



Esta obra está bajo una [Licencia Creative Commons Atribución- NoComercial-Compartirigual 2.5 Perú](http://creativecommons.org/licenses/by-nc-sa/2.5/pe/).

Vea una copia de esta licencia en <http://creativecommons.org/licenses/by-nc-sa/2.5/pe/>



**UNIVERSIDAD NACIONAL DE SAN MARTÍN - TARAPOTO**  
**FACULTAD DE INGENIERÍA AGROINDUSTRIAL**  
**ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA AGROINDUSTRIAL**  
**INSTITUTO DE INVESTIGACIÓN Y DESARROLLO**  
**CONCURSO DE PROYECTOS DE INVESTIGACIÓN PARA TESIS A**  
**NIVEL DE PREGRADO 2018**



**Efecto del alcohol de polivinilo (PVOH) en las propiedades físico-mecánicas de biopelículas elaboradas con aislado proteico de Sacha Inchic**

**Tesis para optar el Título Profesional de Ingeniero Agroindustrial**

**AUTOR:**

**Mauricio Jefferson Montenegro Rojas**

**ASESORA:**

**Ing. Dra. Mari Luz Medina Vivanco**

**Tarapoto – Perú**

**2020**

**UNIVERSIDAD NACIONAL DE SAN MARTÍN - TARAPOTO**  
**FACULTAD DE INGENIERÍA AGROINDUSTRIAL**  
**ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA AGROINDUSTRIAL**  
**INSTITUTO DE INVESTIGACIÓN Y DESARROLLO**  
**CONCURSO DE PROYECTOS DE INVESTIGACIÓN PARA TESIS A**  
**NIVEL DE PREGRADO 2018**



**Efecto del alcohol de polivinilo (PVOH) en las propiedades físico-mecánicas de biopelículas elaboradas con aislado proteico de Sacha Inchi**

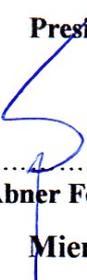
**AUTOR:**

**Mauricio Jefferson Montenegro Rojas**

**Sustentada y aprobada el 14 de febrero del 2020, por los siguientes jurados:**

  
.....  
**Ing. Dr. Oscar Wilfredo Mendieta Taboada**  
**Presidente**

  
.....  
**Ing. Dr. Manuel Fernando Coronado Jorge**  
**Secretario**

  
.....  
**Ing. Dr. Abner Félix Obregón Lujerio**  
**Miembro**

  
.....  
**Ing. Dra. Mari Luz Medina Vivanco**  
**Asesora**

## **Declaración de Autenticidad**

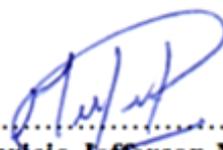
**Mauricio Jefferson Montenegro Rojas**, con DNI N° 72146121, egresado de la Facultad de Ingeniería Agroindustrial, Escuela Profesional de Ingeniería Agroindustrial, de la Universidad Nacional de San Martín – Tarapoto, con la Tesis titulada: **Efecto del alcohol de polivinilo (PVOH) en las propiedades físico-mecánicas de biopelículas elaboradas con aislado proteico de Sacha Inchic.**

Declaro bajo juramento que:

1. La tesis presentada es de mi autoría.
2. La redacción fue realizada respetando las citas y referencias de las fuentes bibliográficas consultadas.
3. Toda la información que contiene la tesis no ha sido auto plagiada;
4. Los datos presentados en los resultados son reales, no han sido alterados ni copiados, por tanto, la información de esta investigación debe considerarse como aporte a la realidad investigada.

Por lo antes mencionado, asumo bajo responsabilidad las consecuencias que deriven de mí accionar, sometiéndome a las leyes de nuestro país y normas vigentes de la Universidad Nacional de San Martín – Tarapoto.

Tarapoto, 14 de febrero del 2020.



.....  
**Bach. Mauricio Jefferson Montenegro Rojas**

DNI N° 72146121

**Formato de autorización NO EXCLUSIVA para la publicación de trabajos de investigación, conducentes a optar grados académicos y títulos profesionales en el Repositorio Digital de Tesis**

**1. Datos del autor:**

Apellidos y nombres:	Montenegro Rojas Mauricio Jefferson		
Código de alumno :	122120	Teléfono:	910284761
Correo electrónico :	mauro12x@gmail.com	DNI:	72146121

(En caso haya más autores, llenar un formulario por autor)

**2. Datos Académicos**

Facultad de:	Ingeniería Agroindustrial
Escuela Profesional de:	Ingeniería Agroindustrial

**3. Tipo de trabajo de investigación**

Tesis	(X)	Trabajo de investigación	( )
Trabajo de suficiencia profesional	( )		

**4. Datos del Trabajo de investigación**

Título :	Efecto del alcohol de polivinilo (PVOH) en las propiedades físico-mecánicas de biopelículas elaboradas con aislado proteico de Sacha Inchi.
Año de publicación:	2020

**5. Tipo de Acceso al documento**

Acceso público *	(X)	Embargo	( )
Acceso restringido **	( )		

Si el autor elige el tipo de acceso abierto o público, otorga a la Universidad Nacional de San Martín – Tarapoto, una licencia **No Exclusiva**, para publicar, conservar y sin modificar su contenido, pueda convertirla a cualquier formato de fichero, medio o soporte, siempre con fines de seguridad, preservación y difusión en el Repositorio de Tesis Digital. Respetando siempre los Derechos de Autor y Propiedad Intelectual de acuerdo y en el Marco de la Ley 822.

En caso que el autor elija la segunda opción, es necesario y obligatorio que indique el sustento correspondiente:


**6. Originalidad del archivo digital.**

Por el presente dejo constancia que el archivo digital que entrego a la Universidad Nacional de San Martín - Tarapoto, como parte del proceso conducente a obtener el título profesional o grado académico, es la versión final del trabajo de investigación sustentado y aprobado por el Jurado.

## 7. Otorgamiento de una licencia **CREATIVE COMMONS**

Para investigaciones que son de acceso abierto se les otorgó una licencia *Creative Commons*, con la finalidad de que cualquier usuario pueda acceder a la obra, bajo los términos que dicha licencia implica

<https://creativecommons.org/licenses/by-nc-sa/2.5/pe/>

El autor, por medio de este documento, autoriza a la Universidad Nacional de San Martín - Tarapoto, publicar su trabajo de investigación en formato digital en el Repositorio Digital de Tesis, al cual se podrá acceder, preservar y difundir de forma libre y gratuita, de manera íntegra a todo el documento.

Según el inciso 12.2, del artículo 12° del Reglamento del Registro Nacional de Trabajos de Investigación para optar grados académicos y títulos profesionales - RENATI "Las universidades, instituciones y escuelas de educación superior tienen como obligación registrar todos los trabajos de investigación y proyectos, incluyendo los metadatos en sus repositorios institucionales precisando si son de acceso abierto o restringido, los cuales serán posteriormente recolectados por el Repositorio Digital RENATI, a través del Repositorio ALICIA".



Firma y huella del Autor

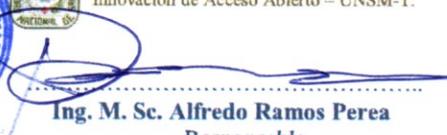
## 8. Para ser llenado en el Repositorio Digital de Ciencia, Tecnología e Innovación de Acceso Abierto de la UNSM - T.

Fecha de recepción del documento.

30 / 12 / 2020



UNIVERSIDAD NACIONAL DE SAN MARTÍN - T.  
Repositorio Digital de Ciencia, Tecnología e  
Innovación de Acceso Abierto - UNSM-T.

  
Ing. M. Sc. Alfredo Ramos Perea  
Responsable

\***Acceso abierto:** uso lícito que confiere un titular de derechos de propiedad intelectual a cualquier persona, para que pueda acceder de manera inmediata y gratuita a una obra, datos procesados o estadísticas de monitoreo, sin necesidad de registro, suscripción, ni pago, estando autorizada a leerla, descargarla, reproducirla, distribuirla, imprimirla, buscarla y enlazar textos completos (Reglamento de la Ley No 30035).

\*\* **Acceso restringido:** el documento no se visualizará en el Repositorio.

## **Dedicatoria**

Dedico este logro a mi madre ELIA SABINA ROJAS PÉREZ, por su admirable fortaleza y coraje, quien es mi inspiración para seguir adelante.

A mis hermanos GIANFRANCO MONTENEGRO ROJAS y JHON KERRY RIVERA ROJAS, por ser parte de mi vida y siempre desearme lo mejor.

A mi abuelita LEONOR MOLOCHO CUBAS, por su apoyo incondicional hasta el final de sus días.

A mis tíos MARLENI, VILMA, LUCILA, CONSUELO, MARCIAL, JOFFRE y LISENIA, porque siempre pude recibir su apoyo en el transcurso de mis estudios.

**Mauricio Jefferson**

## **Agradecimiento**

Al Instituto de Investigación y Desarrollo de la Universidad Nacional de San Martín por el financiamiento otorgado al presente trabajo de investigación.

A la Dra. Ing. MARI LUZ MEDINA VIVANCO, catedrática de la Facultad de Ingeniería Agroindustrial de la Universidad Nacional de San Martín, por su asesoramiento en la ejecución del presente trabajo de investigación.

Al Ing. RICHER GARAY MONTES, por su asesoramiento y constante apoyo durante el desarrollo de la investigación.

A mis compañeros de labores: STALIN RUIZ, ERIKA SALAS, PATRICK OBREGÓN, por su compañía y jovialidad durante las labores realizadas en el laboratorio de investigación.

A Dios por, sobre todo, de quién recibo la sabiduría necesaria y la luz que guía mi camino.

## Índice general

Dedicatoria.....	vi
Agradecimiento .....	vii
Resumen .....	xii
Abstract.....	xiii
Introducción.....	1
CAPÍTULO I .....	3
REVISIÓN BIBLIOGRÁFICA .....	3
1.1. Antecedentes de la investigación .....	3
1.2. Sacha Inchic ( <i>Plukenetia volubilis</i> L) .....	6
1.2.1. Aspectos generales del Sacha Inchic .....	6
1.2.2. Industrialización del Sacha Inchic .....	7
1.2.3. Semilla de Sacha Inchic .....	7
1.2.4. Torta de Sacha Inchic.....	7
1.3. Películas biodegradables .....	8
1.3.1. Aspectos generales de las películas biodegradables .....	8
1.3.2. Composición de las películas biodegradables .....	8
1.4. Biopolímeros .....	9
1.4.1. Biopolímeros de recursos renovables .....	10
1.4.2. Biopolímeros de síntesis petroquímica .....	11
1.4.2.1. Alcohol de Polivinilo (PVOH) .....	11
1.4.3. Plastificantes .....	12
1.5. Biopelículas a base de proteínas .....	13
1.5.1. Formación de películas a base de proteínas .....	13
1.5.2. Películas a partir de mezclas de biopolímeros .....	14
1.5.3. Mezclas compuestas de proteínas .....	16
1.6. Propiedades físicas y de barrera de películas .....	17
1.7. Propiedades mecánicas de películas .....	19
1.8. Aplicación e importancia de las películas biodegradables .....	21
CAPÍTULO II.....	23
MATERIAL Y MÉTODOS .....	23
2.1. Lugar de ejecución .....	23
2.2. Materiales .....	23

2.2.1. Materia prima .....	23
2.2.2. Instrumentos y equipos .....	23
2.2.3. Materiales de laboratorio .....	24
2.2.4. Reactivos .....	24
2.3. Metodología .....	24
2.3.1. Obtención de Aislado Proteico de Sacha Inchic (APSI).....	24
2.3.2. Obtención de películas biodegradables .....	25
2.3.3. Determinación de humedad .....	28
2.3.4. Determinación de espesor .....	28
2.3.5. Determinación de Permeabilidad al vapor de agua (PVA).....	28
2.3.6. Determinación de solubilidad .....	29
2.3.7. Determinación de color.....	29
2.3.8. Determinación propiedades mecánicas .....	30
2.4. Diseño experimental .....	31
CAPÍTULO III .....	32
RESULTADOS Y DISCUSIÓN .....	32
3.1. Caracterización químico proximal de la Torta de Sacha Inchic .....	32
3.2. Rendimiento de extracción del Aislado proteico de Sacha Inchic (APSI) .....	33
3.3. Caracterización químico proximal del Aislado Proteico de Sacha Inchic .....	33
3.4. Obtención de películas biodegradables .....	34
3.5. Medición de propiedades físico-mecánicas de las películas .....	38
3.5.1. Humedad (%) .....	41
3.5.2. Solubilidad (%) .....	42
3.5.3. Espesor (mm) .....	43
3.5.4. Permeabilidad al vapor de agua (PVA) .....	45
3.5.5. Color .....	46
3.5.6. Elongación (%) .....	49
3.5.7. Módulo de Young .....	50
3.5.8. Fuerza de perforación (N) .....	52
CONCLUSIONES.....	55
RECOMENDACIONES .....	56
REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS .....	57
ANEXOS .....	66

## Índice de tablas

Tabla 1. Composición química de la torta de Sacha Inchi .....	8
Tabla 2. Propiedades del PVOH a distintos grados de hidrólisis .....	11
Tabla 3. Influencia de la mezcla compuesta de proteínas en la obtención de biopelículas .....	16
Tabla 4. Composición real de las biopelículas .....	31
Tabla 5. Composición química de la torta de Sacha Inchi.....	32
Tabla 6. Composición química del APSI liofilizado.....	34
Tabla 7. Valor promedio de las propiedades físicas como color, humedad y solubilidad de las películas elaboradas con mezcla de PVOH/APSI. ....	38
Tabla 8. Valor promedio de las propiedades mecánicas y permeabilidad al vapor de agua (PVA) de las películas elaboradas con mezcla de PVOH/APSI.....	39
Tabla 9. Coeficientes de Regresión para las variables respuestas.....	40
Tabla 10. Permeabilidad de películas no biodegradables.....	46

## Índice de figuras

Figura 1. Principales zonas de producción de Sacha Inchic en San Martín .....	6
Figura 2. Clasificación de los polímeros según su método de producción y biodegradabilidad .....	10
Figura 3. Estructura química del Alcohol Polivinílico .....	11
Figura 4. Clasificación de las mezclas de polímeros más comunes en la producción de biofilms .....	15
Figura 5. Transferencia de gases o vapores a través de un material polimérico .....	18
Figura 6. Mordazas de equipo medidor de propiedades de tracción .....	19
Figura 7. Comportamiento de materiales mediante un esfuerzo-deformación .....	20
Figura 8. Módulo de Young en una curva de esfuerzo contra deformación .....	21
Figura 9. Diagrama de flujo para la obtención de películas biodegradables de torta de Sacha Inchic y alcohol de polivinilo .....	27
Figura 10. Tamizado de la torta de Sacha Inchic .....	32
Figura 11. Aislado proteico de Sacha Inchic recién extraído .....	33
Figura 12. Aislado proteico de Sacha Inchic liofilizado obtenido .....	33
Figura 13. Solución filmogénica obtenida luego de tratamiento térmico .....	34
Figura 14. Fotografías de las películas obtenidas a partir de las mezclas PVOH con APSI .....	36
Figura 15. Porcentaje de humedad y concentración de alcohol de polivinilo .....	41
Figura 16. Porcentaje de solubilidad y concentración de alcohol de polivinilo .....	42
Figura 17. Espesor de películas (mm) y concentración de alcohol de polivinilo .....	44
Figura 18. Permeabilidad al vapor de agua ( $\text{g}\cdot\text{m}^{-1}\cdot\text{s}^{-1}\cdot\text{Pa}^{-1} \times 10^{-12}$ ) y concentración de alcohol de polivinilo .....	45
Figura 19. (a) Diferencia de color de las películas ( $\Delta E$ ), (b) Claridad de las películas ( $L^*$ ), (c) Verdor – Rojez ( $a^*$ ) de las películas, (d) Azules – Amarillez ( $b^*$ ) de las películas con relación a la concentración de alcohol de polivinilo .....	47
Figura 20. Porcentaje de elongación y concentración de alcohol de polivinilo .....	49
Figura 21. Módulo de Young y concentración de alcohol de polivinilo .....	51
Figura 22. Fuerza de perforación y concentración de alcohol de polivinilo .....	53

## Resumen

Uno de los problemas de gran impacto ambiental es la acumulación de los residuos sólidos provenientes de empaques alimentarios, lo que ha impulsado a la búsqueda de biopolímeros naturales y renovables. La torta de Sacha Inchi (*Plukenetia volubilis*) subproducto agroindustrial generado en la extracción de aceite es una alternativa para la elaboración de películas por su alto contenido de proteínas. Así mismo, el alcohol de polivinilo (PVOH) es capaz de formar películas transparentes con adecuadas propiedades. El objetivo de la presente investigación fue estudiar el efecto de la adición del alcohol de polivinilo sobre las propiedades físico-mecánicas de biopelículas compuestas por Aislado proteico de Sacha Inchi. Las biopelículas fueron obtenidas por el método de casting, para obtener espesor constante se utilizó 7% de macromoléculas en la solución filmogénica. La determinación de las propiedades mecánicas fue realizada con un Texturómetro Brookfield Model CT3 50k. Para evaluar la influencia de la adición PVOH se planteó un diseño completo al azar con cinco tratamientos, siendo la variable independiente el porcentaje de adición de PVOH, en los niveles, 0, 3, 6, 9, 12 % p/p, realizándose los ensayos por triplicado. El resultado indicó que el espesor, como se pretendió, no fue influenciado ( $P > 0,05$ ) por la adición de PVOH, además de la humedad, solubilidad y color. A mayor concentración de PVOH se obtuvo un incremento en el porcentaje de elongación (de  $9,497 \pm 0,777\%$  a  $27,063 \pm 2,975\%$ ), fuerza de perforación (de  $6,017 \pm 0,764$  N a  $13,617 \pm 1,199$  N) y por consiguiente menor módulo de Young (de  $51,304 \pm 12,693$  N/mm<sup>2</sup> a  $15,799 \pm 1,177$  N/mm<sup>2</sup>). Las películas con mayor contenido de PVOH (12%) presentaron mejores propiedades de barrera ( $2,918 \pm 9,281 * 10^{-12}$  g m<sup>-1</sup> s<sup>-1</sup> Pa<sup>-1</sup>).

**Palabras clave:** Biopelículas, permeabilidad, alcohol de polivinilo, elongación.

## abstract

One of the problems of great environmental impact is the accumulation of solid waste resulting from food packaging, which has led to the search for natural and renewable biopolymers. The Sacha Inchic cake (*Plukenetia volubilis*), an agro-industrial by-product generated in the extraction of oil, is an alternative for the production of films because of its high protein content. Likewise, polyvinyl alcohol (PVOH) is able to form transparent films with adequate properties. The objective of this research was to study the effect of the addition of polyvinyl alcohol on the physical-mechanical properties of biofilms composed by Sacha Inchic's protein isolate. The biofilms were obtained by the casting method, to obtain constant thickness, 7% of macromolecules in the filmogenic solution were used. The determination of the mechanical properties was done with a Brookfield Model CT3 50k Texturometer. To evaluate the influence of PVOH addition, a complete randomized design with five treatments was proposed, being the independent variable the percentage of PVOH addition, in the levels, 0, 3, 6, 9, 12% w/w, performing the tests in triplicate. The result indicated that the thickness, as it was intended, was not influenced ( $P > 0.05$ ) by the addition of PVOH, besides the humidity, solubility and color. The higher the PVOH concentration, there was an increase in the elongation percentage (from  $9,497 \pm 0,777\%$  to  $27,063 \pm 2,975\%$ ), drilling force (from  $6,017 \pm 0.764$  N to  $13,617 \pm 1,199$  N) and consequently lower Young's modulus (from  $51,304 \pm 12,693$  N/mm<sup>2</sup> to  $15,799 \pm 1,177$  N/mm<sup>2</sup>). Films with higher PVOH content (12%) had better barrier properties ( $2,918 \pm 9,281 \cdot 10^{-12}$  g m<sup>-1</sup> s<sup>-1</sup> Pa<sup>-1</sup>).

**Keywords:** Biofilms, permeability, polyvinyl alcohol, elongation.



## **Introducción**

El uso indiscriminado de empaques sintéticos ha generado serios problemas ecológicos contribuyendo a la contaminación ambiental provocada por desechos sólidos de baja degradabilidad, lo que ha impulsado a la búsqueda de polímeros naturales (Bastioli, 2001).

La región San Martín cuenta con una gran variedad de materia prima fuente importante de polímeros naturales, específicamente la que se encuentra en la torta de Sacha Inchi, subproducto agroindustrial generado en la extracción de aceite, con alto contenido de proteínas. Los biopolímeros derivados de polisacáridos y proteínas son biodegradables, no tóxicos y biocompatibles, sin embargo son pobres en cuanto a sus propiedades mecánicas (Chen, Liang, & Thouas, 2013); en comparación los polímeros de origen petroquímico tienen propiedades físicas y mecánicas predecibles y reproducibles, pero muchos no son biodegradables (Rodríguez & Orrego, 2016).

La importancia de obtener películas biodegradables con adecuadas propiedades físicas y mecánicas, ha direccionado a diferentes alternativas de mejora, una de ellas es la mezcla de dos o más biopolímeros, como por ejemplo el alcohol de polivinilo (PVOH) polímero sintético-biodegradable que por sus características es capaz de formar películas transparentes con buenas propiedades mecánicas (Shangwen, Peng, & Hanguo, 2008).

El proyecto busca determinar las condiciones adecuadas de proteína y alcohol de polivinilo con la finalidad de obtener películas biodegradables con adecuadas propiedades físico-químicas. De este modo, no solo se genera valor agregado a la torta de Sacha Inchi sino que contribuye como un gran aporte al cuidado del ambiente promoviendo el uso de empaques biodegradables.

### **Objetivos**

#### **Objetivo General**

Obtener películas biodegradables a partir de Aislado proteico de Sacha Inchi (APSI) y alcohol de polivinilo (PVOH).

### **Objetivos Específicos**

1. Evaluar la influencia de la adición de PVOH en las propiedades físicas (humedad, color, espesor, solubilidad y permeabilidad al vapor de agua) de las películas elaboradas de Aislado Proteico de Sacha Inchic (APSI).
2. Evaluar la influencia de la adición de PVOH en las propiedades mecánicas (fuerza a la ruptura y fuerza de deformación en la tracción) de las películas elaboradas de Aislado Proteico de Sacha Inchic (APSI).

# CAPÍTULO I

## REVISION BIBLIOGRÁFICA

### 1.1. Antecedentes de la investigación

Choi y Han (2001) desarrollaron películas comestibles a partir de concentrado proteico de arveja utilizando glicerol como plastificante, observaron que el incremento de la concentración de plastificante en la película disminuye la resistencia a la tracción y el módulo elástico, mientras que la elongación y la permeabilidad al vapor de agua se incrementan. Además, que la cantidad de plastificante no afecta significativamente la solubilidad de la película.

Alexy et al. (2003) realizaron mezclas de alcohol de polivinilo-colágeno hidrolizado y glicerol como plastificante. Emplearon un metodo de diseño experimental (DOE) para la identificación de composiciones de mezclas adecuadas que permiten producir films con valiosas propiedades termo-mecánicas.

Tapia-Blacido, Sobral y Menegalli (2005) caracterizaron películas basadas en harina de kiwicha. Mencionan que la harina de kiwicha proporciona a las películas mejores propiedades de barrera en comparación a otras películas, por otro lado, la resistencia mecánica resultó relativamente baja.

Moraes, et al. (2008) analizaron el efecto del grado de hidrólisis del alcohol polivinílico en las propiedades físicas de películas elaboradas con mezclas de PVOH y gelatina de porcino. Observaron que el grado de hidrólisis del PVOH afecto a la humedad y la solubilidad de las películas, así como también en las propiedades mecánicas.

Silva et al (2008) desarrollaron películas biodegradables a base de mezclas de gelatina y alcohol polivinílico (PVOH), sin un plastificante. Los autores estudiaron el efecto de cinco tipos de PVOH con diferente grado de hidrólisis en las propiedades físicas de las películas. En sus resultados reportaron que el PVOH con un grado de hidrólisis de 91,8% produjo películas con mayor resistencia a la tracción. Además mencionan que la concentración de PVOH influye significativamente sobre todas las propiedades estudiadas de películas.

Mendieta-Taboada, Sobral, Carvalho y Habitante (2009) estudiaron las propiedades térmicas y viscoelásticas utilizando un analizador dinámico mecánico (DMA) en

biopelículas a base de mezclas con gelatina de piel de cerdo y Alcohol de Polivinilo (PVOH). En su estudio determinaron que en concentraciones mayores al 10% de PVOH, puede haber separación de fases en los films elaborados a partir de mezclas de gelatina y PVOH.

Carvalho et al (2009) estudiaron las propiedades físicas de películas compuestas de gelatina y alcohol de polivinílico (PVOH) utilizando una metodología de respuesta de superficie. Observaron que el tipo de plastificante y su concentración presentó un efecto importante sobre las propiedades físicas de las películas. Así mismo, el grado de hidrólisis y concentración del PVOH influyen en el alargamiento a la rotura, la deformación de punción y la solubilidad en agua.

Limpan, Prodpran, Benjakul, & Prasarpran (2010) estudiaron la influencia del alcohol de polivinilo en películas de proteína miofibrilares de pescado, reportando una elevada permeabilidad al vapor de agua después de la adición de alcohol de polivinilo (hasta un 40% de PVA) favoreciendo las características hidrofílicas del polímero, pero limitando sus propiedades de barrera.

Coronado (2012) realizó la caracterización de películas de nano compuestos biodegradables basadas en gelatina. Observó que la concentración de gelatina en la SFF influyó fuertemente en las propiedades reológicas. La concentración de gelatina en la SFF aumentó linealmente el espesor de las películas, sin afectar a la humedad, las transiciones de fases. La película nano compuesto producido con 5 g de gelatina / 100g de SFN y 5g de montmorillonita / 100g de gelatina presentó mejores propiedades mecánicas y menor solubilidad en agua.

La investigación sobre películas basadas en proteínas se ha visto impulsada debido a sus propiedades para formar películas de bajo costo y ser biodegradables. Las películas de proteína se han desarrollado a partir de proteínas de origen vegetal como gluten de trigo o proteína de soya y de origen animal como gelatina, caseína, queratina y proteína de suero de leche; también se han investigado algunas de origen bacteriano como quimo tripsina y fumarasa (Avérous & Poller, 2012).

Valenzuela (2012) elaboró y caracterizó películas comestibles a base de mezclas entre proteína de Quínoa y Quitosano; evaluando su aplicación en frutillas para medir su vida útil. Observó que la adición de la proteína de quinoa en las biopelículas mejoran sus propiedades mecánicas y que los recubrimientos mantuvieron la calidad de las frutillas.

Valencia, Rivera y Murillo (2013) desarrollaron un estudio de las propiedades de mezclas de alcohol polivinílico-almidón de yuca-sorbitol obtenidas por casting, indicando que éstas presentaron compatibilidad y buena interacción entre el PVOH y el almidón. El estudio de biodegradabilidad permitió evidenciar que las películas puras de almidón presentaron mayor degradación que el PVOH, así como las mezclas de PVOH-A exhibieron una mayor degradación que películas puras de PVOH, lo que concluye que el PVOH desarrolla un mecanismo de barrera encapsulando el almidón previniendo el ataque de microorganismos.

Peinado (2015) en su trabajo para evaluar la biodegradabilidad de películas a base de almidón y PVOH que incorporan diferentes sustancias antimicrobianas, determinó que tras los 73 días las películas puras mostraron comportamientos opuestos, presentando las películas de almidón el mayor porcentaje (97%) de degradación y biodegradabilidad y las de PVOH el menor (3%) lo cual le lleva a confirmar que no necesariamente todos los materiales biodegradables tienen que ser desintegrables. Así también las películas de almidón fueron significativamente más solubles en agua que las de PVA.

Dominguez (2016) realizó películas a base de Quitosano, Alcohol de polivinilo y Mucílago de Nopal empleados para recubrimientos de fresas. En la evaluación de propiedades mecánicas, las películas con mayor contenido de PVOH mostraron mayor elongación, así mismo menciona que la interacción de glicerol y PVOH forman matrices elásticas el cual disminuye la tensión a la ruptura.

Palma-Rodríguez, Salgado-Delgado, Páramo-Calderón, Vargas-Torres y Meza-Nieto (2017) desarrollaron películas biodegradables con almidón de plátano y proteína del suero de la leche. Menciona que la adición de las proteínas de suero mejoró las propiedades mecánicas de las biopelículas.

González (2017) en su trabajo “Elaboración de películas comestibles y biodegradables a partir de torta de Sacha Inchic” demostró la efectividad de elaborar películas con baja permeabilidad y solubilidad. Además, determinó que la concentración de APSI y Sorbitol influyen significativamente en el color de las películas. Así mismo observa que la película es menos soluble cuando la concentración de APSI es alta (mayor a 7,8%) y la concentración de Sorbitol es baja (menor a 2,14%). Para la permeabilidad al vapor de agua (PVA) revela que el contenido de APSI y Sorbitol influyen significativamente sobre la PVA ( $P < 0,05$ ) y que el promedio de humedad de las películas fue de 7,03 – 11,86 %.

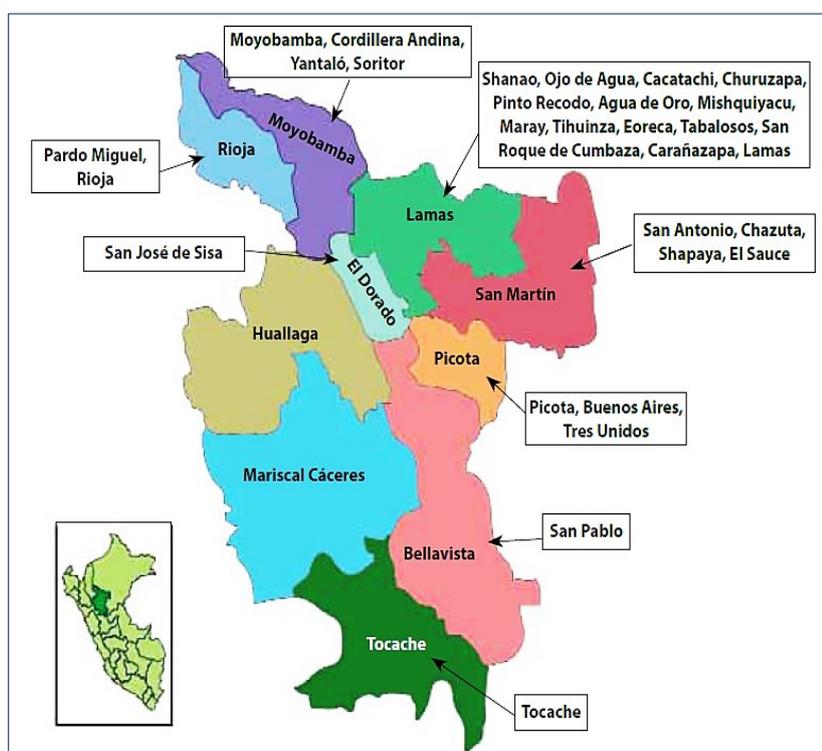
## 1.2. Sacha Inchic (*Plukenetia volubilis* L.)

### 1.2.1. Aspectos generales del Sacha Inchic

La especie *Plukenetia volubilis* L., es conocida de acuerdo al idioma o lugar en que se desarrolla, con los siguientes nombres: Sacha Inchi, Sacha maní, Maní de monte y Maní de inca (Manco 2006; Guillén et al., 2003). La clasificación taxonómica según Téllez (2008):

<b>Reino</b>	:	Plantae
<b>División</b>	:	Magnoliophyta
<b>Clase</b>	:	Magnoliopsida
<b>Subclase</b>	:	Rosidae
<b>Orden</b>	:	Euphorbiales
<b>Familia</b>	:	Euphorbiaceae
<b>Género</b>	:	<i>Plukenetia</i>
<b>Especie</b>	:	<i>volubilis</i> Linneo

En el Perú se encuentra distribuido en los departamentos de San Martín, Amazonas, Ucayali, Huánuco, Cuzco, Loreto y Madre de Dios. En la región San Martín se reporta (figura 1) en la provincia de Lamas, en la cuenca del Huallaga, en el Valle del Sisa, en el alto y bajo mayo (Manco 2006).



**Figura 1.** Principales zonas de producción de Sacha inchic en San Martín (PDRS-GIZ & SECO, 2008)

El Sacha Inchic está compuesto principalmente de: proteínas, aminoácidos, ácidos grasos (omegas 3, 6, y 9) y vitamina E en proporciones significativamente elevadas, a comparación de otras oleaginosas. Por lo que se destaca su importancia nutricional y terapéutica de su consumo para el control de radicales libres y otras enfermedades. (Manco 2006).

### **1.2.2. Industrialización de Sacha Inchic**

En comparación a otras oleaginosas, el Sacha Inchic destaca entre estas por su contenido de aceite (54%), proteínas (33,3%) y omega 3 (48,6%) (Proyecto Perú Biodiverso, 2013).

### **1.2.3. Semilla de Sacha Inchic**

Las semillas de Sacha Inchic son usados en la actualidad para la producción de aceites, snack y harinas proteicas, como insumo de alta calidad para la industria alimentaria, medicinal y cosmética (Proyecto Perú Biodiverso, 2013).

El aceite de Sacha Inchic brinda un aporte en la producción de espuma para el jabón. Dentro de los usos cosméticos se desarrollan productos para prevenir la aparición de arrugas en el rostro, así como también productos para humectar la piel y para el cuidado capilar. Por su elevado contenido de ácidos grasos insaturados, el aceite es ideal para el consumo humano como suplemento alimenticio por su contenido en omegas (Proyecto Perú Biodiverso, 2013).

### **1.2.4. Torta de Sacha Inchic**

La torta de Sacha Inchic es un subproducto agroindustrial, generado como resultante en el proceso de extracción de aceite de la semilla de Sacha Inchic, la cual posee en su composición un importante contenido de proteínas.

Según Ferchau (2000) la torta obtenida por el método de extracción en frío resulta más valiosa en comparación con la obtenida por prensado en caliente o con solventes, ya que la primera contiene un mayor porcentaje de aceite residual (8 – 12 %).

Pascual y Mejía (2000) determinaron que la torta de sachá Inchic cultivada en Pucallpa presenta 58,72 % de proteína (tabla 1); por otro lado la torta de Sacha Inchic proveniente de San Martín presentó un 59 % de proteína (Ruiz, Díaz, Anaya, & Rojas, 2013).

**Tabla 1***Composición química de la torta de Sacha Inchi*

<b>Componente</b>	<b>Base húmeda (%)</b>	<b>Base seca (%)</b>
Humedad	0,7	-
Proteína Total	58,72	59,13
Grasa Cruda	6,88	6,93
Fibra Cruda	17,18	17,30
Ceniza	8,66	8,72
Carbohidratos	7,86	7,92

**Fuente.** Pascual & Mejía (2000)

### 1.3. Películas Biodegradables

#### 1.3.1. Aspectos generales

Se califica a un material como biodegradable, cuando este es completamente degradado por microorganismos mediante técnicas de composteo, en compuestos naturales de dióxido de carbono (CO<sub>2</sub>), metanol, agua y/o biomasa. El proceso de biodegradación incluye la despolimerización y desmineralización a dióxido de carbono, agua, sales y otros en el que están involucrados tres elementos importantes, los microorganismos apropiados, el medio ambiente y la vulnerabilidad del sustrato o polímero (Pérez-Villarreal & Báez, 2003)

Se define a las películas como una capa fina de material polimérico que puede ser aplicado como empaque de alimentos (Park, Byun, Kim, Whiteside, & Bae, 2014). Según Krochta (2002) las películas se forman por separado e independientes para luego ser aplicadas sobre los productos para su posterior uso como: cubiertas, envolturas o capas de separación; así como empleadas en bolsas, cápsulas, y revestimientos.

#### 1.3.2. Composición de las Películas Biodegradables

La formulación de películas biodegradables debe estar compuesta por lo menos por un material capaz de formar una matriz estructural con suficiente cohesividad. Los componentes formadores de películas proporcionan una estructura continua mediante la interacción de moléculas, mediante un proceso físico o químico (Dominguez, 2016).

Las películas biodegradables generalmente se pueden formar a partir de materiales que se encuentran en productos de desecho de la pesca, agricultura o ganadería (López de Lacey,

López-Caballero, Gómez-Estaca, Gómez-Guillén, & Montero, 2012). Las biopelículas o películas comestibles pueden elaborarse a partir de fuentes naturales, por lo general de proteínas, polisacáridos, lípidos, etc. La elección del tipo de material por el que estará compuesto la película será en función a las características del alimento que se desea empacar. (Michaca, 2014)

Según Montalvo, López-Malo y Palou (2012) las películas se pueden formar a partir de biopolímeros que cumplan con la propiedad de formar películas, estos biopolímeros deben ser previamente dispersos y disueltos generalmente en agua para ser vertidas y secadas para obtener finalmente el empaque.

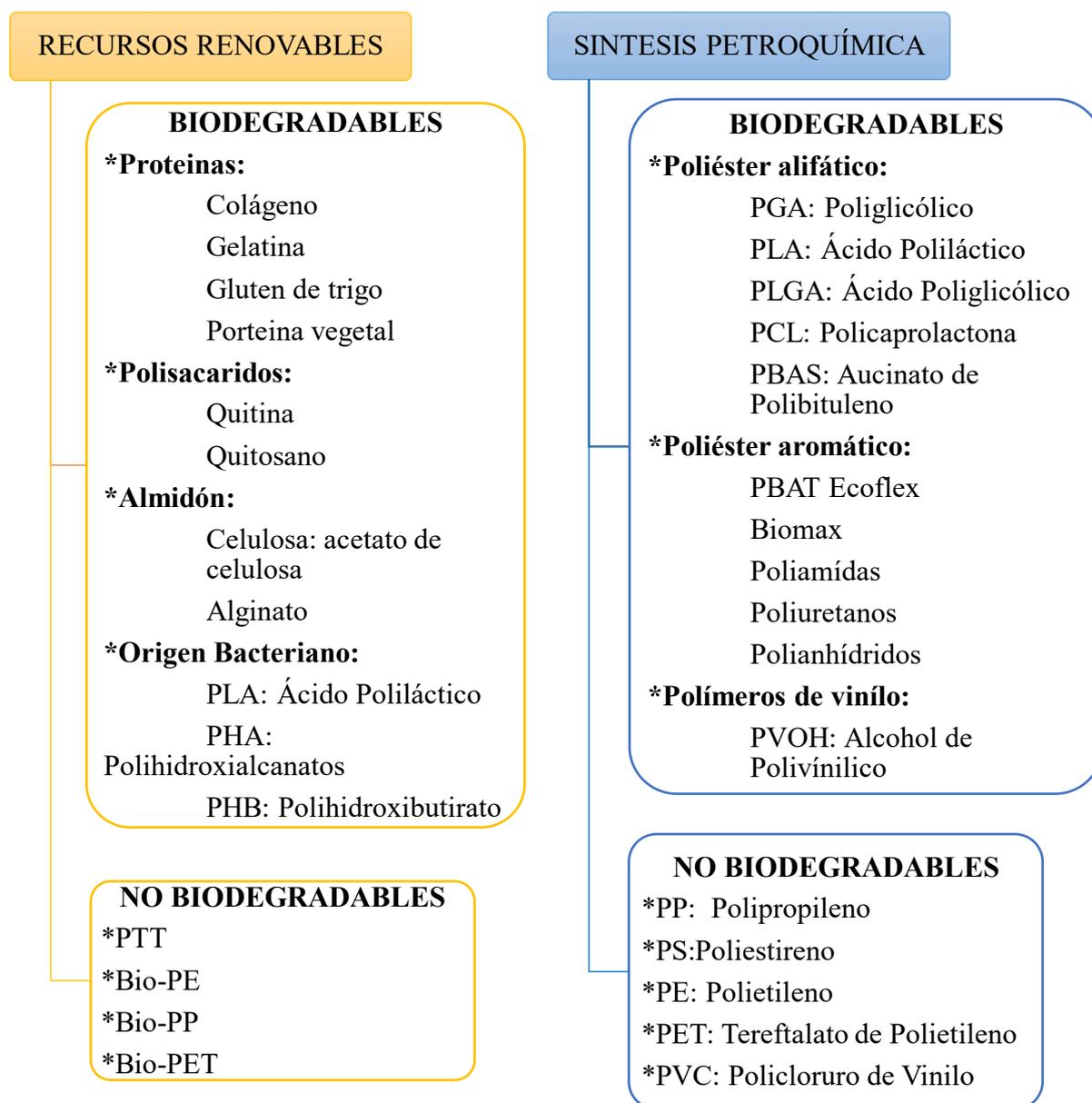
#### **1.4. Biopolímeros**

El uso indiscriminado de empaques sintéticos ha generado serios problemas ecológicos contribuyendo a la contaminación ambiental provocada por desechos sólidos de baja degradabilidad, lo que ha impulsado a la búsqueda de polímeros naturales o biopolímeros (Bastioli, 2001).

Por lo general los biopolímeros se obtienen por sistemas biológicos o en algunos casos pueden ser sintetizados químicamente por materiales de origen renovable; es por esto que los biopolímeros se caracterizan por su degradación en periodos cortos (Shimao, 2001)

Los biopolímeros tienen la propiedad de barrera frente a sustancias que pretendan interactuar con el alimento, protegiéndola durante su almacenamiento. Esta es una característica potencial e innovadora de los biopolímeros ya que sirve como empaque para la conservación de los alimentos y además contribuye con el cuidado del ambiente (Guilbert & Gontard, 2005).

Según su origen los polímeros se clasifican (figura 2) en dos tipos: los que provienen de los recursos renovables (biopolímeros) y aquellos resultantes de la síntesis química del petróleo o petroquímicos (sintéticos). Vroman & Tighzert (2009) mencionan que algunos polímeros sintéticos biodegradables también pueden ser llamados como biopolímeros.



**Figura 2.** Clasificación de los polímeros según su método de producción y biodegradabilidad (Hamad et.al, 2014; Haq et.al, 2008)

#### 1.4.1. Biopolímeros de recursos renovables

Los polímeros renovables provienen directamente de organismos vivos como plantas y animales, o algunos requieren ser sintetizados a partir de un recurso renovable.

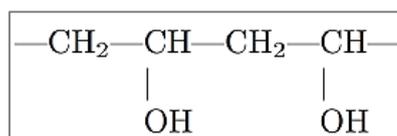
Según Tharanathan (2003) los biopolímeros naturales provienen de cuatro fuentes: origen animal (colágeno/gelatina), agrícola (lípidos, grasas, hidrocoloides, proteínas y polisacáridos) marino (quitina/quitosan) y microbiano (Ácido Poliláctico y Polihidroxialcanatos).

### 1.4.2. Biopolímeros de síntesis petroquímica

Estos polímeros se sintetizan a partir de recursos del petróleo, pero son biodegradables al final de su funcionalidad.

#### 1.4.2.1. Alcohol De Polivinilo

El Alcohol de Polivinilo o PVOH es un polímero hidrosoluble que se sintetiza en mayor cantidad en el mundo. Por su estructura química (figura 3), presenta una excelente resistencia frente a agentes químicos, propiedades físicas específicas, biocompatibilidad, biodegradabilidad y fácil procesamiento (Blanes, 2011). El PVOH totalmente hidrolizado es insoluble en agua a temperatura ambiente, sin embargo se solubiliza perfectamente por encima de los 85°C (Blanes, 2011). La Tabla 2, muestra las propiedades del PVOH a distintos grados de hidrólisis.



**Figura 3.** Estructura química del Alcohol Polivinílico (Dominguez, 2016).

**Tabla 2**

*Propiedades del PVOH a distintos grados de hidrólisis.*

<b>Propiedad</b>	<b>Valor</b>
Peso molecular promedio en numero Mn (g/mol)	25– 100
Viscosidad (cP)	5,65
Densidad (g/cm <sup>3</sup> )	1,3
Resistencia a la tensión (MPa)	65 – 110
Elongación a la ruptura (%)	200
Temperatura de fusión (°C)	190 – 230
Cristalinidad (%)	25 - 35

Fuente. Sundararajan (1999)

El PVOH es un polímero biodegradable; por lo que este polímero viene a ser una opción sustentable para la elaboración de empaques y películas que no contaminen el ambiente. Según SELVOL Polyvinyl Alcohol (2009) los beneficios generales del uso de alcohol polivinilo son los siguientes:

- |  |  |
|--|--|
| ✓ Excelente formador de película                     | ✓ Puede ser coloreado o pigmentado     |
| ✓ Recubrimiento protector                            | ✓ Barrera contra el vapor              |
| ✓ Transparente                                       | ✓ Apresto textil para lograr tiesura   |
| ✓ Sensibilidad al agua controlada                    | ✓ Removible                            |
| ✓ Protección contra rayos UV                         | ✓ Biodegradable                        |
| ✓ Bajo nivel de VOC (Compuestos orgánicos Volátiles) | ✓ Soluciones con base de agua          |
|  | ✓ Seguro (Varias aprobaciones del FDA) |

### 1.4.3. Plastificantes

Los plastificantes son sustancias de bajo peso molecular, poco volátiles, empleados para aumentar la flexibilidad de las películas. La capacidad que proporcionan los plastificantes se debe a que interfieren en la asociación de las cadenas de los biopolímeros, facilitando su deslizamiento, lo cual repercute en el aumento de la flexibilidad, lo que también puede llevar a una disminución de la resistencia mecánica y a una eventual disminución en la temperatura de transición vítrea (García, Martina, & Zaritzky, 2000).

Según Sothornvit & Krochta (2005) los plastificantes comúnmente utilizados en películas en base a biopolímeros son: Agua, Glicerol, Propilenglicol, Sorbitol, Sacarosa, Polietilenglicol, Ácidos grasos y Monoglicéridos.

Según Durango, Soares y Arteaga (2011) la adición de sorbitol y glicerol a películas mejoran las propiedades de barrera al vapor de agua ya que a mayor concentración de plastificante la permeabilidad disminuye.

Los plastificantes interaccionan con los componentes de las películas por medio de puentes de hidrogeno reduciendo fuerzas de interacción intermoleculares en las cadenas poliméricas modificando las propiedades de barrera al vapor de agua y características mecánicas como flexibilidad, fuerza y resistencia (Durango, Soares, & Arteaga, 2011).

Los plastificantes deben de ser compatibles con el polímero formador de película. Estos reducen las fuerzas intermoleculares e incrementan la movilidad de las cadenas poliméricas (Mali, Grossmann, García, Martino, & Zaritzky, 2002).

## **1.5. Biopelículas a base de proteínas**

Las proteínas son macromoléculas que se usan para la formación de películas, debido a su secuencia de aminoácidos y estructuras moleculares bien definidas. Una de las características más distintivas de las proteínas, en comparación con otros materiales formadores de película son su desnaturalización conformacional, cargas electrostáticas y la naturaleza anfifílica. Es posible modificar las estructuras de las proteínas (excepto la primaria) para conseguir propiedades deseables en la película, mediante el uso de calor por desnaturalización, presión, irradiación, tratamiento mecánico, ácidos, álcalis, iones metálicos, sales, hidrólisis química, tratamiento enzimático y la reticulación química. Estos tratamientos pueden finalmente controlar las propiedades físicas y mecánicas de las películas preparadas y recubrimientos (Gennadios, 2004).

Para la efectividad en la formación de la película es necesario que la proteína este en forma abierta o extendida permitiendo las interacciones moleculares necesarias. El alcance de esta interacción depende de la estructura de la proteína (grado de extensión de la cadena) y la secuencia de restos de aminoácidos de la proteína hidrófobo e hidrófilo. El aumento de la interacción molecular de las proteínas de la cadena resulta una película fuerte, pero menos flexible y permeable (Krochta & Mulder-Johnston, 1997).

Posiblemente, debido a su alta producción y bajo costo en los países desarrollados las proteínas de origen vegetal son las más estudiadas. Por otra parte, las proteínas de origen animal se producen a un costo bajo en relación con el primer mundo (Sobral, García, Habitante, & Monterrey-Quintero, 2004).

### **1.5.1. Formación de películas a base de proteína**

La estructura de la proteína determina la capacidad de los polipéptidos de interactuar entre sí y con otros componentes presentes en la formulación, influenciando en sus propiedades físico químicas, mecánicas y de barrera (Mauri & Añon, 2006; Salgado Molina Ortiz, Petriccelli, & Mauri, 2010). En el proceso de secado para la obtención de una película a base de proteína, se elimina agua lo cual genera que las proteínas interactúen entre sí afectando el grado de entrecruzamiento formando una matriz quebradiza; por lo que es necesario considerar el uso de plastificantes que se añaden comúnmente para disminuir la fragilidad (Hernandez-Izquierdo & Krochta, 2008).

Existen dos formas generales para la producción de películas: el primero es a nivel industrial, en el que se emplea un extrusor y el segundo comúnmente usado es a nivel de investigación o escala laboratorio en el que se utiliza la técnica de "casting" utilizada para formar películas a partir de una solución conocida como "solución filmogénica" que contiene el polímero formador (Trujillo, 2014).

Según Mauri y Añón (2012) para la formación de películas a base de proteínas es necesario una serie de etapas: 1) La ruptura por procesos físicos o químicos, de los enlaces intermoleculares (no covalentes y/o covalente) que estabilizan a las proteínas en su estado nativo lo que permite una mayor movilidad de las cadenas poli peptídicas. 2) La disposición y orientación de las cadenas proteicas móviles a la forma deseada. 3) La formación de una nueva red tridimensional estabilizada por interacciones inter e intramoleculares del tipo covalentes (como enlaces disulfuros u otras formas de entrecruzamiento) y/o no covalentes (hidrofóbicas, electroestáticas e iónicas, de van der Waals y puentes de hidrógeno).

Según Krochta y Mulder-Johnston (1997) durante la formación de la película ocurren dos eventos; el primero se da durante la fase de calentamiento, la estructura de la proteína y algunos puentes disulfuro se rompen exponiendo los grupos hidrófobos y el sulfuro. Por otro lado, el siguiente evento conocido como "fase de secado", se producen nuevas interacciones hidrofóbicas formando puentes disulfuro y el hidrógeno.

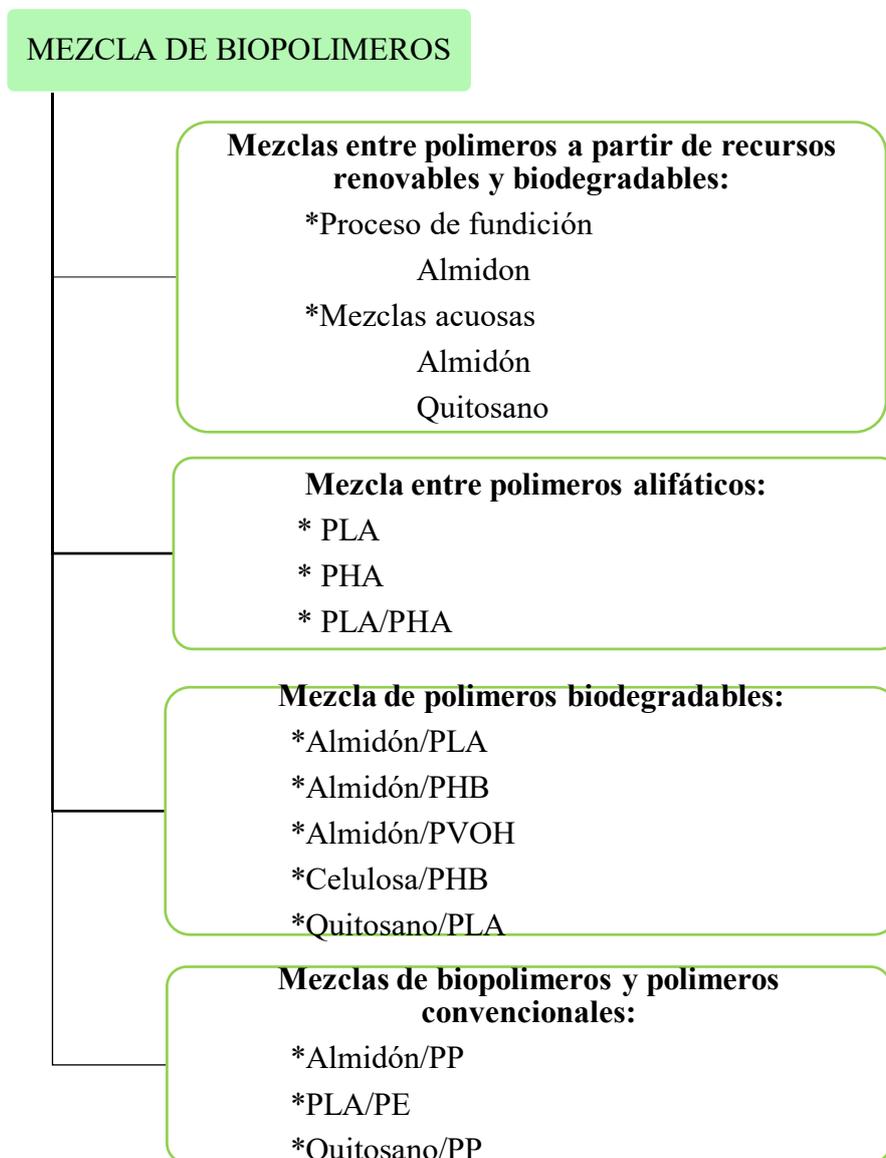
Por otro lado, según Michaca (2014) es necesario considerar diferentes factores para la formulación de películas, teniendo como referencia su posible aplicación:

- La emulsión debe cubrir uniformemente al alimento y mantenerse adherido
- El secado de la emulsión debe ser rápido y la película formada debe ser uniforme, son defectos, flexible y con una apariencia agradable.
- Debe tener una estabilidad tal que se resista su uso en un amplio rango de humedad y temperaturas. Debe cumplir con la funcionalidad esperada.

### **1.5.2. Películas a partir de mezclas de biopolímeros**

La mezcla de polímeros crea la posibilidad de obtener nuevos materiales con las propiedades requeridas, sin tener que diseñar un nuevo proceso de síntesis. Sin embargo, es importante tomar en cuenta que no siempre es posible obtener una mezcla homogénea y compatible de cualquier par de polímeros. Para obtener una mezcla de polímeros es

necesario que se cumplan la primera y segunda ley de la termodinámica. Así mismo, al realizar la formulación se debe considerar el rango de composiciones en los que puede darse mezcla (figura 4). En general, hay más posibilidades de miscibilidad entre polímeros cuando uno está en menor proporción que el otro (León, 2011).



**Figura 4.** Clasificación de las mezclas de polímeros más comunes en la producción de biofilms (Hamad et.al 2014; Haq et.al 2008)

Según Genadios (2002) la mezcla de compuestos provoca una disminución de la interacción entre las cadenas peptídicas, produciendo una disminución de la Temperatura de transición vítrea ( $T_g$ ) en las películas, aumentando la elongación. Las mezclas entre biopolímeros son de relevante importancia, ya que ninguno por sí mismo genera películas

con las propiedades requeridas para la conservación de alimentos. Es por ello que, mediante las mezclas de biopolímeros se busca obtener mejores resultados; generando empaques con propiedades adecuadas. Ante la necesidad de generar biopelículas con características adecuadas, existe una nueva posibilidad de incorporar polímeros sintéticos biodegradables a los biopolímeros naturales; ofreciendo una manera de reducir el costo global del material y un método para modificar sus propiedades reduciendo su tiempo de biodegradación (Tang, Kumar, Alavi, & Sande, 2012)

### 1.5.3. Mezclas compuestas de proteínas

La mezcla de biopolímeros como las proteínas y polímeros sintéticos proporciona materiales con mejores propiedades ya que puede aumentar la biocompatibilidad y la biodegradabilidad, mientras se mantienen las propiedades térmicas y mecánicas (Sionkowska, 2011). La tabla 3 muestra estudios de mezclas compuestas de proteínas con la adición de polímeros de otras fuentes, describe la influencia sobre las propiedades de las películas.

**Tabla 3**

*Influencia de la mezcla compuesta de proteínas en la obtención de biopelículas.*

Mezcla	Influencia en propiedades	Referencia
<b>Carboximetil-celulosa / proteína de soya</b>	Mayor resistencia a la tracción al aumentar el contenido de CMC (0–40%) de 42 MPa a 59,2 Mpa respectivamente, así como el porcentaje de elongación de 1,3 a 65,5%.	(Jun-Feng, Huang, Yuan, Wang, & Li, 2010)
<b>Proteína de soya / Agar</b>	Aumento de la resistencia a la tracción de la película en relieve de 4,1 a 24,6 MPa	(Tian, Xu, Yang, & Guo, 2011)
<b>Proteína del suero por reticulación / celulosa</b>	Aumento en la resistencia a la punción y disminución en la permeabilidad al vapor de agua	(Le Tien, et al., 2000)
<b>Queratina / Chitosan</b>	Película fuerte y flexible al aumentar la adición de chitosan de 10%-30% (resistencia final: 27-34 MPa, elongación máxima: 4-9%).	(Tanabe, Okitsu, Tachibana, & Yamauchi, 2002)
<b>Almidón de plátano / proteínas séricas de la leche</b>	Incremento en los valores de esfuerzo a la tensión (2,78-15,5 Mpa), módulo de Young (47,52-203,07 Mpa) y dureza.	(Palma-Rodríguez, Salgado-Delgado, Páramo-Calderón, Vargas-Torres, & Meza-Nieto, 2017)
<b>Proteínas de quínoa / quitosano</b>	Firmeza y rigidez aceptables. Mejora en la elasticidad y disminución de la permeabilidad al vapor de agua.	(Villamán, 2007)

Fuente. Adaptado de (Gupta & Kumar, 2010)

## **1.6. Propiedades físicas y de barrera de películas**

Es importante citar las propiedades físicas (humedad, espesor y solubilidad), propiedades de barrera (permeabilidad al vapor de agua).

### **1.6.1. Humedad**

El agua actúa como plastificante influyendo en el contenido de humedad el cual brinda información sobre las propiedades barrera de las películas, su presencia en mayor proporción puede favorecer el transporte de agua a través de la película, aumentando la permeabilidad (Torregrosa, 2016)

Slade y Levine (1993) destacan la importancia del contenido de humedad en las películas debido al efecto anti-plastificante de los polímeros que influye en las interacciones polímero-polímero, en las propiedades fisicoquímicas y funcionales de las películas. Por otro lado, el contenido elevado de proteína en la composición de las películas disminuye la humedad por ser de naturaleza hidrofóbico; por lo que se puede decir que influye significativamente en el porcentaje de humedad (Trujillo, 2014).

### **1.6.2. Espesor**

Según Sarantópoulos, Oliveira, Padula, Coltro y Garcia, (2002) el espesor es un parámetro importante para las películas, mediante esta propiedad se pueden determinar propiedades mecánicas como la resistencia mecánica y también la permeabilidad al vapor de agua. Generalmente el espesor es expresado en milímetros.

El espesor, que se define como la distancia perpendicular entre dos superficies principales del material, es un parámetro importante para las películas biodegradables (Trujillo, 2014).

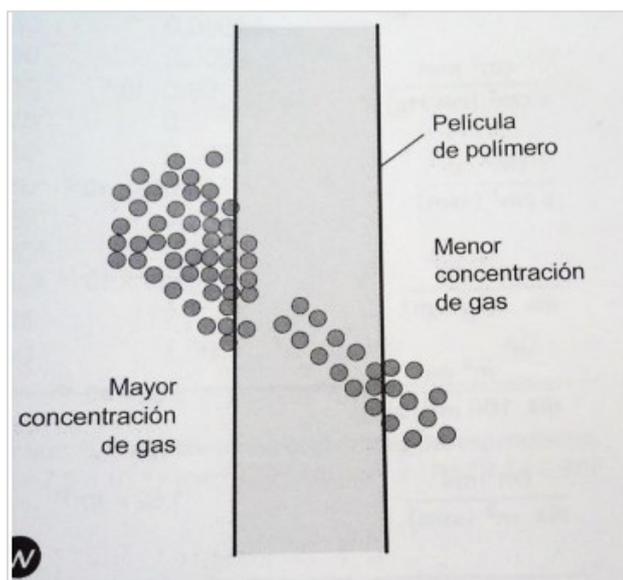
### **1.6.3. Solubilidad**

La solubilidad es una propiedad de gran importancia para determinar el uso que tendrá la película. Películas de baja solubilidad son deseable para mantener su integridad estructural, y se aplica para la conservación de alimentos de humedad intermedia o alta (Alata & Cuadros, 2017). Películas con alta solubilidad pueden ser una alternativa para la aplicación en productos que requieran hidratación antes de su consumo o semillas agrícolas incluso de cobertura que requieren una rápida germinación en el campo (Batista, Tanada-Palmu, & Grosso, 2005).

#### 1.6.4. Permeabilidad al vapor de agua (PVA)

Según Guarda & Galotto (2001) la permeabilidad es la propiedad que tienen las películas plásticas de permitir el paso de gases o vapores a través de su estructura molecular (figura 5), ya sea hacia adentro o hacia afuera del envase. El paso de estos gases o vapores a través de materiales poliméricos se pueden dar mediante los micro poros, imperfecciones y pequeñas grietas del material; otra forma es el efecto de difusión-solubilidad en el cual se disuelven en la superficie de la película, se difunden a través de ella por efecto del gradiente, evaporándose de la superficie y desplazándose a lugares de menor concentración.

La permeabilidad al vapor de agua (PVA) es uno de los parámetros que define la funcionalidad de las películas y se encuentra relacionada con su contenido de humedad. En general, es deseable que las películas presenten valores bajos de PVA ya que esta propiedad cuantifica la efectividad de las películas frente al intercambio de humedad entre el alimento recubierto y su entorno (Sánchez-González, Quintero, & Chiralt, 2014)



**Figura 5.** Transferencia de gases o vapores a través de un material polimérico (Singh & Heldman, 2009)

Según Choi y Han (2001) la adición de plastificantes aumenta la permeabilidad al vapor de agua de las películas biodegradables. Sin embargo, esta propiedad se puede modificar con la adición de aceites esenciales en películas, logrando disminuir la PVA (Atarés, Bonilla, & Chiralt, 2010).

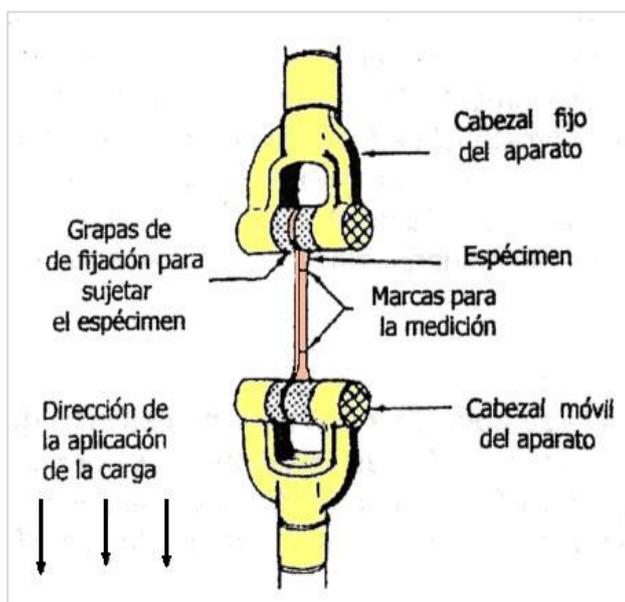
Robertson (1993) presenta referencia de los valores de permeabilidad al vapor de agua (PVA) en películas de polímeros sintéticos tales como PVC (cloruro de polivinilo), HDPE (Polietileno de alta densidad) y LDPE (Polietileno de baja densidad) respectivamente de 0,029, 0,005 y 0,001 g.mm/h.m<sup>2</sup>.KPa.

### 1.7. Propiedades mecánicas de las películas

Las propiedades mecánicas de las biopelículas son importantes ya que el resultado de estas depende de la aplicación a la que se pretende dar. Están asociados con la capacidad de desarrollar deformaciones reversibles e irreversibles y exhiben resistencia a la rotura o fractura (figura 6) (Ward & Hardley, 1998).

Según Davaco (2006) es de vital importancia que las películas presenten una alta resistencia a la tracción, mientras que el valor de elongación depende de la aplicación de la película. Así mismo, es necesario que la película mantenga su integridad y propiedades de barrera bajo la tensión aplicada normal durante su transporte y manipulación.

El uso de plastificantes en la formulación de películas modifican las propiedades mecánicas debido a que se altera la estructura, la movilidad de las cadenas y los coeficientes de difusión de gas (Dominguez, 2016). Del mismo modo la humedad relativa de las películas influye en las propiedades mecánicas, por el motivo de que el agua actúa muchas veces como plastificante.



**Figura 6.** Mordazas de equipo medidor de propiedades de tracción (Mariano, 2011)

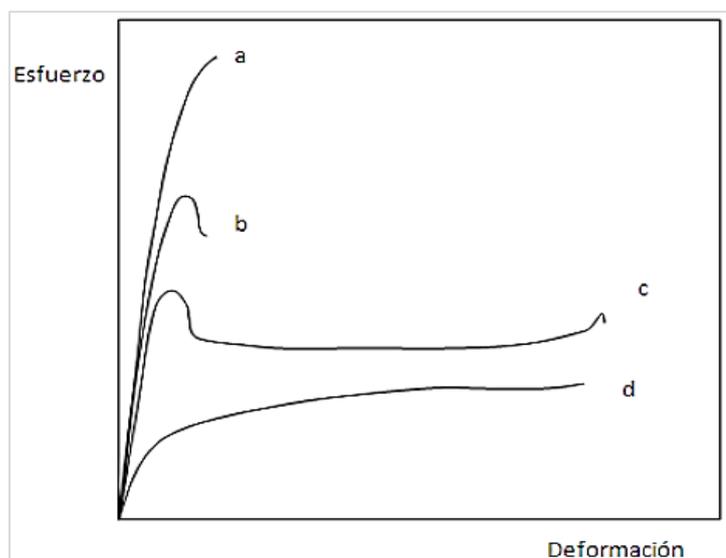
### 1.7.1. Resistencia a la tensión

La resistencia a la tensión se define como la máxima tensión que puede soportar el film durante el ensayo de tracción. Esta propiedad es comúnmente expresada en Mpa o N/m<sup>2</sup> y se obtiene del cociente entre la máxima fuerza que es capaz de soportar el film y su sección transversal a tiempo cero (Alata & Cuadros, 2017).

### 1.7.2. Porcentaje de elongación

El porcentaje de alargamiento o elongación es la relación entre el alargamiento de la muestra de ensayo y su longitud inicial, se determina por el estado de ruptura (Sarantópoulos, Oliveira, Padula, Coltro, & Garcia, 2002).

La figura 7 muestra los comportamientos característicos que presentan los materiales poliméricos al ser sometidos a ensayos de tensión.

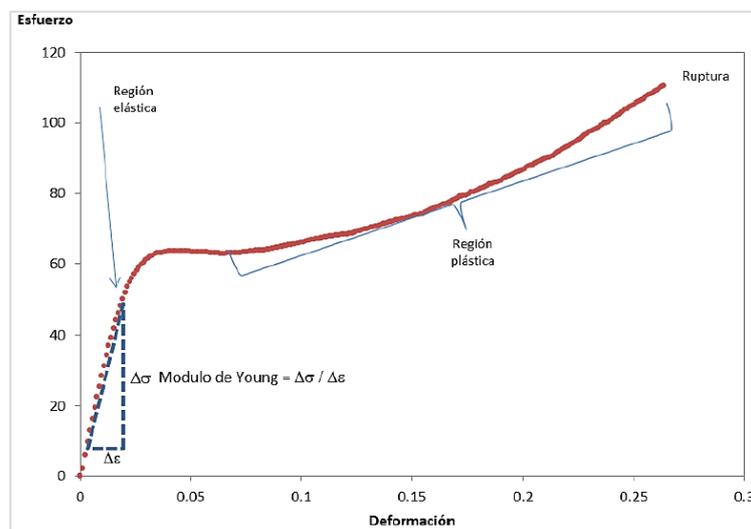


**Figura 7.** Comportamiento de materiales mediante un esfuerzo-deformación. a) Material rígido, alto módulo, alta resistencia al esfuerzo y baja deformación. b) Material semirrígido. c) Material tenaz, alto módulo, alta resistencia al esfuerzo y alta deformación. d) Material elástico, bajo módulo, baja resistencia al esfuerzo y alta deformación (Ward & Sweeney, 2004).

### 1.7.3. Módulo de Young

El módulo de Young indica la elasticidad del material. Un valor mayor de modulo indica menor elasticidad y mayor rigidez. La pendiente de la gráfica del esfuerzo contra la deformación en la región elástica de un material se conoce como módulo de Young (figura

8), el cual es una propiedad de cada material que describe la rigidez ante el cambio en la deformación del material expuesto a un esfuerzo físico (Dominguez, 2016)



**Figura 8.** Módulo de Young en una curva de esfuerzo contra deformación (Dominguez, 2016)

El valor del módulo de Young indica la resistencia de un material a una extensión longitudinal reversible y es un parámetro útil para predecir hasta qué punto se estirará una pieza bajo una carga determinada (Mariano, 2011).

#### 1.7.4. Fuerza de perforación

Según ASTM F735-94 (2001) la resistencia a la perforación es el índice de la resistencia que ofrece un material plástico a ser desgarrado en un punto de su superficie.

Es la fuerza máxima necesaria para perforar una muestra. El examen se realiza determinando si una muestra fija de film posee resistencia en contra penetración de un punzón. Esta prueba se puede aplicar para películas y es expresada en Newton (N) (ECOEMBES, 2015).

### 1.8. Aplicación e importancia de las películas biodegradables

Las películas comestibles ayudan a mejorar la calidad y extender la vida útil de los productos. Para aplicar la tecnología de empaqueo con biopelículas se debe entender el problema que presenta el alimento y establecer claramente la función que la película ejercerá sobre él, tomando en cuenta sus propiedades físicas y mecánicas (Bourtoom, 2008).

Según Gupta y Kumar (2010) existen grandes posibilidades para crear un nuevo tipo de mezclas de polímero de proteína con características modificadas, que podrían ser utilizados tanto como para envasado de productos alimentarios y no alimentarios.

Las proteínas especialmente las extraídas de subproductos agroindustriales se muestran como una alternativa con potencial para suplantar a los materiales sintéticos especialmente para aplicaciones de vida corta en la que la tasa de utilización es elevada, como envases y/o recubrimientos de alimentos (Gennadios, 2002).

Las películas deben reunir los siguientes requisitos que garantizan la calidad del producto (Krochta, Baldwin, & Nisperos-Carriedo, 1994): Buenas cualidades sensoriales, alta eficiencia mecánica y de barrera, estabilidad bioquímica, fisicoquímica y microbiana, deben estar libres de tóxicos, seguros para la salud, de tecnología simple, no contener contaminantes y de bajo costo tanto de materiales como en los procesos.

Guilbert & Biquet (1986) resaltan la importancia de utilizar películas biodegradables:

- Su uso reduce los desechos y la contaminación ambiental.
- Pueden mejorar las propiedades organolépticas, mecánicas y nutricionales de los alimentos.
- Proporcionan protección individual a pequeñas porciones de alimento.
- Pueden ser usadas en alimentos heterogéneos como barrera entre los componentes.

En conclusión, la aplicación de las películas biodegradables tiene como objetivo general la protección del producto y la prolongación de su vida útil, con la ventaja de poder consumirse como parte del alimento en algunos casos y ser amigable con el medio ambiente (Zúñiga, Skurtys, Osorio, Aguilera, & Pedreschi, 2012)

## **CAPÍTULO II**

### **MATERIAL Y MÉTODOS**

#### **2.1. Lugar de Ejecución**

El presente trabajo se realizó en los laboratorios de: Investigación y Análisis de Composición de Productos Agroindustriales, de la Facultad de Ingeniería Agroindustrial de la UNSM-T, Ciudad Universitaria, Morales, Provincia y Región San Martín.

#### **2.2. Materiales**

##### **2.2.1. Materia Prima**

La materia prima torta de Sacha Inchic en pellets, subproducto agroindustrial obtenido de la extracción de aceite extra virgen de los granos de Sacha Inchic, procedente de la Empresa Shanantina S.A.C., provincia de Lamas, departamento de San Martín.

##### **2.2.2. Instrumentos y Equipos**

1. Centrífuga (Marca BOECO Modelo C-28A)
2. Liofilizador (Marca LABCONCO Modelo Free Zone 6 Plus)
3. Texturometro Brookfield Model CT3 50k
4. Refrigeradora (Marca SAMSUNG Modelo RS21HKLMR1/SAM)
5. Estufa y Secador convectivo (Marca POL-EKO Modelo SLW115STD)
6. Estufa de Convección Natural (Marca FRAVILL Modelo ED 080)
7. Baño María con Agitador (Marca MEMMERT)
8. pHmetro (Marca Metrohm Modelo 827 pH lab)
9. Agitador magnético (Marca CAT Modelo M5)
10. Agitador de paleta (Marca CAT Modelo R14)
11. Cocina eléctrica con agitador magnético (Marca NUOVA Modelo SP 18420 -26)
12. Termómetro digital rango de -50 -300°C (Marca BOECO)
13. Molino de discos (Marca Qingdao Dahua Modelo FFC-23)
14. Balanza Analítica de precisión (Marca AND Modelo GH-200)
15. Micrómetro digital (Marca Mitutoyo Modelo MDC-25L)
16. Vapómetros (Marca Thwing-Albert)
17. Colorímetro tri-estímulo (Marca Konica Minolta Modelo CR-400)

### **2.2.3. Materiales de laboratorio**

1. Set de Tamizadores ASTM
2. Vasos de Precipitado
3. Placas de Petri de 60 mm de diámetro
4. Placas de vidrios 6 x 6 cm
5. Matraces
6. Pipetas de 100-1000  $\mu$ L (Marca BOECO Modelo SP)
7. Pipeta Transferpette de 0,5 – 5 ml (Marca BRAND)
8. Fiolas
9. Probetas
10. Campanas de vidrio
11. Placas de Petri de vidrio 145 mm de diámetro
12. Guantes sintéticos
13. Mascarillas
14. Campana desecadora
15. Papel filtro

### **2.2.4. Reactivos**

1. Alcohol de polivinilo (Marca SPECTRUM CAS 9002-89-5)
2. Sorbitol (Marca MERCK MILLIPORE CAS 50-70-4)
3. Ácido Clorhídrico (CAS 7467-01-0)
4. Hidróxido de Sodio (Marca MERCK MILLIPORE CAS 1310-73-2)
5. Sílica Gel Indicador Azul 6-16 mesh (Marca SPECTRUM CAS 1393-98-2)
6. Agua destilada
7. Nitrato de Magnesio Hexahidrato (Marca MERCK MILLIPORE CAS 13446-18-9)
8. Cloruro de Potasio (Marca MERCK MILLIPORE CAS 7447-40-7)

## **2.3. Metodología**

### **2.3.1. Obtención de Aislado Proteico de Sacha Inchi Liofilizado (APSI)**

La obtención de APSI, se realizó mediante el método empleado por González (2017) el cual obtiene APSI liofilizado. Se usó torta de Sacha Inchi en pellets, la cual fue molida en un molino de martillo para reducir el tamaño de partícula y facilitar la extracción de proteína.

A continuación, se tamizó la torta molida en un sistema de tamices ASTM para homogenizar el tamaño de partícula de la muestra; seleccionando la que queda retenida entre los tamices de abertura de malla de 425 a 180  $\mu\text{m}$ .

Se realizó una solución con agua destilada en un vaso de precipitado con una relación torta: agua utilizada de 1:10. En seguida se ajustó el pH de la mezcla a 12 con una solución de NaOH a 2,5N la cual permaneció bajo agitación constante durante 60 minutos.

Después, la mezcla se procedió a centrifugar a 6000 rpm por 5 min. El sobrenadante obtenido fue trasvasado a un vaso de precipitado y con un agitador de paletas, se llevó hasta el punto isoeléctrico de las proteínas (pH 4,5) con una solución de HCl a 2 N. La mezcla se dejó en reposo durante 15 minutos para permitir la precipitación de las proteínas y luego fue centrifugada a 6000 rpm por 5 minutos en tubos de 10ml.

El precipitado obtenido en el fondo de los tubos considerado como aislado proteico de Sacha Inchic (APSI), fue extraído con la ayuda de pequeñas espátulas de acero inoxidable. En seguida se agregó agua destilada y bajo agitación constante se ajustó el pH de la suspensión hasta 9, la solución obtenida (APSI) fue colocada en bolsas pequeñas las cuales se llevaron a congelación ( $-25^{\circ}\text{C}$ ) durante 6 horas, transcurrido el tiempo el APSI congelado se introdujo dentro de vasos de liofilización, acoplados al equipo donde se llevó acabo la deshidratación del aislado proteico de Sacha Inchic bajo condiciones de presión y temperatura del condensador de 5 Pa y  $-82^{\circ}\text{C}$ , respectivamente, durante 14 horas.

El aislado proteico liofilizado obtenido en forma de polvo fue almacenado en bolsas Ziploc dentro de campanas de vidrio que contienen silica gel para evitar que gane humedad.

### **2.3.2. Obtención de Películas Biodegradables**

Los procedimientos empleados fueron planteados teniendo como referencia investigaciones realizadas por González (2017), Silva et al. (2008), y estudios previos. La preparación de biopelículas se realizó previa caracterización químico proximal de la torta de sachá Inchic molida y tamizada.

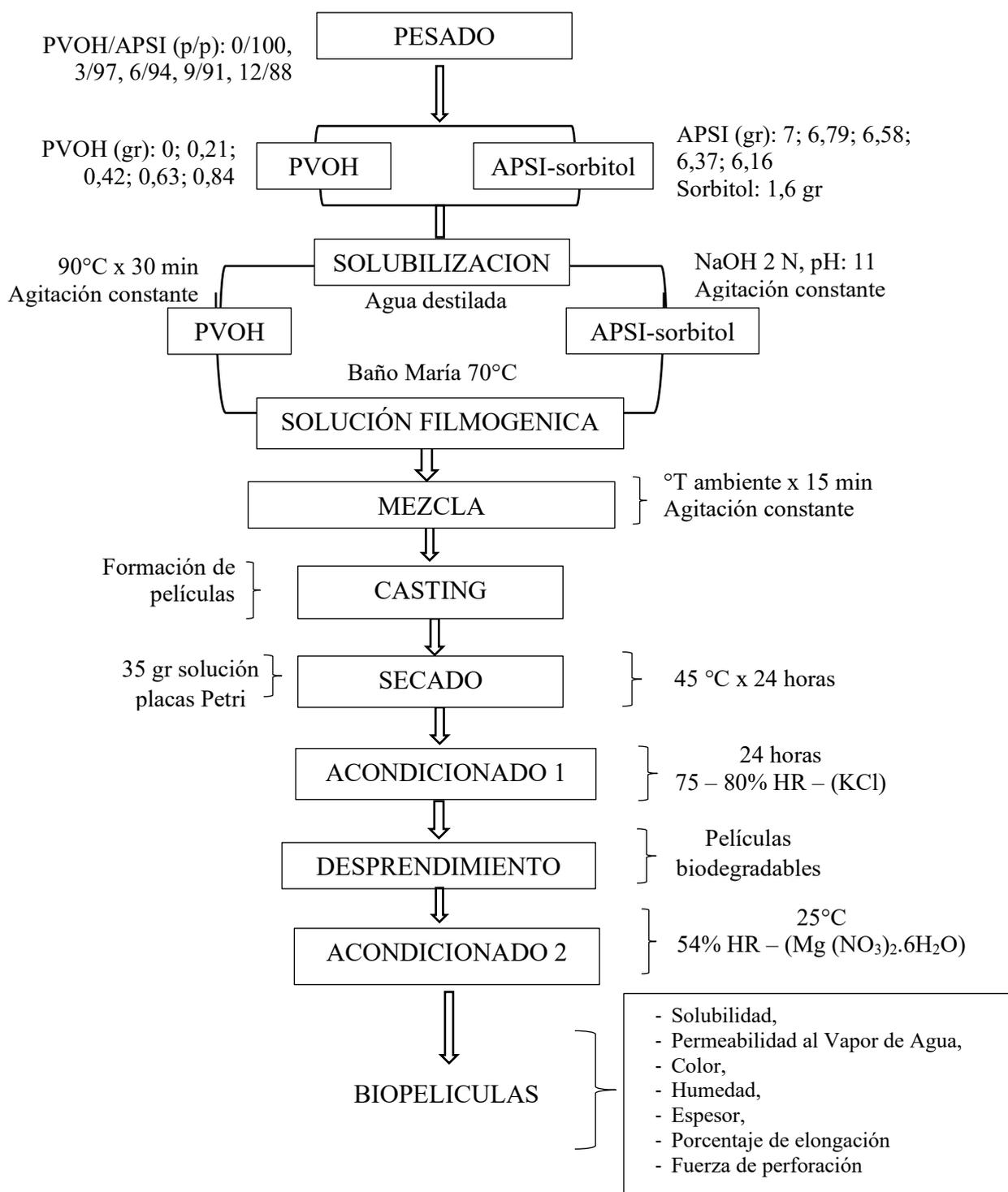
Lo primero que se realizó fue el pesado del alcohol de polivinilo (PVOH) y aislado proteico de sachá inchic (APSI) en las concentraciones indicadas en la tabla 4. Luego se solubilizó con agua destilada previo pesado para cumplir con los porcentajes propuestos

(para completar los 100gr de solución filmogénica); se agregó el PVOH en agua destilada a 90°C durante 30 minutos bajo agitación constante; así mismo para la solución APSI-sorbitol se realizó el ajuste de pH a 11 con una solución de NaOH a 2 N, bajo agitación constante.

Ambos componentes solubilizados (PVOH y APSI) fueron mezclados formando una solución filmogénica y enseguida se llevó a Baño María hasta alcanzar 70°C. La solución filmogénica fue sometida a tratamiento térmico, con agitación magnética constante manteniendo la temperatura de 70°C por 15 minutos. Transcurrido este tiempo, 35 gr de la solución fueron transferidas a placas de vidrio (casting), secando a 45 °C por 24 horas en un secador convectivo, formándose las películas biodegradables.

Las placas se colocaron dentro de campanas de vidrio por 24 horas que contenían cloruro de potasio (KCl) con una humedad de 84-85% HR a 20-25°C para permitir el desprendimiento de las películas que se almacenaron en campanas de vidrio conteniendo una solución sobresaturada de nitrato de magnesio hexahidrato ( $Mg(NO_3)_2 \cdot 6H_2O$ ) a una humedad de 52-55% de HR de 20-25°C, posteriormente se analizaron sus propiedades físicas (color, humedad, permeabilidad al vapor de agua, solubilidad) y mecánicas (fuerza a la ruptura y fuerza de deformación en la tracción).

En la figura 9 se presenta el flujograma para la obtención de las películas biodegradables.



**Figura 9.** Diagrama de flujo para la obtención de películas biodegradables de torta de Sacha Inchi y alcohol de polivinilo.

### 2.3.3. Determinación de humedad

El contenido de humedad se determinó como el porcentaje de peso perdido durante el secado, en una estufa a 105°C por 24 horas. Las mediciones del contenido de humedad fueron hechas por triplicado y reportadas en base húmeda.

### 2.3.4. Determinación de espesor (mm)

La determinación del espesor de las películas fue usando un micrómetro digital (MITUTOYO, Japón) con 0-25 mm de amplitud y graduación de 0,001 mm. El espesor final fue el promedio de 3 mediciones hechas alrededor del perímetro y una en el centro. La permeabilidad al vapor de agua se calculó usando el grosor promedio de cada película replicada (Martelli, Moore, Silva Paes, Gandolfo, & Laurindo, 2006).

### 2.3.5. Determinación de Permeabilidad al Vapor de Agua (PVA)

La permeabilidad al vapor de agua de las biopelículas se determinó mediante el método ASTM E 96-95 con algunas modificaciones (Salgado, Molina Ortiz, Petruccelli, & Mauri, 2010).

Se procede a sellar cada muestra de película sobre una abertura circular de 0,003167 m<sup>2</sup> en un vapómetro (Thwing Albert-Instrument, USA), las cuales se colocaron en un desecador a 24°C. Para mantener un gradiente de humedad relativa de 100% a través de la película, se agregó agua destilada (100% HRv) dentro del vapómetro y sílica anhídrica (0% HRd) en el desecador. La HR dentro del vapómetro fue más alta que en los exteriores, y la transferencia del vapor de agua se determinó a partir del peso perdido por el vapómetro. Cuando las condiciones estacionarias fueron alcanzadas (cerca de 2 horas aproximadamente), se realizaron ocho mediciones del peso a lo largo de 5 horas. Los cambios en el peso del vapómetro se registraron y graficaron en función al tiempo. La pendiente de cada línea se calculó por regresión (Statistica® 12) y la velocidad de transmisión de vapor de agua (VTVA) fue calculada a partir de la pendiente (g H<sub>2</sub>O/s). La PVA (g H<sub>2</sub>O/Pa.s.m) fue calculada como:

$$PVA = \frac{VTVA}{P_v^{H_2O} \cdot (HRv - HRd)} \cdot A \cdot d$$

Donde  $P_v^{H_2O}$  = presión de vapor del agua a saturación (3003.68 Pa) a la temperatura del ensayo (24 °C). HRv = HR en el vapómetro, HRd = HR en el desecador,  $A$  = área de

permeación y  $d$  = espesor de la película (m). Cada valor de PVA representará el valor promedio de dos repeticiones de cada tratamiento.

### 2.3.6. Determinación de solubilidad

Se pesó muestras de 2cm de diámetro, las cuales se sumergieron en vasos de precipitado que contiene 100 ml de agua destilada a  $23 \pm 2$  °C. Los vasos fueron sellados, y colocados en un baño de agua temperada constante de 25°C, con agitación en vaivén a 120 oscilaciones por minuto (rpm) durante 3h. Las películas que no se solubilizaron en agua se removieron de los vasos para determinar la cantidad de materia seca mediante el método de la estufa a 105°C por 24 horas. Las pruebas se realizaron por triplicado. Los resultados se expresaron como la cantidad de materia soluble total por 100 g de película (Aydemir, Gökbulut, Baran, & Yemenicioğlu, 2014).

$$\text{Solubilidad (\%)} = \frac{m_i - m_f}{m_i} \times 100$$

Donde:

$m_i$  = Masa inicial

$m_f$  = masa final

### 2.3.7. Determinación de color

La determinación de color de la películas se realizó usando un colorímetro triestímulo (Chromameter tipo CR-400, Minolta Sensing Osaka, Japón), con iluminante D65, ángulo de visión de 10° y una celda de medida con un abertura de 30 mm, usando los parámetros de color CIELab:  $L^*$  (Luminosidad), desde negro (0) hasta blanco (100);  $a^*$  (Componente Verde-Rojo), desde verde (-) hasta rojo (+); y  $b^*$  (Componente azul-amarillo), desde azul (-) hasta amarillo (+) (Paschoalick et. al 2003). Para la medición de las películas, éstas se colocaron encima de la superficie de un plato blanco estándar. El color de las películas fue expresado como la diferencia de color ( $\Delta E^*$ ):

$$\Delta E^* = \sqrt{(\Delta L^*)^2 + (\Delta a^*)^2 + (\Delta b^*)^2}$$

Donde  $\Delta L^*$ ,  $\Delta a^*$  y  $\Delta b^*$  son los diferenciales entre los parámetros de color de las muestras y los parámetros de color del blanco estándar.

### 2.3.8. Evaluación de las propiedades mecánicas

La evaluación de las propiedades mecánicas de las películas biodegradables se realizó de acuerdo a la norma ASTM D882. Método de ensayo que cubre la determinación de propiedades mecánicas de los plásticos transparentes en forma de láminas delgadas, incluyendo la película (menos de 1,0 mm o 0,04 pulgadas de grosor).

Para la determinación de las propiedades mecánicas se utilizó el Texturometro Brookfield Model CT3 50k siguiendo el método reportado por Alata y Cuadros (2017).

El acondicionamiento y preparación de las películas para evaluar las propiedades físico-mecánicas se encuentran en el anexo 3 y 4.

#### 2.3.8.1. Porcentaje de elongación y módulo de Young

Se cortaron tiras rectangulares de 20 mm de ancho por 100 mm de largo que fueron rotuladas para luego realizar la medición de espesor en los extremos y uno en el centro, utilizando un micrómetro digital. Las muestras se sujetaron con los accesorios del Texturómetro Brookfield a una distancia de 50mm entre quijadas. El ensayo se ejecutó a una velocidad de cabezal de 0,8 mm/s hasta que la muestra se rompa. La operación del Texturómetro y el almacenamiento de los resultados se expresaron en la máquina, de la cual se extrajo para la obtención de los valores de elongación, resistencia a la tensión al momento de la ruptura y el módulo de Young. Para conocer estas propiedades se aplicaron las siguientes fórmulas:

$$seccion = ancho \times espesor$$

$$Resistencia\ a\ la\ tensión\ \left(\frac{N}{mm^2}\right) = \frac{fuerza\ maxima\ de\ rotura}{sección\ transversal}$$

$$Elongación\ (\%) = \frac{longitud\ máxima}{separacion\ incial} \times 100$$

$$Módulo\ de\ Young = \frac{resistencia\ a\ la\ tension}{\% elongacion} \times 100$$

#### 2.3.8.2. Fuerza de perforación (N)

Consiste en determinar la fuerza (N) que requiere un material para romperse. Se cortaron muestras rectangulares de 40 mm de largo y 25 mm de ancho. Las películas fueron fijadas en una celda de 46mm de diámetro y perforadas con una probeta de 3mm de diámetro a una

velocidad de 1mm/s, basado en especificaciones del fabricante del Texturómetro ya mencionado.

#### 2.4. Diseño Experimental

Para evaluar la influencia de la adición de PVOH en las películas a base de APSI en las propiedades físicas y mecánicas se realizó un diseño completamente al azar (DCA) univariable, 5 tratamientos con 3 repeticiones, totalizando 15 ensayos (tabla 4).

La variable independiente es la relación PVOH/APSI (0/100, 3/97, 6/94, 9/91 y 12/88 p/p). Las variables dependientes son: color, humedad, permeabilidad al vapor de agua, solubilidad, resistencia a la tensión, porcentaje de elongación y fuerza de perforación. La solución filmogénica (SF) está conformada a base de 100 gr, la cual contiene para todos los casos 7% de macromoléculas (PVOH + APSI) y 73% de agua para completar los 100gr de SF. La proporción de sorbitol (SOR) fue constante (1,6%) (Gonzales, 2017). El efecto de los diferentes factores (APSI y PVOH) se analizaron mediante análisis de varianza, usando el programa estadístico Origin 5.0 y SPSS Statistics para comparar las medias de todas las propiedades analizadas. El nivel de confianza para los análisis estadísticos fue del 95% ( $P < 0.05$ ).

**Tabla 4**

*Composición real de las biopelículas*

Tratamientos* (PVOH/APSI p/p)		7% macromoléculas	
		PVOH (gr)	APSI (gr)
1	0/100	0	7
2	3/97	0,21	6,79
3	6/94	0,42	6,58
4	9/91	0,63	6,37
5	12/88	0,84	6,16

\*Para todos los casos 1,6 gr de sorbitol

## CAPÍTULO III

### RESULTADOS Y DISCUSIÓN

#### 3.1. Caracterización Químico Proximal de la Torta de Sacha Inchi

La torta de Sacha Inchi molida y tamizada (figura 10) contiene 59,9% de proteína, resultado mayor al 58,72% reportado por Pascual y Mejía (2000); sin embargo, el contenido de grasa que los autores reportaron (6,882%) resulta elevado comparado con la materia de estudio (2,495%) que se presenta en la tabla 5. Esto se debe a que la materia prima utilizada fue expuesta al proceso de desgrasado.



*Figura 10.* Tamizado de la torta de Sacha Inchi.

**Tabla 5**

*Composición química de la torta de Sacha Inchi*

<b>Componente</b>	<b>%</b>
Humedad	8,450 ± 0,261
Grasa	2,494 ± 0,045
Cenizas Totales	4,850 ± 0,025
Proteínas	59,9 ± 0,651
Fibra	1,162 ± 0,435
Carbohidratos	23,144 ± 1,221

Fuente. Elaboración propia

### 3.2. Rendimiento de extracción del Aislado Proteico de Sacha Inchi (APSI)

La extracción del aislado proteico de Sacha Inchi liofilizado (anexo 1) presentó un rendimiento máximo de 37,964%. Los valores de rendimiento obtenido resultaron un tanto superior (28,39%) al que describe González (2017), lo que puede significar una mayor eficiencia durante la extracción, así como el contenido mayor de proteína presente en la materia prima utilizada.

La figura 11 muestra el aislado proteico recién extraído luego de emplear los métodos antes mencionados, se puede observar que es de coloración blanca beige.



*Figura 11.* Aislado proteico de Sacha Inchi recién extraído

### 3.3. Caracterización Químico Proximal del APSI Liofilizado

Los resultados del análisis proximal del APSI liofilizado obtenido, se expresan en la tabla 6. En la figura 12 se puede apreciar que la muestra presento una coloración beige claro, así también otras propiedades organolépticas como textura fina, ausencia de olor y sabor. Estos resultados son similares a los que son descritos por Alvarado (2014) quien obtuvo APSI liofilizado.



*Figura 12.* Aislado proteico de Sacha Inchi liofilizado obtenido

En la tabla 6 se puede observar que el contenido de proteínas de APSI fue de 84,773% el cual es similar al APSI que describe González (2017) y superior al obtenido a partir de girasol (Salgado, 2009).

**Tabla 6**

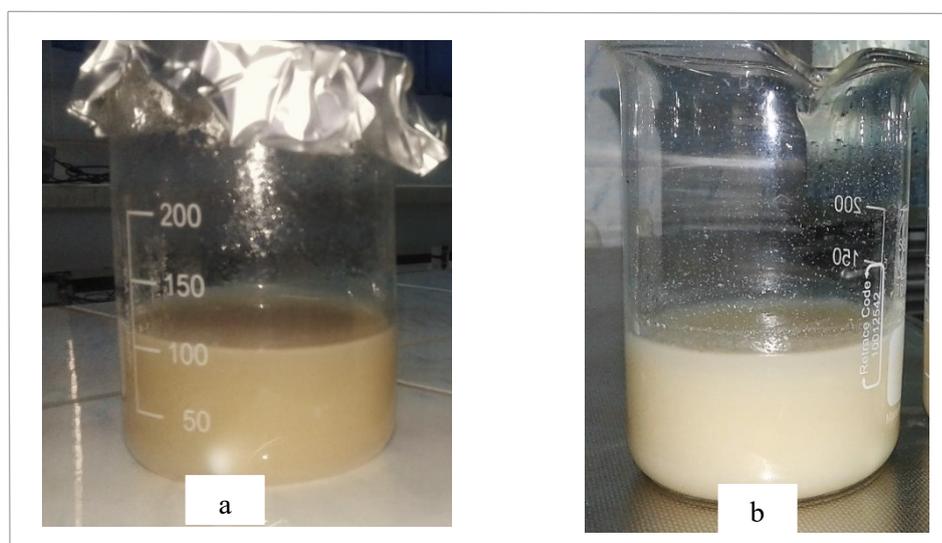
*Composición química del APSI liofilizado*

<b>Componente</b>	<b>%</b>
Humedad	3,441 ± 0,233
Grasa	4,8 ± 0,135
Cenizas totales	4,996 ± 0,128
Proteínas	84,773 ± 0,558
Carbohidratos	1,990 ± 0,806

**Fuente.** Elaboración propia

### 3.4. Obtención de películas biodegradables

En la figura 13 se observan las soluciones filmogénicas (formulación 100gr de macromoléculas) luego del tratamiento térmico correspondiente, obteniendo características diferentes para las muestras con APSI y la mezcla de PVOH/APSI en una relación de 12/88 p/p respectivamente (ver tabla 4). El primero, con una tonalidad beige oscuro (a) y el otro de color blanco lechoso (b). En el primer caso, se puede observar la diferencia en tonalidad siendo esta un color beige claro debido a la mayor concentración de proteína en la solución filmogénica. Por otro lado, el segundo caso corresponde a la mezcla de PVOH/APSI el cual produce un cambio de color beige a blanco lechoso.



**Figura 13.** Solución filmogénica obtenida luego de tratamiento térmico a. APSI y b. PVOH/APSI (12/88 p/p).

Según Cruz-Morfin, Martínez-Tenorio y López-Malo (2013) la integración de polímeros con biopolímeros compatibles formará una matriz nueva, la cual puede producir películas homogéneas. Una técnica sencilla para lograr la integración de matrices de biopolímeros es la homogenización de soluciones con biopolímeros dispersos. Tal es el caso de la APSI y el PVOH quienes posteriormente se mezclan formando una solución homogénea para ser vertidas en moldes donde se elimina el solvente y se obtiene una película.

La apariencia de las películas obtenidas fue de tonalidad beige claro transparente, el tono de color fue ligeramente más oscuro para las películas elaboradas con Aislado proteico/sorbitol sin adición de PVOH. Por otro lado, a medida que la concentración de PVOH aumentaba las películas presentaban pequeñas burbujas y menor transparencia (figura 14). Estas nuevas características que brinda la adición de alcohol de polivinilo pueden ser un atributo positivo para la protección y conservación del producto ya que existen alimentos sensibles a la incidencia de la luz (Trujillo, 2014).

En cuanto al desprendimiento de las películas, las muestras más dificultosas para su retiro de las placas fueron las muestras que contenían únicamente APSI/sorbitol (figura 14a) presentando en algunas partes de las películas características quebradizas y pegajosas. Lo contrario ocurrió con las formulaciones que contenían PVOH, estas resultaron mucho más fáciles para desprender de las placas después del secado. Según Sionkowska (2011) la mezcla de biopolímeros como las proteínas y polímeros sintéticos proporciona materiales con mejores propiedades físicas y mecánicas aumentando la biocompatibilidad y la biodegradabilidad.



**Figura 14.** Fotografías de las películas obtenidas a partir de las mezclas PVOH con APSI a. 0% de PVOH, b. 3% de PVOH, c. 6% de PVOH, d. 9% de PVOH, e. 12% de PVOH.

Los resultados de las propiedades físico-mecánicas se presentan de manera resumida en el anexo 5. El análisis estadístico de estos datos fue llevado a cabo con un nivel de confianza del 95% ( $P < 0,05$ ).

Se trabajaron 5 formulaciones distintas con sus respectivas repeticiones y se identificó la influencia de la concentración de alcohol de polivinilo sobre las películas de Aislado proteico de Sacha Inchic. En las tablas 7 y 8 se expresan los resultados promedios de cada una de las formulaciones relacionados con sus propiedades físico-mecánicas, como: Humedad (%), solubilidad (%), espesor (mm), permeabilidad al vapor de agua ( $10^{-12} \text{ g m}^{-1} \text{ s}^{-1} \text{ Pa}^{-1}$ ), color, elongación (%), módulo de Young ( $\text{N/mm}^2$ ) y Fuerza de perforación (N).

Los datos obtenidos fueron graficados y analizados estadísticamente. Los datos de humedad, solubilidad, espesor, color ( $a^*$ ), módulo de Young y fuerza de perforación se ajustaron mejor a un modelo lineal. Los datos de color ( $\Delta E$ ,  $L^*$  y  $b^*$ ) y elongación se ajustaron mejor a un modelo polinomial y exponencial respectivamente.

Los coeficientes de determinación  $R^2$  de los modelos obtenidos para humedad (22,42 %), solubilidad (49,21 %), espesor (68,71 %) y diferencia de color ( $\Delta E^*$ ) (57,20%) fueron bajos ya que presentaron ligeras variaciones dentro del mismo tratamiento, posiblemente por la interacción entre las matrices poliméricas y el método utilizado (casting). Sin embargo, las propiedades mencionadas no presentaron diferencia significativa ( $P > 0,05$ ). Por otro lado, los modelos de permeabilidad, color ( $L^*$ ,  $a^*$  y  $b^*$ ), elongación, módulo de Young y fuerza de perforación presentaron un coeficiente de determinación  $R^2$  entre 91,06 % y 99,69% (tabla 9).

### 3.5. Medición de las propiedades físico-mecánicas de las películas biodegradables

**Tabla 7**

*Valor promedio de las propiedades físicas como color, humedad y solubilidad de las películas elaboradas con mezcla de PVOH/APSI y sorbitol como plastificante.*

Tratamiento	% P V O H	Color				Humedad (%)	Solubilidad (%)	Espesor (mm)
		$\Delta E^*$	L*	a*	b*			
1	0	52,067 ± 1,645	89,720 ± 0,572	-0,613 ± 0,104	1,483 ± 0,980	17,354 ± 0,013	55,604 ± 2,229	0,152 ± 0,010
2	3	50,487 ± 0,731	87,863 ± 1,547	-0,607 ± 0,064	1,577 ± 0,600	17,349 ± 0,016	55,881 ± 1,216	0,148 ± 0,010
3	6	49,557 ± 0,893	87,657 ± 0,938	-0,580 ± 0,142	0,730 ± 0,591	17,374 ± 0,049	55,664 ± 0,913	0,149 ± 0,004
4	9	52,5 ± 1,839	89,847 ± 0,387	-0,920 ± 0,052	0,300 ± 0,182	17,356 ± 0,008	56,006 ± 0,883	0,147 ± 0,010
5	12	49,66 ± 0,713	87,252 ± 1,164	1,303 ± 0,065	5,260 ± 0,406	17,376 ± 0,038	56,515 ± 2,034	0,147 ± 0,010

**Tabla 8**

*Valor promedio de las propiedades mecánicas y permeabilidad al vapor de agua (PVA) de las películas elaboradas con mezcla de PVOH/APSI y sorbitol como plastificante.*

N °	% PVOH	Elongación (%)	Módulo de Young (%)	Fuerza de perforación (mm)	PVA ( $10^{-12} \text{ g m}^{-1} \text{ s}^{-1} \text{ Pa}^{-1}$ )
1	0	$9,497 \pm 0,777$	$51,304 \pm 12,693$	$6,017 \pm 0,764$	$4,141 \pm 0,214$
2	3	$9,228 \pm 0,909$	$44,929 \pm 4,433$	$6,559 \pm 0,468$	$4,022 \pm 0,242$
3	6	$10,800 \pm 0,721$	$35,531 \pm 10,335$	$9,400 \pm 0,292$	$3,380 \pm 0,200$
4	9	$15,867 \pm 1,501$	$27,996 \pm 6,044$	$11,204 \pm 0,501$	$3,131 \pm 0,266$
5	12	$27,063 \pm 2,975$	$15,799 \pm 1,177$	$13,617 \pm 1,199$	$2,918 \pm 0,281$

**Tabla 9**

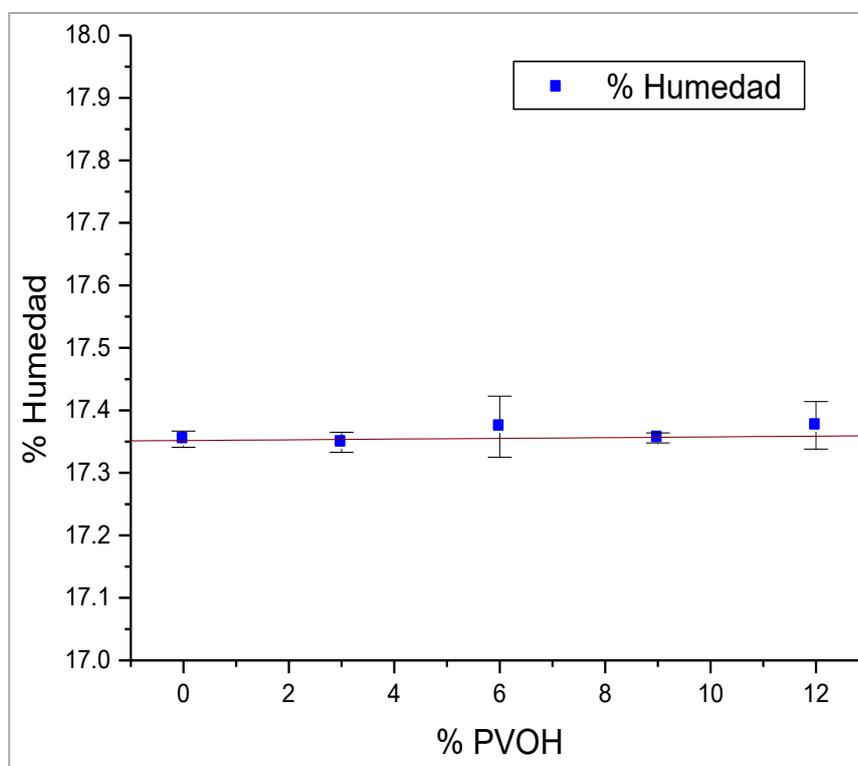
*Coefficientes de Regresión para las variables respuestas. Donde “Y” es la variable evaluada y “X” es el porcentaje de PVOH.*

Coeficientes		Modelo	Parámetro	Valor	Error	R <sup>2</sup>
Propiedades						
<b>Humedad</b>	Lineal	Y = A + BX	A	17,352	0,005	22,42 %
			B	5,777E-4	6,204E-4	
<b>Solubilidad</b>	Lineal	Y = A + BX	A	55,528	0,227	49,21 %
			B	0,054	0,031	
<b>Espesor</b>	Lineal	Y = A + BX	A	0,151	9,559E-4	68,71 %
			B	3,667E-4	1,429E-4	
<b>Permeabilidad al vapor de agua</b>	Lineal	Y = A + BX	A	4,174	0,104	94,44 %
			B	-0,112	0,016	
<b>C o l o r</b>	$\Delta E^*$	Polinomial Y = A+B <sub>1</sub> X+B <sub>2</sub> X <sup>2</sup> +B <sub>3</sub> X <sup>3</sup>	A	52,43553	2,14736	57,20%
			B <sub>1</sub>	-1,32353	1,42736	
			B <sub>2</sub>	0,22594	0,2867	
			B <sub>3</sub>	-0,0112	0,01551	
	L*	Polinomial Y = A+B <sub>1</sub> X+B <sub>2</sub> X <sup>2</sup> +B <sub>3</sub> X <sup>3</sup>	A	89,755	0,526	91,06 %
			B <sub>1</sub>	-2,147	0,733	
			B <sub>2</sub>	0,468	0,151	
	a*	Polinomial Y = A+B <sub>1</sub> X+B <sub>2</sub> X <sup>2</sup> +B <sub>3</sub> X <sup>3</sup>	A	-0,655	0,372	98,35%
			B <sub>1</sub>	0,286	0,249	
			B <sub>2</sub>	-0,107	0,045	
B <sub>3</sub>			0,008	0,002		
b*	Polinomial Y = A+B <sub>1</sub> X+B <sub>2</sub> X <sup>2</sup> +B <sub>3</sub> X <sup>3</sup>	A	1,30932	0,77311	99,48 %	
		B <sub>1</sub>	0,89778	0,4637		
		B <sub>2</sub>	-0,30491	0,07654		
<b>Elongación</b>	Exponencial Y = Y <sub>0</sub> + A <sub>1</sub> e <sup>X/T<sub>1</sub></sup>	Y <sub>0</sub>	8,792	0,284	99,69 %	
		A <sub>1</sub>	0,304	0,010		
		T <sub>1</sub>	2,925	0,399		
<b>Módulo de young</b>	Lineal	Y = A + BX	A	54,55009	1,42729	99,55 %
			B	-3,2232	0,12464	
<b>Fuerza de perforación</b>	Lineal	Y = A + BX	A	5,15968	0,53312	95,53 %
			B	0,68257	0,0853	

### 3.5.1. Humedad (%)

Los resultados experimentales de la humedad de las películas se encuentran en el anexo 5.

En la figura 15, se presenta la variación del contenido de humedad con relación al incremento de alcohol de polivinilo observándose poca dispersión entre los tratamientos. El promedio obtenido (tabla 7) de la determinación de humedad fue de  $17,3362 \pm 0,012\%$ , datos similares ( $18,2 \pm 1,0 \%$ ) a los obtenidos por Moraes et al (2008) quienes trabajaron biopelículas a base de gelatina y PVOH.



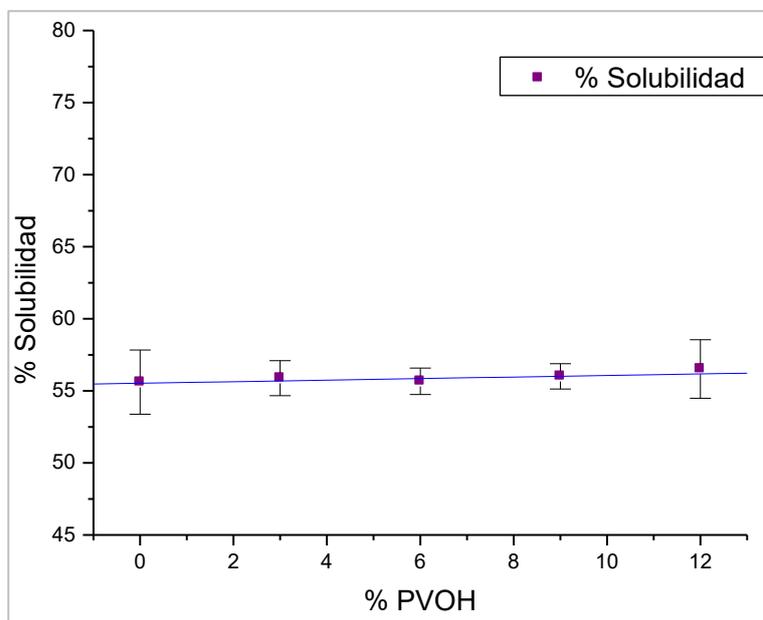
**Figura 15.** Porcentaje de humedad y concentración de alcohol de polivinilo.

Según Trujillo (2014), el incremento de la concentración de proteína en la composición de películas disminuye la humedad. Los resultados del análisis de la varianza (ANOVA) se expresan en el Anexo 6 indicando que no existe diferencia significativa entre los tratamientos de estudio ( $P > 0,05$ ). Este resultado indica que la concentración de PVOH no influye (en el rango de estudio) en el contenido de humedad de las biopelículas, esta característica es importante ya que cualquier diferencia en el contenido de humedad podría afectar las propiedades físicas del material (Sobral, Menegalli, Hubinger, & Roques, 2001).

Según Trujillo (2014) el contenido elevado de humedad (entre 40 – 60%) influye en su estructura volviéndolas frágiles o débiles a la ruptura en la manipulación y en el almacenamiento ya que a medida que pasa el tiempo las películas tienden a incrementar su humedad.

### 3.5.2. Solubilidad (%)

Los datos de solubilidad obtenidos en el presente trabajo resultaron en un promedio de  $55,934 \pm 0,363\%$  (tabla 6). En la figura 16 se muestra la gráfica que relaciona la solubilidad de las películas en agua con la concentración de PVOH. La grafica se ajustó mejor a un modelo lineal, los valores del modelo se encuentran en la tabla 9.



**Figura 16.** Porcentaje de solubilidad y concentración de alcohol de polivinilo.

El análisis de los resultados obtenidos (ANOVA) para solubilidad muestran que no existe diferencia significativa entre los tratamientos ( $P > 0,05$ ) lo que indica que la concentración de alcohol de polivinilo no provocó cambios en la solubilidad (anexo 6).

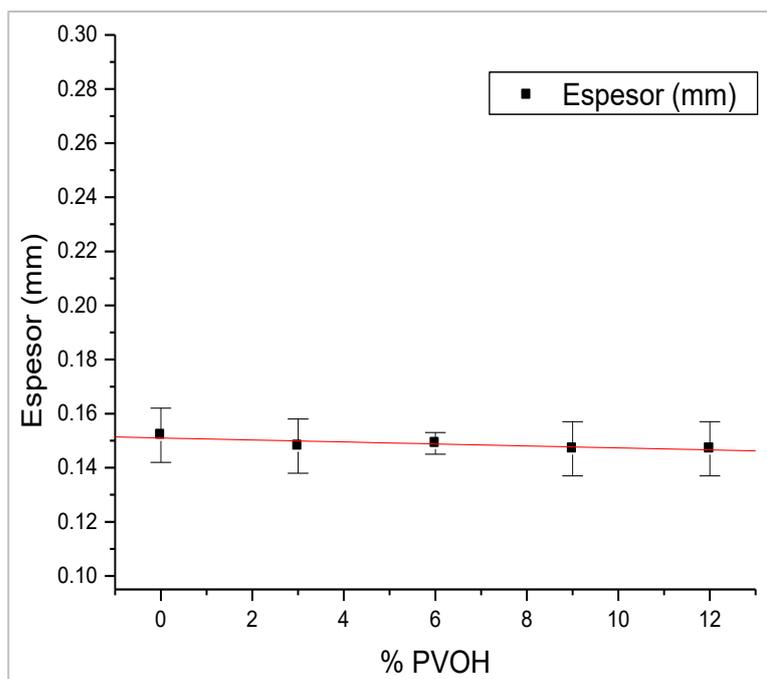
Carvalho y Grosso (2004) determinaron la solubilidad de gelatina bovina y PVOH obteniendo un valor medio de 31%, dato inferior a los observados en la presente investigación. Sin embargo, los autores concluyen que la incorporación de PVOH no afectó sustancialmente a la solubilidad de las películas en comparación con películas a base de pura gelatina.

Por otro lado, el resultado promedio de solubilidad en agua obtenido ( $55,934 \pm 0,363\%$ ) es comparable con las películas desarrolladas por Carvalho et al (2009) quienes estudiaron la influencia de la concentración de PVOH y el grado de hidrólisis en películas a base de gelatina, en sus tratamientos para 20% de PVOH obtienen resultados promedios de  $54,65 \pm 2,241\%$ . Los autores mencionan que el aumento de la concentración de PVOH afectó significativamente la solubilidad de los films (a mayor concentración mayor solubilidad). Este comportamiento puede estar asociado con grado de hidrólisis y el carácter hidrófilo del PVOH que absorbe el agua con facilidad.

### **3.5.3. Espesor (mm)**

Los datos completos de las mediciones del espesor de las películas se puede observar en el anexo 5, las películas registraron espesores que fluctuaron entre 0,137 y 0,161 mm. Henríquez (2016) registró espesores de películas a base de proteína de soya, almidón de yuca y plastificante de manzana que variaron entre 0,115 y 0,212 mm. Películas elaboradas a partir de almidón de papa modificado, PVOH y otros aditivos presentaron espesores entre 0,11 mm y 0,16 mm (Alarcón & Arroyo, 2016). Los resultados de espesor obtenidos en el presente trabajo se encuentran dentro de los rangos estudiados por otros autores.

En la figura 17 se muestra el efecto de las concentraciones de PVOH en las mediciones del espesor (mm), se observa que la variación del espesor es muy similar en todos los tratamientos de estudio, sin embargo, existe diferencias notables en las medidas de espesor dentro del mismo tratamiento posiblemente por el método utilizado (casting). Según Hernández, Cruz, Robledo y Santoyo (2007) el tipo de técnica afecta fuertemente la microestructura de la película, los autores utilizaron PVOH y otras mezclas obteniendo películas uniformes con ligeras variaciones en su espesor.



**Figura 17.** Espesor de películas (mm) y concentración de alcohol de polivinilo.

León (2011) estudió la sección transversal de películas obtenidas a partir de mezclas de PVOH y almidón de yuca a través de microscopía electrónica de barrido. En su investigación observó un cambio en la superficie de fractura a través de su espesor para mezclas de 80% de PVOH y 20% de almidón de yuca. Comparando con las formulaciones elaboradas de 100% de almidón la mezcla evidenció películas con zonas irregulares y accidentadas en el espesor. El autor explica que este comportamiento se puede dar por la presencia de PVOH en una zona rica de almidón, por otro lado, la superficie de fractura del almidón puro resultó homogéneo, suave y uniforme sin cambios en su espesor debido a que se trata de un material puro. Mediante esta referencia se podría explicar lo sucedido con el espesor de las películas del presente estudio, ya que presentaron ligeras variaciones dentro del mismo tratamiento, posiblemente por la interacción entre las matrices poliméricas (PVOH y APSI).

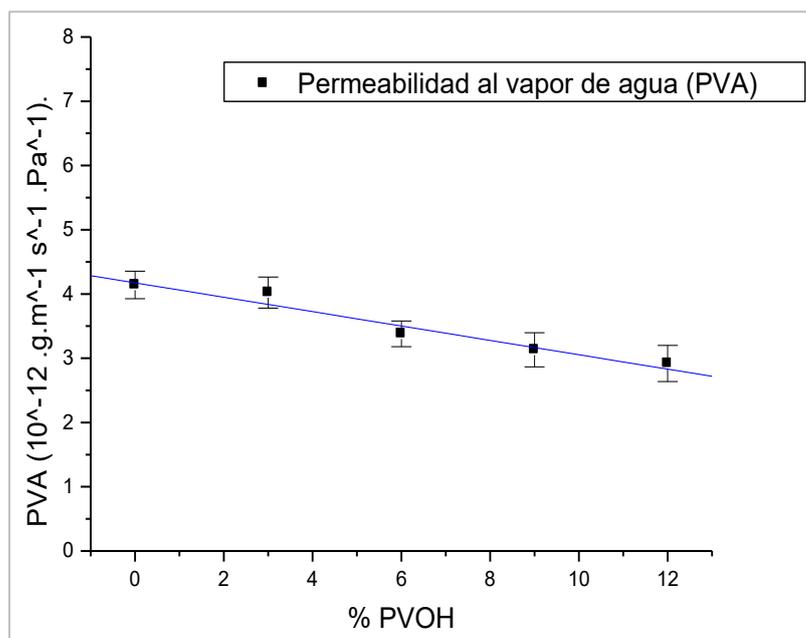
La gráfica de la figura 17 se ajustó mejor a un modelo lineal, el valor de los parámetros se encuentra en la tabla 8. Según el análisis de varianza (anexo 7) los resultados ponen en manifiesto que no existe diferencia significativa entre los tratamientos de estudio ( $P > 0,05$ ). Este resultado es el esperado ya que la cantidad de macromoléculas utilizadas para todas las formulaciones fue el mismo (7%).

### 3.5.4. Permeabilidad al vapor de agua (PVA)

En la medición de permeabilidad de películas compuestas de APSI/PVOH se obtuvieron valores promedios entre  $2,918 \pm 0,281$  y  $4,141 \pm 0,214 \text{ g.m}^{-1}.\text{s}^{-1}.\text{Pa}^{-1} \cdot 10^{-12}$ . El tratamiento que presentó menor valor fue el que contenía 0% de alcohol de polivinilo (únicamente APSI-sorbitol). El valor con mayor permeabilidad fue el compuesto por 12% de alcohol de polivinilo (tabla 8). Los datos completos del diseño experimental se encuentran en el anexo 5.

La figura 18 presenta la relación del contenido de alcohol de polivinilo y la permeabilidad al vapor de agua. La grafica se ajustó mejor a un modelo lineal con un coeficiente de regresión de  $R^2 = 94,44 \%$ . Los valores completos del ajuste se presentan en la tabla 9.

El análisis de varianza (Anexo 8) muestra que la concentración de alcohol de polivinilo influye significativamente sobre la permeabilidad al vapor de agua ( $P < 0,05$ ).



**Figura 18.** Permeabilidad al vapor de agua ( $\text{g.m}^{-1}.\text{s}^{-1}.\text{Pa}^{-1} \times 10^{-12}$ ) y concentración de alcohol de polivinilo.

En la gráfica (figura 18) se observa que la permeabilidad al vapor de agua disminuye linealmente a medida que la concentración de alcohol de polivinilo aumenta. Este comportamiento puede ser explicado por las propiedades que tiene el alcohol de polivinilo como recubrimiento protector y barrera contra el vapor (SELVOL Polyvinyl Alcohol, 2009). En la tabla 10 se presentan valores de PVA de diversas películas elaboradas con materiales comerciales no biodegradables.

**Tabla 10***Permeabilidad de películas no biodegradables*

<b>Composición</b>	<b>Permeabilidad al vapor de agua (g.m<sup>-1</sup>.s<sup>-1</sup>.Pa<sup>-1</sup>)</b>
Cloruro de polivinilideno	0,7 – 2,4 x 10 <sup>-13</sup>
Polietileno de alta densidad	2,4 x 10 <sup>-13</sup>
Polietileno de baja densidad	7,3 – 9,7 x 10 <sup>-13</sup>
Poliéster	1,2 – 1,5 x 10 <sup>-12</sup>
Celofán	7,7 – 8,4 x 10 <sup>-11</sup>

Fuente: Gennadios et.al (1994)

En la tabla 10 se pueden observar PVA bajos ya que son polímeros con buenas propiedades de barrera. Los valores de PVA del poliéster (1,2 – 1,5 g.m<sup>-1</sup>.s<sup>-1</sup>.Pa<sup>-1</sup> x 10<sup>-12</sup>) son comparables con las películas obtenidas en el presente trabajo. Teniendo en cuenta esta comparación, se puede afirmar que las películas con mayor contenido de PVOH (12%) presentan mejores propiedades de barrera (4,141 ± 0.214 g.m<sup>-1</sup>.s<sup>-1</sup>.Pa<sup>-1</sup> x 10<sup>-12</sup>). Del mismo modo son menos permeables que otras películas a base de polímeros biodegradables como almidón nativo nano estructurado (8,4148 g.m<sup>-1</sup>.s<sup>-1</sup>.Pa<sup>-1</sup> x 10<sup>-10</sup>) (Santiago, 2015); Aislado proteico de Sacha Inchi y sorbitol (2,25 ± 0,10 g.m<sup>-1</sup>.s<sup>-1</sup>.Pa<sup>-1</sup> x 10<sup>-10</sup>) (González, 2017); Alcohol de polivinilo, Quitosano y Mucilago de Nopal (entre 1,8 g.m<sup>-1</sup>.s<sup>-1</sup>.Pa<sup>-1</sup> x 10<sup>-10</sup> y 2 g.m<sup>-1</sup>.s<sup>-1</sup>.Pa<sup>-1</sup> x 10<sup>-11</sup>) (Dominguez, 2016).

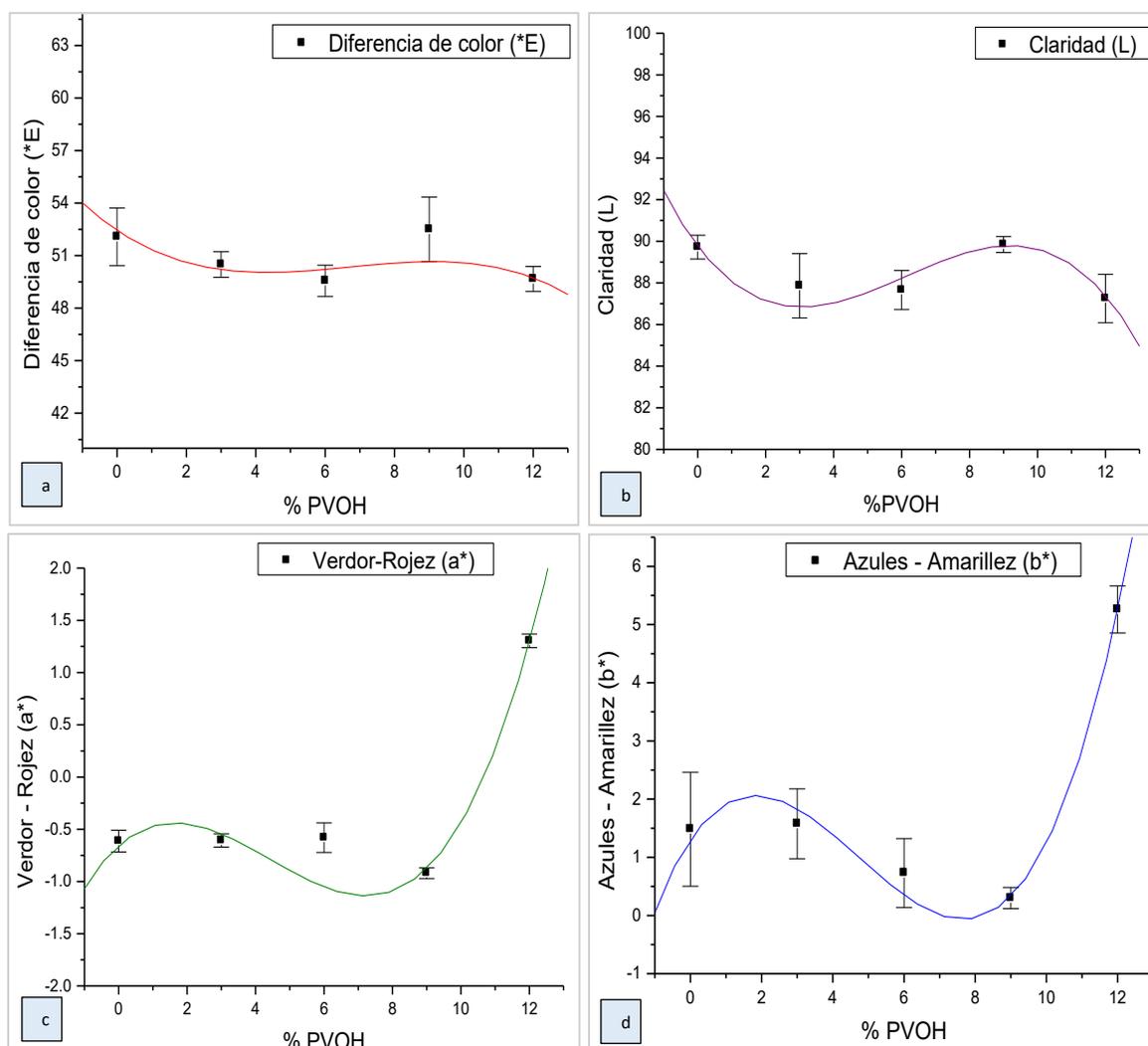
### 3.5.5. Color

Las películas compuestas a base de APSI y PVOH presentaron una coloración beige claro transparente a excepción de las películas formadas únicamente de APSI que presentaron una coloración beige más concentrada. Esto se debe a que en su composición presenta mayor cantidad de proteína.

González (2017) obtuvo películas a base de APSI y sorbitol de coloración amarillo-marrón, similares a las obtenidas en la investigación para concentraciones de 0% de PVOH. El ligero cambio en la tonalidad de las películas se genera al realizar la mezcla con el PVOH debido a que una de las características de este polímero es que permite la obtención de películas incoloras transparentes.

En otras investigación a base de caseína, gelatina y glicerol obtienen películas claras y transparentes; gelatina y glicerol obtienen películas transparentes; ovoalbúmina obtienen películas de tonalidad clara, transparente y amarillenta (Guilbert & Biquet, 1986); quitosano obtienen películas color amarillento transparentes (Pereda, Moreira, Roura, Marcovich, & Aranguren, 2014).

En la figura 19 se presentan las gráficas de los parámetros de diferencia de color ( $\Delta E$ ), claridad ( $L^*$ ), verdor – rojez ( $a^*$ ) y azules – amarillez ( $b^*$ ) con relación a la adición de alcohol de polivinilo.



**Figura 19.** (a) Diferencia de color de las películas ( $\Delta E$ ), (b) Claridad de las películas ( $L^*$ ), (c) Verdor – Rojez ( $a^*$ ) de las películas, (d) Azules – Amarillez ( $b^*$ ) de las películas con relación a la concentración de alcohol de polivinilo.

Todas las gráficas de la figura 19 se ajustaron mejor a un modelo polinomial de tercer grado. Las gráficas (b, c y d) que corresponden claridad ( $L^*$ ), verdor-rojez ( $a^*$ ) y azules-amarillez ( $b^*$ ) respectivamente presentaron un modelo de ajuste  $R^2$  por encima del 90% lo cual indicaría que es altamente predictivo. Sin embargo, para la gráfica (a) que corresponde a la diferencia de color ( $\Delta E$ ) el modelo presentó un  $R^2$  de 57,20 %, debido a que la medición de color se realizó tomando diferentes puntos de las películas, teniendo en cuenta que en algunas zonas de las películas las tonalidades del color se concentraban más que en otras. Los valores completos de los parámetros del modelo de ajuste se encuentran expresados en la tabla 9.

La claridad ( $L$ ) de las películas se encuentra en el rango de  $87,252 \pm 1,164$  y  $89,720 \pm 0,572$  obteniendo valores cercanos al blanco, los resultados obtenidos son similares a los reportados por González (2017). El parámetro de verdor-rojez ( $a^*$ ) se encuentran en el rango de  $-0,580 \pm 0,142$  y  $1,303 \pm 0,065$ , estos valores son negativos hasta el 9% de PVOH y positivo para 12% de PVOH lo que indica que las tonalidades son ligeramente verdes hasta el 9% de PVOH y cambian a rojas con 12% de PVOH. Todos los valores obtenidos son muy cercanos al cero por lo que no existe un cambio notorio en la concentración de tonalidades. Los datos de azules-amarillos se muestran cercanos al cero hasta un 9% de PVOH y aumenta para la concentración de 12% de PVOH, los valores obtenidos están en el rango de  $0,3 \pm 0,182$  y  $5,260 \pm 0,406$ . El valor promedio de los parámetros de color se encuentra en la tabla 7.

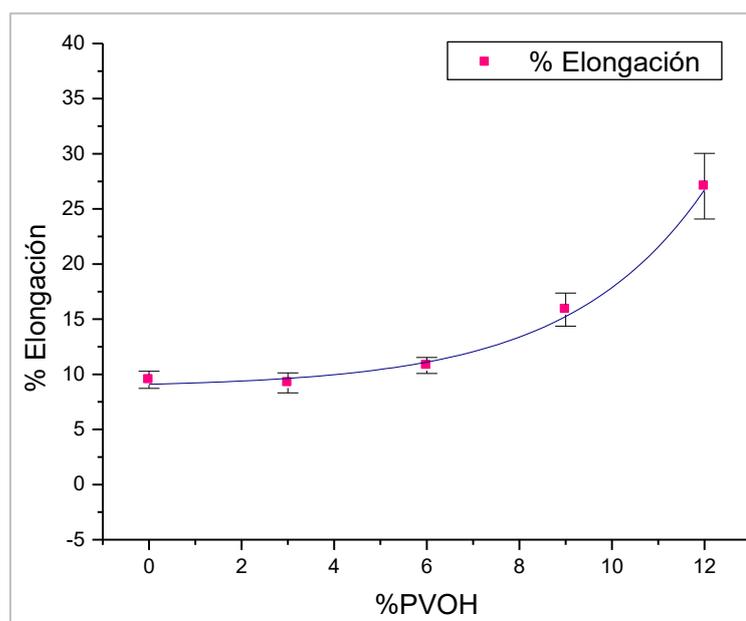
El análisis de varianza (anexo 9) muestra que la concentración del alcohol de polivinilo no influye significativamente sobre los parámetros de diferencia de color ( $\Delta E$ ) y claridad ( $L^*$ ) ( $P > 0,05$ ).

En el caso de los parámetros de verdor-rojez ( $a^*$ ) y azules-amarillez ( $b^*$ ) si presentan diferencia significativa ( $P < 0,05$ ) con relación a la adición de alcohol de polivinilo. La prueba de Tukey revela que para los dos casos ( $a^*$  y  $b^*$ ) existe diferencia únicamente para la concentración de 12% de PVOH.

### 3.5.6. Elongación

La figura 20 muestra el efecto que genera la concentración de alcohol de polivinilo en el porcentaje de elongación de las películas de APSI. La gráfica se ajustó mejor a un modelo exponencial y los valores completos de los parámetros de ajuste se encuentran en la tabla 9.

Los resultados presentan valores máximos de elongación de  $27,063 \pm 2,975\%$  que corresponde a la concentración de 12% de alcohol de polivinilo y valores mínimos de elongación de  $9,228 \pm 0,909\%$  para una concentración de 3% de alcohol de polivinilo (tabla 8). Por otro lado, para la concentración de 0% de PVOH se obtuvieron valores de elongación de  $9,497 \pm 0,777\%$ , estos valores son un tanto cercanos a las películas analizadas con una composición de 3% de PVOH. Lo que puede significar que para concentraciones mayores a 3% se obtendrán películas con mayor porcentaje de elongación.



**Figura 20.** Porcentaje de elongación y concentración de alcohol de polivinilo.

El análisis de varianza (anexo 10) de las pruebas de elongación muestran que existe diferencia significativa para los tratamientos de estudio ( $P < 0,05$ ). La prueba de Tukey revela que la diferencia es mayor a medida que la concentración aumenta a partir de 9% en adelante.

Las muestras de películas elaboradas a partir de almidón de papa modificado utilizando PVOH (en un tanto de 5%) presentan porcentajes máximos de elongación de 13,97% (para

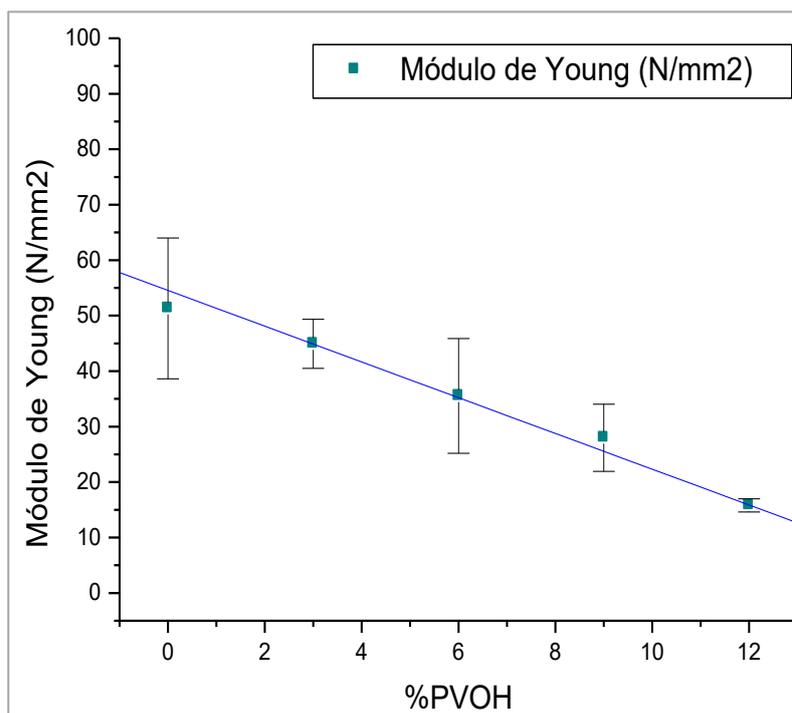
almidón modificado con 5% de ácido acético) y valores mínimos de elongación de 8,45% para almidón modificado con 10% de ácido acético (Alarcón & Arroyo, 2016). Estos datos de elongación son comparables a los obtenidos en la presente investigación; para un porcentaje de 6% y 9% de concentración de PVOH las películas de APSI manifestaron una elongación de  $10,8 \pm 0,721\%$  y  $15,867 \pm 1,501\%$  respectivamente. Las ligeras variaciones de porcentajes se pueden dar debido a la naturaleza de los polímeros utilizados (Almidón - APSI) y el comportamiento de interacción entre las matrices poliméricas de las mezclas que se dan al formarse las películas (Almidón – PVOH y APSI-PVOH).

Carvalho et al (2009) obtuvieron películas a partir de la mezcla de gelatina y Alcohol de Polivinilo. Sus resultados muestran que para una concentración de 0,4gr de PVOH y sorbitol (0,5gr) obtienen valores de elongación de  $17,1 \pm 3,65\%$ . Al aumentar la concentración en 1gr de PVOH la elongación incrementa a  $57,55 \pm 3,3\%$ . Los autores observan que al añadir mas sorbitol (0,9gr) y mantener el PVOH (1gr) el porcentaje de elongación vuelve a incrementar significativamente en un  $125,45 \pm 9,9\%$ . Este comportamiento permite deducir que el aumento del PVOH y sorbitol causan una importante elevación en el porcentaje de elongación, tal como muestran los resultados de la tabla 8 para películas de APSI y PVOH.

### 3.5.7. Módulo de Young

Los resultados experimentales del Módulo de Young de las películas se encuentran promediados en la tabla 8. Y los datos completos del diseño experimental se muestran en el anexo 5.

La figura 21 muestra la relación entre el contenido de alcohol de polivinilo y el módulo de Young de las películas elaboradas de APSI. La gráfica se ajustó mejor a un modelo lineal en el que se puede apreciar que los valores de Módulo de Young disminuyen linealmente a medida que la concentración de PVOH aumenta. Los valores completos de los parámetros de ajuste se encuentran en la tabla 8.



**Figura 21.** Módulo de Young y concentración de alcohol de polivinilo.

Según Domínguez (2016) el módulo de Young es una propiedad de cada material que describe la rigidez ante el cambio en la deformación del material expuesto a un esfuerzo físico. De este modo, un valor elevado de módulo indica menor elasticidad y mayor rigidez. Los datos para módulo de Young obtenidos muestran como punto máximo un valor promedio de  $51.304 \pm 12.693$  N/mm<sup>2</sup> para una concentración de 0% de PVOH y valores mínimos de  $15,799 \pm 1,177$  N/mm<sup>2</sup> para concentración de 12% de PVOH. Lo que nos hace deducir que las películas con 12% de PVOH presentan mayor elasticidad y menor rigidez en comparación con las muestras que contienen bajo porcentaje de PVOH.

Según el análisis de varianza (anexo 11) realizado a los datos de concentración de PVOH y módulo de Young se obtiene que existe diferencia significativa entre los tratamientos de estudio ( $P < 0,05$ ). La prueba de Tukey revela que la diferencia es más significativa a medida que se adiciona alcohol de polivinilo a la composición de las películas. Este comportamiento es comparable con la propiedad de elasticidad ya que están ligados inversamente, es decir, a mayor elasticidad se obtendrá menor módulo de Young.

Moraes et al (2008) estudiaron la mezcla de gelatina y PVOH, en sus resultados determinaron que las películas elaboradas con 30gr PVA/100gr de gelatina (utilizando 2gr de macromoléculas) presentaron un módulo de Young entre  $1,2 \pm 0,8$  y  $1,4 \pm 0,3$ . Lo que

indica que las películas obtenidas tienen muy buenas propiedades elásticas. Los datos de módulo de Young son muy bajos en comparación con las películas de la presente investigación, esto puede ser debido a la concentración de PVOH empleada en la composición de las películas de APSI (de 3% a 12% de PVOH).

Silva et al (2008) estudiaron la influencia de la concentración y el grado de hidrolisis del PVA en películas de gelatina obteniendo resultados para módulo de Young que oscilaron entre  $24.4 \pm 1,1$  y  $28,0 \pm 1,7$ . Datos similares son los que se obtuvieron en la investigación ( $27,996 \pm 6,044$ ) para los tratamientos con 9% de PVOH.

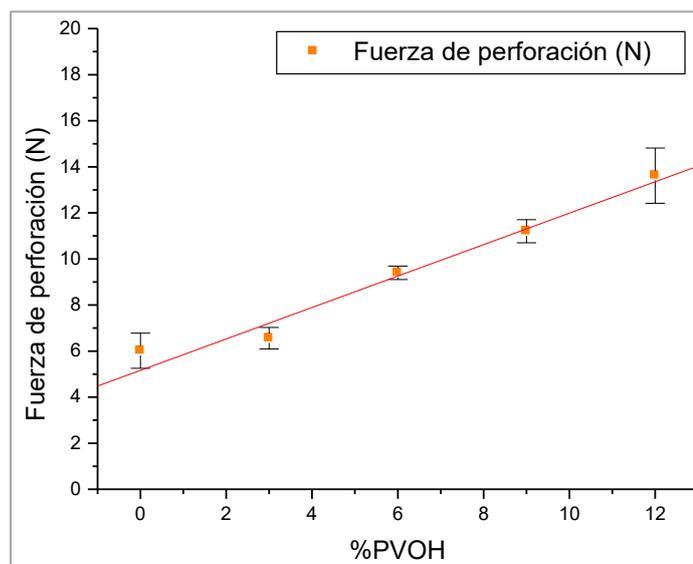
Alata y Cuadros (2017) registran valores de módulo de Young para películas con una concentración de cascara naranja y pectina (30%) de  $6,71 \text{ N/mm}^2$ . Esta propiedad presenta un incremento a medida que la concentración de naranja disminuye hasta sustituirla por completo con celulosa bacteriana (20%) y pectina de naranja (40%) obteniendo como resultado un punto máximo para módulo de Young de  $21,17 \text{ N/mm}^2$ . Este comportamiento indica claramente que la concentración de polímeros y compuestos en las películas influye sobre el módulo de Young volviéndolas más elásticas o rígidas según la influencia de los componentes adicionados.

Trujillo (2014) estudió la interacción del almidón, glicerol y proteína en películas biodegradables, observando un efecto significativo en la reducción del módulo de elasticidad (Young). En sus resultados el autor establece que los valores óptimos deben ser aquellos cuyo módulo de Young sea mínimo (a mayor modulo mayor rigidez), por lo que indica que el valor adecuado es el que presenta  $19,10 \text{ MPa}$ . Tomando como referencia este dato, las películas de APSI compuestas con 12% de PVOH presentan  $15,799 \pm 1.177 \text{ N/mm}^2$ , estos valores son menores a los del autor mencionado por lo que podemos afirmar que las películas de APSI/PVOH/Sorbitol son más elásticas que las de Almidón/Glicerol/Proteína.

### **3.5.8. Fuerza de perforación**

La fuerza de perforación obtenida (tabla 8) para las películas de APSI con diferente concentración de alcohol de polivinilo se encontró entre un promedio de  $6,017 \pm 0,764$  y  $13,617 \pm 1,199 \text{ N}$ . Los datos completos de fuerza obtenidos se encuentran en el anexo 5.

La figura 22 muestra la gráfica de la fuerza máxima de perforación necesaria para romper la película en relación con la concentración de alcohol de polivinilo. La gráfica se ajustó mejor a un modelo lineal en el que se puede apreciar que las películas elaboradas con 12% de PVOH fueron más resistentes a la perforación ( $13,617 \pm 1,199$  N) en comparación con las películas producidas con 0% de PVOH quienes registraron menor resistencia a la perforación ( $6,017 \pm 0,764$  N).



**Figura 22.** Fuerza de perforación y concentración de alcohol de polivinilo.

En la figura 22 se observa que la fuerza de perforación (N) incrementa linealmente a medida que la concentración de PVOH es mayor. Los valores completos de los parámetros de ajuste y coeficiente de regresión se encuentran en la tabla 9.

Los resultados del análisis de varianza (ANOVA) se encuentran en el anexo 12. El análisis muestra que existe diferencia significativa ( $P < 0,05$ ) entre la concentración de PVOH y la fuerza de perforación. La prueba estadística revela que para las películas con 0% y 3% de PVOH la diferencia es mínima. Por otro lado, la diferencia incrementa a medida que la concentración de alcohol de polivinilo es mayor (a partir de 6% en adelante).

Moraes et al (2008) estudiaron la influencia del grado de hidrólisis del PVOH en la composición de películas a base de gelatina. Los autores consideran que las películas más resistentes fueron las que estaban compuestas con PVOH a un grado de hidrólisis entre

98,0 - 98,8%, registrando un promedio para fuerza de perforación de  $10.9 \pm 4.3$  N. Carvalho et al (2009) observaron que las películas hechas con PVOH con un alto grado de hidrólisis eran más resistentes a las perforaciones que las películas producidas usando PVOH con un bajo grado de hidrólisis, los valores para fuerza de perforación se encontraron entre 9 y 26 N.

El estudio de películas a base de proteína de soya y plastificantes registro valores para fuerza de perforación entre 4,18 y 9,04 N. El valor máximo se encontró en el tratamiento con 8,83% de proteína de soya y 14,64% de glicerol como plastificante. El tratamiento con menor fuerza de perforación fue el tratamiento 8, que contiene 15,2% de proteína de soya y el 100% de glicerol como plastificante. Estos resultados indican que la concentración de proteína y plastificante influyen significativamente en las propiedades de perforación (Henríquez, 2016).

## CONCLUSIONES

La materia prima utilizada presentó en su composición un contenido elevado de proteínas (59,9%), por lo que fue posible realizar la extracción mediante el punto isoeléctrico de las proteínas (pH 12 – pH 4,5) obteniendo mediante este proceso un alto rendimiento en la extracción de proteína liofilizada (37,964%).

Fue posible obtener películas biodegradables utilizando aislado proteico de sachá inchi, alcohol de polivinilo y sorbitol como plastificante. La concentración de alcohol de polivinilo (PVOH) tuvo efectos significativos en ( $P < 0,05$ ) sobre las propiedades mecánicas y de barrera. De este modo el comportamiento de las películas fue que a mayor concentración de PVOH se obtuvo un incremento en el porcentaje de elongación (de  $9,497 \pm 0,777\%$  a  $27,063 \pm 2,975\%$ ), fuerza de perforación (de  $6,017 \pm 0,764$  N a  $13,617 \pm 1,199$  N) y por consiguiente menor módulo de Young (de  $51,304 \pm 12,693$  N/mm<sup>2</sup> a  $15,799 \pm 1,177$  N/mm<sup>2</sup>). Las películas con mayor contenido de PVOH (12%) presentaron mejores propiedades de barrera ( $2,918 \pm 9,281 \cdot 10^{-12}$  g m<sup>-1</sup> s<sup>-1</sup> Pa<sup>-1</sup>).

En cuanto a las propiedades físicas de las películas compuestas de APSI y PVOH, la humedad, el espesor, la solubilidad y el color ( $\Delta E$ , L\*, a\* y b\*) no se vieron afectados por la concentración del PVOH, es decir no tuvo efectos significativos en ( $P > 0,05$ ). Teniendo en cuenta esto, se puede considerar que las películas más resistentes son aquellas con mayor contenido de PVOH en su composición.

## RECOMENDACIONES

En cuanto a la preparación de las películas y el método “casting” utilizado se recomienda emplear un método más eficiente para la formación de películas como el método de barrido. Esto con la finalidad de obtener películas con pocas variantes en el espesor.

La preparación de una solución filmogénica a una temperatura adecuada es de vital importancia para obtener películas biodegradables homogéneas. Temperaturas muy elevadas en el proceso (90°C) podrían ocasionar que las proteínas sufran una desnaturalización en su estructura evitando así la formación de la solución filmogénica deseada. Del mismo modo, si no se alcanza una temperatura óptima no sería posible lograr el entrecruzamiento de las matrices poliméricas entre el alcohol de polivinilo y el aislado proteico de Sacha Inchic. Es por ello que uno de los parámetros que deben ser contralados y estudiados es la influencia de la temperatura de preparación en la solución filmogénica.

Teniendo en cuenta los valores obtenidos sobre las propiedades físico-mecánicas de las películas, estos ofrecen una gran ventaja ya que permite entender cómo podrían ser aplicadas a un grupo de alimentos en particular. Las películas con menor valor de permeabilidad y adecuadas propiedades mecánicas resultaron las compuestas por 12% de PVOH y 88% de APSI utilizando sorbitol como plastificante (1,6gr), de este modo se podrían emplear en su mayoría para envasado de frutos y granos secos como arroz, maní, frejoles, maíz, etc.

Se recomienda llevar a cabo estudios sobre isotermas de adsorción para determinar la relación de la actividad del agua y la humedad en equilibrio de las películas, propiedades térmicas mediante calorimetría diferencias de barrido (DSC) y microscopía electrónica de barrido para conocer la afinidad entre los polímeros empleados.

## REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Alarcón, C. H., & Arroyo, B. E. (2016). Evaluación De Las Propiedades Químicas Y Mecánicas De Biopolímeros A Partir Del Almidón Modificado De Papa. *Rev Soc Quím Perú*.
- Alata, E. M., & Cuadros, Y. B. (2017). “Formulación Y Evaluación Físico Mecánica De Películas Biodegradables En Base A Residuos Cítricos Y Celulosa Bacteriana”. Arequipa - Perú: Universidad Nacional De San Agustín De Arequipa.
- Alexy, P., Bakos, D., Hanzelová, S., Kukulíková, L., Kupec, J., Charvátová, K., . . . Cinelli, P. (2003). Mezclas Termoplásticas De Poli (Alcohol Vinílico) -Colágeno Hidrolizado: I. Optimización Del Diseño Experimental Y Comportamiento De Biodegradación.
- Alvarado, Q. K. (2014). “Obtención, Caracterización Físicoquímica, Caracterización Electroforética Y Digestibilidad Del Aislado Proteico Del Residuo Agroindustrial De *Plukenetia Volubilis* (Sacha Inchi)”. Arequipa - Perú: Universidad Católica de Santa María.
- ASTM F735 -94. (2001). Standard Test Method For Abrasion Resistance Of Transparent Plastics And Coatings Using The Oscillating Sand Method. Astm International, West Conshohocken, Pa.
- Atarés, L., Bonilla, J., & Chiralt, A. (2010). Characterization Of Sodium Caseinate-Based Edible Films Incorporated With Cinnamon Or Ginger Essential Oils. . *Journal Of Food Engineering*.
- Avérous, L., & Poller, E. (2012). *Biodegradable Polymers* . Nueva York, Springer : Environmental Silicate Nano-Biocomposites .
- Aydemir, L. Y., Gokbulut, A. A., Baran, Y., & Yemenicioglu, A. (2014). Bioactive, functional and edible film-forming properties of isolated hazelnut (*Corylus avellana* L.) meal proteins. . *Food Hydrocolloids*.
- Bastioli, C. (2001). Global Status Of The Production Of Biobased Packaging Materials. . *Starch/Stärke* . , 53:351-355.
- Batista, J. A., Tanada-Palmu, P. S., & Grosso, C. R. (2005). Efeito Da Adição De Ácidos Graxos Em Filmes À Base De Pectina. *Scientific Electronic Library Online*.

- Blanes, C. M. (2011). "Obtención De Velos De Nanofibras De Alcohol De Polivinilo(Pva) Sobre Substratos Textiles, Con Aplicaciones Como Absorbentes Acústicos.". Valencia: Universidad Politécnica De Valencia Departamento De Ingeniería Textil Y Papelera.
- Bourtoom, T. (2008). Edible Films And Coatings: Characteristics And Properties. . International Food Research Journal. .
- Carvalho, R., & Grosso, C. (2004). Food Hydrocolloids.
- Carvalho, R., Maria, T., Moraes, I., Bergo, P., Kamimura, E., Habitante, A., & Sobral, P. (2009). Estudio De Algunas Propiedades Físicas De Biodegradable Films Basados En Mezclas De Gelatina Y Poli (Alcohol Vinílico) Utilizando Una Metodología De Respuesta De Superficie. Departamento De Ingeniería De Alimentos, Fzea, Universidad De Sao Paulo 13635-900, Pirassununga / Sao Paulo, Brasil, Sao Paulo. Pirassununga / Sao Paulo, Brasil: Ciencia De Los Materiales E Ingeniería C.
- Chen, Q., Liang, S., & Thouas, G. A. (2013). Elastomeric Biomaterials For Tissue Engineering. . Progress In Polymer Science.
- Choi, W., & Han, J. (2001). Physical And Mechanical Properties Of Pea-Protein-Based Edible Films. . Journal Of Food Science,.
- Coronado, M. F. (2012). Caracterización De Películas De Nano Compuestos Biodegradables A Base De Gelatina Producidas Con Un Separador Automático De Películas. Pirassununga.
- Cruz-Morfin, R., Martínez-Tenorio, Y., & López-Malo, A. V. (2013). Biopolímeros Y Su Integración Con Polímeros Convencionales Como Alternativa De Empaque De Alimentos. México: Departamento De Energía Química, Alimentos Y Ambiental, Universidad De Las Americas Puebla.
- Davaco, T. (2006). Desenvolvimento E Caracterização De Biofilmes A Base De Gelatina, Triacetina, Ácido Esteárico Ou Ácido Caprónico E Surfactantes. Campinas: Tese (Mestrado Em Alimentos E Nutrição). Faculdade De Engenharia De Alimentos, Universidade Estadual De Campinas. .
- Dominguez, B. M. (2016). Desarrollo Y Caracterización De Películas Biodegradables A Base De Quitosano, Alcohol De Polivinilo Y Mucílago De Nopal Para La Conservación De Fresa. Querétaro, México.

- Durango, A. M., Soares, N. F., & Arteaga, M. R. (2011). *Filmes Y Revestimientos Comestibles Como Empaques Activos Biodegradables En La Conservacion De Alimentos. . Biotecnologia En El Sector Agropecuario Y Agroindustrial.*
- Ecoembes. (2015). *Diagnóstico De Envases Y Sistemas De Envasado.*
- Ferchau. (2000). *Equipment For Decentralised Cold Pressing Of Oil Seeds. Folkecenter For Renewable Energy.*
- García, M. A., Martina, M. N., & Zaritzky, N. E. (2000). *Microstructural Characterization Of Plasticized Starch-Based Films.*
- Gennadios, A. (2002). *Protein-Based Films And Coating. Usa: Boca Raton, Fl: Crc Press Llc.*
- Gennadios, A. (2004). *Edible Films And Coatings From Proteins. Yada: R.Y. Proteins In Food Processing. Woodhead Publishing. .*
- Gennadios, A., Mchungh, T. H., Weller, C. L., & Krochta, J. M. (1994). *Edible Coatings And Films Based On Proteins Trans.*
- González, J. I. (2017). *Elaboración De Películas Comestibles Y Biodegradables A Partir De Torta De Sacha Inchi. . Tarapoto - Perú: Universidad Naciona De San Martin .*
- Guarda, G., & Galotto, M. G. (2001). *Propiedades Físicas De Materiales Plásticos. Métodos Para Medir Propiedades Físicas En Industrias De Alimentos. Acribia, Zaragoza, España.: En: J. D. Alvarado Y J. M Aguilera (Eds).*
- Guilbert, S., & Biquet, B. (1986). *Techology And Application Of Edible Protective Films. Londres: En"Food Packaging And Preservation". Editado Por Mathlouthi, M. Ed. Elsevier.*
- Guilbert, S., & Gontard, N. (2005). *Agro-Polymers For Edible And Biodegradable Films: Review Of Agricultural Polymeric Materials, Physical And Mechanical Charactersitics. Innovations In Food Packaging, 263-276.*
- Guillén, D. M., Ruiz, A., Cabo, N., Chirinos, R., & Pascual, G. (2003). *Characterization of Sacha Inchi (Plukenetia volubilis L.) Oil by FTIR Spectroscopy and 1H NMR. Comparison with Linseed Oil. Lima-Perú. : Universidad Agraria de La Molina.*
- Gupta, P., & Kumar, K. N. (2010). *Características De Biopolímero A Base De Proteína Y Su Aplicación. Departamentode Biotecnología, Instituto Nacional De Tecnología*

- Raipur,, Polymer Ingeniería Y La Ciencia. India: Sociedad De Ingenieros Plásticos. Obtenido De Wileyonlinelibrary.Com)
- Hamad, K., Kaseem, M., Ko, Y. G., & Deri, F. (2014). Biodegradable Polymer Blends Andcomposites: An Overview. *Polymer Science Series A*, 56(6), 812-829.
- Haq, M., Burgueño, R., Mohanty, A. K., & Misra, M. (2008). Hybrid Bio-Based Composites From Blends Of Unsaturated Polyester And Soybean Oil Reinforced With Nanoclay And Natural Fibers. *Composites Science And Technology*, 68(15–16), 3344-3351.
- Henríquez, V. J. (2016). Optimización De Revestimientos Comestibles A Base De Proteína De Soya, Almidón De Yuca Y Plastificantes En Manzanas (*Malus Domestica*). Zamorano, Honduras: Carrera De Agroindustria Alimentaria.
- Hernández B., E., Cruz R., R., Robledo S., F., & Santoyo M., L. (2007). Caracterización Del Alcohol Polivinílico Usado En Recubrimientos De Base Acuosa. *Asociación Farmacéutica Mexicana, A.C. Mexico: Revista Mexicana De Ciencias Farmacéuticas*, Vol. 38, Núm. 2.
- Hernandez-Izquierdo, V., & Krochta, J. (2008). Thermoplastic Processing Of Proteins For Film Formation . *Journal Of Food Scienc.*
- Jun-Feng, S., Huang, Z., Yuan, X., Wang, X., & Li, M. (2010). *Carbohydrate Polymers*,.
- Krochta, J. M. (2002). Proteins As Raw Materials For Films And Coatings: Definitions, Current Status, And Opportunities. En A. Gennadios, *Protein-Based Films And Coatings* (Págs. 1-41). Boca Raton, Florida: Crc Press Llc.
- Krochta, J. M., & Mulder-Johnston, C. (1997). Edible And Biodegradable Polymer Films: Challenges And Opportunities. *Edible And Biodegradable Polymer Films: Challenges And Opportunities. Food Technol.*
- Krochta, J., Baldwin, E., & Nisperos-Carriedo, M. (1994). *Edible Coatings And Films To Improve Food Quality*. Basilea, Suiza.: Technomic Publishing,Co.
- Le Tien, C., Letendre, M., Ispas-Szabo, P., Mateescu, M., Delmas-Patterson, G., Hl, Y., & Lacroix, M. (2000). Desarrollo De Películas Biodegradables A Partir De Proteínas De Suero Mediante Reticulación Y Atrapamiento En Celulosa. *J Agric Food Chem.*
- León, M. H. (2011). Caracterización Térmica, Morfológica Y Determinación De Las Propiedades De Resistencia A La Tensión De Mezclas De Polivinil Alcohol (Pvoh)

Y Almidón De Yuca. Bogota - Colombia : Universidad Nacional De Colombia, Facultad De Ingenieria, Departamento De Mecanica .

- Limpan, N., Prodpran, T., Benjakul, S., & Prasarpran, S. (2010). Properties Of Biodegradable Blend Films Based On Fish Myofibrillar Protein And Polyvinyl Alcohol As Influenced By Blend Composition And Ph Level. . Journal Of Food Engineering. .
- López De Lacey, A., López-Caballero, M., Gómez-Estaca, J., Gómez-Guillén, M., & Montero, P. (2012). Functionality Of Lactobacillus Acidophilus And Bifidobacterium Bifidum Incorporated To Edible Coatings And Films. Innovative Food Science & Emerging Technologies, 277-282.
- Mali, S., Grossmann, M. V., García, M. A., Martino, M. N., & Zaritzky, N. E. (2002). Microstructural Characterization Of Yam Starch Films. Carbohydrates Polymers.
- Manco, E. C. (2006). Situación y avances del cultivo de Sacha Inchi en el Perú. San Martín - Perú: INIEA – SUDIRGEB - EEA. “EL PORVENIR, .
- Mariano. (27 De Junio De 2011). Tecnología De Los Plásticos. . Obtenido De Propiedades Mecanicas: [Http://Tecnologiadelosplasticos.Blogspot.Com/2011/06/Propiedades-Mecanicas.Html](http://Tecnologiadelosplasticos.Blogspot.Com/2011/06/Propiedades-Mecanicas.Html)
- Martelli, María S; Moore, G; Silva Paes, S; Gandolfo, C & Laurindo, JB (2006). Influence of plasticizers on the water sorption isotherms and water vapor permeability of chicken feather keratin films. LWT Food Sci Tech.
- Mauri, A., & Añon, M. (2006). Effect Of Solution Ph On Solubility And Some Structural Properties Of Soybean Protein Isolate Films. J. Sci. Food Agric.
- Mauri, A., & Añon, M. (2012). Proteínas Como Envases Alimentarios. (Olivas G.I., Soliva-Fortuni R., Martín-Belloso O., González-Aguilar G Ed., Vol. Capítulo 4). Editorial Clav.
- Mendieta-Taboada, O., Sobral, P. J., Carvalho, R. A., & Habitante, A. M. (2009). Estudio De Las Propiedades Termomecánicas De Películas Biodegradables A Base De Mezclas De Gelatina Y Pva. Soc Quím Perú.
- Michaca, M. M. (2014). Efecto De La Adición De Glicerol Como Agente Plastificante En Las Propiedades Físicoquímicas De Las Películas De Zeína. México.

- Montalvo, C., López-Malo, & Palou, E. (2012). Películas Comestibles De Proteína: Características, Propiedades Y Aplicaciones. *Temas Selectos E Ingeniería De Alimentos* , 32-46.
- Moraes, I. C., Silva, G. D., Carvalho, R. A., Habitante, A. Q., Bergo, P. A., & Sobral, P. A. (2008). Influencia Del Grado De Hidrólisis Del Poli (Alcohol Vinílico) En Las Propiedades Físicas De Las Películas Mezclas De Base De Gelatina Y Poli (Alcohol De Vinilo) Plastificado Con Glicerol. *Ciencia Y Tecnología De Los Alimentos* .
- 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. México: *Acta Universitaria*.
- Park, H. J., Byun, Y. J., Kim, Y. T., Whiteside, W. S., & Bae, H. J. (2014). Processes And Applications For Edible Coating And Film Materials From Agropolymers. En J. H. Han, *Innovations In Food Packaging* (Págs. 257-275). Tx, Usa: Academic Press.
- Paschoalick, T. M., Garcia, F. T., Sobral, P. A., & Habitante, A. Q. (2003). Characterization of some functional properties of edible films based on muscle proteins of Nile Tilapia. *Food Hydrocolloids*.
- Pascual, C. G., & Mejía, L. M. (2000). *Extracción y Caracterización de Aceite de Sacha Inchi*. La Molina, Lima – Perú: *Anales Científicos UNALM Vol. 42*, .
- Peinado, D. M. (2015). Estudio De La Biodegradabilidad Y Desintegración De Películas A Base De Almidón Y Pva Que Incorporan Diferentes Sustancias Antimicrobianas . Valencia - España : *Universitat Politècnica De València* .
- Pereda, M., Moreira, M. D., Roura, S. I., Marcovich, N., & Aranguren, M. I. (2014). Bio-Películas Para El Envasado De Alimentos: Proteínas Y Carbohidratos. Mar Del Plata, Argentina.
- Pérez-Villarreal, B., & Báez, R. (2003). Utilización De Ceras Comestibles En La Conservación De Frutas. *Revista De Tecnología E Higiene De Los Alimentos*, 59-65.
- Programa de desarrollo rural sostenible (PDRS)-Giz, & Cooperacion Suiza (SECO). (2008). Línea Base De Productores En Siete Provincias De La Región San Martín. Moyobamba-Perú: *Pdrs-Gtz / Seco* .

- Proyecto Perú Biodiverso . (2013). La Cadena De Valor Del Sacha Inchic En La Región San Martín Análisis Y Lineamientos Estratégicos Para Su Desarrollo. Lima-Perú: Biblioteca Nacional Del Perú.
- Robertson. (1993). Food Of Packaging: Principles And Practice. New York: Marcel Decker.
- Rodríguez, S., & Orrego, A. C. (2016). Aplicaciones De Mezclas De Biopolímeros Y Polímeros Sintéticos: Revisión Bibliográfica. Revista Científica. Doi: 10.14483/Udistrital.Jour.Rc.2016.25.A9
- Ruiz, C., Díaz, C., Anaya, J., & Rojas, R. (2013). Análisis Proximal, Antinutrientes, Perfil De Ácidos Grasos Y De Aminoácidos De Semillas Y Tortas De 2 Especies De Sacha Inchic (*Plukenetia Volubilis* Y *Plukenetia Huayllabambana*). Soc. Quím. Perú V.79 N.1 Lima Ene./Mar. 2013. Obtenido De [Http://Www.Scielo.Org.Pe/SciELO.Php?Script=Sci\\_Arttext&Pid=S1810-634x2013000100005](http://Www.Scielo.Org.Pe/SciELO.Php?Script=Sci_Arttext&Pid=S1810-634x2013000100005)
- Salgado, P. (2009). Proteínas De Girasol: Aislamiento, Caracterización Y Aplicación En La Industria Alimentaria (Tesis Doctoral). Argentina: Universidad Nacional De La Plata .
- Salgado, P., Molina Ortiz, S., Petriccelli, S., & Mauri, A. (2010). Biodegradable Sunflower Protein Films Naturally Activated With Antioxidant Compounds. . Food Hydrocolloids.
- Sánchez-González, L., Quintero, S. J., & Chiralt, A. (2014). Antilisterial And Physical Properties Of Biopolymer Films Containing Lactic Acid Bacteria. . Food Control.
- Santiago, S. M. (2015). Elaboración Y Caracterización De Películas Biodegradables Obtenidas Con Almidón Nanoestructurado. Xalapa De Enríquez, Veracruz, México: Universidad Veracruzana - Instituto De Ciencias Básicas.
- Sarantópoulos, C. L., Oliveira, L. M., Padula, M., Coltro, L. A., & Garcia, E. E. (2002). Embalagens Plásticas Flexíveis. Principais Polímeros E Avaliac;Ao De Propriedades.
- Selvol Polyvinyl Alcohol. (2009). Alcohol Polivinílico—Un Polímero Versátil Para Aplicaciones De Recubrimiento Especializadas. Sekisui Specialty Chemical, S.L.
- Shangwen, T., Peng, Z. X., & Hanguo, H. T. (2008). Efecto De Nano - Sio<sub>2</sub> En El Rendimiento De Peliuclas De Mezcla De Almidon/Alcohol Polivinilico. Carbohydrate Polymers.

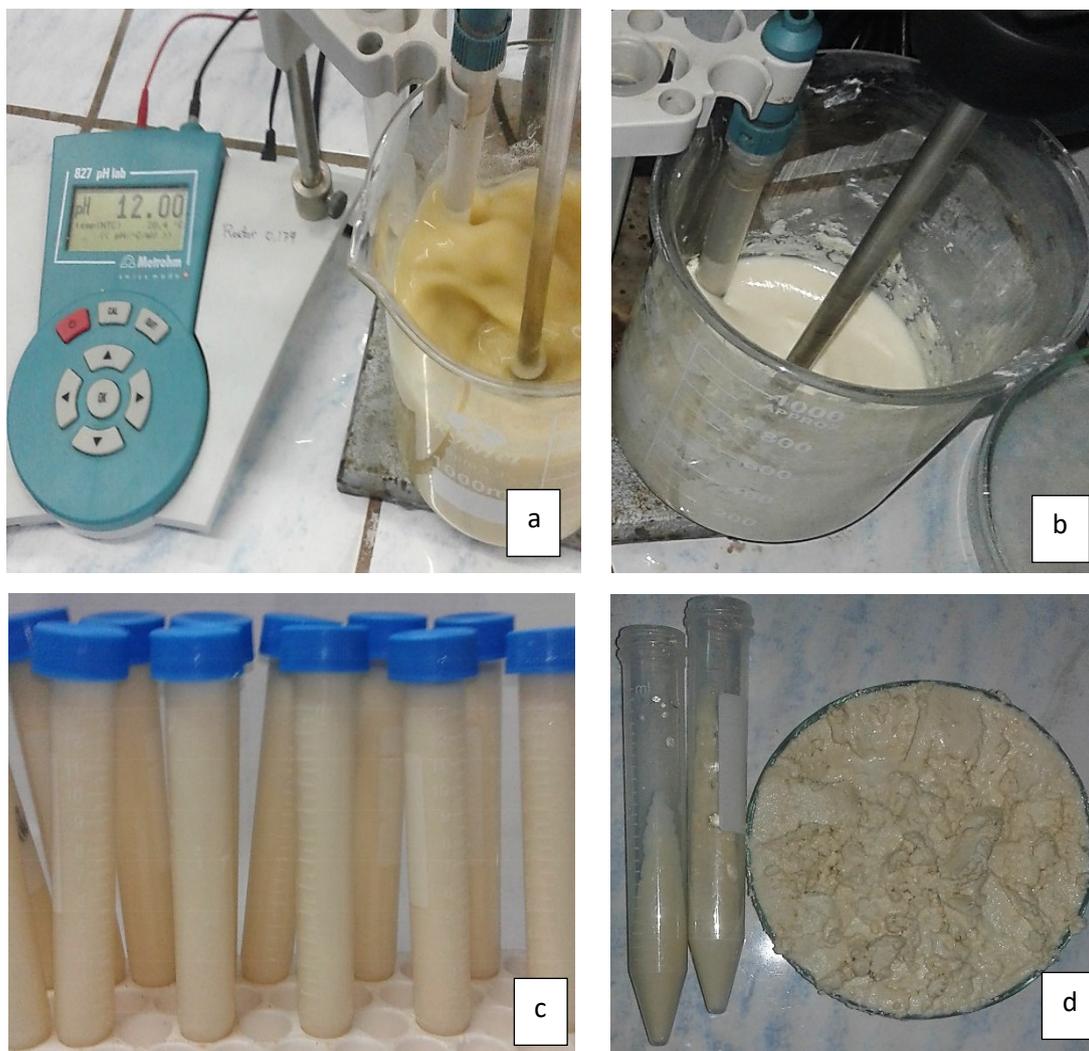
- Shimao, M. (2001). Biodegradation Of Plastics. *Environmental Biotechnology*, 242-247.
- Silva, G. G., Sobral, P. J., Carvalho, R. A., Bergo, P. V., Mendieta-Taboada, O., & Habitante, A. M. (2008). Biodegradable Films Based On Blends Of Gelatin And Poly (Vinyl Alcohol). Effect Of Pva Type Or Concentration On Some Physical Prope.
- Singh, P., & Heldman, D. (2009). *Introducción A La Ingeniería De Los Alimentos*. 2ª Ed. Ed. . Acribia, España. .
- Sionkowska, A. (2011). Current Research On The Blends Of Natural And Synthetic Polymers As New Biomaterials. Bogotá, Colombia: Review. *Progress In Polymer Science*.
- Slade, L., & Levine, H. (1993). Water Relationships In Starch Transitions. *Carbohydrate Polymers*.
- Sobral, P. J., García, F. T., Habitante, A. M., & Monterrey-Quintero, E. S. (2004). Propriedades De Filmes Comestíveis Produzidos Com Diferentes Concentraciones De Plastificantes E De Proteínas Do Músculo De Tilápia-Do-Nilo. Brasília: Pesq. Agropec.
- Sobral, P., Menegalli, F. C., Hubinger, M. D., & Roques, M. A. (2001). Mechanical, Water Vapor Barrier And Thermal Properties Of Gelatin Based Edible Films. *Food Hydrocolloids*, 423-432.
- Sothornvit, R., & Krochta, J. (2005). Plasticizers In Edible Films And Coatings. *Innovations In Food Packaging*, Elsevier.
- Sundararajan, P. R. (1999). "Polymer Data Handbook," M. J.E. , . New York: Oxford University Press.
- Tanabe, T., Okitsu, N., Tachibana, A., & Yamauchi, K. .. (2002). Preparation And Characterization Of Keratin-Chitosan Composite Film. *Biomaterials*.
- Tang, X. Z., Kumar, P., Alavi, S., & Sande, K. P. (2012). Recent Ad- Vances In Biopolymers And Biopolymer-Based Nanocomposites For Food Packaging Materials. . *Critical Reviews In Food Science And Nutrition*,.
- Tapia-Blacido, D., Sobral, P. J., & Menegalli, F. C. (2005). Desarrollo Y Caracterización De Películas Basadas Bio Amarantho En Harina ( *Amaranthus Caudatus*). *Revista De Ingeniería De Alimentos* , 215-223.

- Téllez, A. (2008). Colecta, identificación, determinación taxonómica y análisis de la concentración de ácidos grasos de ecotipos del sachu inchi en la región Amazonas. Lima, Perú.: Perúbiodiverso.
- Tharanathan, R. (2003). Biodegradable Films And Composite Coatings: Past, Present And Future. *Critical Review In Food Science And Technology*, 14:71-78.
- Tian, H., Xu, G., Yang, B., & Guo, G. (2011). Microstructure And Mechanical Properties Of Soy Protein/Agar Blend Films: Effect Of Composition And Processing Methods. . *Journal Of Food Engineering*. .
- Torregrosa, B. M. (2016). Caracterización De Películas Biodegradables Con La Incorporación De Un Agente De Biocontrol. Valencia : Universitat Politècnica De València Escola Tècnica Superior D'Enginyeria Agronòmica I Del Medi Natural.
- Trujillo, C. R. (2014). Obtención De Películas Biodegradables A Partir De Almidón De Yuca (Manihot Esculenta Crantz) Doblemente Modificado Para Uso En Empaque De Alimentos". Puerto Maldonado - Perú: Universidad Nacional Amazónica De Madre De Dios.
- Valencia, A., Rivera, C., & Murillo, E. A. (2013). Estudio De Las Propiedades De Mezclas De Alcohol Polivinílico- Almidón De Yuca-Sorbitol Obtenidas Por Casting. Medellin - Colombia: Revista Colombiana De Materiales N# 4.
- Valenzuela, C. V. (2012). Bio-Películas Comestibles En Base A Mezclas Entre Proteínas De Quínoa Y Quitosano: Elaboración, Caracterización Y Su Aplicación En Frutillas. Santiago De Chile .
- Villamán, D. M. (2007). Elaboración Y Caracterización De Films Comestibles Basadas En Mezclas Entre Proteínas De Quínoa Y Quitosano. Chile: Universidad De Chile .
- Vroman, I., & Tighzert, L. (2009). Biodegradable Polymers. . *Materials*, 2(2), , 307-344.
- Ward, I., & Hardley, D. (1998). An Introduction To The Mechanical Properties Of Solid Polymers. John Wiley & Sons, Great Britain.
- Ward, I., & Sweeney, J. (2004). "An Introduction To Mechanical Properties Of Solid Polymers,". Second Edition Ed. Vol. 1 Cornwall: John Wiley & Sons.
- Zúñiga, R., Skurtys, O., Osorio, F., Aguilera, J., & Pedreschi, F. (2012). Physical Properties Of Emulsion-Based Hydroxypropyl Methylcellulose Films: Effect Of Their Microstructure. *Carbohydrate Polymers*.

**ANEXOS**

## Anexo 1.

Proceso de obtención de aislado proteico de Sacha Inchi mediante el punto isoelectrico de las proteínas.

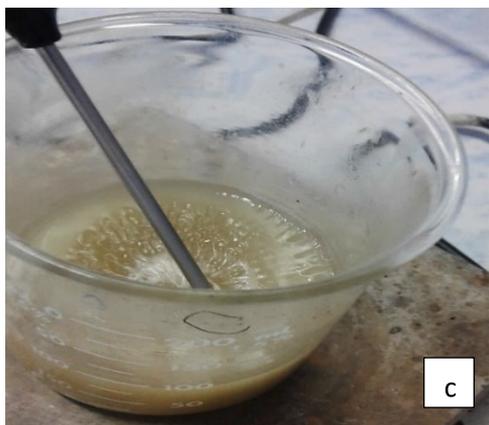
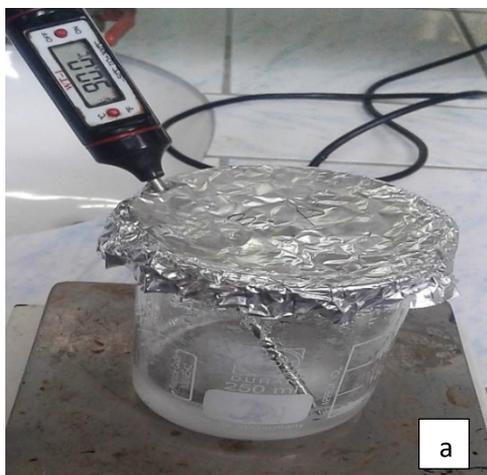


Leyenda:

a. Solubilidad de proteínas (pH 12). b. Precipitación de proteínas (pH 4,5). c. Centrifugación de solución proteica. d. Aislado proteico de Sacha Inchi.

## Anexo 2.

## Preparación de la solución filmogénica APSI/PVOH



Leyenda:

a. Solubilización del PVOH (90°C). b. Tratamiento térmico del APSI (70°C). c. Mezcla de la solución filmogénica. d. Método casting (vaciado en placa). e. Secado de la solución filmogénica (40°C). f. Desprendimiento de películas

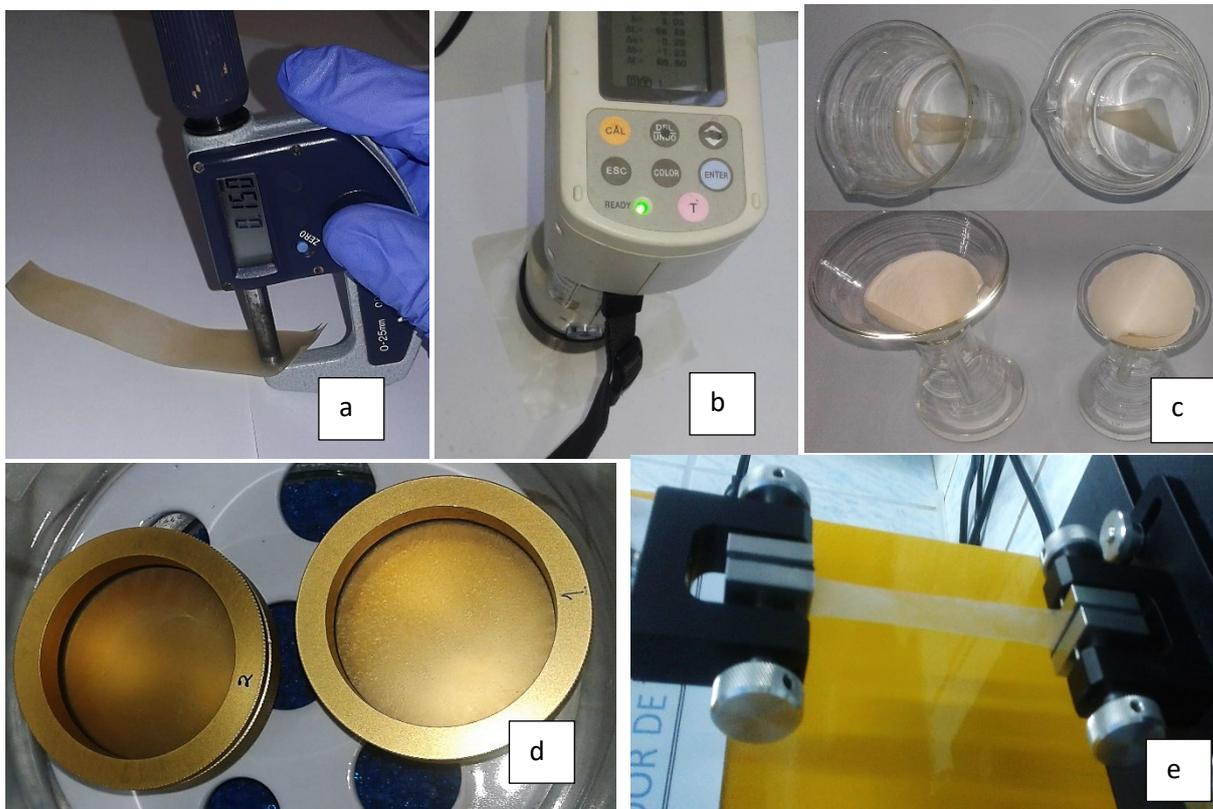
### Anexo 3.

Acondicionamiento de películas para la medición de propiedades físicas y mecánicas.



### Anexo 4.

Medición de propiedades físico-mecánicas



Leyenda:

a. Medición del espesor (mm). b. Medición del color. c. Medición de la solubilidad. d. Medición de la permeabilidad al vapor de agua (PVA). e. Medición de la elongación

### Anexo 5.

Datos de color, humedad, solubilidad, permeabilidad al vapor de agua, elongación y perforación de las películas elaboradas con mezcla de alcohol de polivinilo y aislado proteico de Sacha Inchi.

N°	PVOH %	Color				Humedad (%)	Solubilidad (%)	Espesor (mm)	PVA ( $10^{-12} \text{ g m}^{-1} \text{ s}^{-1} \text{ Pa}^{-1}$ )	Elongación (%)	Módulo Young (N/mm <sup>2</sup> )	Perforación (N)
		$\Delta E^*$	L*	a*	b*							
1	0	50,42	89,06	-0,73	0,45	17,366	53,375	0,161	4,061	8,600	65,741	6,683
2	0	52,07	90,05	-0,53	2,4	17,341	55,604	0,142	4,384	9,920	41,898	5,183
3	0	53,71	90,05	-0,58	1,6	17,354	57,833	0,152	3,979	9,971	46,274	6,183
4	3	49,65	88,03	-0,68	1,59	17,351	55,022	0,145	3,877	10,150	40,006	7,067
5	3	51	89,32	-0,57	0,97	17,364	58,461	0,158	4,113	8,333	48,606	6,144
6	3	50,81	86,24	-0,57	2,17	17,333	56,741	0,139	3,755	9,200	46,175	6,465
7	6	49,3	87,98	-0,74	1,39	17,43	55,191	0,148	3,489	10,600	38,312	9,117
8	6	50,55	88,39	-0,53	0,25	17,35	56,716	0,153	3,149	11,600	24,090	9,700
9	6	48,82	86,6	-0,47	0,55	17,341	55,083	0,145	3,503	10,200	44,192	9,383
10	9	53,87	90,09	-0,89	0,39	17,349	55,341	0,157	3,423	14,400	21,062	11,450
11	9	50,41	89,4	-0,89	0,42	17,354	57,007	0,147	3,068	15,800	30,784	11,533
12	9	53,22	90,05	-0,98	0,09	17,364	55,668	0,137	2,901	17,400	32,143	10,628
13	12	49,89	85,91	1,3	4,92	17,417	56,848	0,158	2,595	23,933	16,299	14,350
14	12	50,23	87,986	1,37	5,71	17,341	54,335	0,139	3,057	29,855	16,643	14,267
15	12	48,86	87,86	1,24	5,15	17,369	58,362	0,145	3,102	27,400	14,455	12,233

### Anexo 6.

Análisis estadístico (ANOVA) para humedad de las películas elaboradas con mezcla de alcohol de polivinilo y aislado proteico de sachá inchi.

ANOVA  
Humedad %

	Suma de cuadrados	gl	Media cuadrática	F	Sig.
Entre grupos	,002	4	,000	,513	,728
Dentro de grupos	,009	10	,001		
Total	,010	14			

### Pruebas POST HOC

Comparaciones múltiples de los valores de porcentaje de Humedad de las películas biodegradables de PVOH/APSI  
HSD Tukey

(I) Alcohol de polivinilo	(J) Alcohol de polivinilo	Diferencia de medias (I-J)	Error estándar	Sig.	95% de intervalo de confianza	
					Límite inferior	Límite superior
0	3	,004500	,024074	1,000	-,07473	,08373
	6	-,020000	,024074	,915	-,09923	,05923
	9	-,002154	,024074	1,000	-,08138	,07708
	12	-,022000	,024074	,885	-,10123	,05723
3	0	-,004500	,024074	1,000	-,08373	,07473
	6	-,024500	,024074	,842	-,10373	,05473
	9	-,006654	,024074	,998	-,08588	,07258
	12	-,026500	,024074	,803	-,10573	,05273
6	0	,020000	,024074	,915	-,05923	,09923
	3	,024500	,024074	,842	-,05473	,10373
	9	,017846	,024074	,942	-,06138	,09708
	12	-,002000	,024074	1,000	-,08123	,07723
9	0	,002154	,024074	1,000	-,07708	,08138
	3	,006654	,024074	,998	-,07258	,08588
	6	-,017846	,024074	,942	-,09708	,06138
	12	-,019846	,024074	,917	-,09908	,05938
12	0	,022000	,024074	,885	-,05723	,10123
	3	,026500	,024074	,803	-,05273	,10573
	6	,002000	,024074	1,000	-,07723	,08123
	9	,019846	,024074	,917	-,05938	,09908

### Subconjuntos Homogéneos

Medias del porcentaje de Humedad de los tratamientos de estudio.

HSD Tukey<sup>a</sup>

Alcohol de polivinilo	N	Subconjunto para alfa = 0.05
		1
3	3	17,34917
0	3	17,35367
9	3	17,35582
6	3	17,37367
12	3	17,37567
Sig.		,803

Se visualizan las medias para los grupos en los subconjuntos homogéneos.

a. Utiliza el tamaño de la muestra de la media armónica = 3.000.

### Anexo 7.

Análisis estadístico (ANOVA) para solubilidad de las películas elaboradas con mezcla de alcohol de polivinilo y aislado proteico de sachá inchi.

ANOVA  
% Solubilidad

	Suma de cuadrados	Gl	Media cuadrática	F	Sig.
Entre grupos	3,087	4	,772	,282	,883
Dentro de grupos	27,351	10	2,735		
Total	30,438	14			

### Pruebas POST HOC

Comparaciones múltiples de los valores de porcentaje de Solubilidad de las películas biodegradables de PVOH/APSI

HSD Tukey

(I) Alcohol de polivinilo	(J) Alcohol de polivinilo	Diferencia de medias (I-J)	Error estándar	Sig.	95% de intervalo de confianza	
					Límite inferior	Límite superior
0	3	-1,137333	1,350343	,911	-5,58142	3,30676
	6	-,059333	1,350343	1,000	-4,50342	4,38476
	9	-,401333	1,350343	,998	-4,84542	4,04276
	12	-,911000	1,350343	,958	-5,35509	3,53309
3	0	1,137333	1,350343	,911	-3,30676	5,58142
	6	1,078000	1,350343	,925	-3,36609	5,52209
	9	,736000	1,350343	,980	-3,70809	5,18009
	12	,226333	1,350343	1,000	-4,21776	4,67042
6	0	,059333	1,350343	1,000	-4,38476	4,50342
	3	-1,078000	1,350343	,925	-5,52209	3,36609
	9	-,342000	1,350343	,999	-4,78609	4,10209
	12	-,851667	1,350343	,966	-5,29576	3,59242
9	0	,401333	1,350343	,998	-4,04276	4,84542
	3	-,736000	1,350343	,980	-5,18009	3,70809
	6	,342000	1,350343	,999	-4,10209	4,78609
	12	-,509667	1,350343	,995	-4,95376	3,93442
12	0	,911000	1,350343	,958	-3,53309	5,35509
	3	-,226333	1,350343	1,000	-4,67042	4,21776
	6	,851667	1,350343	,966	-3,59242	5,29576
	9	,509667	1,350343	,995	-3,93442	4,95376

### Subconjuntos homogéneos

Medias del porcentaje de solubilidad de los tratamientos de estudio.

HSD Tukey<sup>a</sup>

Alcohol de polivinilo	N	Subconjunto para alfa = 0.05
		1
0	3	55,60400
6	3	55,66333
9	3	56,00533
12	3	56,51500
3	3	56,74133
Sig.		,911

Se visualizan las medias para los grupos en los subconjuntos homogéneos.

a. Utiliza el tamaño de la muestra de la media armónica = 3.000.

### Anexo 8.

Análisis estadístico (ANOVA) para espesor de las películas elaboradas con mezcla de alcohol de polivinilo y aislado proteico de sachá inchi.

ANOVA  
Espesor (mm)

	Suma de cuadrados	gl	Media cuadrática	F	Sig.
Entre grupos	,000	4	,000	,142	,962
Dentro de grupos	,001	10	,000		
Total	,001	14			

### Pruebas POST HOC

Comparaciones múltiples de los valores de espesor de las películas biodegradables de PVOH/APSI

HSD Tukey

(I) Alcohol de polivinilo	(J) Alcohol de polivinilo	Diferencia de medias (I-J)	Error estándar	Sig.	95% de intervalo de confianza	
					Límite inferior	Límite superior
0	3	,004333	,007260	,972	-,01956	,02823
	6	,003000	,007260	,993	-,02089	,02689
	9	,004667	,007260	,964	-,01923	,02856
	12	,004333	,007260	,972	-,01956	,02823
3	0	-,004333	,007260	,972	-,02823	,01956
	6	-,001333	,007260	1,000	-,02523	,02256
	9	,000333	,007260	1,000	-,02356	,02423
	12	,000000	,007260	1,000	-,02389	,02389
6	0	-,003000	,007260	,993	-,02689	,02089
	3	,001333	,007260	1,000	-,02256	,02523
	9	,001667	,007260	,999	-,02223	,02556
	12	,001333	,007260	1,000	-,02256	,02523
9	0	-,004667	,007260	,964	-,02856	,01923
	3	-,000333	,007260	1,000	-,02423	,02356
	6	-,001667	,007260	,999	-,02556	,02223
	12	-,000333	,007260	1,000	-,02423	,02356
12	0	-,004333	,007260	,972	-,02823	,01956
	3	,000000	,007260	1,000	-,02389	,02389
	6	-,001333	,007260	1,000	-,02523	,02256
	9	,000333	,007260	1,000	-,02356	,02423

### Subconjuntos homogéneos

Medias del espesor de los tratamientos de estudio.

**Espesor (mm)**

HSD Tukey<sup>a</sup>

Alcohol de polivinilo	N	Subconjunto para alfa = 0.05
		1
9	3	,14700
3	3	,14733
12	3	,14733
6	3	,14867
0	3	,15167
Sig.		,964

Se visualizan las medias para los grupos en los subconjuntos homogéneos.

a. Utiliza el tamaño de la muestra de la media armónica = 3.000.

### Anexo 9.

Análisis estadístico (ANOVA) para permeabilidad al vapor de agua de las películas elaboradas con mezcla de alcohol de polivinilo y aislado proteico de sachá inchi.

ANOVA  
Permeabilidad al vapor de agua

	Suma de cuadrados	gl	Media cuadrática	F	Sig.
Entre grupos	3,219	4	,805	14,959	,000
Dentro de grupos	,538	10	,054		
Total	3,757	14			

### Pruebas POST HOC

Comparaciones múltiples de los valores de permeabilidad al vapor de agua de las películas biodegradables de PVOH/APSI

HSD Tukey

(I) Alcohol de polivinilo	(J) Alcohol de polivinilo	Diferencia de medias (I-J)	Error estándar	Sig.	95% de intervalo de confianza	
					Límite inferior	Límite superior
0	3	,226333	,189376	,754	-,39692	,84959
	6	,761000*	,189376	,016	,13775	1,38425
	9	1,010667*	,189376	,002	,38741	1,63392
	12	1,223333*	,189376	,001	,60008	1,84659
3	0	-,226333	,189376	,754	-,84959	,39692
	6	,534667	,189376	,103	-,08859	1,15792
	9	,784333*	,189376	,013	,16108	1,40759
	12	,997000*	,189376	,003	,37375	1,62025
6	0	-,761000*	,189376	,016	-1,38425	-,13775
	3	-,534667	,189376	,103	-1,15792	,08859
	9	,249667	,189376	,687	-,37359	,87292
	12	,462333	,189376	,181	-,16092	1,08559
9	0	-1,010667*	,189376	,002	-1,63392	-,38741
	3	-,784333*	,189376	,013	-1,40759	-,16108
	6	-,249667	,189376	,687	-,87292	,37359
	12	,212667	,189376	,792	-,41059	,83592
12	0	-1,223333*	,189376	,001	-1,84659	-,60008
	3	-,997000*	,189376	,003	-1,62025	-,37375
	6	-,462333	,189376	,181	-1,08559	,16092
	9	-,212667	,189376	,792	-,83592	,41059

\*. La diferencia de medias es significativa en el nivel 0.05.

### Subconjuntos homogéneos

Medias de permeabilidad al vapor de agua de los tratamientos de estudio.

#### Permeabilidad al vapor de agua

HSD Tukey<sup>a</sup>

Alcohol de polivinilo	N	Subconjunto para alfa = 0.05		
		1	2	3
12	3	2,91800		
9	3	3,13067		
6	3	3,38033	3,38033	
3	3		3,91500	3,91500
0	3			4,14133
Sig.		,181	,103	,754

Se visualizan las medias para los grupos en los subconjuntos homogéneos.

a. Utiliza el tamaño de la muestra de la media armónica = 3.000.

**Anexo 10.**

Análisis estadístico (ANOVA) para color de las películas elaboradas con mezcla de alcohol de polivinilo y aislado proteico de sachá inchi.

ANOVA  
DIFERENCIA DE COLOR

	Suma de cuadrados	Gl	Media cuadrática	F	Sig.
Entre grupos	22,271	4	5,568	3,511	,049
Dentro de grupos	15,857	10	1,586		
Total	38,127	14			

**Pruebas POST HOC**

Comparaciones múltiples de los valores de diferencia de color de las películas biodegradables de PVOH/APSI

## HSD Tukey

(I) PORCENTAJE DE PVOH	(J) PORCENTAJE DE PVOH	Diferencia de medias (I-J)	Error estándar	Sig.	95% de intervalo de confianza	
					Límite inferior	Límite superior
0	3	1,580000	1,028157	,564	-1,80375	4,96375
	6	2,510000	1,028157	,181	-,87375	5,89375
	9	-,433333	1,028157	,992	-3,81708	2,95042
	12	2,406667	1,028157	,209	-,97708	5,79042
3	0	-1,580000	1,028157	,564	-4,96375	1,80375
	6	,930000	1,028157	,889	-2,45375	4,31375
	9	-2,013333	1,028157	,350	-5,39708	1,37042
	12	,826667	1,028157	,924	-2,55708	4,21042
6	0	-2,510000	1,028157	,181	-5,89375	,87375
	3	-,930000	1,028157	,889	-4,31375	2,45375
	9	-2,943333	1,028157	,097	-6,32708	,44042
	12	-,103333	1,028157	1,000	-3,48708	3,28042
9	0	,433333	1,028157	,992	-2,95042	3,81708
	3	2,013333	1,028157	,350	-1,37042	5,39708
	6	2,943333	1,028157	,097	-,44042	6,32708
	12	2,840000	1,028157	,113	-,54375	6,22375
12	0	-2,406667	1,028157	,209	-5,79042	,97708
	3	-,826667	1,028157	,924	-4,21042	2,55708
	6	,103333	1,028157	1,000	-3,28042	3,48708
	9	-2,840000	1,028157	,113	-6,22375	,54375

### Subconjuntos homogéneos

Medias del color de los tratamientos de estudio.

#### Diferencia de color

HSD Tukey<sup>a</sup>

Porcentaje de PVOH	N	Subconjunto para alfa = 0.05
		1
6	3	49,55667
12	3	49,66000
3	3	50,48667
0	3	52,06667
9	3	52,50000
Sig.		,097

Se visualizan las medias para los grupos en los subconjuntos homogéneos.

a. Utiliza el tamaño de la muestra de la media armónica = 3.000.

#### ANOVA

Claridad

	Suma de cuadrados	gl	Media cuadrática	F	Sig.
Entre grupos	17,912	4	4,478	4,387	,026
Dentro de grupos	10,207	10	1,021		
Total	28,119	14			

### Pruebas post hoc

Comparaciones múltiples de los valores de color (claridad) de las películas biodegradables de PVOH/APSI

#### HSD Tukey

(I) PORCENTAJE DE PVOH	(J) PORCENTAJE DE PVOH	Diferencia de medias (I-J)	Error estándar	Sig.	95% de intervalo de confianza	
					Límite inferior	Límite superior
0	3	1,856667	,824887	,237	-,85810	4,57144
	6	2,063333	,824887	,166	-,65144	4,77810
	9	-,126667	,824887	1,000	-2,84144	2,58810
	12	2,468000	,824887	,079	-,24677	5,18277
3	0	-1,856667	,824887	,237	-4,57144	,85810
	6	,206667	,824887	,999	-2,50810	2,92144
	9	-1,983333	,824887	,191	-4,69810	,73144
	12	,611333	,824887	,942	-2,10344	3,32610
6	0	-2,063333	,824887	,166	-4,77810	,65144
	3	-,206667	,824887	,999	-2,92144	2,50810
	9	-2,190000	,824887	,132	-4,90477	,52477
	12	,404667	,824887	,986	-2,31010	3,11944
9	0	,126667	,824887	1,000	-2,58810	2,84144
	3	1,983333	,824887	,191	-,73144	4,69810
	6	2,190000	,824887	,132	-,52477	4,90477
	12	2,594667	,824887	,063	-,12010	5,30944
12	0	-2,468000	,824887	,079	-5,18277	,24677
	3	-,611333	,824887	,942	-3,32610	2,10344
	6	-,404667	,824887	,986	-3,11944	2,31010
	9	-2,594667	,824887	,063	-5,30944	,12010

### Subconjuntos homogéneos

Medias del color de los tratamientos de estudio.

#### Claridad HSD Tukey<sup>a</sup>

PORCENTAJE DE PVOH	N	Subconjunto para alfa = 0.05
		1
12	3	87,25200
6	3	87,65667
3	3	87,86333
0	3	89,72000
9	3	89,84667
Sig.		,063

Se visualizan las medias para los grupos en los subconjuntos homogéneos.

a. Utiliza el tamaño de la muestra de la media armónica = 3.000.

### Verdor – Rojez

ANOVA

Verdor – rojez

	Suma de cuadrados	gl	Media cuadrática	F	Sig.
Entre grupos	9,429	4	2,357	192,480	,000
Dentro de grupos	,122	10	,012		
Total	9,551	14			

### Pruebas post hoc

Comparaciones múltiples de los valores de color (rojo-verde) de las películas biodegradables de PVOH/APSI

#### HSD Tukey

(I) PORCENT AJE DE PVOH	(J) PORCENTAJE DE PVOH	Diferencia de medias (I-J)	Error estándar	Sig.	95% de intervalo de confianza	
					Límite inferior	Límite superior
0	3	-,00667	,09036	1,000	-,3040	,2907
	6	-,03333	,09036	,995	-,3307	,2640
	9	,24000	,09036	,132	-,0574	,5374
	12	-1,91667*	,09036	,000	-2,2140	-1,6193
3	0	,00667	,09036	1,000	-,2907	,3040
	6	-,02667	,09036	,998	-,3240	,2707
	9	,24667	,09036	,118	-,0507	,5440
	12	-1,91000*	,09036	,000	-2,2074	-1,6126
6	0	,03333	,09036	,995	-,2640	,3307
	3	,02667	,09036	,998	-,2707	,3240
	9	,27333	,09036	,075	-,0240	,5707
	12	-1,88333*	,09036	,000	-2,1807	-1,5860
9	0	-,24000	,09036	,132	-,5374	,0574
	3	-,24667	,09036	,118	-,5440	,0507
	6	-,27333	,09036	,075	-,5707	,0240
	12	-2,15667*	,09036	,000	-2,4540	-1,8593
12	0	1,91667*	,09036	,000	1,6193	2,2140
	3	1,91000*	,09036	,000	1,6126	2,2074
	6	1,88333*	,09036	,000	1,5860	2,1807
	9	2,15667*	,09036	,000	1,8593	2,4540

\*. La diferencia de medias es significativa en el nivel 0.05.

### Subconjuntos homogéneos

Medias del color de los tratamientos de estudio.

#### Rojo - Verde

HSD Tukey<sup>a</sup>

PORCENTAJE DE PVOH	N	Subconjunto para alfa = 0.05	
		1	2
9	3	-,8533	
0	3	-,6133	
3	3	-,6067	
6	3	-,5800	
12	3		1,3033
Sig.		,075	1,000

Se visualizan las medias para los grupos en los subconjuntos homogéneos.

a. Utiliza el tamaño de la muestra de la media armónica = 3.000.

#### ANOVA azules amarillez

	Suma de cuadrados	Gl	Media cuadrática	F	Sig.
Entre grupos	46,476	4	11,619	31,091	,000
Dentro de grupos	3,737	10	,374		
Total	50,214	14			

### Pruebas post hoc

Comparaciones múltiples de los valores de color (azules – amarillez) de las películas biodegradables de PVOH/APSI

#### HSD Tukey

(I) PORCENTAJE DE PVOH	(J) PORCENTAJE DE PVOH	Diferencia de medias (I-J)	Error estándar	Sig.	95% de intervalo de confianza	
					Límite inferior	Límite superior
0	3	-,09333	,49914	1,000	-1,7360	1,5494
	6	,75333	,49914	,579	-,8894	2,3960
	9	1,18333	,49914	,201	-,4594	2,8260
	12	-3,77667*	,49914	,000	-5,4194	-2,1340
3	0	,09333	,49914	1,000	-1,5494	1,7360
	6	,84667	,49914	,477	-,7960	2,4894
	9	1,27667	,49914	,153	-,3660	2,9194
	12	-3,68333*	,49914	,000	-5,3260	-2,0406
6	0	-,75333	,49914	,579	-2,3960	,8894
	3	-,84667	,49914	,477	-2,4894	,7960
	9	,43000	,49914	,905	-1,2127	2,0727
	12	-4,53000*	,49914	,000	-6,1727	-2,8873
9	0	-1,18333	,49914	,201	-2,8260	,4594
	3	-1,27667	,49914	,153	-2,9194	,3660
	6	-,43000	,49914	,905	-2,0727	1,2127
	12	-4,96000*	,49914	,000	-6,6027	-3,3173
12	0	3,77667*	,49914	,000	2,1340	5,4194
	3	3,68333*	,49914	,000	2,0406	5,3260
	6	4,53000*	,49914	,000	2,8873	6,1727
	9	4,96000*	,49914	,000	3,3173	6,6027

\*. La diferencia de medias es significativa en el nivel 0.05.

### Subconjuntos homogéneos

Medias del color de los tratamientos de estudio.

#### Azules Amarillez

#### HSD Tukey<sup>a</sup>

PORCENTAJE DE PVOH	N	Subconjunto para alfa = 0.05	
		1	2
9	3	,3000	
6	3	,7300	
0	3	1,4833	
3	3	1,5767	
12	3		5,2600
Sig.		,153	1,000

Se visualizan las medias para los grupos en los subconjuntos homogéneos.

Utiliza el tamaño de la muestra de la media armónica = 3.000.

### Anexo 11.

Análisis estadístico (ANOVA) para porcentaje elongación de las películas elaboradas con mezcla de alcohol de polivinilo y aislado proteico de sachá inchi.

#### ANOVA

##### ELONGACION (%)

	Suma de cuadrados	Gl	Media cuadrática	F	Sig.
Entre grupos	678,616	4	169,654	64,970	,000
Dentro de grupos	26,113	10	2,611		
Total	704,729	14			

#### Pruebas post hoc

Comparaciones múltiples de los valores de porcentaje de elongación de las películas biodegradables de PVOH/APSI

##### HSD Tukey

(I) ALCOHOL DE POLIVINILO (%)	(J) ALCOHOL DE POLIVINILO (%)	Diferencia de medias (I-J)	Error estándar	Sig.	95% de intervalo de confianza	
					Límite inferior	Límite superior
0	3	,26933	1,31941	1,000	-4,0729	4,6116
	6	-1,30300	1,31941	,855	-5,6453	3,0393
	9	-6,36967*	1,31941	,005	-10,7119	-2,0274
	12	-17,56567*	1,31941	,000	-21,9079	-13,2234
3	0	-,26933	1,31941	1,000	-4,6116	4,0729
	6	-1,57233	1,31941	,756	-5,9146	2,7699
	9	-6,63900*	1,31941	,004	-10,9813	-2,2967
	12	-17,83500*	1,31941	,000	-22,1773	-13,4927
6	0	1,30300	1,31941	,855	-3,0393	5,6453
	3	1,57233	1,31941	,756	-2,7699	5,9146
	9	-5,06667*	1,31941	,021	-9,4089	-,7244
	12	-16,26267*	1,31941	,000	-20,6049	-11,9204
9	0	6,36967*	1,31941	,005	2,0274	10,7119
	3	6,63900*	1,31941	,004	2,2967	10,9813
	6	5,06667*	1,31941	,021	,7244	9,4089
	12	-11,19600*	1,31941	,000	-15,5383	-6,8537
12	0	17,56567*	1,31941	,000	13,2234	21,9079
	3	17,83500*	1,31941	,000	13,4927	22,1773
	6	16,26267*	1,31941	,000	11,9204	20,6049
	9	11,19600*	1,31941	,000	6,8537	15,5383

\*. La diferencia de medias es significativa en el nivel 0.05.

### Subconjuntos homogéneos

Medias del porcentaje de elongación de los tratamientos de estudio.

ELONGACION (%)

HSD Tukey<sup>a</sup>

ALCOHOL DE POLIVINILO (%)	N	Subconjunto para alfa = 0.05		
		1	2	3
3	3	9,2277		
0	3	9,4970		
6	3	10,8000		
9	3		15,8667	
12	3			27,0627
Sig.		,756	1,000	1,000

Se visualizan las medias para los grupos en los subconjuntos homogéneos.

a. Utiliza el tamaño de la muestra de la media armónica = 3.000.

**Anexo 12.**

Análisis estadístico (ANOVA) para módulo de Young de las películas elaboradas con mezcla de alcohol de polivinilo y aislado proteico de sachá inchi.

ANOVA  
MODULO DE YOUNG (N/mm<sup>2</sup>)

	Suma de cuadrados	gl	Media cuadrática	F	Sig.
Entre grupos	2347,097	4	586,774	9,014	,002
Dentro de grupos	650,972	10	65,097		
Total	2998,069	14			

**Pruebas post hoc**

Comparaciones múltiples de los valores de módulo de Young de las películas biodegradables de PVOH/APSI

## HSD Tukey

(I) ALCOHOL DE POLIVINILO (%)	(J) ALCOHOL DE POLIVINILO (%)	Diferencia de medias (I-J)	Error estándar	Sig.	95% de intervalo de confianza	
					Límite inferior	Límite superior
0	3	6,37533	6,58773	,864	-15,3054	28,0561
	6	15,77300	6,58773	,194	-5,9078	37,4538
	9	23,30800*	6,58773	,034	1,6272	44,9888
	12	35,50533*	6,58773	,002	13,8246	57,1861
3	0	-6,37533	6,58773	,864	-28,0561	15,3054
	6	9,39767	6,58773	,626	-12,2831	31,0784
	9	16,93267	6,58773	,150	-4,7481	38,6134
	12	29,13000*	6,58773	,009	7,4492	50,8108
6	0	-15,77300	6,58773	,194	-37,4538	5,9078
	3	-9,39767	6,58773	,626	-31,0784	12,2831
	9	7,53500	6,58773	,781	-14,1458	29,2158
	12	19,73233	6,58773	,079	-1,9484	41,4131
9	0	-23,30800*	6,58773	,034	-44,9888	-1,6272
	3	-16,93267	6,58773	,150	-38,6134	4,7481
	6	-7,53500	6,58773	,781	-29,2158	14,1458
	12	12,19733	6,58773	,399	-9,4834	33,8781
12	0	-35,50533*	6,58773	,002	-57,1861	-13,8246
	3	-29,13000*	6,58773	,009	-50,8108	-7,4492
	6	-19,73233	6,58773	,079	-41,4131	1,9484
	9	-12,19733	6,58773	,399	-33,8781	9,4834

\*. La diferencia de medias es significativa en el nivel 0.05.

### Subconjuntos homogéneos

Medias del Módulo de Young de los tratamientos de estudio.

#### MODULO DE YOUNG (N/mm2)

HSD Tukey<sup>a</sup>

ALCOHOL DE POLIVINILO (%)	N	Subconjunto para alfa = 0.05		
		1	2	3
12	3	15,7990		
9	3	27,9963	27,9963	
6	3	35,5313	35,5313	35,5313
3	3		44,9290	44,9290
0	3			51,3043
Sig.		,079	,150	,194

Se visualizan las medias para los grupos en los subconjuntos homogéneos.

a. Utiliza el tamaño de la muestra de la media armónica = 3.000.

### Anexo 13.

Análisis estadístico (ANOVA) para fuerza de perforación de las películas elaboradas con mezcla de alcohol de polivinilo y aislado proteico de sachá inchi.

ANOVA  
FUERZA DE PERFORACIÓN (N)

	Suma de cuadrados	gl	Media cuadrática	F	Sig.
Entre grupos	121,642	4	30,411	59,027	,000
Dentro de grupos	5,152	10	,515		
Total	126,794	14			

#### Pruebas post hoc

Comparaciones múltiples de los valores de fuerza de perforación de las películas biodegradables de PVOH/APSI

#### HSD Tukey

(I) ALCOHOL DE POLIVINILO (%)	(J) ALCOHOL DE POLIVINILO (%)	Diferencia de medias (I-J)	Error estándar	Sig.	95% de intervalo de confianza	
					Límite inferior	Límite superior
0	3	-,54233	,58606	,881	-2,4711	1,3864
	6	-3,38367*	,58606	,001	-5,3124	-1,4549
	9	-5,18733*	,58606	,000	-7,1161	-3,2586
	12	-7,60033*	,58606	,000	-9,5291	-5,6716
3	0	,54233	,58606	,881	-1,3864	2,4711
	6	-2,84133*	,58606	,005	-4,7701	-,9126
	9	-4,64500*	,58606	,000	-6,5738	-2,7162
	12	-7,05800*	,58606	,000	-8,9868	-5,1292
6	0	3,38367*	,58606	,001	1,4549	5,3124
	3	2,84133*	,58606	,005	,9126	4,7701
	9	-1,80367	,58606	,070	-3,7324	,1251
	12	-4,21667*	,58606	,000	-6,1454	-2,2879
9	0	5,18733*	,58606	,000	3,2586	7,1161
	3	4,64500*	,58606	,000	2,7162	6,5738
	6	1,80367	,58606	,070	-,1251	3,7324
	12	-2,41300*	,58606	,014	-4,3418	-,4842
12	0	7,60033*	,58606	,000	5,6716	9,5291
	3	7,05800*	,58606	,000	5,1292	8,9868
	6	4,21667*	,58606	,000	2,2879	6,1454
	9	2,41300*	,58606	,014	,4842	4,3418

\*. La diferencia de medias es significativa en el nivel 0.05.

### Subconjuntos homogéneos

Medias de fuerza de perforación de los tratamientos de estudio.

#### FUERZA DE PERFORACIÓN (N)

HSD Tukey<sup>a</sup>

ALCOHOL DE POLIVINILO (%)	N	Subconjunto para alfa = 0.05		
		1	2	3
0	3	6,0163		
3	3	6,5587		
6	3		9,4000	
9	3		11,2037	
12	3			13,6167
Sig.		,881	,070	1,000

Se visualizan las medias para los grupos en los subconjuntos homogéneos.

a. Utiliza el tamaño de la muestra de la media armónica = 3.000.

**Anexo 14.**

Datos de la permeabilidad al vapor de agua (PVA) de las películas elaboradas con mezcla de PVOH/APSI.

tiempo (s)	ESPESOR 0%			ESPESOR 3%			ESPESOR 6%			ESPESOR 9%			ESPESOR 12%		
	0,1725	0,15175	0,162125	0,137	0,149	0,143	0,13	0,143	0,1365	0,157	0,149	0,153	0,158	0,149	0,1535
	1	2	3	1	2	3	1	2	3	1	2	3	1	2	3
<b>0</b>	154,726	151,3761	153,05105	151,5705	152,3046	151,93755	153,7602	153,5819	153,67105	151,5308	153,186	152,3584	148,2806	150,3708	149,3257
<b>1800</b>	154,6742	151,3289	153,00155	151,5274	152,273	151,9002	153,7319	153,5587	153,6453	151,4978	153,1568	152,3273	148,2481	150,3294	149,28875
<b>3600</b>	154,6297	151,284	152,95685	151,5052	152,2397	151,87245	153,697	153,5291	153,61305	151,4936	153,1284	152,2928	148,217	150,2886	149,2528
<b>5400</b>	154,5913	151,2402	152,91575	151,4716	152,2085	151,84005	153,6517	153,4989	153,5753	151,4511	153,092	152,28975	148,1913	150,2488	149,22005
<b>7200</b>	154,5519	151,1894	152,87065	151,4512	152,166	151,8086	153,6123	153,4735	153,5429	151,4492	153,0526	152,2509	148,1634	150,2038	149,1836
<b>9000</b>	154,5132	151,1468	152,83	151,3088	152,1199	151,71435	153,5806	153,4524	153,5165	151,3091	153,0135	152,1613	148,1348	150,1654	149,1501
<b>10800</b>	154,4728	151,1051	152,78895	151,2525	152,0892	151,67085	153,5408	153,4238	153,4823	151,2572	152,9874	152,1223	148,1046	150,1263	149,11545
<b>12600</b>	154,4333	151,0574	152,74535	151,2002	152,0529	151,62655	153,5049	153,3954	153,45015	151,2082	152,9539	152,08105	148,0718	150,085	149,0784
<b>14400</b>	154,4	151,0363	152,71815	151,1611	152,0402	151,60065	153,4778	153,3753	153,42655	151,1673	152,9401	152,0537	148,0464	150,0661	149,05625
<b>VTVA(gr/s)</b>	2,24E-05	2,43E-05	2,33E-05	3,04E-05	1,95E-05	2,50E-05	2,03E-05	1,46E-05	1,74E-05	2,72E-05	1,81E-05	2,25E-05	1,62E-05	2,19E-05	1,90E-05
<b>PvH2O(Pa)</b>	3003,68	3003,68	3003,68	3003,68	3003,68	3003,68	3003,68	3003,68	3003,68	3003,68	3003,68	3003,68	3003,68	3003,68	3003,68
<b>HRv</b>	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100
<b>HRd</b>	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
<b>Area (m2)</b>	0,003167	0,003167	0,003167	0,003167	0,003167	0,003167	0,003167	0,003167	0,003167	0,003167	0,003167	0,003167	0,003167	0,003167	0,003167
<b>Espesor (m)</b>	0,0001725	0,00015175	0,00016213	0,000137	0,000149	0,000143	0,00013	0,000143	0,0001365	0,000157	0,000149	0,000153	0,000158	0,000149	0,0001535
<b>PVA (gr/s.Pa.m)</b>	4,06094E-12	4,3840E-12	3,9795E-12	3,877E-12	4,1135E-12	3,7546E-12	3,4892E-12	3,149E-12	3,5028E-12	3,423E-12	3,0682E-12	2,9014E-12	2,5952E-12	3,957E-12	3,102E-12

La medición de espesor se realizó por triplicado para cada tratamiento. Los resultados corresponden a la medición de los pesos registrados a un tiempo determinado los cuales fueron usados en la fórmula de permeabilidad al vapor de agua de las películas.

**Anexo 15.**

Medición de las propiedades mecánicas (fuerza de perforación) de las películas elaboradas con mezcla de alcohol de polivinilo y aislado proteico de sachá inchi.

<b>PVOH</b>	<b>Mediciones</b>	<b>Distancia (mm)</b>	<b>Radio (mm)</b>	<b>Fuerza de perforación (N)</b>	<b>Deformación (mm)</b>	<b>Trabajo (mJ)</b>
<b>0%</b>	1	40	5,25	6,683	2,880	21,6
	2	40	5,25	5,183	2,1	11,6
	3	40	5,25	6,183	2	9,417
<b>3%</b>	1	40	5,25	7,067	2,360	19
	2	40	5,25	6,144	2,6	26
	3	40	5,25	6,465	4,360	17,1
<b>6%</b>	1	40	5,25	9,117	1,980	9,3
	2	40	5,25	9,700	3	23,1
	3	40	5,25	9,383	2,2	12
<b>9%</b>	1	40	5,25	11,450	2,4	10,6
	2	40	5,25	11,533	1,867	13,417
	3	40	5,25	10,628	2,383	13,917
<b>12%</b>	1	40	5,25	14,350	3,250	42,5
	2	40	5,25	14,267	3,317	29,750
	3	40	5,25	12,233	3,929	16,071

