicas y extender la aplicabilidad del plástico biodegradable.

**Palabras clave:** <TECNOLOGÍA Y CIENCIAS DE LA INGENIERÍA>, <BIOPLÁSTICO>, <MUCÍLAGO>, <NOPAL (*Opuntia tomentosa*)>, <POLISACÁRIDO>, <PROPIEDADES FÍSICO MECÁNICAS>.

LEONARDO FABIO MEDINA NUSTE

Firmado digitalmente por LEONARDO FABIO MEDINA NUSTE  
Nombre de reconocimiento (DN): c=EC, o=BANCO CENTRAL DEL ECUADOR, ou=ENTIDAD DE CERTIFICACION DE INFORMACION-ECIBCE, l=QUITO, serialNumber=0000621485, cn=LEONARDO FABIO MEDINA NUSTE  
Fecha: 2021.08.23 10:42:09 -05'00'



1614-DBRA-UTP-2021

## SUMMARY

The main objective of this research is to obtain biodegradable plastic from Nopal cladodes (*Opuntia tomentosa*) as an alternative to the use of conventional plastic bags, for which the mucilage contained in the cladodes was extracted, by: selection, stripping, washing and disinfection, chopping, squeezing and maceration. Through a characterization of the mucilage, a pH of 6.36%, humidity 9.05%, ash 26.72%, gelatinization point 82 degrees Celsius and protein 0.428%; among the most important parameters were determined. An analysis of variables was carried out highlighting the T6 with the highest performance (48.18%) under squeezing conditions at 2 rpm for 90 sec. The best formulation for obtaining biodegradable plastic was the TP4 treatment with 8g mucilage, 3g protein, 1g plasticizer and 0.5g natural wax, by shaking and mixing at controlled temperature; the above mentioned treatment presented a low permeability of 0.000052mmg / m2h, 14.85% solubility and 26.73% humidity; it maintained a slow degradation rate. Mechanical properties presented a tensile strength of 226.22 MPa and an elongation of 238.35%. It is concluded that the biodegradable plastic obtained can be replaced as plastic bags of sanitary use since its values are within the limits established by the NTE INEN 2290. The study using different plasticizers is recommended to improve the mechanical properties and extend the applicability of biodegradable plastic.

**Keywords:** <TECHNOLOGY AND ENGINEERING SCIENCES>, <BIOPLASTIC>, <MUCILAGE NOPAL (*Opuntia tomentosa*)>, <POLYSACCHARIDE>, <PHYSICAL AND MECHANICAL PROPERTIES>.



## INTRODUCCIÓN

El descubrimiento del plástico ha generado simplicidad en las acciones cotidianas provocando que su producción incremente por toneladas en materiales útiles para la vida. El plástico presenta en su estructura polímeros a base de carbono, usando comúnmente el petróleo como materia prima. A pesar de su aporte, la durabilidad de este componente hace que no se degrade con facilidad, incluso no se degrada en absoluto. La contaminación que provoca los plásticos desechados genera que nuestro entorno sea un lugar menos atractivo, ya que deshacerse de los plásticos es un proceso extremadamente difícil. La incineración de estos materiales libera dioxinas, que es una de las principales causas del calentamiento global. El proceso de reciclaje de plásticos también se torna difícil debido a la variedad de plásticos, ya que estos deben someterse a diferentes procesos de reciclaje, del total de plásticos desechados en el mundo apenas se recicla el 9% (Thiruchelvi et al., 2020, p.2).

Cada día, son mayores los avances tecnológicos amigables con el ecosistema con el fin de preservar la salud ambiental, el uso de fuentes biológicas renovables como plantas, fuentes de bacterias y algas han ocasionado la creación de bioplástico con la principal característica de degradación por los microorganismos presentes en el suelo, como hongos y bacterias, sin liberar ningún contaminante.

Los bioplásticos fueron utilizados por primera vez a principios del siglo XIX sólo para envolver caramelos, por lo que su uso no es nuevo. Entre las ventajas de los plásticos biodegradables que se pueden mencionar se encuentran que son productos químicos no tóxicos, mayor facilidad de reciclar, reduce los combustibles fósiles, además de requerir menor cantidad de energía para producir, convirtiéndolos en renovables y ecológicos (Thiruchelvi et al., 2020, p.2).

La intervención de esta investigación tiene como fin aportar a la reducción del impacto negativo que deja el consumo de plástico convencional mediante el uso de cladodios de nopal (*Opuntia tomentosa*) como alternativa al uso de bolsas plásticas comunes.

## CAPÍTULO I

### 1. MARCO TEÓRICO REFERENCIAL

#### 1.1. Identificación del problema

En la actualidad, se ha utilizado una gran cantidad de plásticos derivados del petróleo en diferentes productos y diversas formas, desde cosas básicas como envases hasta complejas como autopartes, provocando un tremendo desarrollo de la industria petroquímica, lamentablemente, el continuo uso de estos plásticos ha deteriorado el ambiente, al ser un componente desechable genera dificultad en su reutilización y restricción, convirtiéndose en uno de los mayores contaminantes ambientales. El plástico presenta un tiempo de degradación superior a 300 años y a pesar de las campañas para tomar conciencia sobre esta problemática no se evidencia resultados satisfactorios. Es por ello el intento por desarrollar plásticos menos contaminantes en las últimas décadas, plásticos que se puedan degradar fácilmente y recombinarse con la naturaleza, de esta manera se utilizan materiales de origen natural que pueden ser reincorporados a la tierra en un menor tiempo (Pascoe et al., 2013, p.6).

Sin embargo, los avances realizados hasta el momento solo permiten encontrar productos de materiales mixtos, es decir, materiales compuestos que combinan parte de las tradicionales cadenas de polímeros y materiales naturales que mejoran su biodegradabilidad, aún no se han descubierto plásticos 100% naturales (Pascoe et al., 2013, p.7).

La producción total de todos los plásticos en el mundo alcanza los 3 mil millones de toneladas, de las cuales 6.3 millones de toneladas son residuos, el 79% de los cuales se encuentran en vertederos o dispersos en la naturaleza (Cáceres, 2017, párr.3).

Solo Riobamba genera aproximadamente 200 toneladas diarias de basura de las cuales alrededor del 65% de los desechos, es materia orgánica y el 35% es materia inorgánica. Del 35%, aproximadamente un 11% es material plástico y el 8% papel y cartón. Es decir, se producen 7.7 toneladas de desechos plásticos al día (Villaruel, 2020, párr.5).

## **1.2. Justificación de la investigación**

La contaminación causada por materiales plásticos derivados del petróleo en los últimos años se ha incrementado en gran medida, es por ello, que debemos encontrar soluciones para reducir este problema que no solo afecta a nuestro país sino también al mundo.

Debido a que el nopal arroja una sustancia conocida como mucílago y que su estructura química está conformada por amilosa, amilopectina y de otros “polisacáridos como: 8 - 12,7 % de ácido galacturónico, 24.6 - 44% de arabinosa, 22 - 22.2% de xilosa, 21 - 40.1% de galactosa y 7 - 13.1% de ramnosa” (León et al., 2010, p.12), ha permitido que esta cactácea sea considerada en la producción de plásticos biodegradables (Sáenz, et al., 2001, p.25).

Ecuador es un país diverso en climas debido a su ubicación geográfica, teniendo efecto en una gran cantidad de tierras productivas resultando de ello una variedad infinita de productos. Sin embargo en la región interandina existen climas templados que difícilmente son aprovechados, es por esta razón el interés de estudio ya que el nopal crece en condiciones adversas y sus temperaturas óptimas para un buen desarrollo fisiológico y productivo, se encuentran en zonas con rangos de 15 a 20 grados centígrados, aunque también se cultiva en zonas a temperaturas menores y mayores a los señalados presentando rendimientos menores (Centro agrícola de Quito, 1992; citado en Chicaiza, 2016).

Es conveniente utilizar nopal como materia prima ya que por falta de conocimiento no son aprovechados adecuadamente, con este proyecto se beneficiará a pequeños agricultores, incrementando la producción agrícola y conseguir la apertura de más plazas de trabajo.

Debido al problema expuesto anteriormente se plantea la utilización de cactáceas como base orgánica para la elaboración de bolsas plásticas biodegradables que ayudará a reducir la contaminación ambiental como alternativa a las convencionales, ya que al provenir de una fuente orgánica es más amigable con el ambiente y su tiempo de degradación será considerablemente menor a la de una bolsa plástica proveniente del petróleo.

### **1.3. Objetivos**

#### ***1.3.1. General***

Obtener plástico biodegradable a partir de los cladodios de nopal (*Opuntia tomentosa*) como alternativa al uso de bolsas plásticas convencionales.

#### ***1.3.2. Específicos***

- Obtener mucílago de los cladodios de nopal (*Opuntia tomentosa*), mediante operaciones unitarias para su posterior uso en la elaboración de plástico biodegradable.
- Realizar la caracterización fisicoquímica de la materia prima utilizada en la obtención del bioplástico.
- Validar el plástico biodegradable obtenido mediante su caracterización en base a las normas INEN 2635, ASTM D1653-93 y NTE INEN 2642:2012.

## CAPÍTULO II

### 2. MARCO METODOLÓGICO

#### 2.1. Antecedentes de la investigación

##### 2.1.1. Antecedentes

Es de preocupación mundial, el continuo desarrollo de la contaminación plástica, “reutilizar, reducir y reciclar” genera una solución al problema de la carga, sin embargo, esto no es suficiente ya que el plástico es usado desenfrenadamente. En la industria agrícola y de envasado de alimentos los plásticos biodegradables están siendo reconocidos, no obstante, sólo representan un porcentaje pequeño en el mercado de los plásticos (Pawankumar et al., 2021, p.3).

La valorización de los subproductos agrícolas constituye un enfoque prometedor para el desarrollo sostenible (Rim et al., 2018, p.2), debido a que los desechos agrícolas, aumentan día a día también incrementan las investigaciones referentes al desarrollo de biopelículas que pueden ser aplicadas en el envasado de alimentos, generando a partir de estos desechos beneficios para el ambiente y para los seres humanos (Siti et al., 2020, p.4).

Algunos estudios que aportaron al desarrollo de esta investigación:

**Tabla 1-2:** Antecedentes de la investigación

Año	Tipo	Autor	Tema	Lugar
2018	Artículo científico	Gheribi et al.	Desarrollo de películas comestibles plastificadas a partir de mucílagos de <i>Opuntia ficus-indica</i> : un estudio comparativo de varios plastificantes de poliol	Túnez
2018	Artículo científico	Rim et al.	Desarrollo de películas comestibles plastificadas a partir de mucílagos de <i>Opuntia ficus-indica</i> : un estudio comparativo de varios plastificantes de poliol	Túnez
2018	Artículo científico	Solano et al.	Películas y recubrimientos comestibles funcionalizados	México
2019	Artículo científico	Gheribi et al.	Las cáscaras de tuna como un valioso recurso de polisacárido de valor añadido: estudio de las propiedades estructurales, funcionales y filmógenas	Túnez
2020	Tesis, Maestría	De los santos, M	Aplicación y evaluación de biopelículas con base a Mucílago y almidón en frutos de guanábana ( <i>Annona muricata L.</i> )	México

2020	Artículo científico	Siti et al.	Desarrollo y caracterización de film bioplástico para envasado de alimentos a partir de celulosa de cascarilla de cacao incorporada con fibra de bagazo de caña de azúcar	Malasia
2021	Artículo científico	Pawankumar et al.	Avances recientes en el diseño sostenible y aplicaciones de polímeros biodegradables	India

**Realizado por:** Quispe, Andrés, 2021.

## 2.2. Marco conceptual o glosario

### 2.2.1. Nopal (*Opuntia tomentosa*)

Autóctona de México, esta especie comúnmente se localiza en ambientes cálidos subtropicales, semiáridos y templados. Pueden ser encontradas como matorrales en orillas de carreteras, vías de tren, pastos, bosques, pastizales, lugares perturbados, etc (ECURED, 2020, párr.3).

Esta cactácea puede llegar a medir de 2 a 6 m de alto, erecta, generalmente de aspecto similar a un árbol, con ramales en su tronco. Cladodios ovoides, entre 15 a 30 cm de largo y 6 a 12 cm de ancho, vellosos, algodonosos al tacto. Contiene espinas cortas, aunque en plantas maduras ya no son visibles, flores de pétalos anaranjados y fruto comestible (REDEXOS, 2020, párr.4).

#### 2.2.1.1. Taxonomía

“La taxonomía de las *Opuntias* es muy compleja debido a que el fenotipo varía según las condiciones agroecológicas del lugar, además de la existencia de muchos híbridos” (Scheinvar, 1999, citado en Chicaiza et al, 2016).

**Tabla 2-2:** Clasificación taxonómica del nopal (*Opuntia tomentosa*)

<b>REINO</b>	<i>Vegetal</i>
<b>DIVISIÓN</b>	<i>Angiospermae</i>
<b>CLASE</b>	<i>Dicotyledonae</i>
<b>ORDEN</b>	<i>Opuntiales</i>
<b>FAMILIA</b>	<i>Cactaceae</i>
<b>SUBFAMILIA</b>	<i>Opuntioideae</i>
<b>TRIBU</b>	<i>Opuntiae</i>
<b>GÉNERO</b>	<i>Opuntia</i>
<b>ESPECIE</b>	<i>Opuntia tomentosa</i>

**Fuente:** (Naturalista, 2020, párr.3).

**Realizado por:** Quispe, Andrés, 2021.



**Figura 1-2:** Nopal Chamacuelo (*Opuntia tomentosa*)

**Fuente:** (Guevara, 2017, p.13).

#### 2.2.1.2. *Cladodios de nopal*

Los cladodios presentan estructura aplanada y con tejidos sustancioso; dentro de la penca en su parte central posee una red bilateral del tejido celulósico, que va endureciéndose con el tiempo, brindándole soporte y rigidez; según la edad de la planta la forma, el grosor incluso el color de los cladodios es variable (Guzmán, 2007, p.25), secreta sustancias viscosas comúnmente llamado mucílago, contenido por carbohidratos de alto peso molecular y por dos polímeros naturales: amilasa y amilopectina. La amilasa se encuentra formando una cadena helicoidal que en solución tiene la capacidad de formar películas delgadas que, al secar, presentan alta rigidez. Según Miranda (2019) la amilasa es un azúcar del mundo vegetal que todo almidón tiene y es empleado en el proceso de elaboración del bioplástico, debido a que es más fácil el aumentar el volumen entre sus cadenas con un plastificante como el glicerol (Campos et al., 2009; citado en Miranda et al., 2019). La amilopectina, como todo compuesto de alto peso molecular, presenta viscosidad elevada en estado puro, pero es altamente soluble en agua. Cuando se combinan se forma una solución acuosa con características de cohesión y propiedades mecánicas (Orozco, 2017, p.5). Cheng, Mei Lin, & Hsuen, (1996), mencionan que “*la amilopectina tiene la propiedad de hinchamiento en un almidón esto va directamente relacionado al grado de deformación que tendrá un bioplástico de acuerdo con la cantidad de amilopectina que contenga, pues a mayor poder de hinchamiento se producen geles más deformables*” (Cheng et al., 1996; citado en Miranda et al., 2019).

### 2.2.2. *Plástico*

Los plásticos conforman una extensa lista de aplicaciones. Sus propiedades brindan la posibilidad de ser moldeados en múltiples formas, generando miles de productos. Características como su bajo costo, peso liviano, permeabilidad, durabilidad e higiene han permitido que el plástico reemplace a otros materiales. Se considera como un material inorgánico al plástico con alta dureza. Su degradabilidad depende del tipo de plástico y puede tardar entre 100 y 1000 años (González et al., 2003; citado en Orozco, 2017).

#### 2.2.2.1. *Plásticos biodegradables*

Esta denominación tiene como finalidad la disminución de la contaminación ambiental, ya que su degradación tiene una mayor velocidad, lo cual provoca reincorporarse a la naturaleza en menor tiempo que los materiales convencionales (Ruiz et al., 2013; citado en Lorenzo et al., 2016), además poseen una matriz polimérica obtenida principalmente por residuos orgánicos, por lo general fibras celulósicas y almidones. Dado que la matriz polimérica es biodegradable, el material compuesto como parte integral también se espera que sea biodegradable (Mohanty et al., 2000; citado en Lorenzo et al., 2016).

#### 2.2.2.2. *Bioplásticos a partir de recursos renovables*

Son aquellos extraídos directamente a partir de biomasa, tales como el almidón y la celulosa, como aquéllos cuyos monómeros pueden producirse mediante fermentación de recursos renovables, aunque el proceso de polimerización posterior sea por vía química convencional. Dentro de este último grupo, el principal representante es el PLA (poli (ácido láctico)) aunque se incluyen otros cuyos monómeros pueden obtenerse, al menos potencialmente, a partir de recursos renovables, como son el PTT, PBT, poliamidas, etc (Pérez et al., 2007, pp. 15).

##### 2.2.2.2.1. *Celulosa*

La celulosa es un polisacárido complejo con morfología cristalina. Formada por la unión de moléculas de glucosa mediante enlaces  $\beta$ -1,4-O-glucosídico. Es una hexosa que, por hidrólisis de glucosa, aunque es más resistente a la hidrólisis que el almidón. La cadena polimérica tiene un peso molecular variable, siendo su fórmula empírica  $(C_6H_{10}O_5)_n$ , con un valor mínimo de  $n=200$ . La celulosa tiene una estructura lineal o fibrosa, en la que se establecen múltiples puentes de hidrógeno entre los grupos hidroxilo de distintas cadenas yuxtacompuestas de glucosa,



haciéndolas impenetrables al agua y que sea insoluble en ésta y que origina fibras compactas que constituyen la pared celular de las células vegetales (Pérez et al., 2007, p. 17).

La celulosa se ha utilizado durante mucho tiempo para producir plásticos como acetatos de celulosa CA, CAB y CAP. Debido a que la celulosa pura es difícil de procesar, estos plásticos consisten en celulosa químicamente modificada. Los plásticos de celulosa son cristalinos y muy resistentes (Bruder, 2019, p.63).

La celulosa se puede extraer de la madera, entre otras cosas. Añadiendo polvo de madera, lino, algodón o cáñamo a un plástico convencional a base de petróleo significa el nuevo. El material se puede clasificar como bioplástico, ya que una parte de la materia prima utilizada es renovable (Bruder, 2019, p.63).

#### 2.2.2.2.2. *Almidón*

El almidón se puede extraer de maíz, patatas, semillas, remolacha azucarera, caña de azúcar, cereales, u otros cultivos que también se utilizan para alimentos o biocombustibles (Bruder, 2019, p.63).

Estructuralmente, el almidón consiste en dos polisacáridos químicamente distinguibles: la amilosa y la amilopectina. La amilosa es un polímero lineal de unidades de glucosa unidas por enlaces  $\alpha$  (1-4), en el cual algunos enlaces  $\alpha$  (1-6) pueden estar presentes. Esta molécula no es soluble en agua, pero puede formar micelas hidratadas por su capacidad para enlazar moléculas vecinas por puentes de hidrógeno. Mientras que la amilopectina es un polímero ramificado de unidades de glucosa unidas en un 94-96% por enlaces  $\alpha$  (1-4) y en un 4-6% con uniones  $\alpha$  (1-6). Dichas ramificaciones se localizan aproximadamente a cada 15-25 unidades de glucosa. La amilopectina es parcialmente soluble en agua caliente (Hernández et al., 2007, pp.718-726). Obviamente, esta es una fuente de conflicto, y hay numerosos proyectos de investigación en marcha para tratar de utilizar la parte superior de fuentes en lugar de las partes nutritivas (Bruder, 2019, p.63).

Los almidones puros también son difíciles de procesar y, por lo tanto, deben modificarse con productos químicos o aditivos para transformarlos en productos plásticos (Bruder, 2019, p.63).

#### 2.2.2.2.3. *Proteína*

Las proteínas son polímeros, compuestos de unidades monoméricas de  $\alpha$ -aminoácidos, 20 aminoácidos se encuentran con mayor frecuencia en las proteínas, un número casi ilimitado de secuencias son posibles de obtener con una amplia gama de interacciones y reacciones químicas (Gómez, 2013, p.18).

Actualmente investigaciones han demostrado su idoneidad para la fabricación de bioplásticos ya que brindan estabilidad, ejemplos de una variedad de fuentes de proteínas, incluyen gluten de trigo, proteína de albúmina de huevo, proteína de arroz entre otras (Gonzales et al., 2010, p.23).

Las proteínas constan con una estructura de tres dimensiones muy estables, redes mantenidas por interacciones entre cadenas que no dotan al material de suficiente plasticidad. Por esta razón es necesario agregar un plastificante y, a veces, un agente de ruptura (Gonzales et al., 2010, p.23).

#### 2.2.2.2.4. *Plastificantes*

Son moléculas de bajo peso molecular y baja volatilidad, que reducen las fuerzas intermoleculares y aumentan la movilidad de las cadenas de polímero. Los plastificantes más comunes incluyen agua, glicerol, propilenglicol y polietilenglicol (Gonzales et al., 2010, p.24).

Deben ocurrir tres pasos principales durante la formación de bioplásticos que contengan proteínas: ruptura de los enlaces intermoleculares estabilizadores, orientar las cadenas poliméricas móviles en la forma deseada y permitir la formación de nuevos enlaces intermoleculares que estabilizan la red tridimensional. Estos tres pasos pueden lograrse mediante procesamiento termoplástico o termomecánico. Durante el procesamiento de termoplásticos, las proteínas y los plastificantes se mezclan en una amasadora o extrusora para obtener un material similar a una masa. En termomecánico El procesamiento del material resultante se somete además a la aplicación de calor y presión (Jerez et al., 2007; citado en Gonzales et al., 2010).

### 2.3. **Planteamiento de la hipótesis**

#### 2.3.1. *General*

El plástico biodegradable obtenido a partir de cladodios de nopal posee propiedades y características similares al plástico convencional permitiendo su reemplazo.

#### 2.3.2. *Específicas*

- La metodología de extracción del mucílago de los cladodios de nopal (*Opuntia tomentosa*) tendrá un buen rendimiento.
- La materia prima presenta características de calidad para la obtención del bioplástico.
- La formulación seleccionada será adecuada para obtener plástico biodegradable a partir de los cladodios de nopal (*Opuntia tomentosa*).
- El plástico biodegradable presenta buenas propiedades de tracción similares al plástico convencional.

## **2.4. Identificación de variables**

### **2.4.1. Obtención del mucílago de nopal**

#### *2.4.1.1. Variable independiente*

- Rpm del motor de la extractora (RPM 1, RPM 2)
- Tiempo de extracción de mucílago (T1, T2, T3)

#### *2.4.1.2. Variable dependiente*

- Cantidad de mucílago

### **2.4.2. Formulación de plástico biodegradable**

#### *2.4.2.1. Variable dependiente*

- Plástico biodegradable

#### *2.4.2.2. Variable independiente*

- % de mucílago de nopal
- % proteína

## 2.5. Operacionalización de variables

**Tabla 3-2:** Operacionalización de Variables

Variable	Tipo de variable	Definición Operacional	Categorización	Indicadores	Instrumentos de medición
Extracción del mucílago	Dependiente	Es una macromolécula compuesta de dos polisacáridos la amilosa y la amilopectina		Contenido de celulosa Contenido de amilosa y amilopectina	Caracterización proximal
Revoluciones por minuto de extracción	Independiente	Magnitud física que mide el número de giros por unidad de tiempo en el triturado	Extracción de las pencas de nopal	Velocidades de la extractora (rpm)	Características de la extractora
Tiempo de extracción	Independiente	Magnitud física medible	Medición del tiempo de extracción	Escala de 30 segundos a partir de 30 segundos	Cronómetro
Bioplástico	Dependiente	Tipo de plásticos derivados de productos vegetales		Pruebas fisicoquímicas y mecánicas	Humedad, Solubilidad, Espesor Ensayo de tracción Biodegradabilidad Transmisión de vapor Espectrometría infrarroja
% mucílago	Independiente	Porción significativa del material a utilizar	Formulación	Peso	Balanza
% proteína	Independiente	Porción significativa del material a utilizar	Formulación	Peso	Balanza

**Realizado por:** Quispe, Andrés, 2021.

## 2.6. Matriz de consistencia

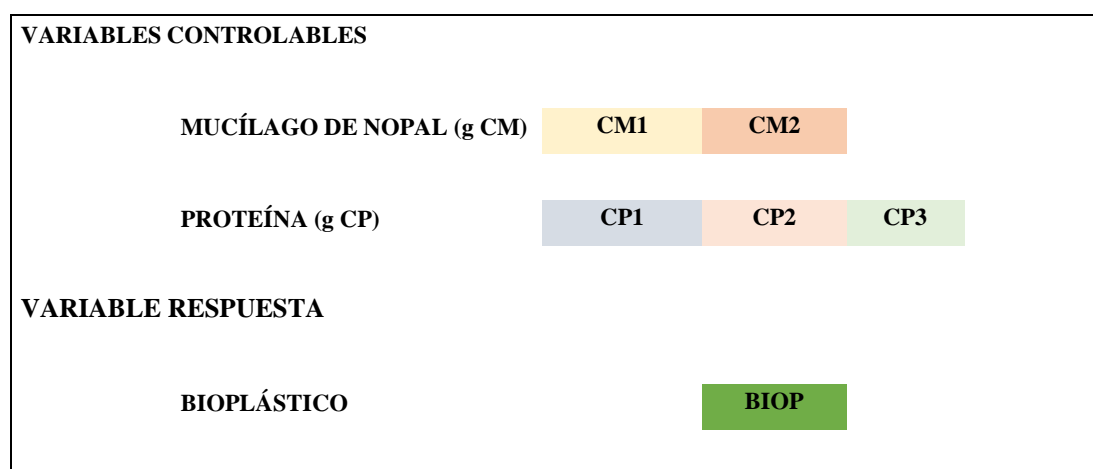
**Tabla 4-2:** Matriz de consistencia

<b>TEMA: Obtención de plástico biodegradable a partir de los cladodios de nopal (<i>Opuntia tomentosa</i>) como alternativa al uso de bolsas plásticas convencionales</b>				
<b>PROBLEMA GENERAL</b>		<b>OBJETIVO GENERAL</b>	<b>HIPÓTESIS GENERAL</b>	
¿Se obtendrá un plástico biodegradable con características similares a uno convencional con miras a la suplantación de este a partir de mucílago de nopal?		Obtener plástico biodegradable a partir de los cladodios de nopal ( <i>Opuntia tomentosa</i> ) como alternativa al uso de bolsas plásticas convencionales	El plástico biodegradable obtenido a partir de cladodios de nopal posee propiedades y características similares al plástico convencional permitiendo su reemplazo.	
<b>Problemas Específicos</b>	<b>Objetivos Específicos</b>	<b>Hipótesis Específicas</b>	<b>Variables</b>	<b>Técnicas</b>
¿Mediante qué metodología se obtendrá el mucílago de nopal para elaborar plástico biodegradable y cómo se determinará su calidad?	Extraer y caracterizar a nivel físico- químico y microbiológico el mucílago de nopal.	El rendimiento de extracción será óptimo además el mucílago de nopal posee polisacáridos de calidad para para la elaboración de plástico biodegradable.	Dependiente: mucílago. Independiente: rpm y tiempo.	Caracterización proximal. Características de la extractora.
¿Cómo se determinará la cantidad de mucílago necesaria para elaborar el plástico biodegradable?	Formular el bioplásticos.	Las combinaciones tanto de mucílago como aditivos son los adecuados para la obtención del plástico biodegradable.	Dependiente: Plástico biodegradable. Independiente: % mucílago y % proteína.	Diversas formulaciones.
¿Cómo se evaluará la calidad del plástico biodegradable obtenido?	Validar las características fisicoquímicas y mecánicas del bioplástico.	El plástico biodegradable presenta buenas propiedades de tracción similares al plástico convencional.	Características físico-químicas y mecánicas.	Humedad, solubilidad, espesor, ensayo de tracción, biodegradabilidad.

**Realizado por:** Quispe, Andrés, 2021.

## 2.7. Tipo y diseño de investigación

La presente investigación es de tipo experimental, ya que se determina mediante un diseño factorial de niveles mixtos  $3^2$  y un modelo de interacciones 2-Factor, donde la variable respuesta a ser medida será el bioplástico, mientras que las variables controlables serán el mucílago de nopal y la proteína, además de ello la recolección de datos se realiza a partir de la selección y muestreo de cladodios de nopal hasta la aplicabilidad del producto terminado, las pruebas realizadas en el transcurso del proceso, son las pruebas físico-químicas, mecánicas y microbiológicas, las cuales avalan la calidad de la materia prima (mucílago de nopal) y del producto final (plástico biodegradable) permitiendo tener una base para venideros estudios, como complemento de la investigación se hace uso del método deductivo, permitiendo argumentar y concluir los datos, variables, ensayos, y el plástico biodegradable como tal, logrando deducir qué tratamientos se deben aplicar para obtener un plástico biodegradable de calidad.



**Gráfico 1-2:** Variables para el diseño factorial de la obtención del plástico biodegradable

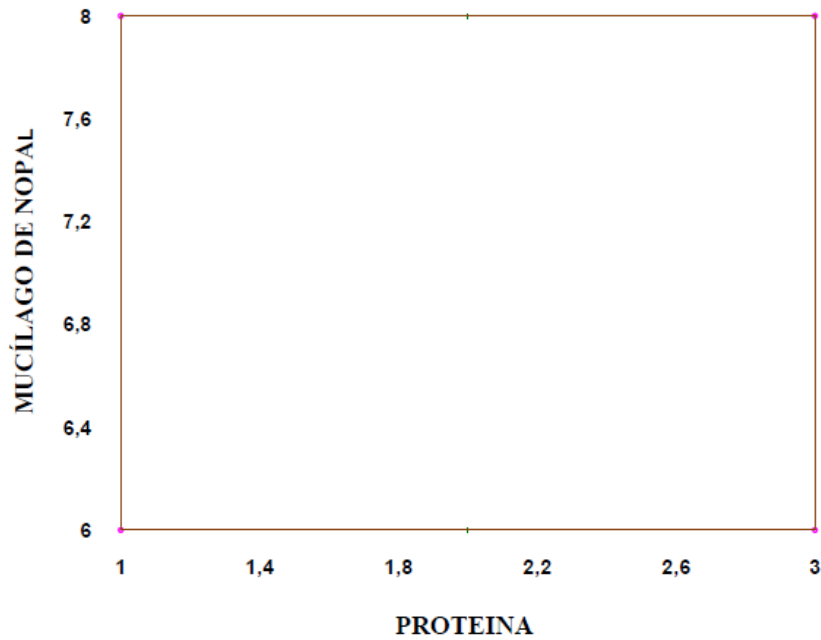
Realizado por: Quispe, Andrés, 2021.

Generando seis tratamientos, como se explica en la siguiente tabla:

**Tabla 5-2:** Muestreo para la obtención de plástico biodegradable

No.	TRATAMIENTO	MUCÍLAGO	PROTEÍNA	VARIABLE
1	TP1	CM1	CP1	CM1 : CP1
2	TP2		CP2	CM1 : CP2
3	TP3		CP3	CM1 : CP3
4	TP4	CM2	CP1	CM2 : CP1
5	TP5		CP2	CM2 : CP2
6	TP6		CP3	CM2 : CP3

Realizado por: Quispe, Andrés, 2021.



**Figura 2-2:** Puntos del diseño

Realizado por: Quispe, Andrés, 2021.

## 2.8. Unidad de análisis

Para el desarrollo de plástico biodegradable se requiere cladodios de nopal (*Opuntia tomentosa*), el cual después de ensayos de extracción se determinará la concentración de mucílago necesario para elaborar el producto final.

## 2.9. Población de estudio

La población de estudio corresponde a los pequeños agricultores de la provincia de Chimborazo y al GRUPO DE INVESTIGACIÓN AMBIENTAL Y DESARROLLO de la ESPOCH (GIADDE) ya que se encuentra dentro de la línea de investigación de “Obtención de plástico biodegradable a partir de los cladodios de nopal (*Opuntia tomentosa*) como alternativa al uso de bolsas plásticas convencionales”.

## 2.10. Tamaño de la muestra

Se inició el proceso de obtención de bioplástico con 7 kg de cladodios de nopal, extrayendo toda la cantidad posible de mucílago de nopal.

## 2.11. Selección de muestra

Los cladodios de nopal fueron recolectados en horas de la mañana, en las afueras de la provincia de Chimborazo, la muestra seleccionada debe presentar las siguientes características:

- Tamaño grande
- Entre dos a tres años
- Libre de impurezas (polvo, ceniza volcánica, otros)

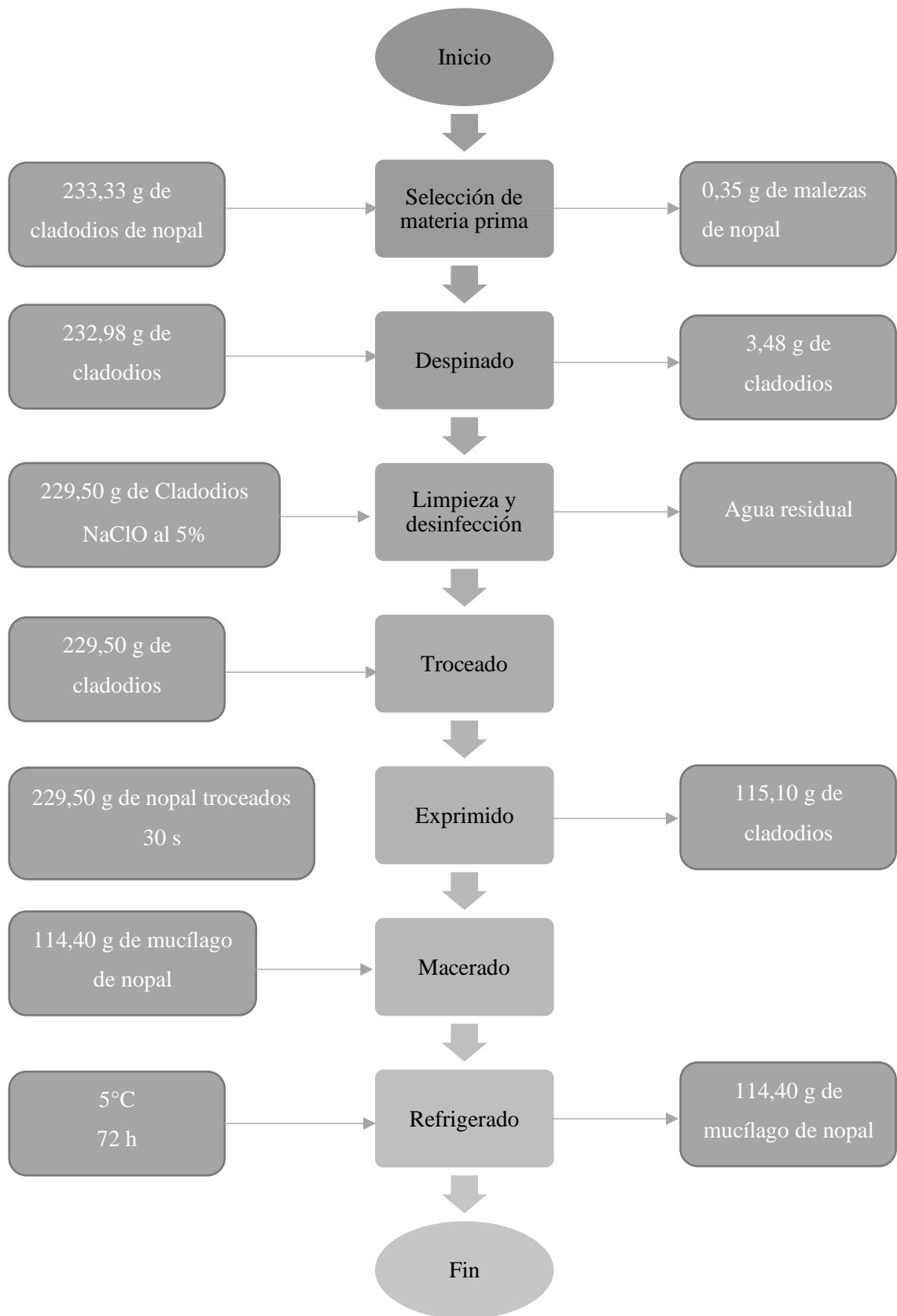
Debido a la variación de la cantidad de mucílago y proteína, cada tratamiento tendrá 2 repeticiones con la finalidad de crear confianza en los datos obtenidos.

**Tabla 6-2:** Técnica para la extracción de mucílago de nopal

N°	Método	Materiales y Equipos	Reactivo	Procedimiento	Método de Ensayo
1	Operaciones unitarias	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Extractora</li> <li>• Cuchillo</li> <li>• Cronómetro</li> <li>• Recipiente de vidrio y plástico</li> <li>• Vaso de precipitación</li> <li>• Balanza</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Cladodios de nopal</li> <li>• Hipoclorito de sodio al 5%</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Seleccionar los cladodios.</li> <li>• Retirar las espinas</li> <li>• Lavar y desinfectar los cladodios de nopal con 5% de hipoclorito de sodio</li> <li>• Trocear los cladodios en secciones alargadas</li> <li>• Exprimir a diferentes velocidades, en tiempos (30 seg, 60 seg y 90 seg)</li> <li>• Dejar el mucílago obtenido en refrigeración para que se macere por 72 horas.</li> </ul>	Sepúlveda et al., (2007) con modificaciones

**Realizado por:** Quispe, Andrés, 2021.





**Gráfico 2-2:** Diagrama de bloques de extracción de mucílago

**Realizado por:** Quispe, Andrés, 2021.

2.11.1.1. *Análisis para realizar la caracterización de los almidones extraídos*

**Tabla 7-2:** Pruebas para la caracterización de los mucílagos extraídos

Nº	Análisis	Materiales y Equipos	Reactivo	Procedimiento	Fórmula para el Cálculo	Método de Ensayo
1	Prueba de Solubilidad	Vaso de precipitación Reverbero Varilla de agitación	Agua destilada  Mucílago de nopal	En un vaso de 25 ml, pesar 2g de la muestra, añadir 5ml de agua fría y agitar.  Transferir totalmente la suspensión sobre 100 ml de agua hirviendo (90 °C), contenida en un vaso de precipitación de 200 ml y continuar con la ebullición por 2 minutos.  Guardar la solución para la determinación de pH.	Medición cualitativa	INEN 1456
2	Determinación de pH	pH-metro normalizado a 25°C Vaso de precipitación Termómetro	Solución del ensayo de solubilidad	Normalizar el medidor de pH a 25°C, sumergiendo los electrodos en solución tampón de pH 7,0 y ajustar el control a esta temperatura.  Con el control de asimetría ajustar el instrumento al valor de pH correcto de la solución tampón.  Lavar los electrodos con agua destilada y secarlos con papel absorbente.  Sumergir los electrodos en la solución que deberán estar a 25°C.  Accionar el control de lectura y leer el pH.  La muestra deberá encontrarse dentro de los rangos de pH 5,0 y 7,0.	Medición directa	INEN 1456

3	Residuos por calcinación	Crisol de porcelana Campana extractora de gases Desecador	Reactivo analítico	<p>En un crisol de porcelana o de platino, pesar 1g de muestra, calentar hasta ignición bajo la campana extractora de gases. Añadir al material carbonizado 1 mL de ácido sulfúrico R.A (reactivo analítico), el calentamiento debe ser suave, bajo el principio y continuando de tal forma que requiera 1 a 2 horas para carbonizar totalmente la materia orgánica.</p> <p>Calcinar a 800°C±25°C por 15 min, enfriar en el desecador y pesar, este procedimiento se deberá repetir hasta obtener una masa constante.</p> <p>Se debe considerar que la muestra del residuo obtenido no deberá ser mayor a 0,4g/100g.</p>	<p><b>%Cenizas</b> = P1 /P2 x 100 Porcentaje de ceniza Donde: P1 = Peso de las cenizas (g) P2 = Peso de la muestra inicial (g)</p>	AOAC (942.05 (2000)
---	--------------------------	---	--------------------	--	--	---------------------------

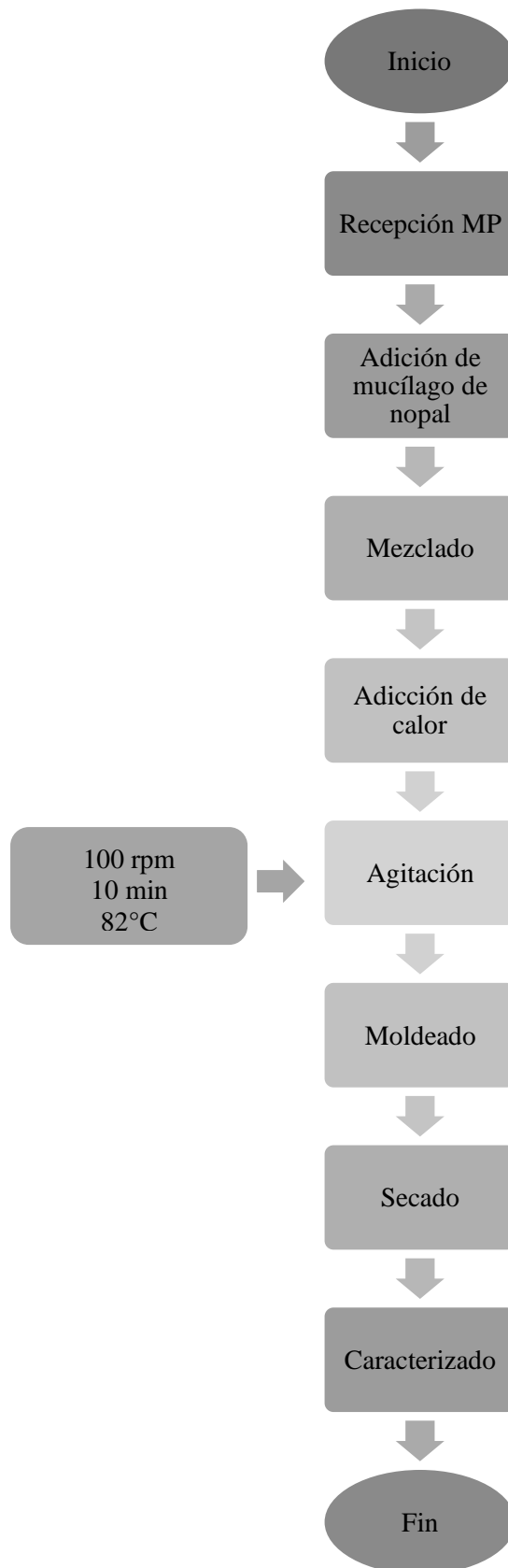
Realizado por: Quispe, Andrés, 2021.

## 2.12. Técnica de obtención de bioplástico

**Tabla 8-2:** Técnica de obtención de plásticos biodegradables

Método	Materiales y Equipos	Reactivo	Procedimiento	Método de Ensayo
Obtención de plástico biodegradable	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Vasos de precipitación de 250 mL</li> <li>• Varilla de agitación</li> <li>• Probetas de 250 ml y 50 mL</li> <li>• Espátula</li> <li>• Vidrio de reloj</li> <li>• Cronómetro</li> <li>• Baño maría a 100°C</li> <li>• Estufa</li> <li>• Agitador magnético</li> <li>• Balanza analítica</li> <li>• Reverbero</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Glicerina</li> <li>• Proteína</li> <li>• Cera natural</li> <li>• Mucílago de nopal</li> <li>• Agua destilada</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Colocar en un vaso de precipitados mucílago de nopal. Agregar, mezclando bien, la proteína.</li> <li>• Homogeneizar mediante la ayuda de un agitador magnético a 100 rpm durante 10 minutos a 82°C, hasta que no exista evidencia de grumos.</li> <li>• Adicionar glicerina y cera natural, previamente diluida en baño maría.</li> <li>• Agregar agua destilada y mantener aproximadamente 10 minutos, en hervor, agitando continuamente, hasta que la mezcla quede viscosa.</li> <li>• Verter la mezcla en una bandeja de poliestireno expandido (EPS).</li> <li>• Secar en la estufa a una temperatura ambiente hasta observar la formación</li> <li>• Se preparará seis diferentes formulaciones variando la concentración de proteína y cada una será expuesta a una temperatura constante variando los tiempos de secado.</li> </ul>	(Pascoe, 2019,p.6)

Realizado por: Quispe, Andrés, 2021.



**Gráfico 3-2:** Diagrama de bloque del proceso de elaboración de plástico biodegradable

**Realizado por:** Quispe, Andrés, 2021.

**Tabla 9-2:** Ensayos para caracterizar el bioplástico obtenido

Análisis	Materiales y equipos	Reactivo	Procedimiento	Método de ensayo
Espesor	Calibrador Biopelícula Cúter	Biopelícula	Con un calibrador, con resolución de 0,002 cm, medir el grosor de la biopelícula.	Laboratorio tecnológico de Uruguay No 4-2009-INN TEC-33
Solubilidad	Vaso de precipitación Probetas Papel filtro Balanza analítica	Agua destilada Biopelícula a ensayar	Las muestras se colocan en un vaso de precipitación de 100 ml con 80 ml de agua destilada. Se lleva a agitación de 100 rpm durante 1 hora. Filtrar y se procede a colocar en una estufa a 40°C hasta que no queden residuos en el agua.	Laboratorio tecnológico de Uruguay No 4-2009-INN TEC-33
Propiedades mecánicas	Máquina universal de ensayos-WAW600B	Biopelícula a ensayar	Es una máquina de prueba tipo velocidad constante de movimiento de cruceta que comprende una parte fija que lleva una mordaza y una parte móvil que lleva una segunda mordaza.	Norma NTE INEN 2635:012
Biodegradabilidad	Recipientes herméticos Biofilms a ensayar	Tierra orgánica. Biofilms a ensayar	Cortar el biofilm en láminas de 3 cm x 3 cm. Colocarlas en tierra orgánica a 12 cm de la superficie y mantener en un ambiente húmedo. Revisar cada 7 días	INEN 2643 Especificaciones para plásticos compostables

Realizado por: Quispe, Andrés, 2021.

## CAPÍTULO III

### 3. MARCO DE RESULTADOS Y DISCUSIÓN

#### 3.1. Datos obtenidos en los ensayos realizados

Según la recomendación de Sepúlveda et al (2007) las pencas de nopal cuya edad se encuentra entre 2 a 3 años fueron recolectadas por la mañana por razones metabólicas, se tomaron 10 muestras al azar, determinando datos de peso, longitud y ancho. Para después emplearlos en los respectivos cálculos.



**Figura 1-3:** Pencas de nopal (*Opuntia tomentosa*)

Realizado por: Quispe, Andrés, 2021.

**Tabla 1-3:** Datos obtenidos de las pencas de nopal (*Opuntia tomentosa*)

No.	Penca de nopal ( <i>Opuntia tomentosa</i> )		
	PESO (g)	LONGITUD (cm)	ANCHO (cm)
1	1734,230	33,000	2,340
2	1567,850	25,300	1,600
3	1649,250	27,100	1,470
4	1552,670	30,200	2,170
5	1423,930	25,000	1,340
6	1593,820	28,120	1,780
7	1353,660	23,880	1,000
8	1426,870	25,170	1,600
9	1264,340	22,300	1,400
10	1384,230	24,420	1,400

Realizado por: Quispe, Andrés, 2021.

**Tabla 2-3:** Análisis sensorial de la penca de nopal (*Opuntia tomentosa*)

No.	PRODUCTO: Penca de nopal ( <i>Opuntia tomentosa</i> )	
	Características	
1	Olor	-
2	Sabor	Amargo
3	Color	Verde
4	Textura interna	Dura
5	Textura externa	Dura

Realizado por: Quispe, Andrés, 2021.

**3.1.1. Ensayos preliminares para la extracción de mucílago****3.1.1.1. Datos para el proceso de extracción de mucílago****Tabla 3-3:** Tratamientos para la extracción de mucílago de nopal

No.	Tratamiento	Variables	Repetición	Peso (g)	
				Producto	Mucílago
1	T1	RPM 1 : 30 s	R1	233,33	114,400
2			R2		104,600
3			R3		126,900
4			R4		100,500
5			R5		103,800
6	T2	RPM 1 : 60 s	R1		102,900
7			R2		112,600
8			R3		100,800
9			R4		99,200
10			R5		102,700
11	T3	RPM 1 : 90 s	R1		98,520
12			R2		99,560
13			R3		103,200
14			R4		120,700
15			R5		104,300
16	T4	RPM 2 : 30 s	R1		66,180
17			R2		95,000
18			R3		105,400
19			R4		114,600
20			R5		91,240
21	T5	RPM 2 : 60 s	R1		75,660
22			R2		108,200
23			R3		109,200
24			R4		97,640
25			R5		105,600
26	T6	RPM 2 : 90 s	R1		125,100
27			R2		115,700
28			R3		81,240
29			R4		131,400
30			R5		108,600

Realizado por: Quispe, Andrés, 2021.



### 3.1.2. Pruebas preliminares para la elaboración de bioplástico

#### 3.1.2.1. Discriminación y estimación de variables de análisis

El diseño factorial 2k generó seis tratamientos, además de ello se efectuó dos repeticiones en cada uno para generar datos confiables, las formulaciones se encuentran descritas a continuación:

**Tabla 4-3:** Nomenclatura y formulaciones obtenidas

Tratamiento	Mucílago De Nopal (g)	Proteína (g)	Plastificante (g)	Cera (g)
TP1	6,000	1,000	1,000	0,500
TP2		2,000	1,000	0,500
TP3		3,000	1,000	0,500
TP4	8,000	1,000	1,000	0,500
TP5		2,000	1,000	0,500
TP6		3,000	1,000	0,500

Realizado por: Quispe, Andrés, 2021.

### 3.1.3. Datos para las pruebas físico-mecánicas y de biodegradabilidad

#### 3.1.3.1. Datos para determinar el espesor

**Tabla 5-3:** Datos de espesores en cada repetición

No.	Tratamiento	Repetición	Espesor 1 (mm)	Espesor 2 (mm)	Espesor 3 (mm)	Espesor 4 (mm)	Espesor 5 (mm)
1	TP1	R1	0,500	0,500	0,500	0,400	0,400
2		R2	0,400	0,500	0,400	0,400	0,500
3	TP2	R1	0,300	0,300	0,200	0,300	0,500
4		R2	0,200	0,300	0,300	0,400	0,300
5	TP3	R1	0,300	0,300	0,300	0,300	0,400
6		R2	0,300	0,400	0,400	0,400	0,300
7	TP4	R1	0,400	0,400	0,300	0,400	0,400
8		R2	0,500	0,400	0,300	0,300	0,400
9	TP5	R1	0,300	0,300	0,500	0,400	0,300
10		R2	0,400	0,400	0,300	0,300	0,500
11	TP6	R1	0,300	0,500	0,200	0,300	0,500
12		R2	0,200	0,300	0,500	0,300	0,400

Realizado por: Quispe, Andrés, 2021.

### 3.1.3.2. Datos generados en el ensayo de humedad

**Tabla 6-3:** Datos necesarios para para determinar humedad

No.	Tratamiento	Repetición	Peso Inicial (g)	Peso Final (g)
1	TP1	R1	1,535	1,395
2		R2	1,228	0,945
3	TP2	R1	1,136	0,947
4		R2	1,198	0,969
5	TP3	R1	1,797	1,329
6		R2	1,188	0,882
7	TP4	R1	1,595	1,241
8		R2	1,328	1,063
9	TP5	R1	1,393	0,985
10		R2	1,199	0,912
11	TP6	R1	1,188	0,737
12		R2	0,987	0,634

Realizado por: Quispe, Andrés, 2021.

### 3.1.3.3. Datos generados en el ensayo de solubilidad

**Tabla 7-3:** Datos necesarios para determinar la solubilidad

No.	Tratamiento	Repetición	Peso Inicial (g)	Peso Final (g)
1	TP1	R1	2,213	1,345
2		R2	2,362	1,447
3	TP2	R1	2,016	1,785
4		R2	1,935	1,693
5	TP3	R1	2,544	1,823
6		R2	2,720	1,922
7	TP4	R1	2,022	1,634
8		R2	1,923	1,721
9	TP5	R1	2,028	1,385
10		R2	2,000	1,432
11	TP6	R1	1,694	1,271
12		R2	1,327	0,957

Realizado por: Quispe, Andrés, 2021.

### 3.1.3.4. Datos generados en el ensayo de permeabilidad

**Tabla 8-3:** Datos necesarios para determinar la permeabilidad

No.	Tratamiento	Repetición	Peso Inicial (g)	Tiempo 1 (h)	Peso Final (g)	Tiempo 2 (h)	Área m <sup>2</sup>	Espesor (m)
1	TP1	R1	35,600	0,000	35,800	192	0,006	0,0005
2		R2	30,400	0,000	30,600	192	0,006	0,0004
3	TP2	R1	37,200	0,000	37,500	192	0,006	0,0003
4		R2	34,800	0,000	35,200	192	0,006	0,0002
5	TP3	R1	37,500	0,000	37,800	192	0,006	0,0003
6		R2	38,200	0,000	38,500	192	0,006	0,0003
7	TP4	R1	36,400	0,000	36,600	192	0,006	0,0004
8		R2	41,300	0,000	41,400	192	0,006	0,0005
9	TP5	R1	38,000	0,000	38,400	192	0,006	0,0003
10		R2	48,200	0,000	48,400	192	0,006	0,0004
11	TP6	R1	36,300	0,000	36,700	192	0,006	0,0003
12		R2	31,000	0,000	31,400	192	0,006	0,0002

Realizado por: Quispe, Andrés, 2021.

### 3.1.3.5. Datos generados en el ensayo de tracción

**Tabla 9-3:** Datos necesarios para determinar el % elongación y la tensión

Tratamiento	Muestra	Fuerza(N)	Área cm <sup>2</sup>			Elongación Con Medidor (m)	
			Ancho (cm)	Calibre (cm)	Área (cm <sup>2</sup> )	Medidor Final	Deformación Del Medidor
TP1	R1	9,800	1,500	0,050	0,075	0,333	0,056
	R2	17,600	1,500	0,050	0,075	0,336	0,064
TP2	R1	4,900	1,500	0,020	0,030	0,346	0,073
	R2	4,900	1,500	0,030	0,045	0,331	0,061
TP3	R1	5,900	1,500	0,030	0,045	0,339	0,068
	R2	5,900	1,500	0,030	0,045	0,340	0,067
TP4	R1	11,800	1,500	0,030	0,045	0,334	0,069
	R2	11,800	1,500	0,030	0,045	0,343	0,074
TP5	R1	2,900	1,500	0,050	0,075	0,337	0,068
	R2	2,000	1,500	0,030	0,045	0,324	0,047
TP6	R1	3,900	1,500	0,020	0,030	0,328	0,057
	R2	10,800	1,500	0,050	0,075	0,325	0,057

Realizado por: Quispe, Andrés, 2021.

### 3.1.3.6. Datos generados en el ensayo de biodegradabilidad para las películas bioplásticas

Para este ensayo se realizó cortes cuadrados de la película bioplástica de 4 x 4 cm en la condición suelo y, 3 x 3 cm para ambiente, agua después se recolecto datos de área cada 9 días en el software ImageJ, donde se obtuvo los siguientes valores:

**Tabla 10-3:** Datos para determinar la biodegradabilidad en suelo, agua y ambiente

No.	Tratamiento	Repetición	Peso inicial	9 días	18 días	27 días
			Área (cm <sup>2</sup> )			
<b>SUELO</b>						
1	TP1	R1	15,287	12,408	12,038	11,907
2		R2	15,494	14,610	14,294	10,138
3	TP2	R1	16,040	15,195	14,214	13,285
4		R2	14,415	14,400	13,295	8,515
5	TP3	R1	15,371	10,390	9,377	3,060
6		R2	15,510	11,164	11,443	10,637
7	TP4	R1	15,192	14,870	13,586	12,296
8		R2	15,939	14,400	14,012	13,665
9	TP5	R1	15,777	14,586	14,384	14,032
10		R2	15,978	15,775	14,923	13,477
11	TP6	R1	16,503	10,434	9,836	5,558
12		R2	16,346	13,472	10,846	9,122
<b>AGUA</b>						
1	TP1	R1	8,375	7,592	7,289	0,000
2		R2	9,158	7,226	6,748	0,000
3	TP2	R1	8,396	0,000	0,000	0,000
4		R2	8,804	0,000	0,000	0,000
5	TP3	R1	8,970	8,763	7,400	0,000
6		R2	9,240	6,898	6,677	0,000
7	TP4	R1	9,071	0,000	0,000	0,000
8		R2	8,574	0,000	0,000	0,000
9	TP5	R1	8,835	0,000	0,000	0,000
10		R2	8,820	0,000	0,000	0,000
11	TP6	R1	9,043	0,000	0,000	0,000
12		R2	8,848	0,000	0,000	0,000
<b>AMBIENTE</b>						
1	TP1	R1	8,703	8,382	8,301	8,196
2		R2	8,438	7,962	7,696	7,682
3	TP2	R1	9,173	8,570	8,475	8,271
4		R2	8,465	8,448	8,399	8,047
5	TP3	R1	9,430	8,931	8,496	7,915
6		R2	9,663	9,278	9,096	8,642
7	TP4	R1	9,238	9,070	8,780	8,587
8		R2	8,736	8,474	8,406	8,393

9	TP5	R1	9,375	8,590	8,447	8,368
10		R2	9,275	8,859	8,657	8,620
11	TP6	R1	9,097	8,418	8,275	8,141
12		R2	9,681	8,418	8,102	7,969

Realizado por: Quispe, Andrés, 2021.

### 3.2. Cálculos

Se determinó la media para cada tratamiento realizado.

#### 3.2.1. Porcentaje de rendimiento de extracción de mucílago

Ec. 1-3:

$$\%R = \frac{\text{peso del mucílago obtenido (g)}}{\text{peso de los cladodios que ingresaron al proceso (g)}} * 100$$

Repetición 1 del tratamiento T1:

$$\%R1 = \frac{114,4}{233,33} * 100$$

$$\%R1 = 49,03\%$$

\*Se repite para repetición, después se calculó la media de cada tratamiento

#### 3.2.2. Porcentaje de humedad del plástico biodegradable

Ec. 2-3:

$$\%H = \frac{P_o - P_i}{P_o} * 100$$

Donde:

**P<sub>o</sub>**: Peso inicial seco de la película (g)

**P<sub>i</sub>**: Peso final seco de la película (g)

Humedad en la repetición 1:

$$\%H1 = \frac{1,535 - 1,395}{1,535} * 100$$

$$\%H1 = 9,121\%$$

Humedad en la repetición 2:

$$\%H2 = \frac{1,228 - 1,045}{1,228} * 100$$

$$\%H2 = 14,902\%$$

Humedad media del tratamiento TP1:

Ec. 3-3:

$$\%HT1 = \frac{\sum_{i=1}^n \%H}{n_t}$$
$$\%HT1 = \frac{9,121 + 14,092}{2}$$
$$\%HTP1 = 12,011\%$$

\*Se repite para cada tratamiento

### 3.2.3. Porcentaje de solubilidad de las películas bioplásticas

Ec. 4-3:

$$\%S = \frac{P_o - P_i}{P_o} * 100$$

Donde:

**Po:** Peso inicial seco de la película (g)

**Pi:** Peso final seco de la película (g)

Solubilidad en la repetición 1:

$$\%S1 = \frac{2,213 - 1,345}{2,213} * 100$$
$$\%S1 = 39,223\%$$

Solubilidad en la repetición 2:

$$\%S2 = \frac{2,362 - 1,447}{2,362} * 100$$
$$\%S2 = 38,738\%$$

Solubilidad media del tratamiento TP1:

Ec. 5-3:

$$\%STP1 = \frac{\sum_{i=1}^n \%S}{n_t}$$
$$\%STP1 = \frac{39,223 + 38,738}{2}$$
$$\%STP1 = 29,806\%$$

\*Se repite para cada tratamiento

### 3.2.4. Porcentaje de permeabilidad

Ec. 6-3:

$$TVA_{\varepsilon} = \frac{P_f - P_o}{t * A} * \varepsilon$$

Donde:

**TVA  $\epsilon$** : TVA específico ( $\frac{mm\ g}{m^2\ h}$ )

**P<sub>f</sub>**: Peso final de la película (g)

**P<sub>o</sub>**: Peso inicial de la película (g)

**t**: Tiempo entre lecturas (h)

**A**: Área de las muestras de ensayo (m<sup>2</sup>)

**$\epsilon$** : Espesores de las biopelículas (mm)

Permeabilidad en la repetición 1:

$$TVA_{\epsilon 1} = \frac{35,800 - 35,600}{192 * 0,006} * 0,0005$$

$$TVA_{\epsilon 1} = 8,18 E - 5 \frac{mm\ g}{m^2\ h}$$

Permeabilidad en la repetición 2:

$$TVA_{\epsilon 2} = \frac{30,400 - 30,600}{192 * 0,006} * 0,0004$$

$$TVA_{\epsilon 2} = 6,55 E - 5 \frac{mm\ g}{m^2\ h}$$

Permeabilidad media del tratamiento TP1:

Ec. 7-3:

$$TVA_{\epsilon TP1} = \frac{\sum_{i=1}^n \%TVA_{\epsilon}}{n_t}$$

$$TVA_{\epsilon TP1} = \frac{8,18 E - 5 + 6,55 E - 5}{2}$$

$$TVA_{\epsilon TP1} = 7,37 E - 5 \frac{mm\ gr}{m^2\ h}$$

\*Se repite para cada tratamiento

### 3.2.5. Porcentaje de biodegradabilidad

Ec. 8-3:

$$\%Pp = \frac{A_o - A_i}{A_o} * 100$$

Donde:

**Pp**: Pérdida de peso

**A<sub>f</sub>**: Área final de la película (cm<sup>2</sup>)

**A<sub>o</sub>**: Área inicial de la película (cm<sup>2</sup>)

Biodegradabilidad ambiente R1:

$$\%Pp1 = \frac{8,703 - 8,382}{8,703} * 100$$

$$\%Pp1 = 3,688\%$$

Biodegradabilidad ambiente R2:

$$\%Pp2 = \frac{8,438 - 7,962}{8,438} * 100$$

$$\%Pp2 = 5,641\%$$

Biodegradabilidad media del tratamiento TP1:

$$\%BTP1 = \frac{\sum_{i=1}^n \%Pp}{n_t}$$

$$\%BTP1 = \frac{3,688\% + 5,641\%}{2}$$

$$\%BTP1 = 4,665 \%$$

\*Se repite para cada tratamiento en suelo, agua y ambiente.



### 3.3. Resultados

Los análisis de datos y figuras se realizaron en el software Statgraphics 19 Centurion.

#### 3.3.1. Resultados del rendimiento de extracción de mucílago

**Tabla 11-3:** Resultados del rendimiento de extracción

No.	Tratamiento	Variables	Repetición	Rendimiento (%)
1	<b>T1</b>	RPM 1 : 30 s	R1	49,037
2			R2	44,829
3			R3	54,386
4			R4	43,089
5			R5	44,469
6	<b>T2</b>	RPM 1 : 60 s	R1	44,092
7			R2	48,257
8			R3	43,183
9			R4	42,514
10			R5	44,014
11	<b>T3</b>	RPM 1 : 90 s	R1	42,223
12			R2	42,669
13			R3	44,229
14			R4	51,729
15			R5	44,683
16	<b>T4</b>	RPM 2 : 30 s	R1	28,363
17			R2	40,710
18			R3	45,180
19			R4	49,110
20			R5	39,100
21	<b>T5</b>	RPM 2 : 60 s	R1	32,420
22			R2	46,350
23			R3	46,790
24			R4	41,840
25			R5	45,260
26	<b>T6</b>	RPM 2 : 90 s	R1	53,620
27			R2	49,560
28			R3	34,810
29			R4	56,320
30			R5	46,550

Realizado por: Quispe, Andrés, 2021.

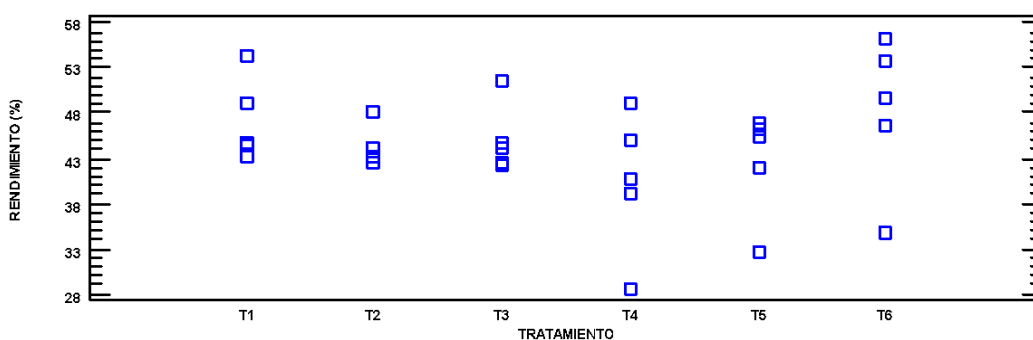
##### 3.3.1.1. Resumen estadístico de la extracción de mucílago

La tabla 12-3 indica diferentes datos estadísticos del rendimiento de extracción, la columna promedio enlista sus respectivos porcentajes de rendimiento por cada tratamiento, donde su valor se encuentra afectado por variables como: velocidad y tiempo.

**Tabla 12-3:** Resumen estadístico para el rendimiento de extracción

Tratamiento	Recuento	Promedio	Desviación Estándar	Coefficiente De Variación	Mínimo	Máximo	Rango
T1	5	47,162	4,609	9,773%	43,089	54,386	11,297
T2	5	44,412	2,244	5,054%	42,514	48,257	5,742
T3	5	45,106	3,842	8,518%	42,223	51,729	9,505
T4	5	40,495	7,833	19,342%	28,363	49,115	20,751
T5	5	42,537	5,975	14,048%	32,426	46,792	14,365
T6	5	48,177	8,352	17,337%	34,817	56,323	21,506
Total	30	44,648	5,974	13,382%	28,363	56,323	27,960

Realizado por: Quispe, Andrés, 2021.



**Figura 2-3:** Dispersión por código de nivel para el rendimiento de extracción

Realizado por: Quispe, Andrés, 2021.

**Descripción de la figura:** El tratamiento T6 presenta mayor dispersión entre sus repeticiones con una desviación estándar de 8,53 mientras para el tratamiento T2 con menor dispersión es de 2,24.

**Tabla 13-3:** ANOVA para el rendimiento de extracción por tratamiento

Fuente	Suma De Cuadrados	Gl	Cuadrado Medio	Razón-F	Valor-P
Entre grupos	203,716	5	40,743	1,180	0,349
Intra grupos	831,560	24	34,648		
Total (Corr.)	1035,280	29			

Realizado por: Quispe, Andrés, 2021.

La tabla ANOVA descompone la varianza de RENDIMIENTO de extracción en dos componentes: un componente entre-grupos y un componente dentro-de-grupos. La razón-F, que en este caso es igual a 1,17591, es el cociente entre el estimado entre-grupos y el estimado dentro-de-grupos. Puesto que el valor-P de la razón-F es mayor o igual que 0,05, no existe una diferencia estadísticamente significativa entre la media de RENDIMIENTO (%) entre un nivel de TRATAMIENTO y otro, con un nivel del 95,0% de confianza.

Según la bibliografía revisada gran parte de rendimientos son bajos, ya que no superan el 5 % debido a que, la mayoría de autores eliminan el agua ligada que posee el mucílago, tal es el caso de Barajan (2008), que obtuvo 0,85% y Quispe (2012) el 1,44% de rendimiento, estos autores poseen similares metodologías que se basan en triturar, realizar una extracción acuosa, filtrar, centrifugar, concentrar, precipitar, lavar, filtrar y secar, lo que ocasiona que gran parte de materia

prima se pierda durante el proceso, desperdiciando las propiedades que este polisacárido contiene. Sin embargo, Quiguango (2011) obtuvo un rendimiento del 48,5%, Pascoe et al. (2019) obtuvo el 62%, valores bastantes cercanos al de la presente investigación, el método usado para la extracción se basó netamente en exprimir el cladodio sin la adición de agua con ayuda de una extractora. Se observó que el tratamiento que presentó mayor rendimiento de extracción es el T6 con 48,17% bajo condiciones de trabajo a 2 rpm y 90 segundos, entre mayor sea la velocidad y el tiempo de extracción se genera mayor rendimiento.

### 3.3.1.2. Ensayos fisicoquímicos para el mucílago extraído

**Tabla 14-3:** Análisis fisicoquímico y microbiológico del mucílago extraído

Determinaciones	Unidades	Métodos de análisis	Valor
pH	%	Potenciómetro	6,636
Humedad	%	Gravimétrico	9,050
Ceniza	%	Gravimétrico	26,72
Punto de gelatinización	°C	Térmico	82,00
Ind. Solubilidad		Anderson	33,51
Coliformes totales	UFC/100mL	Siembra en masa	10000
Coliformes fecales	UFC/100mL	Siembra en masa	Ausencia
Mohos y levaduras	UFC/100mL	Siembra en masa	740,0
Proteína	%	Micro-Kjeldahl	0,428
Fibra	%	Gravimétrico	9,20100

Fuente: (SAQMIC, 2021).

Realizado por: Quispe, Andrés, 2021.

Para realizar la caracterización física química, se procedió a la deshidratación del mucílago para los respectivos ensayos en SAQMIC. Referente a la humedad, Garcia (2017) y Pascoe et al. (2019) presentaron el 9,45%, y 11,11% de humedad respectivamente, en comparación a los resultados generados en la presente investigación se obtuvo un contenido de humedad de 9,05% similar al encontrado en bibliografía. Para el ensayo de ceniza se obtuvo 26,72% comparando con resultados bibliográficos Pascoe et al. (2019) encontró un contenido de ceniza del 23,565% en nopal tierno y 17,461% en nopal maduro, lo que se deduce que la edad del nopal influye en este parámetro. La temperatura de gelatinización es una característica propia del almidón, el almidón posee una fracción insoluble gracias a que posee una estructura altamente organizada la parte que no se disuelve, al adicionar temperatura el mucílago empieza a absorber agua lentamente en lugares menos organizados e incrementando su volumen (Rivera, 2015), el mucílago de nopal posee una temperatura de 82°C hasta alcanzar su volumen máximo y empezar a formar geles, no se encontró datos comparativos con la misma especie para este parámetro, Rivera (2015) reportó una temperatura de almidón de sorgo a 77,6°C, Salgado et al. (2019) obtuvo en el ñame criollo

una temperatura de 84°C, en comparación al dato citado anteriormente se encuentra similitud entre los resultados. La proteína es un componente minoritario que determina la pureza del mucílago ya que sus trazas pueden influir importantemente en las propiedades fisicoquímicas y tecnológicas del mucílago (Amorim, 2015), el mucílago presentó 0,428% de proteína menor a los valores reportados por autores como Pascoe et al (2019) con 3,88%, sin embargo, la FAO establece un valor de referencia máximo permitido del 0,064%, se deduce entonces que el mucílago presenta baja pureza.

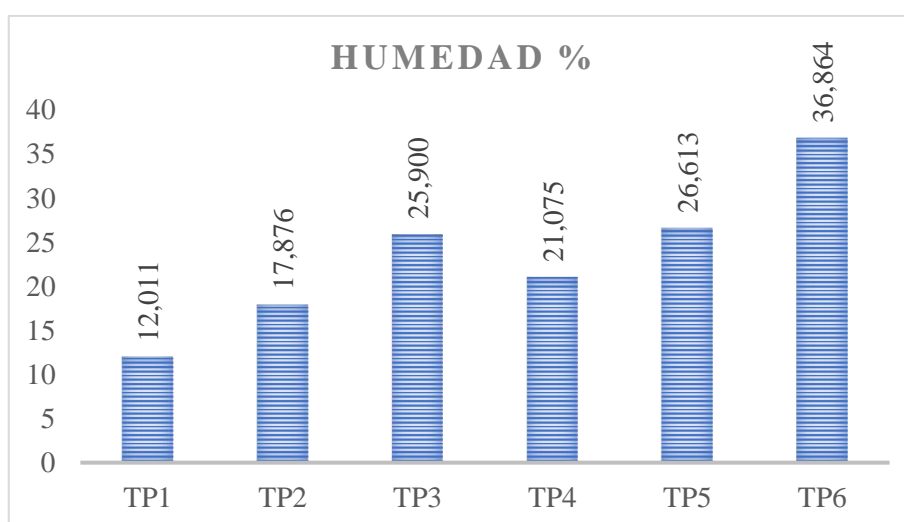
### 3.3.2. Resultados de los ensayos de caracterización del plástico biodegradable

#### 3.3.2.1. Resultados de humedad

**Tabla 15-3:** Resultados de humedad para cada repetición

No.	Tratamiento	Repetición	Humedad%	Media %
1	TP1	R1	9,121	12,011
2		R2	14,902	
3	TP2	R1	16,637	17,876
4		R2	19,115	
5	TP3	R1	26,043	25,900
6		R2	25,758	
7	TP4	R1	22,194	21,075
8		R2	19,955	
9	TP5	R1	29,289	26,613
10		R2	23,937	
11	TP6	R1	37,963	36,864
12		R2	35,765	

Realizado por: Quispe, Andrés, 2021.



**Gráfico 1-3:** Humedad por tratamientos

Realizado por: Quispe, Andrés, 2021.

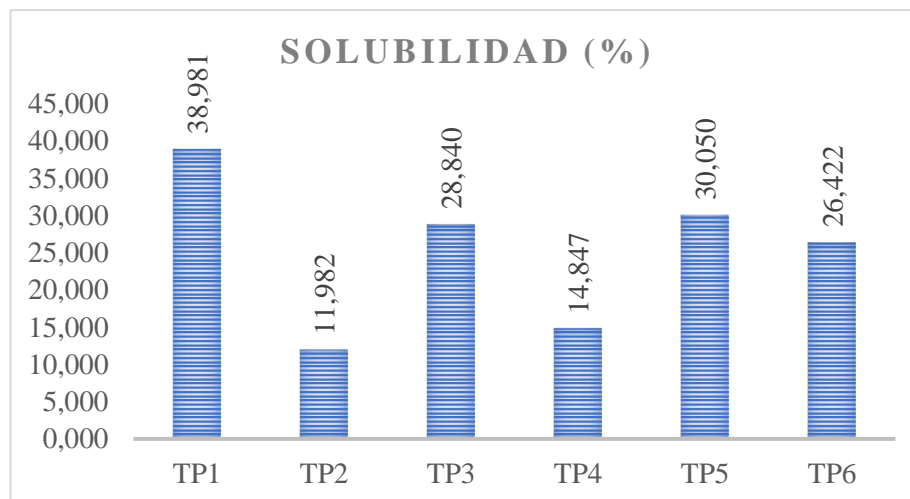
Se observó en el gráfico 1-3 que el tratamiento con mayor porcentaje de humedad es el TP6 con 36,864%, compuesto de 8 g de mucílago, 3 gramos de proteína, por lo contrario, el tratamiento TP2 tiene menor contenido de humedad del 12,011% a 6 g de mucílago y 2 g de proteína, en el cual, se deduce la influencia de las variables y se determinó que el contenido de mucílago y la proteína reaccionan directamente de manera proporcional sobre la humedad, es decir, a mayor concentración de las variables independientes, la humedad aumenta, la norma ASTM 6980 menciona que el % Humedad en un plástico convencional debe ser <1%, sin embargo, Parra (2020) detalló una humedad entre 15,49% a 37,88% en biofilms de zanahoria blanca y camote, valores similares a la presente investigación, no obstante, estos datos se encuentran fuera del límite permitido por la norma, debido a que, la humedad es una característica principal en bioplásticos, ya sea, por el origen de su materia prima o por como los aditivos influyen en las películas, además de jugar un papel importante en la biodegradabilidad.

### 3.3.2.2. Resultados de solubilidad

**Tabla 16-3:** Resultados de solubilidad para cada repetición

No.	Tratamiento	Repetición	Solubilidad %	Media
1	TP1	R1	39,223	38,981
2		R2	38,738	
3	TP2	R1	11,458	11,982
4		R2	12,506	
5	TP3	R1	28,341	28,840
6		R2	29,338	
7	TP4	R1	19,189	14,847
8		R2	10,504	
9	TP5	R1	31,699	30,050
10		R2	28,400	
11	TP6	R1	24,962	26,422
12		R2	27,882	

Realizado por: Quispe, Andrés, 2021.



**Gráfico 2-3:** Solubilidad por tratamientos

**Realizado por:** Quispe, Andrés, 2021.

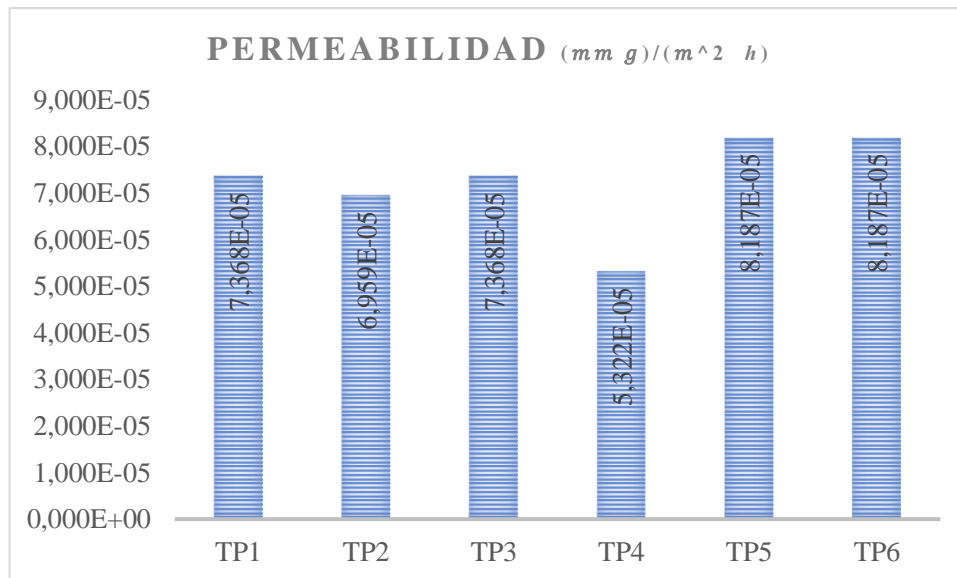
El tratamiento que presenta mayor solubilidad es el TP1 con 38,98% bajo condiciones de 6 g de mucílago y un gramo de proteína, por el contrario el TP2 presentó menor porcentaje con 11,98% de solubilidad, Amorim (2015) obtuvo una solubilidad del bioplástico a base de yaca con proteína del 18,36%, aunque, los datos se mantienen cercanos al encontrado en bibliografía, se puede atribuir los valores a una interacción entre la proteína y el almidón contenido en el mucílago reduciendo la capacidad para interactuar entre el almidón y las moléculas de agua, disminuyendo así la solubilidad (Amorim, 2015), porcentajes menores al 70 %, son ideales para trabajar en empaques para alimentos, por lo que, los resultados se encuentran dentro del límite.

### 3.3.2.3. Resultados de permeabilidad

**Tabla 17-3:** Resultados de permeabilidad para cada repetición

No.	Tratamiento	Repetición	Permeabilidad ( $\frac{mm\ g}{m^2\ h}$ )	Promedio ( $\frac{mm\ g}{m^2\ h}$ )
1	TP1	R1	8,187E-05	7,368E-05
2		R2	6,550E-05	
3	TP2	R1	7,368E-05	6,959E-05
4		R2	6,550E-05	
5	TP3	R1	7,368E-05	7,368E-05
6		R2	7,368E-05	
7	TP4	R1	6,550E-05	5,322E-05
8		R2	4,093E-05	
9	TP5	R1	9,824E-05	8,187E-05
10		R2	6,550E-05	
11	TP6	R1	9,824E-05	8,187E-05
12		R2	6,550E-05	

**Realizado por:** Quispe, Andrés, 2021.



**Gráfico 3-3:** Permeabilidad por tratamientos

**Realizado por:** Quispe, Andrés, 2021

Se observó que, a mayor cantidad de mucílago, mayor es la permeabilidad de la película plástica, lo mismo sucede con la proteína, según Fakhoury et al., (2012) esto se produce cuando la proteína es agregada a la matriz de almidón se asienta entre las cadenas de amilosa y amilopectina, lo que conduce a interacciones reducidas, así se producen las cadenas, aumentando el volumen libre y permitiendo una mayor difusión del agua (Amorim, 2015). Explicado lo antes mencionado, se tiene que el TP4 presenta menor permeabilidad con  $5,322E-05 \frac{mm\ g}{m^2\ h}$ , mientras que TP6 Y TP5 manejan el  $8,187E-5 \frac{mm\ g}{m^2\ h}$  de permeabilidad para ambos casos. Amorin (2015) obtuvo una permeabilidad de  $0,000042 \frac{mm\ g}{m^2\ h}$ , mientras que Arriaga (2019) obtuvo  $0,00008206 \frac{mm\ g}{m^2\ h}$ . Estos resultados bibliográficos son similares a la presente investigación. Según bibliografía encontrada menciona que la transmisión de vapor de agua es una propiedad que afecta al deterioro de las películas, mencionó también que es un fenómeno acoplado de sorción y difusión, por lo que se deduce “que a mayor grado de entrecruzamiento de la matriz polimérica mayor es la dificultad del camino recorrido por las moléculas de agua a través de la matriz polimérica, lo cual hace disminuir la permeabilidad” (Arriaga, 2019). Fakhoury et al., (2012), detallan que la permeabilidad al vapor de agua de las películas de almidón y gelatina aumentan con el aumento del contenido de proteínas. Rocha et al., 2014 también observaron el mismo comportamiento y relatan que el PVA máximo de películas biodegradables a base de almidón de yuca y proteína de soja se encontró en películas elaboradas con el máximo contenido de proteína de soja. Los valores de permeabilidad al vapor de agua de las películas poliméricas pueden ser utilizados en la predicción de la vida útil de productos plásticos con aplicaciones específicas para ellos (Balan, 2012, p.23).

### 3.3.2.4. Resultados de Tracción

**Tabla 18-3:** Resultados de tracción para cada repetición

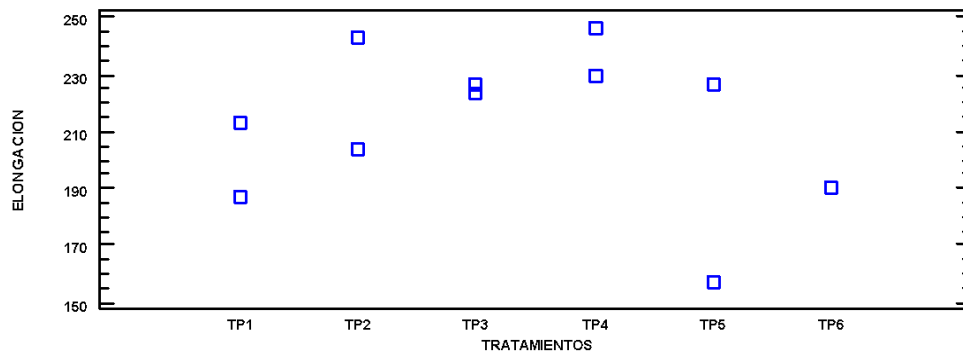
N°	Tratamiento	Tención (N/cm2)	% Elongación
T1	R1	130,667	186,7
	R2	234,667	213,3
T2	R1	163,333	243,3
	R2	108,889	203,3
T3	R1	131,111	226,7
	R2	131,111	223,3
T4	R1	262,222	230,0
	R2	262,222	246,7
T5	R1	38,667	226,7
	R2	44,444	156,7
T6	R1	130,000	190,0
	R2	144,000	190,0

Realizado por: Quispe, Andrés, 2021.

**Tabla 19-3:** Resumen estadístico para % Elongación

Tratamientos	Recuento	Promedio	Desviación Estándar	Coefficiente De Variación	Mínimo	Máximo	Rango
TP1	2	200,000	18,809	9,404%	186,700	213,300	26,600
TP2	2	223,300	28,284	12,666%	203,300	243,300	40,000
TP3	2	225,000	2,404	1,068%	223,300	226,700	3,400
TP4	2	238,350	11,808	4,954%	230,000	246,700	16,700
TP5	2	191,700	49,497	25,820%	156,700	226,700	70,000
TP6	2	190,000	0,000	0,000%	190,000	190,000	0,000
Total	12	211,392	26,640	12,602%	156,700	246,700	90,000

Realizado por: Quispe, Andrés, 2021.



**Figura 3-3:** Dispersión por código de nivel para el % Elongación

Realizado por: Quispe, Andrés, 2021.

**Descripción de la figura:** El tratamiento TP5 presentan mayor dispersión entre sus repeticiones con una desviación estándar de 49,49 mientras para el tratamiento TP6 no se evidencia dispersión en sus datos.

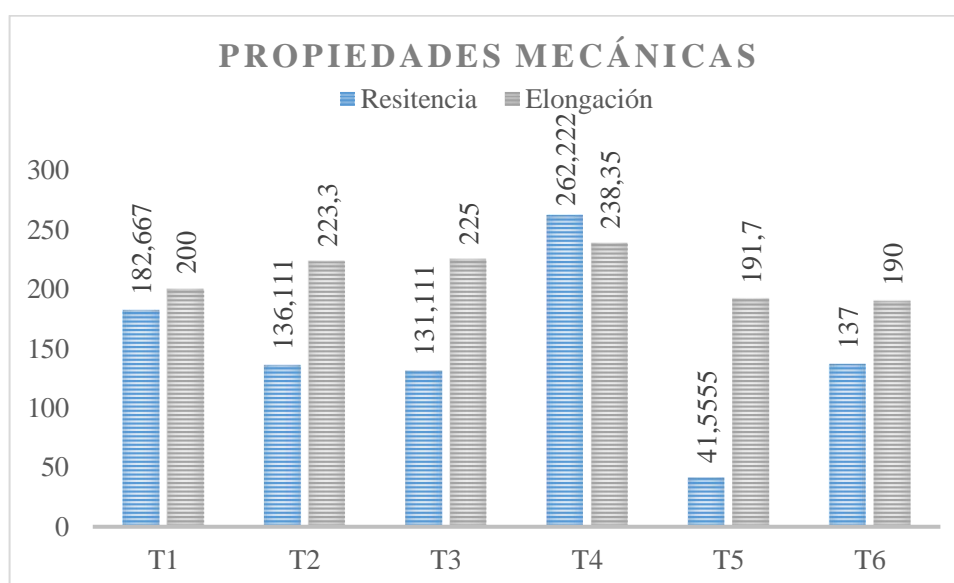


**Tabla 20-3:** ANOVA para % Elongación por tratamientos

Fuente	Suma de Cuadrados	Gl	Cuadrado Medio	Razón-F	Valor-P
Entre grupos	4057,760	5	811,553	1,300	0,375
Intra grupos	3749,010	6	624,834		
Total (Corr.)	7806,770	11			

Realizado por: Quispe, Andrés, 2021.

La tabla 20-3, detalla una razón-F, igual a 1,29883, debido a que, el valor-P de la razón-F es mayor o igual que 0,05, no existe una diferencia estadísticamente significativa entre la media de ELONGACIÓN entre un nivel de TRATAMIENTOS y otro, con un nivel del 95,0% de confianza.



**Gráfico 4-3:** Propiedades mecánicas por tratamientos

Realizado por: Quispe, Andrés, 2021.

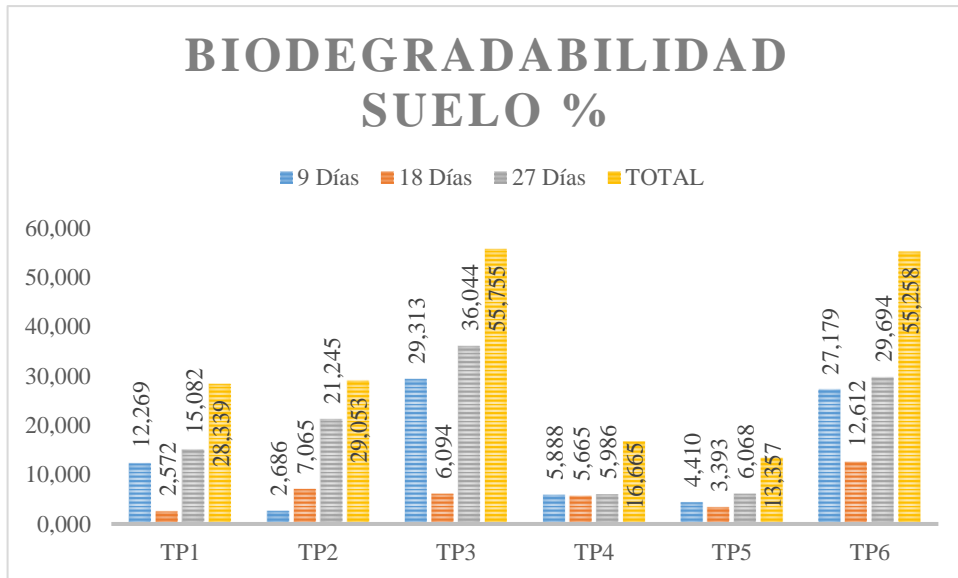
El tratamiento que presentó mayor elongación fue TP4 con el 238,35% bajo condiciones de 8 g mucílago, 1 g de proteína, Amorim (2015) encontró un elongamiento del 215,82% en bioplástico a partir de jaca y proteína mientras que Pascoe (2015) obtuvo 10,88% en un bioplástico a base de mucílago de nopal (*Opuntia ficus*), el valor que se asemeja esta investigación es el bioplástico a partir de jaca y proteína, estas proteínas dispersas en la matriz amilácea actúan como un plastificante aumentando el volumen libre entre las cadenas y consecuentemente aumentando la flexibilidad y capacidad de alargamiento de este bioplástico. Se deduce que el tipo de proteína que usó Pascoe (2015) no causó el mismo comportamiento en la película bioplástica.

### 3.3.2.5. Resultados de biodegradabilidad

**Tabla 21-3:** Resultados de biodegradabilidad de cada repetición (suelo, agua y ambiente)

No.	Tratamiento	Repetición	Biodegradabilidad %							
			9 días	18 días	27 días	Final				
<b>SUELO</b>										
1	TP1	R1	18,833	12,269	2,982	2,572	1,088	15,082	22,110	28,339
2		R2	5,705		2,163		29,075		34,568	
3	TP2	R1	5,268	2,686	6,456	7,065	6,536	21,245	17,176	29,053
4		R2	0,104		7,674		35,953		40,930	
5	TP3	R1	32,405	29,313	9,750	6,094	67,367	36,044	80,092	55,755
6		R2	26,222		2,438		4,721		31,418	
7	TP4	R1	2,120	5,888	8,635	5,665	9,495	5,986	19,063	16,665
8		R2	9,656		2,694		2,476		14,267	
9	TP5	R1	7,549	4,410	1,385	3,393	2,447	6,068	11,060	13,357
10		R2	1,270		5,401		9,690		15,653	
11	TP6	R1	36,775	27,179	5,731	12,612	43,493	29,694	66,321	55,258
12		R2	17,582		19,492		15,895		44,194	
<b>AGUA</b>										
1	TP1	R1	9,349	15,223	3,991	5,303	100,000	100,000	100,000	100,000
2		R2	21,096		6,615		100,000		100,000	
3	TP2	R1	100,000	100,000	100,000	100,000	100,000	100,000	100,000	100,000
4		R2	100,000		100,000		100,000		100,000	
5	TP3	R1	2,308	13,827	15,554	9,379	100,000	100,000	100,000	100,000
6		R2	25,346		3,204		100,000		100,000	
7	TP4	R1	100,000	100,000	100,000	100,000	100,000	100,000	100,000	100,000
8		R2	100,000		100,000		100,000		100,000	
9	TP5	R1	100,000	100,000	100,000	100,000	100,000	100,000	100,000	100,000
10		R2	100,000		100,000		100,000		100,000	
11	TP6	R1	100,000	100,000	100,000	100,000	100,000	100,000	100,000	100,000
12		R2	100,000		100,000		100,000		100,000	
<b>AMBIENTE</b>										
1	TP1	R1	3,688	4,665	0,966	2,154	1,265	0,723	5,826	7,393
2		R2	5,641		3,341		0,182		8,959	
3	TP2	R1	6,574	3,387	1,109	0,844	2,407	3,299	9,833	7,386
4		R2	0,201		0,580		4,191		4,938	
5	TP3	R1	5,292	4,638	4,871	3,416	6,839	5,915	16,066	13,316
6		R2	3,984		1,962		4,991		10,566	
7	TP4	R1	1,819	2,409	3,197	2,000	2,198	1,176	7,047	5,487
8		R2	2,999		0,802		0,155		3,926	
9	TP5	R1	8,373	6,429	1,665	1,972	0,935	0,681	10,741	8,902
10		R2	4,485		2,280		0,427		7,062	
11	TP6	R1	7,464	10,255	1,699	2,726	1,619	1,630	10,509	14,097
12		R2	13,046		3,754		1,642		17,684	

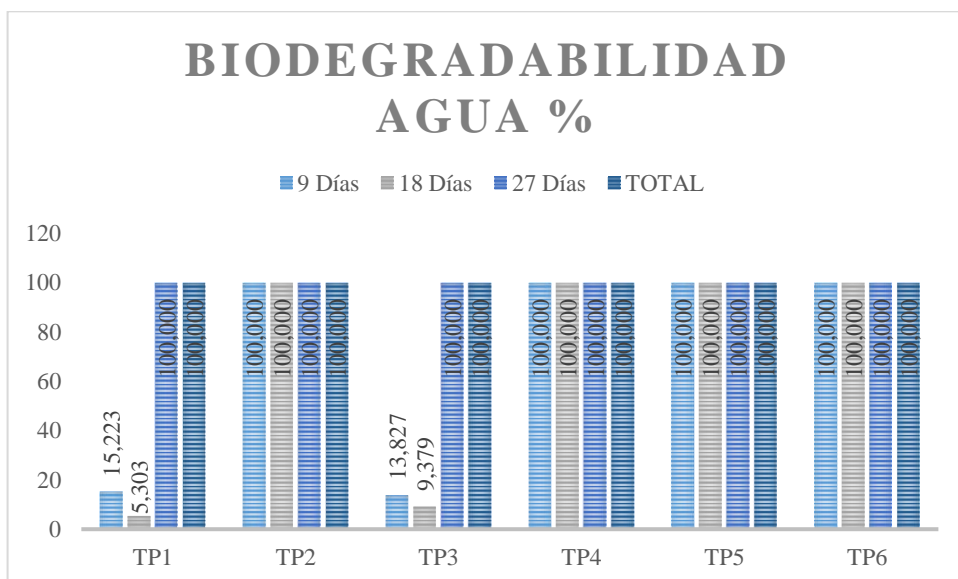
Realizado por: Quispe, Andrés, 2021.



**Gráfico 5-3:** Biodegradabilidad en suelo durante 27 días

**Realizado por:** Quispe, Andrés, 2021.

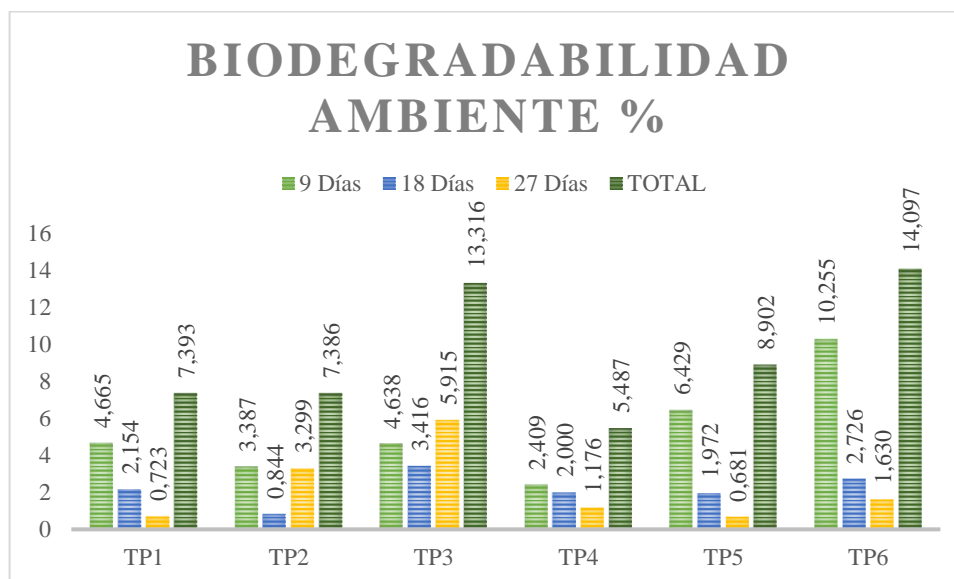
El tratamiento que presento mayor biodegradabilidad fue el TP3 (6 g de mucílago y 3 g de proteína), 55,755% en 27 días, estos resultados mantienen concordancia con la norma INEN 2643 (Especificaciones para Plásticos Compostables), ya que posee una velocidad de degradación similar a otros materiales orgánicos como Parra (2019) en películas con almidón de zanahoria y camote. Por otra parte, los tratamientos restantes presentan baja biodegradación no mayor al 40%, se deduce que, a mayor contenido de proteína y mucílago en las formulaciones mayor será el deterioro de las películas.



**Gráfico 6-3:** Biodegradabilidad en agua durante 27 días

**Realizado por:** Quispe, Andrés, 2021

Se observó que los tratamientos TP1 Y TP3 se degradaron al 100% en alrededor de 18 días, mientras que el resto sufrió una degradación total en menos de 7 días, se estima que la concentración de mucílago y proteína produce mayor velocidad de degradación bajo este medio.



**Gráfico 7-3:** Biodegradabilidad en el ambiente durante 27 días

**Realizado por:** Quispe, Andrés, 2021

Por otra parte, el gráfico 7-3, indica una baja biodegradabilidad en los tratamientos, sin embargo, el tratamiento con mayor degradación fue TP6 con 14,097%, se puede observar la influencia de las variables independientes, ya que, según la gráfica a mayor concentración de mucílago y proteína, mayor es la biodegradabilidad, a su vez, estos rendimientos dan una pauta clave en el tiempo de vida del bioplástico.

### 3.3. Prueba de hipótesis

#### 3.4.1. Hipótesis 1

*La metodología de extracción del mucílago de los cladodios de nopal (Opuntia tomentosa) tendrá un buen rendimiento.*

Después de seleccionar la materia prima, se acondicionó los cladodios de nopal, por lo que, se despinó, lavó y desinfectó, para seguidamente pasar a trocear, exprimir y macerar en refrigeración, todas estas operaciones permitió obtener un rendimiento en el tratamiento T6 del 48,17% de mucílago extraído, el resultado fue similar a datos reportados por bibliografía, como Quiguango (2011) que obtuvo un rendimiento del 48,5% y Pascoe et al. (2019) con el 62 %, el método usado para la extracción se basó netamente en exprimir el cladodio con ayuda de una extractora bajo condiciones de trabajo a 2 rpm y 90 segundos evitando la eliminación del agua

ligada que presenta el mucílago aprovechando todos los polímeros que se encuentran contenidos en él.

### **3.4.2. Hipótesis 2**

*La materia prima presenta características de calidad para la obtención del plástico biodegradable.*

Bibliográficamente se reporta la calidad del mucílago de nopal para la elaboración de plástico biodegradable, según Del Valle et al. (2015) mencionan que la capacidad del mucílago para formar geles en agua y su propiedad de absorción permiten que se disuelva incrementando su viscosidad, por otra parte, Gebresamue, (2011) realizó una comparación de los mucílagos de dos especies *Opuntia ficus indica* (OFI) y *Opuntia littoralis* (OL) y comprobó la consistencia deseada a nivel industrial, ya que, poseen el 100% de humedad relativa, la propiedad de absorción de humedad fueron 95,4% en OFI y 76,9% en OL, el pH de ambos mucílagos en dispersiones al 12% eran 5,57 en OFI y 5,87 en OL, la conductividad fue de 13,12 mS/cm en OFI y 9,31 mS/cm en OL. Las viscosidades aparentes fueron 9,017 mPas en OFI y 10,060 mPas en OL, donde las dispersiones disminuyeron con el aumento de las velocidades de cizallamiento, lo que convirtió a las dispersiones en un flujo pseudoplástico, la tensión superficial de las dispersiones acuosas fueron de 28,71 mN/M en OFI y 39,7 mN/M en OL, los resultados del estudio demostraron que los mucílagos son aptos para su uso como excipientes alimentarios y farmacéuticos, así mismo, Salinas et al. (2015) destacó la capacidad de formar una red estructural, permitiendo la formación de películas, y detalló que la composición química del nopal se asemeja con algunas gomas comerciales (Miranda et al., 2019, p.34).

### **3.4.3. Hipótesis 3**

*La formulación seleccionada será adecuada para obtener plástico biodegradable a partir de los cladodios de nopal (*Opuntia tomentosa*).*

La formulación óptima se obtuvo con el tratamiento OTP4, donde el mucílago estuvo presente en un 76,19% de la composición, el plástico biodegradable mantuvo características satisfactorias como: resistencia al tacto, transparencia, flexibilidad y homogeneidad, dando como positivo el resultado ya que cumple con las expectativas deseadas.

#### **3.4.4. Hipótesis 4**

*El plástico biodegradable presenta buenas propiedades de tracción similares al plástico convencional.*

Según la norma técnica ecuatoriana INEN 2290:2015 manifiesta que las fundas plásticas para uso sanitario deben presentar una resistencia a la tensión  $\geq 12$  MPa y una elongación  $\geq 200\%$ , por lo que, el tratamiento TP4 se encontró dentro de los parámetros establecidos por la normativa con una resistencia a la tensión de 262,22 MPa y una elongación de 238,35%. demostrando que la formulación puede sustituir fundas plásticas sanitarias de alta densidad. Además, su baja solubilidad, humedad, y biodegradabilidad aumentan el tiempo de vida útil.

## CONCLUSIONES

- Se obtuvo mucílago de los cladodios de nopal (*Opuntia tomentosa*), mediante el acondicionamiento de los cladodios para su posterior reducción de tamaño, exprimido y macerado, con un rendimiento de extracción en el tratamiento T6 del 48,17% bajo condiciones de 2 rpm a 90 segundos.
- Se caracterizó el mucílago mediante un análisis químico y microbiológico, se obtuvo un pH de 6,36, humedad de 9,05%, índice de solubilidad de 33,51, punto de gelatinización de 82°C, ceniza 26,72%, fibra de 9,20% y en porcentajes menores proteína 0,428%, por lo que, se dedujo que el mucílago obtenido es de buena calidad para el empleo de plásticos biodegradables.
- Se realizó un diseño factorial de niveles mixtos 3<sup>2</sup> con dos repeticiones en cada tratamiento, donde la variable respuesta a ser medida fue el bioplástico, mientras que las variables controlables fueron el mucílago de nopal y la proteína, se concluyó que la mejor formulación fue la TP4, bajo condiciones de trabajo a 100 rpm en la agitación y mezclado de componentes a 82°C durante 10 minutos.
- Se validó el plástico biodegradable obtenido mediante su caracterización en base a normas, el ensayo de permeabilidad se fundamentó bajo la norma ASTM D1653-93 se obtuvo un resultado para el TP4 de  $0,000052 \frac{mm \cdot g}{m^2 \cdot h}$ , presenta también bajo contenido de humedad de 26,727% brindando estabilidad al bioplástico evitando su deformación, solubilidad del 14,847%, degradándose el 16,665 % en 27 días, según la NTE INEN 2643(Especificaciones para Plásticos Compostables), para las propiedades mecánicas se basó en la NTE INEN 2635 (Método de Ensayo para las propiedades de Tracción de Láminas Plásticas Delgadas) teniendo una resistencia a la tensión del 226,22 MPa y una elongación del 238,35%, deduciendo que el plástico biodegradable obtenido puede ser usado como bolsas plásticas de uso sanitario ya que sus valores se encuentran dentro de los límites establecidos por la Norma Técnica Ecuatoriana.

## **RECOMENDACIONES**

- Los cladodios de nopal deben tener una edad de dos a tres años debido a que en esta época se genera mayor cantidad de mucílago.
- El tiempo de maceración no debe exceder los tres días ya que por la actividad del agua empiezan a reproducirse microorganismos, afectando la calidad de materia prima.
- Se recomienda evaluar el plástico como posible recubrimiento de alimentos.



## BIBLIOGRAFÍA

**ABRAJÁN VILLASEÑOR, Myrna Alicia.** Efecto del método de extracción en las características químicas y físicas del mucílago del nopal (*Opuntia Ficus-Indica*) y estudio de su aplicación como recubrimiento comestible. [En línea] (Trabajo de titulación). (Doctoral) Universidad Politécnica De Valencia, Valencia, España. 2008. pp. 33-56. [Consulta: 2021-01-23]. Disponible en: <https://riunet.upv.es/bitstream/handle/10251/3794/tesisUPV2920.pdf>

**AMORIM SANTOS, Taline.** Desarrollo y caracterización de bioplásticos basados de almidón de jaca con incorporación de lisozima. [En línea] (Trabajo de titulación). (Maestría) Universidad estatal del suroeste de Bahía – UESB, Bahía, Brasil. 2015. pp.30-54. [Consulta: 2021-03-11]. Disponible en: [https://hugepdf.com/download/desenvolvimento-e-caracterizaao-de-bioplasticos-a-base-de-5b0b793784bd2\\_pdf](https://hugepdf.com/download/desenvolvimento-e-caracterizaao-de-bioplasticos-a-base-de-5b0b793784bd2_pdf)

**ARRIAGA PEREA, Jefer Andrés.** Evaluación de las propiedades físicas de películas de gliadinas con el uso de formaldehído como agente entrecruzante. [En línea] (Trabajo de titulación). (Maestría) Universidad de La Salle, Bogotá, Colombia. 2019. pp. 17-54. [Consulta: 2020-12-28]. Disponible en: [https://ciencia.lasalle.edu.co/cgi/viewcontent.cgi?article=1259&context=ing\\_alimentos](https://ciencia.lasalle.edu.co/cgi/viewcontent.cgi?article=1259&context=ing_alimentos)

**BALAN, Geane Cristiane.** Propriedades de Sorção de Filmes a Base de Amido de Mandioca, Gelatina, Pbat e Óleo Essencial. [En línea] (Trabajo de titulación). (Maestría) Universidad Tecnológica Federal De Paraná. Brasil, 2013. pp. 13-41 [Consulta: 2021-03-08]. Disponible en: [https://repositorio.utfpr.edu.br/jspui/bitstream/1/12429/2/LD\\_COALM\\_2013\\_1\\_05.pdf](https://repositorio.utfpr.edu.br/jspui/bitstream/1/12429/2/LD_COALM_2013_1_05.pdf)

**BRUDER., U.** “User's Guide to Plastic”. *Bioplastics and Biocomposites* [en línea], 2019, (), pp. 59–69. [Consulta: 30 enero 2021]. Disponible en: doi:10.3139/9781569907351.006

**CAMPS, Silvia; PÉREZ, Hernán; FERNANDEZ, Mónica; LARRAVOZ, Angels; RAMÍREZ, Eliana; RECASENS, Francisco; & SANS, Jordi.** Proceso de hidrogenación parcial de triglicéridos insaturados en fase vapor a alta presión y reactor para la realización de dicho proceso [en línea]. 2004. [Consulta: 30 diciembre 2020]. Disponible en: <https://patents.google.com/patent/ES2245901A1/es>

**CHICAIZA, L., & PALLO, J.** Elaboración de néctar de dos variedades de tuna (*Opuntia tomentosa* y *Opuntia Boldinghii*) utilizando dos tipos de endulzantes (stevia y miel de abeja) y dos antioxidantes (Ácido Ascórbico y Meta Bisulfito de Sodio) en los laboratorios de la carrera

de ingeniería agroindustrial en la Universidad Técnica De Cotopaxi en el periodo 2014-2015 [En línea] (Trabajo de titulación). (Pregrado) Universidad Técnica de Cotopaxi, Cotopaxi, Ecuador. 2016. pp 18-88. [Consulta: 8 enero de 2021]. Disponible en: <http://repositorio.utc.edu.ec/bitstream/27000/2642/1/T-UTC-00178.pdf>

**DE LA CRUZ, E & HUAMÁN, J.** Formación de Hidrocarburos Aromáticos Policíclicos y del 3,4 benzopireno en aceites comestibles alterados por calentamiento. [en línea] 2002. [Consulta: 16 de 09 de 2020.] Disponible en: [https://sisbib.unmsm.edu.pe/bibVirtualData/Tesis/Salud/cruz\\_re/T\\_completo.pdf](https://sisbib.unmsm.edu.pe/bibVirtualData/Tesis/Salud/cruz_re/T_completo.pdf).

**DE LOS SANTOS SANTOS, Miguel Ángel.** Aplicación y evaluación de biopelículas con base a Mucílago y almidón en frutos de guanábana (*Annona muricata L.*) [En línea] (Trabajo de titulación). (Maestría) Universidad Autónoma De Nayarit, Xalisco, México. 2020. pp. 1-86. [Consulta: 16 enero de 2021]. Disponible en: [http://aramara.uan.mx:8080/bitstream/123456789/2312/1/APLICACION%20Y%20EVALUACION%20DE%20BIOPEL%20CON%20BASE%20A%20MUC%20LAGO%20Y%20ALMID%20EN%20FRUTOS%20DE%20GUAN%20ANA\\_compressed.pdf](http://aramara.uan.mx:8080/bitstream/123456789/2312/1/APLICACION%20Y%20EVALUACION%20DE%20BIOPELICULAS%20CON%20BASE%20A%20MUCILAGO%20Y%20ALMIDON%20EN%20FRUTOS%20DE%20GUANABANA_compressed.pdf)

**DEL VALLE, V., HERNÁNDEZ, P., GUARDA, A., & GALOTTO, M.** “Development of a cactusmucilage edible coating (*Opuntia ficus indica*) and its application to extend strawberry (*Fragaria ananassa*) shelf-life”. *Food Chemistry* [en línea], 2005, 91(4), pp. 751–756. [Consulta: 2021-03-15]. Disponible en: <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2004.07.002>

**ECURED.** “*Opuntia tomentosa*” [en línea] 2020. [Consulta: 6 de enero de 2021.] Disponible en: [https://www.ecured.cu/Opuntia\\_tomentosa](https://www.ecured.cu/Opuntia_tomentosa)

**FAKHOURY, Farayde Matta et al.** Edible films made from blends of manioc starch and gelatin—Influence of different types of plasticizer and different levels of macromolecules on their properties. *LWT-Food Science and Technology* [en línea], 2012, 49(1), pp. 149-154. [Consulta: 2021-03-08]. Disponible en: <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0023643812001880>

**GARCÍA NAUTO, Nidia.** Optimización de la extracción acuosa y secado del biopolímero de nopal (*Opuntia ficus-indica*). [En línea] (Trabajo de titulación). (Maestría) Universidad de Chile, Santiago, Chile. 2017. pp. 2-33. [Consulta: 2021-03-13]. Disponible en: <http://repositorio.uchile.cl/bitstream/handle/2250/151051/Optimizaci%C3%B3n-de-la-extraccion-acuosa-y-secado-del-biopolimero-de-nopal-%28Opuntia-Ficus-Indica%29.pdf?sequence=1&isAllowed=y>

**GEBRESAMUEL, N., & TSIGE GEBREMARIAM.** “Comparative Physico-Chemical Characterization of the Mucilages of Two Cactus Pears (*Opuntia* spp.) Obtained from Mekelle, Northern Ethiopia”. *Journal of Biomaterials and Nanobiotechnology* [en línea], 2011, pp. 79–86. [Consulta: 2021-03-11]. Disponible en: [https://www.researchgate.net/publication/265889828\\_Comparative\\_Physico-Chemical\\_Characterization\\_of\\_the\\_Mucilages\\_of\\_Two\\_Cactus\\_Pears\\_Opuntia\\_Spp\\_Obtained\\_from\\_Mekelle\\_Northern\\_Ethiopia](https://www.researchgate.net/publication/265889828_Comparative_Physico-Chemical_Characterization_of_the_Mucilages_of_Two_Cactus_Pears_Opuntia_Spp_Obtained_from_Mekelle_Northern_Ethiopia)

**GHERIBI, R., HABIBI, Y., & KHWALDIA, K.** “Las cáscaras de tuna como un valioso recurso de polisacárido de valor añadido: estudio de las propiedades estructurales, funcionales y filmógenas”. *International Journal of Biological Macromolecules* [en línea], 2019, (Túnez), 126(1), pp. 238-245. [Consulta: 15 enero de 2021]. Disponible en: <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0141813018353443>

**GHERIBI, R., PUCHOT, L., VERGE, P., JAOUED, N., MEZNI, M., HABIBI, Y., & KHWALDIA, K.** “Desarrollo de películas comestibles plastificadas a partir de mucílagos de *Opuntia ficus-indica*: un estudio comparativo de varios plastificantes de poliálcool”. *Carbohydrate Polymers* [en línea], 2018, (Túnez), 190, pp. 204-211. [Consulta: 12 enero de 2021]. Disponible en: <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0144861718302431>

**GÓMEZ MARTÍNEZ, Diana Patricia.** Desarrollo de bioplásticos a partir de subproductos agroalimentarios con aplicaciones en envases y matrices de difusión. [En línea] (Trabajo de titulación). (Maestría) Universidad de Huelva, Huelva, España. 2013. pp.18-199. [Consulta: 2021-03-12]. Disponible en: <http://rabida.uhu.es/dspace/handle/10272/12612>

**GUEVARA, E.** Nopal Chamacuelo “*Opuntia tomentosa*” [en línea]. 2017. [Consulta: 26 diciembre 2020]. Disponible en: <https://www.naturalista.mx/photos/9502983>

**GUARDIOLA DE LEÓN, Angélica Janet.** Extracción y caracterización de mucílago del nopal (*Opuntia ficus indica* (L.) Miller) de cinco cultivares, en tres estados de maduración [En línea] (Trabajo de titulación). (Maestría) Universidad Autónoma de Nuevo León, Nuevo León, México. 2018. pp.18-52. [Consulta: 2021-03-13]. Disponible en: <http://eprints.uanl.mx/18573/1/1080289242.pdf>

**GUZMAN, D., & CHAVEZ, J.** “Estudio bromatológico del cladodio del nopal (*Opuntia ficus-indica*) para el consumo humano”. *Rev. Soc. Quím. Perú* [en línea]. 2007, (Perú), 73(1), pp.41-45. [Consulta: 8 febrero de 2021]. ISSN 1810-634X. Disponible en: [http://www.scielo.org.pe/scielo.php?script=sci\\_arttext&pid=S1810-634X2007000100005&lng=es&nrm=iso](http://www.scielo.org.pe/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1810-634X2007000100005&lng=es&nrm=iso)

**LA HORA.** Comida sana vs. Chatarra, el reto a superar a diario [en línea]. 2019. [Consulta: 30 diciembre 2020]. Disponible en: <https://www.lahora.com.ec/esmeraldas/noticia/1102249262/comida-sana-vs-chatarra-el-reto-a-superar-a-diario>

**LATHAM, M.** *Nutrición humana en el mundo en desarrollo* [en línea]. Nueva York-Estados Unidos. Colección FAO: Alimentación y nutrición N° 29. 2002. [Consulta: 30 diciembre 2020]. Disponible en: <http://www.fao.org/3/w0073s/w0073s0d.htm>

**LINDE.** Hidrogenación de Aceites y Grasas [en línea]. 2020. [Consulta: 28 diciembre 2020]. Disponible en: [https://www.linde-gas.es/es/processes/process\\_chemistry\\_and\\_refining/hydrogenation/index.html](https://www.linde-gas.es/es/processes/process_chemistry_and_refining/hydrogenation/index.html)

**LORENZO, M., & GARCIA, E.** “Obtención y caracterización estructural de celulosa extraída de endocarpio fibroso de mango (*Mangifera indica* L)”. *Journal CIM* [en línea]. 2016. (México), 4(1), pp. 669–674. [Consulta: 20 enero 2021]. Disponible en: [http://ri.uagro.mx/bitstream/handle/uagro/1163/08300590\\_1.pdf?sequence=1](http://ri.uagro.mx/bitstream/handle/uagro/1163/08300590_1.pdf?sequence=1)

**MARCHESINO, M., LÓPEZ, P., GUERBEROFF, G., & OLMEDO, R.** Los procesos de fritura y su relación con los valores nutricionales y la inocuidad: una visión integral desde la seguridad alimentaria. *Nexo Agropecuario* [en línea]. 2020. (Argentina). 8(1), pp. 43-51. [Consulta: 20 diciembre 2020]. Disponible en: <https://webcache.googleusercontent.com/search?q=cache:AfW348UKwR8J:https://revistas.unc.edu.ar/index.php/nexoagro/article/view/28927/29910+&cd=9&hl=es&ct=clnk&gl=ec>

**MEDIATRADER.** La OMS recomienda que se evite el contacto con alimentos que tengan benzopireno [en línea]. 2001. [Consulta: 28 diciembre 2020]. Disponible en:

**MIRANDA AGURTO, D. N., & TICONA LLANQUI, S. E.** Estudio de las concentraciones de mucílago de nopal (*Opuntia ficus-indica*) para elaboración de biopolímeros degradables. [En línea] (Trabajo de titulación). (Pregrado) Universidad Peruana Unión, Perú. 2019. pp. 4-13. [Consulta: 22 enero de 2021]. Disponible en: [https://repositorio.upeu.edu.pe/bitstream/handle/UPEU/2454/Diana\\_Trabajo\\_Bachillerato\\_2019.pdf?sequence=4&isAllowed=y](https://repositorio.upeu.edu.pe/bitstream/handle/UPEU/2454/Diana_Trabajo_Bachillerato_2019.pdf?sequence=4&isAllowed=y)

**NATURALISTA.** Taxonomía Nopal Chamacuelo [en línea]. 2001. [Consulta: 28 enero 2021]. Disponible en: <https://colombia.inaturalist.org/taxa/165906-Opuntia-tomentosa>

**NTE INEN 2290:2012.** Fundas plásticas para residuos y desechos sólidos. Requisitos. [En línea], 2012. [Consulta: 2021-02-24]. Disponible en: [https://181.112.149.204/buzon/normas/nte\\_inen\\_2290.pdf#](https://181.112.149.204/buzon/normas/nte_inen_2290.pdf#)

**NTE INEN 2635:2012.** Método de ensayo para las propiedades de tracción de láminas plásticas delgadas. [En línea], 2012. [Consulta: 2021-02-24]. Disponible en: <https://studylib.es/doc/8705012/nte-inen-2635--m%C3%A9todo-de-ensayo-para-las-propiedades-de>

**NTE INEN 2678:2013.** *Grasas y aceites comestibles reutilizados. Requisitos. Primera edición.* [En línea]. [Consulta: 22 octubre 2020]. Disponible en: <https://www.normalizacion.gob.ec/buzon/normas/2678.pdf>

**OROZCO SILVAS, Elizabeth.** Elaboración y caracterización de películas de mucílago de nopal-pectina: efecto de la concentración del mucílago de nopal en las propiedades fisicoquímicas y mecánicas. [En línea] (Trabajo de titulación). (Pregrado) Universidad Autónoma Del Estado de México, México. 2017. pp. 12-70. [Consulta: 19 enero de 2021]. Disponible en: <http://ri.uaemex.mx/bitstream/handle/20.500.11799/67766/TesisEli%283%29.pdf?sequence=1&isAllowed=y>

**PARRA PÉREZ, Joselyne Brigitte.** Obtención de biofilm a partir del almidón de zanahoria blanca (*Arracacia xanthorrhiza*) y de camote (*Ipomoea batatas*) como alternativa al uso de material plástico derivado de petróleo. [En línea] (Trabajo de titulación). (Pregrado) Escuela Superior Politécnica de Chimborazo, Riobamba, Ecuador. 2019. pp.21-61. [Consulta: 2021-03-11]. Disponible en: <http://dspace.espoch.edu.ec/bitstream/123456789/13808/1/96T00573.pdf>

**PASCOE, S., MACÍAS, R., ROBLEDO, J., SALCEDO, E., ZAMORA, J., RABELERO, M., & VARGAS, J.** “Identificación de propiedades presentes en jugo de *Opuntia megacantha Salm-Dyck* importantes para la producción de biopolímeros”. *TIP Revista Especializada en Ciencias Químico-Biológicas* [en línea]. 2019. 22. [Consulta: 2021-03-11]. Disponible en: [10.22201/fesz.23958723e.2019.0.197](https://doi.org/10.22201/fesz.23958723e.2019.0.197).

**PASCOE, SANDRA.** Producción y Caracterización de Películas de Biopolímero de Nopal *Opuntia ficus-indica* (L.) [En línea], 2019, (México), [Consulta: 30 de enero de 2021]. Disponible en: [https://www.researchgate.net/publication/331443577\\_Produccion\\_y\\_Caracterizacion\\_de\\_Películas\\_de\\_Biopolimero\\_de\\_Nopal\\_Opuntia\\_ficus-indica\\_L](https://www.researchgate.net/publication/331443577_Produccion_y_Caracterizacion_de_Películas_de_Biopolimero_de_Nopal_Opuntia_ficus-indica_L)

**PAWANKUMAR, R., SRISHTI, M., SMRITI P., EDGARD G., & SANDEEP K.** “Recent advances in the sustainable design and applications of biodegradable polymers”, *Bioresource Technology* [en línea], 2021, (India), 124739, [Consulta: 15 enero de 2021]. ISSN 0960-8524. Disponible en: <https://doi.org/10.1016/j.biortech.2021.124739>.

**PEREZ, F., OCHOA, J., DÍAZ, E., RONCAL, T., & TORRECILLA, J.** Bioplásticos. *Bioplásticos January* [en línea], 2007, (España). [Consulta: 30 de enero de 2021]. Disponible en:

**QUIGUANGO YASELGA, Wilson Kleber.** Utilización de la penca de nopal (*Opuntia ficus indica*), para la elaboración de jugo. [En línea] (Trabajo de titulación). (Maestría) Universidad Técnica Del Norte, Ibarra, Ecuador. 2011. pp. 23-76. [Consulta: 2020-12-20]. Disponible en: <http://repositorio.utn.edu.ec/bitstream/123456789/379/1/03%20AGI%20278%20TESIS.pdf>

**QUISPE JIMÉNEZ, Haydee.** Aplicación del mucílago extraído de nopal (opuntia ficus- indica) en la clarificación del agua del río Uchusuma. [En línea] (Trabajo de titulación). (Maestría) Universidad Nacional Jorge Basadre Grohmlnn Tacna, Tacna, Perú. 2012. pp. 13-20. [Consulta: 2019-10-30]. Disponible en: <http://repositorio.unjbg.edu.pe/bitstream/handle/UNJBG/529/TG0393.pdf?sequence=1&isAllowed=y>

**REDEXOS.** “*Opuntia tomentosa*” [en línea]. 2020. [Consulta: 8 enero 2021]. Disponible en: <https://www3.gobiernodecanarias.org/cptss/sostenibilidad/biodiversidad/redexos/app/guide/species/opuntia-tomentosa>

**REGLAMENTO (CE) N o 1881/2006 DE LA COMISIÓN.** *Por lo que respecta al contenido máximo de hidrocarburos aromáticos policíclicos en los productos alimenticios (Texto pertinente a efectos del EEE).* [en línea], 2011. [Consulta: 23 de octubre de 2020]. Disponible en: <https://eur-lex.europa.eu/LexUriServ/LexUriServ.do?uri=OJ:L:2011:215:0004:0008:ES:PDF>

**RIM, G., YOUSSEF, H., & KHAOULA, K.** “Prickly pear peels as a valuable resource of added-value polysaccharide: Study of structural, functional and film forming properties”, *International Journal of Biological Macromolecules* [en línea], 2019, (Túnez), 126, pp. 238-245, [Consulta: 26 enero de 2021]. ISSN 0141-8130. Disponible en: <https://doi.org/10.1016/j.ijbiomac.2018.12.228>.

**RIVERA CORONA, José Luis.** Características térmicas, reológicas y estructurales del almidón de sorgo adicionado con mucílago de nopal. [En línea] (Trabajo de titulación). (Maestría) Instituto Politécnico Nacional, Yautepec, México. 2015. pp. 6-57. [Consulta: 2021-01-30]. Disponible en: <https://tesis.ipn.mx/bitstream/handle/123456789/16144/TESIS-JOSE%20LUIS%20RIVERA.pdf?sequence=1&isAllowed=y>

**SALGADO, R., PATERNINA, Ana., COHEN, C., & RODRIGUEZ, J.** “Análisis de las Curvas de Gelatinización de Almidones Nativos de tres Especies de Ñame: Criollo (*Dioscorea alata*), Espino (*Dioscorea rotundata*) y Diamante 22”. *Inf. tecnol.* [en línea]. 2019, 30(4) [consulta 2021-03-17], pp.93-102. Disponible en: [https://scielo.conicyt.cl/scielo.php?script=sci\\_arttext&pid=S0718-07642019000400093&lng=es&nrm=iso](https://scielo.conicyt.cl/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0718-07642019000400093&lng=es&nrm=iso). ISSN 0718-0764. <http://dx.doi.org/10.4067/S0718-07642019000400093>.

**SALINAS, V., MÁRQUEZ, A., & LIRA, A.** “Propiedades físicas, mecánicas y de barrera de películas comestibles a base de mucílago de Nopal como alternativa para la aplicación en frutos”. *Revista Iberoamericana de Tecnología Postcosecha* [en línea], 2015, 16(2), pp. 193–198. [Consulta: 2021-02-27]. Disponible en: <https://www.redalyc.org/pdf/813/81343176007.pdf>

**SITI NUURUL, H., NAJAH ALIAH, H., & MOHD SHUKRI, M.** “Desarrollo y caracterización de film bioplástico para envasado de alimentos a partir de celulosa de cascarilla de cacao incorporada con fibra de bagazo de caña de azúcar”. *Journal of Bioresources and Bioproducts* [en línea], 2020, (Malasia), 5(4), pp. 248-255. [Consulta: 15 enero de 2021]. Disponible en: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S2369969820301146>

**SOLANO DOBLADO, L., ALAMILA BELTRÁN, L., & JIMÉNEZ MARTÍNEZ, C.** “Películas y recubrimientos comestibles funcionalizados”. *Revista Especializada en Ciencias Químico-Biológicas* [en línea], 2018, (México), 21(2), pp. 30-42. [Consulta: 15 enero de 2021]. Disponible en: <http://132.248.60.101/index.php/tip/article/view/153/166>

**THIRUCHELVI, R., DAS, A., SIKDAR, E.** “Bioplastics as better alternative to petro plastic”. *Materials Today: Proceedings* [en línea], 2020, (India). [Consulta: 26 enero de 2021]. Disponible en: <https://doi.org/10.1016/j.matpr.2020.07.176>

**VALLE VEGA, Pedro; LUCAS FLORENTINO, Bernardo.** *Toxicología de alimentos* [en línea]. México D.F.- México. 2000. [Consulta: 29 diciembre 2020]. Disponible en: [https://www.fio.unicen.edu.ar/usuario/gmanrique/images/Toxicologia\\_de\\_Alimentos\\_VegaFlorentino.pdf](https://www.fio.unicen.edu.ar/usuario/gmanrique/images/Toxicologia_de_Alimentos_VegaFlorentino.pdf)



## ANEXOS

### ANEXO A



a)



b)



c)

<b>NOTAS:</b>	<b>CATEGORÍA DEL DIAGRAMA:</b>	<b>ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DE CHIMBORAZO FACULTAD DE CIENCIAS ESCUELA DE INGENIERÍA QUÍMICA</b>	<b>SELECCIÓN DE MATERIA PRIMA</b>		
a) Recolección del nopal	<input type="checkbox"/> Aprobado	<input type="checkbox"/> Preliminar			
b) Despinado	<input type="checkbox"/> Certificado	<input checked="" type="checkbox"/> Por aprobar			
c) Selección de materia prima	<input type="checkbox"/> Información	<input type="checkbox"/> Por calificar	<b>LÁMINA</b>	<b>ESCALA</b>	<b>FECHA</b>
		ELABORADO POR: Quispe Solís Andrés Sebastián	1	1:1	2021/02/25

## ANEXO B



a)



b)



c)

<b>NOTAS:</b>	<b>CATEGORÍA DEL DIAGRAMA:</b>	<b>ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DE CHIMBORAZO</b> <b>FACULTAD DE CIENCIAS</b> <b>ESCUELA DE INGENIERÍA QUÍMICA</b>  ELABORADO POR: Quispe Solís Andrés Sebastián	<b>OPERACIONES UNITARIAS PARA LA EXTRACCIÓN DE MUCÍLAGO</b>		
a) Lavado b) Troceado c) Pesado	<input type="checkbox"/> Aprobado <input type="checkbox"/> Certificado <input type="checkbox"/> Información <input type="checkbox"/> Preliminar <input checked="" type="checkbox"/> Por aprobar <input type="checkbox"/> Por calificar		<b>LÁMINA</b>	<b>ESCALA</b>	<b>FECHA</b>
		2	1:1	2021/02/25	

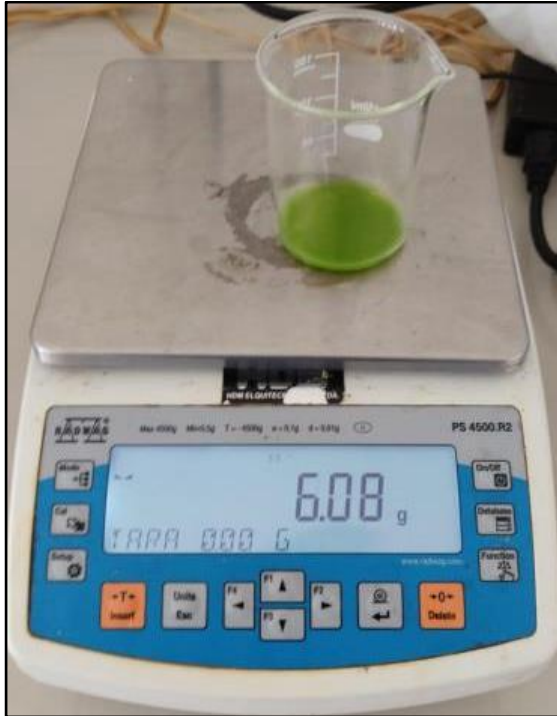
## ANEXO C



<b>NOTAS:</b>  a) Exprimir b) Mucílago obtenido c) Maceración	<b>CATEGORÍA DEL DIAGRAMA:</b>	<b>ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DE CHIMBORAZO</b>  <b>FACULTAD DE CIENCIAS</b> <b>ESCUELA DE INGENIERÍA QUÍMICA</b>  ELABORADO POR: Quispe Solís Andrés Sebastián	OBTENCIÓN DEL MUCÍLAGO			
	<input type="checkbox"/> Aprobado <input type="checkbox"/> Preliminar <input type="checkbox"/> Certificado <input checked="" type="checkbox"/> Por aprobar <input type="checkbox"/> Información <input type="checkbox"/> Por calificar		<b>LÁMINA</b>	<b>ESCALA</b>	<b>FECHA</b>	
			3	1:1	2021/02/25	



## ANEXO D



a)



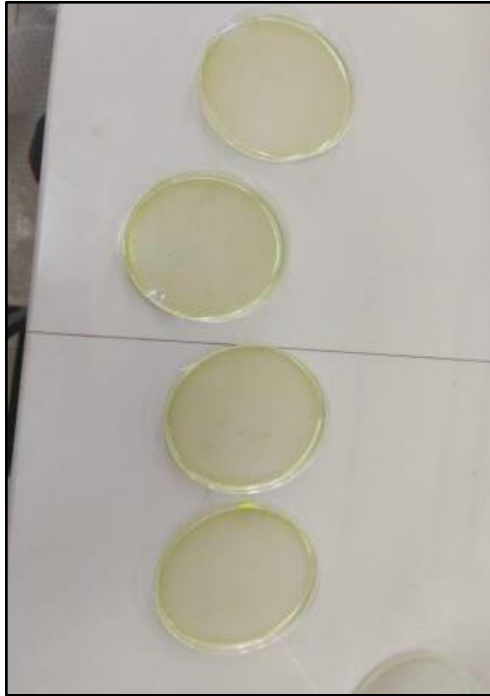
b)



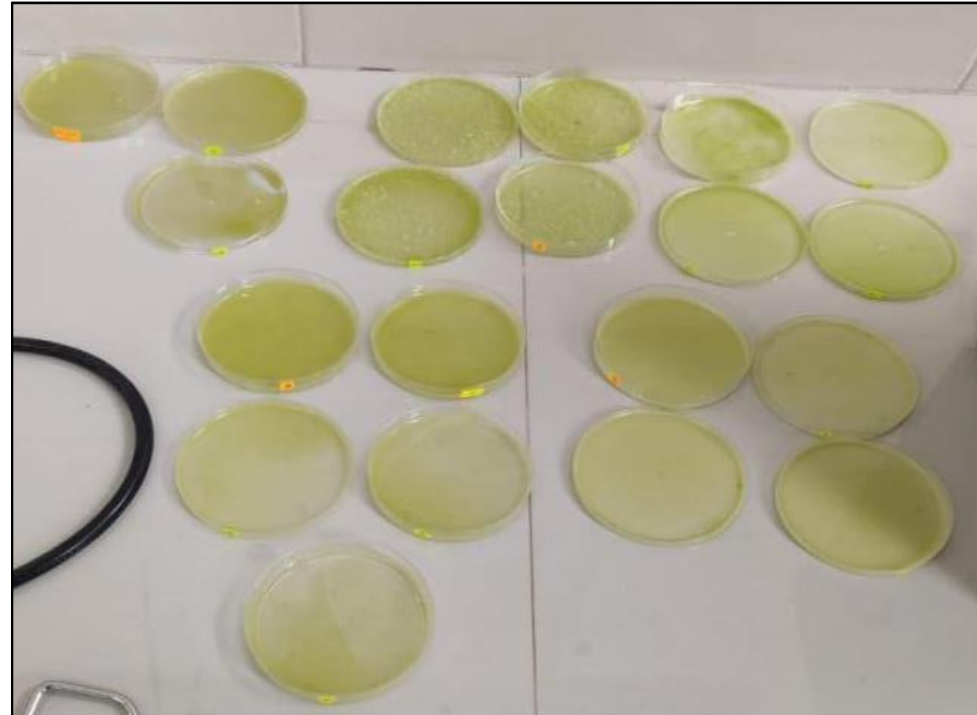
c)

<b>NOTAS:</b>	<b>CATEGORÍA DEL DIAGRAMA:</b>	<b>ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DE CHIMBORAZO</b> <b>FACULTAD DE CIENCIAS</b> <b>ESCUELA DE INGENIERÍA QUÍMICA</b>  ELABORADO POR: Quispe Solís Andrés Sebastián	<b>FORMULACIÓN DEL PLÁSTICO BIODEGRADABLE</b>		
a) Adición de componentes b) Agitación y mezclado c) Moldeo de la película	<input type="checkbox"/> Aprobado <input type="checkbox"/> Preliminar <input type="checkbox"/> Certificado <input checked="" type="checkbox"/> Por aprobar <input type="checkbox"/> Información <input type="checkbox"/> Por calificar	<b>LÁMINA</b>	<b>ESCALA</b>	<b>FECHA</b>	
		4	1:1	2021/02/25	

## ANEXO E



a)



b)

<b>NOTAS:</b>	<b>CATEGORÍA DEL DIAGRAMA:</b>	<b>ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DE CHIMBORAZO FACULTAD DE CIENCIAS ESCUELA DE INGENIERÍA QUÍMICA</b>	<b>OBTENCIÓN DEL PLÁSTICO BIODEGRADABLE</b>		
a) Secado	<input type="checkbox"/> Aprobado	<input type="checkbox"/> Preliminar			
b) Número de repeticiones por muestra	<input type="checkbox"/> Certificado	<input checked="" type="checkbox"/> Por aprobar			
	<input type="checkbox"/> Información	<input type="checkbox"/> Por calificar			
		ELABORADO POR: Quispe Solís Andrés Sebastián	<b>LÁMINA</b>	<b>ESCALA</b>	<b>FECHA</b>
			5	1:1	2021/02/25

## ANEXO F



a)



b)



c)

<b>NOTAS:</b>	<b>CATEGORÍA DEL DIAGRAMA:</b>	<b>ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DE CHIMBORAZO FACULTAD DE CIENCIAS ESCUELA DE INGENIERÍA QUÍMICA</b>	<b>PLÁSTICO BIODEGRADABLE</b>		
a) Desmoldado b) Tratamiento TP2 c) Tratamiento TP4	<input type="checkbox"/> Aprobado <input type="checkbox"/> Preliminar <input type="checkbox"/> Certificado <input checked="" type="checkbox"/> Por aprobar <input type="checkbox"/> Información <input type="checkbox"/> Por calificar	ELABORADO POR: Quispe Solís Andrés Sebastián	<b>LÁMINA</b>	<b>ESCALA</b>	<b>FECHA</b>
			6	1:1	2021/02/25

## ANEXO G



a)



b)



c)

<b>NOTAS:</b>	<b>CATEGORÍA DEL DIAGRAMA:</b>	<b>ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DE CHIMBORAZO</b> <b>FACULTAD DE CIENCIAS</b> <b>ESCUELA DE INGENIERÍA QUÍMICA</b>  ELABORADO POR: Quispe Solís Andrés Sebastián	<b>PRUEBAS MECÁNICAS</b>		
			<b>LÁMINA</b>	<b>ESCALA</b>	<b>FECHA</b>
a) Preparación de muestras b) Equipo de ensayo c) Tratamientos y repeticiones	<input type="checkbox"/> Aprobado <input type="checkbox"/> Certificado <input type="checkbox"/> Información	<input type="checkbox"/> Preliminar <input checked="" type="checkbox"/> Por aprobar <input type="checkbox"/> Por calificar	7	1:1	2021/02/25



## ANEXO H



a)



b)

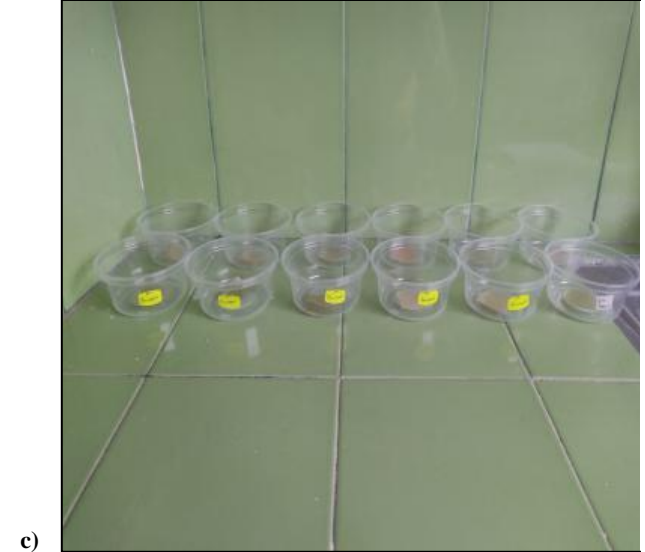
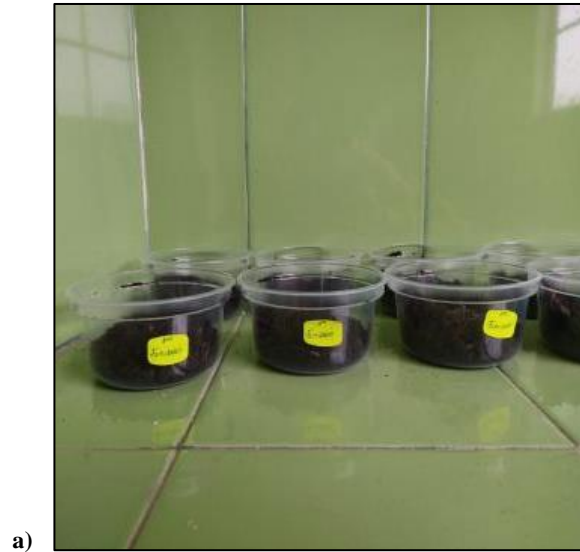


c)

NOTAS:	CATEGORÍA DEL DIAGRAMA:	ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DE <b>CHIMBORAZO</b> FACULTAD DE CIENCIAS <b>ESCUELA DE INGENIERÍA QUÍMICA</b>  ELABORADO POR: Quispe Solís Andrés Sebastián	PRUEBA DE PERMEABILIDAD		
a) Tratamientos b) Preparación de la muestra c) Área libre de humedad	<input type="checkbox"/> Aprobado <input type="checkbox"/> Preliminar <input type="checkbox"/> Certificado <input checked="" type="checkbox"/> Por aprobar <input type="checkbox"/> Información <input type="checkbox"/> Por calificar		LÁMINA	ESCALA	FECHA
					8

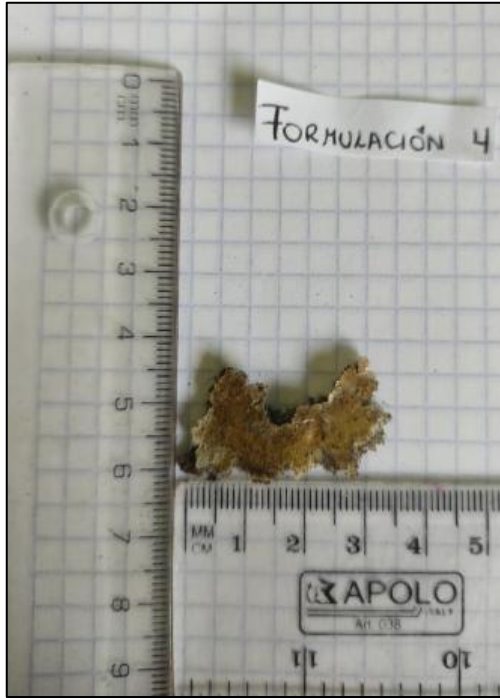


## ANEXO I

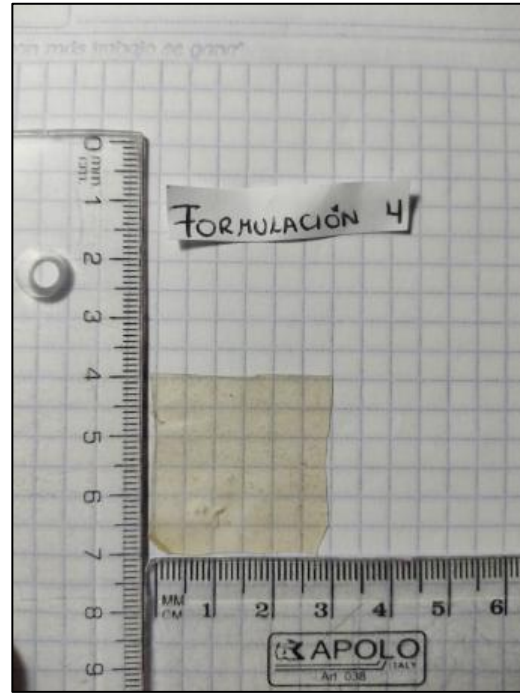


<b>NOTAS:</b>	<b>CATEGORÍA DEL DIAGRAMA:</b>	<b>ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DE CHIMBORAZO FACULTAD DE CIENCIAS ESCUELA DE INGENIERÍA QUÍMICA</b>	<b>PRUEBA DE BIODEGRADABILIDAD</b>		
a) En suelo	<input type="checkbox"/> Aprobado	<input type="checkbox"/> Preliminar			
b) En condiciones ambientales	<input type="checkbox"/> Certificado	<input checked="" type="checkbox"/> Por aprobar			
c) En agua	<input type="checkbox"/> Información	<input type="checkbox"/> Por calificar			
		ELABORADO POR: Quispe Solís Andrés Sebastián	<b>LÁMINA</b>	<b>ESCALA</b>	<b>FECHA</b>
			9	1:1	2021/02/25

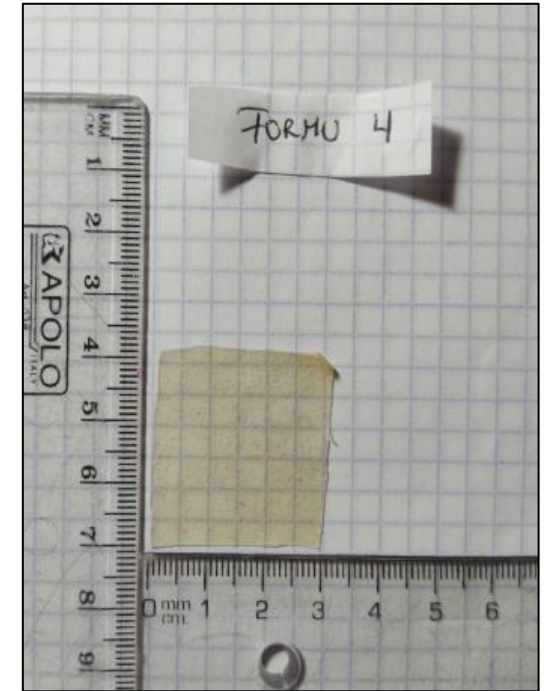
## ANEXO J



a)



b)



c)

<b>NOTAS:</b>	<b>CATEGORÍA DEL DIAGRAMA:</b>	<b>ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DE CHIMBORAZO</b> <b>FACULTAD DE CIENCIAS</b> <b>ESCUELA DE INGENIERÍA QUÍMICA</b>  ELABORADO POR: Quispe Solís Andrés Sebastián	<b>RESULTADOS DE BIODEGRADABILIDAD</b>		
a) Suelo b) Agua c) Ambiente	<input type="checkbox"/> Aprobado <input type="checkbox"/> Preliminar <input type="checkbox"/> Certificado <input checked="" type="checkbox"/> Por aprobar <input type="checkbox"/> Información <input type="checkbox"/> Por calificar		<b>LÁMINA</b>	<b>ESCALA</b>	<b>FECHA</b>
			10	1:1	2021/02/25

## ANEXO K

**LDPF**  
LABORATORIO DE PRUEBAS FÍSICAS

**DATOS CLIENTE**  
 CÓDIGO INMTR: \_\_\_\_\_  
 NOMBRE: ANDRÉS SEBASTIÁN QUISPE SOLÍS  
 CÉDULA: 180101406  
 DIRECCIÓN: Pampa Vieja y Diego de Rodríguez (Canton Naranjo)  
 TELÉFONO: 0984084549  
 CORREO ELECTRÓNICO: quispeasol@outlook.com  
 RESPONSABLE DEL MUESTRO: DR. JUAN LÓPEZ

**DATOS GENERALES**  
 FECHA DE RECEPCIÓN: 25 de Febrero del 2021  
 FECHA DE EMISIÓN DEL INFORME: 24 de Febrero del 2021 a las 10:00 horas

**IDENTIFICACIÓN:**

- T1R1- Paquetes 1 para tratamiento 1 BIOPLASTICO
- T1R2- Paquetes 2 para tratamiento 2 BIOPLASTICO
- T1R3- Paquetes 3 para tratamiento 3 BIOPLASTICO
- T1R4- Paquetes 4 para tratamiento 4 BIOPLASTICO
- T1R5- Paquetes 5 para tratamiento 5 BIOPLASTICO
- T1R6- Paquetes 6 para tratamiento 6 BIOPLASTICO
- T2R1- Paquetes 1 para tratamiento 1 BIOPLASTICO
- T2R2- Paquetes 2 para tratamiento 2 BIOPLASTICO
- T2R3- Paquetes 3 para tratamiento 3 BIOPLASTICO
- T2R4- Paquetes 4 para tratamiento 4 BIOPLASTICO
- T2R5- Paquetes 5 para tratamiento 5 BIOPLASTICO
- T2R6- Paquetes 6 para tratamiento 6 BIOPLASTICO

**CONDICIONES AMBIENTALES:** Especificar en el informe.

a)



b)

MUESTRAS DE PLÁSTICO BIODEGRADABLE DE NOPAL (Según tratamiento)

C1      C2      C3

Parametriza Sur Snc    Teléfono: 0983202880 EXT: 300 Dca. 112  
 Mail: Laboratorio@parametriza.com

PRUEBA	UNIDAD	MÉTODO DE ENSAYO	RESULTADO DE TRABAJO	NIVEL REFERENCIAL
Resistencia a la tracción	C1	E	354,07	100
	C2		108,90	100
	C3		191,11	100
	C1		362,27	
	C2		44,44	
	C3		114,02	
Elongación	C1	E	214,33	100
	C2		370,33	100
	C3		233,28	100
	C1		308,07	100
	C2		198,85	100
	C3		190,00	100

c)

NOTAS:	CATEGORÍA DEL DIAGRAMA:	ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DE CHIMBORAZO FACULTAD DE CIENCIAS ESCUELA DE INGENIERÍA QUÍMICA  ELABORADO POR: Quispe Solís Andrés Sebastián	RESULTADOS PRUEBA DE TRACCIÓN		
			LÁMINA	ESCALA	FECHA
a) Datos e información b) Películas después de las pruebas c) Informe de resultados	<input type="checkbox"/> Aprobado <input type="checkbox"/> Preliminar <input type="checkbox"/> Certificado <input checked="" type="checkbox"/> Por aprobar <input type="checkbox"/> Información <input type="checkbox"/> Por calificar		11	1:1	2021/02/25

