

**UNIVERSIDAD NACIONAL  
AUTÓNOMA DE CHOTA**



**FACULTAD DE CIENCIAS AGRARIAS  
Escuela Profesional de Ingeniería Agroindustrial**

**TESIS**

**“EVALUACIÓN DEL EFECTO DE PORCENTAJE DE PECTINA EXTRAÍDA  
DE GRANADILLA Y ALMIDÓN DE OLLUCO ROJO U OCA ROSADA EN  
LAS PROPIEDADES MECÁNICAS, HIGROSCOPICIDAD, SOLUBILIDAD,  
PERMEABILIDAD AL VAPOR DE AGUA Y COLOR DE BIOPELÍCULAS”**

**AUTORES**

**Walter Cardozo Delgado**

**Jesús Coronel Sánchez**

**ASESOR**

**Ph. D. Frank Fluker Velázquez Barreto**

**CO-ASESOR**

**Mg. Edson Ramírez Tixe**

**Chota – Cajamarca**

**2026**

Se muestran dos firmas manuscritas en tinta azul. La primera firma está sobre una línea horizontal y parece ser la del asesor principal. La segunda firma está debajo y parece ser la del co-asesor.



**UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE CHOTA**  
**FACULTAD DE CIENCIAS AGRARIAS**  
**ESCUELA PROFESIONA DE INGENIERIA AGROINDUSTRIAL**  
**ASESOR DE INFORME DE TESIS**

## **Constancia de Originalidad y Uso de Inteligencia Artificial**

**CO-002-2026-FFVB-EPIA-FCA**

El que suscribe, Asesor del Informe de Tesis de la Escuela Profesional de Ingeniería Agroindustrial de la Facultad de Ciencias Agrarias de la Universidad Nacional Autónoma de Chota, hace constar que el Informe Final de Tesis Titulado **“EVALUACIÓN EFECTO DEL PORCENTAJE DE PECTINA EXTRAÍDA DE GRANADILLA Y ALMIDÓN DE OLLUCO ROJO U OCA ROSADA EN LAS PROPIEDADES MECÁNICAS, HIGROSCOPICIDAD, SOLUBILIDAD, PERMEABILIDAD AL VAPOR DE AGUA Y COLOR DE BIOPELÍCULAS”** perteneciente a los tesisistas Walter Cardozo Delgado y Jesús Coronel Sánchez; presenta un **GRADO DE SIMILITUD de 19 % y USO DE INTELIGENCIA ARTIFICIAL DE 0 %**, en base al análisis realizado por el Software Antiplagio Turnitin (26/01/2026) y este corresponde a una similitud menor al 20 %, por lo que se considera producción intelectual propia (Art. 27e del Reglamento de Grados y Títulos 2025 aprobado mediante RESOLUCIÓN DE COMISIÓN ORGANIZADORA N° 770-2025-UNACH).

La presente se emite al interesado para los trámites que estime conveniente.

Chota, 26 de enero de 2026.

**Ph. D. Frank Fluker Velásquez Barreto**  
*Asesor de Informe de Tesis*  
*Escuela Profesional de Ingeniería Agroindustrial*  
*Facultad de Ciencias Agrarias*




# “EVALUACIÓN DEL EFECTO DEL PORCENTAJE DE PECTINA EXTRAÍDA DE GRANADILLA Y ALMIDÓN DE OLLUCO ROJO U OCA ROSADA EN LAS PROPIEDADES MECÁNICAS DE HIGROSCOPICIDAD, SOLUBILIDAD, PERMEABILIDAD AL VAPOR DE AGUA Y COLOR DE BIOPELÍCULAS”



*Ph. D. Frank Pluker Velásquez Barreto*  
*Asesor de Informe de Tesis*  
*Escuela Profesional de Ingeniería Agroindustrial*  
*Facultad de Ciencias Agrarias*

## Jesús Coronel Sánchez

### IFT BIOPELICULAS 2026 02

-  Tesis Jesus y Walter 2026
-  Tesis Jesus y Walter 2026
-  Universidad Nacional Autonoma de Chota

#### Detalles del documento

Identificador de la entrega

trn:oid:::1:3461899513

Fecha de entrega

21 ene 2026, 10:23 a.m. GMT-5

Fecha de descarga

17 jun 2026, 11:06 a.m. GMT-5

Nombre del archivo

IFT\_BIOPELICULAS\_2026\_02.docx

Tamaño del archivo

1.7 MB

101 páginas

18.826 palabras

103.777 caracteres




# 19% Similitud general

El total combinado de todas las coincidencias, incluidas las fuentes superpuestas, para ca...

## Filtrado desde el informe

- ▶ Bibliografía
- 

## Fuentes principales

- 16%  Fuentes de Internet
  - 4%  Publicaciones
  - 9%  Trabajos entregados (trabajos del estudiante)
-

## Fuentes principales

- 16% Fuentes de Internet
- 4% Publicaciones
- 9% Trabajos entregados (trabajos del estudiante)

## Fuentes principales

Las fuentes con el mayor número de coincidencias dentro de la entrega. Las fuentes superpuestas no se mostrarán.

1	Trabajos del estudiante CONACYT	3%
2	Internet repositorio.unach.edu.pe	2%
3	Trabajos del estudiante Universidad Panamericana	1%
4	Trabajos del estudiante Universidad TecMilenio	1%
5	Internet dspace.unitru.edu.pe	<1%
6	Trabajos del estudiante Universidad San Francisco de Quito	<1%
7	Internet www.repositorio.unach.edu.pe	<1%
8	Internet hdl.handle.net	<1%
9	Internet apirepositorio.unh.edu.pe	<1%
10	Internet repositorio.lamolina.edu.pe	<1%
11	Internet repositorio.unaj.edu.pe	<1%

12	Trabajos del estudiante	Escuela Politecnica Nacional	<1%
13	Trabajos del estudiante	Universidad Nacional del Centro del Peru	<1%
14	Internet	corpomail.corpoica.org.co	<1%
15	Internet	cybertesis.unmsm.edu.pe	<1%
16	Internet	sedici.unlp.edu.ar	<1%
17	Internet	es.scribd.com	<1%
18	Internet	repositorio.unajma.edu.pe	<1%
19	Internet	repositorio.unp.edu.pe	<1%
20	Internet	www.researchgate.net	<1%
21	Publicación	SANDRA CECILIA ACOSTA DAVILA. "PROPIEDADES DE FILMS DE ALMIDÓN DE YUC...	<1%
22	Internet	www.produccioncientificaluz.org	<1%
23	Internet	dokumen.site	<1%
24	Internet	dspace.espace.edu.ec	<1%
25	Internet	fcai.uncuyo.edu.ar	<1%

26	Internet	revistas.uas.edu.mx	<1%
27	Publicación	José Alexander Guanotásig Villamarin. "Evaluación de habilidades sobre prescripc...	<1%
28	Internet	repositorio.ug.edu.ec	<1%
29	Internet	bibdigital.epn.edu.ec	<1%
30	Internet	repositorio.uns.edu.pe	<1%
31	Internet	1library.co	<1%
32	Internet	repositorio.unal.edu.co	<1%
33	Internet	repository.uamerica.edu.co	<1%
34	Internet	www.dspace.espol.edu.ec	<1%
35	Trabajos del estudiante	Universidad Autónoma de Nuevo León	<1%
36	Internet	bdigital.zamorano.edu	<1%
37	Publicación	Jung-Soo Lee, Dulal Chandra. "Effects of different packaging materials and metho...	<1%
38	Trabajos del estudiante	Universidad Nacional Agraria La Molina	<1%
39	Internet	bibliotecadigital.univalle.edu.co	<1%

40	Internet	cia.uagraria.edu.ec	<1%
41	Internet	repositorio.unicauca.edu.co	<1%
42	Internet	patents.google.com	<1%
43	Publicación	Thatyane Mariano Rodrigues de Albuquerque, Camyla Wanderley Pereira Borges,...	<1%
44	Internet	dspace.unach.edu.ec	<1%
45	Internet	repositorio.ujcm.edu.pe	<1%
46	Internet	tecnologiadelosplasticos.blogspot.com	<1%
47	Internet	dspace.ups.edu.ec	<1%
48	Internet	redibai-myd.org	<1%
49	Internet	repositorio.unbosque.edu.co	<1%
50	Internet	repositorio.uta.edu.ec	<1%
51	Internet	tesis.ipn.mx	<1%
52	Publicación	Shailendra Kumar, Satish Chandra Garkoti. "Rhizosphere influence on soil microb...	<1%
53	Trabajos del estudiante	Universidad Nacional Autonoma de Chota	<1%

54	Internet	repositorioinstitucional.buap.mx	<1%
55	Internet	repositorio.undac.edu.pe	<1%
56	Trabajos del estudiante	Area eped	<1%
57	Internet	dokumen.tips	<1%
58	Internet	qdoc.tips	<1%
59	Internet	rinacional.tecnm.mx	<1%
60	Internet	core.ac.uk	<1%
61	Internet	pdfcookie.com	<1%
62	Trabajos del estudiante	uncedu	<1%
63	Internet	bestjournal.untad.ac.id	<1%
64	Internet	doi.org	<1%
65	Internet	dokumen.pub	<1%
66	Trabajos del estudiante	espam	<1%
67	Internet	www.frontiersin.org	<1%

68	Publicación	Benigna Faustino-Lázaro, Arnoldo González-Reyna, Hugo Bernal-Barragán, Luis G...	<1%
69	Internet	eprints.uanl.mx	<1%
70	Internet	familienpuzzle.de	<1%
71	Internet	repositorio.uncp.edu.pe	<1%
72	Internet	www.slideshare.net	<1%
73	Publicación	Sandra Paola Rojas Lema. "Desarrollo y optimización de nuevas formulaciones de...	<1%
74	Trabajos del estudiante	UTEC Universidad de Ingeniería & Tecnología	<1%
75	Trabajos del estudiante	Universidad Continental	<1%
76	Internet	dspace.utb.edu.ec	<1%
77	Internet	es.slideshare.net	<1%
78	Internet	orcid.org	<1%
79	Internet	repositorio.unas.edu.pe	<1%
80	Internet	www.bayer.com.py	<1%
81	Publicación	Caviedes Contreras, Wilberth. "Modelo para evaluar los impactos del Programa P...	<1%

82	Internet	dicyt.uajms.edu.bo	<1%
83	Internet	eprints.ucm.es	<1%
84	Publicación	"Proceedings of the 4th Biotechnology World Symposium", Mexican Journal of Bi...	<1%
85	Internet	Clara Pastor Navarro. "Recubrimientos comestibles a base de hidroxipropil metilc...	<1%
86	Publicación	Daniel A. Alvarado-López, Sara Parralejo-Sanz, M. Gloria Lobo, M. Pilar Cano. "Ultr...	<1%
87	Internet	MARÍA ALEJANDRA AGUDELO MOTATO. "La revalorización del uso de almidón de t...	<1%
88	Publicación	Marina L. C. Chaves, Guilherme A. M. Jesus, Michael C. Castro, Andressa R. S. Brun...	<1%
89	Publicación	Qiang Zhong, Zheng Xing, Di Wang, Siyi Pan, Ting Wu, Senem Kamiloglu, Xiaoyun ...	<1%
90	Internet	dgsa.uaeh.edu.mx:8080	<1%
91	Internet	docplayer.com.br	<1%
92	Internet	repositorio.uaaan.mx	<1%
93	Internet	repositorio.unheval.edu.pe	<1%
94	Internet	repositorio.unicauca.edu.co:8080	<1%
95	Internet	repositorio.upeu.edu.pe	<1%

96	Internet	revista-agroproductividad.org	<1%
97	Internet	revistas.utp.ac.pa	<1%
98	Internet	ri.uaemex.mx	<1%
99	Internet	upc.aws.openrepository.com	<1%
100	Internet	worldwidescience.org	<1%
101	Internet	www.dspace.uce.edu.ec	<1%
102	Publicación	Ortiz Ramírez, María Alejandra. "Evaluación de un Bioplástico a Partir de Almidón..."	<1%
103	Internet	www.revistas.unah.edu.pe	<1%



**ACTA DE SUSTENTACIÓN DE INFORME FINAL DE TESIS**

REG. N.º 487-2026-FCA

El jurado evaluador designado con RESOLUCIÓN DE COORDINACIÓN DE FACULTAD N.º 487-2025-FCA/UNACH:

Nombres y apellidos	Cargo
Dr. Ricardo Abel Del Castillo Torres	Presidente
Dr. Miguel Ángel Arango Llantoy	Secretario
M. Sc. Virginio Pablo Ponte Loyola	Vocal

De la tesis titulada:

"Evaluación del efecto de porcentaje de pectina extraída de granadilla y almidón de olluco rojo u oca rosada en las propiedades mecánicas, higroscopicidad, solubilidad, permeabilidad al vapor de agua y color de biopelículas"

Que ha sustentado el(los) Bachiller (es):

Nombres y apellidos	DNI
Walter Carozo Delgado	71723158
Jesús Coronel Sánchez	71699070

Para obtener el título profesional de:

Ingeniero Agroindustrial

Acuerdan por:

<input checked="" type="checkbox"/>	Unanimidad	<input type="checkbox"/>	Mayoría
-------------------------------------	------------	--------------------------	---------

<input checked="" type="checkbox"/>	Aprobar	<input type="checkbox"/>	Desaprobar
-------------------------------------	---------	--------------------------	------------

Otorgando la calificación de:

13	Aprobado
<input type="checkbox"/>	Excelente
<input type="checkbox"/>	Bueno
<input checked="" type="checkbox"/>	Regular

<input type="checkbox"/>	Desaprobado
--------------------------	-------------

Colpa Huacaris, 29 de enero del 2026

Dr. Ricardo Abel Del Castillo Torres  
**Presidente**

Dr. Miguel Ángel Arango Llantoy  
**Secretario**

M. Sc. Virginio Pablo Ponte Loyola  
**Vocal**

Ph.D. Frank Fluker Velasquez Barreto  
**Asesor**

## **DEDICATORIA.**

A Dios, por encaminarnos en cada paso de este proceso y por concederme la oportunidad de llegar a esta meta.

A nuestras familias, por soporte constante, amor y confianza en este camino. Sin ustedes, no habría sido posible este logro.

## **AGRADECIMIENTO**

Agradecemos a Dios por darnos la fortaleza necesaria para terminar esta etapa.

Nuestro más sincero agradecimiento al asesor Ph. D. Frank Fluker Velásquez Barreto por su guía, confianza y disposición durante todo el proceso de la presente investigación.

A nuestra familia, gracias por ser el mayor apoyo, por creer en nosotros y acompañarnos en cada paso. Este logro también es de ustedes.

A la Universidad Nacional Autónoma de Chota, por admitirnos dentro de sus aulas para nuestra formación profesional.

A los docentes de la EPIA, por impartir sus lecciones; las mismas que fueron un pilar fundamental en nuestra formación profesional.

## ÍNDICE.

<b>DEDICATORIA .....</b>	<b>2</b>
<b>AGRADECIMIENTO.....</b>	<b>3</b>
<b>RESUMEN .....</b>	<b>9</b>
<b>ABSTRACT .....</b>	<b>10</b>
<b>CAPÍTULO I. INTRODUCCIÓN .....</b>	<b>11</b>
<b>1.1 PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA .....</b>	<b>11</b>
<b>1.2 FORMULACIÓN DEL PROBLEMA.....</b>	<b>12</b>
<b>1.3 JUSTIFICACIÓN .....</b>	<b>12</b>
<b>1.4 OBJETIVO GENERAL.....</b>	<b>14</b>
<b>1.5 OBJETIVOS ESPECÍFICOS .....</b>	<b>14</b>
<b>CAPÍTULO II. MARCO TEÓRICO .....</b>	<b>15</b>
<b>2.1. ANTECEDENTES .....</b>	<b>15</b>
<b>2.2. BASES TEÓRICO - CIENTÍFICAS.....</b>	<b>18</b>
<b>2.2.1. El olluco (Ullucus tuberosus) .....</b>	<b>18</b>
<b>2.2.2. La oca (Oxalis tuberosa) .....</b>	<b>19</b>
<b>2.2.3. Granadilla (Passiflora ligularis Juss).....</b>	<b>21</b>
<b>2.2.4. Pectina.....</b>	<b>23</b>
<b>2.2.5. Almidón.....</b>	<b>25</b>
<b>2.2.6. Películas biodegradables .....</b>	<b>27</b>
<b>2.3. MARCO CONCEPTUAL .....</b>	<b>34</b>
<b>2.3.1. Biopelícula... ..</b>	<b>34</b>
<b>2.3.2. Polímero biodegradable. ....</b>	<b>34</b>
<b>2.3.3. Pectina.....</b>	<b>34</b>

<b>2.3.4. Almidón.....</b>	<b>35</b>
<b>2.3.5. Residuo.....</b>	<b>35</b>
<b>2.4. HIPÓTESIS .....</b>	<b>35</b>
<b>2.5. OPERACIONALIZACIÓN DE VARIABLES .....</b>	<b>36</b>
<b>CAPITULO III. MARCO METODOLÓGICO .....</b>	<b>37</b>
<b>3.1. TIPO Y NIVEL DE INVESTIGACIÓN.....</b>	<b>37</b>
<b>3.2. DISEÑO DE INVESTIGACIÓN .....</b>	<b>37</b>
<b>3.3. MÉTODOS DE INVESTIGACIÓN .....</b>	<b>38</b>
<b>3.4. POBLACIÓN, MUESTRA Y MUESTREO .....</b>	<b>39</b>
<b>3.5. TÉCNICAS E INSTRUMENTOS DE RECOLECCIÓN DE DATOS .....</b>	<b>39</b>
<b>3.5.1. Extracción de pectina del mesocarpio del fruto de la granadilla .....</b>	<b>40</b>
<b>3.5.2. Extracción de almidón de oca y olluco.....</b>	<b>40</b>
<b>3.5.3. Determinación de las propiedades químicas .....</b>	<b>41</b>
<b>3.5.4. Determinación de las propiedades funcionales .....</b>	<b>42</b>
<b>3.5.5. Preparación de las biopelículas .....</b>	<b>43</b>
<b>3.5.6. Caracterización de las propiedades de las biopelículas .....</b>	<b>43</b>
<b>3.6. TÉCNICAS DE PROCESAMIENTO Y ANÁLISIS DE DATOS.....</b>	<b>45</b>
<b>3.7. ASPECTOS ÉTICOS .....</b>	<b>46</b>
<b>CAPITULO IV: RESULTADOS Y DISCUSIÓN .....</b>	<b>47</b>
<b>4.1. DESCRIPCIÓN DE RESULTADOS .....</b>	<b>47</b>
<b>4.1.1. Caracterización de almidón (oca y olluco) y pectina.....</b>	<b>47</b>
<b>4.1.2.Efecto de la concentración de pectina, almidón de olluco y almidón oca en las propiedades de color de las biopelículas.....</b>	<b>48</b>
<b>4.1.3. Efecto de la pectina, de almidón de olluco y almidón oca en las propiedades de solubilidad e higroscopicidad de las biopelículas. ....</b>	<b>51</b>

<b>4.1.4. Efecto de la pectina, de almidón de olluco y almidón oca en las propiedades de PVA y módulo Young de las biopelículas.....</b>	<b>55</b>
<b>4.2. CONTRASTACIÓN DE HIPÓTESIS .....</b>	<b>59</b>
<b>4.3. DISCUSIÓN DE RESULTADOS .....</b>	<b>59</b>
<b>4.3.1. Caracterización de almidones y pectina. ....</b>	<b>59</b>
<b>4.3.2. Efecto de la pectina, de almidón de olluco y almidón oca en las propiedades de las biopelículas . ....</b>	<b>61</b>
<b>CAPITULO V: CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES .....</b>	<b>65</b>
<b>5.1. CONCLUSIONES.....</b>	<b>65</b>
<b>5.2. RECOMENDACIONES.....</b>	<b>67</b>
<b>REFERENCIAS .....</b>	<b>68</b>

## ÍNDICE DE TABLAS.

Tabla 1 <i>Composición química del olluco por cada/100g de parte comestible</i> .....	19
Tabla 2 <i>Composición química y nutricional de la oca</i> .....	20
Tabla 3 <i>Composición química y nutricional de la granadilla.</i> .....	22
Tabla 4 <i>Variables independientes y dependientes del estudio</i> .....	36
Tabla 5 <i>Corridas experimentales utilizando el diseño factorial 2k.</i> .....	37
Tabla 6 <i>Composición química del almidón de olluco, almidón de oca y pectina de granadilla.</i> .....	48
Tabla 7 <i>Análisis de varianza y comparaciones múltiples de L*, a* b* y c* de las biopelículas en función % pectina y % almidón (olluco y oca).</i> .....	49
Tabla 8 <i>Análisis de varianza de los modelos de regresión generados para L*, a* b* y c* en función a los % de almidón (olluco y oca)- % pectina.</i> .....	50
Tabla 9 <i>Análisis de varianza y comparaciones múltiples de Solubilidad e higroscopicidad de las biopelículas en función al % pectina y % almidón (olluco y oca).</i> .....	53
Tabla 10 <i>Análisis de varianza de los modelos de regresión generados para solubilidad e higroscopicidad en función al % de almidón (olluco y oca)- % pectina.</i> .....	54
Tabla 11 <i>Análisis de varianza y comparaciones múltiples de PVA y módulo Young de las biopelículas en función % pectina y % almidón (olluco y oca).</i> .....	57
Tabla 12 <i>Análisis de varianza de los modelos de regresión generados para PVA, y módulo de Young en función al % almidón (olluco y oca)- % pectina.</i> .....	58

## ÍNDICE DE FIGURAS

<b>Figura 1</b> <i>Estructura molecular básica de la pectina.</i> .....	<b>23</b>
<b>Figura 2</b> <i>Estructura química de la amilosa</i> .....	<b>26</b>
<b>Figura 3</b> <i>Estructura química de la amilopectina</i> .....	<b>26</b>
<b>Figura 4</b> <i>Esquema experimental del trabajo de investigación</i> .....	<b>38</b>
<b>Figura 5</b> <i>Extracción de pectina de la cascara de granadilla</i> .....	<b>78</b>
<b>Figura 6</b> <i>Extracción de almidón de olluco y oca</i> .....	<b>79</b>
<b>Figura 7</b> <i>Caracterización de las propiedades fisicoquímicas del almidón</i> .....	<b>79</b>
<b>Figura 8</b> <i>Elaboración de biopelículas</i> .....	<b>80</b>
<b>Figura 9</b> <i>Determinación del módulo de Young</i> .....	<b>80</b>

## RESUMEN.

La preocupación ambiental ha ido en aumento por el uso excesivo de plásticos lo que promueve a buscar alternativas biodegradables. Este estudio evaluó el efecto del porcentaje de pectina obtenida de cáscara de granadilla, almidón de olluco rojo y oca rosada en propiedades de color, permeabilidad al vapor de agua solubilidad, higroscopicidad y módulo de Young de biopelículas, mediante un diseño factorial  $3^2$  con un total de 18 tratamientos experimentales (54 réplicas). Los resultados muestran que las biopelículas presentaron tonalidades claras y homogéneas, con valores de luminosidad ( $L^*$ ) entre 82,65 a 89,10, valores de  $a^*$  que oscilan de 1,38 a 1,78, de  $b^*$  entre 0,04 a 10,93 y valores de  $c^*$  entre 1,46 a 11,05, demostrando un efecto significativo ( $p < 0,05$ ) de la pectina dentro sus propiedades de color independientemente del tipo de almidón utilizado. Para solubilidad e higroscopicidad los valores fueron bajos para ambos almidones, variando de 0,10% a 0,15% y de 0,08 hasta 0,13% respectivamente, indicando una elevada resistencia de la disolución en agua siendo más determinante el efecto de la pectina en las biopelículas elaboradas con almidón de olluco. Asimismo, para permeabilidad al vapor de agua (PVA), las biopelículas mostraron valores que oscilan entre 1,08 g/Pa\*s\*m y 9,23 g/Pa\*s\*m, no habiendo diferencia entre tratamientos. Finalmente, el análisis de módulo de Young mostró un aumento del porcentaje de almidón y pectina, con valores que varían de 22,39 MPa a 110,03 MPa, indicando mayor rigidez y resistencia mecánica. Se concluyó que es viable la transformación de películas biodegradables utilizando pectina de cáscara de granadilla y almidón de olluco u oca, presentando una alternativa ecológica y sostenible en la industria de empaques, disminuyendo los residuos plásticos y contribuyendo al aprovechamiento de subproductos agroindustriales.

## **ABSTRACT.**

Growing environmental concern over the excessive use of plastics has prompted the search for biodegradable alternatives. This study evaluated the effect of the percentage of pectin extracted from the husk and starch of red olluco and pink oca on the properties of color solubility, hygroscopicity, water vapor permeability and Young's modulus of biofilms, by means of a 2k factorial design with a total of 18 experimental runs. Regarding color, it was observed that the biofilms presented clear and homogeneous shades, with brightness values ( $L^*$ ) ranging from 82.65 - 89.10,  $a^*$  values ranging from 1.38 to 1.78,  $b^*$  values ranging from 0.04 - 10.93 and  $c^*$  values ranging from 1.46 to 11.05, showing that the % of pectin has a significant influence on the color parameters regardless of the type of starch used. For solubility and hygroscopicity the values were low, ranging from 0.10% to 0.15% and 0.08 to 0.13% respectively, indicating a high resistance to dissolution in water. Likewise, for water vapor permeability (WVP), the biofilms presented values ranging from 1.08 g/Pa\*s\*m to 9.23 g/Pa\*s\*m, with no significant difference between formulations. Finally, Young's modulus increased with increasing percentages of starch and pectin, with values ranging from 22.39 MPa to 110.03 MPa, indicating greater rigidity and mechanical strength.

It was concluded that the production of biodegradable films from passion fruit peel pectin and olluco and oca starch is feasible, presenting an ecological and sustainable alternative for the packaging industry, contributing to the reduction of plastic waste and the use of agro-industrial by-products.

## **CAPÍTULO I. INTRODUCCIÓN.**

### **1.1 Planteamiento del Problema.**

El principal problema actual es la contaminación ambiental por uso continuo del plástico en la conservación, el transporte y los procesos de protección de alimentos, estos contribuyen significativamente en la contaminación. Aproximadamente 100 millones de toneladas de poliestireno se utilizan para producir envases de alimentos, de los cuales más del 90% no son reciclables, por otro lado los plásticos provienen de fuentes no renovables y son productos que se degradan lentamente, toman cientos de años para degradarse por completo, liberando gases tóxicos y metabolitos peligrosos (Orezzoli et al., 2018). Ante esta problemática, el sector del empaque de alimentos, que representa mayor consumo de plásticos a base de petróleo es el más interesado en encontrar alternativas novedosas, ecológicas, sostenibles y de bajo costo. Palma-Rodríguez et al. (2017), señalan que ha surgido un interés por los polímeros biodegradables, almidón, proteínas y celulosa, siendo alternativa al empleo de los productos elaborados a partir de plásticos mayormente utilizados, tenemos el poliestireno y polietileno.

Los almidones son polisacáridos naturales compuestos por amilopectina y amilosa que se encuentra abundantemente en los tubérculos como papa, camote y oca, estos son reconocido por formar películas biodegradables por su bajo costo, biodegradabilidad y buena disponibilidad (Mali et al., 2005). Sin embargo, su aplicación puede presentar algunas limitaciones como fragilidad y alta sensibilidad a la humedad, lo que motiva su combinación con diferentes biopolímeros para que sus propiedades mecánicas y funcionales puedan ser mejores. Por otra parte, este polisacárido se encuentra especialmente en sus paredes celulares de las distintas frutas como la granadilla, especialmente en sus cáscaras, y posee propiedades gelificantes, emulsificantes y de

formación de películas (Thakur et al., 2009). Es una sustancia hidrosoluble, de fácil obtención y altamente compatible con otros polímeros, lo que la convierte en un ingrediente prometedor para el desarrollo de empaques comestibles y biodegradables.

En este contexto, en la provincia de Chota se cultiva tubérculos como; (olluco rojo, oca rosada) y granadilla de tercera categoría que no están dentro de los estándares de calidad para su comercialización que se utilizaría para la extracción de pectina. Morales-Rivé (2019), menciona que el mesocarpio de granadilla es una buena fuente de fibra y pectina, siendo una alternativa más eficiente y con menor impacto ambiental. Por ello, elaborar películas biodegradables utilizando pectina de cáscara de granadilla y almidón extraído de olluco y oca con buenas propiedades mecánicas, solubilidad y color, es de suma importancia para elaborar envases biodegradables y ser utilizados en el empaqueo de alimentos.

## **1.2 Formulación del Problema.**

¿Cuál es el efecto del porcentaje de pectina de granadilla (*Pasiflora ligularis*) y porcentaje de almidón extraído de olluco rojo (*Ollucus tuberosus*) u oca rosada (*Oxalis tuberosa*) en las propiedades mecánicas, higroscopicidad, solubilidad, color y permeabilidad al vapor de agua de biopelículas?.

## **1.3 Justificación.**

Una de las problemáticas mundiales es la protección que se realiza al medioambiente. En este entorno, el uso de agentes biodegradables y renovables representa una opción viable que reemplace a los plásticos convencionales. Además, resulta fundamental impulsar la investigación orientada al desarrollo de biopolímeros que puedan emplearse como materiales de empaque, brindando protección y aumentando la

vida útil de los distintos alimentos, además, los compuestos son biodegradables o comestibles, y preferentemente elaborados a partir de recursos locales y sostenibles.

Una de las opciones que se solucionaría es la utilización de residuos orgánicos, como cáscara y mesocarpio de granadilla, para que a través de las pectinas presentes en las frutas se obtengan bioplásticos. Asimismo, el uso de almidón extraído de tubérculos de olluco y oca, al alcanzar su pico de producción suelen ser desaprovechados debido a su baja demanda en los mercados, generando grandes cantidades de excedentes o residuos agroindustriales.

El presente estudio pretende contribuir con el desarrollo de conocimiento científico y tecnológico en la fabricación de biopelículas, evaluando a través de la combinación de pectina de granadilla con almidones de olluco y oca sobre las propiedades fisicoquímicas de las biopelículas. Actualmente, existe escasa investigación sobre el uso conjunto de estos biopolímeros en la formulación de materiales biodegradables, lo que hace relevante la ejecución de este trabajo.

Además, se implementará un procedimiento experimental en la formulación y elaboración de biopelículas a partir de estos compuestos. La propuesta es económicamente viable, ya que se utilizarán materias primas de bajo costo provenientes de residuos agroindustriales y cultivos locales. De esta manera, no solo se contribuirá a la reducción de la contaminación ambiental, sino también se brindarán valores agregados a productos que comúnmente son descartados, generando así oportunidades económicas adicionales para los productores locales dedicados al cultivo de estos frutos y tubérculos.

#### **1.4 Objetivo General.**

- Evaluar el efecto del porcentaje de pectina de granadilla y porcentaje de almidón de olluco rojo y oca rosada en las propiedades mecánicas, solubilidad, color, permeabilidad al vapor de agua, módulo Young y higroscopicidad de biopelículas.

#### **1.5 Objetivos Específicos.**

- Determinar la composición química, contenido de amilosa y propiedades funcionales (capacidad de adsorción de agua, poder de hinchamiento y solubilidad) de almidón de olluco y oca.
- Determinar las propiedades funcionales y contenido de metoxilo de la pectina extraída de granadilla.
- Evaluar el efecto del porcentaje de pectina de granadilla y porcentaje de almidón de olluco rojo u oca rosada en el color de las biopelículas.
- Evaluar el efecto del porcentaje de almidón de olluco y oca rosada y porcentaje de pectina de granadilla en la solubilidad de las biopelículas.
- Evaluar el efecto del porcentaje de almidón de olluco rojo, oca rosada y porcentaje de pectina en la permeabilidad al vapor de agua de las biopelículas.
- Evaluar el efecto del porcentaje de pectina de granadilla y porcentaje de almidón de olluco rojo y oca rosada en la higroscopicidad de las biopelículas.
- Evaluar el efecto del porcentaje de pectina de granadilla y porcentaje de almidón de olluco rojo y oca rosada en el módulo Young de las biopelículas.

## CAPÍTULO II. MARCO TEÓRICO.

### 2.1. Antecedentes.

Sierra (2021), en su investigación caracterizó propiedades fisicoquímicas de una película biodegradable hecha de residuos de naranja y almidón. Utilizó la metodología de superficie de respuesta, detallando el % de cáscara de naranja y el % de almidón como variables independientes. Las variables dependientes fueron: espesor, elongación, módulo de Young, perforación, resistencia a la tracción, PVA, color y solubilidad. El espesor de las biopelículas presentadas estuvo entre 0,24 mm y 0,39 mm. El tratamiento que obtuvo el más alto valor de resistencia a la perforación (8,31 N/mm) fue el que contenía la mayor cantidad de almidón. El % de elongación hallados varía entre 7,50% y 30%. El menor valor de módulo de Young encontrado fue el tratamiento que tiene baja cantidad de cáscara y almidón. Para la solubilidad, el valor óptimo se obtuvo con 0,8% de cáscara de naranja y 4,6% de almidón, obtuvo el menor valor de permeabilidad en el tratamiento que tenía mayor % de cáscara. El valor de color más próximo al control fue el del tratamiento con bajo porcentaje de cáscara de naranja, lo que llevó a concluir que a mayor cantidad de cáscara de naranja mayor sería el  $\Delta E$ .

Malekzadeh et al. (2023), tuvieron como objetivo producir nanocompuestos de almidón biodegradables y de alto rendimiento mediante el moldeo de películas utilizando almidón de maíz/celulosa nanofibrilada (CS/NFC) y almidón de maíz/lignocelulosa nanofibrilada (CS/NFLC). La NFC y la NFLC se obtuvieron mediante un proceso de supermolienda y se añadieron a soluciones fibrogénicas (1,3 g/100g y 5 g/100g de almidón). Se comprobó que la adición de NFC y NFLC del 1 al 5% influía en la mejora de las propiedades mecánicas (índice de tracción, desgarro y rotura) y en reducir la velocidad de transmisión de vapor de humedad, permeabilidad de aire y las propiedades

esenciales en los materiales de envasado de alimentos. Pero con respecto a las muestras de control, la adición NFC y NFLC del 1% al 5% disminuyó la opacidad, la transparencia y el índice de desgarro de las películas. En soluciones ácidas, las películas producidas eran más solubles que en soluciones alcalinas o acuosas. El análisis de biodegradabilidad en el suelo mostró que, tras 30 días de exposición al suelo, la película de control perdió el 79,5% de su peso. La merma de peso de todas las biopelículas fue >81% tras 40 días.

Alata y Cuadros (2017), evaluaron las propiedades mecánicas de biopelículas elaboradas con residuos cítricos y celulosa. En el primer paso, se elaboraron películas biodegradables utilizando cáscara de naranja, glicerina y pectina. Determinaron que las películas con las mejores características estaban compuestas por 40% de glicerina, 40% de pectina y 20% de cáscara de naranja. Además, la película exhibió una fuerza a la tracción de 5,92 N/mm<sup>2</sup> y una elongación del 66,39%. Por lo tanto, en el segundo paso, se añadió cáscara de naranja como reemplazo parcial de la celulosa bacteriana en la formulación anterior para mejorar sus propiedades mecánicas. La biopelícula resultante con la mejor composición estaba compuesta por 10 % de celulosa y cáscara de naranja, 40% de glicerina y pectina, que presentó una elongación del 35,27% y una resistencia a la tracción de 7,33 N/mm<sup>2</sup>.

Ávila (2024), evaluó propiedades físico-mecánicas, de las biopelículas por castings utilizando diversas concentraciones de almidón de plátano macho y bagazo de naranja, las películas obtenidas fueron sometidas a 75% HR, con la finalidad ver el efecto que genera en las propiedades estructurales, así como también en las mecánicas de las películas. Dichas películas presentaron 114,520 N/m reforzamiento de bagazo de naranja, alargamiento de ruptura 22%, y módulo de Young 4,5 MPa, resistencia máxima a la tracción 48,940 MPa. Dando como resultado la disminución del alargamiento de ruptura

con la adición de polvo de bagazo de naranja, sin afectar las propiedades mecánicas, mejorando la permeabilidad del vapor de agua (PVA) y solubilidad.

Venancio (2024), investigó sobre como emplear residuos de la agroindustria para obtener biopolímeros (almidón y pectina) para ser utilizados en la elaboración de un bioplástico. Las biopelículas, el contenido de humedad para P-17 fue de 14,23% y su contenido de cenizas de 3,67%. La solubilidad que P-17, P-18, P-19 y P-20 presentaron fue de 29,74%, 30,54%, 31,17% y 32,78%, respectivamente. Los valores presentes al vapor de agua fueron de P-17, P-18, P-19 y P-20 fueron 29,74 g/smPa, 30,54 g/smPa, 31,17 g/smPa y 32,78 g/smPa, respectivamente. Los resultados de las pruebas mecánicas para cada biopelícula fueron: P-17 (elongación 35,42%, esfuerzo de tracción al corte 6,71 MPa y módulo de Young 18,94), P-18 (elongación 36,33%, esfuerzo de tracción al corte 6,11 MPa y módulo de Young 16,83), P-19 (elongación 34,19%, esfuerzo de tracción al corte 5,31 MPa y módulo de Young 15,56) y P-20 (elongación 39,44%, esfuerzo de tracción al corte 5,17 MPa y módulo de Young 13,10). Los cuatro bioplásticos demostraron ser biodegradables en condiciones aeróbicas.

Pawle et al. (2025), fabricaron películas biodegradables utilizando almidón de maíz mezclado con la cascara de cítricos y papaya cruda. Combinó polvo de papaya cruda con polvo de cáscara de cítricos para el desarrollo de película en las formulaciones (M1), (M2), (M3), (M4) y (M5). El polvo de papaya cruda y el polvo de cáscara de cítricos se mezclaron con almidón de maíz para maximizar las propiedades y características de la película. Las películas se sometieron a diversos análisis de parámetros, como el grosor, las propiedades ópticas y las propiedades de barrera. Según los resultados, M<sub>3</sub> era una película optimizada, ya que tenía un espesor mínimo ( $0,26 \pm 0,01$ ), alta resistencia a la tracción ( $5,79 \pm 0,12$ ), alargamiento a la rotura de  $11,92 \pm 0,03$ , alta transparencia ( $1,42 \pm 0,06$ ), y alta temperatura de degradación. De los resultados se deduce que las películas

preparadas son idóneas para el envasado de alimentos y su producción a mayor escala puede reducir considerablemente el desperdicio de plástico.

## **2.2.Bases teórico – científicas.**

### **2.2.1. *El olluco (Ullucus tuberosus).***

Planta habitual cultivada en los Andes, de Venezuela, Chile y Argentina desde las épocas prehispánicas. El nombre común varía de acuerdo a cada país y región donde es cultivado, en Perú se conoce como: olluco, ulluco, lisa, papalisa (Surco, 2004). Es un tubérculo de piel fina parecido a la papa. Los tubérculos de las variedades locales tienen muchos colores, desde el rosa a varias mezclas de naranja-amarillo y rosa-amarillo. Su consumo depende de la temporada. Crece en el Altiplano por encima de los 3500 m.s.n.m. Además de almidón su contenido nutricional incluye antioxidantes y proteínas, indicados por sus diversos colores (Rodríguez et al., 2025).

### **Taxonomía y morfología del olluco.**

Arbizú y Robles (1986), clasificaron taxonómicamente al tubérculo de olluco.

Reino	: <i>Plantae</i>
División	: <i>Espermatofita</i>
Sub-División	: <i>Angiospermas</i>
Clase	: <i>Dicotiledóneas</i>
Orden	: <i>Centrospermas</i>
Suborden	: <i>Portulacineas</i>
Familia	: <i>Basellaceae</i>
Género	: <i>Ollucus</i>
Especie	: <i>Tuberosus</i>
Nombre científico	: <i>Ollucus tuberosus</i>
Nombre común	: <i>Olluco papa lisa</i>

### A. Composición química y nutricional del olluco

El olluco presenta gran humedad en su composición, constituyendo una fuente de carbohidratos, como se presenta en la Tabla 1.

**Tabla 1.**

*Composición química del olluco por cada/100g de parte comestible.*

<b>Componentes</b>	<b>Contenido 100 g</b>
Humedad (%)	83,4
Cenizas (g)	5,93
Proteínas (%)	10,01
Fibra (%)	2,63
Extracto estéreo (%)	1,24
Carbohidrato total (%)	8,12
Calcio (%)	0,02
Fosforo (%)	0,263
Magnesio (%)	0,107
Sodio (%)	0,03
Potasio (%)	2,48
Cobre (ppm)	10,71
Riboflavina	59,42
Hierro (ppm)	9,19
Zinc (ppm)	23,94
Almidón (%)	70,50
Azúcar total (%)	6,63

*Nota.* Datos obtenidos de Meza et al. (1997, p. 14).

#### **2.2.2. La oca (*Oxalis tuberosa*).**

Su nombre es variable en algunos lugares se conoce como oqa, crece en lugares entre los 2800 y 4100 m.s.n.m. en el continente sudamericano (Goicochea et al., 2021). El tubérculo de oca presenta una forma cilíndrica de tamaño entre 5 a 8 cm de longitud y 2 a 4 cm de diámetro. La piel del tubérculo es mayormente lisa con muchas escamas que cubren los ojos profundos. El color de la cáscara puede ser púrpura, rojo, rosado y amarillo, es una fuente de una gama de nutrientes con almidón siendo el componente principal de 60% del peso seco (Zhu y Cui, 2019).

➤ **Taxonomía y morfología de la oca.**

Según Segura (2004) la taxonomía del tubérculo es:

Reino	: <i>Plantae</i>
Clase	: <i>Agnolespida</i>
Orden	: <i>Geraniales</i>
Familia	: <i>Oxalidaceae</i>
Género	: <i>Oxalis</i>
Especie	: <i>Oxalis tuberosa mol</i>

➤ **Composición química y nutricional de la oca.**

Zorrilla (2006), sostiene que la oca presenta gran cantidad de almidón de buena calidad, su valor nutricional es muy variable, a comparación de la papa. Su composición química como visualiza en la Tabla 2.

**Tabla 2.**

*Composición química y nutricional de la oca.*

Componentes	Contenido 100 g
Agua (%)	87
Ácido ascórbico (g)	39,7
Proteínas (%)	1,5
Carbohidratos (%)	3,5
Grasa total (%)	0
Calorías (kcal)	73,5
Fibra (%)	32
Calcio (g)	17,2
Fósforo (%)	2,8
Hierro (g)	12,5

*Nota.* Datos obtenidos de Meza et al. (1997, p. 14).

### **2.2.3. Granadilla (*Passiflora ligularis* Juss).**

Su cultivo está asociado con el pequeño agricultor, es una especie cultivada desde la época incaica entre Perú, Ecuador y Colombia. Las condiciones para el crecimiento óptimo son: temperaturas de 14 a 24 °C, HR de 75% y pH de 6 a 6,5 (Villalva, 2019). En el Perú esta especie frutal es cultivada en distintas regiones que se encuentra a una altitud de 800 a 2 500 m. s. n. m. de altitud. Las regiones productoras de este fruto son: Trujillo, Cuzco, Cajamarca, Puno, Junín y Huancavelica (Cortez y Salome, 2017). Esta fruta es apreciada por su sabor, color y valor nutricional. Su consumo es en fresco, jugo, helado o mermelada (Realpe y Vásquez, 2020).

#### **➤ Taxonomía y morfología de la granadilla.**

Según Villalva (2019), la taxonomía de la granadilla es:

Reino	: <i>Plantae</i>
División	: <i>Embryophita</i>
Sub-División	: <i>Angiospermae</i>
Clase	: <i>Dicotyledonea</i>
Subclase	: <i>Archiclamydeae</i>
Orden	: <i>Violales</i>
Familia	: <i>Passifloraceae</i>
Género	: <i>Passiflora</i>
Especie	: <i>Passiflora ligularis</i> Juss

Esta fruta es trepadora, sus tallos son de forma tubular y sus hojas son de forma acorazonada de color verde oscuro que suelen medir de largo 8 a 14 cm, las flores son completas con cinco estambres unidos, su diámetro es de 6 a 8 cm, la semilla tiene una corteza lisa, y su maduración dura de 70 a 80 días después de la polinización (Realpe y Vásquez, 2020). En su interior de la fruta existe entre 200 a 250 semillas cubiertas por un arilo grisáceo el cual constituye la parte comestible (Noblecilla, 2017).

➤ **Composición química y nutricional de la granadilla.**

La granadilla presenta un 60% cáscara, 30% pulpa, 10 a 15% semilla y la composición química de la parte comestibles se presenta en la Tabla 3.

**Tabla 3.**

*Composición química y nutricional de la granadilla.*

<b>Componentes</b>	<b>Contenido de 100 g (parte comestible)</b>
Agua	86 %
Proteínas	1,1 %
Carbohidratos	11,6 %
Cenizas	0,9 %
Grasa total	0,1 %
Calorías	46 %
Fibra	0,3 %
Ácido ascórbico	20 mg
Calcio	7 mg
Fósforo	30 mg
Hierro	0,8 mg

*Nota.* Datos obtenidos de Lograño (2014, p. 114).

Chasquibol-Silva et al. (2008), mencionan acerca del mesocarpio de la granadilla que tiene un alto rendimiento de 23,85% de pectina, similar a la pectina que se obtiene de los frutos cítricos (20 - 35%). Además, indica que el mesocarpio de la granadilla es de alto metoxilo y de gelificación rápida. La Tabla 3 muestra la composición de la granadilla, donde destaca el alto contenido de fibra.

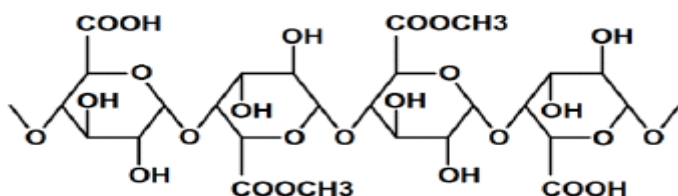
#### 2.2.4. Pectina.

López et al. (2019), este polisacárido se encuentra presente en tejidos vegetales, por cadenas de ácido galacturónico. Su extracción suele ser de manzana, y cascaras de cítricos, los cuales presentan mayor rendimiento.

Zegada (2015), está formada por anillo de ácido galacturónico,  $C_6H_{10}O_7$ . En cada anillo existe un grupo carboxilo (-COOH), que produce esteres metílicos (COOCH<sub>3</sub>).

#### Figura 1.

*Estructura molecular de pectina.*



*Nota.* Datos obtenidos de Zegada (2015).

#### A. Tipos de pectinas según el grado de metoxilación.

**Pectinas de alto metoxilo:** se dividen en 2 categorías: pectinas de gelificación presentan menor periodo de gelificación a 5 min (minutos) y un grado de 68% y 75% de esterificación; con un tiempo mayor de 5 minutos de gelificación lenta 60% y 68% de esterificación (Urango-Anaya et al., 2018). Las pectinas que presentan alto metoxilo gelifican a sólidos solubles con valores superiores al 55%. Cada valor de sólido soluble por encima al 55%, con un pH óptimo para la gelificación (Chocano, 2019).

**Pectinas con bajo metoxilo:** Presentan un% menor del 50% de grupos carboxilo esterificados con grupos metilo. Dichas pectinas requieren que se encuentren presentes los cationes divalentes, como calcio, para gelificar (Urango-Anaya et al., 2018). Estas pectinas gelifican cualquier solido soluble por lo que la conformación del gel dependería

de la concentración añadida de la pectina, disminuyendo el porcentaje de sólidos solubles al disminuir la temperatura de gelificación (Chocano, 2019).

## **B. Propiedades fisicoquímicas y funcionales de la pectina.**

***Solubilidad:*** presenta fácil disolución en agua, glicerina a 50 °C a más formamida y dimetilformamida (Cabarcas et al., 2012).

***Acidez:*** Las pectinas en estado natural se encuentran en estado neutro, pero en solución presenta un carácter ácido de pH oscilando 2,8 y 3,4, y esta tiene un impacto en el grado de esterificación (Cabarcas et al., 2012).

***Viscosidad:*** El pH, grado de polimerización, temperatura, presencia de electrolitos y concentración determinan la viscosidad. Si supera un cierto límite, la concentración de calcio, pectinas con bajo metoxilo que pueden gelificar. El calcio y otros iones polivalentes hacen que las soluciones de pectinas sean más viscosas (Cabarcas et al., 2012).

***Poder de gelificación de la pectina:*** A esto se le conoce como la capacidad para que el gel se pueda formar y depende de la metoxilación del grado de la molécula de pectina. Según Cabarcas et al. (2012), sostiene que las pectinas con mayor metoxilo, y pH con 3,4 se pueden desestabilizar (< a 40% de los ésteres metílicos), dificultando y a consecuencia será complicado la formación de un gel estable.

Según Chocano (2019), menciona que existen factores que intervienen en la formación del gel de la pectina, son los siguientes.

***Temperatura:*** La energía térmica de las partículas disminuyen y tiende a subir cuando la solución caliente se enfría. Cualquier sistema con pectina tiene una temperatura crítica que nunca ocurrirá la gelificación, las pectinas que contienen bajo metoxilo

gelifican al instante a comparación de las pectinas que tienen alto metoxilo que necesitan más tiempo y los geles producidos no son termorreversibles (Chocano, 2019).

**pH:** El pH de la pectina suele encontrarse 3,5. La pectina es más hidrofílica cuando tiene mayor porcentaje de grupos ácidos disociados en comparación con los no disociados. En consecuencia, la gelificación aumenta significativamente cuando se reduce el pH (Chocano, 2019).

**Los iones calcio:** Las pectinas de bajo metoxilo necesitan iones de calcio para que gelifiquen, la fuerza del gel y la temperatura de gelificación aumentan con el incremento de la concentración de calcio tanto para ambos tipos de pectina (Chocano, 2019).

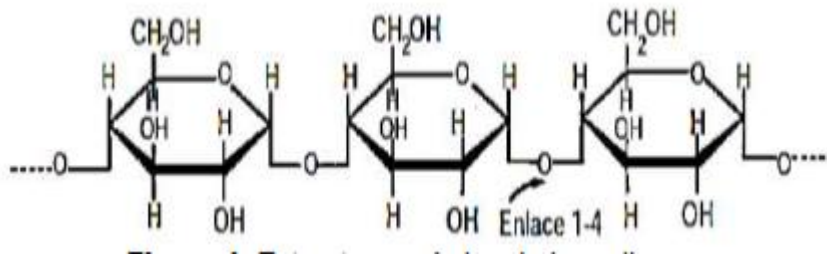
#### **2.2.5. Almidón.**

Polisacárido que está presente en el endospermo de cereales o legumbres, tubérculos, frutas y otros vegetales, presenta moléculas de glucosa en su unidad estructural, con tamaños entre 2 y 100 micras en una forma redondeada (Surco, 2004).

El almidón es un polisacárido que tiene propiedades relevantes para ser considerado en el desarrollo de películas degradables, es uno de los materiales naturales más abundantes, fáciles de obtener a bajo costo, renovables y biodegradables (Orezzoli et al., 2018). Su estructura consta de dos componentes principales o mejor dicho una mezcla de glucanos, la amilosa como polímero a comparación de la amilopectina es ramificado, estos componentes determinan su funcionalidad y usos finales del almidón. Ballesteros-Mártinez et al. (2020), el responsable de las propiedades de biopelículas de almidón es la amilosa ya que las cadenas interactúan por enlaces de hidrógeno, lo que resulta que en películas sean rígidas y relativamente fuertes.

**Figura 2**

*Estructura química de la amilosa.*

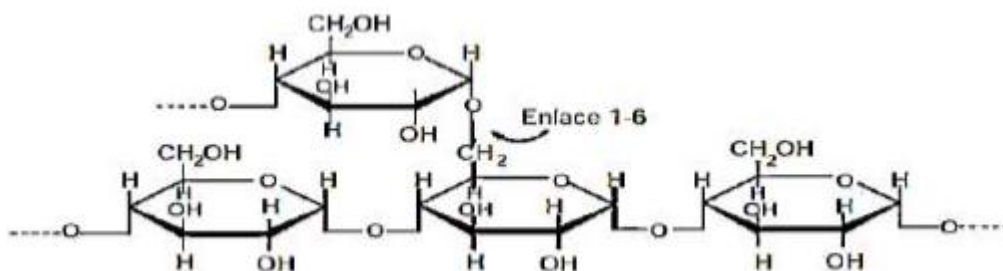


*Nota.* Datos obtenidos de Ballesteros-Mártinez et al. (2020).

La amilopectina predomina en los almidones (70 a 80%), aunque en ocasiones puede alcanzar un mayor porcentaje de 98 a 99% en almidones cerosos, este polímero tiene cadenas largas y cortas de glucosa, permitiendo arreglar sus propiedades cristalinas que se adaptan bien a los gránulos de almidón. La disposición de las ramificaciones, que es similar a la de la amilosa, no permite una degradación rápida y no favorece la formación de gel (Chocano, 2019).

**Figura 3.**

*Estructura química de la amilopectina.*



*Nota.* Datos obtenidos de Chocano (2019).

## **A. Caracterización funcional del almidón.**

***Solubilidad en agua:*** La cantidad de amilosa liberada se mide a través del indicador de solvencia en agua del interior del gránulo (Peña, 2017). La solubilidad del almidón se incrementa a través que la temperatura aumenta (Meaño et al., 2014).

***Claridad de la pasta:*** Aquellas con transmitancia menor a los 40% se consideran turbias u opacas, en cambio las pastas con un 40% de transmitancia superior son transparentes o claras. Por lo que, la transparencia u opacidad afecta directamente en el color de los productos para utilizarlos como aditivos (Meaño et al., 2014).

***Poder de hinchamiento:*** se considera a la proporción de H<sub>2</sub>O absorbida por el almidón a una temperatura y concentración específica (Peña, 2017). Es una medida, no solubilizado, que se genera por la absorción del agua. Según Meaño et al. (2014), mencionan que si la temperatura aumenta el poder de hinchamiento se incrementa.

***Retrogradación:*** Es el proceso que ocurre después de la gelatinización, que ocurre cuando se enfría la dispersión de almidón, las cadenas interactúan entre ellas durante este proceso, mediante los grupos hidroxilo y puentes de hidrógeno, lo que forma un precipitado insoluble que aumenta la retención del agua en los intersticios de almidón. Después del enfriamiento y la gelatinización, la reasociación y la cristalización, las moléculas de almidón provocan la retrogradación, las moléculas de amilosa son las principales causas de esta reasociación, que sigue una recristalización lenta de las moléculas de amilopectina (Peña, 2017).

### ***2.2.6. Películas biodegradables.***

Una película biodegradable, también conocida como biopelícula, está formada por material separado y una capa delgada, se compone de tres componentes: polímero,

solvente y plastificante (Solano-Doblado et al., 2018). El beneficio de las biopelículas es su eco-naturaleza amigable debido a su biodegradabilidad y además, poseen una ventaja adicional de evitar pérdida de humedad, pérdida de aromas, transporte de solutos, absorción de agua en la matriz alimenticia y penetración de oxígeno (Shaikh et al., 2019). Las estructuras poliméricas de las biopelículas permiten mantener completamente su integridad física durante la fabricación, el almacenamiento, el envasado, la vida en anaquel y el uso del consumidor, sin embargo, al terminar su tiempo de vida, las biopelículas son desechadas y sometidas a cambios químicos por agentes ambientales y microorganismos, estos los convierte en sustancias simples o en componentes menores que eventualmente se asimiladan (Rodríguez, 2012).

Los componentes utilizados en la producción de películas son variados y se pueden usar por separado o en combinación, estos polímeros incluyen almidón, quitosano o quitina, gomas, y lípidos (Shaikh et al., 2019). Se les denomina biodegradables porque sufren una modificación en condiciones ambientales, resultando la pérdida propiedades (Garcia, 2017).

#### **A. Polímeros utilizados en la elaboración de biopelículas.**

**Carbohidratos:** Los polisacáridos utilizados para hacer películas incluyen pectinas, incluyen las gomas, almidón nativos, entre otros que generan biopelículas con optimas propiedades mecánicas y de barrera frente a gases (Morales, 2014).

**Derivados de celulosa:** Formada de cadenas lineales con enlaces  $\beta$ -(1 a 4) de glucosa, el cual reduce la solubilidad en agua, dentro de los derivados utilizados tenemos: carboximetilcelulosa, metilcelulosa, o hidroxipropil metilcelulosa (Ancos et al., 2015).

**Proteínas:** Superan a los polisacáridos en términos de propiedades mecánicas y propiedades de barrera frente al CO<sub>2</sub> y O<sub>2</sub>, para mejorar sus características de barrera ante el H<sub>2</sub>O deben combinarse con lípidos (Ancos et al., 2015). La desventaja que presenta estas películas son cambios de pH, lo que limitan su formación (Santiago , 2015).

**Lípidos:** Los lípidos que se han utilizado para hacer biopelículas son ceras de abejas, el ácido esteárico, etc. Los lípidos resisten bien el vapor de agua por su naturaleza hidrofóbica, pero su falta de cohesividad e integridad estructural provocan biopelículas y recubrimientos frágiles (Santiago , 2015).

Algunos factores de las propiedades mecánicas de los lípidos, que determinan su operacionalidad de películas son la estabilidad de emulsión y el tamaño de partículas, existiendo grupos polares y no polares. Los grupos polares atraen moléculas de agua, y los grupos no polares hacen que la molécula sea hidrofóbica (Solis, 2016).

**Hidrocoloides:** Son una barrera para los gases, formando recubrimientos con propiedades mecánicas óptimas y están compuestos por proteínas de origen animal y vegetal (Ancos et al., 2015). Las películas a base de hidrocoloides resisten bien el O<sub>2</sub>, el CO<sub>2</sub> y los lípidos (Sifuentes, 2011).

**Mezclas entre biopolímeros:** El uso combinado de polímeros para mejorar las propiedades y características de las biopelículas y contrarrestar las deficiencias del uso individual de cada componente se ha documentado recientemente en estudios. Este tipo de biopelículas mejora las propiedades mecánicas, la permeabilidad a los gases (O<sub>2</sub>, CO<sub>2</sub> y vapor de agua) y la solubilidad, etc. (Sifuentes, 2011).

## **B. Plastificantes utilizados en la elaboración de las biopelículas.**

Según Ballesteros et al. (2020), menciona que los plastificantes presentan una mayor viscosidad a la del agua, se agrega a una mezcla para intercalar entre cadenas de polímeros, interrumpiendo los enlaces de hidrógeno, mejorando así la flacidez y la permeabilidad al vapor de agua y gas. (Enríquez et al., 2012), mencionan que la inclusión de plastificantes reduce la temperatura de fusión, lo que altera su comportamiento reológico Oropeza et al. (2016), mencionaran que el grosor de la biopelícula, el contenido de humedad, densidad y solubilidad, así mismo la capacidad de absorción de agua e hinchamiento están influenciados por el tipo de plastificante y su concentración.

**Glicerol:** Conocido como glicerina, tiene 3 grupos hidroxilos ( $-OH$ ), higroscópico, se disuelve en agua y ebulle a  $290\text{ }^{\circ}C$ , es utilizado como plastificante en biopelículas biodegradables ya que tiene un costo bajo y se encuentra disponible (Alata et al., 2018). Es el plastificante utilizado con más frecuencia para elaborar biopelículas de almidón debido a su compatibilidad con la amilosa y este plastificante, generando mayor flexibilidad de la biopelícula (Ballesteros-Mártinez et al., 2020).

**Sorbitol:** El sorbitol se intercala con los polímeros y rompe enlaces de hidrógeno y extendiendo las cadenas poliméricas, esto incrementa su flexibilidad y permeabilidad al vapor de agua y otros gases (Ballesteros-Mártinez et al., 2020). El sorbitol se usa con mayor frecuencia en películas a elaboradas de almidón ya que tiene una buena capacidad para evitar que las películas se agrieten durante el manejo y el almacenamiento.

**Ácido acético:** El ácido acético funciona como un tensioactivo y solvente que solubiliza las partículas sólidas, permitiendo producir una estructura uniforme y homogénea de la biopelícula. La adición de solubilizantes como el ácido acético fortalece la posibilidad de interacción entre el tensioactivo y los polímeros de película, que reduce la flexibilidad de las cadenas de polímeros durante la formación de la película y puede

producir a biopelículas más estables. Se han realizado muchos estudios sobre películas basadas en almidón y ácido acético, los resultados muestran que las biopelículas tienen buena flexibilidad y baja permeabilidad al vapor de agua (Prabha y Ranganathan, 2018).

***Alcohol polivinílico:*** El alcohol polivinílico presenta grupos hidroxilo (OH), los cuales tienen efectos importantes que permite a este ser hidrófilo y soluble, debido a su alta polaridad, este compuesto tiene excelentes propiedades para generar la formación de biopelículas y es un reactivo para mezclas con almidón. Además, posee excelentes características físicas y mecánicas y mejores propiedades de barrera contra el O<sub>2</sub>, cuando se utilizan concentraciones bajas de alcohol polivinílico en la elaboración de biopelículas, la biodegradabilidad aumenta (García, 2017).

***Agua destilada:*** Está libre de impurezas y iones, se usa comúnmente como plastificante para que los polímeros hidrosolubles se solubilicen. El plastificante más abundante es el agua y es más económico y es utilizado para mejorar las propiedades mecánicas (García, 2017).

### **C. Procesos de formación de biopelículas.**

***Método húmedo o vaciado en placa o casting:*** Es el método más empleado el cual se realiza mediante un control del espesor de la película o mediante la aplicación de una solución filmogénica de la película en la placa. Para que se pueda secar, el método consiste en añadir la solución filmogénica dentro de un área nivelada del recipiente. Donde el tiempo y la temperatura influyen en el secado, propiedades mecánicas y en la cristalinidad de la película. (Solis, 2016).

***Proceso de inmersión:*** tiene como finalidad de introducir el producto que se va a preservar en una solución filogénica en un tiempo determinado, luego se lleva al proceso

de secado. A diferencia del proceso de inmersión, las películas producidas por el proceso de aspersión se aplican en capas delgadas y uniformes sobre la superficie del alimento. Cuando se quiere proteger el alimento se utiliza la aspersión (Solis, 2016).

#### **D. Propiedades de barrera y transparencia masa de las biopelículas.**

**Permeabilidad al vapor de agua:** Es la cantidad que transmite el vapor de agua por cada unidad de área, causada por una presión de dos superficies (Muñoz, 2014). Según Solano-Doblado et al. (2018), mencionan que la permeabilidad es un indicador con la cual el vapor de agua ingresa en un objeto. Depende de la porción hidrofóbica de la biopelícula. Para determinar la permeabilidad al vapor de agua existen algunos métodos estándares como el método gravimétrico ASTM E-96/E y el 96M-05.

**Permeabilidad a los gases:** Significa que un permeado se mueve mediante un material resistente. En biopelículas, la difusión involucra la solubilidad del gas en la biopelícula y la propagación mediante la biopelícula. El intercambio de oxígeno, CO<sub>2</sub> y otros gases entre la biopelícula y el alimento o producto puede verse afectado por las condiciones de humedad relativa y temperatura ambiental. Una gran cantidad de polímeros que provenientes de distintos recursos naturales tienen características de barrera en buen estado (Rincón, 2014).

#### **E. Propiedades mecánicas.**

Según Santiago (2015), Varían según el material utilizado, en particular, según la cohesión estructural de la película para formar enlaces moleculares fuertes entre sus cadenas.

**Resistencia a la tensión:** Es encargada de fragmentar por elongación la biopelícula, es decir, la resistencia mecánica de la biopelícula. Se expresa en MPa y se

genera del cociente entre la fuerza máxima ( $F_{\max}$ ) que soporta la biopelícula y su sección transversal ( $S$ ) en un tiempo cero. Se determina utilizando la siguiente ecuación.

$$\text{Resistencia a la tensión} = \frac{F_{\max}}{S} \quad (\text{Ec.1})$$

**Porcentaje de elongación (%E):** Indica el grado en que se puede estirarse la película antes de romperse. Además, se denomina como capacidad de una película de ampliarse antes de fracturarse. Se genera a través de la desigualdad entre la longitud de la biopelícula del ensayo ( $L_f$ ) y la longitud inicial del film ( $L_o$ ) y se expresa en %.

$$(\% E) = \frac{L_f - L_o}{L_o} \quad (\text{Ec.2})$$

**Módulo de Young o elasticidad:** Los valores indican rigidez y compresibilidad. Se obtiene entre la tensión mecánica ( $\sigma$ ) y la deformación ( $\varepsilon$ ).

$$(E) = \frac{\sigma}{\varepsilon} \quad (\text{Ec.3})$$

## F. Propiedades físicas.

**Opacidad:** La opacidad está inversamente relacionada con la transparencia y es una importante característica para definir los posibles usos de la película o revestimiento comestible. Por lo tanto, una película opaca se puede utilizar para alimentos susceptibles a la luz. En contraste, las películas con alta transparencia proporcionan al consumidor una mejor representación visual del producto (Galindez et al., 2019).

**Color:** Va depender del polímero a utilizar, plastificante, para el proceso de obtención de la biopelícula, etc. Basiak, Lenart, y Debeaufort (2017), mencionaron que el color es una característica crucial para la aceptación o rechazo de la biopelícula. Porque la técnica CIELab es utilizada para determinar el color  $L^*$  (luminosidad),  $a^*$  (color rojo – verde),  $b^*$  (color amarillo – azul).

**Solubilidad:** Conocida como la capacidad de una sustancia para disolverse, y es expresada normalmente en proporciones (Muñoz, 2014). Se expresa como el % de la pérdida de peso y se determina en la siguiente ecuación (Ec.4).

$$\text{Solubilidad} = \frac{\text{Peso inicial} - \text{peso final}}{\text{Peso inicial}} \times 100. \quad (\text{Ec.4})$$

## **2.3.Marco Conceptual.**

### **2.3.1.Biopelícula.**

Material de envoltura (empaque) de capa fina utilizada en la industria alimentaria, que suele ser consumida ya que se genera de polímeros biodegradables, que no son dañinos para la salud y permiten mantener y conservar los alimentos (Fernández et al., 2015).

### **2.3.2.Polímero biodegradable.**

Los polímeros con propiedades biodegradables se denominan a los que se desintegran con mayor facilidad y son más abundantes de forma natural en comparación a los materiales poliméricos sintéticos (Mukherjee et al., 2023).

### **2.3.3.Pectina**

Es un polisacárido complejo abundante obtenido de diversas plantas, por sus excelentes propiedades fisicoquímicas la pectina es adecuada para diversas aplicaciones, incluyendo los envases de alimentos. Recientemente se ha destacado como un biomaterial prometedor para la elaboración de películas y recubrimientos de embalaje sostenibles de base biológica (Roy et al., 2023).

#### ***2.3.4. Almidón***

Es biodegradable, renovable y de origen natural. Está formado por amilosa y amilopectina y también contiene una cantidad muy pequeña de proteínas y lípidos. El almidón se considera una fuente de energía para la dieta humana y un ingrediente esencial para el desarrollo de diversos alimentos y generalmente de las raíces, tallos y semillas de cereales y patata (Kushwaha et al., 2023).

#### ***2.3.5. Residuo.***

Es un material generado que proviene de procesos como de extracción, beneficio, transformación, producción, que no permite ser utilizado en un nuevo proceso; suelen encontrarse en estado líquido, sólido o gaseoso (Sánchez, 2011).

#### ***2.4. Hipótesis.***

Altos porcentajes de almidón de olluco u oca, y a bajos porcentajes de pectina de granadilla producirán biopelículas con mejores propiedades mecánicas, higroscopicidad, color, permeabilidad al vapor de agua y solubilidad.

## 2.5.Operacionalización de variables.

**Tabla 4.**

*Variables independientes y dependientes del estudio.*

	Variables	Dimensión	Indicador	Instrumento
Independientes	Almidón de olluco	concentración	%	Balanza
	Almidón de oca	concentración	%	Balanza
	Pectina de granadilla	concentración	%	Balanza
	Módulo de Young	propiedades mecánicas	MPa	Texturometro
Dependientes	Solubilidad	Porcentaje	%	
	Higroscopicidad	concentración	%	
	Permeabilidad	Transferencia de vapor de agua	g/ Pa*s*m	Balanza
	Color	propiedades ópticas	Adimensional	Colorímetro

## CAPITULO III. MARCO METODOLÓGICO.

### 3.1. Tipo y nivel de investigación.

La investigación es tipo aplicado y de un nivel experimental, se evaluó el efecto de las variables independientes (almidón de olluco, almidón de oca y pectina de granadilla) sobre las variables dependientes (propiedades mecánicas, solubilidad, higroscopicidad, permeabilidad y color) (Zurita-Cruz et al., 2018).

### 3.2. Diseño de investigación.

Se utilizó un Diseño factorial de dos factores  $3^2$  donde los factores serán: el porcentaje de almidón olluco u oca (2 a 4% p/v), porcentaje de pectina (0,5 a 1,5% p/v). Se realizarán 3 réplicas para cada tratamiento para un total de 18 corridas experimentales. Las respuestas serán propiedades mecánicas, higroscopicidad, módulo de Young, permeabilidad al vapor de agua, color y solubilidad.

**Tabla 5**

*Corridas experimentales utilizando el diseño factorial  $3^2$ .*

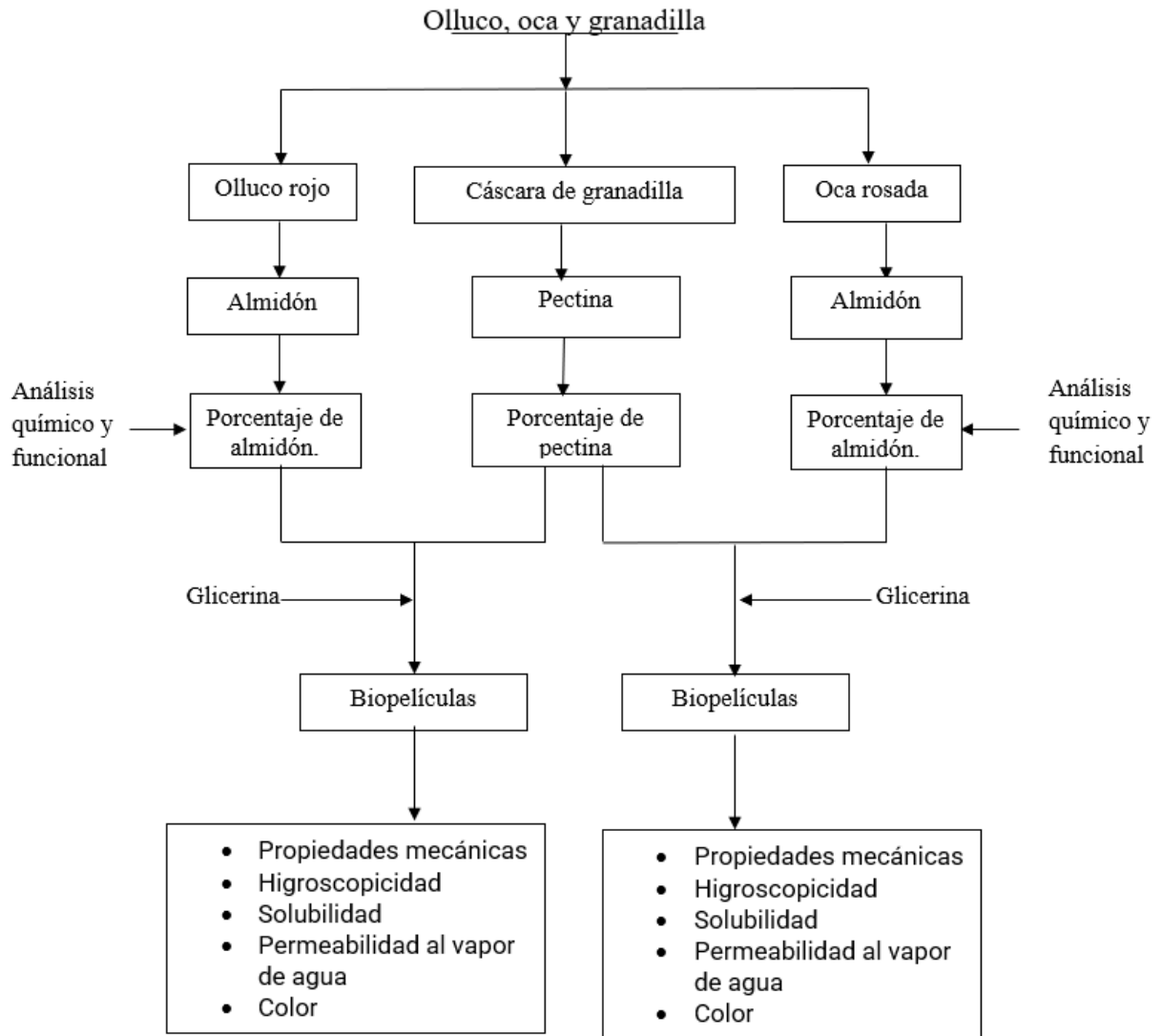
Tratamiento	%almidón de olluco	% pectina granadilla	% almidón de oca	%pectina granadilla
1	2	0,5	2	0,5
2	2	1	2	1
3	2	1,5	2	1,5
4	3	0,5	3	0,5
5	3	1	3	1
6	3	1,5	3	1,5
7	4	0,5	4	0,5
8	4	1	4	1
9	4	1,5	4	1,5

*Nota.* Datos presentados para las corridas experimentales para cada tratamiento.

### 3.3.Métodos de Investigación.

Figura 4.

Esquema experimental del trabajo de investigación.



La estructura experimental de esta investigación se encuentra en la figura 4 donde se tiene las muestras de olluco, oca y granadilla, de las cuales se extraerá el almidón de oca, olluco y pectina del albedo de granadilla. Donde se determinará la composición química, propiedades funcionales y contenido de amilosa (solubilidad, capacidad de adsorción de agua y poder de hinchamiento) de almidón de olluco y oca, se determinará

el contenido de metoxilo y las características funcionales de la pectina extraída de granadilla, así mismo se evaluará el efecto del % de pectina de granadilla y el % de almidón de olluco rojo u oca rosada en las propiedades mecánicas, higroscopicidad, solubilidad, módulos de Young, color y permeabilidad al vapor de agua de las biopelículas. Posteriormente se elaborará biopelículas por método casting utilizando los porcentajes de almidón y pectina en base al diseño factorial  $3^2$ , luego se determinará la mejor formulación empleando el método de la superficie de respuesta con la función deseable de las respuestas múltiples del módulo elástico.

### **3.4.Población, Muestra y Muestreo.**

- **Población:**

Formada por olluco, oca y granadilla silvestre de tercera categoría, provenientes de Chota - Chota - Cajamarca.

- **Muestra:**

Constituida por 20 kg de tubérculos de olluco, 20 kg de tubérculos de oca y 20 kg de granadilla, provenientes del centro poblado de Yuracyacu, Chota - Chota - Cajamarca.

- **Muestreo:**

Olluco rojo, oca rosada y granadilla silvestre, el muestreo se hizo al azar.

### **3.5.Técnicas e Instrumentos de Recolección de Datos.**

La observación se utilizará como método para la recolección de datos. A continuación, se detallan algunos procedimientos y técnicas.

### ***3.5.1.Extracción de pectina del mesocarpio del fruto de la granadilla.***

Se realizó por hidrólisis ácida de acuerdo al método Lescano (2024). Los frutos de granadilla se obtuvieron del centro poblado de Yuracyacu – Chota, se recepcionó la granadilla en el laboratorio, se procedió a lavar y con una cuchara se retiró la pulpa, luego se retiró manualmente el mesocarpio para solo quedarnos con la parte blanca (albedo). La cual se lavó y posteriormente se introduce a una estufa a 40 °C durante 24 h, para reducir el tamaño de la parte blanca se procedió a moler y tamizar, se usaron tamices Tyler de 250 µm y 150 µm. Después, se realizó una suspensión de harina y una solución de ácido cítrico a 2 pH con una proporción 15 g por 500 ml de la solución. Se movió la mezcla por 90 min de 75 a 80 °C, para luego ser filtrada en una tela organza, presionando lentamente para separar el líquido de los residuos, en la parte líquida se agregó etanol de 96% un volumen de 70% v/v para precipitar la pectina durante 24 h, seguidamente, la masa de pectina húmeda se filtra y se realiza un lavado con etanol, y se extendió en placas Petri para ser secado en la estufa a 40 °C y lograr un peso fijo. El producto seco se trituró luego se tamizó en malla Tyler N° 125 µm y finalmente fue almacenado en un recipiente hermético.

### ***3.5.2.Extracción de almidón de olluco y oca.***

El almidón se extrajo mediante el método descrito por Lescano et al. (2021) con ciertos cambios, para ello los tubérculos de olluco y oca fueron lavados, cortados en cubos y sumergidos en agua, luego para reducir el tamaño de los tubérculos se utilizó una licuadora industrial, el producto se tamizó en una tela organza. El líquido tamizado se dejó reposar durante 12 h antes de decantar el sobrenadante del almidón. El gránulo de almidón se lavó varias veces suspendiéndolo en agua, luego, se filtró en un tamiz Tyler

de 125  $\mu\text{m}$  para finalizar el proceso, el almidón se secó a 40 °C durante 24 h y se almacenó en recipientes herméticos.

### **3.5.3. Determinación de las propiedades químicas.**

**a) Composición proximal del almidón y pectina:** Se determinó utilizando una Estufa ED56 (BINDER) a temperatura de 103 °C por 6 h, el contenido de cenizas se realizó por cremación en una mufla a 550 °C. La cantidad de humedad, proteína, grasa, cenizas, carbohidratos, fibra del almidón y pectina utilizando los métodos de la AOAC (1990).

**b) Contenido de amilosa aparente del almidón:** Se realizó siguiendo la metodología de Hoover & Ratnayake (2001), para ello 20 mg de la muestra se colocó en un tubo de vidrio con tapa 10 ml, se adicionó 4 ml de dimetilsulfóxido (DMSO) al 90% y se movió rigurosamente durante 2 min. Posteriormente la suspensión se colocó a 84 °C por 20 min y se dejó enfriar durante 45 min. Luego se tomó 30  $\mu\text{l}$  de esta suspensión de almidón y 8 ml de agua destilada y se introdujo a un tubo de ensayo de 15 ml, seguidamente se adicionó 1 ml de solución de yoduro de potasio y se agitó vigorosamente. Se dejó que desarrolle el color por 15 min y luego se leyó en espectrofotómetro a 600 nm.

Los niveles de amilopectina y amilosa se organizaron en relación de 0 a 100% en proporciones al peso de 20 mg.

Para la solución de yodo se realizó una mezcla de 0,0025 M de yodo de potasio ( $\text{I}_2$ ) / 0,0065 M de yoduro de potasio (KI). Para una solución de 100 ml: se disolvió 0,1079 g de KI en 5 ml de agua en un matraz aforado de 100 ml. Luego se agregó 0,0315 g de  $\text{I}_2$ , y se mezcló bien de forma manual hasta que la totalidad del  $\text{I}_2$  se disuelva en KI. Luego se adecuó el volumen a 100 ml.

c) **Contenido de Metoxilo:** En la pectina fue determinado por el método descrito por Ferreira (2007) que consistió en diluir 0,5 g de pectina en 100 ml de agua destilada, luego se agregó 25 ml de hidróxido de sodio 0,25 N, se agito y quedó en reposo por 30 min, luego se agregó 25 ml de una solución de ácido acético 0,25 N o la proporción que equivale al ácido para neutralizar la soda agregada y 5 gotas de fenolftaleína, se agitó y tituló con hidróxido de sodio 0,1 N, tomando como punto final el pH 7,5 o la coloración ligeramente rosada. La cantidad de metoxilo en porcentaje se determinó utilizando Ec.5.

$$\% \text{ metoxilo} = \frac{\text{meq de hidroxido de sodio} \times 31 \times 100}{\text{Peso de la muestra en mg}} \quad (\text{Ec.5})$$

#### **3.5.4. Determinación de las propiedades funcionales.**

a) **Poder de hinchamiento y solubilidad del almidón.** Estos parámetros se determinaron siguiendo la metodología de Meaño et al. (2014), que consistió en someter el almidón a baño maría a temperaturas entre 50 y 90 °C durante 30 min, para cual se preparó soluciones de 0,2 g de almidón y se adicionó agua destilada para dar un volumen de 10 ml, posteriormente se enfrían los tubos hasta llegar a una temperatura ambiente y se centrifugó a 4500 rpm por 20 min. Después de haber centrifugado las muestras, el sobrenadante se colocó en placas Petri, las cuales fueron llevadas a una estufa a 40 °C durante 20 h, la cantidad de peso del almidón soluble fue determinado de la diferencia entre el peso final de las placas con el residuo seco y el inicial. Se utilizó las siguientes ecuaciones (6 y 7).

$$\text{Solubilidad (\%)} = \frac{\text{Peso de solubles (g)}}{\text{Peso de la muestra (g)}} \times 100 \quad (\text{Ec.6})$$

$$PH_{(g/g)} = \frac{\text{Peso de gel (g)}}{\text{Peso de la muestra (g)} - \text{peso de solubles (g)}} \quad (\text{Ec.7})$$

### 3.5.5. Preparación de las biopelículas.

Se utilizó la metodología de casting definido por Basiak et al. (2017). Las soluciones se realizaron disolviendo almidón y pectina de acuerdo a los porcentajes propuestas (Tabla 5) en 100 ml agua destilada, las soluciones se sometieron mediante baño maría a 75 °C durante 30 min en movimiento continuo a 700 rpm, durante este proceso se añadió 1 ml de glicerol como plastificante, luego, la solución se enfrió a 40 °C. Posteriormente 30 ml de esta mezcla se esparció en una placa Petri y se deshidrató a 30 °C durante 24 h finalmente, las biopelículas secas se retiraron de placa Petri y se almacenaron en desecadores.

### 3.5.6. Caracterización de las propiedades de las biopelículas.

**a) Solubilidad.** Se calculó empleando la metodología de Saberi et al. (2016) realizando cambios. Las películas biodegradables se fraccionaron en tiras de 15 mm × 40 mm, se pesaron y se sumergió en 70 ml de agua destilada en vasos de precipitación, los vasos se sellarán con papel aluminio con la finalidad que el agua no se evapore, luego se almacenaron a 25 °C durante 24 h con agitación suave. Después del tiempo transcurrido, las piezas restantes de películas se filtraron y se secaron a 110 °C hasta peso permanente (peso final seco). El porcentaje de solubilidad de la película se determinó como pérdida de peso según a la ecuación 8

$$\text{Solubilidad \%} = \frac{\text{peso inicial} - \text{peso final}}{\text{peso inicial}} \times 100. \quad (\text{Ec.8})$$

**b). Permeabilidad al vapor de agua (WVP).** Se utilizó el método desecante según la norma ASTM-96. En la placa petri se agregó sílica gel 0% de humedad relativa (HR), se cubre con la biopelícula, luego la cápsula se colocó dentro de una campana de disecación a (50% HR) a temperatura de 23 °C. Mediante una balanza analítica (SARTORIUS, ENTRIS224I-1S), se pesaron las placas petri y se registró primer peso como la lectura a tiempo cero. Posteriormente en lapsos de una hora logrando una

correlación mayor a 0,95 para determinar el % de humedad y temperatura se registró cada hora. Para determinar la velocidad de vapor de agua VTVA (EC 9) se realizó a partir del pendiente peso versus tiempo (J), y con las presiones parciales de vapor de agua en las dos caras de la biopelícula y el grosor de la biopelícula se determinó la PVA.

$$VTVA = \frac{J}{t \cdot A} \quad (\text{Ec.9})$$

$$PVA = \frac{VTVA \cdot L}{P_w \cdot (RH_1 - RH_2)} \quad (\text{Ec.10})$$

Así mismo L es el grosor promedio de la biopelícula [m]; PVA permeabilidad al vapor de agua (g/ Pa\*s\*m); (RH1-RH2) es la diferencia de humedades relativas; Pw es la presión parcial de vapor de agua a la temperatura de ensayo y A es el área de permeación [m<sup>2</sup>].

**c). Higroscopicidad.** Se determinó a 25 °C ± 1 °C, colocando 1 g de muestra atomizada, donde se colocó en una placa petri luego en una campana de disección con una solución saturada de NaCl (76 % de HR) transcurrido 10 días se pesó la muestra y la higroscopicidad se detalló en gramos de agua por gramos de sólidos secos (Pires y Pena, 2017).

**d). Módulo elástico.** El módulo elástico de las biopelículas se detalló usando un analizador de textura (CT3 25K, USA) y guiándose de la norma ASTM D882 -01 (ASTM, 2001) y la metodología propuesta por Yoplac (2019) que consiste en tomar tiras rectangulares (10 x 80 mm) de la biopelícula, para luego colocar en cada extremo en las pinzas del equipo con la desunión del agarre inicial de 40 mm y velocidad de la cruceta de 25 mm/min. El promedio del módulo elástico (E) medido en MPa se calculará a raíz de las curvas de fuerza (N) – extensión (mm) que da el resultado del promedio de 3 películas biodegradables por cada formulación, y se calculará usando las ecuaciones 15, 16 y 17.

Donde  $\sigma$  elástico el esfuerzo en MPa, que se calculará mediante la ecuación (12), detallando que F fuerza (N) y A es área ( $\text{mm}^2$ )  $\epsilon$  elástico es la deformación calculada mediante la ecuación (13), señalando  $\Delta l$  es la desigualdad de la medida final ( $l_f$ ) y la medida inicial ( $l_o$ ) se construyó una gráfica en el plano cartesiano a raíz de estos valores,  $\sigma$  se ubicará en el eje Y y  $\epsilon$  en el eje X las cantidades del  $\sigma$  elástico y  $\epsilon$  elástico correspondió al punto que llega la gráfica de manera lineal.

$$E = \frac{\sigma_{elástico}}{\epsilon_{elástica}} \quad (\text{Ec.11})$$

$$\sigma = \frac{F}{A} \quad (\text{Ec.12})$$

$$\epsilon = \frac{\Delta l}{l_o} \quad (\text{Ec.13})$$

**e). Color.** Se detalló utilizando el método propuesto por Sartori et al. (2018). El examen del color se hizo mediante un colorímetro (ALEMAN, PCE-CSM 8). Se utilizó un sistema de clasificación CIELab. Los parámetros de color fueron  $b^*$  (amarillo = positivo, azul = negativo),  $L^*$  (blanco = 100, negro = 0); (rojo = positivo, verde = negativo),  $b^*$  (amarillo = positivo, azul = negativo) y  $c^*$  indica croma o saturación del color. El colorímetro fue calibrado contra una placa de referencia blanca.

### 3.6. Técnicas de procesamiento y análisis de datos.

La información encontrada fue examinada mediante un Análisis de Varianza (ANOVA), complementado con la prueba de comparaciones múltiples de Tukey, análisis de efectos y regresión, considerando un nivel de confiabilidad del 95% previamente a la aplicación del ANOVA, se verificó el cumplimiento de los supuestos de independencia de las observaciones, normalidad de los residuos, homogeneidad de varianzas, escala de

medición adecuada de la variable dependiente y ausencia de valores atípicos extremos, garantizando así la validez de los resultados estadísticos. Todos los análisis se hicieron usando el software estadístico Minitab versión 19,0.

### **3.7.Aspectos Éticos.**

- Autonomía.
- Dialogo.
- Igualdad.
- Justicia.
- Libertad.
- Respeto.
- Responsabilidad.

## CAPITULO IV: RESULTADOS Y DISCUSIÓN.

### 4.1.Descripción de Resultados.

#### 4.1.1.Caracterización de almidón (oca y olluco) y pectina.

En la Tabla 6 se presenta que el almidón de oca presentó una menor cantidad de humedad (13,07%) en comparación con el almidón de olluco (15,69%), lo que resulta favorable para su estabilidad y conservación. Además, el almidón de oca mostró mayores contenidos de cenizas (0,47%), grasa (0,27%), fibra cruda (0,17%) y amilosa (0,31%) en relación con el almidón de olluco, lo que indica una composición más rica en componentes funcionales. En particular, su mayor proporción de amilosa es relevante para la fabricación de películas biodegradables, ya que aporta a una mejor formación de películas con propiedades mecánicas superiores y menor solvencia en H<sub>2</sub>O.

En pectina de granadilla, se determinó un bajo contenido de humedad ( $5,63 \pm 0,03\%$ ), indicando que la pectina extraída se encontraba dentro del rango permisible, que es inferior al 12% (Begum et al., 2014). Por otro parte, la cantidad de cenizas fue considerablemente más alto (3,58%) en comparación con los almidones evaluados. Esta elevada cantidad de cenizas muestra la presencia de minerales inorgánicos en la pectina, tales como potasio, sodio, magnesio y hierro (Islam et al., 2023).

**Tabla 6***Composición química del almidón de olluco, almidón de oca y pectina de granadilla.*

Componentes	Almidón olluco	Almidón oca	Pectina de granadilla
Humedad (%)	15,69 ± 0,02	13,07 ± 0,06	5,63 ± 0,03
Cenizas (%)	0,26 ± 0,03	0,47 ± 0,01	3,58 ± 0,04
Grasa (%)	0,17 ± 0,02	0,27 ± 0,02	ND
Fibra cruda (%)	0,12 ± 0,01	0,17 ± 0,02	0,06 ± 0,02
Amilosa (%)	0,25 ± 0,00	0,31 ± 0,01	ND
Metoxilo (%)			35,89 ± 2,60

**Nota.** Datos presentados en promedio ± desviación estándar.

La cantidad de metoxilo en la pectina muestra el grado de metilación y determina la capacidad para formar gel. La pectina se organiza en dos tipos de acuerdo a la cantidad de metoxilo, la pectina de bajo metoxilo contiene rangos inferiores al 7% mientras que la pectina con alto metoxilo contiene rangos de 8 a 12% (Islam et al., 2023), la cantidad de metoxilo de la pectina encontrada de la cáscara de granadilla de este estudio es de 35,89%, por eso la pectina de este estudio se puede categorizar como pectina de alto metoxilo.

#### ***4.1.2.Efecto de la concentración de pectina, almidón de olluco y almidón oca en las propiedades de color de las biopelículas.***

Como se puede observar en la Tabla 7, se muestra a los parámetros de color de las biopelículas encontradas para cada tratamiento, frente a los efectos del contenido de pectina- almidón de olluco y pectina - almidón de oca, donde L\* representa la luminosidad o claridad de las biopelículas, lo que indica que mientras más alto los valores más claras o blancas son las biopelículas, mientras que valores bajos indican mayor oscuridad. El parámetro a\* señala la ubicación entre el eje verde - rojo (valores positivos (+) tendencia a rojo y valor negativos (-) a verde). Parámetro b\* indica la ubicación en el eje azul - amarillo (valores (+) tendencia amarillo y valor (-) azul). Parámetro c\* indica

croma o saturación del color donde valores más altos significa un color más vivo o intenso, mientras que valores bajos indican colores más opacos o apagados.

Según las comparaciones para ambos almidones mostró diferencias significativas ( $p < 0,05$ ) en los criterios de color al variar el porcentaje de pectina. En cuanto a la luminosidad ( $L^*$ ), en ambos almidones, se observó una disminución de  $L^*$  al aumentar la pectina, registrando los mayores valores con 0,5% de pectina (89,10 para ambos almidones) y los menores con 1,5% (82,35 almidón de oca y 83,77 almidón de olluco). El parámetro  $a^*$  presentó un ligero incremento hacia valores más rojos para ambos almidones, mientras que  $b^*$  aumentó significativamente indicando mayor tonalidad amarilla. Por último,  $c^*$  también incrementó con mayor % de pectina, evidenciando una coloración más intensa en las biopelículas.

**Tabla 7.**

*Análisis de varianza y comparaciones múltiples de  $L^*$ ,  $a^*$ ,  $b^*$  y  $c^*$  de las biopelículas en función % pectina y % almidón (olluco y oca).*

Almidón	Pectina	Biopelícula almidón de olluco				Biopelícula almidón de oca			
		$L^*$	$a^*$	$b^*$	$c^*$	$L^*$	$a^*$	$b^*$	$c^*$
2	0,5	88,41±0,07aB	1,50±0,02bA	1,67±0,07cA	2,24±0,04cB	88,41±0,07aB	1,50±0,02bA	1,67±0,07cA	2,24±0,04cA
2	1	87,10±0,17bA	1,57±0,02bA	5,56±0,09bB	5,76±0,09bB	87,10±0,17bA	1,54±0,02bA	5,56±0,09bB	5,76±0,09bB
2	1,5	83,77±0,16cB	1,78±0,03aA	10,34±0,05aB	10,49±0,05aB	83,77±0,16cB	1,78±0,03a	10,34±0,05aB	10,49±0,05aB
3	0,5	88,44±0,04aB	1,50±0,01aA	0,84±0,04cB	1,72±0,02cB	88,44 ±0,04aB	1,50±0,01aA	0,84±0,04cB	1,72±0,02cB
3	1	85,82±0,03cB	1,38 ±0,02bB	5,80 ±0,10bB	5,96 ±0,11bB	85,82 ±0,03cB	1,38±0,02bB	5,80 ±0,10bB	5,96 ±0,11bB
3	1,5	86,22±0,03bA	1,39 ±0,02bC	7,42 ±0,3aC	7,55 ±0,31aC	86,22 ±0,03bA	1,39±0,02b	7,42 ±0,3aC	7,55 ±0,31aC
4	0,5	89,10±0,16aA	1,46±0,03bA	0,04±0,01cC	1,46±0,03aC	89,10±0,16aA	1,46±0,03bA	0,04±0,01cC	1,46±0,03cC
4	1	88,41±0,07aB	1,50±0,02bA	1,67±0,07cA	2,24±0,04cB	82,65±0,18bC	1,61±0,05aA	10,64±0,19bA	10,77±0,19bA
4	1,5	87,10±0,17bA	1,57±0,02bA	5,56±0,09bB	5,76±0,09bB	82,35±0,08bC	1,65±0,04a	10,93±0,03aA	11,05±0,03aA

**Nota:** Valores presentados como media  $\pm$  desviación estándar. Letras minúsculas distintas en la misma columna señalan una diferencia significativa entre concentración de

almidón y letras mayúsculas distintas en la misma columna indican una diferencia significativa entre concentración de pectina.

En las comparaciones múltiples de Tukey confirmaron diferencias significativas ( $p < 0,05$ ) en las formulaciones evaluadas, evidenciando que el % de pectina influye notablemente en los parámetros de color independientemente del tipo de almidón utilizado. Estos hallazgos indican que el aumento de pectina no solo disminuye la luminosidad, sino que intensifica la coloración y su saturación, lo cual es relevante para la apariencia final del producto.

**Tabla 8.**

*Análisis de varianza de los modelos de regresión generados para  $L^*$ ,  $a^*$ ,  $b^*$  y  $c^*$  en función a los % de almidón (olluco y oca)- % pectina.*

Fuente	Biopelícula almidón de olluco					Biopelícula almidón de oca			
	GL	$L^*$	$a^*$	$b^*$	$c^*$	$L^*$	$a^*$	$b^*$	$c^*$
Valor p		0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000
$R^2$		0,9983	0,9659	0,9993	0,9991	0,9983	0,9659	0,9993	0,9991
Modelo	8	156,303	0,40034	443,179	368,647	156,303	0,40034	443,179	368,647
% Almidón	2	22,957	0,17632	28,473	32,810	22,957	0,17632	28,473	32,810
% Pectina	2	101,014	0,07627	368,685	298,314	101,014	0,07627	368,685	298,314
% almidón x % Pectina	4	32,332	0,14775	46,021	37,523	32,332	0,14775	46,021	37,523
Error	18	0,260	0,01413	0,327	0,321	0,260	0,01413	0,327	0,321
Total	26	156,563	0,41447	443,506	368,968	156,563	0,41447	443,506	368,968

**Nota.** GL (grados de libertad), SC (suma de cuadrados ajustada) y  $R^2$  (coeficiente de determinación). ( $P < 0,05$ ).

La Tabla 8 da a conocer los resultados de la regresión general y el análisis de varianza para los parámetros de color de las biopelículas elaboradas con almidón de olluco u oca. Para la luminosidad tanto el efecto lineal % almidón y % pectina y la interacción de ambos son altamente significativos ( $p < 0,05$ ), mostrando la pectina un efecto dominante (101,014). Por tanto, los cambios en % de pectina afectan fuertemente

la luminosidad de la biopelícula, más que el % de almidón. Con respecto a\* igualmente, todos los factores y la interacción son significativos, pero % almidón (olluco u oca) tiene mayor efecto que la pectina (0,176 frente a 0,076). Asimismo, el % de almidón como el % de pectina influyen en el parámetro a\*, con leve predominio del almidón. Pues para el parámetro b\* todos los efectos son altamente significativos, la pectina tiene un impacto mucho mayor que el almidón (368, 69 frente a 28,47) por lo que puede decir que el % de pectina es el principal responsable del color amarillento de la biopelícula. La c\* muestra la misma tendencia que en b\*, todos los efectos son significativos, el % de pectina domina el efecto (298, 31 frente a 32, 81), el % de pectina afecta notablemente la intensidad del color.

#### ***4.1.3.Efecto de la pectina, almidón de olluco u almidón oca en las propiedades de solubilidad e higroscopicidad de las biopelículas.***

En la Tabla 9 se muestra hallazgos de solubilidad en las biopelículas formuladas con pectina - almidones de olluco y pectina - almidones de oca, donde una baja solubilidad representa una alta capacidad de resistencia de la biopelícula a la disolución en agua (Agarwal *et al.*, 2023).

Los resultados de solubilidad en general todos los tratamientos de biopelículas presentó valores bajos que osciló entre 0,11% a 0,14% para biopelículas con almidón de olluco y con rangos de 0,10% hasta 0,15% para las biopelículas con almidón de oca, según el análisis de comparaciones múltiples de Tukey mostró que, en las biopelículas de almidón de olluco con pectina, la solubilidad fue significativamente mayor en los tratamientos con 1,0% y 1,5% de pectina en comparación con 0,5%, sin diferencia significativa entre 1% y 1,5% detallando que un aumento en la pectina aumenta la solubilidad de manera significativa a partir de 1%. Por otro lado, en las películas

biodegradables de almidón de oca con pectina, no se evidenció diferencias representativas en solubilidad entre los tres niveles de pectina evaluados 0,5%, 1% y 1,5%, a pesar de que el promedio más alto se notó en el tratamiento con 1,5% de pectina. Estos resultados evidencian que el efecto de la pectina sobre la solubilidad esta sujeto al almidón, siendo más determinante en las biopelículas elaboradas con almidón de olluco.

Por otro lado, en cuanto a la higroscopicidad, ambos tipos de biopelículas presentan rangos similares que van desde 0,09% hasta 0,13% para almidón de olluco y de  $0,08 \pm 0,00$  hasta  $0,13 \pm 0,00\%$  para almidón de oca. Según análisis de comparaciones múltiples de Tukey indicó que, en las biopelículas de almidón de olluco con pectina, la higroscopicidad fue significativamente mayor en los tratamientos con 0,5% de pectina, mientras que los tratamientos con 1,0% y 1,5% de pectina manifestaron valores significativamente menores, sin diferencia significativa entre estos dos últimos, evidenciando que el incremento de pectina reduce la capacidad de absorción de humedad de las biopelículas de olluco. En contraste, en las películas biodegradables de almidón de oca con pectina, no se encontraron desigualdades representativas entre los tratamientos, aunque se evidenció una tendencia decreciente de higroscopicidad al aumentar la cantidad de almidón 4%.

**Tabla 9**

*Análisis de varianza y comparaciones múltiples de Solubilidad e higroscopicidad de las biopelículas en función al % pectina y % almidón (olluco y oca).*

Almidón	Pectina	Biopelícula almidón de olluco		Biopelícula almidón de oca	
		Solubilidad	Higroscopicidad	Solubilidad	Higroscopicidad
2	0,5	0,11±0,01 <b>bA</b>	0,13±0,00 <b>aA</b>	0,10±00,00 <b>aB</b>	0,13±0,00 <b>aA</b>
2	1	0,14±0,01 <b>aA</b>	0,11±0,01 <b>bA</b>	0,11±0,01 <b>aA</b>	0,12±0,00 <b>aA</b>
2	1,5	0,14±0,01 <b>aA</b>	0,11±0,00 <b>bA</b>	0,11±0,00 <b>aB</b>	0,12±0,01 <b>aA</b>
3	0,5	0,11±0,01 <b>aA</b>	0,12±0,00 <b>aB</b>	0,11±0,01 <b>aAB</b>	0,13±0,00 <b>aA</b>
3	1	0,12±0,01 <b>aAB</b>	0,09±0,00 <b>bB</b>	0,11 ±0,00 <b>aA</b>	0,11±0,01 <b>bB</b>
3	1,5	0,12±0,01 <b>aA</b>	0,09±0,00 <b>cC</b>	0,11 ±0,00 <b>aB</b>	0,10±0,01 <b>bB</b>
4	0,5	0,11±0,01 <b>aA</b>	0,09±0,00 <b>cC</b>	0,12±0,01 <b>aA</b>	0,09±0,00 <b>aB</b>
4	1	0,11±0,01 <b>aB</b>	0,13±0,00 <b>aA</b>	0,13±0,02 <b>aA</b>	0,08±0,00 <b>aC</b>
4	1,5	0,14±0,01 <b>aA</b>	0,11±0,01 <b>bA</b>	0,15±0,02 <b>aA</b>	0,08±0,00 <b>aC</b>

**Nota.** Valores presentados como media  $\pm$  desviación estándar. Letras minúsculas distintas en la misma columna se señala una diferencia significativa entre concentración de almidón y letras mayúsculas diferentes en la misma columna señalan una diferencia representativa entre concentración de pectina.

En general, con los resultados ambas biopelículas mostraron propiedades favorables para su aplicación como empaques o recubrimientos biodegradables debido a su baja solubilidad y baja higroscopicidad. Sin embargo, las biopelículas elaboradas con almidón de oca presentaron ligeramente mayor solubilidad y menor higroscopicidad que las de olluco, lo que sugiere que el almidón de oca podría conferir mejor estabilidad frente a la humedad relativa, mientras que el almidón de olluco generaría biopelículas con menor tendencia a disolverse en agua, dependiendo de la aplicación deseada.

**Tabla 10**

*Análisis de varianza de los modelos de regresión generados para solubilidad e higroscopicidad en función al % de almidón (olluco u oca) y % pectina.*

Fuente	GL	Biopelícula almidón de olluco				Biopelícula almidón de oca			
		Solubilidad		Higroscopicidad		Solubilidad		Higroscopicidad	
		SC	Valor p	SC	Valor p	SC	Valor p	SC	Valor p
Modelo	8	0,004	0,002	0,005	0,000	0,005	0,001	0,008	0,000
% Almidón	2	0,001	0,027	0,003	0,000	0,004	0,000	0,006	0,000
% Pectina	2	0,003	0,000	0,001	0,000	0,001	0,047	0,001	0,000
% almidón x % Pectina	4	0,001	0,208	0,001	0,000	0,001	0,558	0,001	0,001
Error	18	0,002		0,000		0,002		0,001	
Total	26	0,006		0,005		0,007		0,008	
R2		0,697		0,988		0,705		0,957	
R2 Ajustado		0,563		0,982		0,575		0,938	

*Nota.* GL (grados de libertad), SC (suma de cuadrados ajustada) y R<sup>2</sup> (coeficiente de determinación). (P < 0,05).

En los resultados de la regresión general y el análisis de varianza para la solubilidad de los dos tipos de biopelículas, mostró que tanto el porcentaje de almidón como el porcentaje de pectina influyeron significativamente ( $p < 0,05$ ) en la solubilidad de las biopelículas, mientras que su interacción no fue significativa ( $p = 0,208$  película con almidón de olluco) y ( $p = 0,558$  para película con almidón de oca). Los modelos presentaron un R<sup>2</sup> ajustado de 0,56 y 0,57 lo que indica que el modelo cuadrático se adecuó bien a los datos de la solubilidad. Al reflejar que en ambos tipos de biopelículas la interacción entre % de almidón y % de pectina no fue significativa, indica que sus efectos son principalmente independientes. Estos resultados evidencian que el almidón de oca presenta mayor sensibilidad a su propia concentración para modificar la solubilidad, mientras que, en el almidón de olluco, la pectina juega un rol más determinante. Estas diferencias podrían atribuirse a las características estructurales y de

conformación molecular de ambos almidones, afectando su interacción con la pectina y su capacidad de disolución en el medio.

Para la higroscopicidad de las biopelículas para ambos almidones mostraron que tanto el porcentaje de almidón, el porcentaje de pectina como su interacción influyeron significativamente ( $p < 0,05$ ) en dicha propiedad, explicando que en ambos casos el modelo presentó un ajuste excelente, con un  $R^2$  ajustado de 0,9388 para oca y 0,9826 para olluco, evidenciando alta capacidad explicativa. Estos resultados evidencian que, si bien ambos almidones presentan tendencias similares en cuanto al efecto de la pectina, su comportamiento difiere respecto al almidón, ya que en oca tanto 2% como 3% aumentan la higroscopicidad, mientras en olluco el 3% la reduce. Además, la interacción entre almidón y pectina fue significativa en ambos casos, aunque con mayor magnitud en olluco, indicando que la respuesta de la higroscopicidad depende no solo de cada componente, sino también de su combinación, siendo un factor clave en el diseño de formulaciones para biopelículas con propiedades de absorción de humedad controladas.

#### ***4.1.4. Efecto de la pectina, de almidón de olluco y almidón oca en las propiedades de PVA y módulo Young de las biopelículas.***

Es la base de la rigidez de una película y un valor alto del módulo de Young indica un alto grado de dureza de la biopelícula (Costa *et al.*, 2023).

Las comparaciones múltiples de Tukey realizadas en las biopelículas de almidones de olluco mostraron que, para el módulo de Young, al 2% de almidón, el tratamiento con 1,5% de pectina presentó un valor promedio significativamente mayor (25,75 MPa) que los de 0,5% y 1,0% (22,53 y 23,38 MPa). Al 3% de almidón, los tres tratamientos difirieron entre sí, 1,5% de pectina (33,00 MPa), 1,0% (29,49 MPa) y 0,5% (26,39 MPa). Al 4% de almidón, nuevamente se evidenció diferencia significativa, con el

mayor módulo de Young para 1,5% pectina (36,90 MPa), seguido de 1,0% (35,60 MP) y 0,5% (34,35 MPa).

Por otro lado, en las biopelículas de almidones de oca, para el Módulo de Young, las comparaciones de Tukey indicaron diferencias significativas en todos los casos. Al 2% de almidón, el tratamiento con 1,5% de pectina (24,28 MPa) fue superior a 1% (23,31 MPa) y 0,5% (22,39 MPa). Al 3% de almidón, 1,5% de pectina presentó el mayor Módulo de Young (51,23 MPa), seguido de 1% (37,67 MPa) y 0,5% (34,70 MPa). Al 4% de almidón, se observó la misma tendencia con 1,5% pectina (110,03 MPa) significativamente mayor que 1% (99,12 MPa) y 0,5% (54,77 MPa).

En las biopelículas tanto de almidones de olluco y oca, las comparaciones múltiples de Tukey para la permeabilidad al vapor de agua no mostraron diferencias representativas entre los tratamientos en ninguna de las concentraciones de almidón evaluadas (2%, 3% y 4%) y sus respectivos niveles de pectina (0,5%, 1,0% y 1,5%), ya que todos compartieron la misma agrupación estadística, reflejando que las combinaciones de % de pectina no tuvieron un efecto diferencial sobre la permeabilidad en estas formulaciones. De igual manera en cuanto a los efectos del % de almidón sobre la permeabilidad dentro de cada nivel de pectina (0,5%, 1,0% y 1,5%), las comparaciones de Tukey tampoco mostraron diferencias significativas en ninguno de los casos para ambas biopelículas, dado que todas las medias evaluadas compartieron la misma agrupación estadística.

**Tabla 11**

*Análisis de varianza y comparaciones múltiples de PVA y módulo Young de las biopelículas en función % pectina y %almidón (olluco y oca).*

Almidón	Pectina	Biopelícula almidón de olluco		Biopelícula almidón de oca	
		PVA (g/ Pa*s*m)	Módulo de Young	PVA(g/ Pa*s*m)	Módulo de Young
2	0,5	1,70±1,40aA	22,53±0,35bC	6,05±5,08aA	22,39±0,70bC
2	1	1,68±1,10aB	23,38±0,88bC	1,48±1,13aA	23,31±0,42abC
2	1,5	1,08±1,42aB	25,75±0,78aC	8,67±3,1aA	24,28±0,48aC
3	0,5	2,16±1,87aA	26,39±0,45cB	4,36±2,12aA	34,70±1,69cB
3	1	2,09±1,80aB	29,49±0,61bB	7,09±1,06aA	37,67 ±0,71bB
3	1,5	8,12±4,17aA	33,00±0,32aB	9,23±8,37aA	51,23 ±0,45aB
4	0,5	4,62±4,29aA	34,35±0,99Ab	8,53±9,04aA	54,77±2,29cA
4	1	6,93±1,03aA	35,60±1,19abA	4,65±1,83aA	99,12±2,84bA
4	1,5	1,12±1,49aB	36,90±0,33aA	2,89±2,38aA	110,03±4,11aA

**Nota.** Valores presentados como media ± desviación estándar. Letras minúsculas distintas en la misma columna señalan una diferencia significativa entre concentración de almidón y letras mayúsculas distintas en la misma columna indican una diferencia representativa entre concentración de pectina.

En general, las comparaciones de Tukey confirmaron que incrementos en % de pectina y % de almidón aumentan significativamente el módulo de Young en ambas biopelículas, siendo más notorio en las de oca, estos hallazgos evidencian que el cambio de la concentración de almidón y pectina permite controlar la rigidez y resistencia mecánica de las biopelículas, además indica que las biopelículas de almidón de oca presentan mayor rigidez que las de olluco, lo que permite proyectar su uso diferenciado en función del tipo de empaque biodegradable a desarrollar. Por otra parte, para la permeabilidad al vapor de agua no se hallaron diferencias representativas entre tratamientos distintos tratamientos de % de almidón y % de pectina para ambos tipos de biopelículas olluco u oca, indicando que la formulación en estos rangos evaluados no afectó significativamente esta propiedad.

**Tabla 12**

*Análisis de varianza de los modelos de regresión generados para PVA, y módulo de Young en función al % almidón (olluco u oca) % pectina.*

Fuente	GL	Biopelícula almidón de olluco				Biopelícula almidón de oca			
		PVA		Módulo de Young		PVA		Módulo de Young	
		SC	Valor p	SC	Valor p	SC	Valor p	SC	Valor p
Modelo	8	0,000	0,023	710,94	0,000	0,000	0,024	25668,5	0,000
% Almidón	2	0,000	0,560	618,94	0,000	0,000	0,026	20057,6	0,000
% Pectina	2	0,000	0,153	77,18	0,000	0,000	0,102	2801,6	0,000
% almidón x % Pectina	4	0,000	0,008	14,82	0,000	0,000	0,077	2809,3	0,000
Error	18	0,000		9,39		0,000		69,8	
Total	26	0,000		720,33		0,000		25738,3	
R <sup>2</sup>		0,576		0,98		0,574		0,973	
R <sup>2</sup> Ajustado		0,388		0,98		0,385		0,996	

*Nota.* GL (grados de libertad), SC (suma de cuadrados ajustada) y R<sup>2</sup> (coeficiente de determinación). (P < 0,05).

En los resultados de la regresión general y el análisis de varianza para la permeabilidad de las biopelículas de almidón de olluco evidenció que el modelo fue significativo (p = 0,023), explicando un R<sup>2</sup> de un 0,3883 de la variabilidad ajustada. También se evidenció que ni el porcentaje de almidón (p = 0,560) ni el porcentaje de pectina (p = 0,153) influyeron significativamente de manera individual en la permeabilidad. Sin embargo, la interacción entre ambos si resultó significativa (p = 0,008). Estos resultados indican que la permeabilidad de las biopelículas depende principalmente de la combinación de % de almidón y % de pectina, más que de cada componente por separado.

Para la permeabilidad de las biopelículas de almidón de oca evidenció que el modelo fue significativo (p = 0,024), explicando un R<sup>2</sup> de 0,3855 de la variabilidad ajustada. Se evidenció que el % de almidón tuvo un efecto significativo (p = 0,026). En cuanto al porcentaje de pectina, no se observaron efectos significativos (p = 0,102). La

interacción entre almidón y pectina no fue significativa en conjunto ( $p = 0,077$ ). Estos resultados indican que la permeabilidad de las biopelículas de almidón de oca depende principalmente del porcentaje de almidón y, en menor medida, del porcentaje de pectina y su interacción.

Con respecto al módulo de Young tanto para biopelículas de almidón de olluco y almidón de oca mostró que los modelos fueron altamente significativos ( $p < 0,00$ ), explicando la variabilidad total ( $R^2$  ajustado = 0,9812 para olluco) y ( $R^2$  ajustado=0,9961 para oca) lo que demuestra un buen ajuste de datos. En el efecto lineal, tanto el % de almidón como el % de pectina y la interacción fueron influyeron significativamente ( $p < 0.000$ ) en la rigidez de las biopelículas.

#### **4.2. Contrastación de Hipótesis.**

A altas concentraciones de almidón de oca y bajas concentraciones de pectina de granadilla se producen biopelículas con mejores propiedades mecánicas, higroscopicidad, permeabilidad al vapor de agua, color y solubilidad.

#### **4.3. Discusión de resultados.**

##### ***4.3.1. Caracterización de almidones y pectina.***

La Tabla 6 presenta la composición química proximal del almidón de oca y olluco, los valores de almidones de olluco parecidos a los de Galindez et al. (2019) quienes reportaron valores de  $9,7 \pm 0,6\%$ , humedad,  $0,32 \pm 0,02\%$  de grasa y  $0,002 \pm 0,000\%$  de cenizas. Pero fueron menores a los mostrados por Daza et al. (2018), quienes dieron a conocer  $8,6\%$  de humedad,  $1,65\%$  de grasa y  $0,45\%$  cenizas. Para el almidón de oca el contenido de humedad es similar al valor conseguido por Arévalo. (2017) quien reportó un contenido de humedad promedio de  $13,16 \pm 0,14$ , asimismo los valores de humedad,

cenizas y de fibra el estudio fue superior a los reportados por Hermosa (2013) (11,24 humedad, 0,07 cenizas y 0,00 de fibra ) pero inferior al contenido de grasa (1,04) las diferencias entre la misma especie probablemente se deban a la variedad de oca o ulluco trabajados.

La pectina de cáscara de granadilla utilizada en este estudio presentó un contenido de humedad, cenizas y fibra cruda inferiores a los reportados por Lescano (2024) quien exhibió 10,70% de humedad, 5,53% de cenizas, y 13,41% de fibra, así mismo inferior al  $9,52 \pm 0,64$  % humedad pero superiores a los valores de  $1,55 \pm 0,11$  % de cenizas de pectina de cáscara de yuca encontrados por (Islam et al., 2023). La marcada diferencia entre los valores de la literatura y el estudio actual depende del método de extracción, el disolvente utilizado y la composición de los materiales utilizados para la extracción (Mada et al., 2022).

Los almidones de este estudio mostraron una cantidad de amilosa de  $0,245 \pm 0,004$  % para ulluco y de  $0,311 \pm 0,013$ % para oca (Tabla 6), similares al de  $0,34 \pm 0,02$ % para almidón de papa (Dash et al., 2019), pero muy distante al  $35,3 \pm 0,3$ % para almidón de ulluco reportado por (Galindez et al., 2019) y al  $28,32 \pm 2,41$ % para el almidón de oca (Arévalo, 2017) y al 32,6; 22,6 y 19,8% para pituca, camote y yuca respectivamente (Peroni *et al.*, 2006). La diferencia dentro de la misma especie se puede explicar por parámetros como la cosecha, las condiciones climáticas, el tipo de suelo y métodos de procesamiento o extracción (Jan et al., 2016).

El índice de metoxilo de este estudio es de  $35,890 \pm 2,596$ %, por lo que se puede categorizar como pectina de alto metoxilo, valor de metoxilo superior al 14,40% reportado por (Chasquibol-Silva *et al.*, 2008) para pectina de cáscara de granadilla y así como los reportados por Kumar & Chauhan (2010) (2,23 – 6, 21%) para pectina extraída

de la pulpa de manzana y de 10,45% a los reportados por (Pérez et al., 2022) para pectina de cáscara de sandía y al 14,55% reportados pulpa de níspero (Chasquibol-Silva *et al.*, 2008). La variación del grado de metoxilo se puede atribuir a las diferentes fuentes y las condiciones de extracción de la pectina (Salazar & Hincapié-Llanos, 2023).

#### ***4.3.2.Efecto de la pectina, de almidón de olluco y almidón oca en las propiedades de las biopelículas.***

El color de una película es una de las características más imperativas que influyen en la idoneidad para aplicaciones específicas de envasado de alimentos; además, es un indicador relevante de la apariencia del producto y la aceptación del consumidor (Alimi et al., 2021). En las tablas 7 se detalla los resultados del color de las biopelículas, donde los valores de  $L^*$  se encontraron dentro de un rango similar para ambos almidones variando entre  $82,35\pm 0,08$  y  $89,10\pm 0,16$ , indicando que los dos tipos de biopelículas son claras o de aspecto brillante y de color uniforme, lo que permite una mayor transmisión de la luz (Wang et al., 2021). Los valores de  $a^*$  también se ubicaron en rangos semejantes de  $1,38\pm 0,02$  -  $1,65\pm 0,04$ , lo que indica una ligera tonalidad rojiza. El matiz rojo menos pronunciado de las películas puede ser preferible para determinadas aplicaciones en las que se desea una coloración más neutra o menos intensa, como en el envasado de alimentos, donde lo importante es la frescura y la claridad (Lunardo et al., 2021). Asimismo, los valores de  $b^*$  presentaron una variabilidad marca de  $0,04\pm 0,01$ -  $10,93\pm 0,03$ , en el cual los mayores valores de  $b^*$  presentan tonalidades amarillas más notorias, mientras que valores de  $c^*$  oscilaron entre  $1,46\pm 0,03$  y  $11,05\pm 0,03$  indicando que las biopelículas tienen colores más intensos, especialmente en tratamientos con mayores concentraciones de pectina y almidón. Esta intensidad visual puede hacer que el envase sea más llamativo, señalando frescura y calidad, y aumentando las expectativas

del consumidor de madurez y sabor apetitoso (Wei et al., 2014). Estos descubrimientos son similares para los valores de  $L^*$  que varían de  $80,800 \pm 0,781$  a  $92,167 \pm 0,757$  pero superiores a los valores de  $a^*$   $-0,67 \pm 0,02 - 0,008 \pm 0,032$ , y los valores de  $b^*$   $7,6 \pm 1,93 - 17,19 \pm 0,86$  a los reportados por Ruiz, (2019) para películas de para películas de sachainchi.

La solubilidad de la película en agua es uno de los criterios más imperativos para seleccionar una película para una aplicación específica ya que una película muy soluble se utiliza para realizar cubiertas comestibles o como recubrimiento de pastillas, en el caso adverso si estas no se disuelven fácilmente son adecuados para empaque de productos. En el presente estudio (Tabla 9), en general todos los tratamientos presentan baja solubilidad con valores que oscilo entre 0,11% a 0,14% para biopelículas con almidón de olluco y con rangos de 0,10% hasta 0,15% para las biopelículas con almidón de oca, estos hallazgos son significativamente inferiores a los (Lescano 2024) quien encontró valores que oscilan entre  $42,39 \pm 2,23$  a  $59,32 \pm 0,31$  para biopelículas de almidones de pepa de plata y pectina de granadilla y a los reportados por Rincón, (2023) que presentó intervalos entre 44,83 a 57, 33 para biopelículas de pectina de cáscara de maracuyá, con estos resultados bajos de solubilidad se puede inferir que las biopelículas de este estudio tiene alto potencial frente a la permeabilidad de agua ya que según Morelos (2012) como se citó en Rincón (2023) la solubilidad se relaciona con la permeabilidad al vapor de agua. En el caso que haya una alta cantidad de solvencia, esto quiere decir que existe una alta permeabilidad, en el sentido adverso, si la solvencia es baja, el potencial de la película biodegradable incrementa, lo que ofrece una gran factibilidad para usarlo como empaque. Además, se puede inferir que las formulaciones de este estudio pueden ser aplicadas en alimentos ya que tienen resistencia al agua.

La higroscopicidad se entiende como la capacidad de un objeto para absorber y retener la humedad presente en el ambiente, fenómeno que depende principalmente de la naturaleza química y estructural del polímero, así como la humedad relativa y la temperatura que lo rodea (Müller et al., 2008). En este estudio, se obtuvieron bajos valores de higroscopicidad para ambos tipos de biopelículas de  $0,09 \pm 0,00 \%$  y  $0,13 \pm 0,00\%$  para el almidón de olluco, y de  $0,08 \pm 0,00\%$  a  $0,13 \pm 0,00\%$  para el almidón de oca. Sin embargo, se determinó que el incremento en la concentración de pectina aumentó la higroscopicidad en las biopelículas de almidón de oca, mientras que este efecto no se evidenció en las biopelículas de almidón de olluco. Este comportamiento podría deberse a que los almidones de oca evidencian una mayor fuente de fibra, ya que, según Vilay et al. (2008) la absorción de agua se ve influida por factores como la temperatura, el contenido de fibra, la permeabilidad, la protección y la superficie expuesta, así como la difusividad. Del mismo modo Ilyas et al. (2018) determinaron que al aumentar la concentración de nano fibras de palma de azúcar se disminuyó la hidrofilia de las películas, haciéndolas más resistentes a la absorción de agua por su menor carácter hidrofílico, atribuible a la fuerte interacción adhesiva entre nano fibras y almidón. Estas interacciones de enlace de hidrógeno dentro de las películas nanocompuestas tienden a estabilizar la matriz de almidón cuando se expone a ambientes con alta humedad. Los valores de higroscopicidad obtenidos en este estudio son semejantes a los hallados para biopelículas de carragenina y pectina (0,52 a 0,806%) (Alves et al., 2011).

Los resultados de PVA, mostraron valores bajos para ambos tipos de biopelículas, oscilando entre 1,08 - 8,12 g/ Pa\*s\*m para formulaciones con olluco y 1,48 - 9,23 g/ Pa\*s\*m para oca, sin encontrarse diferencias significativas entre formulaciones evaluadas. Este comportamiento bajo podría atribuirse a la incorporación de pectina, ya que su matriz está compuesta por fibra, y la cual posee grupos hidroxilo en su estructura química que

ayuda a la interacción con las moléculas de agua, limitando su efectividad como barrera contra la humedad Thakur et al. (2019). Hallazgos similares presentaron (Müller et al., 2009) quienes encontraron 0,64 a 8,32 g/ Pa\*s\*m en biopelículas de almidones de yuca fortificada con celulosa, observando que al colocar fibras disminuye la permeabilidad al vapor de agua en comparación con las biopelículas de almidón sin fibras. Asimismo, en este estudio se evidenció que las películas biodegradables de oca presentaron rangos de PVA ligeramente mayores en algunos tratamientos lo que podría estar relacionado con el mayor contenido de fibra del almidón de oca respecto al de olluco. El módulo elástico indica la rigidez de una película, los resultados obtenidos en este estudio se detallan en la Tabla 11. Se evidenció ya que, al incrementar el porcentaje de pectina y almidón de oca, el módulo de Young aumentó en ambos tipos de biopelículas. Las biopelículas elaboradas con almidón de olluco, los datos promedios variaron entre  $22,53 \pm 0,35$  MPa y  $36,90 \pm 0,33$  MPa, mientras que para las biopelículas de almidón de oca los rangos fueron de  $22,39 \pm 0,70$  MPa hasta  $110,03 \pm 4,11$  MPa. Hallazgos similares fueron reportados por (Lescano, 2024) en biopelículas elaboradas con almidón de pepa de palta y pectina, donde se observó que a mayores porcentajes de almidón (>2%) y altos porcentajes de pectina, el módulo de Young aumentó, aunque con valores inferiores a los de este estudio, oscilando entre 10,71 MPa y 37,42 MPa, así como los hallazgos de 8,18 a 21,17 MPa en películas de cascara de naranja y celulosa bacteriana y 6,71 a 17,36 MPa y en películas de cascara de naranja y pectina (Alata y Cuadros, 2017). Según Chaves et al. (2025) manifiesta que un alto contenido de almidón en la mezcla forma películas inestables pero adición de pectina a la mezcla contribuye a romper la cristalinidad entre las moléculas de almidón debido a la ruptura intermolecular y a la formación de nuevos enlaces H entre almidón-almidón y almidón-pectina mejorando la rigidez de las biopelículas.

## CAPITULO V: CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

### 5.1. Conclusiones

Se determinó que el porcentaje de almidón y pectina influye en las propiedades fisicoquímicas y mecánicas de las biopelículas. Las formulaciones con 4% de almidón y 0,5% de pectina mostraron el mejor comportamiento global en términos de solubilidad, permeabilidad al vapor de agua, color e higroscopicidad, constituyéndose como la formulación más adecuada para la elaboración de películas biodegradables a partir de almidón de olluco rojo, oca rosada y pectina de granadilla.

Se evaluó la caracterización fisicoquímica de los almidones evidenciando diferencias entre las materias primas. El almidón de olluco presentó un contenido de humedad de  $15,69 \pm 0,02\%$ , cenizas de  $0,26 \pm 0,03\%$ , grasa de  $0,17 \pm 0,02\%$ , fibra cruda de  $0,12 \pm 0,01\%$  y amilosa de  $0,25 \pm 0,00\%$ ; mientras que el almidón de oca presentó  $13,07 \pm 0,06\%$  de humedad,  $0,47 \pm 0,01\%$  de cenizas,  $0,27 \pm 0,02\%$  de grasa,  $0,17 \pm 0,02\%$  de fibra cruda y  $0,31 \pm 0,01\%$  de amilosa. Estas características demuestran el potencial de ambos almidones como materia prima para la elaboración de biopelículas biodegradables.

Se determinó la composición química de la pectina extraída de la cáscara de granadilla donde presentó  $5,63 \pm 0,03\%$  de humedad,  $3,58 \pm 0,04\%$  de cenizas,  $0,06 \pm 0,02\%$  de fibra cruda y un contenido de metoxilo de  $35,89 \pm 2,60\%$ , evidenciando propiedades funcionales adecuadas para su utilización como agente estructurante en la formulación de biopelículas.

El porcentaje de pectina influyó significativamente en las propiedades ópticas de las biopelículas. El incremento de la concentración de pectina de 0,5% a 1,5% redujo la

luminosidad e incrementó la intensidad y saturación del color. Asimismo, las biopelículas elaboradas con almidón de oca presentaron tonalidades más claras en comparación con aquellas formuladas con almidón de olluco.

En la evaluación de solubilidad de las biopelículas se mantuvo en valores bajos para todas las formulaciones evaluadas. Los valores oscilaron entre 0,11% y 0,14% para las biopelículas elaboradas con almidón de olluco y entre 0,10% y 0,15% para aquellas elaboradas con almidón de oca, indicando una elevada resistencia a la disolución en agua y una adecuada estabilidad frente a ambientes húmedos.

La permeabilidad al vapor de agua presentó valores bajos en todas las formulaciones, variando entre 1,08 y 8,12 g/ Pa\*s\*m para las biopelículas de olluco y entre 1,48 y 9,23 g/ Pa\*s\*m para las de oca, sin encontrarse diferencias significativas entre los tratamientos evaluados. Estos resultados indican una adecuada capacidad de barrera frente al vapor de agua.

Se evaluó La higroscopicidad de las biopelículas donde los resultados obtenidos fueron bajos en todos los tratamientos, registrándose valores entre 0,09% y 0,13% para las formulaciones con almidón de olluco y entre 0,08% y 0,13% para las elaboradas con almidón de oca. Esto demuestra una baja afinidad por la humedad ambiental y una adecuada estabilidad durante el almacenamiento.

Se determinó el módulo de young donde fue influenciado por la concentración de almidón y pectina. Las biopelículas elaboradas con 4% de almidón y 1,5% de pectina presentaron los mayores valores de rigidez mecánica. En las formulaciones con almidón de olluco se alcanzó un valor máximo de 36,90 MPa, mientras que las formulaciones con almidón de oca alcanzaron 110,03 MPa, evidenciando una mayor resistencia mecánica de este último material.

## **5.2.Recomendaciones**

Utilizar los mejores tratamientos ofrecidos para empaçar los productos y estimar la vida de anaquel del producto.

Evaluar la biodegradabilidad en cuanto a las biopelículas en distintos escenarios como, ambientes y suelos controlados para conocer su tiempo de degradación.

Evaluar la viabilidad técnica y económica del aprovechamiento de residuos agroindustriales de granadilla, así como de excedentes de olluco y oca, para la producción a escala piloto o industrial de biopelículas biodegradables.

Considerar la formulación compuesta por 4% de almidón y 0,5% de pectina como punto de partida para futuras investigaciones, debido a que presentó el mejor comportamiento global en términos de solubilidad, permeabilidad al vapor de agua, color e higroscopicidad.

## REFERENCIAS

- Alata Mayhuire, Evelin ; Cuadros huamani, Y. B. (2017). “*Formulación y evaluación físico mecánica de películas biodegradables en base a residuos cítricos y celulosa bacteriana*” (p. 68). uri: <http://repositorio.unsa.edu.pe/handle/UNSA/4612>
- Alata Mayhuire, E., Cuadros Huamaní, Y., Miranda Zanard, L., & Medina de Miranda, e. (2018). Biopelículas producidas con cáscara de naranja y reforzadas con celulosa bacteriana. *Revista de La Sociedad Química Del Perú*, 85(2), 231–241. <https://doi.org/10.37761/rsqp.v85i2.80>
- Alimi, B. A., Workneh, T. S., & Femi, F. A. (2021). Fabrication and characterization of edible films from acha (*Digitalia exilis*) and iburu (*Digitalia iburua*) starches. *CYTA - Journal of Food*, 19(1), 493–500. <https://doi.org/10.1080/19476337.2021.1917667>; JOURNAL: JOURNAL: TCYT19; WGROUP: STRING: PUBLICATION
- Alves, V. D., Castelló, R., Ferreira, A. R., Costa, N., Fonseca, I. M., & Coelho, I. M. (2011). Barrier properties of carrageenan/pectin biodegradable composite films. *Procedia Food Science*, 1, 240–245. <https://doi.org/10.1016/J.PROFOO.2011.09.038>
- Ancos, D., Peña, G.-, Coca, C.-, & Moreno, S.-. (2015). Uso De Películas/Recubrimientos Comestibles En Los Productos De Iv Y V Gama. *Revista Iberoamericana de Tecnología Postcosecha*, 16(1), 8–17.

- Arévalo Minchola, A. (2017). *Caracterización de las Propiedades Fisicoquímicas y Térmicas de Almidón de Oca (Oxalis tuberosa)* [Universidad Nacional de Trujillo]. <https://dspace.unitru.edu.pe/server/api/core/bitstreams/17234ad3-ede9-4bc9-8068-8fb5caa05eb6/content>
- Ávila González, J. R. (2024). *Universidad autónoma del estado de hidalgo* [Universidad autónoma del estado de hidalgo]. <http://dgsa.uaeh.edu.mx:8080/jspui/bitstream/231104/6014/1/ATD634.pdf>
- Ballesteros-Mártinez, L., Pérez-Cervera, C., & Andrade-Pizarro, R. (2020). Effect of glycerol and sorbitol concentrations on mechanical, optical, and barrier properties of sweet potato starch film. *NFS Journal*, 20, 1–9. <https://doi.org/10.1016/j.nfs.2020.06.002>
- Basiak, E., Lenart, A., & Debeaufort, F. (2017). Effect of starch type on the physico-chemical properties of edible films. *International Journal of Biological Macromolecules*, 98, 348–356. <https://doi.org/10.1016/j.ijbiomac.2017.01.122>
- Begum, R., Aziz, M. G., Uddin, M. B., & Yusof, Y. A. (2014). Characterization of Jackfruit (*Artocarpus Heterophyllus*) Waste Pectin as Influenced by Various Extraction Conditions. *Agriculture and Agricultural Science Procedia*, 2, 244–251. <https://doi.org/10.1016/J.AASPRO.2014.11.035>
- Cabarcas, E., Guerra, A., & Henao, C. (2012). Extracción y caracterización de pectina a partir de cáscara de plátano para desarrollar un diseño general del proceso de producción. In *Digital Times, Unknown(Unknown)* (p. 71). [http://www.dt.co.kr/contents.html?article\\_no=2012071302010531749001](http://www.dt.co.kr/contents.html?article_no=2012071302010531749001)
- Chasquibol-Silva, N., Arroyo-Benites, E., & Morales-Gomero, J. C. (2008). Extracción y caracterización de pectinas obtenidas a partir de frutos de la biodiversidad peruana. *Ingeniería Industrial*, 0(26), 175–199. <https://doi.org/10.26439/ing.ind2008.n026.640>
- Chaves, M. L. C., Jesus, G. A. M., Castro, M. C., Bruni, A. R. S., Monteiro, J. P., SantosJunior, O. O., Martins, A. F., & Bonafé, E. G. (2025). Biodegradable Pectin/Starch-Based Films Applied on Fresh Pears. *ACS Omega*. <https://doi.org/10.1021/ACSOMEGA.4C08591/ASSET/IMAGES/LARGE/AO4C0>

- Chocano Peralta, N. del R. (2019). *Propiedades físicas y mecánicas de una biopelícula formulada con almidón de papa (Solanum tuberosum) y mucilago de nopal (Opuntia ficus)*.
- Cortez More, G. L., & Salome coca, J. M. (2017). *Prospección de plagas insectiles de la granadilla (Passiflora ligularis Juss) en el distrito de Paucartambo – Pasco* [Universidad Nacional Daniel Alcides Carrión.]. [http://repositorio.undac.edu.pe/bitstream/undac/688/1/TO\\_26\\_42007159.pdf](http://repositorio.undac.edu.pe/bitstream/undac/688/1/TO_26_42007159.pdf)
- Dash, K. K., Ali, N. A., Das, D., & Mohanta, D. (2019). Thorough evaluation of sweet potato starch and lemon-waste pectin based-edible films with nano-titania inclusions for food packaging applications. *International Journal of Biological Macromolecules*, 139, 449–458. <https://doi.org/10.1016/J.IJBIOMAC.2019.07.193>
- Daza, L. D., Homez-Jara, A., Solanilla, J. F., & Váquiro, H. A. (2018). Effects of temperature, starch concentration, and plasticizer concentration on the physical properties of ulluco (*Ullucus tuberosus* Caldas)-based edible films. *International Journal of Biological Macromolecules*, 120, 1834–1845. <https://doi.org/10.1016/J.IJBIOMAC.2018.09.211>
- ENRÍQUEZ, M., VELASCO, R., & ORTIZ, V. (2012). Composición Y Procesamiento De Películas Biodegradables Basadas En Almidón. *Bioteología En El Sector Agropecuario y Agroindustrial*, 10(1), 182–192.
- Fernández Valdés, D., Bautista Baños, S., Fernández Valdés, D., Ocampo Ramírez, A., García Pereira, A., & Falcón Rodríguez, A. (2015). Películas y recubrimientos comestibles : una alternativa favorable en la conservación poscosecha de frutas y hortalizas Eatable films and coverings : a favorable alternative in the postharvesIng . conservation of fruits and vegetables. *Revista Ciencias Técnicas Agropecuarias*, 24(3), 52–57.
- Ferreira Ardila, S. (2007). *Pectinas: aislamiento, caracterización y producción a partir de frutas tropicales y de los residuos de su procesamiento industrial* (Primera ed). [http://ciencias.bogota.unal.edu.co/fileadmin/Facultad\\_de\\_Ciencias/Publicaciones/Archivos\\_Libros/Libros\\_Farmacia/Pectinas/pectinas.pdf](http://ciencias.bogota.unal.edu.co/fileadmin/Facultad_de_Ciencias/Publicaciones/Archivos_Libros/Libros_Farmacia/Pectinas/pectinas.pdf)

- Galindez, A., Daza, L. D., Homez-Jara, A., Eim, V. S., & Váquiro, H. A. (2019). Characterization of ulluco starch and its potential for use in edible films prepared at low drying temperature. *Carbohydrate Polymers*, 215(March), 143–150. <https://doi.org/10.1016/j.carbpol.2019.03.074>
- García, I. (2017). Determinación de concentración óptima de ácido acético-glicerol en la elaboración de plástico biodegradable a partir del almidón de cáscara de plátano (*Musa paradisiaca*) en Pucallpa. *Universidad Nacional de Ucayali*, 70. <http://190.116.57.28/handle/UNU/3626>
- Goicochea, R. C. C., Carolim, M. M. L., & Teodoro, J. R. C. (2021). Propiedades funcionales de productos tradicionales congelados y secados al sol de oca (*Oxalis tuberosa* Molina) y ulluco (*Ullucus tuberosus* Caldas): Una revisión. *Puriq*, 2(3). <https://shs.hal.science/halshs-03093532%0Ahttps://shs.hal.science/halshs-03093532/document>
- Hema Prabha, P., & Ranganathan, T. V. (2018). Process optimization for evaluation of barrier properties of tapioca starch based biodegradable polymer film. *International Journal of Biological Macromolecules*, 120, 361–370. <https://doi.org/10.1016/j.ijbiomac.2018.08.100>
- Hermosa, G. D. C. (2013). Caracterización de almidones de dos tubérculos andinos: isaño (*Tropaeolum tuberosum* R&P) y oca (*Oxalis tuberosa* Mol). In *Universidad Nacional del Altiplano* (pp. 1–93). [http://repositorio.unap.edu.pe/bitstream/handle/UNAP/3410/Hermosa\\_Mendoza\\_Gisela del Carmen.pdf?sequence=1&isAllowed=y](http://repositorio.unap.edu.pe/bitstream/handle/UNAP/3410/Hermosa_Mendoza_Gisela%20del%20Carmen.pdf?sequence=1&isAllowed=y)
- Hoover, R., & Ratnayake, W. S. (2001). Determination of Total Amylose Content of Starch. *Current Protocols in Food Analytical Chemistry*, 00(1), E2.3.1-E2.3.5. <https://doi.org/10.1002/0471142913.FAE0203S00>
- Ilyas, R. A., Sapuan, S. M., Ishak, M. R., & Zainudin, E. S. (2018). Development and characterization of sugar palm nanocrystalline cellulose reinforced sugar palm starch bionanocomposites. *Carbohydrate Polymers*, 202, 186–202. <https://doi.org/10.1016/J.CARBPOL.2018.09.002>
- Islam, M. R., Biswas, M. M. H., Esham, M. K. H., Roy, P., Khan, M. R., & Hasan, S. M.

- K. (2023). Jackfruit (*Artocarpus heterophyllus*) by-products a novel source of pectin: Studies on physicochemical characterization and its application in soup formulation as a thickener. *Food Chemistry Advances*, 2, 100273. <https://doi.org/10.1016/J.FOCHA.2023.100273>
- Jan, R., Saxena, D. C., & Singh, S. (2016). Pasting, thermal, morphological, rheological and structural characteristics of Chenopodium (*Chenopodium album*) starch. *LWT - Food Science and Technology*, 66, 267–274. <https://doi.org/10.1016/J.LWT.2015.10.040>
- Kushwaha, R., Singh, V., Kaur, S., Wani, A. A., & Kaur, D. (2023). Elucidating the impact of chemical modifications on the structure, and properties of jackfruit seed starch. *Food Bioscience*, 56(June), 103097. <https://doi.org/10.1016/j.fbio.2023.103097>
- Lescano, M., Vásquez, N., Tarrillo, S., Yoplac, I., & Velásquez-barreto, F. F. (2021). Development and Optimization of Biofilms Made from Potato or Arracacha Starch. *Starch - Starke*, 75, 1–8. <https://doi.org/10.1002/star.202100075>
- Lescano Vergara, M. E. (2024). *Caracterización de las propiedades mecánicas, solubilidad y color de las Biopelículas elaboradas a base de pectina de granadilla (*Pasiflora ligularis*) y almidón extraído de pepa de Palta (*Persea americana* Mill)*. Universidad Nacional Autónoma de Chota. <http://hdl.handle.net/20.500.14142/571>
- López, D. F., Osorio, O., & Checa, O. E. (2019). Propiedades Mecánicas de un Material de Pectina para Revestimiento de Fibras Naturales Utilizadas en Aplicaciones Agrícolas. *Información Tecnológica*, 30(3), 189–198. <https://doi.org/10.4067/s0718-07642019000300189>
- Lunardo, R., Saintives, C., & Chaney, D. (2021). Food packaging and the color red: How negative cognitive associations influence feelings of guilt. *Journal of Business Research*, 134, 589–600. <https://doi.org/10.1016/J.JBUSRES.2021.05.052>
- Mada, T., Duraisamy, R., & Guesh, F. (2022). Optimization and characterization of pectin extracted from banana and papaya mixed peels using response surface methodology. *Food Science and Nutrition*, 10(4), 1222–1238. <https://doi.org/10.1002/FSN3.2754>

- Malekzadeh, E., Tatari, A., & Firouzabadi, M. D. (2023). Preparation, characteristics, and soil-biodegradable analysis of corn starch/nanofibrillated cellulose (CS/NFC) and corn starch/nanofibrillated lignocellulose (CS/NFLC) films. *Carbohydrate Polymers*, 309, 120699. <https://doi.org/10.1016/J.CARBPOL.2023.120699>
- Mali, S., Sakanaka, L. S., Yamashita, F., & Grossmann, M. V. E. (2005). Water sorption and mechanical properties of cassava starch films and their relation to plasticizing effect. *Carbohydrate Polymers*, 60(3), 283–289. <https://doi.org/10.1016/j.carbpol.2005.01.003>
- Meaño Correa, N., Ciarfella Pérez, A. T., & Dorta Villegas, A. M. (2014). Evaluación de las propiedades químicas y funcionales del almidón nativo de ñame congo (*Dioscorea bulbifera* L.) para predecir sus posibles usos tecnológicos. *Saber*, 26(2), 182–187.
- Morales Rivé, R. D. R. (2019). Extracción de pectina de cáscara de naranja por hidrólisis ácida asistida por microondas. *Revista Científica Estudios e Investigaciones*, 8, 271–272. <https://doi.org/10.26885/rcei.foro.2019.271>
- Morales, Y. E. M. (2014). Caracterización de películas, elaboradas a partir de harina de quinua (*chenopodium quinoa*, willd), almidón modificado de yuca (*manihot esculenta*) y montmorillonita (p. 154).
- Mukherjee, C., Varghese, D., Krishna, J. S., Boominathan, T., Rakeshkumar, R., Dineshkumar, S., Brahmananda Rao, C. V. S., & Sivaramakrishna, A. (2023). Recent advances in biodegradable polymers – Properties, applications and future prospects. *European Polymer Journal*, 192(April), 112068. <https://doi.org/10.1016/j.eurpolymj.2023.112068>
- Müller, C. M. O., Laurindo, J. B., & Yamashita, F. (2009). Effect of cellulose fibers addition on the mechanical properties and water vapor barrier of starch-based films. *Food Hydrocolloids*, 23(5), 1328–1333. <https://doi.org/10.1016/J.FOODHYD.2008.09.002>
- Müller, C. M. O., Yamashita, F., & Laurindo, J. B. (2008). Evaluation of the effects of glycerol and sorbitol concentration and water activity on the water barrier properties of cassava starch films through a solubility approach. *Carbohydrate Polymers*,

72(1), 82–87. <https://doi.org/10.1016/j.carbpol.2007.07.026>

- Muñoz, J. M. (2014). *Evaluación, caracterización y optimización de un bioplástico a partir de la combinación de almidón de maíz, yuca y glicerol en sus propiedades físicas y de barrera* (p. 58).
- Noblecilla, O. V. (2017). “*Tipo de Empaque Y Tiempo De Almacenaje En Frío En Frutos De Granadilla (Passiflora Ligularis Juss.)*” (p. 100).
- Orezzoli, A. V., Zavaleta, E., Pajares-Medina, N., Adolfo, S., Lescano, L., & Linares, G. (2018). Physicochemical and mechanical characteristics of potato starch-based biodegradable films. *Asian Journal of Scientific Research*, 11(1), 56–61. <https://doi.org/10.3923/ajsr.2018.56.61>
- Oropeza, G. R., Montes Hernández, A. I., Alberto, C., & Pereira, P. (2016). Películas biodegradables a base de almidón: propiedades mecánicas, funcionales y biodegradación. *Revista Venezolana de Ciencia y Tecnología de Alimentos*, 7(1), 65–093.
- Palma-Rodríguez, H., Salgado-Delgado, R., Páramo-Calderón, D., Vargas-Torres, A., & Meza-Nieto, M. (2017). Caracterización parcial de películas biodegradables elaboradas con almidón de plátano y proteínas séricas de la leche. *Acta Universitaria*, 27(1), 26–33. <https://doi.org/10.15174/au.2017.1215>
- Pawle, P., Pandey, S., Kumar, A., Agarwal, A., Tripathi, A. D., Saeed, M., Rab, S. O., Mahato, D. K., Kumar, P., & Kamle, M. (2025). Valorization of raw papaya (Carica papaya) and citrus peels for development of antimicrobial and biodegradable edible film. *Food Chemistry: X*, 25, 102129. <https://doi.org/10.1016/J.FOCHX.2024.102129>
- Peña Carrasco, E. F. (2017). “*Extracción y Caracterización Físicoquímica y Funcional De Almidones De Cinco Variedades De Papas Nativas Procedentes De Ilave (Puno)*” (p. 100). <http://repositorio.lamolina.edu.pe/handle/UNALM/2655>
- Pérez, J., Gómez, K., & Vega, L. (2022). Optimization and Preliminary Physicochemical Characterization of Pectin Extraction from Watermelon Rind (*Citrullus lanatus*) with Citric Acid. *International Journal of Food Science*, 2022.

<https://doi.org/10.1155/2022/3068829>

- Realpe, S. M., & Vásquez Rojas, L. V. (2020). *Efecto de dos niveles de N y K con fertirriego en el rendimiento de la granadilla (Passiflora ligularis Juss.) Fase I Trabajo* [Universidad Central del Ecuador]. <http://www.dspace.uce.edu.ec/bitstream/25000/21463/1/T-UCE-0004-CAG-252.pdf>
- Rincón, B. C. (2023). *Elaboración de una biopelícula a partir de pectina extraída de los residuos del maracuyá* [Universidad de América]. <https://repository.uamerica.edu.co/server/api/core/bitstreams/ddbce1a8-8e3c-4e87-889a-0656e626a930/content>
- Rincón, G. V. (2014). *Diseño de una Biopelícula para la Conservación de Fresa Silvestre (Fragaria Vesca), Una Estrategia Encaminada a la Sustitución de Empaques Plásticos* (p. 132). <http://hdl.handle.net/20.500.12010/1761>
- Rodríguez, A. (2012). Biodegradabilidad de materiales bioplásticos. *Ciencia y Tecnología de Alimentos*, 22(3), 69–72.
- Rodríguez, J. P., Bonifacio, A., Andrade, N. J. P., & Sørensen, M. (2025). Traditional uses, processes, and markets of ulluco (*Ullucus tuberosus* Caldas). *Traditional Starch Food Products: Application and Processing: Volume 4*, 4, 373–384. <https://doi.org/10.1016/B978-0-323-90844-3.00001-9>
- Roy, S., Priyadarshi, R., Łopusiewicz, L., Biswas, D., Chandel, V., & Rhim, J. W. (2023). Recent progress in pectin extraction, characterization, and pectin-based films for active food packaging applications: A review. *International Journal of Biological Macromolecules*, 239, 124248. <https://doi.org/10.1016/J.IJBIOMAC.2023.124248>
- Ruiz, C. S. (2019). *Efecto de la adición de carboximetilcelulosa en las propiedades físico-mecánicas de biopelículas de aislado proteico de Sacha Inchi* (Issue Tesis para optar el título profesional de Licenciado en Administración) [Universidad Nacional De San Martín]. <https://core.ac.uk/download/pdf/287334755.pdf>
- Saberi, B., Thakur, R., Vuong, Q. V., Chockchaisawasdee, S., Golding, J. B., Scarlett, C. J., & Stathopoulos, C. E. (2016). Optimization of physical and optical properties of

- biodegradable edible films based on pea starch and guar gum. *Industrial Crops and Products*, 86, 342–352. <https://doi.org/10.1016/j.indcrop.2016.04.015>
- Sánchez, A. (2011). *Conceptos básicos de gestión ambiental y desarrollo sustentable – Agua.org.mx* (INE-SEMARNAT (ed.)). <https://agua.org.mx/biblioteca/conceptos-basicos-de-gestion-ambiental-y-desarrollo-sustentable/>
- Santiago, S. M. (2015). *Elaboración y caracterización de películas biodegradables obtenidas con almidón nanoestructurado*. 119. <https://cdigital.uv.mx/bitstream/handle/123456789/46809/SantiagoSantiagoMaricela.pdf?sequence=2&isAllowed=y>
- Shaikh, M., Haider, S., Ali, T. M., & Hasnain, A. (2019). Physical, thermal, mechanical and barrier properties of pearl millet starch films as affected by levels of acetylation and hydroxypropylation. *International Journal of Biological Macromolecules*, 124, 209–219. <https://doi.org/10.1016/j.ijbiomac.2018.11.135>
- Sierra, M. K. (2021). *Elaboración y caracterización de una película biodegradable utilizando cáscara de naranja (Citrus X sinensis)*. <https://bdigital.zamorano.edu/handle/11036/7011>
- Sifuentes, N. I. (2011). *Elaboración Y Caracterización de Películas Conformadas por Biomoléculas Y Nanopartículas*. (p. 89). [https://repositoriodigital.ipn.mx/bitstream/123456789/9163/1/Tesis Final Israel Sifuentes Nieves.pdf](https://repositoriodigital.ipn.mx/bitstream/123456789/9163/1/Tesis%20Final%20Israel%20Sifuentes%20Nieves.pdf)
- Solano-Doblado, L. G., Alamilla-Beltrán, L., & Jiménez-Martínez, C. (2018). Películas y recubrimientos comestibles funcionalizados. *TIP Revista Especializada En Ciencias Químico-Biológicas*, 21(2), 30–42. <https://doi.org/10.22201/fesz.23958723e.2018.0.153>
- Solis, R. S. (2016). “*Elaboración Y Caracterización De Películas Comestibles Elaboradas Con Hidroxipropilmetilcelulosa (Hpmc)*”. (p. 81).
- Surco, L. F. A. (2004). *Caracterización de almidones aislados de Tubérculos andinos: mashua (Tropaeolum tuberosum), oca (Oxalis tuberosa), olluco (Ullucus tuberosus) para su aplicación tecnológica*. [Universidad Nacional Mayor de San Marcos].

[https://cybertesis.unmsm.edu.pe/bitstream/handle/20.500.12672/2588/Surco\\_lf.pdf?sequence=1&isAllowed=y](https://cybertesis.unmsm.edu.pe/bitstream/handle/20.500.12672/2588/Surco_lf.pdf?sequence=1&isAllowed=y)

Thakur, B. R., Singh, R. K., & Handa, A. K. (2009). Chemistry and uses of pectin — A review. *Critical Reviews in Food Science & Nutrition*, 37(1), 47–73. <https://doi.org/10.1080/10408399709527767>

Urango-Anaya, K. J., Ortega-Quintana, F. A., Vélez-Hernández, G., & Pérez-Sierra, Ó. A. (2018). Extracción Rápida de Pectina a Partir de Cáscara de Maracuyá (*Passiflora edulis flavicarpa*) empleando Microondas. *Información Tecnológica*, 29(1), 129–136. <https://doi.org/10.4067/s0718-07642018000100129>

Venancio, N. J. A. (2024). *Elaboración de un bioplástico empleando pectina , almidón ( extraídos de residuos agroindustriales ) y extracto de la corteza de quinua*. [Universidad Nacional Mayor de San Marcos]. <http://dgsa.uaeh.edu.mx:8080/jspui/bitstream/231104/6014/1/ATD634.pdf>

Vilay, V., Mariatti, M., Mat Taib, R., & Todo, M. (2008). Effect of fiber surface treatment and fiber loading on the properties of bagasse fiber–reinforced unsaturated polyester composites. *Composites Science and Technology*, 68(3–4), 631–638. <https://doi.org/10.1016/J.COMPSCITECH.2007.10.005>

Villalva, E. C. (2019). *Efecto de extensores amiláceos sobre las características físicoquímicas , fitoquímicas , funcionales y sensoriales en la extrusión de semilla de granadilla ( Passiflora ligularis )*. [Universidad Nacional del Centro del Perú]. [http://repositorio.uncp.edu.pe/bitstream/handle/UNCP/5424/T010\\_45913877\\_T.pdf?sequenc](http://repositorio.uncp.edu.pe/bitstream/handle/UNCP/5424/T010_45913877_T.pdf?sequenc)

Wang, H., Ding, F., Ma, L., & Zhang, Y. (2021). Edible films from chitosan-gelatin: Physical properties and food packaging application. *Food Bioscience*, 40, 100871. <https://doi.org/10.1016/J.FBIO.2020.100871>

Wei, S. T., Ou, L. C., Luo, M. R., & Hutchings, J. B. (2014). Package design: Colour harmony and consumer expectations. *International Journal of Design*, 8(1), 109–126.

Yoplac, T. I. (2019). *“Desarrollo de biopelículas activas con aceite esencial de citral*

*microencapsulado y su efecto en la carga micribiana del queso fresco.”*

Universidad Nacional Agraria la Molina.

Zegada, F. V. (2015). Extracción de pectina de residuos de cáscara de naranja por hidrólisis ácida asistida por microondas (hmo). *Investigacion & desarrollo*, 15(1), 65–76. <https://doi.org/10.23881/idupbo.015.1-6i>

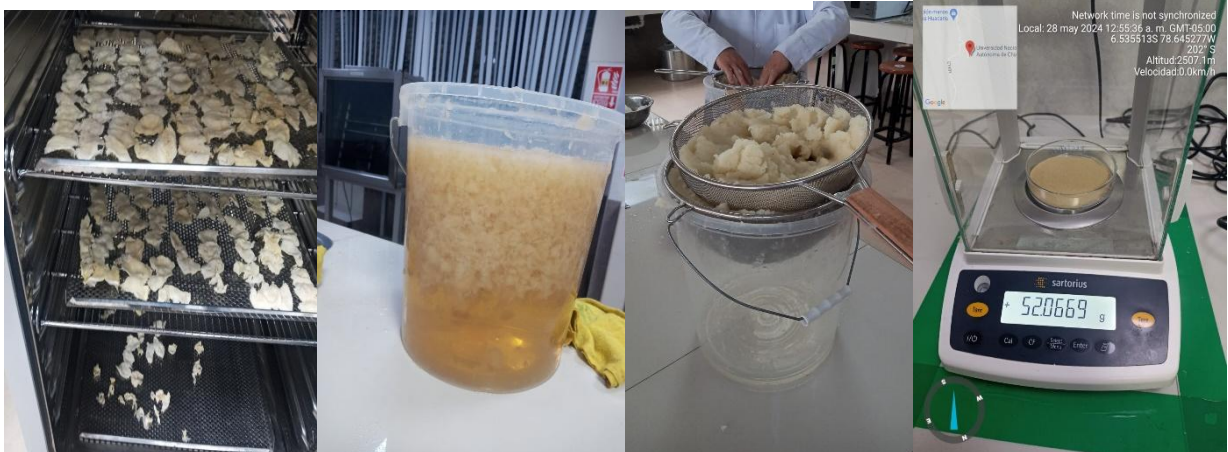
Zhu, F., & Cui, R. ngbin. (2019). Comparison of molecular structure of oca (*Oxalis tuberosa*), potato, and maize starches. *Food Chemistry*, 296, 116–122. <https://doi.org/10.1016/J.FOODCHEM.2019.05.192>

## ANEXOS

### ANXO 1. Registro fotográfico de la ejecución del Proyecto de investigación

#### Figura 5

*Extracción de pectina de la cascara de granadilla*



**Figura 6**

*Extracción de almidón de olluco y oca*



**Figura 7**

*Caracterización de las propiedades fisicoquímicas del almidón*



**Figura 8**

*Elaboración de biopelículas*



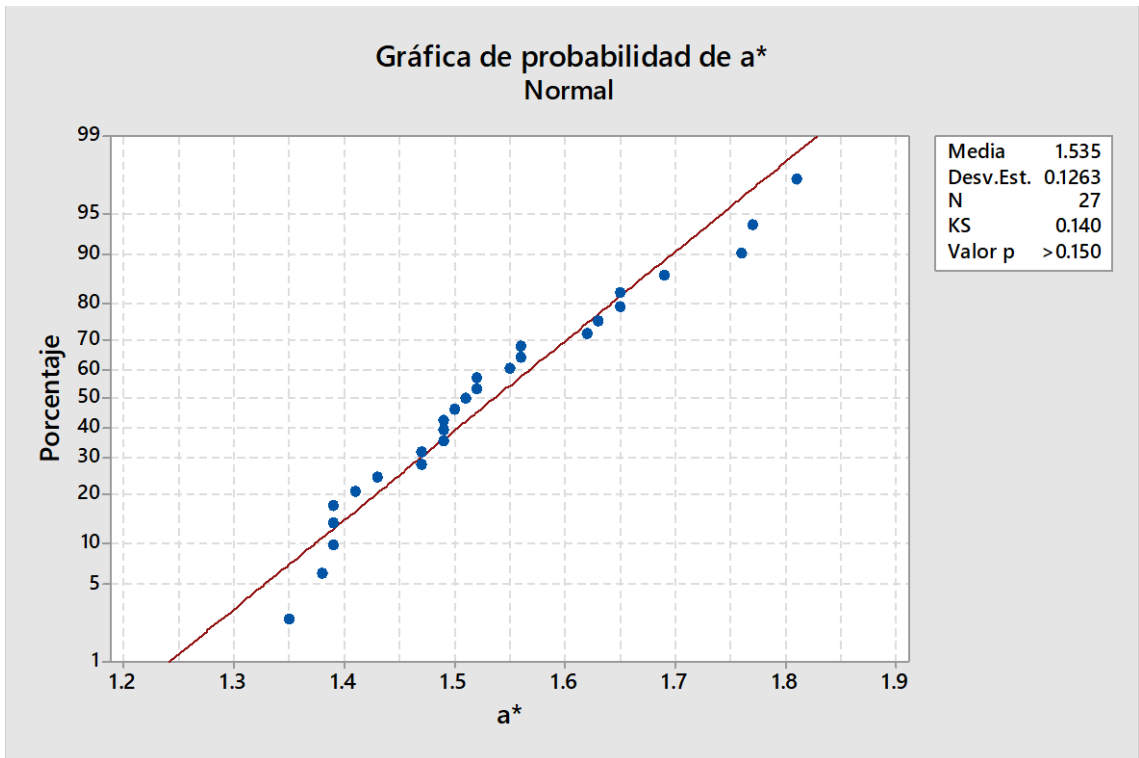
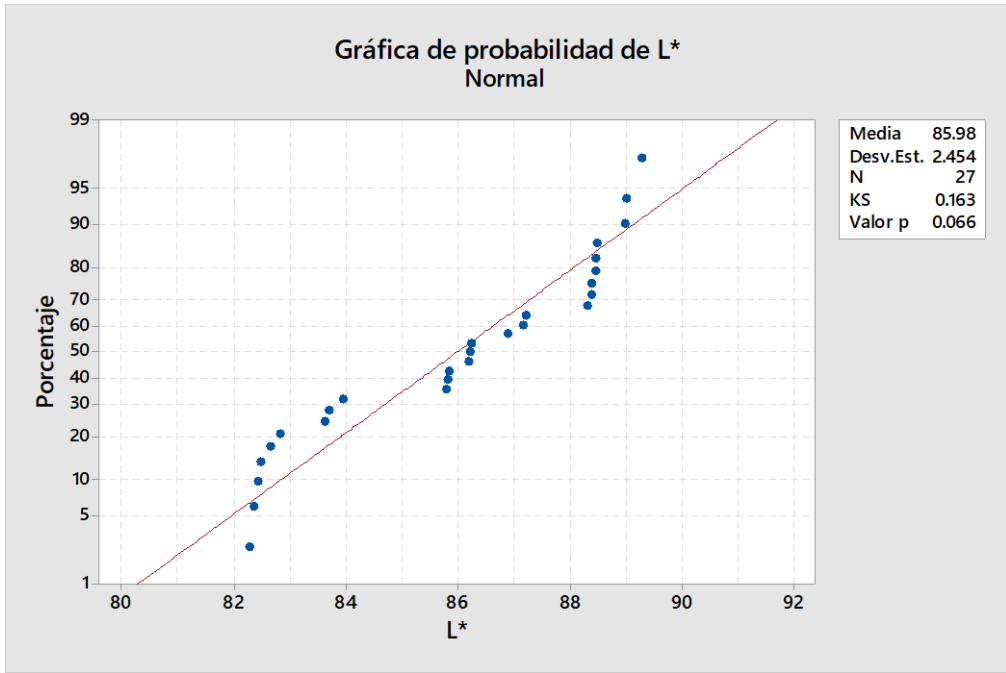
**Figura 9**

*Determinación del módulo de Young*

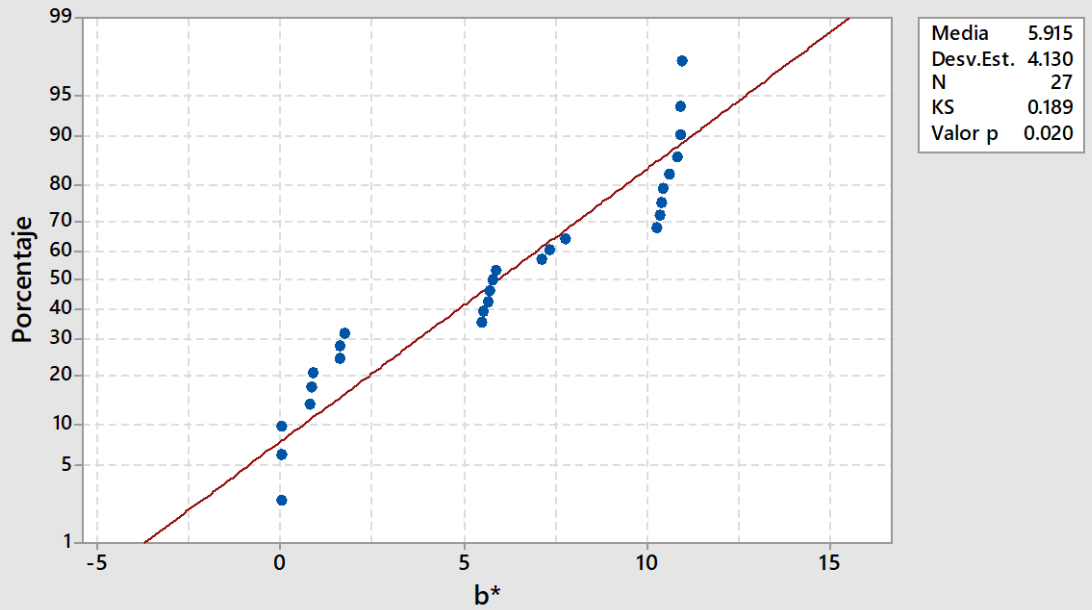


## **Biopelículas de almidón de olluco**

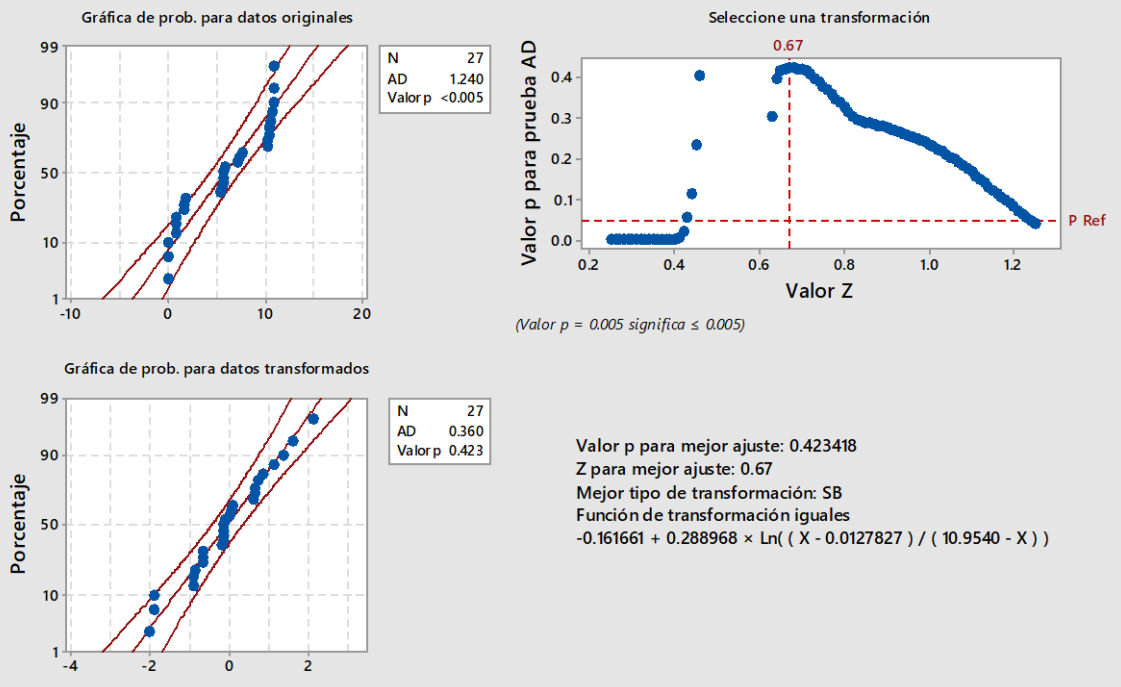
**Prueba de normalidad se Kolmogorov-Smirnov**



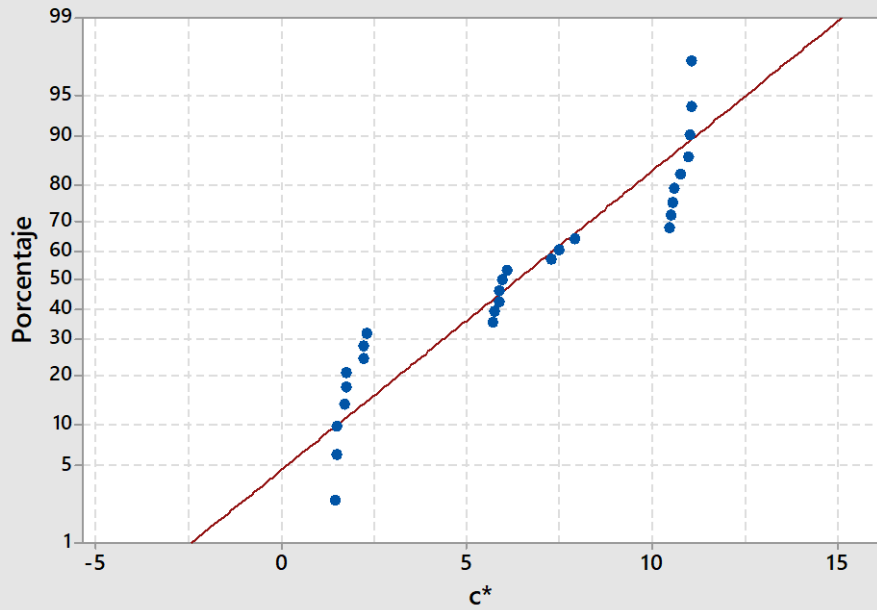
### Gráfica de probabilidad de b\* Normal



### Transformación de Johnson para b\*



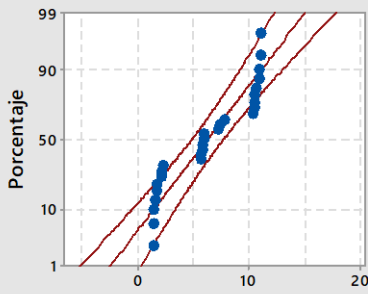
### Gráfica de probabilidad de c\* Normal



Media	6.334
Desv.Est.	3.767
N	27
KS	0.195
Valor p	<0.010

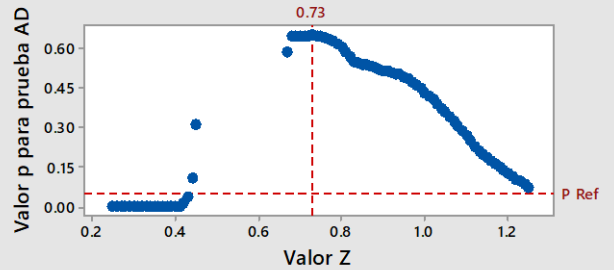
### Transformación de Johnson para c\*

Gráfica de prob. para datos originales



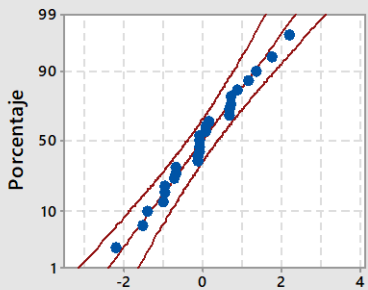
N	27
AD	1.380
Valor p	<0.005

Seleccione una transformación



(Valor p = 0.005 significa ≤ 0.005)

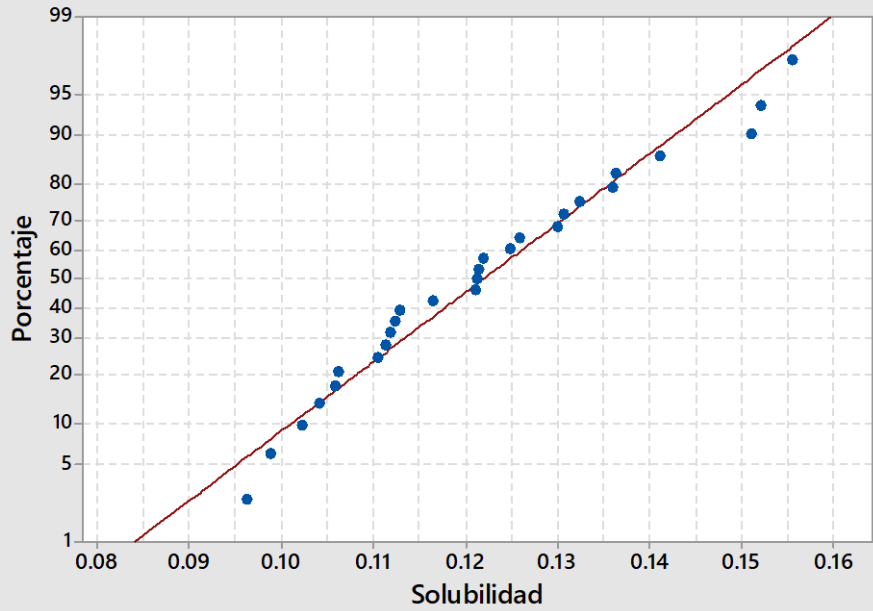
Gráfica de prob. para datos transformados



N	27
AD	0.269
Valor p	0.652

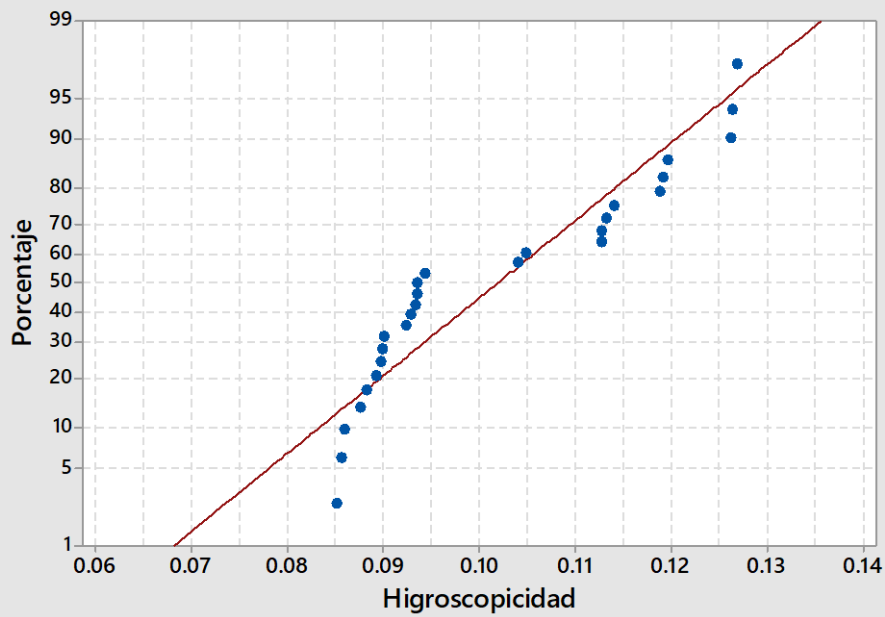
Valor p para mejor ajuste: 0.652266  
 Z para mejor ajuste: 0.73  
 Mejor tipo de transformación: SB  
 Función de transformación iguales  
 $-0.0351264 + 0.269255 \times \ln( ( X - 1.42678 ) / ( 11.0725 - X ) )$

Gráfica de probabilidad de Solubilidad  
Normal



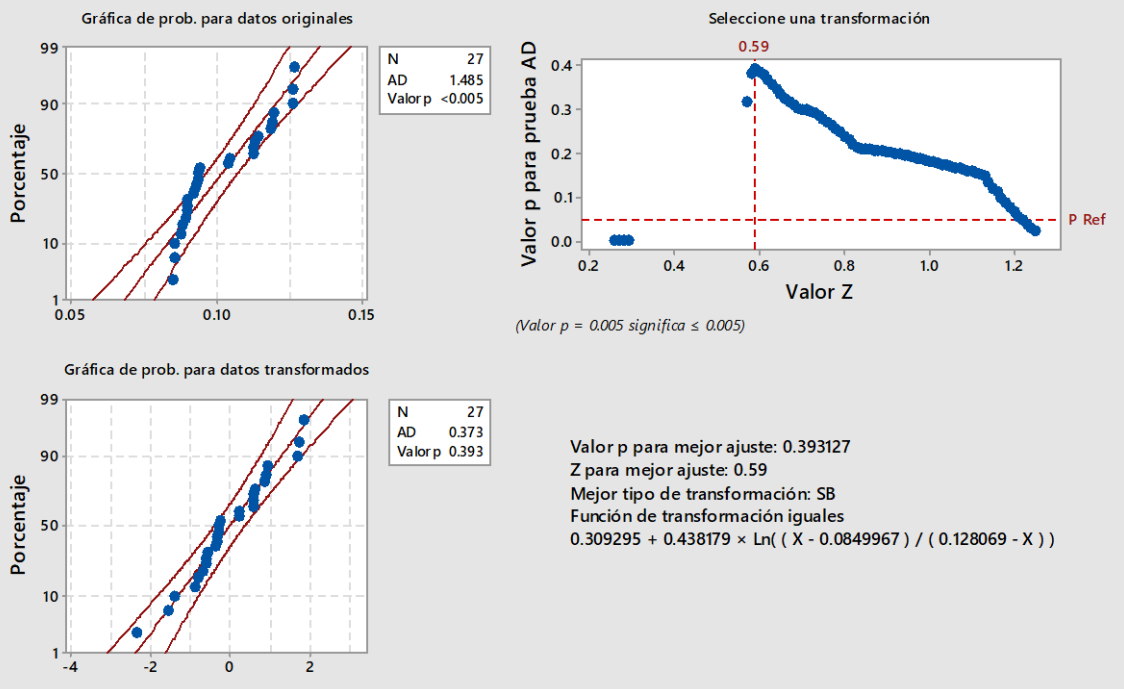
Media	0.1219
Desv.Est.	0.01623
N	27
KS	0.117
Valor p	>0.150

Gráfica de probabilidad de Higroscopicidad  
Normal

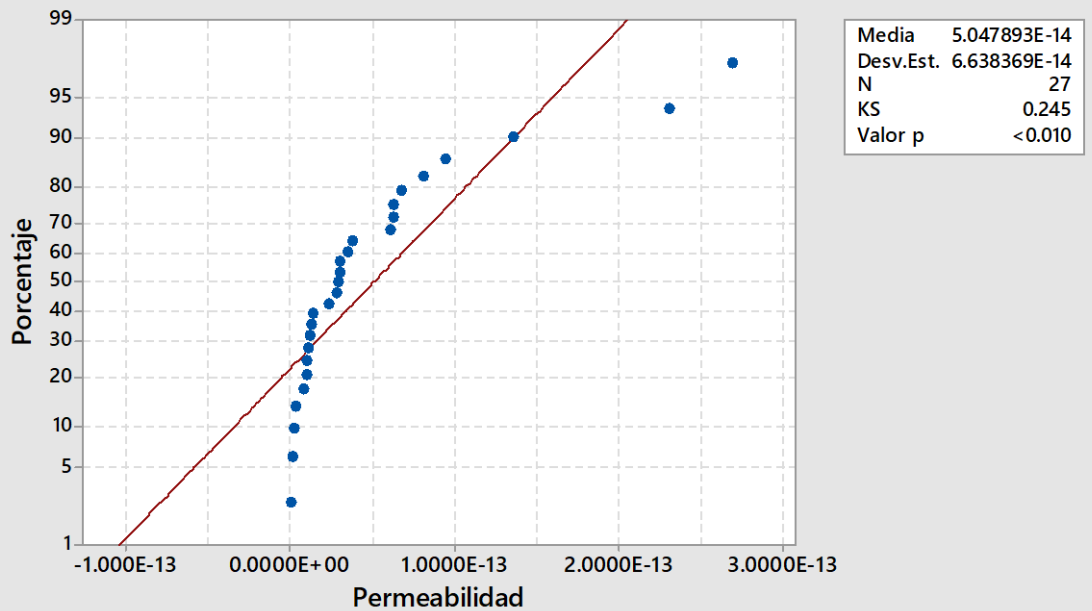


Media	0.1019
Desv.Est.	0.01451
N	27
KS	0.254
Valor p	<0.010

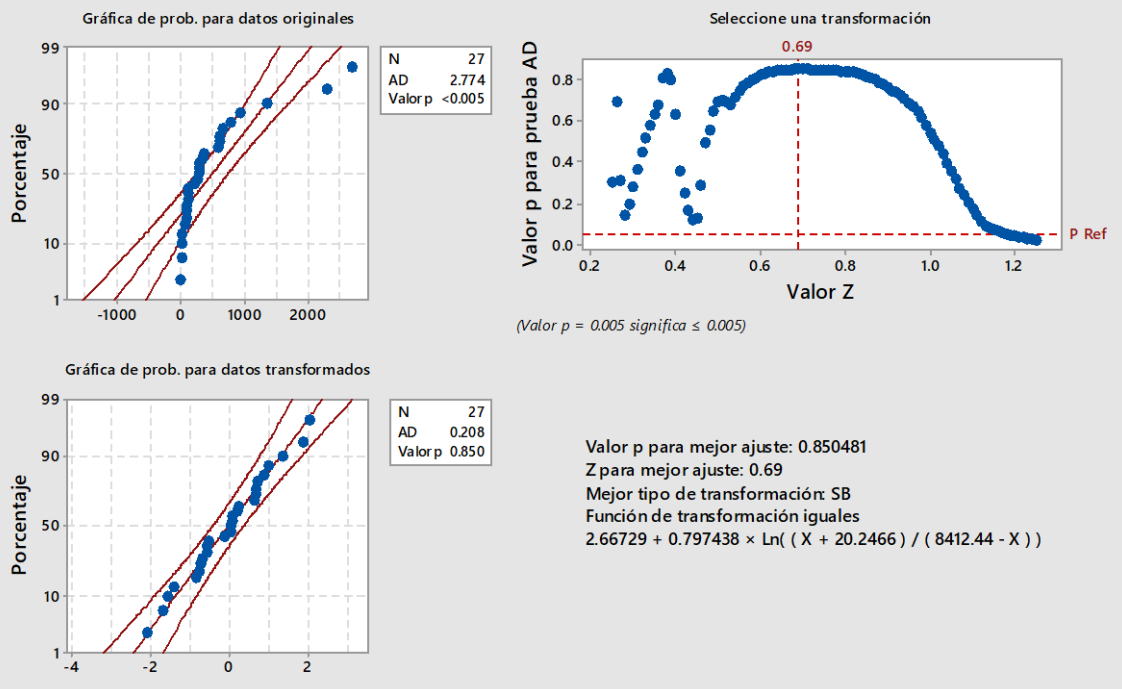
## Transformación de Johnson para Higroscopicidad



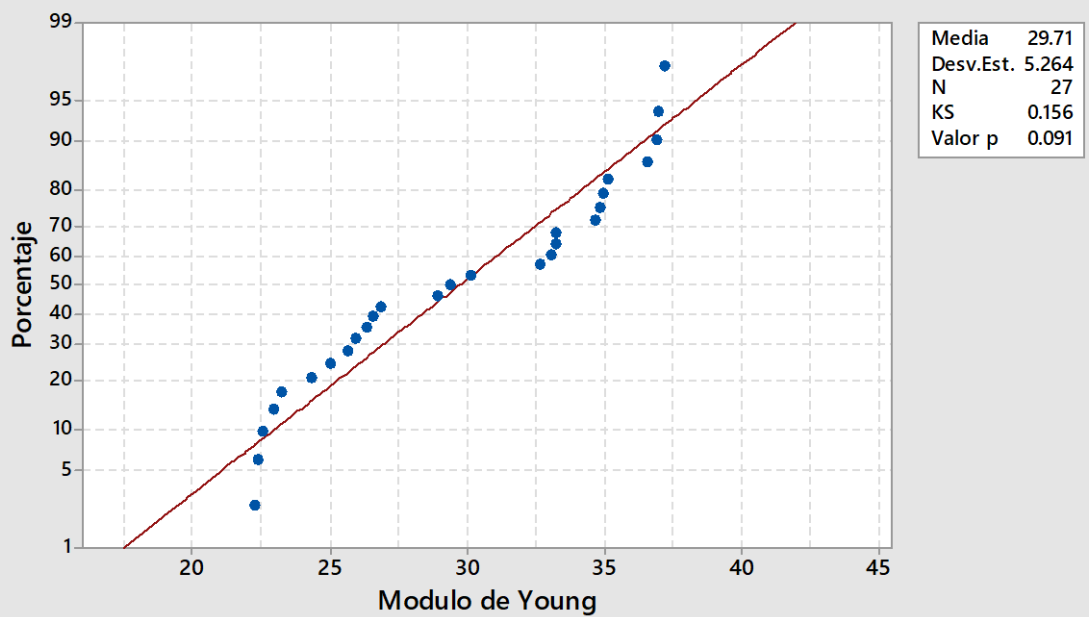
## Gráfica de probabilidad de Permeabilidad Normal



## Transformación de Johnson para Permeabilidad



## Gráfica de probabilidad de Modulo de Young Normal



# Prueba igualdad de varianzas de Levene

## Prueba de varianzas iguales:

### L\* vs. % Almidón; % Pectina

Pruebas

Método	Estadística de prueba	Valor p
Comparaciones múltiples	—	0.265
Levene	0.55	0.801

\* NOTA \* Al no poder calcular los múltiples intervalos de comparación No se podrá mostrar el resumen gráfico.

### Prueba de varianzas iguales: a\* vs. % Almidón; % Pectina

Pruebas

Método	Estadística de prueba	Valor p
Comparaciones múltiples	—	0.695
Levene	0.36	0.931

\* NOTA \* Al no poder calcular los múltiples intervalos de comparación No se podrá mostrar el resumen gráfico.

### Prueba de varianzas iguales: b\* vs. % Almidón; % Pectina

Pruebas

Método	Estadística de prueba	Valor p
Comparaciones múltiples	—	0.000
Levene	1.60	0.194

\* NOTA \* Al no poder calcular los múltiples intervalos de comparación No se podrá mostrar el resumen gráfico.

### Prueba de varianzas iguales: c\* vs. % Almidón; % Pectina

Pruebas

Método	Estadística de prueba	Valor p
Comparaciones múltiples	—	0.044
Levene	1.76	0.151

\* NOTA \* Al no poder calcular los múltiples intervalos de comparación No se podrá mostrar el resumen gráfico.

### Prueba de varianzas iguales: Solubilidad vs. % Almidón; % Pectina

Pruebas

Método	Estadística de prueba	Valor p
Comparaciones múltiples	—	0.950
Levene	0.10	0.999

\* NOTA \* Al no poder calcular los múltiples intervalos de comparación No se podrá mostrar el resumen gráfico.

### **Prueba de varianzas iguales: Higroscopicidad vs. % Almidón; % Pectina**

Pruebas

Método	Estadística de prueba	Valor p
Comparaciones múltiples	—	0.003
Levene	1.04	0.446

\* NOTA \* Al no poder calcular los múltiples intervalos de comparación No se podrá mostrar el resumen gráfico.

### **Prueba de varianzas iguales: Permeabilidad vs. % Almidón; % Pectina**

Pruebas

Método	Estadística de prueba	Valor p
Comparaciones múltiples	—	0.000
Levene	1.05	0.436

\* NOTA \* Al no poder calcular los múltiples intervalos de comparación No se podrá mostrar el resumen gráfico.

### **Prueba de varianzas iguales: Modulo de Young vs. % Almidón; % Pectina**

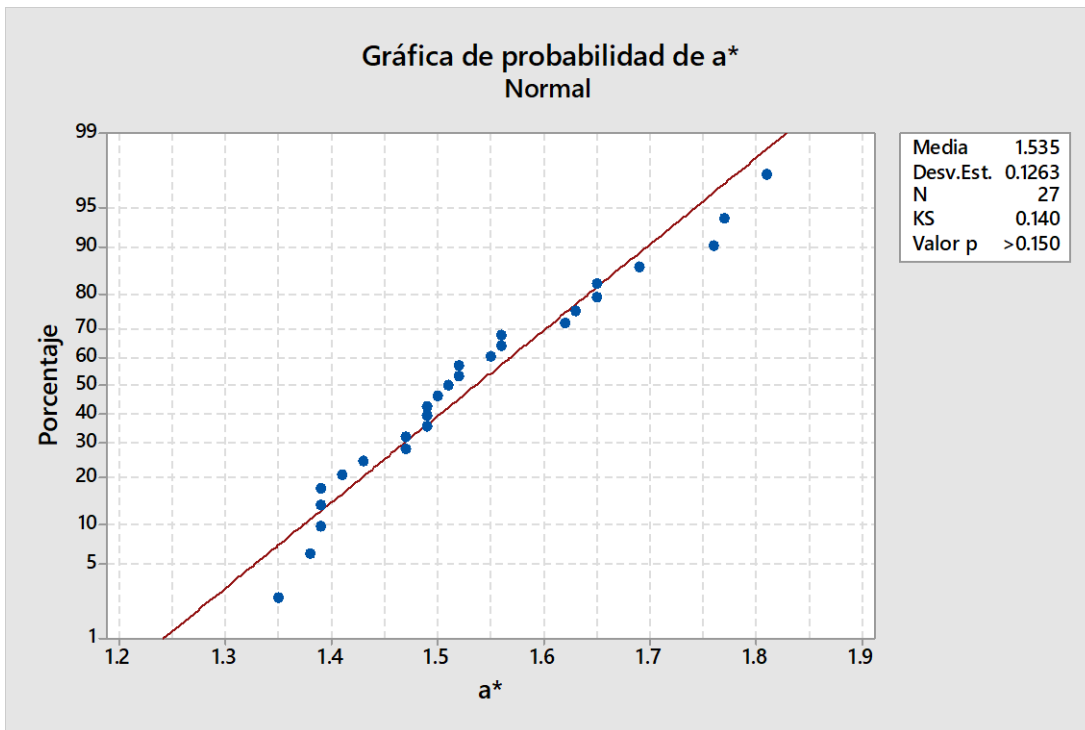
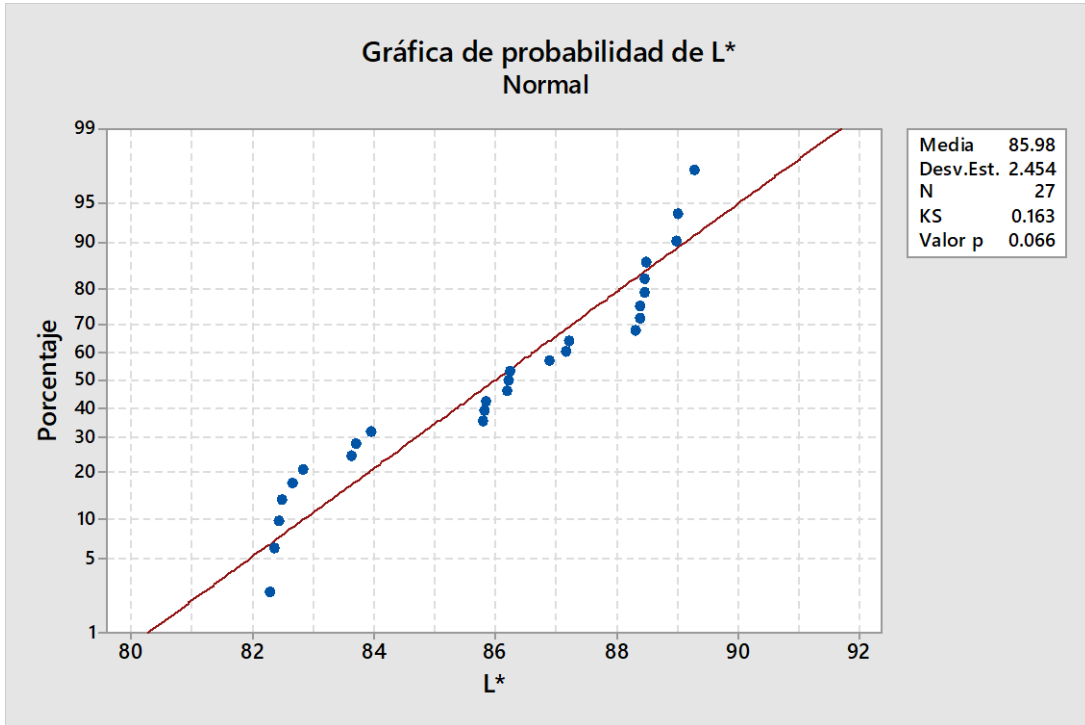
Pruebas

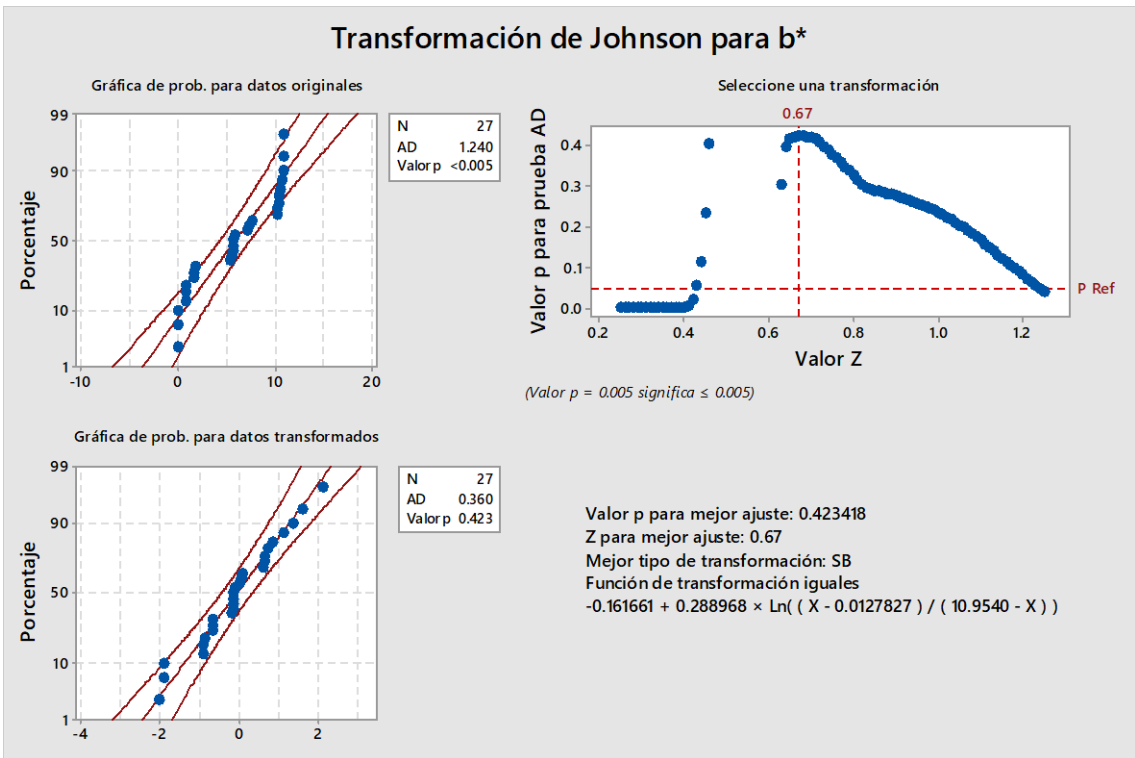
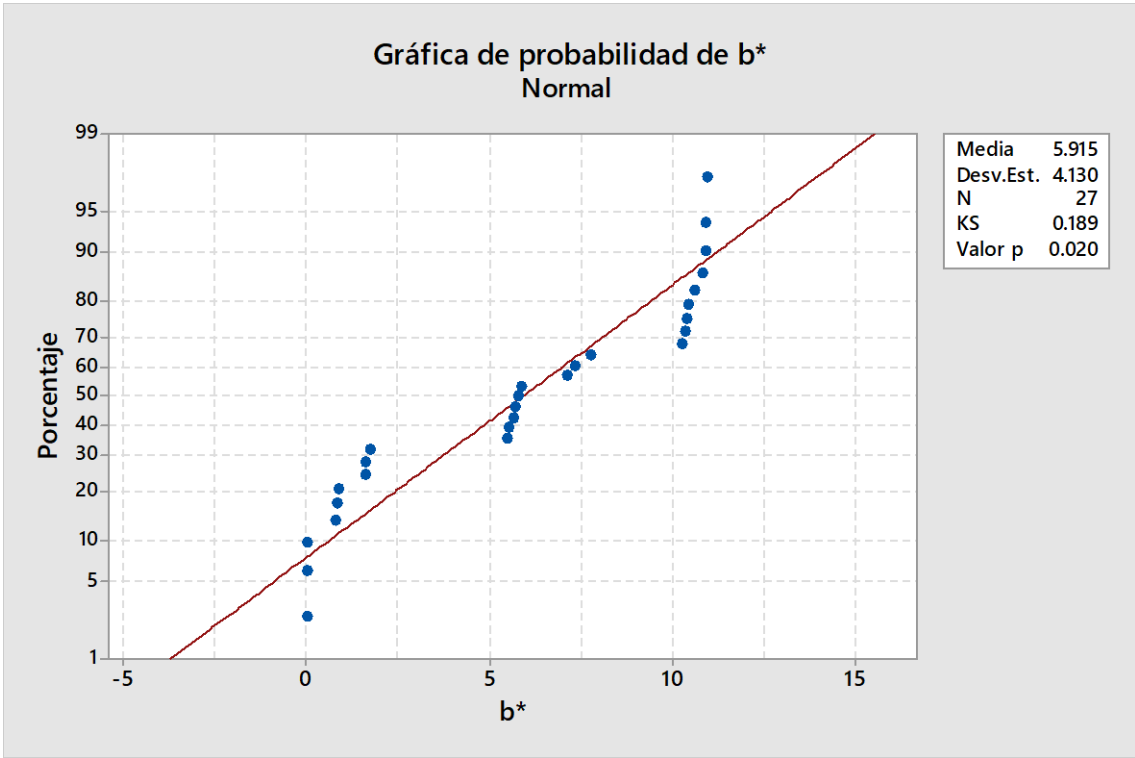
Método	Estadística de prueba	Valor p
Comparaciones múltiples	—	0.705
Levene	0.41	0.902

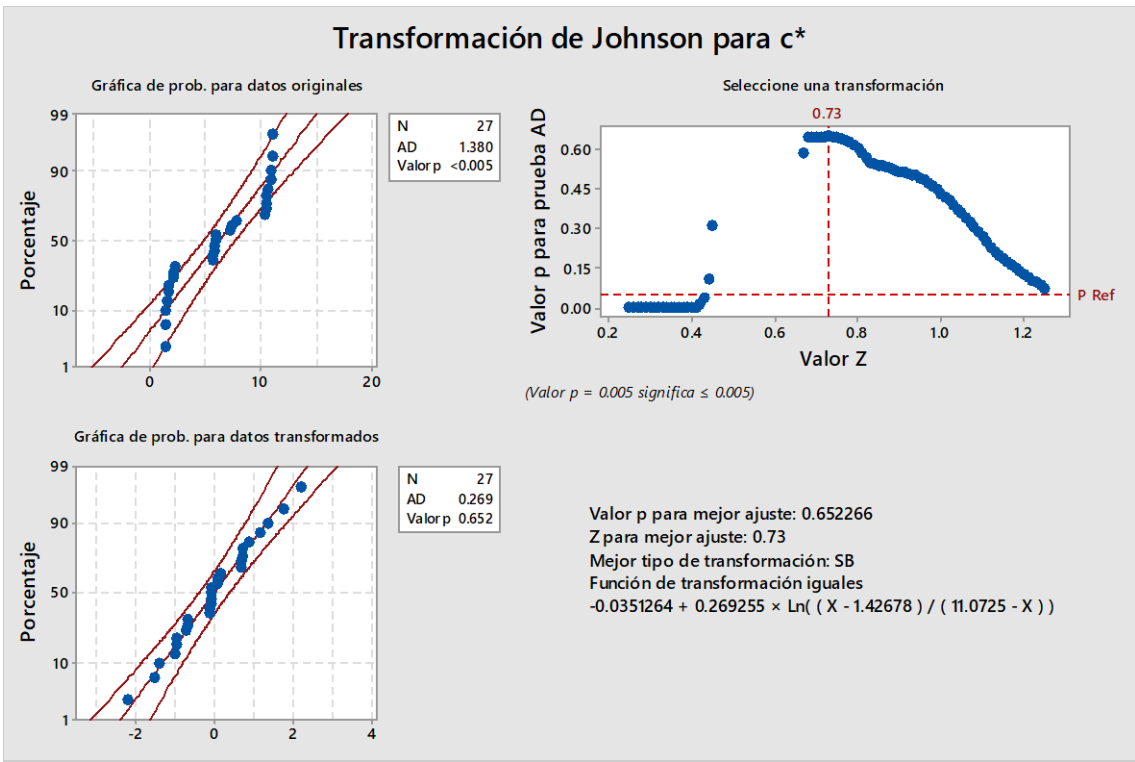
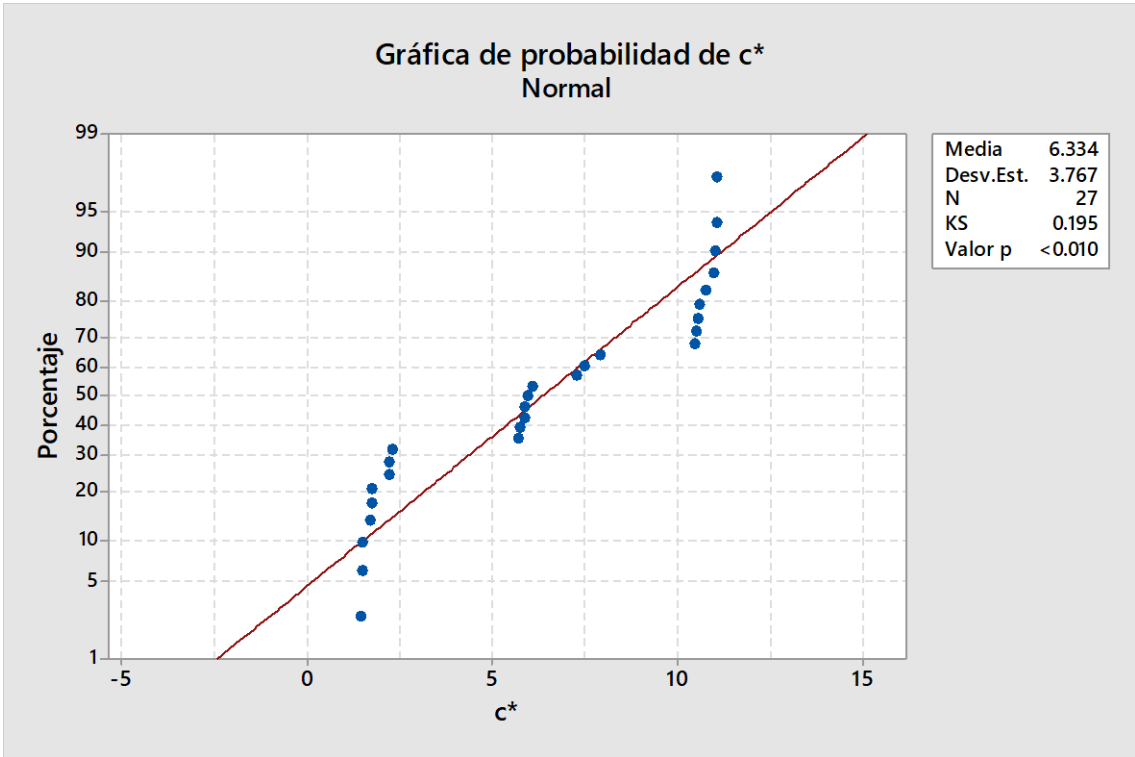
\* NOTA \* Al no poder calcular los múltiples intervalos de comparación No se podrá mostrar el resumen gráfico.

# Biopelículas a base de almidón de oca

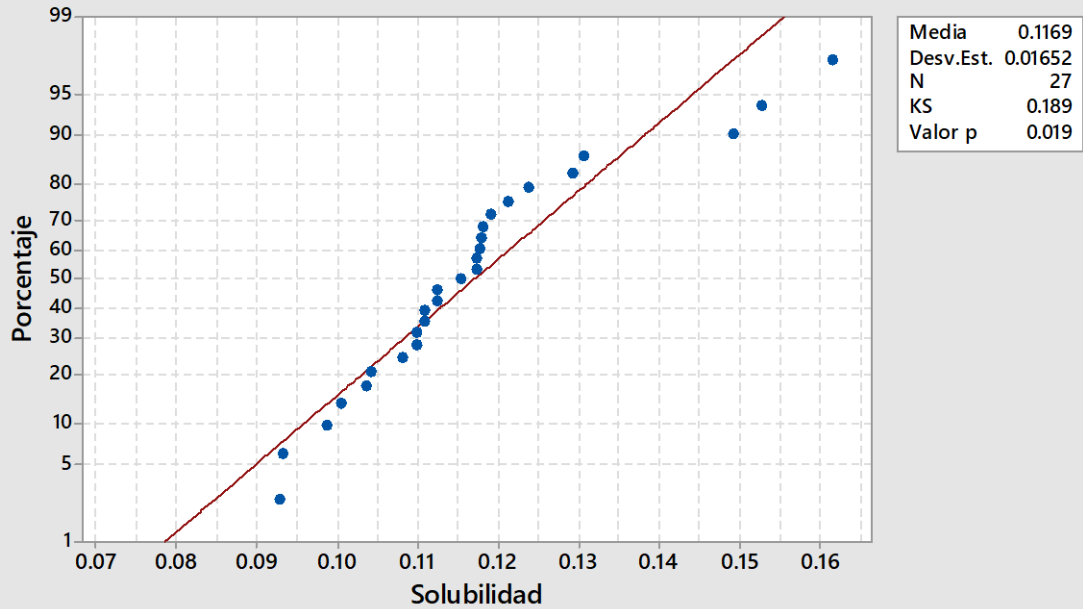
## Prueba de normalidad se Kolmogorov-Smirnov



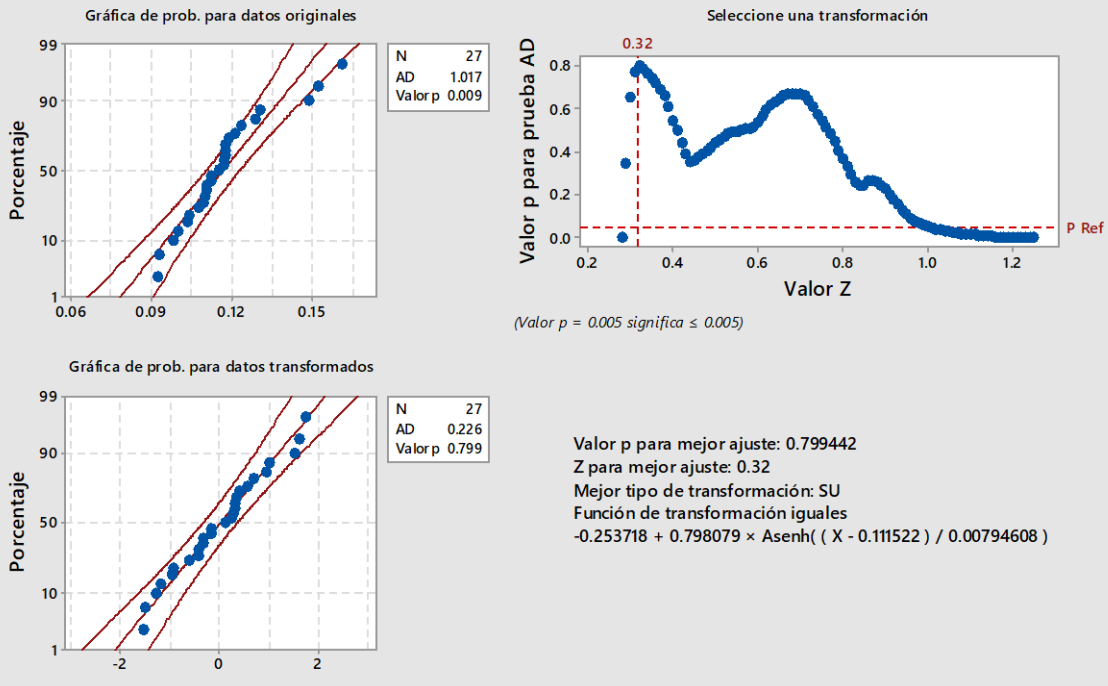




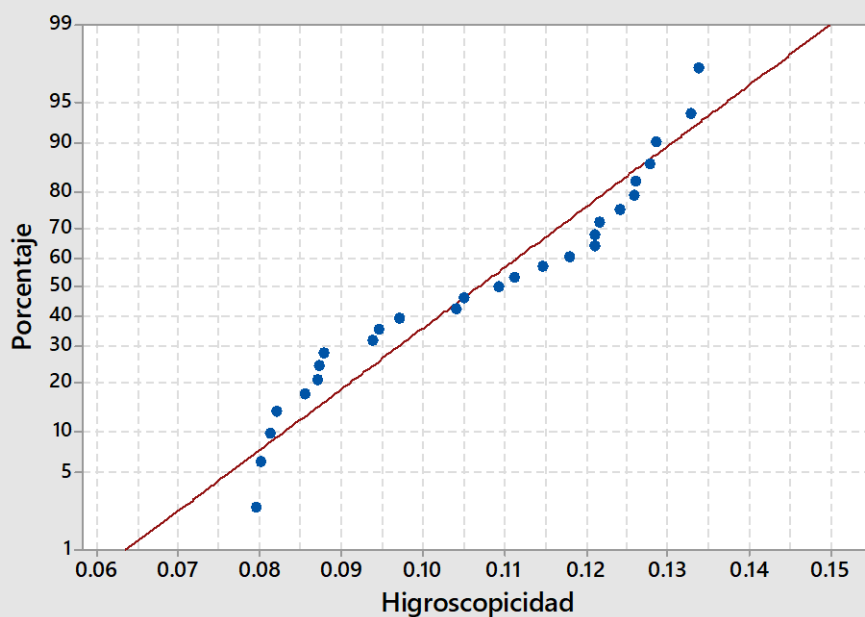
### Gráfica de probabilidad de Solubilidad Normal



### Transformación de Johnson para Solubilidad

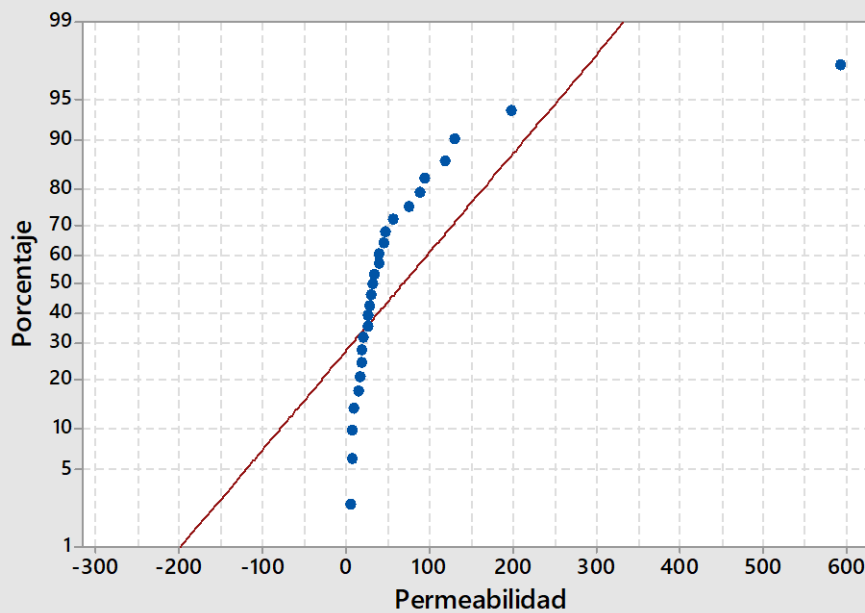


Gráfica de probabilidad de Higroscopicidad Normal



Media	0.1067
Desv.Est.	0.01854
N	27
KS	0.152
Valor p	0.106

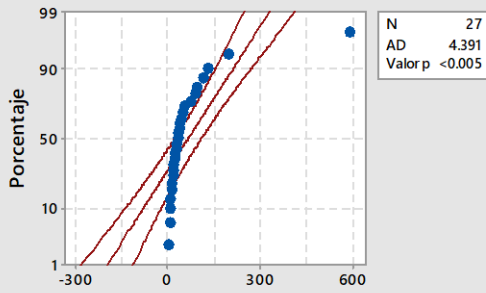
Gráfica de probabilidad de Permeabilidad Normal



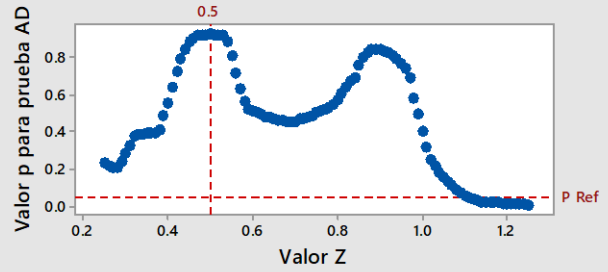
Media	67.10
Desv.Est.	114.1
N	27
KS	0.294
Valor p	<0.010

## Transformación de Johnson para Permeabilidad

Gráfica de prob. para datos originales

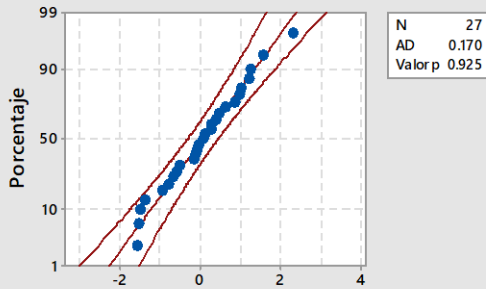


Seleccione una transformación



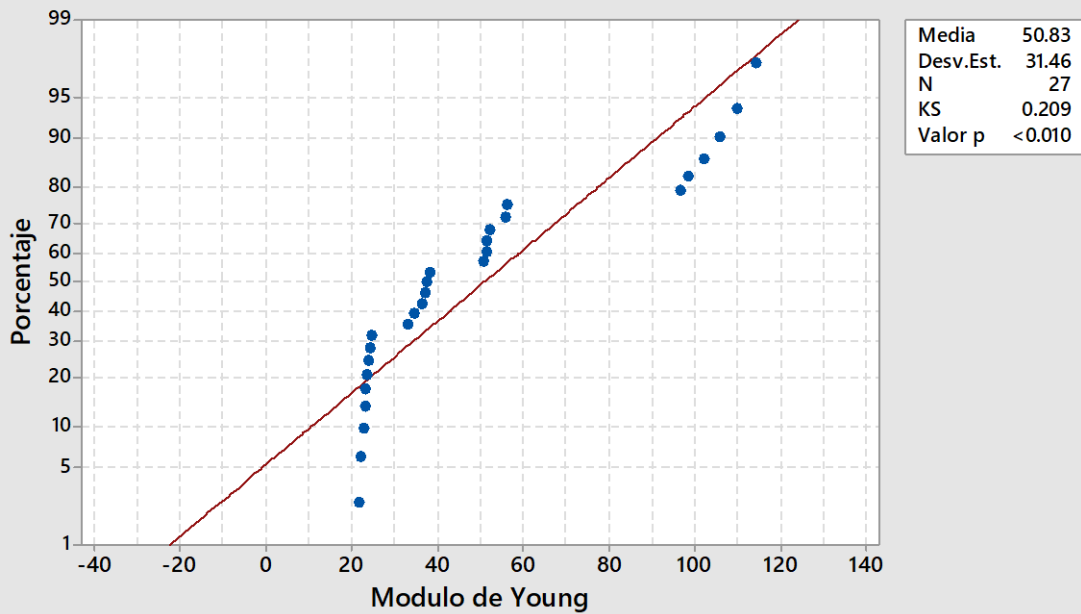
(Valor p = 0.005 significa  $\leq 0.005$ )

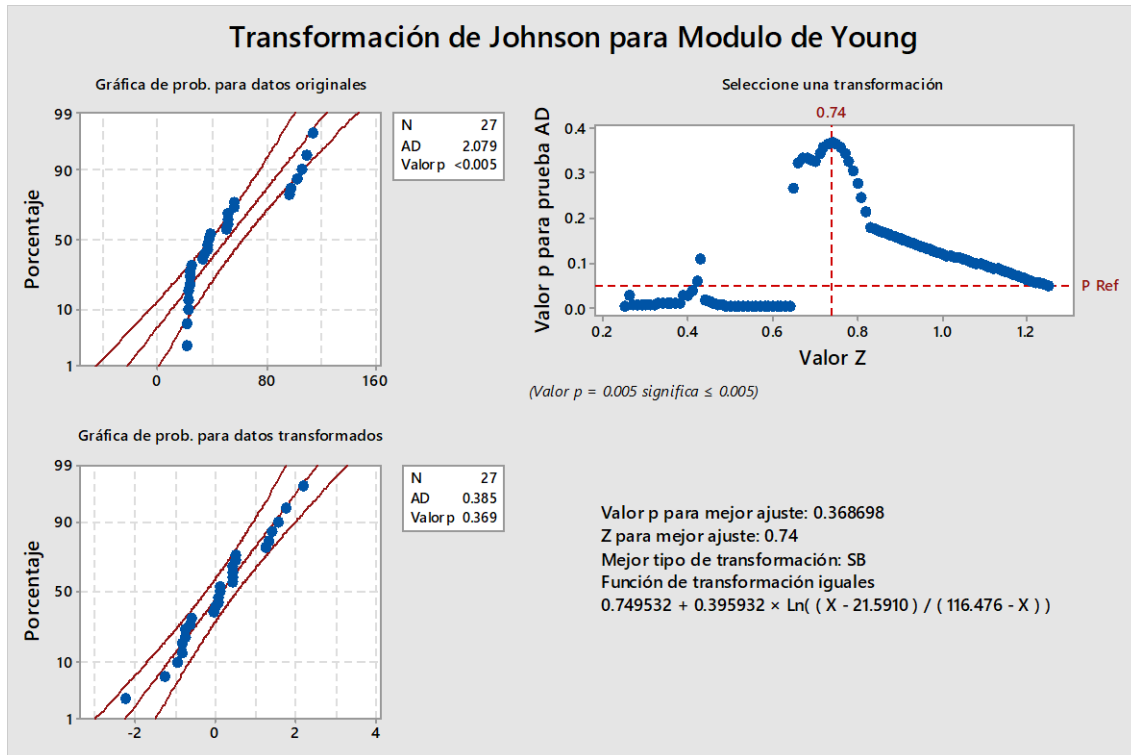
Gráfica de prob. para datos transformados



Valor p para mejor ajuste: 0.925272  
 Z para mejor ajuste: 0.5  
 Mejor tipo de transformación: SU  
 Función de transformación iguales  
 $-0.922255 + 0.650364 \times \text{Asenh}\left(\frac{X - 14.4724}{7.84672}\right)$

## Gráfica de probabilidad de Modulo de Young Normal





## Prueba de igualdad de varianzas de Levene

### Prueba de varianzas iguales: L\* vs. % Almidón; % Pectina

Pruebas

Método	Estadística de prueba	Valor p
Comparaciones múltiples	-	0.265
Levene	0.55	0.801

\* NOTA \* Al no poder calcular los múltiples intervalos de comparación No se podrá mostrar el resumen gráfico.

### Prueba de varianzas iguales: a\* vs. % Almidón; % Pectina

Pruebas

Método	Estadística de prueba	Valor p
Comparaciones múltiples	-	0.695
Levene	0.36	0.931

\* NOTA \* Al no poder calcular los múltiples intervalos de comparación No se podrá mostrar el resumen gráfico.

### Prueba de varianzas iguales: b\* vs. % Almidón; % Pectina

Pruebas

Método	Estadística de prueba	Valor p
Comparaciones múltiples	-	0.000
Levene	1.60	0.194

\* NOTA \* Al no poder calcular los múltiples intervalos de comparación No se podrá mostrar el resumen gráfico.

### **Prueba de varianzas iguales: c\* vs. % Almidón; % Pectina**

Pruebas

Método	Estadística de prueba	Valor p
Comparaciones múltiples	-	0.044
Levene	1.76	0.151

\* NOTA \* Al no poder calcular los múltiples intervalos de comparación No se podrá mostrar el resumen gráfico.

### **Prueba de varianzas iguales: Solubilidad vs. % Almidón; % Pectina**

Pruebas

Método	Estadística de prueba	Valor p
Comparaciones múltiples	-	0.289
Levene	0.56	0.796

\* NOTA \* Al no poder calcular los múltiples intervalos de comparación No se podrá mostrar el resumen gráfico.

### **Prueba de varianzas iguales: Higroscopicidad vs. % Almidón; % Pectina**

Pruebas

Método	Estadística de prueba	Valor p
Comparaciones múltiples	-	0.006
Levene	0.50	0.838

\* NOTA \* Al no poder calcular los múltiples intervalos de comparación No se podrá mostrar el resumen gráfico.

### **Prueba de varianzas iguales: Permeabilidad vs. % Almidón; % Pectina**

Pruebas

Método	Estadística de prueba	Valor p
--------	--------------------------	---------

Comparaciones múltiples	-	0.001
Levene	1.36	0.280

\* NOTA \* Al no poder calcular los múltiples intervalos de comparación No se podrá mostrar el resumen gráfico.

### **Prueba de varianzas iguales: Modulo de Young vs. % Almidón; % Pectina**

Pruebas

Método	Estadística de prueba	Valor p
Comparaciones múltiples	-	0.098
Levene	1.32	0.297