

UNIVERSIDAD NACIONAL JOSÉ MARÍA ARGUEDAS

FACULTAD DE INGENIERÍA

**ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA
AGROINDUSTRIAL**



Presentado por:

Bach. YBAN PÉREZ SALCEDO

**PROPIEDADES MECÁNICAS, FÍSICAS Y
CARACTERÍSTICAS MICROBIOLÓGICAS EN
PELÍCULAS BIODEGRADABLES OBTENIDAS A
PARTIR DE ALMIDÓN MODIFICADO DE PAPA
CANCHÁN Y GLICERINA**

Asesor:

Mg. FREDY TAIPE PARDO

Co-Asesor:

Mg. RONALD PÉREZ SALCEDO

**TESIS PARA OPTAR EL TÍTULO PROFESIONAL DE
INGENIERO AGROINDUSTRIAL**

ANDAHUAYLAS – APURÍMAC – PERÚ

2021

DEDICATORIA

A nuestro creador Jehová, por brindarme salud, fortaleza y capacidad. Por darme la vida y tiempo para vivirla junto a mis seres amados. **A Leonardo Pérez Moscoso**, pese a todas las dificultades siempre estas para mí, te quiero viejo. **A Teófila Salcedo Alfaro** gracias por todo el apoyo incondicional te quiero mamá. **A mis hermanos;** Santiago Pérez Salcedo, nunca terminaré de agradecerte, siempre estaré agradecido con la vida por contar contigo. A Érika E. Pérez Salcedo, por más retos juntos hermanita. A Ronald Pérez Salcedo, por los consejos y vivencias. **A toda mi familia**, por los consejos y enseñanzas.

A mis amigos, por los nuevos retos muchachos, siempre espero que estemos juntos.

Yban

AGRADECIMIENTO

- A la Universidad Nacional José María Arguedas, gracias por haber abierto tus puertas y permitirme ser un hijo de esta noble y extraordinaria casa de estudios. Termina esta parte de mi vida y comienza un nuevo viaje que está cargado con ilusiones y nuevas metas por lograr.
- Agradezco en especial al Mg. Fredy Taipe Pardo, por el apoyo y enseñanza durante los cinco años de carrera y finalmente como mi asesor de esta investigación quien ha guiado con su paciencia, y su rectitud como docente.
- Reconocer al Mg. Ronald Pérez Salcedo, como mi Co-asesor, en esta investigación, brindándome la cognición y discernimiento para finalizar este trabajo.
- A los miembros del jurado calificador, por brindarme el apoyo, facilidades y sus valiosas enseñanzas en este trabajo de investigación. Al Msc. Thomas Ancco Vizcarra, Msc. Carlos Ligarda, Samanez y al Ing. Juvenal Rivas Leguia por sus valiosos cometarios y correcciones para finalizar esta investigación.
- Agradezco a los docentes de la Escuela Profesional de Ingeniería Agroindustrial, por haber compartido sus conocimientos a lo largo de mi preparación profesional.
- También merecen un reconocimiento especial a mi madre y mi padre, que contribuyeron con su esfuerzo y devoción para poder culminar mi carrera universitaria y me dieron suficiente apoyo para seguir cumpliendo mis sueños.

INDICE GENERAL

DEDICATORIA.....	II
AGRADECIMIENTO	III
INDICE GENERAL.....	IV
ÍNDICE DE TABLAS	VII
ÍNDICE DE FIGURAS	VIII
ABREVIATURAS Y SÍMBOLOS	IX
RESUMEN.....	X
ABSTRAC	XI
CHUMASQA	XII
INTRODUCCIÓN	XIII
CAPÍTULO I.....	14
1. PROBLEMA DE INVESTIGACIÓN	14
1.1. SITUACIÓN PROBLEMÁTICA	14
1.2. FORMULACIÓN DEL PROBLEMA.....	16
1.3. OBJETIVOS DE LA INVESTIGACIÓN.....	16
1.4. JUSTIFICACIÓN DE LA INVESTIGACIÓN.....	17
CAPÍTULO II	19
2. ANTECEDENTES DE LA INVESTIGACIÓN	19
2.1. ANTECEDENTES INTERNACIONALES	19
2.2. ANTECEDENTES NACIONALES.....	21
2.3. ANTECEDENTES REGIONALES.....	23
CAPÍTULO III	24
3. MARCO TEÓRICO.....	24
3.1. PAPA EN EL CONTINENTE AMERICANO	24
3.1.1. Clasificación taxonómica de la papa	25
3.1.2. Morfología de la papa.....	26
3.2. ALMIDÓN.....	26
3.2.1. Almidón de papa.....	28
3.2.2. Forma y distribución de los gránulos de almidón	29
3.2.3. Modificación del almidón	31

3.2.4.	Modificación del almidón por oxidación	32
3.2.5.	Propiedades funcionales del almidón	33
3.3.	PLASTIFICANTES	36
3.3.1.	Glicerina	37
3.4.	PELÍCULAS Y PLÁSTICOS BIODEGRADABLES	38
3.4.1.	Películas biodegradables	38
3.5.	PROPIEDADES MECÁNICAS	39
3.6.	PROPIEDADES FÍSICAS	40
3.6.1.	Solubilidad	40
3.6.2.	Humedad	40
3.6.3.	Permeabilidad al vapor de agua	41
3.7.	CARACTERÍSTICAS MICROBIOLÓGICAS	43
3.7.1.	Inocuidad de los alimentos en el transporte, almacenamiento y distribución	43
3.7.2.	Características microbiológicas y medios de siembra	44
3.8.	MARCO CONCEPTUAL	45
CAPÍTULO IV		47
4.	METODOLOGÍA DE LA INVESTIGACIÓN	47
4.1.	LUGAR DE EJECUCIÓN	47
4.2.	MATERIALES, INSTRUMENTOS Y EQUIPOS	47
4.2.1.	Materiales	47
4.2.2.	Instrumentos y equipos	48
4.3.	REACTIVOS E INSUMOS	49
4.4.	POBLACIÓN Y MUESTRA	49
4.5.	TIPO DE INVESTIGACIÓN	49
4.5.1.	De acuerdo a su naturaleza	49
4.5.2.	De acuerdo al fin que persigue	50
4.5.3.	De acuerdo al tiempo	50
4.5.4.	De acuerdo a la técnica de contrastación	50
4.6.	MÉTODOS Y TÉCNICAS DE ANÁLISIS	51
4.6.1.	Metodología para la extracción de almidón de papa	51

4.6.2.	Descripción del proceso de extracción del almidón de papa	52
4.6.3.	Metodología para la modificación del almidón por oxidación ...	53
4.7.	METODOLOGÍA EXPERIMENTAL.....	53
4.7.1.	Obtención de películas biodegradables.....	53
4.7.2.	Método de análisis para las propiedades mecánicas	55
4.7.3.	Método de análisis para determinar las propiedades físicas	56
4.7.4.	Método de análisis para determinar las características microbiológicas.....	58
4.8.	DISEÑO EXPERIMENTAL Y MATRIZ DE DISEÑO	60
4.8.1.	Diseño experimental factorial 3^2	60
4.9.	DISEÑO DE CONTRASTACIÓN	64
4.9.1.	Formulación de hipótesis.....	64
4.9.2.	Hipótesis estadísticas.....	64
4.10.	TÉCNICAS DE PROCESAMIENTO Y ANÁLISIS DE DATOS.....	65
	CAPÍTULO V.....	66
5.	RESULTADOS Y DISCUSIONES	66
5.1.	PROPIEDADES MECÁNICAS.....	66
5.2.	PROPIEDADES FÍSICAS	75
5.3.	CARACTERISTICAS MICROBIOLÓGICAS	88
	CONCLUSIONES	90
	RECOMENDACIONES	92
	SUGERENCIAS	93
	REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	94
	ANEXOS	104

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1. Análisis químico de la papa	26
Tabla 2. Características de algunos almidones usados en la industria	28
Tabla 3. Modificaciones químicas al almidón de papa.....	32
Tabla 4. Disparidad entre bacterias Gram positivas y Gram negativas.	45
Tabla 5. Materiales	47
Tabla 6. Instrumentos y equipos.....	48
Tabla 7. Reactivos e insumos.....	49
Tabla 8. Variables y sus niveles	60
Tabla 9. Matriz del diseño factorial para el experimento.....	61
Tabla 10. Contrastación de las variables de estudio	62
Tabla 11. Resultado de esfuerzo máximo a la ruptura	66
Tabla 12. Análisis de varianza para esfuerzo máximo a la ruptura.....	69
Tabla 13. Resultado del porcentaje de elongación (%)	72
Tabla 14. Análisis de varianza para % de elongación	73
Tabla 15. Resultados del porcentaje de solubilidad.....	76
Tabla 16. Análisis de Varianza para solubilidad	76
Tabla 17. Resultados al porcentaje de humedad.....	79
Tabla 18. Análisis de Varianza para humedad	79
Tabla 19. Resumen del ensayo de permeabilidad al vapor de agua	84
Tabla 20. Análisis de Varianza permeabilidad al vapor de agua (WVP).....	85
Tabla 21. Primer conteo de UFC/g (37 °C*24 h)	88
Tabla 22. Segundo conteo de UFC/g (37 °C*48 h).....	88

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1. <i>Planta de papa y sus partes</i>	25
Figura 2. <i>Estructura química de la amilopectina</i>	27
Figura 3. <i>Enrollamiento helicoidal de la amilosa</i>	28
Figura 4. <i>Gránulos de almidón de yuca</i>	30
Figura 5. <i>Gránulos de almidón maíz céreo</i>	30
Figura 6. <i>Gránulos visto por microscopia de barrido electrónico</i>	30
Figura 7. <i>Simplificación de las transiciones de un polímero</i>	35
Figura 8. <i>Diagrama de bloques para la extracción de almidón de papa</i>	51
Figura 9. <i>Procedimiento para la obtención de películas biodegradables</i> ...	54
Figura 10. <i>Identificación de las variables de entrada y salida</i>	62
Figura 11. <i>Procedimiento ilustrativo del diseño experimental</i>	63
Figura 12. <i>Curva % de elongación vs carga (T1-T9)</i>	67
Figura 13. <i>Curva % de elongación vs carga (T7-T8)</i>	68
Figura 14. <i>Efectos principales para esfuerzo máximo</i>	70
Figura 15. <i>Interacción de glicerina y almidón en el esfuerzo máximo</i>	71
Figura 16. <i>Efectos principales para % de elongación</i>	73
Figura 17. <i>Interacción de glicerina y almidón en % de elongación</i>	74
Figura 18. <i>Efectos principales para solubilidad (%)</i>	77
Figura 19. <i>Interacción de glicerina y almidón en solubilidad (%)</i>	78
Figura 20. <i>Efectos principales para humedad (%)</i>	80
Figura 21. <i>Interacción de glicerina y almidón para humedad (%)</i>	81
Figura 22. <i>Aumento de peso vs tiempo para T1</i>	82
Figura 23. <i>Efectos principales para (WVP)</i>	86
Figura 24. <i>Interacción de glicerina y almidón en (WVP)</i>	87

ABREVIATURAS Y SÍMBOLOS

ANVA	: Análisis de varianza.
A	: Almidón de papa
ASTM	: Sociedad Estadounidense para pruebas y materiales.
%	: Porcentaje.
°C	: Grados Celsius.
cm	: Centímetros.
D	: Dilución.
DF	: Diseño factorial.
g	: Gramos.
G	: Glicerina
H _A	: Hipótesis alternativa.
H _o	: Hipótesis nula.
l	: Litros.
mg	: Miligramos.
min	: Minutos.
ml	: Mililitros.
UFC	: Unidades formadoras de colonias
T	: Tratamientos
T ^o	: Temperatura.
V	: Volumen de muestra.
R	: Repeticiones.
F	: Factor.
FT	: Esfuerzo de tracción en el corte
σ_{max}	: Esfuerzo máximo.
F_{max}	: Fuerza máxima.
WVP	: Permeabilidad al vapor del agua.
WVT	: Índice de transferencia al vapor del agua.

RESUMEN

El presente trabajo de investigación tuvo por objetivo evaluar las propiedades mecánicas, físicas y características microbiológicas en películas biodegradables. Se utilizó almidón de papa (A) de la variedad Canchán modificado por oxidación con hipoclorito de sodio (NaOCl) a concentración de cloro activo a 1.5 % p/v y glicerina (G) como plastificante al 100 % puro; se formularon nueve tratamientos T1 (0.5g G, 4g A), T2 (0.5g G, 4.5g A), T3 (0.5 G, 5g A), T4 (1g G, 4g A), T5 (1g G, 4.5g A), T6 (1g G, 5g A), T7 (1.5g G, 4g A), T8 (1.5g G, 4.5g A), T9 (1.5g G, 5g A), los cuales se sometieron a través de un proceso de disolución y evaporación por medio de un secador convectivo de aire forzado durante 1 hora y 50 minutos a 120 °C. Para las propiedades mecánicas se seleccionó el método ASTM D882 (ASTM, 2000); donde la concentración de glicerina en su nivel bajo (0.5 g) tiene un efecto en el incremento del esfuerzo máximo a la ruptura, no obstante, en los datos del porcentaje de elongación la concentración alta de glicerina (1.5 g) tiene un mayor efecto al aumento del alargamiento de la película. Asimismo, el almidón presenta un mejor desempeño con respecto al porcentaje de elongación cuando interactúa con su nivel medio (4.5 g). Para las propiedades físicas se utilizaron el método de contenido de sustancia seca solubilizada, método gravimétrico y el método ASTM E-96-00. En el cual se observó que la concentración de glicerina tiene un mayor efecto en el incremento de las propiedades de solubilidad, humedad y permeabilidad al vapor del agua. Para las características microbiológicas se empleó un medio de siembra diferencial y selectivo para el aislamiento de bacilos Gram negativos y Gram positivos, donde se percibió que las películas obtenidas no presentaron crecimiento bacteriano alguno. En conclusión, las películas biodegradables exhibieron aceptables propiedades mecánicas, físicas y características microbiológicas.

Palabras clave: Películas biodegradables, humedad, solubilidad, permeabilidad al vapor del agua. propiedades mecánicas, características microbiológicas.

ABSTRAC

The objective of this research work was to evaluate the mechanical, physical and microbiological characteristics of biodegradable plastics. Potato starch (A) from the Canchán variety modified by oxidation with sodium hypochlorite (NaOCl) at a concentration of active chlorine at 1.5 % w/v and glycerin (G) as a plasticizer at 100 % pure of it was used; nine treatments were formulated T1 (0.5 g G, 4 g A), T2 (0.5 g G, 4.5 g A), T3 (0.5 g G, 5 g A), T4 (1 g G, 4 g A), T5 (1 g G, 4.5 g A), T6 (1 g G, 5 g A), T7 (1.5 g G, 4 g A), T8 (1.5 g G, 4.5 g A), T9 (1.5 g G, 5 g A), which were subjected through a process of dissolution and evaporation by means of a forced air convective dryer for 1 hour and 50 minutes at 120 °C. For the mechanical properties, the ASTM D882 method (ASTM, 2000) was selected; where the glycerin concentration at its low level (0.5 g) has an effect on increasing the maximum stress at rupture, however, in the elongation percentage data, the high glycerin concentration (1.5 g) has a greater effect on increased elongation of the plastic film. Likewise, starch presents a better performance with respect to the percentage of elongation when it interacts with its average level (4.5 g). For the physical properties, the solubilized dry substance content method, the gravimetric method and the ASTM E-96-00 method were used. In which it was observed that the concentration of glycerin has a greater effect in increasing the properties of solubility, humidity and permeability to water vapor. For the microbiological characteristics, a differential and selective seeding medium was used for the isolation of Gram-negative and Gram-positive bacilli, where it was perceived that the plastic film obtained did not show any bacterial growth. In conclusion, the biodegradable plastics showed acceptable mechanical, physical and microbiological properties.

Keywords: Biodegradable plastics, humidity, solubility, water vapor permeability. mechanical properties, microbiological characteristics.

CHUMASQA

Musiaq rurayni chay propiedades mecánicas nisqanta musiamurqa, microbiológicakuna sapan kasqanta películapi biodegradablekunapi. (A) kanchan papapa machkanninta qarpuchisqanchik tikrachisqa (NaOCl) oxidacion hipoclorito de sodio nisqanwan cloro activo kasqanwan 1.5 % p/v y (G) glicerina nisqanwan plastificanteniraq 100 % kasqanwan; isqunta rurakanantaq nikurqa T1 (0.5 g G, 4 g A), T2 (0.5 g G, 4.5 g A), T3 (0.5 g G, 5 g A), T4 (1 g G, 4 g A), T5 (1 g G, 4.5 g A), T6 (1 g G, 5 g A), T7 (1.5 g G, 4 g A), T8 (1.5 g G, 4.5 g A), T9 (1.5 g G, 5 g A), Chay kaykunata pichusqanchik y puwachisqanchik huk chakichiwan kikin wayriwan 1 pacha y 50 minutoskama y 120 °C. Propiedades mecanicas nishqanpa metodo nisqanta akrasqanchik ASTM D882 (ASTM, 2000); chay glicerina kasqan ichik kasqanpi (0.5 g) achka kaptin pakikaramun, mana kasqanchaw achka glicerina nisqan kaykaqchaw (1.5 g) película nisqanchaw hatunyanmi. Chaynuqmi, papa machkanni aliyanni mita kasqanchaw (4.5 g). Propiedades físicas nisqanpa qarpusqanchik chaki método nisqan solubilizada, gravimétrico metodo y ASTM E-96-00. metodo nisqan. Chay hawasqanchik glicerina nisqan achkam kanmi chay propiedades de solubilidad nisqanpi, usmasqa yakupa puywanwan. Microbiologicas kanamapaq murusqanchik allí kasqanta y akrasqa wasapi kanamapaq bacilos nisqan mana alli kaqta y alli kaqta, may hawasqanchik películas nisqan manam huk kurukunapas winasqachaw. Usasqachaw, películas nisqan hawasqanchik allim kaynin mecanicas, físicas y microbiologicas kayninkuna nisqanchaw.

Pisi rimayllapi simikuna: biodegradable película nisqan, usmasqa, kuyuchikuq yaku yaykuq puywanwan, propiedades mecánicas nishqanpa y microbiologicas kaqwan.

INTRODUCCIÓN

La tendencia a utilizar polímeros naturales y renovables en varios campos de la agroindustria está creciendo de tal manera que pueden reemplazar a los materiales sintéticos. Productos derivados de recursos agrícolas como proteínas, almidón, celulosa, etc., proporcionan una alternativa adecuada para desarrollar materiales biodegradables (Cazón et al., 2017). Los plásticos biodegradables pueden integrarse de manera efectiva y sostenible en el medio ambiente y están atrayendo la atención debido a los problemas de contaminación ambiental derivados del uso de plásticos sintéticos habituales (Averous y Boquillon, 2004). Los plásticos, que se componen principalmente de monómeros derivados de hidrocarburos fósiles, no son biodegradables. Esta persistencia permite que los plásticos se acumulen, no solo en cantidad y volumen, sino también como toxinas y micro plásticos en el medio ambiente (ONU, 2021). Así mismo, algunos plásticos convencionales presentan características microbiológicas tóxicas en contacto con los alimentos, esto es particularmente relevante en el caso de alimentos frescos y mínimamente procesados que utilizan estos sistemas de envasado (Irkin y Esmer, 2015). De acuerdo a esta información surge una notable inclinación por el uso de plásticos biodegradables que podrían aliviar los problemas ambientales y la calidad vida, en adición; Algunos investigadores están buscando el modo de soslayar estos obstáculos usando polímeros sintetizados, químicamente modificados, desarrollando aditivos químicos que aceleren la biodegradación de cualquier plástico ya sea orgánico o sintético; incluso con microorganismos para fabricar plásticos más amables con la biosfera. De esta manera, el objetivo de este trabajo de investigación fue de evaluar las propiedades mecánicas (porcentaje de elongación y esfuerzo máximo a la ruptura), físicas (porcentaje de humedad, solubilidad y permeabilidad al vapor del agua), y finalmente evaluar las características microbiológicas (cultivo e identificación de microorganismos) en películas biodegradables obtenidas a partir de almidón de papa Canchán modificado por oxidación y glicerina.

CAPÍTULO I

1. PROBLEMA DE INVESTIGACIÓN

1.1. SITUACIÓN PROBLEMÁTICA

Parker (2020) en el reporte anual de la National Geographic “Contaminación por plástico” señala que aproximadamente 40 % de las más de 407 millones de toneladas de plástico que se producen cada año son artículos de un solo uso, y gran parte se utiliza en envases que se desechan a los pocos minutos de la compra. La producción ha aumentado en un ritmo tan desenfrenado que en los últimos 15 años prácticamente se ha producido la mitad de todos los plásticos de la historia. Así mismo menciona que cada año, alrededor de ocho millones de toneladas de plástico terminan en el océano, un material que puede demorar siglos, o más para desaparecer. Por otra parte, debido a los componentes inorgánicos de los plásticos el tiempo que tardaría en biodegradarse por completo hasta el nivel molecular se calcula entre 450 años y nunca.

Ministerio del ambiente (2018) en su publicación “Menos plástico más vida”, señala; que en general cada peruano usa al año en torno a 30 kilos de plástico, que en resumen en un año suman cerca de 3 mil millones de bolsas plásticas, casi 6 mil bolsas por cada minuto. En Lima Metropolitana y el Callao se generan 886 toneladas de residuos plásticos al día, representando el 46 % de dichos residuos a nivel nacional.

Geyer et al. (2017) manifiesta que el plástico es el material más empleado y, por ende, el más abandonado, especialmente en países donde no hay gestión de residuos o tienen una gestión deficiente.

Van et al. (2015) en la publicación “Un inventario global de pequeños desechos plásticos flotantes”, señala que los plásticos en entornos naturales tienen graves consecuencias sobre el medioambiente. Debido a su baja densidad, algunos productos de plástico se dispersan fácilmente y, unido a su

resistencia a la biodegradación, acaban contaminando la tierra y los océanos, amenazando a especies, sus hábitats e incluso nuestra salud. Con el paso del tiempo, estos plásticos abandonados en la naturaleza se fragmentan en porciones más pequeñas. Llamados los micro plásticos, con un tamaño menor a 5 mm, están plagando las costas y los fondos marinos. Se estima que en nuestros mares y océanos hay entre 5 y 50 billones de micro plásticos corriendo el riesgo de que entren en la cadena alimenticia.

Teniendo en cuenta que la mayoría de los plásticos tradicionales son inertes al ataque microbiano, la contaminación que producen tiene un enorme impacto ambiental ya que se les encuentran desde las grandes ciudades hasta los pueblos más remotos, con ello contaminando el mar, lagos, lagunas, campos de cultivo, etc.

Wilcox et al. (2015) en la publicación “La amenaza de la contaminación plástica para las aves marinas es global, generalizada y creciente” los resultados de investigación señalan que encontraron en la mayoría de las especies de aves marinas plásticos en sus intestinos, y se estima que para 2050, el 99 % tendrán plástico en su tracto digestivo a través de la alimentación directa.

Es crucial que se tomen medidas oportunas para poder apaliar estas futuras adversidades que nos enfrentaremos. Sin embargo, según (Lira, 2020) en La Sociedad Nacional de Industrias (SNI) informó que su comité de plásticos ha solicitado formalmente al Ministerio de la Producción Peruana postergar por dos años los plazos del reglamento de la “Ley de plásticos de un solo uso”.

Sobre la base de los problemas planteados, podemos confirmar que los plásticos biodegradables son la forma más natural de cuidar el medio ambiente, y atraer a las industrias al cambio de su producción para reconstruir nuestro entorno vital y salvar el planeta. Por ello, esta investigación se centra en desarrollar películas biodegradables estudiando las propiedades mecánicas, físicas y características microbiológicas, obtenidas a partir de almidón modificado de papa canchán y glicerina.

1.2. FORMULACIÓN DEL PROBLEMA

Problema general:

¿Cuáles son las propiedades mecánicas, físicas y características microbiológicas de las películas biodegradables obtenidas a partir de almidón modificado de papa canchán y glicerina?

Problemas específicos:

- ¿Cuál es el efecto en las propiedades mecánicas de las películas biodegradables obtenidas a partir de almidón modificado de papa canchán y glicerina?
- ¿Cuál es el efecto en las propiedades físicas de las películas biodegradables obtenidas a partir de almidón modificado de papa canchán y glicerina?
- ¿Cuál es el efecto en las características microbiológicas de las películas biodegradables obtenidas a partir de almidón modificado de papa canchán y glicerina?

1.3. OBJETIVOS DE LA INVESTIGACIÓN

Objetivo general

Evaluar las propiedades mecánicas, físicas y características microbiológicas de las películas biodegradables obtenidas a partir de almidón modificado de papa canchán y glicerina.

Objetivos específicos

- Evaluar el efecto de las propiedades mecánicas en las películas biodegradables obtenidas a partir de almidón modificado de papa canchán y glicerina.
- Evaluar el efecto de las propiedades físicas en las películas biodegradables obtenidas a partir de almidón modificado de papa canchán y glicerina.

- Evaluar el efecto de las características microbiológicas en las películas biodegradables obtenidas a partir de almidón modificado de papa canchán y glicerina.

1.4. JUSTIFICACIÓN DE LA INVESTIGACIÓN

Según (Carrasco, 2005) la justificación puede ser de carácter práctico, teórico-científico, doctrinario, metodológico, socioeconómico, político-administrativo y tecnológico. En ese sentido, el desarrollo de la presente investigación tiene un carácter tecnológico y científico; dado que en la actualidad no se cuenta con suficientes estudios sobre el mejoramiento de la producción y obtención de películas biodegradables, utilizando para su formulación almidón de papa químicamente modificado por oxidación y glicerina. Mediante esta investigación se podrá encontrar nuevas evidencias para investigaciones futuras de acuerdo a las condiciones de trabajo. Así mismo, esta investigación tiene carácter socioeconómico; debido a que es factible económicamente, ya que las materias primas utilizadas para el proceso de producción de películas biodegradables provienen de fuentes renovables; en el caso del almidón de papa es un producto de la industria ampliamente estudiado, pero con poco valor agregado en nuestro país. Por su parte la glicerina según (Sibari, 2019), es uno de los ingredientes más utilizados en cosmética, de hecho, según la FDA (Administración de Alimentos y Medicamentos de Estados Unidos) es el ingrediente más usado después del agua.

Según (Fernández et al., 2014) una investigación llega a ser conveniente por diversos motivos; tal vez ayuda a resolver un problema social, a construir una nueva teoría o a generar nuevas inquietudes de investigación. Siguiendo esta premisa; en la actualidad uno de los problemas sociales y ambientales más comunes en el planeta es la contaminación ambiental; por ende, esta investigación tiene carácter social y ambiental puesto que, aportará en la disminución de plásticos convencionales ya que se tiene la propuesta de elaborar películas biodegradables utilizando productos de fuentes renovables

y orgánicos, con ello reducir considerablemente la contaminación en la biosfera.

Cabe mencionar que los plásticos comunes no se degradan fácilmente en el ambiente, según (Guzman y Janik, 2011) mencionan que los polímeros clásicos debido a su durabilidad y resistencia a la degradación, tienden a permanecer en el ambiente mucho después de su uso final. Como resultado, los polímeros encuentran su camino en diversos ecosistemas de organismos terrestres y marinos. Así mismo, (Parker, 2020) menciona que cada año acaban en el océano millones de toneladas de plástico, un material que puede tardar siglos, o más, en desaparecer acrecentando el cambio climático y la contaminación mundial.

La degradación de los plásticos requiere un largo tiempo para su descomposición en algunos casos no se pueden degradar por completo alcanzando con ello un nivel crítico de daños irreversibles al medioambiente. Según (López y Martínez, 2015), por el contrario las películas de origen orgánico a partir de recursos renovables se degradan fácilmente en el ambiente, contribuyendo al cuidado del planeta y la biodiversidad.

CAPÍTULO II

2. ANTECEDENTES DE LA INVESTIGACIÓN

2.1. ANTECEDENTES INTERNACIONALES

Shah et al. (2016) en su investigación “Arte y ciencia detrás de las películas y revestimientos comestibles de almidón modificado” concluyen que el almidón como material de envasado es económicamente viable y, por lo tanto, se propone que las películas de almidón modificadas sean herramientas importantes para superar los desafíos existentes asociados con los materiales de envasado.

Mosquera et al. (2014) en su investigación “Evaluación de propiedades mecánicas, ópticas y de barrera en películas activas de almidón de yuca” concluyen que las pruebas mecánicas indican que el esfuerzo y la elongación son bajos en la película 1, mientras que en película 2 se tienen valores superiores, permitiendo afirmar que la modificación permite retardar el proceso de retrogradación del almidón permitiendo mantener sus propiedades mecánicas durante el tiempo de almacenamiento, del mismo modo; el material presentó buenas propiedades de barrera, la permeabilidad al oxígeno no se vio afectada por el tiempo de almacenamiento, mientras la permeabilidad al vapor de agua a pesar de verse afectada por el tiempo de almacenamiento presentó una buena barrera respecto a películas compuestas por otros polisacáridos

Rutenberg y Solarek (1984) afirmaron que las características más perceptibles del almidón oxidado con hipoclorito son la blancura, dentro de ciertos límites y una decoloración que es directamente proporcional al grado de oxidación. En general, los almidones oxidados son mucho más sensibles al calor, debido a que son secados a bajas temperaturas para evitar el oscurecimiento por caramelización. La oxidación con hipoclorito de sodio no causa cambios en la birrefringencia, ni en el difracto grama de rayos X, sugiriendo que la oxidación

ocurre principalmente en la región amorfa del gránulo de almidón. La característica más importante de este tipo de modificación química, es que las películas formadas a partir de almidón oxidado son fuertes, rígidas y resistentes, en comparación con las películas débiles y poco resistentes de los almidones modificados en medio ácido o dextrinas.

Castillo et al (2015) en su proyecto “Biolástico a base de cáscara de plátano”, mencionaron, que todos los métodos de producción de bioplásticos probados en ese proyecto, logró sobresalir el que se realizó a base de vinagre y glicerina, dado que se observó buenas propiedades mecánicas (módulo de elasticidad). Los cuales son la flexibilidad y la resistencia a la ruptura. Así mismo, la mención que afecta negativamente a uno de los factores fue la temperatura de secado, debido a que no se disponía de un horno, por lo que se realizó el secado a temperatura ambiente. Por los cambios térmicos el bioplástico resultó corrugado. Para evitar esto, el secado debe llevarse a cabo a una temperatura constante.

Oliveira (2009) estudió la obtención de filmes biodegradables a partir de la mezcla del almidón de yuca y extracto proteico de soja, determinaron el efecto combinado del almidón y la proteína en la formación de los films en condiciones variables de plastificantes y pH. Los filmes fueron producidos según la técnica de dispersión, a partir de soluciones filmogénica (SF) A 2.5 % (p/p) de sólidos totales de almidón de yuca, extracto de proteína de soja (13,18, 20, 30, 40 y 46, 82 %), glicerol (13,18, 20, 30, 40 y 46,82 %), y el pH variable de (1,9,4, 7, 10 y 12,0). La solución filogénica (SF) se secó a 30 °C durante 24 h, y las películas resultantes fueron almacenadas en la humedad relativa controlada a 52,9 % durante seis días para la caracterización. Los análisis se realizaron en espesor de la película, porcentaje de solubilidad en agua, permeabilidad al vapor de agua (PVA), propiedades ópticas, y las propiedades mecánicas (módulo de elasticidad).

López y Jiménez (2015) estudiaron “Películas biopoliméricas: Aplicaciones para envases y otros productos” concluyen que las películas biopoliméricas

se pueden obtener de recursos naturales renovables, ventaja comparativa con respecto a los polímeros sintéticos usados en los envases dada su biodegradabilidad. Entre los polímeros utilizados, el almidón reviste el mayor interés por su abundancia en la naturaleza, biodegradabilidad, ser renovable y de bajo costo. El logro de una constante mezcla de calidad con las propiedades deseadas requiere la atención adecuada a tanto el proceso como el diseño de productos.

González et al. (2018) en el proyecto “Preparación y caracterización de almidón modificado para elaborar a futuro biopelículas para productos hortofrutícolas” concluyen que mediante la técnica de FTIR-ATR se pueden apreciar las modificaciones que sufre la molécula del almidón al ser oxidada con el hipoclorito de sodio, con esto se confirma que el almidón nativo de papa fue oxidado y se podrá utilizar como una alternativa en la elaboración de un recubrimiento comestible.

Guzmán (2014) en su tesis de grado “Extracción y modificación química de almidón de papa (*Solanum tuberosum*) para su aplicación en la industria boliviana” concluyo que el hipoclorito de sodio es un excelente recurso para eliminar las impurezas y para obtener un almidón blanqueado que puede ser utilizado en las diferentes industrias para la elaboración de materiales plásticos de empaque biodegradables ya que tiene la ventaja de formar geles blancos brillantes.

2.2. ANTECEDENTES NACIONALES

Trujillo (2014) en su tesis de grado “Obtención de películas biodegradables a partir de almidón de yuca (*Manihot esculente crantz*) doblemente modificado para uso en empaque de alimentos” concluye que el almidón modificado por oxidación en la elaboración de las películas biodegradables ejercen cambios en la microestructura del almidón y cambian las propiedades del almidón nativo por consiguiente contribuye a la reducción de la humedad, permeabilidad del vapor de agua, deformación en la ruptura y aumenta el

módulo de elasticidad. Obteniendo valores óptimos con humedad de 14.84 %, solubilidad de 20.54 %, espesor de 0.11 mm, permeabilidad de vapor de agua (PVA) de 0.03 g.mm/h.m². KPa, opacidad de 3.24 %, tensión en la ruptura de 5.22 MPa, deformación en la ruptura de 28.31 % y módulo de elasticidad de 19.10 MPa.

Huaraca (2016) en su tesis de grado "Estudio de la permeabilidad al vapor de agua en películas modificadas de quitosano", llega la conclusión de que el uso de la norma ASTM E96-00 modificada por MC-Hugh, permitieron la evaluación adecuada de los tiempos y pesajes de quitosano, que fueron sometidas al estudio de la WPV. En el cual, la concentración de 1 % de quitosano y 0,3 % de glicerol mostraron valores de permeabilidad más pequeños, mientras que las películas producidas con un 2 % de quitosano y el 0,3 % de glicerol tuvieron intervalos de permeabilidad y resistencia a la tracción intermedios.

Alata y Huamani (2017) en su tesis de grado "Formulación y evaluación físico mecánica de películas biodegradables en base a residuos cítricos y celulosa bacteriana" concluye que las películas formuladas con la cáscara de naranja, la celulosa bacteriana, la pectina y el glicerol, muestran propiedades de resistencia al esfuerzo, porcentaje de alargamiento y permeabilidad aceptables. Presentado los resultados: resistencia a la tensión adecuada (2.16 a 5.92 N/mm²), porcentaje de elongación (31 a 66 %) y WPV relativamente alta (0.022 a 0.034 g.mm/ (hkPa.m²).

Alarcón y Arroyo (2016) en su publicación "Evaluación de propiedades químicas y mecánicas de biopolímeros mediante almidón de patata modificado" Llegaron a la conclusión que obtuvieron un almidón modificado con buenas propiedades mecánicas, de acuerdo con las pruebas realizadas se logró agregando ácido acético al 5 % v/v. Dado que mejora la relación de amilopectina y amilosa, la adición de quitosano y goma de Xantan le dio al biopolímero una mejor textura, además de mejorar la propiedad elástica mecánica del 8,45 al 14,38 %.

2.3. ANTECEDENTES REGIONALES

Ligarda et al. (2020) en la investigación “Propiedades fisicoquímicas, tecnofuncionales y morfológicas de almidones extraídos de clones de papa nativa (*Solanum tuberosum*) cultivados en la provincia de Andahuaylas” concluyeron que los almidones de clones de papas nativas presentaron propiedades fisicoquímicas, morfológicas y tecnofuncionales superiores a otras variedades y materias primas, lo que permite caracterizarlas como buenos ingredientes para su uso en la industria agroalimentaria.

Chocano (2019) en su tesis de grado “Propiedades físicas y mecánicas de una biopelícula formulada con almidón de papa (*Solanum tuberosum*) y mucilago de nopal (*Opuntia ficus*)” concluye que las biopelículas presentaron buenas propiedades físicas y mecánicas, dándonos una buena opción para poder ser utilizadas posteriormente en productos para un consumo directo o mínimamente procesados. En cuanto a las propiedades físicas de las biopelículas, la solubilidad es mayor con el incremento de pectina al 2 % y la temperatura, por otra parte, la opacidad y el índice de amarillo estas se incrementan con la temperatura.

Huachuillca (2018) en su tesis de grado “Influencia de la aplicación de coberturas biodegradables en la pérdida de peso e índice de madurez de la naranja criolla (*Citrus cinensis*)”, concluye que las coberturas biodegradables, tienen alto índice de barrera microbiana, y que no solo pueden ser utilizados como uso de primera necesidad si no que se le pueden dar otros usos industriales.

CAPÍTULO III

3. MARCO TEÓRICO

3.1. PAPA EN EL CONTINENTE AMERICANO

Yaipén (2013) en la publicación de Agraria Noticias Perú “Perú tiene la colección más grande de variedad de papa del mundo” según el Centro Internacional de la Papa (CIP), este tubérculo es uno de los alimentos más consumidos en sus diversas formas, derivados, y presentaciones en el mundo, cuyo origen está en los andes peruanos.

Becerra (2019) en la publicación de Andina Agencia Peruana de Noticias “Perú tiene más de 3,500 variedades de papas” según los reportes, la más grande del mundo, y hay más de 700,000 familias que viven en las 19 regiones de producción en su cultivo. El consumo de papa por persona llega actualmente a 80 kilogramos por año. Se proyecta que al 2021, cuando se celebre el Bicentenario de la Independencia Nacional, el consumo de este tubérculo llegue a los 92 kilogramos por persona al año. “Ocupa un lugar importante en la agricultura, economía y seguridad alimentaria, situándose en el cuarto lugar de los cultivos o alimentos que sustentan la nutrición a nivel mundial, después del maíz, el trigo y el arroz” (FAO, 2009, pp. 35 – 42).

En 2018, la producción de este tubérculo registró un nivel récord de 5,1 millones de toneladas, mayor con 6.81 % con respecto al año 2017, con condiciones térmicas normales, niveles adecuados de lluvia y recursos hídricos que impulsaron la floración del cultivo. Los departamentos que lograron mejores resultados fueron Puno con 7.06 %, Libertad 6.26 % y Apurímac 5.74 % (Instituto Nacional de Estadística e Informática (INEI), 2018, pp. 5 – 12). Según el (Instituto Nacional de Innovación Agraria (INIA), 2019) la cantidad de hectáreas de papa sembradas en el Perú, se estima anualmente en 300 000 hectáreas, 40 % de estas con la variedad Canchán, lo que significa aproximadamente 120 000 hectáreas cada año. Siendo el

rendimiento promedio nacional de papa de 13,3 t/ha. Mientras el rendimiento de la papa Canchán, a nivel de productores, es de hasta 30 t/ha. Teniendo el precio promedio en chacra es de S/. 0.70 Nuevos Soles por kilo a nivel de productor, mientras a nivel de mayorista es de S/. 1.00 Nuevos Soles en promedio en las variedades modernas y en las nativas es de S/. 1.20. A nivel de consumidor es de S/. 1.90 en las papas modernas y de las nativas alcanza hasta S/. 2.80 el kilo (MINAGRI, 2021).

3.1.1. Clasificación taxonómica de la papa

Terranova (1995) la clasificación taxonómica de la papa es de la siguiente manera:

Reino: Plantae

Clase: Angiospermae

Subclase: Dicotiledónea

Orden: Tubiflorales

Familia: Solanaceae

Género: *Solanum*

Especie: *Tuberosum*

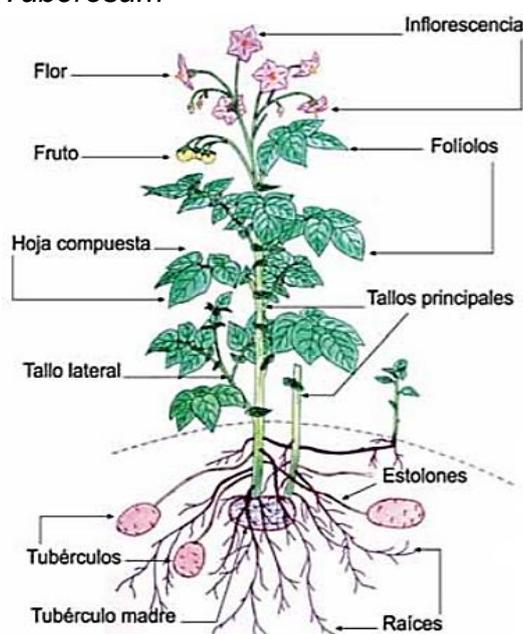


Figura 1. Planta de papa y sus partes

Fuente:(Inostroza et al., 2016, p. 8)

3.1.2. Morfología de la papa

Rios (2007) la papa es una planta suculenta, herbácea y anual por su parte aérea y perenne por sus tubérculos (tallos subterráneos) que se desarrollan al final de los estolones que nacen del tallo principal, y a veces de varios tallos, según el número de yemas que hayan brotado del tubérculo. El análisis químico proximal de la papa se diferencia de acuerdo a la variedad, en ese sentido se ilustra en Tabla 1 las principales composiciones de este cultivo.

Tabla 1. Análisis químico de la papa

Composición	Otras variedades	Papa criolla (Canchán)
Parte comestible	100 %	100 %
Calorías (100 g)	62 – 98 %	83 %
Agua %	74 – 84.5 %	75.5 %
Proteína %	1.9 – 2.5 %	2.1 %
Grasa %	0.1 – 0.5 %	0.1 %
Carbohidratos %	13.5 – 31.5 %	18.7 %
Fibra %	4.3 – 9.2 %	2.2 %
Cenizas %	0.7 – 1.5 %	1.1 %

Fuente: (Reyes García, 2009)

3.2. ALMIDÓN

Es el principal material de almacenamiento de carbohidratos en muchas plantas superiores y es considerado el segundo más grande biopolímero natural junto a la celulosa, asimismo dentro de los carbohidratos alimentarios uno de los más importantes (Cui, 2005, p. 67).

Se encuentra en los cereales, los tubérculos y en algunas frutas como polisacárido de reserva energética. Su concentración varía según el estado de madurez de la fuente, el almidón constituye la mayor fracción de los hidratos de carbono, ya que los azúcares son muy escasos; a medida que la fruta madura, el polisacárido se hidroliza por la acción de las amilasas, y mediante otros sistemas enzimáticos se sintetizan la sacarosa y la fructosa

que se encuentran cuando llega a la plena maduración (Badui, 2006, p. 79 – 80).

Desde el punto de vista químico, el almidón es una mezcla de dos polisacáridos muy similares, la amilosa y la amilopectina; el primero es producto de la condensación de D-glucopiranosas por medio de enlaces glucosídicos α (1,4), que establece largas cadenas lineales con 200 – 500 unidades y pesos moleculares hasta de un millón; es decir, la amilosa es una α – D- (1,4) - glucana, cuya unidad repetitiva es la α -maltosa. Tiene la facilidad de adquirir una conformación tridimensional helicoidal Figuras 2 y 3, en la que cada vuelta de la hélice consta de seis moléculas de glucosa.

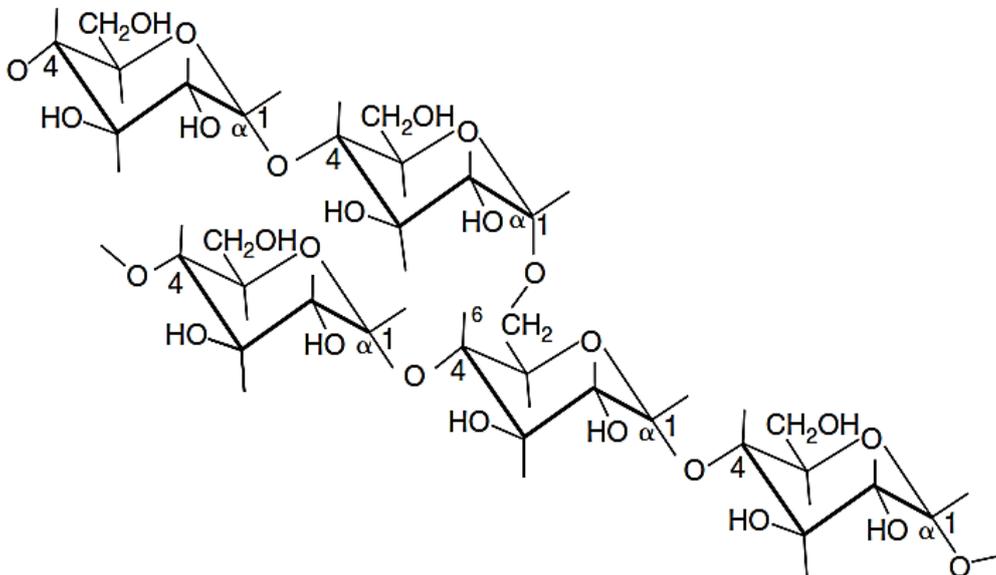


Figura 2. Estructura química de la amilopectina

Fuente: (Badui, 2006, p. 79).

En términos generales, los almidones de papa contienen aproximadamente entre 18 – 27 % de amilosa, y el resto de amilopectina ver Tabla 2.

Algunos cereales, como el maíz, el sorgo y el arroz, tienen variedades llamadas “céreas” que están constituidas casi únicamente por amilopectina; hay otras que tienen hasta 90 % de amilosa. La concentración relativa de estos dos polímeros está regida por factores genéticos típicos de cada cereal.

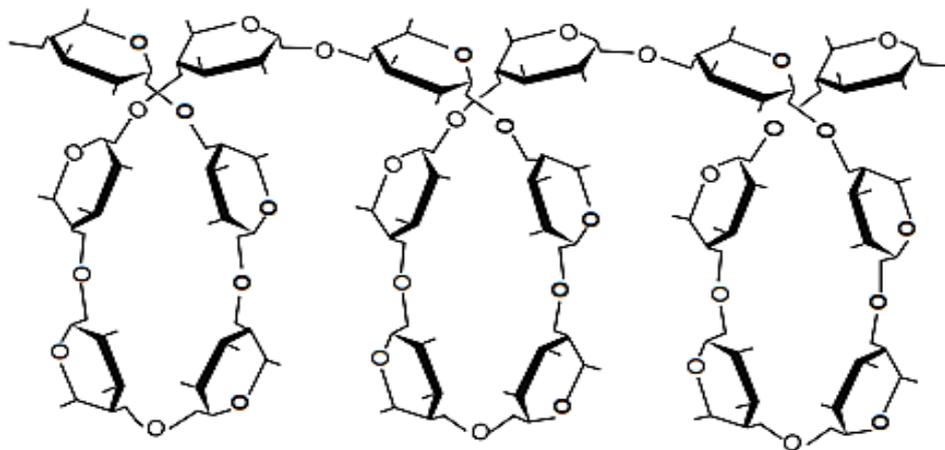


Figura 3. Enrollamiento helicoidal de la amilosa

Fuente: (Badui, 2006, p. 82).

Tabla 2. Características de algunos almidones usados en la industria

Tipo	Amilopectina (%)	Amilosa (%)	Temperatura de gelatinización (°C)	Tamaño del gránulo (micras)
Maíz	69-74	26-31	62-72	5-25
Maíz rico en amilosa	20-45	55-80	67-80	5-25
Papa	73-77	18-27	58-67	5-100
Arroz	83	17	62-78	2-5
Tapioca	82	18	51-65	5-35
Maíz céreo	99-100	0-1	63-72	5-25
Sorgo céreo	99-100	0-1	63-74	5-25
Trigo	76	24	58-64	11-41

Fuente: (Badui, 2006, p. 83)

3.2.1. Almidón de papa

El almidón de papa es el componente principal de la papa el cual está presente entre el 15 al 28 por ciento del peso de esta, para aplicaciones industriales alimentarias se considera al almidón de papa como muy puro a comparación de otros tipos de almidones; posee propiedades únicas que se atribuyen a sus estructuras granulares y moleculares (grandes cadenas de amilopectina y amilosa) incluyendo gránulos muy grandes y lisos. Además, tiene un alto

contenido de fosfato unido covalentemente, estas características combinadas hacen del almidón de papa sea una enorme fuente de biopolímero funcional para la alimentación y la ciencia de materiales (Singh y Kaur, 2009)

3.2.2. Forma y distribución de los gránulos de almidón

El tamaño y forma de distribución de los gránulos de almidón varía entre especies e incluso entre cultivos. En general, los gránulos de almidón de tubérculos son grandes y esféricos (papa: 15 – 100 μm), mientras que de los cereales son pequeños y poliédricos (arroz: 5 – 9 μm), Figuras 4 y 5.

Los almidones nativos son parcialmente cristalinos (15 – 45 %) y presentan diferentes tipos de estructuras cristalinas: A (cereales), B (tubérculos y almidones ricos en amilosa) y C (legumbres y algunos tubérculos tropicales), los tipos A y B son modificaciones cristalinas reales y el tipo C es una mezcla de ambas. El tipo de estructura cristalina depende en parte de la longitud de las cadenas que forman la estructura de la amilopectina, la densidad de empaque dentro del gránulo y la presencia de agua. Los almidones tipo B (redes hexagonales) retienen más agua que los almidones tipo A (redes monoclinicas) (Carla y Ledezma, 2018, pp. 132 – 133).

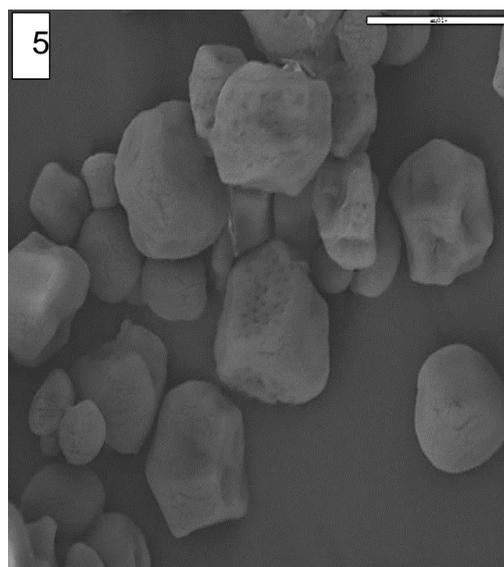
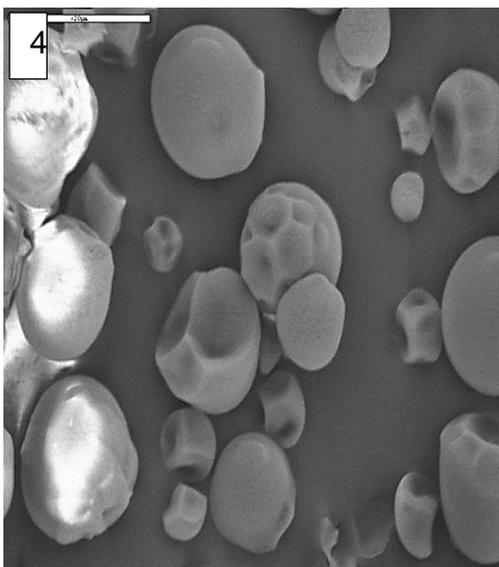


Figura 4. Gránulos de almidón de yuca

Gránulos con forma poliédrica y tamaño entre 5 μm y 17 μm . Micrografía SEM (Microscopía Electrónica de Barrido). Tamaño de la barra de referencia, 20 μm .

Figura 5. Gránulos de almidón maíz céreo

Gránulos de amilopectina (almidón de maíz céreo), gránulos con forma poliédrica y tamaño entre 6 μm y 18 μm . Micrografía SEM (Microscopía Electrónica de Barrido). Tamaño de la barra de referencia, 20 μm (Carla y Ledezma, 2018, pp. 132 – 133).

Los gránulos de almidón se producen en todas las formas y tamaños (esferas, elipsoides, polígonos, plaquetas y túbulos irregulares); sus dimensiones en diámetro en forma de gránulos.

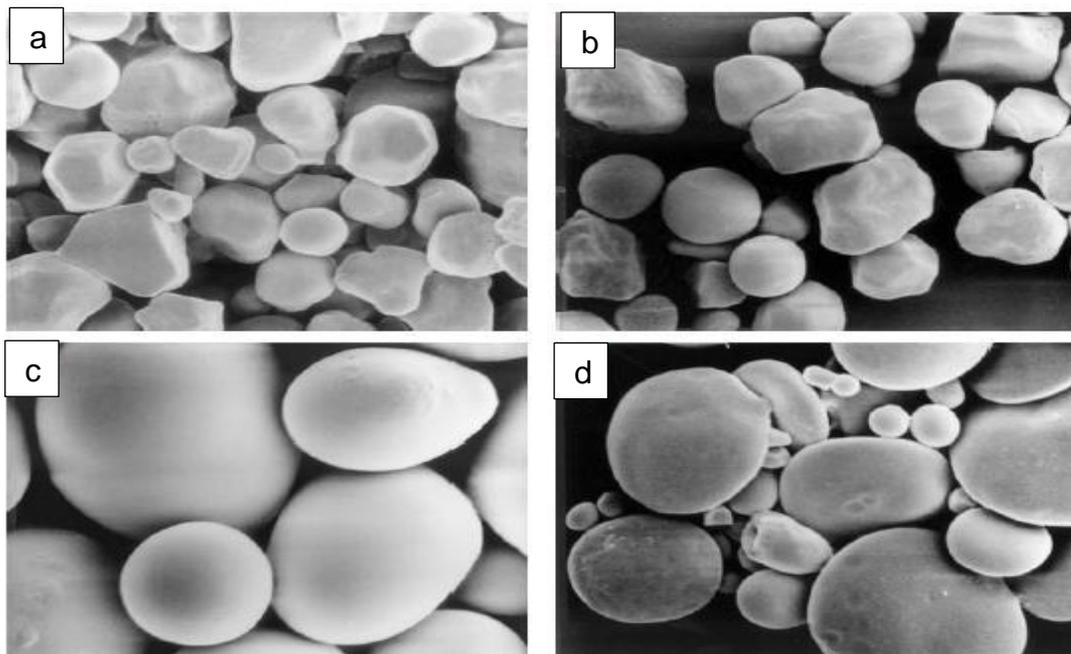


Figura 6. Gránulos visto por microscopía de barrido electrónico

(a), maíz normal, (b) maíz ceroso, (c) papa y (d) trigo

Fuente: (Bemiller y Whistler, 2009, pp.194-204)

Estos gránulos son partículas parcialmente cristalinas las cuales están formadas de dos homopolímeros de glucopiranosos con diferentes estructuras, estas estructuras se conocen como la amilosa y amilopectina (Figura 4,5,6) (Carla y Ledezma, 2018; Bemiller y Whistler, 2009).

3.2.3. Modificación del almidón

La modificación del almidón es la alteración física o química que se realiza con el fin de mejorar sus propiedades funcionales, en donde se busca reducir la excesiva viscosidad, aumentar la resistencia al cizallamiento, disminuir tendencia a la retrogradación, baja estabilidad en frío, entre otras (Singh y Kaur, (2009) ;Bertolini, (2010); Bemiller y Whistler, (2009).

Schwartz y Whistler (2009) estas modificaciones se pueden llevar a cabo usando técnicas químicas, físicas, biológicas o enzimáticas. La modificación química usada frecuentemente es la sustitución (ejemplos: oxidación, acetilación, hidroxipropilación), en donde se introducen sustituyentes voluminosos en las cadenas de almidón reduciendo la cristalización de la amilosa y la amilopectina (Han et al., 2012).

Singh y Kaur (2009) afirman que la modificación al almidón busca superar las limitaciones del almidón nativo, como la baja resistencia al cizallamiento, al ácido y sobre todo su alta tendencia a la retrogradación, así mismo afirman que la efectividad de la modificación depende del origen botánico, el tamaño y la estructura de los gránulos de almidón.

Bertolini (2010) afirma que la modificación química o física de un almidón nativo, acentúa las características positivas y disminuye las cualidades indeseables, entre estas la excesiva viscosidad a tan poca cantidad de sólidos (ocasiona falta de textura), la alta susceptibilidad a la retrogradación (opacidad del gel y la baja estabilidad a la congelación-descongelación) y sobre todo la falta de tolerancia al proceso (Temperatura, acidez, pH, esfuerzo de corte entre otras).

Para las principales modificaciones químicas del almidón de papa en la industria, ver Tabla 3.

Tabla 3. Modificaciones químicas al almidón de papa

Modificación química	Agente modificador	Efecto en las propiedades del almidón	Referencias
Entrecruzamiento	Tripolifosfato de sodio	Mejoramiento de la tensión a la fractura y flexibilidad	(Gutiérrez et al., 2015)
	Ácido bórico Ácido tartárico	Aumento de la tensión reducción de la PVA	(KHAN et al., 2006) (Olivato et al., 2012)
	Ácido cítrico	Aumento en la tensión a la fractura mejoramiento de las propiedades de barrera Películas más claras y flexibles disminución de la permeabilidad.	(Olivato et al., 2012) (Atichokudo mchai et al., 2004)
Oxidación	Hipoclorito de sodio	Las tendencias a la gelatinización y retrogradación del almidón se redujeron, aumentaron la dureza del gel, aumentaron enlaces de hidrógeno Orgánico	(Olivato et al., 2012)
Hydroxipropilación	Oxido de propileno	Mayor elongación disminución de la PVA	(Polnaya, 2005) (Ramos
Dual	Agentes diferentes	Aumento en la resistencia y en la flexibilidad disminución de PVA	garcía et al., 2018) (Zavareze et al., 2012)

Fuente: Modificado de (Shah et al., 2016; Ramos garcía et al., 2018).

3.2.4. Modificación del almidón por oxidación

Wang, Y y Wang, L (2003) el almidón en los alimentos puede ser modificado por agentes oxidantes en condiciones controladas. Dependiendo de la cantidad y el tipo de reactivo utilizado, esta modificación se clasifica como oxidación o blanqueamiento. Para llevarla a cabo, se utiliza hipoclorito de sodio lo que resulta en un aumento del ácido carboxílico y grupos carbonilo. Los factores que afectan la oxidación del hipoclorito incluyen pH, temperatura,

concentración de hipoclorito, estructura molecular del almidón y origen del almidón.

La tasa de oxidación depende de la alcalinidad del medio de reacción y esto influye en la viscosidad de la solución del almidón oxidado, así mismo disminuye la temperatura de gelatinización, aunque la retrogradación es ligeramente aumentada. (Sangseethong y Lertphanich, 2009).

Wang, Y y Wang, L (2003) indicó que el almidón de papa tenía el mayor contenido de carboxilo, mientras que el almidón de maíz tenía el más bajo. El alto contenido de carboxilo observado en el almidón de papa oxidado sugiere que este almidón era más susceptible a la oxidación debido al mayor tamaño de los gránulos y la naturaleza más lineal de la amilosa. La oxidación del almidón conduce a una mayor interacción entre las cadenas de polímeros, lo que afecta la cristalinidad y la flexibilidad de la película y, por lo tanto, provoca un aumento en la resistencia a la tracción de las películas resultantes (Zhang et al., 2009).

Zavareze et al. (2012) la dureza del gel del almidón de yuca oxidado con hipoclorito de sodio aumenta debido a los enlaces de hidrógeno en comparación con el almidón nativo debido a la formación de grupos carboxilo y carbonilo y la reducción del tamaño de las moléculas de amilosa. Las películas de almidón oxidado con cloro activo poseen menor solubilidad en agua en comparación con las del almidón nativo. Esto ocurre debido al aumento de interacciones entre las moléculas de amilosa y los enlaces que se forman por la oxidación del almidón, reduciendo la capacidad de absorber agua

3.2.5. Propiedades funcionales del almidón

El almidón tiene muchos usos en la agroindustria, especialmente como espesante, estabilizante, aglutinante y plastificante, y estos efectos se deben principalmente a sus propiedades funcionales.

A) Gelatinización

Según (Bemiller y Whistler, 2009) detalla la gelatinización como el colapso del orden molecular de los gránulos de almidón, que se manifiesta en cambios irreversibles en las propiedades, como la hinchazón granular, la fusión de gránulos cristalinos (causa gránulos amorfos), la pérdida de birrefringencia y la solubilización del almidón.

El punto de gelatinización inicial y el rango sobre el que se produce se rige por la concentración de almidón, método de observación, tipo de gránulo, y heterogeneidades dentro de la población de gránulos en observación.

FAO (1977) en una primera fase, el agua se distribuye por las zonas amorfas de los gránulos de almidón, generando una primera hinchazón reversible. Durante esta etapa de cocción, la amilosa se solubiliza y el almidón sufre una dispersión coloidal.

B) Temperatura de transición vítrea

Si el calentamiento continúa, las moléculas de agua alrededor de los gránulos rompen los enlaces de hidrógeno en el interior de los gránulos, estos absorben agua lentamente y se hinchan. Este proceso es irreversible y ocurre después de que se alcanza una temperatura crítica que depende de la humedad presente, definida como la temperatura de transición vítrea T_g (Temperatura de gelatinización) la cual es característica de cada almidón, pero también depende de la concentración de la suspensión. Cuando la molécula de almidón está completamente hidratada empieza a expandirse -se abre la hélice de la cadena- primero hacia el extremo externo y la cadena lineal más corta (amilosa) tiende a difundirse. Alcanzada esta temperatura se incrementa el hinchamiento y la birrefringencia desaparece (Waniska y Gómez, 1992).

Bertolini (2010) el desmoronamiento del orden molecular se produce cuando la temperatura del almidón inmersa en el agua alcanza entre 60 y 70 °C, donde los gránulos insolubles se ven afectados por la energía suministrada

conllevando la pérdida de la organización molecular y, en consecuencia, la pérdida de su cristalinidad. En esta etapa, hay un aumento en la solubilización del almidón y la viscosidad, lo que resulta en un cambio irreversible, como la interrupción de la estructura granular y semicristalina observada como una pérdida de birrefringencia. Para mejor entendimiento de las propiedades funcionales de los polímeros, se detalla en Figura 7.

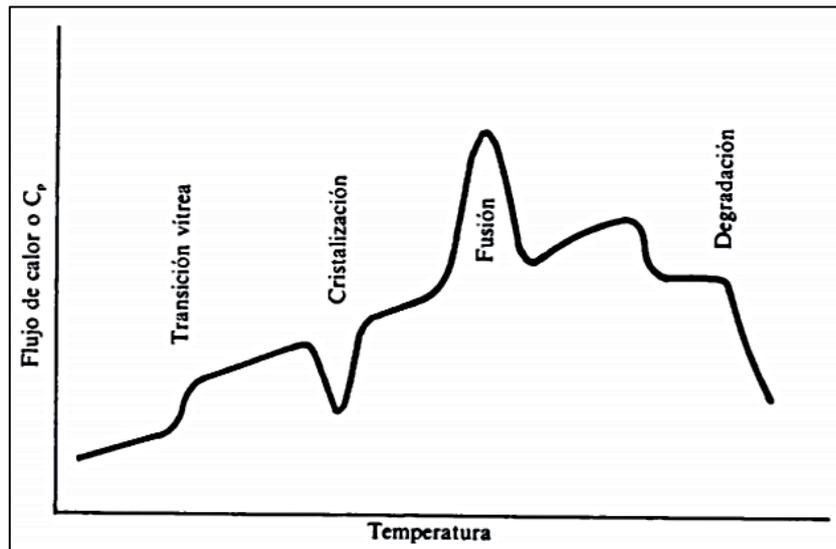


Figura 7. Simplificación de las transiciones de un polímero.

Fuente: (Llorente et al., 1991)

C) Desestructuración

Según (Ruiz, 2006) el proceso de desestructuración del almidón natural es la transformación de los granos de almidón semicristiano en una matriz homogénea de polímero amorfo y en la destrucción de los enlaces de hidrógeno entre las moléculas de almidón, de un lado y la despolimerización parcial de las moléculas del otro. Los factores fisicoquímicos que participan en el proceso son: temperatura, esfuerzo cortante, velocidad de cizalladura, tiempo de residencia, contenido de agua, y cantidad total de energía aplicada. La amilopectina se despolimeriza inicialmente y luego la amilosa, con la aplicación de mayor energía. La desestructuración también puede ocurrir cuando se aplica calor. El aumento de temperatura incrementa la solubilidad

del almidón en agua produciéndose una despolimerización significativa alrededor de los 150 °C; sin embargo, solamente por encima de 190 °C puede confirmarse el incremento de la solubilidad. Cuando se aumenta el contenido de humedad de la mezcla disminuye el grado de desestructuración (Fritz, 1994). Posteriormente, si el almidón gelatinizado se somete a un almacenamiento prolongado, se da origen a otro fenómeno fisicoquímico conocido como retrogradación, el cual se define como la formación de estructuras cristalinas, debido a que las cadenas lineales de amilosa se orientan de forma paralela, estableciéndose puentes de hidrógeno a través de sus grupos hidroxilos adyacentes (Hoseney, 1980).

D) Retrogradación

Después de la gelatinización y tras el enfriamiento, especialmente durante el almacenamiento, la retrogradación se produce como resultado de la Re asociación y la cristalización de moléculas de almidón (formación de dobles hélices y cristalitos), principalmente de la amilosa de forma rápida, seguido de una lenta recristalización de las moléculas de amilopectina, y que modifican aún más la estructura del gel; por lo tanto influye en la textura y el tiempo de vida de los productos derivados del almidón gelificado (Ahmed et al., 2012).

La retrogradación del almidón suele ir acompañada de una serie de cambios físicos tales como el aumento de la viscosidad y turbidez de los geles, formación de geles, exudación de agua, precipitación de partículas de almidón insolubles y el incremento del grado de cristalinidad (Hoover et al., 2010).

3.3. PLASTIFICANTES

El plastificante es una sustancia normalmente líquida y de viscosidad mayor a la del agua que se adiciona a la mezcla con el fin de mejorar la flexibilidad del material mediante la reducción de las fuerzas intermoleculares (Halley et al., 2006).

Andersen y Hodson (2001) expuso que el efecto plastificante puede ser dado por sustancias como: agua, alcoholes, aldehídos, cetonas, ácidos orgánicos, aminas, ésteres, amidas y mezclas entre estos, pero se prefiere utilizar plastificantes cuya presión de vapor sea baja para evitar que éste se volatilice al finalizar el proceso de extrusión o de calentamiento.

La adición de plastificantes disminuye la temperatura de fusión y la temperatura de transición vítrea, cambiando su comportamiento reológico (Bastioli et al., 1995) debido a que logra movilizar moléculas, dando plasticidad al material. Los plastificantes solubles en agua como el glicerol son efectivos agentes suavizantes para los almidones, mejorando la flexibilidad de las películas resultantes así mismo cuanto más se incluye una sustancia plastificante en una matriz polimérica, la elongación y la deformación se incrementan mientras que el esfuerzo de ruptura, el módulo de Young disminuye (Alves et al., 2007).

3.3.1. Glicerina

También llamado: Glicerol, Alcohol Glicílico, Glicil alcohol, 1,2,3 propanotriol, Trihidroxipropano. Es un compuesto alcohólico con fórmula química ($C_3H_5(OH)_3$), con principales usos en, resinas alquídicas, celofán, explosivos, gomas de ester, productos farmacéuticos, perfumería, plastificante para celulosa regenerada, etc. (CORQUIVEN, 2007).

La producción más importante de glicerol se obtiene como subproducto en la fabricación de biodiesel, industria ésta que está en gran auge los últimos años, y que ha elevado enormemente la cantidad de glicerol presente en el mercado, relegando a un segundo plano la producción vía saponificación (Lafuente, 2017).

“El glicerol fue encontrado como el factor más influyente en las propiedades mecánicas, por lo que requiere de especial control, ya que porcentajes superiores a 25 % de glicerol no permiten obtener altos valores en las propiedades como esfuerzo y elongación” (Enríquez et al., 2013).

3.4. PELÍCULAS Y PLÁSTICOS BIODEGRADABLES

El plástico biodegradable (TPS, por sus siglas del inglés Thermoplastic Starch), es un polímero natural con estructura compleja que al calentarse por encima de su punto de fusión su flujo es viscoso con deformación termoplástica. El agua es el plastificante principal, sin embargo, es demasiado transitorio para ser utilizado como el único plastificante para TPS. Otros plastificantes menos volátiles son glicerol, pentaeritritol, polioles, alcoholes de azúcar, poli (oxietileno)s, poli (oxipropileno)s, no iónicos y aniónicos (Shanks y kong, 2012).

Ecoembes (2016) denomina bioplásticos (BPL) a los plásticos elaborados parcialmente o por completo de polímeros de materiales provenientes de fuentes renovables. Así mismo señala que la característica fundamental de los BPL es la biodegradabilidad lo que implica degradación y destrucción por la acción de los hongos y bacterias, bajo condiciones ambientales determinadas. Como norma general, se puede considerar que un material es biodegradable en medio húmedo cuando se degrada entre 28 y 60 días o en medio seco o en compostaje natural, en 90 días.

Son materiales capaces de desarrollar una descomposición aeróbica o anaeróbica por acción de microorganismos tales como bacterias, hongos y algas bajo condiciones que naturalmente ocurren en la biosfera. Son degradados por acción enzimática de los microorganismos bajo condiciones normales del medio ambiente (Centro de Información Técnica - CIT, 2009).

3.4.1. Películas biodegradables

Son materiales capaces de desarrollar una descomposición aeróbica o anaeróbica por acción de microorganismos tales como bacterias, hongos y algas bajo condiciones que naturalmente ocurren en la biosfera. Son degradados por acción enzimática de los microorganismos bajo condiciones normales del medio. Son obtenidos usualmente por vía fermentativa y se los denomina también Biopolímeros.

Como ejemplos tenemos el Biopol™ poliésteres copolímeros del tipo polihidroxibutirato (PHB)/polihidroxivalerato (PHV), el Pululano (que es un polisacárido), el PLA (Acido poliláctico), etc. Este último (PLA) es uno de los más conocidos y está basado 100 % en el almidón obtenido del maíz, trigo o papas (Centro de Información Técnica - CIT, 2009).

“Según La Asociación Europea de Bioplástico (European Bioplastics), un material plástico se define como bioplástico si es de base biológica, si es biodegradable, o si tiene ambas propiedades” (Estrada, 2012)

3.5. PROPIEDADES MECÁNICAS

El módulo de Young o módulo de elasticidad longitudinal es un parámetro que caracteriza el comportamiento de un material elástico, según la dirección en la que se aplica una fuerza (Omnia, 1788).

Se denomina módulo de elasticidad a la razón entre el incremento de esfuerzo y el cambio correspondiente a la deformación unitaria. Si el esfuerzo es una tensión o una compresión, el módulo se denomina módulo de Young y tiene el mismo valor para una tensión que para una compresión, siendo una constante independiente del esfuerzo siempre que no exceda de un valor máximo denominado límite elástico. Entonces “tanto el módulo de Young como el límite elástico, son naturalmente distintos para las diversas sustancias” (Martínez y Azuaga, 1997).

La mayoría de las características mecánicas de los polímeros son muy sensibles a la velocidad de deformación, a la temperatura y a la naturaleza química del medio (presencia de agua, oxígeno, disolventes orgánicos, etc. (William y Devid, 2015).

El efecto de estos compuestos sobre las propiedades mecánicas de las películas produce una reducción de la rigidez, lo que se traduce a menor tensión máxima de rotura y mayor elongación relativa. Este comportamiento se asocia a la reducción de las interacciones entre las moléculas que forman el polímero (Ramos et al., 2012; Garde, 2014).

3.6. PROPIEDADES FÍSICAS

3.6.1. Solubilidad

Cuando se habla de solubilidad se debe establecer el concepto de solución química (disolución), además es importante revisar como se describe la composición de la materia, pues ésta está constituida de átomos y moléculas, por ello cualquier sustancia, sin importar el estado de agregación de sus moléculas, puede formar soluciones con otras (Galeano, 2015). El proceso de disolución de una sustancia en un líquido está relacionado, entre otros factores, con las interacciones siguientes:

a) Interacciones que se oponen a la disolución:

Interacciones soluto-soluto. Fuerzas de atracción entre las partículas del soluto.

Interacciones disolvente-disolvente. Fuerzas de atracción entre las partículas del disolvente.

b) Interacciones que favorecen la disolución:

Interacciones soluto – disolvente. Fuerzas de atracción entre las partículas del soluto y del disolvente.

Del predominio de una y otra dependerá la solubilidad. Mientras mayor sea la fuerza de atracción entre las partículas del disolvente y del soluto, mayor será la solubilidad (Mesa et al., 2008).

Villamizar y Martínez (2008) mencionan que la disolución de un polímero es un proceso lento que puede tomar lugar si las fuerzas intermoleculares polímero-polímero son superadas por las fuerzas de interacción polímero-solvente.

3.6.2. Humedad

AOAC (2005) la cantidad de humedad que absorbe un polímero dado es muy importante en la industria, pues cuando se va procesar un material polimérico, si este presenta humedad puede traer problemas al producto final. Además, la absorción de agua puede conllevar cambios dimensionales relativamente

grandes en las piezas de polímeros de ingeniería, con los consiguientes problemas que ello pueda causar.

Igualmente, algunos polímeros que son creados especialmente para que sean hidrofóbicos pueden tener algunas aplicaciones especiales, lo mismo que los hidrófilos.

3.6.3. Permeabilidad al vapor de agua

(Guarda et al., 2001) conocido por el acrónimo (WVP), que proviene de la permeabilidad al vapor de agua en habla inglesa, o conocido también es español como (PVA). La permeabilidad es la propiedad que comprende películas de plástico que permiten el paso de gases o vapores a través de su estructura molecular, ya sea dentro o fuera del contenedor

Hay dos métodos los cuales permiten el paso a través de materiales poliméricos: uno es el efecto de los poros, en el que los gases y los vapores fluyen a través de microporos, imperfecciones y pequeñas grietas del material. El otro método es el efecto solvente de difusión (difusión – solubilidad), en el que se disuelve en la superficie de la película y se difunden a través del gradiente, evaporándose de la superficie y desplazándose a lugares de menor concentración. (Guarda et al., 2001). Los principales factores que influyen en la permeabilidad en gases y vapores son el tipo de polímero y permeante, así como la temperatura y grosor del polímero.

Según (Pascat, 1986) la permeabilidad de una película biodegradable varía según el polímero. Los materiales poliméricos tienen una amplia gama de propiedades dependiendo de su composición y la estructura química. Por ejemplo, la interacción hecha entre éste y la molécula del permeante, la naturaleza de fuerzas entre las cadenas de polímero que forman la matriz de la película. El grado de reticulación de las moléculas, la cristalinidad y la presencia de plastificantes o aditivos y condiciones de procesamiento, factores que influyen en las propiedades de barrera en los gases y vapores. En general, la permeabilidad disminuye cuando la cristalinidad, la densidad y

la orientación de las moléculas se incrementan durante la formación de la película. La disolución y la posterior evaporación del permeante dependen de la solubilidad del mismo en la película

Las películas basadas en compuestos naturales hidrófobos, como las resinas y las proteínas no solubles, son los más recomendables retardando el intercambio de humedad. Sin embargo, las películas hidrocoloides solubles en agua reportan altos niveles de permeabilidad al vapor de agua porque son de naturaleza hidrófila que tienen afinidad por el agua y permiten su paso limitando sus aplicaciones.

Por esta razón, el estudio de la WVP es igualmente importante estudiarlo con profundidad.

Para investigar la permeabilidad de los gases o vapores por una película, es utilizado la Ley de la Fick, que afecta la difusión unidireccional de un componente "A" por una película "B".

$$J_{AZ} = -D_{AB} \frac{\partial C_A}{\partial Z} \dots \dots \dots Ec(1)$$

Donde:

J_{AZ} = Es el flujo o cantidad de permeante (n) que se difunde por unidad de área (A) en un tiempo (t) en la dirección z; entonces

$$J_{AZ} = \frac{An}{t} \dots \dots \dots Ec(2)$$

D_{BA} = Difusividad de masa molecular del permeante "A" a través del film "B"

$$\frac{\partial C_A}{\partial Z} = \text{Gradiente de concentración en la dirección Z} \dots \dots Ec(3)$$

Las pruebas gravimétricas están estandarizadas por el método ASTM E96 (1995). La técnica gravimétrica es la más usada para la determinación de la permeabilidad del vapor de agua en películas biodegradables. Consiste en formar un sistema hermético en el que la película sella un contenedor con una

cantidad controlada de agua o una solución salina saturada, este proceso se basa en las leyes de transferencia de materia de Fick y Henry. Para esto, primero tenemos que calcular la transmisión de vapor de agua (WVTR) y la permeación. Segundo, para la WVTR se calcula como el cociente de relación que ingresa a la pendiente de la curva de agua con el paso del tiempo. Mientras que el área de la película expuesta se determina en condiciones conocidas de cierto espesor, temperatura y gradiente de presión.

3.7. CARACTERÍSTICAS MICROBIOLÓGICAS

3.7.1. Inocuidad de los alimentos en el transporte, almacenamiento y distribución

El artículo 92 de la Ley N° 26842, la Ley de Salud General, establece que la Autoridad de salud a nivel nacional es responsable del control sanitario de salud y bebidas.

(Andino, 2010) para asegurar alimentos sanitarios higiénicos, no solo deben tenerse en cuenta, que sean organolépticamente aceptables, alimentos nutricionales y sanos, sino también; garantizar que dichos productos no estén contaminados debido a la producción biológica, química y física, el transporte, el almacenamiento y la distribución y durante las fases de procesamiento industrial, manipulación y preparación inmediata para el consumo.

Parlamento Europeo (2004) cualquier material u objeto que se toca directa o indirectamente con los alimentos debe ser lo suficientemente inerte y microbiológicamente estable para evitar la transmisión de sustancias a los alimentos en cantidades que sean lo suficientemente grandes como para poner en peligro la salud humana o una modificación inaceptable de la composición de los productos alimenticios o un cambio de las propiedades organolépticas de los mismos.

Ministerio de salud (2008) que por la Resolución Ministerial N° 615-2003-SA/DM, los "criterios microbiológicos de calidad de salud y seguridad para alimentos y bebidas del consumo humano han sido aprobados, en los cuales se señalan los criterios microbiológicos que los alimentos deben cumplir en

condición natural, desarrollado o procesado para ser apropiado para el consumo humano, según corresponda. Para determinar que la revisión de su cumplimiento será responsable de las agencias competentes en el monitoreo sanitario de salud y bebidas a nivel nacional

Cabrera (2013) el criterio microbiológico para que un alimento defina su aceptación son basados en la ausencia o presencia, o prevalencia de microorganismos, incluidos los parásitos y en la cantidad de sus toxinas/metabolitos por unidad o unidades de masa, volumen en el manejo por transporte, almacenamiento y contacto con superficies de envoltorio o lote.

3.7.2. Características microbiológicas y medios de siembra

Britania (2015) este medio se usa para aislar los bacilos Gram negativos de desarrollo simple, aeróbicos y anaerobios de muestras clínicas, agua y alimentos. Todos los tipos de familia Enterobacteriaceae se desarrollan en las mismas condiciones. Su fórmula cumple con los requisitos de la armonización de farmacopeas europeas, japonesas y de los Estados Unidos de América del Norte.

Actualmente hay muchos medios para el cultivo, el aislamiento y la identificación de enterobacterias. Uno de estos medios fue desarrollado y publicado a principios del siglo XX por MacConkey. Aquí se basa en el hecho de que las sales biliares están precipitadas por los ácidos. Los microorganismos entéricos tienen fermentadores de lactosa y no fermentadores. Los microorganismos de fermentación de lactosa dan a las colonias rosadas o rojo con o sin precipitado biliar, mientras que los no fermentadores se presentan como colonias transparentes.

Francisco (2009) la existencia de sales biliares y el cristal violeta inhibe el crecimiento de la mayoría de bacterias Gram positivas, como la Enterococcus y el Estafilococos. La selección de productos que penetran en su composición evita el crecimiento del Proteus-spp. El medio es indicado para el trabajo con

muestras clínicas con flora mixta. También se puede utilizar en el análisis de alimentos.

3.7.2.1. Tinción de Gram

Rodríguez y Arenas (2018) el colorante de Gram o tinción Gram, distingue las bacterias en dos grupos grandes. Se llama bacterias Gram positivas en aquellos que retienen el colorante de violeta azul y nombradas bacterias Gram negativas a las que se decoloran y luego son teñidas con safranina.

Esta diferencia de coloración se debe a la estructura de las paredes celulares de ambos tipos bacterianos, el cual se ilustra en (Tabla 4). Las bacterias de Gram positivas tienen una pared gruesa que consiste en peptidoglucanos y polímeros, a prueba de agua, haciendo una línea de decoloración. Por otro lado, las bacterias Gram negativas de tienen una fina capa de peptidoglucanos, así como una bicapa de lipoproteína que se puede revertir con la decoloración

Tabla 4. Disparidad entre bacterias Gram positivas y Gram negativas.

	Bacterias Gram positivas	Bacterias Gram negativas
Color con la tinción de Gram	Violeta	Rojo
Pared celular	Gruesa	Delgada
Presencia de lipopolisacáridos en pared celular	Ausente	Presente
Presencia de ácidos lipoteicoicos y teicoicos en pared celular	Presente	Ausente

Fuente: (Rodríguez y Arenas, 2018)

3.8. MARCO CONCEPTUAL

Almidón modificado: El almidón se modifica para mejorar diferentes propiedades funcionales, y al ser incorporados con otros productos, estos mejoren sus atributos. Algunos de los tratamientos químicos aprobados para la producción de almidones modificados son: oxidación, eterificación, lincnerización, entrecruzamiento, esterificación y acetilación (Shah et al., 2016).

Almidón modificado por oxidación: El almidón se oxida con hipoclorito, lo que resulta en un aumento del ácido carboxílico y grupos carbonilo (Olivato et al., 2012).

Gelatinización: El colapso del orden molecular de los gránulos de almidón, se manifiestan en cambios irreversibles en sus propiedades, como la hinchazón granular, la fusión de gránulos cristalinos (causa gránulos amorfos) (Bemiller y Whistler, 2009).

Plastificantes: Los plastificantes son sustancias normalmente líquidas y de viscosidad mayor que la del agua, estos generalmente son agregados en bioplásticos para mejorar la flexibilidad del material al reducir las fuerzas intermoleculares.

Glicerina: Compuesto alcohólico, de fórmula química $(C_3H_5(OH)_3)$, con usos principales en resinas alquídicas, celofán, explosivos, caucho, gomas de ester, productos farmacéuticos, perfumerías, plastificantes, etc. (CORQUIVEN, 2007).

Esfuerzo a la ruptura: Esta dada entre la relación del aumento del esfuerzo y el cambio de deformación unitaria sobre el material de prueba.

Películas y plásticos biodegradables: Se define plásticos biodegradables, a los plásticos producidos parcialmente o totalmente de materiales renovables, la característica principal implica la degradación y la destrucción por el efecto de los hongos y las bacterias bajo ciertas condiciones ambientales.

Permeabilidad al vapor de agua: La permeabilidad es una propiedad física de las películas biodegradables que comprende el paso de gases o vapores a través de su estructura molecular, ya sea de afuera o dentro del contenedor.

Características microbiológicas: Aseguran la inocuidad de los alimentos, a causa de agentes biológicos, químicos y físicos activos durante la producción, transporte, almacenamiento, distribución y durante las fases de su desarrollo industrial (Ministerio de salud, 2008).

CAPÍTULO IV

4. METODOLOGÍA DE LA INVESTIGACIÓN

4.1. LUGAR DE EJECUCIÓN

Las pruebas experimentales se desarrollaron en los laboratorios de Química y Biotecnología de la Escuela Profesional de Ingeniería Agroindustrial (EPIA), de la Universidad Nacional José María Arguedas (UNAJMA), ubicada en el barrio de Santa Rosa en la Av. 28 de Julio N° 1103 del distrito de Talavera, provincia de Andahuaylas y Región de Apurímac.

Las pruebas mecánicas se realizaron en los laboratorios del sistema de servicios y análisis químicos S.A.C. (SLAB), RUC: 20602031889. Ubicada en la calle 22 urb. Vipol Naranjal Mz, e, lote 07, San Martín de Porres-Lima

4.2. MATERIALES, INSTRUMENTOS Y EQUIPOS

4.2.1. Materiales

Tabla 5. Materiales

CANTIDAD	UNIDAD	MATERIALES
06	Unid.	Fiolas de 50 ml
01	Unid.	Pizeta
02	Unid.	Varillas de vidrio
01	Unid.	Espátula
02	Unid.	Probetas de 100 ml
02	Unid.	Probetas de 50 ml
06	Unid.	Vasos precipitados de 50 ml
01	Unid.	Pizeta
02	Unid.	Pipetas de 10 ml
02	Unid.	Pipetas de 5 ml
02	Unid.	Pipetas de 1 ml
01	Unid.	Micro pipeta
01	Unid.	Pro pipeta
30	Unid.	Placas Petri de vidrio 60x15 mm
01	Unid.	Rotulador
01	Unid.	Cinta masking type
06	Unid.	Matraz aforado de 100 ml

20	Unid.	Portaobjetos
20	Unid.	Cubreobjetos
1	Unid.	Vidrio de reloj
27	Unid.	Tubos de ensayo 10x75 mm
2	Unid.	Papel Whatman #4
1	Unid.	Pape de aluminio
2	Unid.	Tamiz malla N° 100 (0.15 mm)
1	Unid.	Gradilla

4.2.2. Instrumentos y equipos

Tabla 6. Instrumentos y equipos

CANTIDAD	UNIDAD	INSTRUMENTOS Y EQUIPOS	MARCA
01	Unid.	Agitador magnético digital	OVAN
01	Unid.	Termómetro digital desde -50 °C hasta +200 °C	S/M
01	Unid.	Estufa eléctrica	KER LAB
01	Unid.	Balanza electrónica digital	E-ACCUPA
01	Unid.	Baño maría	S/M
01	Unid.	Texturómetro	TEXTURE ANALYZER
01	Unid.	pH- metro	S/M
01	Unid.	Centrifuga de laboratorio	S/M
01	Unid.	Micrómetro digital	S/M
01	Unid.	Incubadora eléctrica	S/M
01	Unid.	Vernier digital	MITUTOYO ELECTRONIC DIGITAL CALIPER
01	Unid.	Termohigrómetro digital	HTC-2

4.3. REACTIVOS E INSUMOS

Tabla 7. Reactivos e insumos

CANTIDAD	UNIDAD	REACTIVOS E INSUMOS
01	l	Etanol 95 %
20	l	Agua destilada
100	ml	Hidróxido de sodio
500	ml	Hipoclorito de sodio
100	ml	Ácido sulfúrico
500	g	Glicerol
200	g	Cloruro de calcio
400	g	Agar MacConkey
30	ml	violeta de Genciana
30	ml	Lugol
30	ml	Alcohol acetona
30	ml	Fucsina fenicada

4.4. POBLACIÓN Y MUESTRA

Población: La población fue de la unión entre el almidón modificado de papa por oxidación, agua destilada y glicerina. Siendo un total de 54 películas con 108 g aproximadamente en total.

Muestra: Para obtener la muestra se realizó un muestreo no probabilístico, por conveniencia, el cual consistió en tomar películas biodegradables que cumplan con las siguientes características: tamaño homogéneo y sin fracturas.

Unidad de análisis: Se selecciono un aproximado de 70 g de películas, a los cuales se les determinó sus propiedades mecánicas, propiedades físicas y características microbiológicas.

4.5. TIPO DE INVESTIGACIÓN

4.5.1. De acuerdo a su naturaleza

Cuantitativa: Causas (2015) este tipo de investigación utiliza información cuantitativa o cuantificable (medible). Algunos ejemplos de investigación cuantitativa son: diseños experimentales y diseños cuasiexperimentales.

4.5.2. De acuerdo al fin que persigue

Aplicada: Busca la producción de conocimiento con la aplicación directamente a los problemas de la sociedad o del sector productivo. Se caracteriza porque busca la aplicación o el uso del conocimiento adquirido y también está estrechamente vinculado a las ciencias básicas. (Ñaupas et al., 2018 y Lozada, 2014),

Aplicada, porque se pretende estudiar:

- Propiedades mecánicas
- Propiedades físicas
- Características microbiológicas

De las películas biodegradables a partir del almidón modificado de papa (*Solanum tuberosum*) variedad canchán y glicerina.

4.5.3. De acuerdo al tiempo

Transversal:

Según (Fernández et al., 2014) está orientado a la colección de datos en un solo momento, en un solo período. Tiene un propósito de describir variables y analizar su incidencia y relaciones en un momento dado. Por lo tanto, esta investigación es de tipo transversal ya que se analizaron los datos del experimento (obtención de películas biodegradables) de acuerdo al cronograma previamente establecido.

4.5.4. De acuerdo a la técnica de contrastación

Alonso et al. (2012) y Fernández et al. (2014) al explorar el enfoque experimental, el investigador introduce una o más variables de estudio para controlar el incremento o disminución de las variables y sus efectos en el comportamiento observado. En otras palabras, un experimento consiste en cambiar el valor de una variable (variable independiente) y observar su efecto en otra variable (variable dependiente). En ese sentido, esta investigación se basó en realizar experimentos con un número repetido de veces en

condiciones idénticas, con la finalidad de determinar los fenómenos que ocurren en la manipulación de las dos variables.

4.6. MÉTODOS Y TÉCNICAS DE ANÁLISIS

4.6.1. Metodología para la extracción de almidón de papa

Se ilustra en Figura 8 la extracción del almidón de papa, modificado de (Melian, 2010; Obregon y Estrella, 2014).

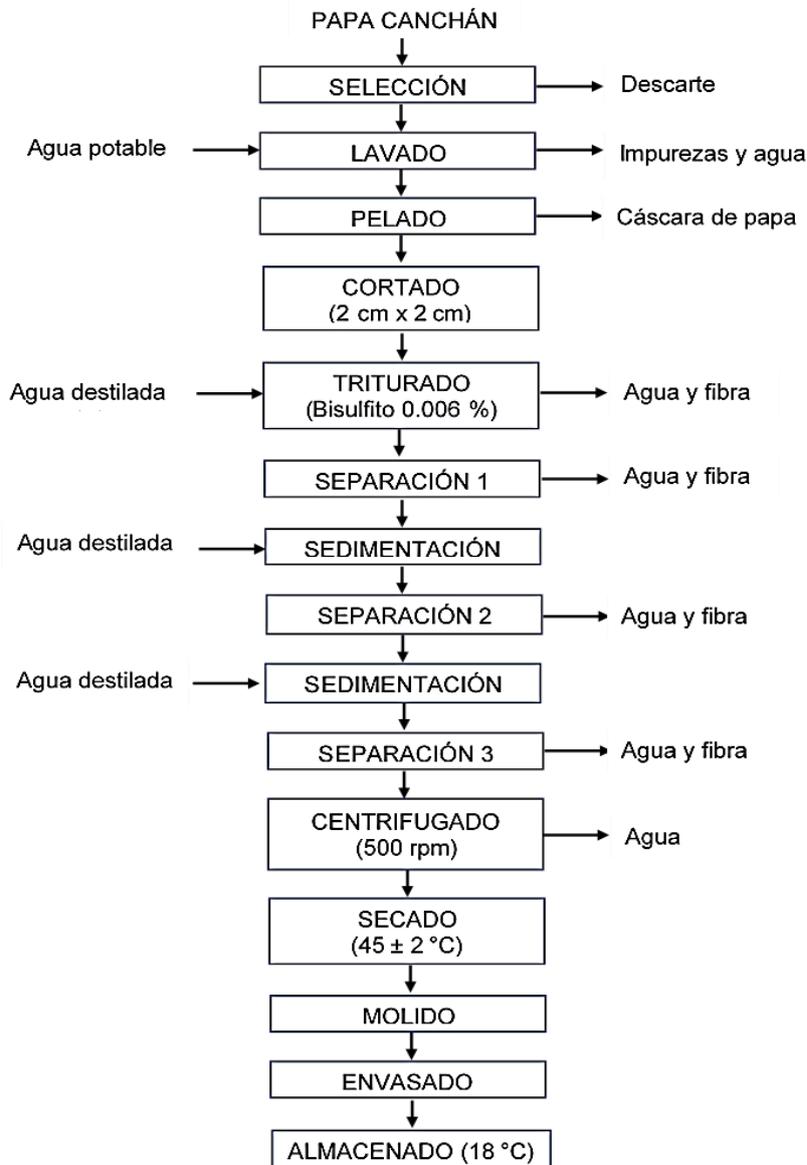


Figura 8. Diagrama de bloques para la extracción de almidón de papa

Fuente: Modificado de (Melian, 2010; Obregon y Estrella, 2014).

4.6.2. Descripción del proceso de extracción del almidón de papa

- Selección: Se seleccionó las mejores muestras de papa Canchán, residuos y otros materiales ajenos, con la finalidad de eliminar las impurezas que pudieran desmejorar la calidad del almidón.
- Lavado: Se lavó las impurezas y la tierra proveniente de los campos de cultivo.
- Pelado: Se retiró la cáscara de la papa.
- Cortado: Para facilitar el proceso de molienda (2 cm x 2 cm)
- Triturado: Se realizó con un rayador manual y así evitar el menor corte en los gránulos de almidón. Luego se adicionó bisulfito de potasio (0.006 %) para evitar el pardeamiento enzimático y mejorar la calidad del almidón, (proporción agua destilada: papa; (1:1).
- Filtrado: La alícuota se sometió a un filtrado empleando un cono de malla y adicionando agua destilada para separar la fibra fina del almidón. La muestra se decantó por 4 horas al ambiente hasta obtener una capa firme de almidón en el fondo, finalizada la primera decantación, se retiró el sobrenadante y se agregó agua destilada hasta obtener un sobrenadante claro y se volvió a decantar por 2 horas.
- Centrifugado y secado: Esta operación se realizó para eliminar el agua por membranas y obtener una humedad adecuada para el secado por un tiempo de 15 minutos, a 500 rpm. La muestra se llevó a una estufa para su secado a 45 ± 2 °C por 14 horas,
- Tamizado: Para evitar que al producto final lleve consigo desperdicios de producción y mantener un tamaño homogéneo, se tamizó a través de un tamiz de 500 y 250 μm respectivamente.
- Almacenado: Se realizó con el fin de conservar el producto a temperatura ambiente (18 °C).

4.6.3. Metodología para la modificación del almidón por oxidación

El método se basó, conforme a (Wang y Wang, 2003), en el cual el almidón de papa se sometió a un proceso de oxidación a temperatura y pH controlados. Se empleó NaOCl como agente oxidante.

Proceso para la modificación del almidón por oxidación: El almidón se sometió a un proceso de oxidación con hipoclorito de sodio (NaOCl) a concentración de cloro activo a 1.5 % p/v utilizando el procedimiento reportado por (Wang y Wang, 2003). Se pesó 200 g de almidón (en base seca) en un vaso de 2 litros, y se agregó 371 g de agua destilada para tener un peso final de 571 g. Esta dispersión se mantuvo a una temperatura de 35 °C y se ajustó a un pH de 9.5 con NaOH 2 N. Se adicionó lentamente 100 ml de hipoclorito de sodio a una concentración de cloro activo de 1.5 % p/v en un tiempo de 30 min, en los cuales se mantuvo el pH a 9.5 con H₂SO₄ 1 N. Después de la adición del hipoclorito de sodio se siguió manteniendo el pH a 9.5 con la adición de NaOH 1 N durante los siguientes 50 minutos. Luego pasado ese tiempo, la mezcla se ajustó a un pH 7 con H₂SO₄ 1 N, y se filtró por succión con un filtro Buchner (con un papel Whatman # 41). Se lavó con agua destilada y después se secó en estufa a 40 °C por 48 horas. Una vez seco el almidón; este se molió en un mortero y se tamizó en malla N° 100 (0.15 mm) para homogenizar el tamaño de partícula y se almacenó posteriormente.

4.7. METODOLOGÍA EXPERIMENTAL

4.7.1. Obtención de películas biodegradables

Según investigaciones previas, el rango de interacciones para la obtención de películas biodegradables va desde 1.80 g a 5.82 g de almidón y desde 0.6 g a 2.53 g para glicerina tal como señala (Trujillo Rivera, 2014) y desde 75 % de almidón y 24 % de glicerina para (Mosquera Sánchez et al., 2014). Con mejores resultados en sus propiedades cuando interactúan con niveles menores de 6 g para almidón y 2 g para glicerina. En ese sentido, se detalla el procedimiento para la obtención de películas biodegradables en Figura 9.

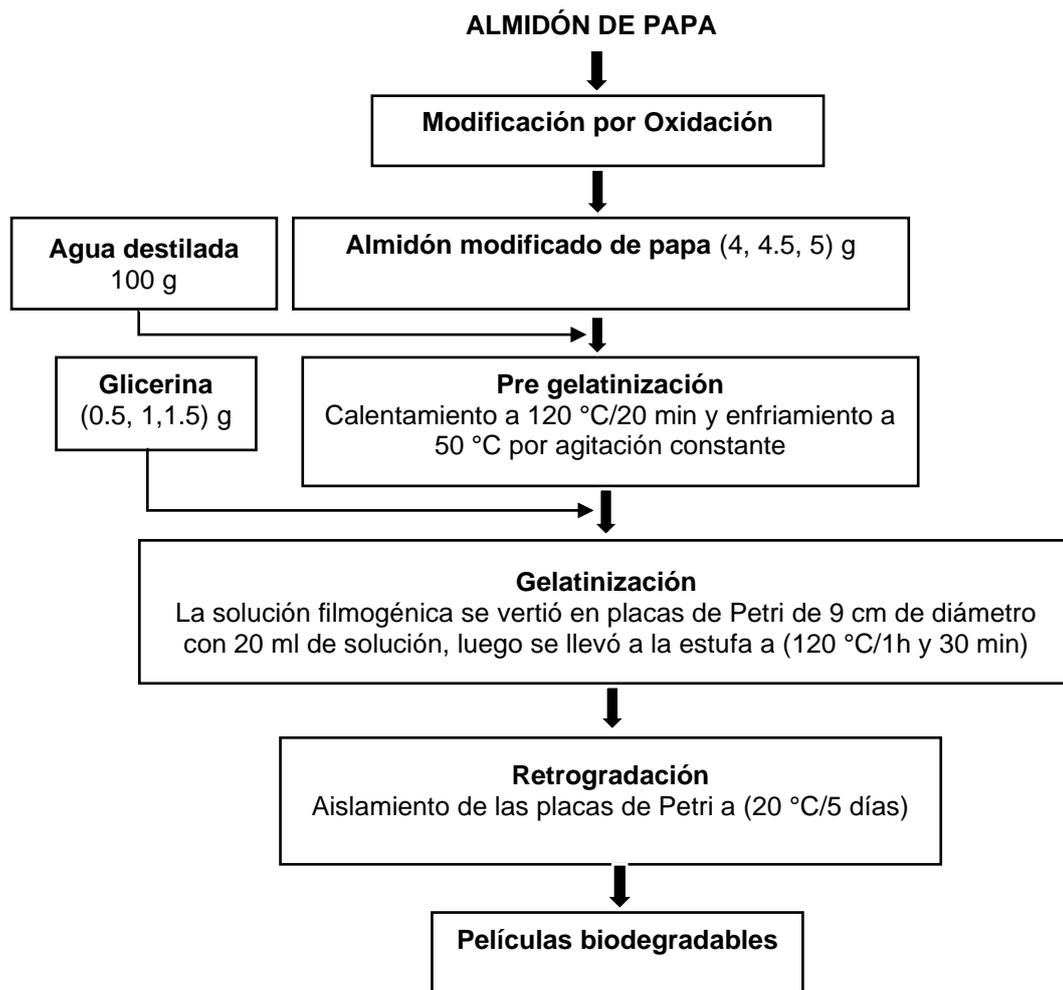


Figura 9. Procedimiento para la obtención de películas biodegradables

Fuente: Modificado de (Trujillo, 2014)

Para obtener mejores resultados se prepararon suspensiones acuosas del almidón modificado por oxidación, cuyas concentraciones fueron de 4 g, 4.5 g, y 5 g de almidón/100 g de suspensión (4 – 5 % p/p), el cual se pre gelatinizó a 120 °C durante 20 minutos y se enfrió a 50 °C por agitación constante. Luego se le agregó glicerol como plastificante, como señala (López, 2011). Cuya concentración varió de 0.5 g, 1 g y 1.5 g de plastificante/100 g de suspensión (0.5 – 1.5 % p/p). La solución filmogénica se vertió en placas de Petri de 9 cm de diámetro con 20 ml en volumen y fueron gelatinizados a 120 °C durante una hora y 30 minutos. Finalmente, las muestras fueron retirados y aislados a 20 °C durante 5 días, con la finalidad de que cumpla el proceso de retrogradación.

4.7.2. Método de análisis para las propiedades mecánicas

Se determinó el esfuerzo máximo a la ruptura o también llamado esfuerzo de tracción en el corte (FT) y el porcentaje de elongación de las películas biodegradables a través de un texturómetro, (Texture Analyzer – Brookfield CT3). Para medir y registrarse en una computadora con un software llamado Texture Pro, medido en términos de ASTM D882 (ASTM, 2000). La prueba se llevó a cabo para cada tratamiento con tres repeticiones.

Procedimiento:

- Las tiras de películas se cortaron con dimensiones de 25 mm x 60 mm.
- Los extremos de la tira se sujetaron en las mandíbulas de la máquina (20 mm hacia arriba y 20 mm hacia abajo), por lo que una distancia aproximadamente de 20 mm se estableció entre los dos extremos.
- Dejar que el dispositivo funcione hasta que alcance los resultados.
- Conecte los resultados en las tablas correspondientes.
- El FT se calcula de acuerdo con las siguientes ecuaciones.

El FT se calculó a través de las siguientes ecuaciones:

$$FT = \frac{C_{MAX}}{A_R} \dots \dots \dots Ec(4)$$

Donde:

- FT: Es el fuerza de tracción en el corte, con unidades en N/mm²
- C_{max} : Carga máxima de tracción en el corte de las películas, con unidades en N
- AR: Área transversal inicial de la película, con unidades en mm²

Área transversal inicial del film

$$AR = \varepsilon * A \dots \dots \dots Ec(5)$$

Donde:

- AR: Área transversal inicial de la película, con unidades en mm²

- ε : Espesor de la película, con unidades en mm
- A: Ancho de la película, con unidades en mm

Porcentaje de elongación o alargamiento.

$$\%E = \frac{L_f - L_o}{L_o} * 100 \dots \dots \dots Ec(6)$$

Donde:

- L_f : es la longitud final en el esfuerzo máximo a la ruptura en mm
- L_o : longitud inicial de la película en mm

4.7.3. Método de análisis para determinar las propiedades físicas

4.7.3.1. Porcentaje de solubilidad

Para determinar la solubilidad de las películas, se aplicó el método descrito por (Cuq et al., 1996), con algunas modificaciones propuestas por (Rubilar et al., 2013) en el que el porcentaje de solubilidad en agua se define como el contenido de materia seca solubilizada después de 24 horas de inmersión en agua.

Procedimiento:

- Se cortó la película de lado y ancho a (2 cm x 2 cm) y pesó la muestra inicial (Mi)
- Se secó la muestra en la estufa de aire forzado a 105 °C durante 24 horas hasta alcanzar peso constante y pesó la muestra seca inicial (M1)
- Se sumergió la muestra en 50 ml de agua destilada a 20 °C durante 24 horas con agitación a (60 rpm)
- Extrajo la muestra no disuelta por filtración y se volvió a secar en la estufa de convección a 105 °C durante 24 horas hasta alcanzar un peso constante
- Pesar la muestra seca no solubilizada (M2)

A continuación, se determinó el porcentaje de solubilidad de cada película de la siguiente manera:

$$\% \text{ Solubilidad en agua} = \frac{M1 - M2}{M2} * 100 \dots \dots \dots Ec(7)$$

Donde:

- M₁: muestra seca inicial
- M₂: muestra seca no solubilizada
- % Solubilidad en agua: cantidad de muestra disuelta

4.7.3.2. Porcentaje de humedad

El contenido en humedad se determinó mediante el método gravimétrico propuesto por (Rubilar et al., 2013) con algunas modificaciones.

Procedimiento:

- Se equilibró la humedad de los films durante 72 horas en cabinas aisladas al 57 % de humedad y 18 °C
- Se cortó la película de lado y ancho a (2 cm x 2 cm) y se pesó la muestra inicial (M_i)
- Se secó la muestra en estufa de aire forzado a 105 °C durante 24 horas hasta alcanzar peso constante, luego se pesó la muestra seca (M_f) y determinar la pérdida de peso de la muestra

El contenido de humedad se expresó como porcentaje de agua en relación con el peso total, de acuerdo a la siguiente ecuación:

$$\% \text{ Humedad} = \frac{M_i - M_f}{P_i} * 100 \dots \dots \dots Ec(8)$$

Donde:

- M_i: Peso de la muestra inicial
- M_f: Peso de la muestra seca
- % Humedad: Contenido de agua en la muestra

4.7.3.3. Determinación de la permeabilidad

Se determinó WVP utilizando un método estándar modificado por (McHugh y Krochta, 1994) del (ASTM E 96-95). En esta investigación se ha propuesto para usar la técnica que usa desecante.

Procedimiento:

- Se etiquetó cada tubo de ensayo con el número de película correspondiente para no perder la identidad de ellos
- Colocar en cada tubo de ensayo cloruro de calcio, que se secó previamente a 200 °C hasta alcanzar peso constante; medir hasta 6 mm por debajo del borde del tubo
- Se acondicionaron las películas sobre las bocas del tubo de ensayo y se sellaron con una banda de goma adecuada
- Se cubrió las partes sobrantes de las películas con papel de aluminio
- Registraron el peso inicial del tubo de ensayo y de la misma manera con su contenido
- Se colocaron cada tubo en la cámara climática controlada previamente preparada a 75 % de HR y 32 °C.
- Se controlaron los pesajes correspondientes cada cierto tiempo controlado y se dejó de registrar cuando el peso registrado excedió al peso del desecante inicial en 10 % o se alcance un peso constante.

4.7.4. Método de análisis para determinar las características microbiológicas

El método se basó, según (Francisco, 2009) en el cual se usó MacConkey Agar como un medio diferencial y selectivo para el aislamiento de bacilos Gram negativos y Gram positivos y se siguió la metodología propuesta por (Sanz Cervera, 2011) con algunas modificaciones.

4.7.4.1. Preparación de medio del cultivo**Procedimiento:**

- Se pesó 5 g de MacConkey Agar en un vaso precipitado de 250 ml y luego medir 100 ml de agua destilada en una probeta de 100 ml
- Mezclar el MacConkey Agar y el agua destilada
- Una vez disuelta el medio de siembra se trasvasijó a un matraz Erlenmeyer de 500 ml

- Se calentó cuidadosamente el medio hasta que esté traslucido evitando que rompa en hervor
- Se esterilizó en el auto clave el medio de cultivo y se trasvasijó en las placas de Petri de 9 cm de diámetro a (10 ml)
- Se refrigeró el medio para su posterior siembra de microorganismos

4.7.4.2. Siembra en el medio de cultivo

Procedimiento:

- Se acondicionó las películas en un ambiente hermético y libre de posible contaminación con el exterior
- Usar indumentaria adecuada para la manipulación de las muestras
- Se esterilizó el asa de siembra y se pasó lentamente sobre las películas para poder recoger cualquier carga microbiana sobre este
- Se sembró los microorganismos presentes de las películas dentro de nuestro medio de cultivo
- Rotular la fecha y hora de cada muestra y se incubó a temperatura de 37 °C por 24 horas hasta un máximo de 48 horas.

4.7.4.3. Conteo de microorganismos (UFC/g)

Después de la incubación en condiciones ideales, se procedió al conteo de unidades formadoras de colonia por gramo de solución, estas se presentan como «puntos» aislados individuales propios de colonias microbianas. Dado que una colonia puede estar formada por un solo organismo o un grupo de microbios, los puntos representan las «unidades formadoras de colonias (UFC)».

Procedimiento:

- Usar indumentaria adecuada para la manipulación de las muestras
- Se extrajeron las muestra de la incubadora y se pasaron con rayos de luz natural y artificial para observar las colonias formadas

- Se contabilizó las colonias formadas que se aprecian en la placa de Petri y se seleccionó las placas que contengan mayor de 25 UFC/g para su posterior identificación

En el caso de tener presencia de crecimiento microbiano, seguir con el procedimiento que se detalla en Anexo 21 para la identificación de bacterias Gram positivas y Gram negativas

4.8. DISEÑO EXPERIMENTAL Y MATRIZ DE DISEÑO

4.8.1. Diseño experimental factorial 3²

El diseño experimental que se utilizó en esta investigación fue; el diseño factorial 3² que consta de dos factores con tres niveles cada uno, para comparar los tratamientos de los factores que son (Almidón modificado y Glicerina) con tres repeticiones; ver (Figura 11).

De acuerdo a (Gutiérrez y De La Vara, 2008), el diseño factorial consiste en 3² = 9 tratamientos diferentes que coinciden con todas las formas posibles en las que se pueden combinar dos factores en tres niveles. Sean A y B los factores (F), cada uno con tres niveles a los cuales se les suele llamar bajo, medio y alto.

Todos los análisis estadísticos se desarrollaron con nivel de significancia al 5 %. En la Tabla 8 se muestra la variabilidad y niveles de los dos factores; así mismo, en la Tabla 9 se muestra la matriz del diseño factorial 3².

Tabla 8. Variables y sus niveles

NIVELES DE LAS VARIABLES				
Variable independiente (factores)	Bajo	Medio	Alto	Unidades
Almidón modificado	4.0	4.5	5.0	g
Glicerina	0.5	1	1.5	g

Fuente: Elaboración con el software Minitab (versión libre)

Tabla 9. Matriz del diseño factorial para el experimento

TRAT	Almidón modificado	Glicerina	Almidón modificado	Glicerina
1	Bajo	Bajo	4	0.5
2	Medio	Bajo	4.5	0.5
3	Alto	Bajo	5	0.5
4	Bajo	Medio	4	1
5	Medio	Medio	4.5	1
6	Alto	Medio	5	1
7	Bajo	Alto	4	1.5
8	Medio	Alto	4.5	1.5
9	Alto	Alto	5	1.5

Fuente: (Gutiérrez y De La Vara, 2008, p.239) y elaborado con el software Minitab18 (versión libre).

Modelo estadístico: El modelo estadístico para el diseño factorial 3^2 se puede escribir considerando el efecto individual de cada factor y de la interacción entre ambos, y queda como sigue:

$$Y_{ijk} = \mu + \gamma_i + \delta_j + (\gamma\delta)_{ij} + \varepsilon_{ijk} \dots \dots \dots Ec(9)$$

$$\text{con } i = 1,2,3; j = 1,2,3; k = 1, \dots, n$$

Donde;

- γ_i : Es el efecto del factor A (almidón modificado de papa) en su nivel i.
- δ_j : Representa el efecto del factor B (glicerol al 98 %) en su nivel j
- $(\gamma\delta)_{ij}$: Es el efecto de interacción de ambos en los niveles ij y n es el número de repeticiones de cada tratamiento.
- Y_{ijk} : Es el valor observado del análisis mecánico, físico y características microbiológicas.

➤
Luego se calculó el ANVA a fin de determinar la variabilidad de los tratamientos a un nivel de confianza de 95 % y 5 % de error.

Tabla 10. *Contrastación de las variables de estudio*

VARIABLES INDEPENDIENTES	VARIABLES DEPENDIENTES
➤ Almidón modificado	➤ Propiedades mecánicas
➤ Glicerina	➤ Propiedades físicas
	➤ Características microbiológicas

En la Tabla 10 se muestran las variables independientes los cuales son el almidón de papa canchán previamente modificado por oxidación y glicerina como plastificante. Para determinar las propiedades mecánicas, propiedades físicas y características microbiológicas las cuales son las variables dependientes, puesto que estas dependen de las variaciones en las concentraciones del almidón y glicerina respectivamente. Los análisis a sus propiedades se realizaron por triplicado. Se ilustra de forma detallada las variables de entrada y de salida en Figura 10.

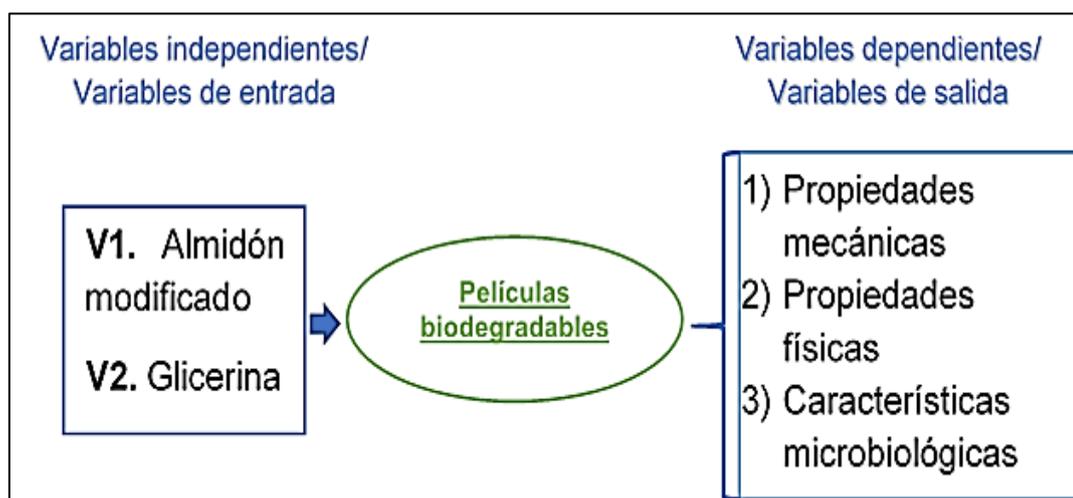


Figura 10. *Identificación de las variables de entrada y salida*

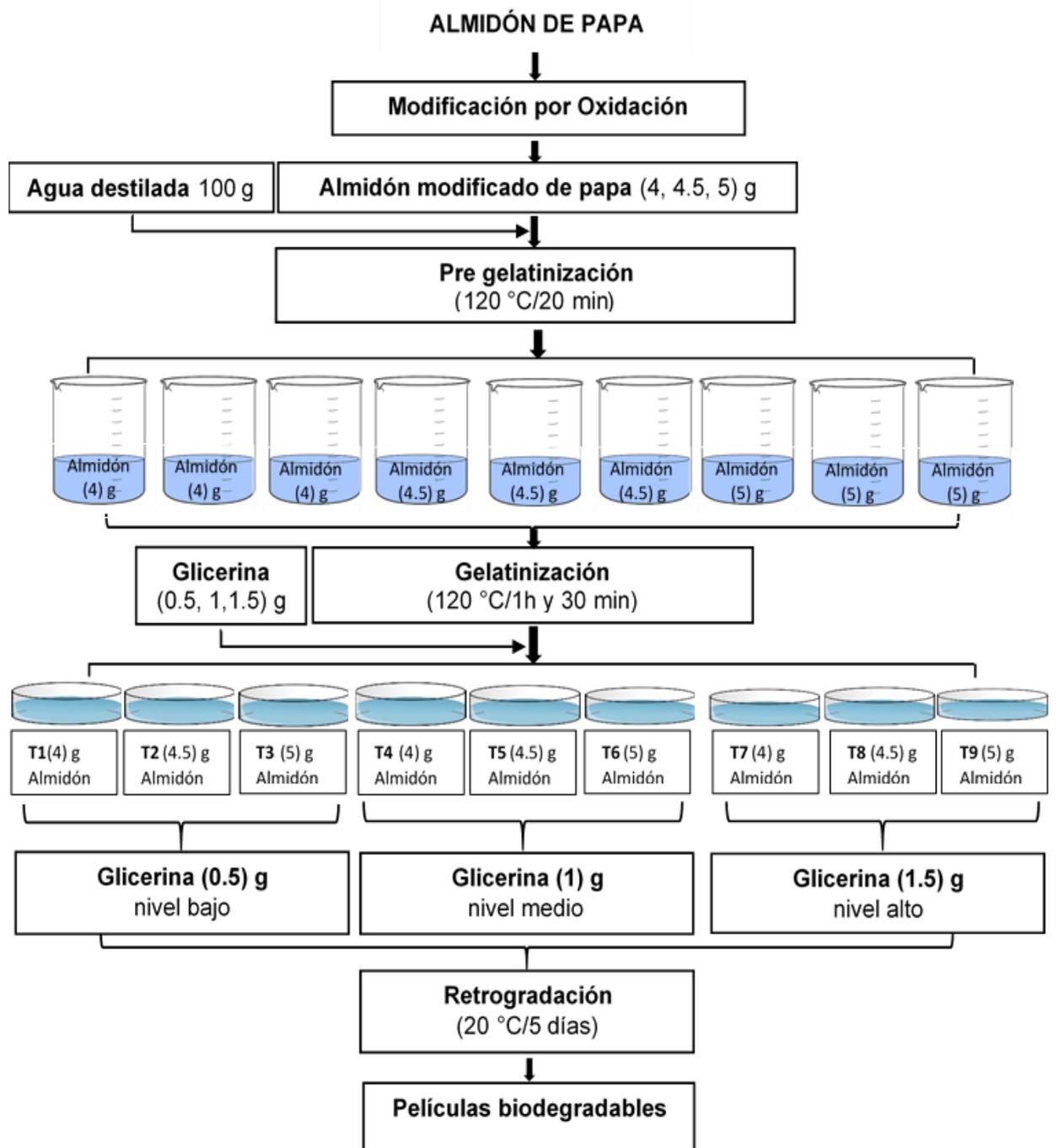


Figura 11. Procedimiento ilustrativo del diseño experimental

4.9. DISEÑO DE CONTRASTACIÓN

4.9.1. Formulación de hipótesis

4.9.1.1. Hipótesis general

Existe al menos un efecto a diferentes concentraciones de almidón modificado de papa canchán y glicerina, sobre las propiedades mecánicas, físicas y características microbiológicas de la película biodegradable

4.9.1.2. Hipótesis específica

- Existe efecto a diferentes concentraciones de almidón modificado de papa canchán y glicerina, sobre las propiedades mecánicas de la película biodegradable.
- Existe efecto a diferentes concentraciones de almidón modificado de papa canchán y glicerina, sobre las propiedades físicas de la película biodegradable.
- Existe efecto a diferentes concentraciones de almidón modificado de papa canchán y glicerina, sobre las propiedades microbiológicas de la película biodegradable.

4.9.2. Hipótesis estadísticas

Ho: No existe efecto a diferentes concentraciones de almidón modificado de papa canchán y glicerina, sobre las propiedades mecánicas, físicas y características microbiológicas de la película biodegradable

Ha: Si existe al menos un efecto a diferentes concentraciones de almidón modificado de papa canchán y glicerina, sobre las propiedades mecánicas, físicas y características microbiológicas de la película biodegradable

*Si la probabilidad de significancia será de $\alpha < 0,05$ se rechazará el Ho y se concluirá que existen al menos una diferencia significativas entre los tratamientos.

4.10. TÉCNICAS DE PROCESAMIENTO Y ANÁLISIS DE DATOS

Los datos fueron procesados bajo el diseño experimental factorial 3^2 , que consta de dos factores con tres niveles cada uno y con tres repeticiones; para estudiar los efectos en las variables de respuesta propuestos para el estudio se utilizó el software Minitab 18 y se siguió la metodología propuesta por Gutiérrez y De La Vara, 2008 para diseños factoriales 3^k .

Los datos fueron sometidos a análisis de varianza donde se consideró el efecto de los tratamientos principales, además las fuentes de variación los productos y los grados de libertad, a fin de determinar la variabilidad de los tratamientos a un nivel de confianza de 95 % y 5 % de error.

CAPÍTULO V

5. RESULTADOS Y DISCUSIONES

5.1. PROPIEDADES MECÁNICAS

A) Esfuerzo máximo a la ruptura

Las propiedades mecánicas (porcentaje de elongación y esfuerzo máximo a la ruptura), fueron analizadas mediante el Texturómetro Brookfield, el cual requiere de precisar la separación entre mordazas (A), para identificar la longitud elongada (B), en base a lo cual se determinó el porcentaje de elongación, (% Elongación, C). Por otra parte, para el (esfuerzo máximo a la ruptura, F) es de importancia reportar el pico de carga (D) y la sección transversal (E), los cuales se detallan en la sección de Anexo 1.

Tabla 11. Resultado de esfuerzo máximo a la ruptura

Esfuerzo máximo a la ruptura (N/mm²)			
Trat	R1	R2	R3
T1	1.870	1.901	1.877
T2	1.792	1.812	1.796
T3	1.606	1.591	1.597
T4	1.454	1.449	1.455
T5	1.605	1.613	1.621
T6	1.586	1.566	1.598
T7	1.674	1.645	1.644
T8	1.601	1.646	1.639
T9	0.897	0.874	0.869
Media	Desv Est.	Varianza	CoefVar
1.5664	0.2749	0.0756	17.55

Donde: R1, R2 y R3; son las repeticiones

En Tabla 11 se puede observar que las películas presentaron diferentes comportamientos de resistencia a medida que se aplicaron esfuerzos mayores, siendo los tratamientos T1 y T2 los que soportaron esfuerzos mayores a 1.79 (N/mm²) a menor porcentaje de elongación menores a 33.1 %, esto se traduciría que estas dos películas son menos elásticas y más

rígidas. Mientras que los tratamientos T3 y T4 soportan esfuerzos menores a 1.60 (N/mm²), pero con mayor porcentaje de elongación superiores a 37 % lo que representa tener mediana elasticidad, aunque menor resistencia al esfuerzo, seguido de los tratamientos T5 y T6 que soportan esfuerzos mayores a 1.56 (N/mm²) con porcentaje de elongación mayores a 40.7 % lo que significa tener mediana elasticidad y media resistencia al esfuerzo. Por otra parte, los tratamientos T7 y T8 son los que presentaron mejor comportamiento de elasticidad durante el tiempo de aplicación de esfuerzo con valores mayores a 1.60 (N/mm²) y 47.9 % de elongación. Por último, el tratamiento T9, tiene una tendencia decreciente respecto al porcentaje de elongación versus carga, lo que implica que soporta un esfuerzo menor a 0.89 (N/mm²) y 35.7 % de elongación, siendo la más frágil.

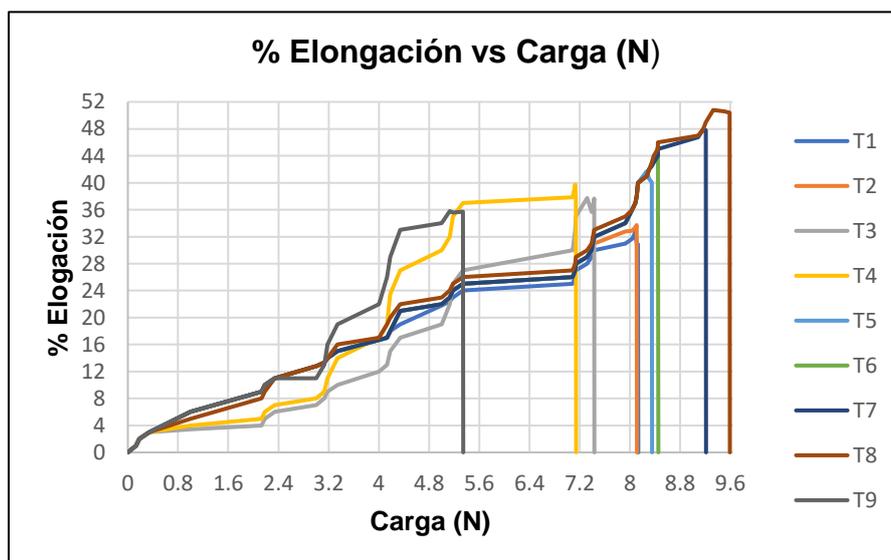


Figura 12. Curva % de elongación vs carga (T1-T9)

En Figura 12 se observa el desempeño de las películas de la “elongación vs carga”, construida con los valores brindados por el software de la máquina del ensayo mecánico, la curva corresponde a todos los tratamientos (desde T1 hasta T9). Siendo los tratamiento (T7 y T8) quienes muestran los valores mayores para el esfuerzo máximo a la tracción con respecto al incremento del (% Elongación) de todo el grupo de películas bajo estudio.

En dicha figura se puede apreciar para una carga de 9.16 N, se produce un alargamiento mayor al 47.49 %, y para una carga máxima de 9.48N, se produce un alargamiento mayor al 50.59 % para el tratamiento T7 y T8 respectivamente.

Estos valores nos indican que existe una disminución de la rigidez de la película gracias al plastificante y a la modificación por oxidación que contribuye también al incremento de la resistencia al esfuerzo máximo y a la flexibilidad de la película, en comparación con otros autores concluyeron que la oxidación con hipoclorito de sodio forma películas fuertes y resistentes (Rutenberg y Solarek, 1984). Al igual que (Atichokudomchai et al., 2004), concluye que las películas son más claras y flexibles e incrementa la disminución de la permeabilidad al vapor del agua.

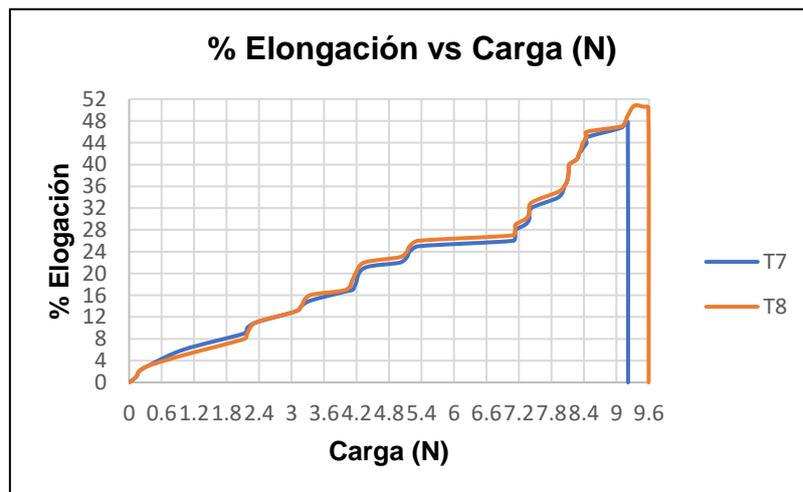


Figura 13. Curva % de elongación vs carga (T7-T8)

En contraste en la Figura 13, se observa la curva “elongación vs carga” para los tratamientos (T7 y T8). Se aprecia como los tratamientos conllevan una relación proximal, esto debido a la cantidad de glicerol y almidón modificado que presentan (T7 4G, 1.5A; T8 4.5G, 1.5A) respectivamente. Se observa que la resistencia a la tensión ha disminuido considerablemente de 1.6549 (N/mm²) con una carga de 9.16 N. a 1.6292 (N/mm²) con una carga de 9.48 N. Así mismo, el alargamiento aumentó de 9.09 mm a 9.58 mm. Todo ello

indica, que la película al estar plastificada en su nivel medio, reduce su rigidez, tal y como lo demuestra el comportamiento mecánico obtenido. El aumento de la elasticidad de las películas de papa canchán modificada por oxidación, en relación a aquellas elaboradas sin ninguna modificación química, les otorgaron mejores funcionalidades a estas películas, con sus posibles aplicaciones como plásticos de primer uso o de recubrimientos en alimentos.

Tabla 12. Análisis de varianza para esfuerzo máximo a la ruptura

Fuente	GL	SC Ajust.	MC Ajust.	Valor F	Valor p
Modelo	8	1.96169	0.245211	1178.15	0.000
Lineal	4	1.23641	0.309103	1485.13	0.000
Glicerina	2	0.62803	0.314014	1508.72	0.000
Almidón Modificado	2	0.60838	0.304192	1461.53	0.000
Interacciones de 2 términos	4	0.72528	0.181320	871.18	0.000
Glicerina*Almidón Modificado	4	0.72528	0.181320	871.18	0.000
Error	18	0.00375	0.000208		
Total	26	1.96544			

En Tabla 12 se muestra el análisis de varianza, donde se considera significativo un valor-P menor a 0.05, en este caso para el esfuerzo máximo a la ruptura; tanto la concentración de almidón modificado de papa como la concentración de glicerol en las películas estudiadas, tienen un valor-P menor que 0,05, siendo altamente significativos. Con ello aceptando la H_a y rechazando la H_0 a un nivel de confianza del 95,0 %.

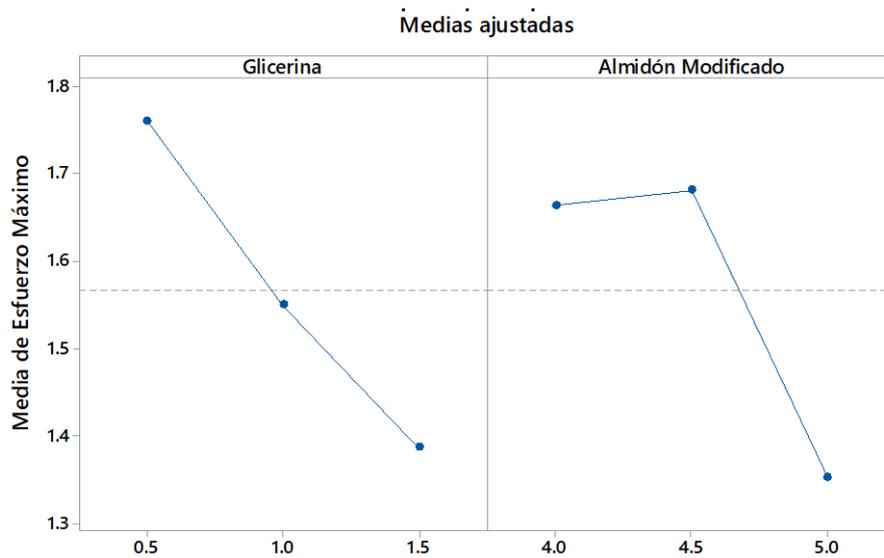


Figura 14. Efectos principales para esfuerzo máximo

La Figura 14 se observa que el efecto de la concentración de glicerina decrece la resistencia al esfuerzo máximo lo que significa que, a mayor concentración de esta variable, menor será la resistencia que tiene la película al esfuerzo máximo. Por otro lado, el efecto que tiene la concentración de almidón modificado, conlleva a un ligero incremento a la resistencia del esfuerzo máximo cuando interactúa con las concentraciones baja y media de almidón. sin embargo; a medida que incrementa la concentración, decrece drásticamente la resistencia al esfuerzo que tiene la película. Lo que significa que, al nivel alto de concentración de almidón, el esfuerzo máximo será menor.

Podemos concluir entonces que la concentración de glicerina, tiene un efecto inversamente proporcional a este, mientras en el caso de la concentración de almidón modificado, se demuestra que, a mayor concentración, menor será el esfuerzo máximo.

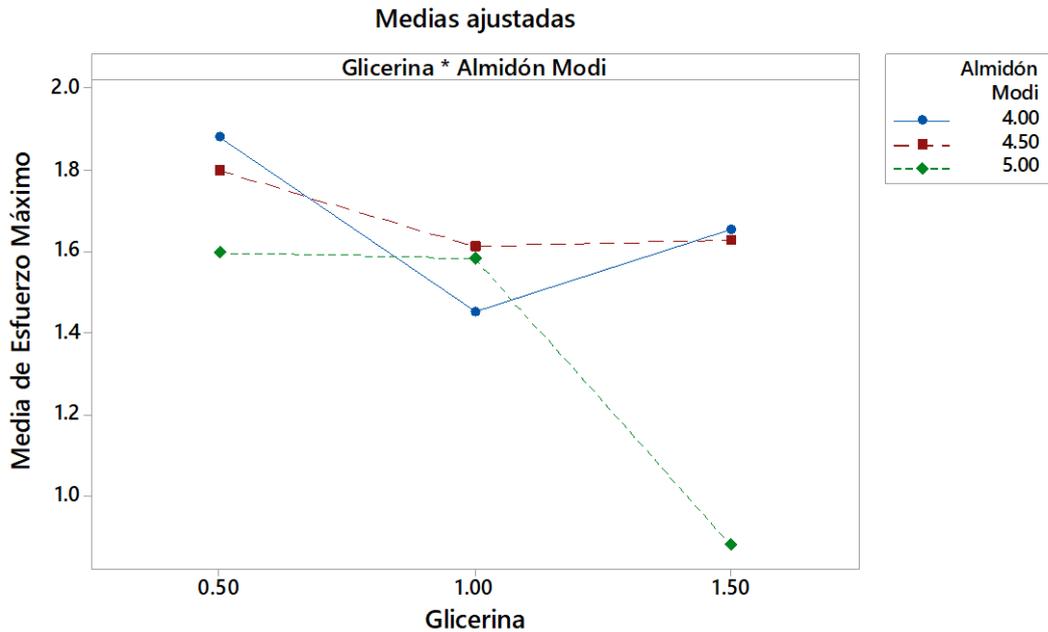


Figura 15. Interacción de glicerina y almidón en el esfuerzo máximo

En Figura 15 se observa la interacción entre las dos variables utilizadas, se denota gráficamente que al nivel bajo de las variables almidón modificado y glicerina (4 g y 0.5 g), muestran mayor valor al esfuerzo máximo (mayor 1.8 (N/mm²); por otro lado, a mayor nivel de las variables (5 g y 1.5 g) menor es el esfuerzo (menor de 1 N/mm²). Siendo las concentraciones 4.5 g y 1 g, los niveles intermedios para el esfuerzo máximo (entre 1.6 N/mm²). Lo que significa que, las películas de almidón modificado y glicerina en sus concentraciones menores, presentan características rígidas, inflexibles y poco maleables, incrementando con ello el valor de la resistencia al esfuerzo máximo. Mientras que, a concentraciones medias, las películas presentan mayor elasticidad y apropiada resistencia al esfuerzo. Estos valores se deben al cambio en su estructura del almidón por efecto de la modificación química tal como señala (Mosquera et al., 2014) en su investigación sobre las pruebas mecánicas, donde la modificación química permite retardar el proceso de retrogradación del almidón permitiendo mejorar sus propiedades mecánicas y de almacenamiento. En contraste, cuando incrementa la concentración de las variables también incrementa el espesor de las películas, teniendo como

resultado la poca resistencia al esfuerzo máximo y menor porcentaje de elongación.

B) Porcentaje de elongación

El porcentaje de elongación (o alargamiento) es una magnitud el cual consistió en medir el aumento de longitud de la película cuando este fue sometido a un esfuerzo de tracción antes de su rotura. Los valores se expresan en la Tabla 13 como tanto por ciento respecto a la longitud inicial de la película tratada.

Tabla 13. Resultado del porcentaje de elongación (%)

Porcentaje de elongación (%)			
Trat	R1	R2	R3
T1	32.63	30.87	30
T2	32.63	33.72	32.9
T3	37.67	37.73	35.65
T4	37.85	37.55	39.73
T5	40.1	41.70	40.55
T6	45.39	43.05	43.15
T7	47.78	46.76	47.93
T8	50.79	50.42	50.57
T9	35.7	35.6	35.8
Media	Desv. Est.	Varianza	CoefVar
39.79	6.31	39.78	15.85

Donde: R1, R2 y R3; son las repeticiones

En Tabla 13 se aprecian los resultados del porcentaje de elongación, donde los tratamientos T1 y T2 demuestran tener el menor porcentaje de elongación menores a 33 %. La tendencia tiende a incrementar el valor de la elongación para los tratamientos T3, T4, T5 y T6; presentado buenas propiedades elásticas. En adición para T7 y T8 presentan mayores valores al porcentaje de elongación, superiores a 46 y 50 % respectivamente. A diferencia de T9, donde se demuestra que decrece el valor de la elongación. Demostrándose que a medida que incrementa la concentración de las variables de estudio, disminuye el valor del porcentaje de elongación de las películas.

Tabla 14. Análisis de varianza para % de elongación

Fuente	GL	SC Ajust.	MC Ajust.	Valor F	Valor p
Modelo	8	1018.56	127.319	146.34	0.000
Lineal	4	588.14	147.035	169.00	0.000
Glicerina	2	548.98	274.492	315.50	0.000
Almidón Modificado	2	39.16	19.579	22.50	0.000
Interacciones de 2 términos	4	430.41	107.603	123.68	0.000
Glicerina*Almidón Modificado	4	430.41	107.603	123.68	0.000
Error	18	15.66	0.870		
Total	26	1034.22			

En Tabla 14 se muestra el análisis de varianza, en el que se considera significativo un valor-P menor a 0.05, en este caso para el porcentaje de elongación (% E); tanto la concentración de almidón modificado de papa como la concentración de glicerol en las películas estudiadas, tienen un valor-P menor que 0,05, siendo altamente significativos. Con ello aceptando la H_a y rechazando la H_0 a un nivel de confianza del 95,0 %.

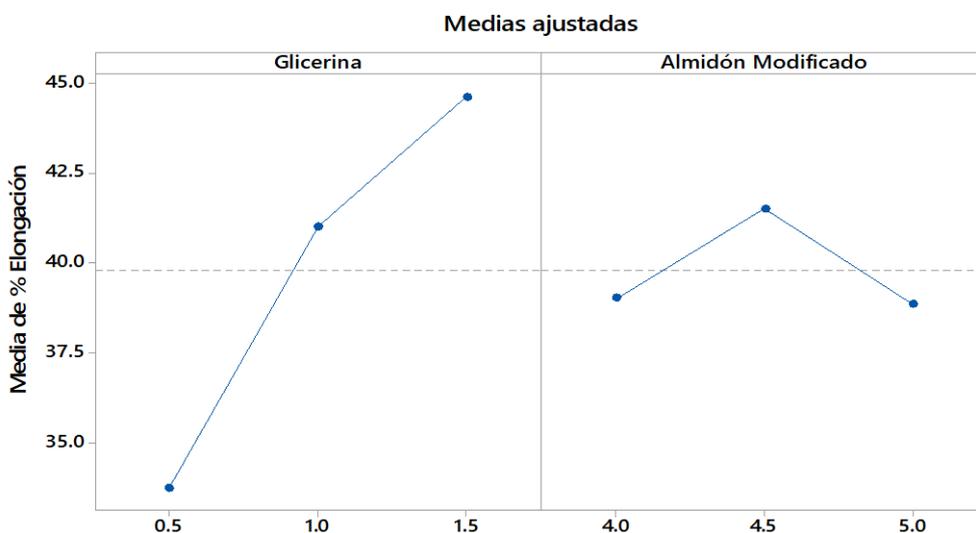


Figura 16. Efectos principales para % de elongación

La Figura 16 de los efectos principales de cada variable para el porcentaje de elongación. En el caso de la concentración de glicerina se observa que la pendiente es positiva, lo que significa que, a mayor concentración, mayor será

el porcentaje de elongación. Por otro lado, la concentración de almidón modificado, donde la pendiente tiende a decrecer después de la concentración del nivel medio, con respecto al porcentaje de elongación, lo que significa que, a mayor concentración menor será el % de elongación.

Podemos concluir entonces que la concentración de glicerina, tiene un efecto directamente proporcional al incremento del porcentaje de elongación, mientras en el caso de la concentración de almidón modificado, se demuestra que, en su nivel medio de concentración, mayor será, el porcentaje de elongación.

Esto se debe a que la adición del plastificante favorece al incremento de la elongación, por otro lado, mientras mayor sea el incremento del almidón mayor también será el espesor de la películas, presentando carencias de maleabilidad y poca elasticidad. De acuerdo a (Alata y Cuadros, 2017) donde presentaron películas adecuadas para aplicaciones industriales a partir de la cáscara de la naranja en combinación con pectina y empleando como plastificante el glicerol. Concluyen que esas películas presentaron buenas características elásticas que variaron desde (31 % a 66 %). Estos datos son similares con esta investigación, debiéndose el incremento del porcentaje de elongación, a la variabilidad y adición de otros compuestos.

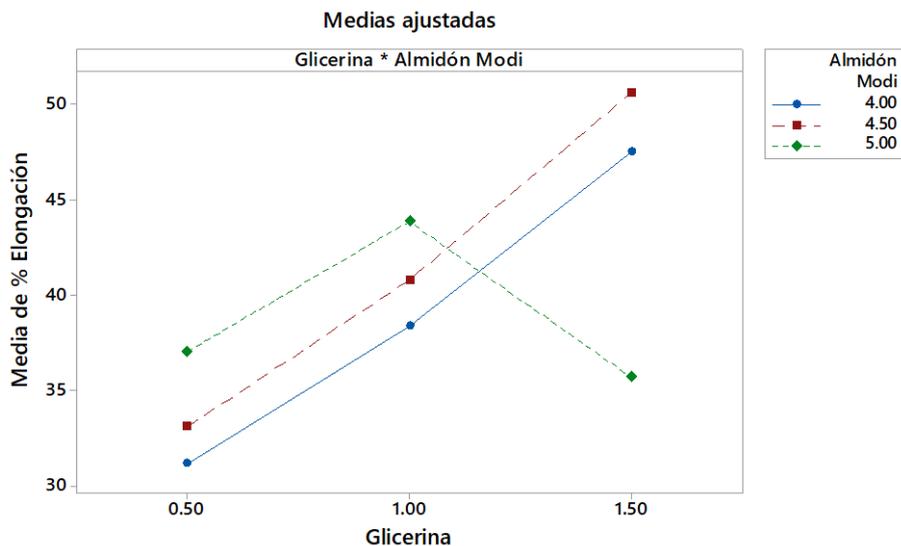


Figura 17. Interacción de glicerina y almidón en % de elongación

En la Figura 17 se observa la interacción entre las dos variables utilizadas, gráficamente al nivel bajo de las variables (4 g y 0.5 g) almidón modificado y glicerina respectivamente, menor es el porcentaje de elongación (31 %). Mientras, cuando las concentración de las variable glicerina están en su máximo nivel y almidón en su nivel intermedio (1.5 g y 4.5 g), el porcentaje de elongación incrementa, superando el (50 %). Por otro lado; se observa la interacción entre las dos variables en su nivel máximo (1.5 g y 5 g), estos muestran un decreciente porcentaje de elongación menor del (36 %). Según (Castillo et al 2015), manifiesta en su trabajo a base de vinagre y glicerina, estos presentaron buenas propiedades mecánicas como lo son la flexibilidad y la resistencia a la ruptura, esto haciendo referencia a que la glicerina tiene un mayor efecto sobre estas propiedades. Siendo muy similar con los datos obtenidos, ya que se ve que la glicerina como plastificante, tiene mayor efecto en las propiedades mecánicas. Para (Alarcón y Arroyo, 2016) en su investigación de biopolímeros a partir del almidón modificado de la papa lograron mejorar las propiedades mecánicas de elasticidad desde 8.45 % a 14.38 %, por la modificación química con la adición de ácido acético al 5 % v/v debido a que mejora la relación de amilopectina y amilosa. Estos datos difieren con los resultados obtenidos debido a que en esta investigación se modificó al almidón por oxidación y se obtuvo mejores resultados de elongación.

5.2. PROPIEDADES FÍSICAS

A) Porcentaje de solubilidad

En la Tabla 15 se presentan los resultados de la solubilidad de las películas, se observó que los tratamientos presentan considerable solubilidad en agua, superiores al 36 %. Siendo el tratamiento T1 (4 g almidón modificado, 0.5 g glicerina) el que presenta menor solubilidad (36.62 %) en promedio; mientras que el tratamiento T9 (5 g almidón modificado, 1.5 g glicerina) es el que presenta mayor solubilidad (62.26 %) en promedio.

Tabla 15. Resultados del porcentaje de solubilidad

Porcentaje de solubilidad (%)			
Trat	R1	R2	R3
T1	35.695	37.333	36.842
T2	37.837	38.961	38.666
T3	39.240	41.250	39.506
T4	41.463	41.012	42.168
T5	47.058	46.449	45.977
T6	51.779	51.111	49.425
T7	56.179	54.945	54.545
T8	58.064	59.782	60.674
T9	63.043	61.111	62.637
Media	Desv.Est.	Varianza	CoefVar
47.88	9.17	84.07	19.15

Donde: R1, R2 Y R3 son el número de réplicas.

Tabla 16. Análisis de Varianza para solubilidad

Fuente	GL	SC Ajust.	MC Ajust.	Valor F	Valor p
Modelo	8	2170.21	271.277	310.38	0.000
Lineal	4	2143.64	535.911	613.15	0.000
Glicerina	2	1949.70	974.851	1115.36	0.000
Almidón Modificado	2	193.94	96.971	110.95	0.000
Interacciones de 2 términos	4	26.57	6.643	7.60	0.001
Glicerina*Almidón Modificado	4	26.57	6.643	7.60	0.001
Error	18	15.73	0.874		
Total	26	2185.95			

En Tabla 16 se muestra el análisis de varianza, donde se considera significativo un valor-P menor a 0.05, en este caso para la solubilidad (%); tanto la concentración de almidón modificado de papa como la concentración de glicerol en las películas estudiadas, tienen un valor-P menor que 0,05; siendo altamente significativos. Con ello aceptando la H_a y rechazando la H_0 a un nivel de confianza del 95,0 %.

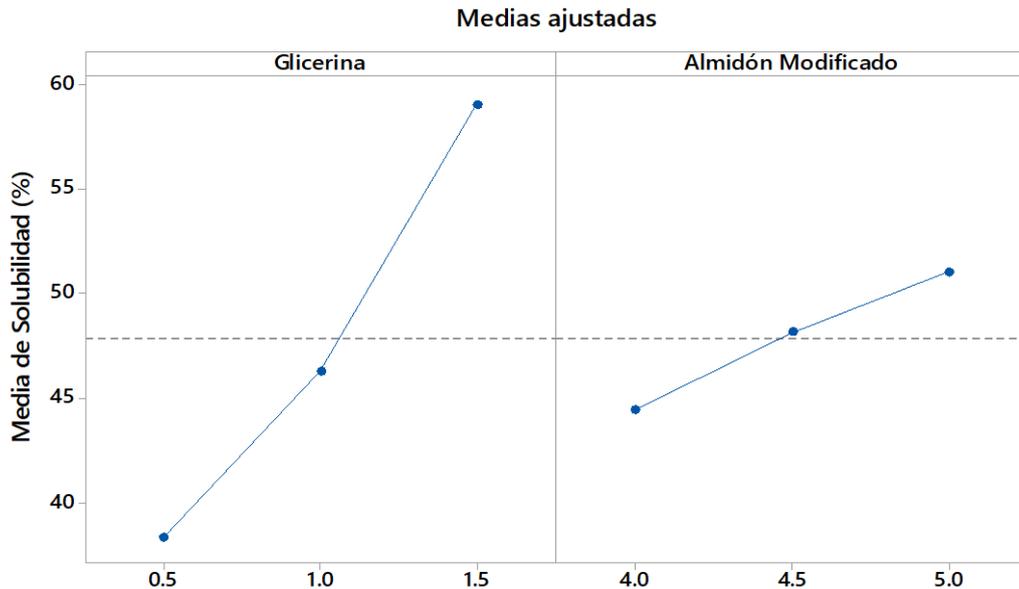


Figura 18. Efectos principales para solubilidad (%)

La Figura 18 de los efectos principales de cada variable para la solubilidad. En el caso de la concentración de glicerina se observa que la pendiente es positiva, lo que significa que, a mayor concentración, mayor será el porcentaje de solubilidad, de la misma forma con el efecto de la concentración de almidón modificado, donde la pendiente tiende a incrementar relativamente, pero en menor grado. Lo que significa que, tiene una relevancia considerada respecto al incremento de la solubilidad.

Podemos concluir entonces que la concentración de glicerina, tiene un efecto directamente proporcional a este, mientras en el caso de la concentración de almidón modificado, se demuestra que, a mayor concentración, mayor será la solubilidad, pero en menor grado. (Charro, 2015) concluye en su investigación de plásticos biodegradables a partir de patata, que obtuvo 22.96 % y 36.08 % de solubilidad, estos resultados muestran valores parcialmente similares, notándose que la oxidación del almidón es significativa para el aumento de solubilidad.

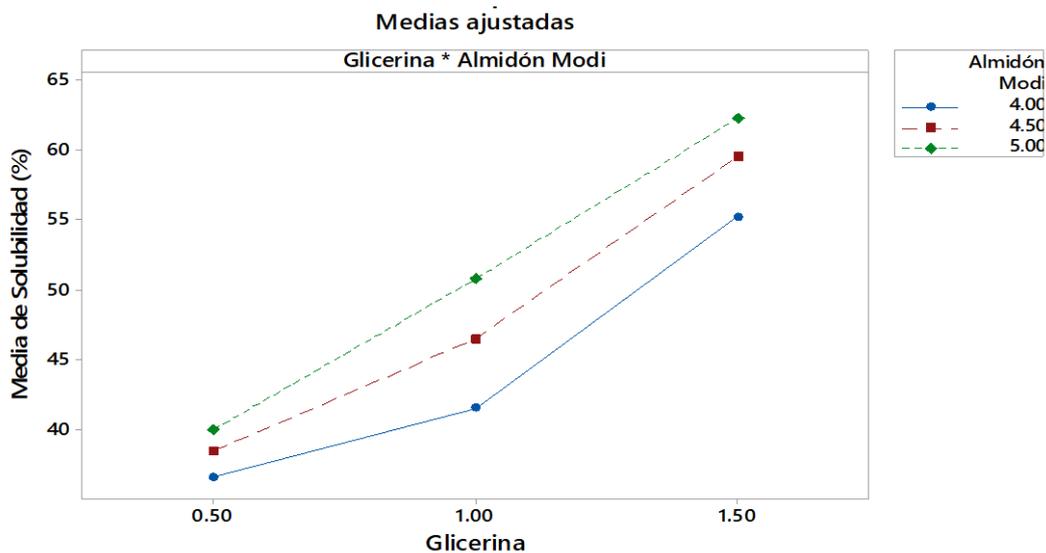


Figura 19. Interacción de glicerina y almidón en solubilidad (%)

En la Figura 19 se observa la interacción entre las dos variables utilizadas, gráficamente el nivel alto de la variable almidón modificado y glicerina (5 g y 1.5 g) respectivamente, muestran mayor porcentaje de solubilidad (mayor 65 %); por otro lado, a menor nivel de las variables (4 g y 0.5 g) menor es el porcentaje de solubilidad (menor de 40 %). Siendo las concentraciones 4.5 g y 1 g, los niveles intermedios para el porcentaje de solubilidad (entre 45 %). Según (Chocano, 2019) su investigación de biopelículas a base de almidón de papa y mucilago de nopal, concluye que el porcentaje de solubilidad aumenta con el incremento de la concentración de pectina y temperatura. Viéndose que la pectina actúa como un plastificante, reflejando valores similares a esta investigación, ya que a mayor incremento de la glicerina mayor también es la solubilidad. Mientras los datos de la temperatura se consideran superfluo en esta investigación, ya que se mantienen constante.

B) Porcentaje de humedad

En la Tabla 17 se presentan los resultados de la humedad de las películas, se observó que los tratamientos presentan considerable humedad, superiores al 30 %. Siendo el tratamiento T1 (4 g almidón modificado, 0.5 g glicerina) el que presenta menor humedad (30.41 %) en promedio; mientras que el tratamiento

T9 (5 g almidón modificado, 1.5 g glicerina) es el que presenta mayor porcentaje de humedad (47.95 %) en promedio.

Tabla 17. Resultados al porcentaje de humedad

Porcentaje de humedad %			
Trat	R1	R2	R3
T1	29.245	31.428	30.555
T2	33.035	32.743	34.482
T3	36.290	34.920	35.156
T4	37.761	39.393	39.160
T5	39.589	41.134	41.891
T6	42.077	42.105	41.721
T7	44.654	43.935	42.462
T8	44.846	44.912	43.988
T9	47.633	48.538	47.701
Media	Desv.Est.	Varianza	CoefVar
39.68	5.51	30.39	13.89

Donde: R1, R2 Y R3 son el número de réplicas.

Tabla 18. Análisis de Varianza para humedad

Fuente	GL	SC Ajust.	MC Ajust.	Valor F	Valor p
Modelo	8	777.068	97.133	132.80	0.000
Lineal	4	770.474	192.618	263.34	0.000
Glicerina	2	692.107	346.054	473.11	0.000
Almidón Modificado	2	78.367	39.183	53.57	0.000
Interacciones de 2 términos	4	6.594	1.648	2.25	0.104
Glicerina*Almidón Modificado	4	6.594	1.648	2.25	0.104
Error	18	13.166	0.731		
Total	26	790.234			

En Tabla 18 se muestra el análisis de varianza en el que considera significativo un valor-P menor a 0.05, en este caso para la humedad (%); tanto la concentración de almidón modificado de papa como la concentración de glicerol en las películas estudiadas, tienen un valor-P menor que 0,05, siendo

altamente significativos. Con ello aceptando la H_a y rechazando la H_0 a un nivel de confianza del 95,0 %.

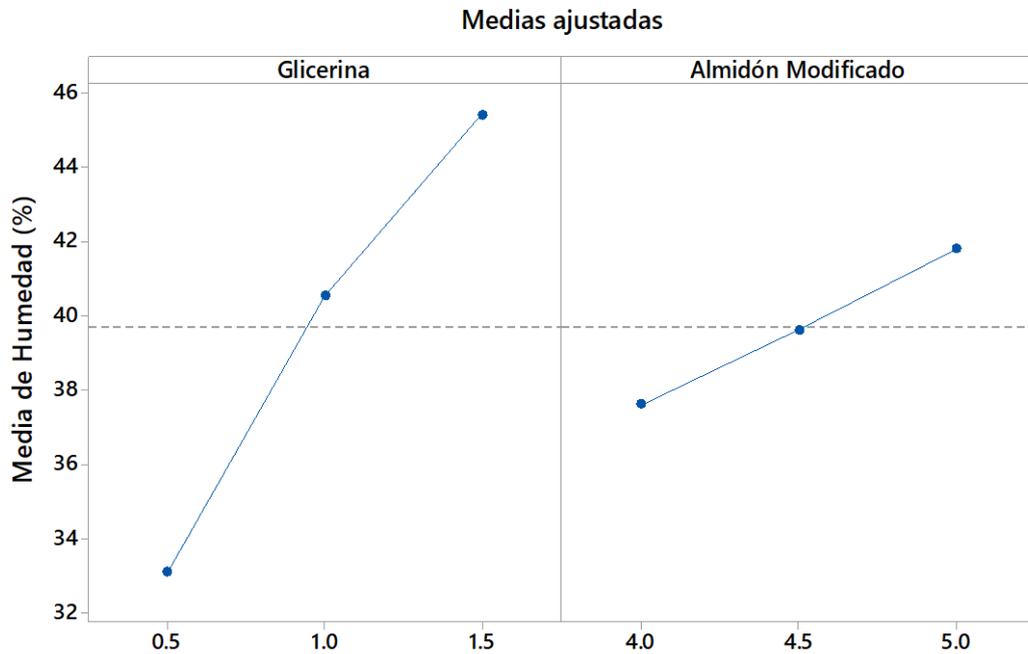


Figura 20. Efectos principales para humedad (%)

La Figura 20 de los efectos principales de cada variable para la humedad. En el caso de la concentración de glicerina se observa que la pendiente es positiva, lo que significa que, a mayor concentración, mayor será el porcentaje de humedad, de la misma forma con el efecto de la concentración de almidón modificado, donde la pendiente tiende a incrementar relativamente. Lo que significa que, tiene una relevancia considerada respecto al incremento de la solubilidad.

Podemos concluir entonces que la concentración de glicerina, tiene un efecto directamente proporcional a este, mientras en el caso de la concentración de almidón modificado, se demuestra que, a mayor concentración, mayor será la humedad, pero en menor grado a diferencia de la variable glicerina.

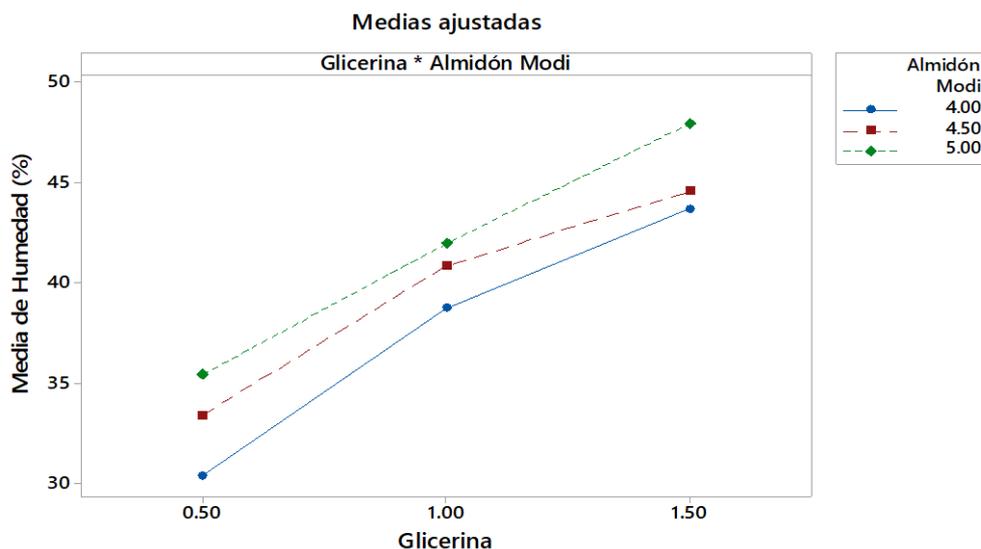


Figura 21. Interacción de glicerina y almidón para humedad (%)

En la Figura 21 se observa la interacción entre las dos variables utilizadas, gráficamente el nivel alto de la variable almidón modificado y glicerina (5 g y 1.5 g) respectivamente, muestran mayor porcentaje de humedad (mayor 47 %); por otro lado, a menor nivel de las variables (4 g y 0.5 g) menor es el porcentaje de humedad (menor de 31 %). Así mismo, se puede apreciar que los niveles bajo y medio del almidón modificado (4 g y 4.5 g), respecto a la concentración alta de glicerina (1.5 g) tienen una tendencia proximal similar con el porcentaje de humedad. Por otro lado, las concentraciones (4.5 g y 1 g) de almidón y glicerina respectivamente, tienen los niveles intermedios para el porcentaje de humedad (entre 40 %).

C) Permeabilidad al vapor del agua

Resultados gravimétricos: El Anexo 04: Datos del aumento de peso para (WVP) en función al tiempo. Muestran los resultados gravimétricos expuestos al estudio de la permeabilidad al vapor de agua (WVP), el estudio se llevó a cabo con las directrices de la norma ASTM E96-00, utilizando el uso del método desecante.

Cálculos para hallar la permeabilidad al vapor del agua: Una vez finalizado el ensayo y teniendo el registro completo de los datos necesarios, la

información se procesó por medio de una gráfica de dispersión lineal, aumento de peso vs tiempo, a esta se le realizó una regresión lineal para calcular la pendiente (dm/dt), la cual al dividirse entre el área de la película (A), nos devuelve el valor del WVT (índice de transferencia al vapor de agua), seguidamente, el valor que resulta de dividir el WVT entre la presión de vapor del agua a una temperatura dada y la diferencia de las humedades relativas define el valor de Permeancia, la cual al multiplicarse por el espesor proporciona la WVP (permeabilidad al vapor de agua).

Todo este procesamiento de información, requiere el uso de las siguientes ecuaciones:

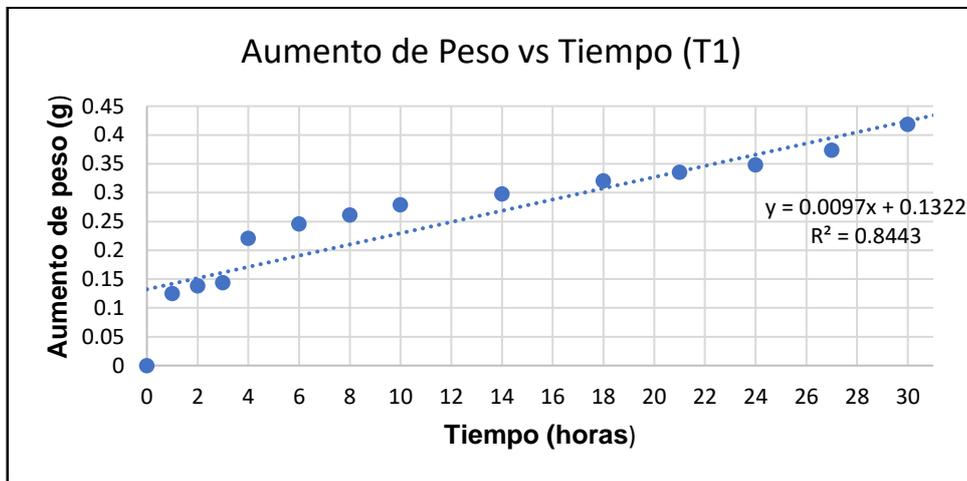


Figura 22. Aumento de peso vs tiempo para T1

De la Figura 22 y con la intervención de una línea de tendencia, rescatamos la pendiente, la cual se utiliza para determinar la WVP de la película en estudio.

$$WVT = \frac{dm}{dt} * \frac{1}{A} \dots \dots \dots Ec(11)$$

Para el caso del primer tubo (T1):

$$WVT = \frac{dm}{dt} * \frac{1}{A} = \frac{0.0097 \frac{g}{h}}{7.85 \times 10^{-5} m^2} = 123.5668 \text{ g/hm}^2$$

$$\begin{aligned} \text{Permeanza} &= \frac{WVT}{PA2 - PA1} = \frac{WVT}{S(R1 - R2)} = \frac{123.5668 \frac{g}{hm^2}}{4759.6Pa(0.9 - 0)} \\ &= \mathbf{0.02884g/hm^2Pa} \end{aligned}$$

Donde:

- **PA2:** Presión sobre la película, kPa.
- **PA1:** Presión a la cual está sujeta la película al interior del tubo, kPa.
- **S:** Presión de vapor de saturación a la temperatura experimental, Pa.
- **R1:** Humedad relativa de la cámara, en fracción.
- **R2:** Humedad relativa interna del tubo de prueba, en fracción.

$$\mathbf{WVP = Permeanza * Grosor \dots \dots \dots Ec(12)}$$

$$\mathbf{WVP = \frac{0.02884g}{hm^2Pa} * 0.171mm = \frac{4.9327x10^{-3}gmm}{hm^2Pa}}$$

Donde:

- **WVP:** Permeabilidad al vapor de agua, gmm/hm² Pa.

Unidades:

(gmm: gramo por milímetro) **(hm²:** hora por metro cuadrado) **(Pa:** Pascales)

Los resultados de la pendiente, permeancia y permeabilidad al vapor del agua se detallan en la Tabla 19.

Tabla 19. Resumen del ensayo de permeabilidad al vapor de agua

Tratamiento	Espesor	Pendiente (g/h)	WVT (g/hm ²)	Permeancia (g/hm ² Pa)	WVP (gmm/hm ² Pa)
T1-R1	0.171	0.0107	136.3057	0.03182007	4.9327E-03
T1-R2	0.173	0.010702	136.3312	0.03182602	4.9914E-03
T1-R3	0.172	0.010701	136.3184	0.03182305	4.9621E-03
T2-R1	0.177	0.0094	119.7452	0.02795408	4.9479E-03
T2-R2	0.178	0.009401	119.7579	0.02795706	4.9764E-03
T2-R3	0.179	0.009402	119.7707	0.02796003	5.0048E-03
T3-R1	0.184	0.0092	117.1974	0.02735931	5.0341E-03
T3-R2	0.185	0.00921	117.3248	0.02738905	5.0670E-03
T3-R3	0.186	0.009203	117.2356	0.02736824	5.0905E-03
T4-R1	0.195	0.0094	119.7452	0.02795408	5.4510E-03
T4-R2	0.197	0.009402	119.7707	0.02796003	5.5081E-03
T4-R3	0.196	0.009401	119.7579	0.02795706	5.4796E-03
T5-R1	0.206	0.0095	121.0191	0.02825147	5.8198E-03
T5-R2	0.205	0.0095	121.0191	0.02825147	5.7916E-03
T5-R3	0.208	0.009503	121.0573	0.02826039	5.8782E-03
T6-R1	0.212	0.0099	126.1146	0.029441	6.2415E-03
T6-R2	0.214	0.009902	126.1401	0.02944695	6.3016E-03
T6-R3	0.215	0.009901	126.1273	0.02944397	6.3305E-03
T7-R1	0.22	0.0101	128.6624	0.03003577	6.6079E-03
T7-R2	0.223	0.010103	128.7006	0.03004469	6.7000E-03
T7-R3	0.221	0.010101	128.6751	0.03003874	6.6386E-03
T8-R1	0.234	0.0102	129.9363	0.03033315	7.0980E-03
T8-R2	0.233	0.01023	130.3184	0.03042237	7.0884E-03
T8-R3	0.231	0.010201	129.9490	0.03033613	7.0076E-03
T9-R1	0.237	0.0104	132.4840	0.03092792	7.3299E-03
T9-R2	0.239	0.010402	132.5095	0.03093387	7.3932E-03
T9-R3	0.236	0.010401	132.4968	0.03093089	7.2997E-03
		Media	DesvEst.	Varianza	CoefVar
		0.005962	0.000882	0.000001	14.79

*Los cálculos se realizaron en una hoja de cálculo en Excel.

En la Tabla 19 se observa un resumen de todas las permeabilidades al vapor de agua determinadas. Se aprecia que los tratamientos (T1 Y T2) presentan permeabilidades similares, mientras que los demás tratamientos presentan permeabilidades diferentes con tendencia de aumento en sus valores. Siendo el tratamiento T1 (4 g almidón modificado, 0.5 g glicerina) el que presenta menor permeabilidad (4.9621E-03 *g.mm/hm² Pa*) en promedio; mientras que

el tratamiento T9 (5 g almidón modificado, 1.5 g glicerina) es el que presenta mayor permeabilidad ($7.3409E-03 \text{ g.mm/hm}^2 \text{ Pa}$) en promedio.

Tabla 20. Análisis de Varianza permeabilidad al vapor de agua (WVP)

Fuente	GL	SC Ajust.	MC Ajust.	Valor F	Valor p
Modelo	8	0.000020	0.000003	1594.15	0.0000
Lineal	4	0.000020	0.000005	3116.95	0.0000
Glicerina	2	0.000018	0.000009	5826.46	0.0000
Almidón Modificado	2	0.000001	0.000001	407.44	0.0000
Interacciones de 2 términos	4	0.000000	0.000000	71.36	0.0000
Glicerina*Almidón Modificado	4	0.000000	0.000000	71.36	0.0000
Error	18	0.000000	0.000000		
Total	26	0.000020			

En Tabla 20 se aprecia el análisis de varianza para (WVP); donde se considera significativo un valor-P menor a 0.05, en este caso para la permeabilidad al vapor del agua ($\text{g.mm/hm}^2 \text{ Pa}$); tanto la concentración de almidón modificado de papa como la concentración de glicerol en las películas estudiadas, tienen un valor-P menor que 0,05, siendo altamente significativos a un nivel de confianza del 95,0 %. Siendo el efecto de mayor significancia la concentración de glicerina. Se deduce que la incorporación de plastificante modifica la organización molecular, haciendo la estructura menos densa y como consecuencia más permeable. Sin embargo, el lento incremento de permeabilidad con la interacción de las dos variables puede estar relacionado con la poca hidrofiliidad que tiene el almidón oxidado.

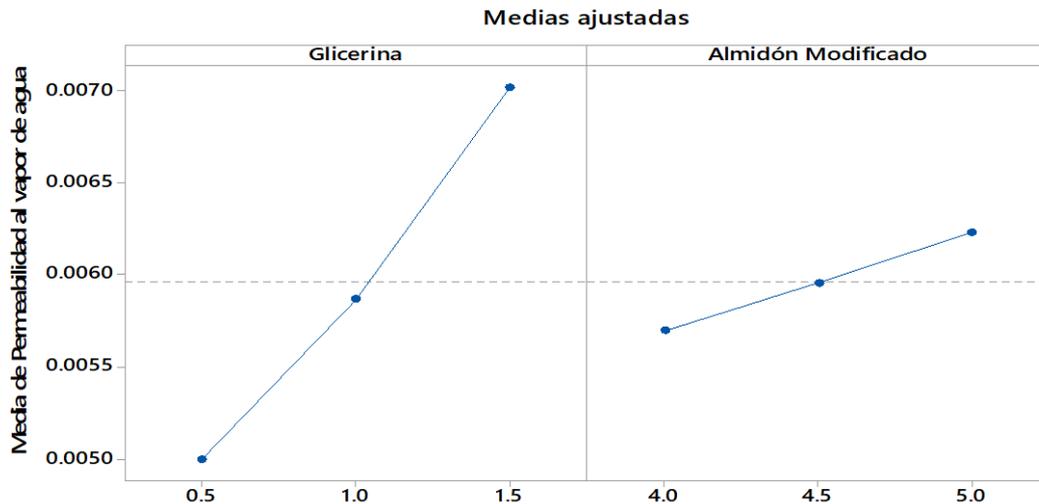


Figura 23. Efectos principales para (WVP)

La Figura 23 de los efectos principales de cada variable para (WVP). En el caso de la concentración de glicerina se observa que la pendiente es positiva, lo que significa que, a mayor concentración, mayor será el incremento de la permeabilidad al vapor del agua, de la misma forma con el efecto de la concentración de almidón modificado, donde la pendiente tiende a incrementar relativamente. Lo que significa que, tiene una relevancia considerada respecto al incremento de la solubilidad.

Podemos concluir entonces que la concentración de glicerina, tiene un efecto directamente proporcional a este, mientras en el caso de la concentración de almidón modificado, se demuestra que, a mayor concentración, incrementará la (WVP), pero en menor grado a diferencia de la variable glicerina. Así mismo, se puede observar que el comportamiento de la película no estaría actuando como una barrera simple, presentándose un transporte difusional facilitado que podría atribuirse a asociaciones entre la moléculas de agua y los grupos funcionales del almidón. Estas asociaciones entre el agua y la película provocan hinchamiento y cambios de estructura que facilitan la difusión de gases y vapores.

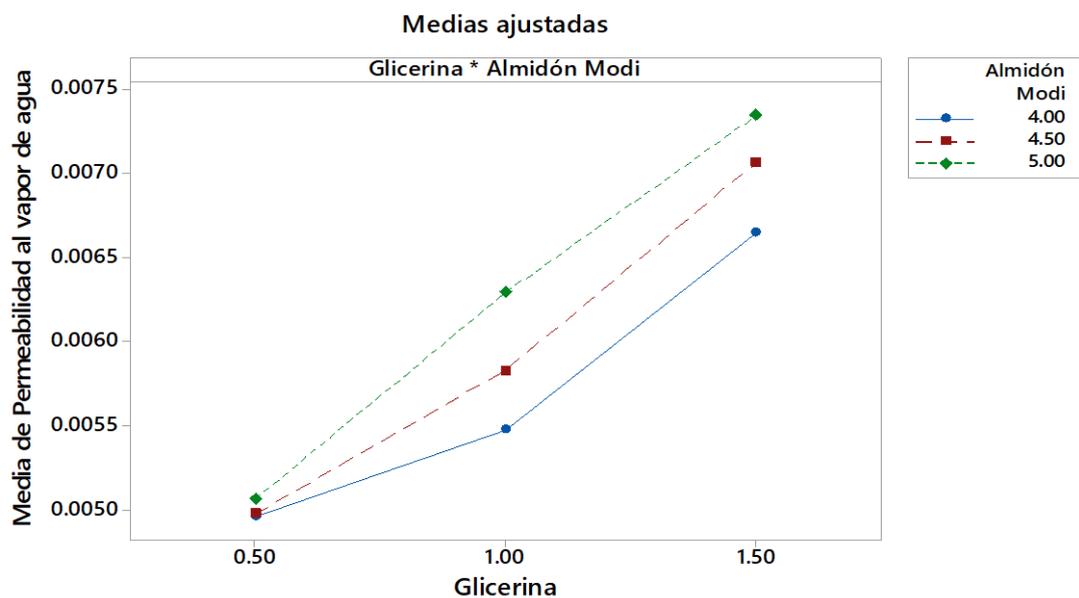


Figura 24. Interacción de glicerina y almidón en (WVP)

En la Figura 24 se observa la interacción entre las dos variables utilizadas, gráficamente el nivel alto de la variable almidón modificado y glicerina (5 g y 1.5 g) respectivamente, muestran mayor incremento en (WVP). (Mayor a $7.3299E-03$); por otro lado, a menor nivel de las variables (4 g y 0.5 g) menor es el valor de la permeabilidad al vapor de agua. (Menor a $4.9914E-03$).

Así mismo, se puede apreciar que los niveles bajo y medio del almidón modificado (4 g y 4.5 g), respecto a la concentración media de glicerina (1.0 g) tienen una tendencia de disminución para la WVP. (Huaraca, 2016), en su investigación observó que las películas más permeables contienen quitosano al 2 % y glicerol al 0,6 % con valores entre $2,7695E-03$ y $3,5735E-03$, y las menos permeables las películas con quitosano al 1 % y glicerol al 0,3 % en su concentración. Estos valores muestran relativa similitud, sin embargo; la diferencia de permeabilidades se debe a la concentración de glicerina y quitosano.

Según el tipo de película la permeabilidad varía; en el caso del tratamiento T7 tiene valores en promedio de $6.6488E-03$ y así sucesivamente para cada tratamiento las diferencias se incrementan, viendo el tratamiento T8 con valores sustancialmente mayores $7.0647E-03$. Por tanto, la muestra de mayor WVP es el tratamiento T9 con $7.3409E-03$, esto significa que la composición

de esta película no es la adecuada, porque con el tiempo la porosidad, densidad, temperatura y presión la volverán más débil y por otro lado las muestra de menor WVP es el tratamiento T1 y T2 con 4.9621E-03 variando en +/- 0.014, respectivamente. Estos tratamientos si tienen un tiempo de vida más largo lo que significa que su composición es adecuada para tener un producto más estable.

5.3. CARACTERÍSTICAS MICROBIOLÓGICAS

En las Tablas 21 y 22 que se muestran a continuación, presentan los resultados del conteo de unidades formadoras de colonia por gramo de las películas tratadas.

Tabla 21. Primer conteo de UFC/g (37 °C*24 h)

Tratamiento	Unidades Formadoras de Colonias UFC/g (37 °C*24 h)	Unidades Formadoras de Colonias UFC/g (37 °C*24 h)		
		R1	R2	R3
T1	UFC/g	0	0	0
T2	UFC/g	0	0	0
T3	UFC/g	0	0	0
T4	UFC/g	0	0	0
T5	UFC/g	0	0	0
T6	UFC/g	0	0	0
T7	UFC/g	0	0	0
T8	UFC/g	0	0	0
T9	UFC/g	0	0	0

Tabla 22. Segundo conteo de UFC/g (37 °C*48 h)

Tratamiento	Unidades Formadoras de Colonias UFC/g (37 °C*48 h)	Unidades Formadoras de Colonias UFC/g (37 °C*48 h)		
		R1	R2	R3
T1	UFC/g	0	0	0
T2	UFC/g	0	0	0
T3	UFC/g	0	0	0
T4	UFC/g	0	0	0
T5	UFC/g	0	0	0
T6	UFC/g	0	0	0
T7	UFC/g	0	0	0
T8	UFC/g	0	0	0
T9	UFC/g	0	0	0

Se observó que los tratamientos presentan nulo crecimiento microbiano menores al 0.0 %. Siendo los tratamientos T1, T2, T3, T4, T5, T6, T7, T8 y T9. Carentes de bacterias Gram positivos y Gram negativos. Para (Huachuhuillca, 2018), afirma que los plásticos biodegradables tienen alto índice de barrera microbiana, y que no solo pueden ser utilizados como uso de primera necesidad si no que se le pueden dar otros usos industriales. (López y Martínez, 2015) mencionan que las películas biopoliméricas es una constante mezcla de calidad con las propiedades deseadas que requieren la atención adecuada a tanto el proceso como el diseño de productos. Esta investigación brindará la inocuidad que los investigadores están buscando y posiblemente se puede utilizar también como recubrimiento comestible, como señala (González et al., 2018), donde menciona que las modificaciones que sufre la molécula del almidón al ser oxidada con el hipoclorito de sodio conllevan a un blanqueamiento de la película y se podría utilizar como una alternativa en la elaboración de un recubrimiento comestible. Así mismo se concluye que el uso de hipoclorito de sodio es un agente antimicrobiano y blanqueador como señala (Guzmán, 2014), que concluyó que el hipoclorito de sodio es un excelente recurso para eliminar las impurezas y para obtener un almidón blanqueado que puede ser utilizado en las diferentes industrias, como la alimentaria, para la elaboración de materiales plásticos de empaques biodegradables ya que tiene la ventaja de formar geles blancos brillantes.

CONCLUSIONES

Al evaluar las propiedades mecánicas, físicas y características microbiológicas de las películas elaboradas con glicerina y almidón de papa canchán modificado por oxidación, estas presentaron aceptables propiedades funcionales para ser consideradas en la fabricación de empaques biodegradables para la industria alimentaria o mínimamente como sobres para productos de consumo directo.

Estas películas biodegradables abren a la posibilidad de la industrialización sostenible y eco – amigable de envases y empaques a base de almidón de papa ya que según (Shah et al., 2016) el almidón como material de envasado es económicamente viable y, por lo tanto, las películas de almidón modificadas abren puertas a la industria para superar los desafíos existentes asociados con los materiales de envasado. Así mismo, según (Ligarda et al., 2020), recomiendan que los almidones de clones de papas permite caracterizarlas como buenos ingredientes para su uso en la industria agroalimentaria.

Seguidamente, con respecto a las propiedades mecánicas todos los tratamientos tienen diferentes efectos y comportamientos mecánicos. Siendo el tratamiento T1 el que soporta mayor esfuerzo a la ruptura (superiores a 1.87 N/mm^2) pero con un menor porcentaje de elongación (entre 30 % – 31 %) siendo la más frágil. Mientras que los tratamientos T7 y T8 obtuvieron mayor porcentaje de elongación (entre 47 % – 50 %) y aceptable resistencia al esfuerzo 1.64 N/mm^2 . Así mismo se observó que mientras se incrementaron las concentraciones de las variables, las películas incrementaron su espesor llevando con ello a la pérdida de elongación y menor resistencia al esfuerzo a la ruptura tal como muestra el tratamiento T9 (35 % de elongación y 0.86 N/mm^2) para la resistencia al esfuerzo máximo.

Por otro lado, en relación a las propiedades físicas de las películas se observó; que cuando incrementa la concentración de la variable glicerina, este tiene un

mayor efecto sobre el incremento del porcentaje de la solubilidad, siendo el tratamiento T1 con 36 % el menor porcentaje de solubilidad y el tratamiento T9 con 62 % el mayor porcentaje. En adición, también se observó que cuando se intensifica la concentración de glicerina, este tiene un mayor efecto respecto al incremento del porcentaje de humedad. Siendo los tratamientos T1 con 30.4 % y T9 con 47.9 % valores mínimos y máximos de porcentaje de humedad sobre las películas. Asimismo, de forma similar que cuando aumenta la concentración de glicerina, este tiene un mayor efecto respecto al incremento de la permeabilidad al vapor del agua. Siendo los tratamientos T1 con $4.9621E-03$ g.mm/hm²Pa y T9 con $7.3409E-03$ g.mm/hm²Pa, valores mínimos y máximos de la permeabilidad al vapor del agua. Concluyendo que la variable glicerina tiene un mayor efecto respecto a las propiedades físicas de las películas obtenidas.

Finalmente, para el estudio de las características microbiológicas sobre las películas se concluye, que se sembraron y encubaron los microorganismos presentes en las muestras. En primera etapa se encubaron por 24 horas siguiendo un monitoreo de crecimiento bacteriano y finalmente en segunda etapa por 48 horas; luego se contaron las unidades formadoras de colonia por gramo, presentando estas un efecto inhibitor al crecimiento bacteriano. Lo cual nos señala que no hay crecimiento microbiano por lo menos cuando las películas estén en medios aislados. Esto es muy bueno ya que permitirá el uso de estas películas en contacto directo con alimentos y garantizará la inocuidad alimentaria.

RECOMENDACIONES

- Se recomienda utilizar diferente tipo de polímero en especial los que tengan mayor cantidad de amilosa en su composición.
- Utilizar una mezcla de polímeros naturales y sintéticos para mejorar el tiempo de degradación de los plásticos comunes.
- Utilizar glicerina en mayor porcentaje para la formulación de las películas biodegradables superiores a 1.5 g. U otro tipo de plastificante.
- Para estudio de las características microbiológicas, se recomienda diferentes análisis en otros medios diferenciados.
- Se recomienda el estudio de los gránulos del almidón para cualquier modificación química que se realice.

SUGERENCIAS

- Para el proceso de oxidación del almidón se sugiere que se realice con mucho cuidado la manipulación del hidróxido de sodio ya que este al ser higroscópico, puede alterar la formulación.
- Para estudio de la permeabilidad al vapor de agua se sugiere que la cámara ambiental brinde las condiciones de temperatura y humedad requeridas para el ensayo un día antes de su uso, con la finalidad de que no varíe los resultados.
- Para las características microbiológicas se sugiere el uso adecuado de los implementos de bioseguridad con el fin de no alterar los resultados microbiológicos.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Ahmed, J., Tiwari, B., Imam, S., & Rao, M. (2012). Starch-based polymeric materials and nanocomposites: chemistry, processing and applications (CRC, Ed.).
- Alarcón C., H. A., & Arroyo B., E. (2016). Evaluation of chemical and mechanical properties of biopolymers by modified potato starch. *Revista de La Sociedad Química Del Perú*, 82(3), 315–323.
- Alata Mayhuire, E., & Cuadros Huamani, Y. B. (2017). Formulación y evaluación físico mecánica de películas biodegradables en base a residuos cítricos y celulosa bacteriana. In Universidad Nacional de San Agustín.
- Alonso Serrano, A., García Sanz, L., León Rodrigo, I., García Gordo, E., Gil Álvaro, B., & Ríos Brea, L. (2012). Métodos de investigación de enfoque experimental. *Metodología de La Investigación Educativa*, 167–193.
- Alves, V. D., Mali, S., Beléia, A., & Grossmann, M. V. E. (2007). Effect of glycerol and amylose enrichment on cassava starch film properties. *Journal of Food Engineering*, 78(3), 941–946. <https://doi.org/10.1016/j.jfoodeng.2005.12.007>
- Andersen, P. J., & Hodson, S. K. (2001). Thermoplastic starch compositions incorporating a particulate filler component. United States Patent, 1(12). Un enfoque práctico para la inocuidad alimentaria, Universidad Nacional de Ingeniería UNI-Norte 1 (2010).
- AOAC. (2005). Official methods of analysis of AOAC International.
- Atichokudomchai, N., Varavinit, S., & Chinachoti, P. (2004). A study of ordered structure in acid-modified tapioca starch by ¹³C CP/MAS solid-state NMR. *Carbohydrate Polymers*, 58(4), 383–389. <https://doi.org/10.1016/j.carbpol.2004.07.017>
- Averous, L., & Boquillon, N. (2004). Biocomposites based on plasticized starch: Thermal and mechanical behaviours. *Carbohydrate Polymers*, 56(2), 111–122. <https://doi.org/10.1016/j.carbpol.2003.11.015>

- Badui Dergal, S. (2006). *Química de los alimentos* (S. A. Pearson Educación de México, Ed.; 4th ed.). Cambridge University Press.
- Bastioli, C., Bellotti, V., Montino, A., Tredici, G. D., Lombi, R., & Ponti, R. (1995). Biodegradable polymeric compositions based on starch and thermoplastic polymers.
- Becerra Gutiérrez, C. (2019). Día Nacional de la Papa: Perú tiene más de 3,500 variedades de este cultivo andino. Andina Agencia Peruana de Noticias.
- Bemiller, J., & Whistler, R. (2009). *Starch chemistry and technology* (A. Press, Ed.; Third Edit).
- Bertolini, A. (2010). *Starches: Characterization, properties and Applications* (C. P. T. & F. Group, Ed.; First Edit).
- Britania, L. S. A. (2015). Ficha técnica- B02114 Rev 01-Mac Conkey Agar.
- Cabrera, J. (2013). "Criterios microbiológicos para alimentos código alimentario argentino y sus últimas actualizaciones." INAL-ANMAT, 2–102.
- Carrasco Díaz, S. (2005). *Metodología de la Investigación* (San Marcos, Ed.; 1st ed.).
- Castillo Ruth, Escobar Eliasury Fernández Dianeth, Gutiérrez, Ramón, Morcillo Jonathan, Núñez Neryana, Peñaloza, S. (2015). Bioplástico a Base de la Cáscara del Plátano. *Journal of Undergraduate Research*, 1–4.
- Causas, D. (2015). Definición de las variables, enfoque y tipo de investigación. In *Biblioteca electrónica de la Universidad Nacional de Colombia* (pp. 2, 1-11.).
- Cazón, P., Velázquez, G., Ramírez, J. A., & Vázquez, M. (2017). Polysaccharide-based films and coatings for food packaging: A review. *Food Hydrocolloids*, 68, 136–148. <https://doi.org/10.1016/j.foodhyd.2016.09.009>
- Centro de Información Técnica - CIT. (2009, January). *Plásticos Biodegradables, ¿qué son? y su relación con los RSU*. Plastivida.

- Charro Espinosa, M. M. (2015). Obtención de plástico biodegradable a partir de almidón de patata.
- Chocano Peralta, N. del R. (2019). Propiedades físicas y mecánicas de una biopelícula formulada con almidón de papa (*Solanum tuberosum*) y mucilago de nopal (*Opuntia ficus*).
- CORQUIVEN, C. A. (2007). Hoja de seguridad- GLICERINA. <http://www.corquiven.com>
- Cui, S. W. (2005). Food Carbohydrates. In S. W. Cui (Ed.), *Food Carbohydrates*. CRC Press. <https://doi.org/10.1201/9780203485286>
- Cuq, B., Gontard, N., Cuq, J.-L., & Guilbert, S. (1996). Functional Properties of Myofibrillar Protein-based Biopackaging as Affected by Film Thickness. *Journal of Food Science*, 61(3), 580–584. <https://doi.org/10.1111/j.1365-2621.1996.tb13163.x>
- Ecoembes. (2016). Envases de plástico Diseña para reciclar. Paul East-Packing Technolist.
- Enriquez Collazos, M., Velasco Mosquera, R., Fernández Quintero, A., Palacios, L., & Ruales Madroñero, D. (2013). Desarrollo de un biomaterial a partir de almidón modificado de yuca, agente antimicrobiano y plastificante. *Biología En El Sector Agropecuario y Agroindustrial: BSAA*, 11(2), 111–120.
- Estrada Mora, H. (2012). Bioplásticos, plásticos compostables y oxodegradables: la realidad sobre la biodegradabilidad de los envases plásticos. Departamento de Investigación y Documentación Parlamentaria - Congreso de La República Del Perú., Informe Te, 1–27.
- FAO. (1977). *Productos alimenticios. Guía Técnica Para La Producción y Análisis de Almidón de Yuca*, 19–60.
- FAO. (2009). *La agricultura y la alimentación. Guía Técnica de Agricultura*
- Fernández, C., Baptista, P., & Hernández-Sampieri, R. (2014). Definiciones de los enfoques cuantitativo y cualitativo, sus similitudes y diferencias. *Metodología de La Investigación*, 2–23.

- Francisco Soria Melguizo S.A. (2009). Ficha técnica: MAcCONKEY AGAR (No. 7702667). 5–8.
- Fritz, G. H. (1994). Study of Production of Thermoplastics and Fibers based mainly on Biological Material. European Commission, 15–49.
- Galeano Gallego, J. A. (2015). Propuesta para el aprendizaje del concepto de solubilidad en soluciones acuosas en el grado undécimo. In UNAL- Trabajo final de Maestría.
- Garde Izquierdo, G. (2014). Efecto de la adición, tipo y concentración de nanoarcilla sobre las propiedades mecánicas y de barrera de películas biodegradables basadas en quitosano.
- Geyer, R., Jambeck, J. R., & Law, K. L. (2017). Production, use, and fate of all plastics ever made. *Science Advances*, 3(7), e1700782. <https://doi.org/10.1126/sciadv.1700782>
- González Torres, B., Robles García, M. A., Padilla Frausto, J. J., Gutiérrez Lomelí, M., Barrera Rodríguez, A., Navarro Villarruel, C. L., Rodríguez Félix, F., & Del Toro Sánchez, C. L. (2018). Preparación y caracterización de almidón modificado para elaborar a futuro biopelículas para productos hortofrutícolas. XX Congreso Internacional Inocuidad de Alimentos, 1–4.
- Guarda, A., Galotto, M. J., Alvarado, J., & Aguilera, J. M. (2001). Propiedades físicas de materiales plásticos (Acribia, Ed.).
- Gutiérrez Pullido, H., & de la vara Salazar, Román. (2008). Análisis y diseño de experimentos (S. A. D. C. V. McGraw-Hill/Interamericana Editores, Ed.; 2ed.).
- Gutiérrez, T. J., Tapia, M. S., Pérez, E., & Famá, L. (2015). Structural and mechanical properties of edible films made from native and modified cush-cush yam and cassava starch. *Food Hydrocolloids*, 45, 211–217. <https://doi.org/10.1016/j.foodhyd.2014.11.017>
- Guzman, A., Gnutek, N., & Janik, H. (2011). Biodegradable polymers for food packaging – factors influencing their degradation and certification types – . 5(1).

- Guzmán Condarco, B. (2014). Extracción y modificación química de almidón de papa (*Solanum tuberosum*) para su aplicación en la industria boliviana.
- Halley, P., McGlashan, S., & Gralton, J. (2006). Bidegradable polymer (Patent No. US 7,094,817B2).
- Han, F., Liu, M., Gong, H., Lü, S., Ni, B., & Zhang, B. (2012). Synthesis, characterization and functional properties of low substituted acetylated corn starch. *International Journal of Biological Macromolecules*, 50(4), 1026–1034. <https://doi.org/10.1016/j.ijbiomac.2012.02.030>
- Hoover, R., Hughes, T., Chung, H. j., & Liu, Q. (2010). Composition, molecular structure, properties, and modification of pulse starches. *Food Research International*, 43(2):399-413.
- Hoseney, R. C. (1980). *Principios de Ciencia y Tecnología de Cereales* (S. A. Editorial Acribia, Ed.).
- Huachuhuilca Mañuico, E. (2018). Influencia de la aplicación de coberturas biodegradables en la pérdida de peso e índice de madurez de la naranja criolla (*citrus cinensis*). Universidad Nacional José María Arguedas.
- Huaraca Canaza, M. Antonio. (2016). Estudio de la permeabilidad al vapor de agua en películas modificadas de quitosano.
- INEI (Instituto Nacional de Estadística e Informática). (2018). Informe Técnico de Producción Nacional. Lima, Perú.
- INIA (Instituto Nacional de Innovación Agraria). (2019). Informe Técnico Productivo de Papa INIA 303 – Canchán. Dirección de Extensión Agraria. La Molina, Perú.
- Inostroza, J., Méndez, P., & Sotomayor, L. (2016). Botánica y morfología de la papa. In INIA Carillanca.
- Irkin, R., & Esmer, O. K. (2015). Novel food packaging systems with natural antimicrobial agents. In *Journal of Food Science and Technology* (Vol. 52, Issue 10, pp. 6095–6111). Springer. <https://doi.org/10.1007/s13197-015-1780-9>
- KHAN, M., BHATTACHARIA, S., KADER, M., & BAHARI, K. (2006). Preparation and characterization of ultra violet (UV) radiation cured bio-

- degradable films of sago starch/PVA blend. *Carbohydrate Polymers*, 63(4), 500–506. <https://doi.org/10.1016/j.carbpol.2005.10.019>
- Lafuente Aranda, G. (2017). “Glicerol: Síntesis Y Aplicaciones.” Universidad Nacional De Educación a Distancia Máster Universitario En Ciencia Y Tecnología.
- Ligarda Samanez, C. A., Choque Quispe, David., & Ramos Pacheco, B. S. (2020). Propiedades fisicoquímicas, tecnofuncionales y morfológicas de almidones extraídos de clones de papa nativa (*Solanum tuberosum*) cultivados en la provincia de Andahuaylas. *Revista de Investigación En Ciencia, Tecnología y Sociedad (CTS-UNAJMA)*.
- Lira Segura, J. (2020). Comité de la SNI pide aplazar por dos años el reglamento de la Ley de Plásticos de un solo uso. *Diario Gestión Perú*.
- López García, F., & Jiménez Martínez, C. (2015). Películas biopoliméricas: Aplicaciones para envases y otros productos. *Tendencias de Innovación En La Ingeniería de Alimentos*, 9–36. <https://doi.org/10.3926/oms.287>
- López, O. V. (2011). Desarrollo, caracterización y aplicación de envases biodegradables a partir de almidón. Universidad Nacional de la Plata.
- Lozada, J. (2014). Investigación Aplicada: Definición, Propiedad Intelectual e Industria. *Cienciamérica: Revista de Divulgación Científica de La Universidad Tecnológica Indoamérica.*, 3(1), 34–39.
- Llorente Uceta, M.A. y Horta Zubiaga, A. (1991). Técnicas de caracterización de polímeros
- Martínez, P., & Azuaga, M. (1997). Medición del módulo de elasticidad de Young. Laboratorio IV- Dpt, de Física-UBA, 1–11.
- McHugh, T. H., & Krochta, J. M. (1994). Water vapor permeability properties of edible whey protein-lipid emulsion films. *Journal of the American Oil Chemists' Society*, 71(3), 307–312. <https://doi.org/10.1007/BF02638058>
- Melian Subiabre, D. E. (2010). Ensayo Comparativo de dos metodologías de extracción de almidón de papa usando muestras de diez variedades nativas de Chiloé y dos variedades comerciales. Universidad Austral de Chile.

- Mesa García, Felipe. (2008). QUÍMICA. Pueblo y Educación, Ed.; 2da ed.
- MINAGRI (Ministerio de Desarrollo Agrario y Riego). (2021). <https://www.minagri.gob.pe/portal/especial-iv-cenagro/25-sector-agrario/papa/207-papa>.
- Ministerio de salud. (2008, August 29). El peruano - Resolución Ministerial N°591-2008/MINSA. 378827, 1–26.
- Ministerio del ambiente. (2018). Cifras del mundo y el Perú. In Menos Plástico Más Vida.
- Mosquera Sánchez, S., Cortez, J., Fernandez, A., & Velasco, R. (2014). Evaluación de propiedades mecánicas, ópticas y de barrera en películas activas de almidón de yuca. *Biotecnología En El Sector Agropecuario y Agroindustrial: BSAA*, 12(1), 88–97.
- Ñaupas Paitán, H., Valdivia Dueñas, M. R., Palacios Vilela, J. J., & Romero Delgado, H. E. (2018). Metodología de la investigación Cuantitativa - Cualitativa y Redacción de la Tesis. In Ediciones de la U (Ed.), *Educación* (5th ed., Vol. 5).
- Obregon Vento, R. D., & Estrella Parian, P. A. (2014). Efecto de la modificación química del almidón nativo de papa (*Solanum tuberosum*), sobre sus características fisicoquímicas y reológicas. *Universidad Nacional del Centro del Perú*.
- Olivato, J. B., Grossmann, M. V. E., Bilck, A. P., & Yamashita, F. (2012). Effect of organic acids as additives on the performance of thermoplastic starch/polyester blown films. *Carbohydrate Polymers*, 90(1), 159–164. <https://doi.org/10.1016/j.carbpol.2012.05.009>
- Oliveira, R. G. (2009). Obtenção e caracterização de filmes biodegradáveis a partir de misturas de Almidon de mandioca e extrato protéico de soja.
- Omnia, L. E. O. (1788). *The Rational Mechanics of Flexible or Elastic Bodies* (O. Fussli.; 2ed).
- ONU. (2021). El uso exagerado del plástico durante la pandemia de COVID-19 afecta a los más vulnerables. In *Noticias ONU*. <https://news.un.org/es/story/2021/03/1490302>

- Parker, L. (2020). Contaminación por Plástico. National Geographic. https://www.nationalgeographic.com.es/naturaleza/grandes-reportajes/ahogados-mar-plastico_12712/17
- Parlamento Europeo. (2004, October 27). Reglamento (CE) N°1935/2004. Official Journal of the European Union, 4–17.
- Pascat, B. (1986). Study of some factors affecting permeability. In food packaging and preservation. Theory and practice (Elsevier Applied Science Publishers, Ed.).
- Polnaya, F. (2005). Modifikasi Ganda Pati Sagu Hidrosipropyl-Asetil Untuk Pembuatan Edible Film. Universidad de Gadjah Mada Indonesia.
- Quiroga Ledezma, C. C. (2008). Los almidones resistentes y la salud. Investigación & Desarrollo, 8(1), 130–141. <https://doi.org/10.23881/idupbo.008.1-9i>
- Ramos García, M. D. L., Romero bastida, C., & Bautista baños, S. (2018). Modified starch: properties and uses as edible coatings for the preservation of fresh fruits and vegetables. Asociación Iberoamericana de Tecnología Postcosecha, S.C., 19, 1–15.
- Ramos, Ó. L., Fernandes, J. C., Silva, S. I., Pintado, M. E., & Malcata, F. X. (2012). Edible Films and Coatings from Whey Proteins: A Review on Formulation, and on Mechanical and Bioactive Properties. Critical Reviews in Food Science and Nutrition, 52(6), 533–552. <https://doi.org/10.1080/10408398.2010.500528>
- Reyes García, M. (2009). Tablas peruanas de composición de alimentos (8th ed.).
- Rios, G. (2007). Distribucion y variabilidad de *Ralstonia solanacearum*, agente causal de marchitez bacteriana en el cultivo de papa (*Solanum tuberosum*) en tres departamentos del norte de Nicaragua.
- Rodríguez, P. A., & Arenas, R. (2018). Hans Christian Gram y su tinción. Dermatología Cosmética, Medica y Quirúrgica, 16(2), 166–167.
- Rubilar, J. F., Cruz, R. M. S., Silva, H. D., Vicente, A. A., Khmelinskii, I., & Vieira, M. C. (2013). Physico-mechanical properties of chitosan films with

- carvacrol and grape seed extract. *Journal of Food Engineering*, 115(4), 466–474. <https://doi.org/10.1016/j.jfoodeng.2012.07.009>
- Rutenberg, M. W, Solarek, D. (1984). Starch derivatives: Production and uses. In: *Starch Chemistry and Technology* (P. E. F. (Eds.) A. P. Wistler, R. L., BeMiller, J. N., Ed.; 2nd ed.).
- Ruiz, Gladys. (2006). Obtención y caracterización de un polímero biodegradable a partir del almidón de yuca. *Revista Ingeniería y Ciencia Universidad EAFIT*. 2(4): 5-28.
- Sangseethong K, Lertphanich S, S. K. (2009). Physicochemical Properties of Oxidized Cassava Starch Prepared under various Alkalinity Levels. *Starch - Starke*, 92–100.
- Sanz Cervera, S. A. (2011). *Prácticas de Microbiología* (Universidad de La Rioja, Ed.; 2 edición). Publicaciones.unirioja.es.
- Schwartz, D., & Whistler, R. L. (2009). History and future of starch (B. j. and R. W. (Eds.), Ed.; 1st ed.).
- Shah, U., Naqash, F., Gani, A., & Masoodi, F. A. (2016). Art and Science behind Modified Starch Edible Films and Coatings: A Review. *Comprehensive Reviews in Food Science and Food Safety*, 15(3), 568–580. <https://doi.org/10.1111/1541-4337.12197>
- Shanks, Robert & kong, Ing. (2012). *Thermoplastic Starch*.
- Sibari Republic. (2019). *Glicerina, propiedades y beneficios para la piel. Science and Cosmetics*.
- Singh, J., & Kaur, L. (2009). *Advances in potato chemistry and technology* (E. A. Press, Ed.; First Edit).
- TERRANOVA. (1995). *Producción agrícola* (Ltda. Terranova editores, Ed.; 2nd ed.).
- Trujillo Rivera, C. T. (2014). Obtención de películas biodegradables a partir de almidón de yuca (*Manihot esculente crantz*) doblemente modificado para uso en empaque de alimentos. In *Universidad Nacional Amazónica de Madre de Dios - UNAMAD*.

- Van Sebille, E., Wilcox, C., Lebreton, L., Maximenko, N., Hardesty, B. D., Van Franeker, J. A., Eriksen, M., Siegel, D., Galgani, F., & Law, K. L. (2015). A global inventory of small floating plastic debris. *Environmental Research Letters*, 10(12). <https://doi.org/10.1088/1748-9326/10/12/124006>
- Villamizar, L. F., & Martínez, F. (2008). Estudio fisicoquímico de la solubilidad del eudragit s100 en algunos medios acuosos y orgánicos. *Revista Colombiana de Química*, 37(2), 173–187.
- Wang, Y.-J., & Wang, L. (2003). Physicochemical properties of common and waxy corn starches oxidized by different levels of sodium hypochlorite. *Carbohydrate Polymers*, 52(3), 207–217. [https://doi.org/10.1016/S0144-8617\(02\)003041](https://doi.org/10.1016/S0144-8617(02)003041)
- Waniska, R.D, and Gómez, M. H. (1992). Dispersion behavior of starch. *Food Technology*, 46(6), 110–123.
- Wilcox, C., Van Sebille, E., & Hardesty, B. D. (2015). Threat of plastic pollution to seabirds is global, pervasive, and increasing. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, 112(38), 11899–11904. <https://doi.org/10.1073/pnas.1502108112>
- William D. Callister, JR. y D. G. R. (2015). *Materials science and engineering* (S. A. Reverté, Ed.; 9th ed.).
- Yaipén, R. (2013). Perú tiene la colección más grande de variedades de papa del mundo.
- Zavareze, E. D. R., Pinto, V. Z., Klein, B., el Halal, S. L. M., Elías, M. C., Prentice-Hernández, C., & Días, A. R. G. (2012). Development of oxidised and heat-moisture treated potato starch film. *Food Chemistry*, 132(1), 344–350. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2011.10.090>
- Zhang, Y. R., Zhang, S. D., Wang, X. L., Chen, R. Y., & Wang, Y. Z. (2009). Effect of carbonyl content on the properties of thermoplastic oxidized starch. *Carbohydrate Polymers*, 78(1), 157–161. <https://doi.org/10.1016/j.carbpol.2009.04.023>

ANEXOS

Anexo 01: Datos del ensayo mecánico.

	Espesor (mm)	Largo (mm)	Ancho (mm)	Longitud final (mm)
T1	0.173	58.6	25	24.67
T1	0.171	59.5	25	25.52
T1	0.173	60	25	26.00
T2	0.177	60	25	26.56
T2	0.179	59.6	25	26.21
T2	0.179	60	25	26.58
T3	0.185	58.9	25	26.02
T3	0.184	59	25	26.17
T3	0.185	60	25	27.13
T4	0.195	60	25	27.57
T4	0.197	60	25	27.51
T4	0.196	59	25	26.55
T5	0.208	60	25	28.02
T5	0.205	59.4	25	27.49
T5	0.205	60	25	28.11
T6	0.213	58.9	25	27.48
T6	0.214	60	25	28.61
T6	0.2114	60	25	28.63
T7	0.22	59	25	28.08
T7	0.221	59.5	25	28.62
T7	0.223	58.9	25	27.96
T8	0.233	58.8	25	28.35
T8	0.233	59	25	28.58
T8	0.232	59	25	28.61
T9	0.238	60	25	27.14
T9	0.237	60	25	27.12
T9	0.236	60	25	27.16

Resultados del esfuerzo máximo a la ruptura (N/mm²) y % elongación

	A	B	D	E	F	C
	SEPARACIÓN	ELONGACIÓN	PICO DE	SECCIÓN	ESFUERZO	%
	ENTRE MORDAZAS	LONGITUD (mm)	CARGA	TRANSVERSAL	MÁXIMO A LA	ELONGACIÓN
TRAT	(mm)		(N)	(mm²)	RUPTURA (N/mm²)	
T1-R1	18.6	6.07	8.09	4.325	1.8705	32.634
T1-R2	19.5	6.02	8.13	4.275	1.9017	30.871
T1-R3	20	6.00	8.12	4.325	1.8774	30.00
T2-R1	20	6.56	7.93	4.425	1.7920	32.8
T2-R2	19.6	6.61	8.11	4.475	1.8122	33.724
T2-R3	20	6.58	8.04	4.475	1.7966	32.9
T3-R1	18.9	7.12	7.43	4.625	1.6064	37.671
T3-R2	19	7.17	7.32	4.6	1.5913	37.736
T3-R3	20	7.13	7.39	4.625	1.5978	35.65
T4-R1	20	7.57	7.09	4.875	1.4543	37.85
T4-R2	20	7.51	7.14	4.925	1.4497	37.55
T4-R3	19	7.55	7.13	4.9	1.4551	39.736
T5-R1	20	8.02	8.35	5.2	1.6057	40.1

T5-R2	19.4	8.09	8.27	5.125	1.6136	41.701
T5-R3	20	8.11	8.31	5.125	1.6214	40.55
T6-R1	18.9	8.58	8.45	5.325	1.5868	45.396
T6-R2	20	8.61	8.38	5.35	1.5663	43.05
T6-R3	20	8.63	8.45	5.285	1.5988	43.15
T7-R1	19	9.08	9.21	5.5	1.6745	47.789
T7-R2	19.5	9.12	9.09	5.525	1.6452	46.769
T7-R3	18.9	9.06	9.17	5.575	1.6448	47.936
T8-R1	18.8	9.55	9.33	5.825	1.6017	50.797
T8-R2	19	9.58	9.59	5.825	1.6463	50.421
T8-R3	19	9.61	9.51	5.8	1.6396	50.578
T9-R1	20	7.14	5.34	5.95	0.8974	35.7
T9-R2	20	7.12	5.18	5.925	0.8742	35.6
T9-R3	20	7.16	5.13	5.9	0.8694	35.8

En la Tabla se aprecian los datos del pico de carga a los que fueron llevados las películas hasta que se fracturen; los cuales varían desde 5.22 N en promedio para el tratamiento T9 (valor mínimo) y 9.48 N para el tratamiento T8 (valor máximo).

Anexo 02: Datos para solubilidad

Muestra Final seca M1 (secado *24 h)		R1	R2	R3
T1	Peso de placa Petri M. S	53.7048	56.123	36.723
	PESO FINAL M1	0.0762	0.075	0.076
T2	Peso de placa Petri M. S	34.45	35.691	44.792
	PESO FINAL M1	0.074	0.077	0.075
T3	Peso de placa Petri M. S	56.309	55.342	45.446
	PESO FINAL M1	0.079	0.08	0.081
T4	Peso de placa Petri M. S	48.986	33.444	45.883
	PESO FINAL M1	0.082	0.08	0.083
T5	Peso de placa Petri M. S	50.498	52.0161	50.469
	PESO FINAL M1	0.085	0.0859	0.087
T6	Peso de placa Petri M. S	34.6109	47.611	50.322
	PESO FINAL M1	0.0871	0.09	0.087
T7	Peso de placa Petri M. S	36.472	50.571	49.534
	PESO FINAL M1	0.089	0.091	0.088
T8	Peso de placa Petri M. S	50.798	48.204	35.966
	PESO FINAL M1	0.093	0.092	0.089
T9	Peso de placa Petri M. S	51.502	36.519	51.9
	PESO FINAL M1	0.092	0.09	0.091

Muestra Final seca M2 (secado*24 h)		R1	R2	R3
T1	Peso de placa Petri	53.672	56.091	36.688
	Peso con muestra restante	53.721	56.138	36.736
	PESO FINAL M2	0.049	0.047	0.048
T2	Peso de placa Petri	34.412	35.654	44.755
	Peso con muestra restante	34.458	35.701	44.801
	PESO FINAL M2	0.046	0.047	0.046
T3	Peso de placa Petri	56.266	55.298	45.402
	Peso con muestra restante	56.314	55.345	45.451
	PESO FINAL M2	0.048	0.047	0.049
T4	Peso de placa Petri	51.594	36.609	51.991
	Peso con muestra restante	51.642	36.65619	52.039
	PESO FINAL M2	0.048	0.04719	0.048

	Peso de placa Petri	50.44	51.958	50.41
T5	Peso con muestra restante	50.485	52.004	50.457
	PESO FINAL M2	0.045	0.046	0.047
	Peso de placa Petri	34.547	47.548	50.26
T6	Peso con muestra restante	34.589	47.592	50.304
	PESO FINAL M2	0.042	0.044	0.044
	Peso de placa Petri	36.403	50.502	49.465
T7	Peso con muestra restante	36.442	50.543	49.505
	PESO FINAL M2	0.039	0.041	0.04
	Peso de placa Petri	50.722	48.13	35.893
T8	Peso con muestra restante	50.761	48.167	35.928
	PESO FINAL M2	0.039	0.037	0.035
	Peso de placa Petri	51.419	36.436	51.82
T9	Peso con muestra restante	51.453	36.471	51.854
	PESO FINAL M2	0.034	0.035	0.034

Anexo 03: Datos para humedad

Muestra Inicial fresca Mi				
		R1	R2	R3
	Peso de placa Petri	50.985	35.893	46.69
T1	Peso con muestra	51.091	35.998	46.798
	PESO INICIAL	0.106	0.105	0.108
	Peso de placa Petri	51.419	47.49	48.13
T2	Peso con muestra	51.531	47.603	48.246
	PESO INICIAL	0.112	0.113	0.116
	Peso de placa Petri	50.721	49.499	36.436
T3	Peso con muestra	50.845	49.625	36.564
	PESO INICIAL	0.124	0.126	0.128
	Peso de placa Petri	46.875	42.816	44.665
T4	Peso con muestra	47.009	42.948	44.796
	PESO INICIAL	0.134	0.132	0.131
	Peso de placa Petri	48.652	50.493	51.82
T5	Peso con muestra	48.798	50.634	51.968
	PESO INICIAL	0.146	0.141	0.148
	Peso de placa Petri	45.064	44.66	46.87
T6	Peso con muestra	45.218	44.812	47.021
	PESO INICIAL	0.154	0.152	0.151

	Peso de placa Petri	49.87	47.634	49.604
T7	Peso con muestra	50.029	47.789	49.762
	PESO INICIAL	0.159	0.155	0.158
	Peso de placa Petri	50.41	46.557	50.44
T8	Peso con muestra	50.573	46.728	50.608
	PESO INICIAL	0.163	0.171	0.168
	Peso de placa Petri	34.529	51.958	46.655
T9	Peso con muestra	34.698	52.129	46.829
	PESO INICIAL	0.169	0.171	0.174

Muestra Final seca M2				
		R1	R2	R3
T1	Peso de placa Petri con muestra seca	51.016	35.926	46.723
	PESO FINAL	0.075	0.072	0.075
T2	Peso de placa Petri con muestra seca	51.456	47.527	48.17
	PESO FINAL	0.075	0.076	0.076
T3	Peso de placa Petri con muestra seca	50.766	49.543	36.481
	PESO FINAL	0.079	0.082	0.083
T4	Peso de placa Petri con muestra seca	46.9256	42.868	44.7163
	PESO FINAL	0.0834	0.08	0.0797
T5	Peso de placa Petri con muestra seca	48.7098	50.551	51.882
	PESO FINAL	0.0882	0.083	0.086
T6	Peso de placa Petri con muestra seca	45.1288	44.724	46.933
	PESO FINAL	0.0892	0.088	0.088
T7	Peso de placa Petri con muestra seca	49.941	47.7021	49.67109
	PESO FINAL	0.088	0.0869	0.09091
T8	Peso de placa Petri con muestra seca	50.4831	46.6338	50.5139
	PESO FINAL	0.0899	0.0942	0.0941
T9	Peso de placa Petri con muestra seca	34.6095	52.041	46.738
	PESO FINAL	0.0885	0.088	0.091

Anexo 04: Datos del aumento de peso para (WVP) en función al tiempo

El método se describe como un estudio gravimétrico en el que los pesos de cada tubo deben registrarse regularmente hasta que estos alcancen un valor límite, el cual debe ser al 10 % del valor inicial del desecante o hasta que la variación entre pesos no sea significativa. Para ello, se construyó una cámara climática controlada, la cual brindó las condiciones de temperatura y humedad requeridas para la prueba de permeabilidad. Durante la prueba, los pesajes se registraron a cada uno de los 9 tubos de ensayo en análisis hasta alcanzar un máximo de 33 horas y 14 pesajes. Con la data de los pesajes, se calcularon los aumentos de cada tubo, que luego fueron graficados en relación al tiempo; empleando regresión lineal se calculó la pendiente el cual se utilizó en la ecuación de índice de transmisión de vapor de agua (WVT), valor que sirve para calcular la permeancia, luego al multiplicarse por el espesor de cada muestra de película, resulta el valor de la permeabilidad del vapor de agua (WVP). En la siguiente Tabla se muestra la ganancia de pesos.

HORAS				1	2	3	4	6	8	
PESAJE	P.Tubo	V	P+Dse	P+M	1	2	3	4	5	6
T1	3.404		7.505	0.163	7.794	7.807	7.813	7.889	7.914	7.930
T2	3.466		7.567	0.167	7.870	7.887	7.895	7.903	7.918	7.934
T3	3.379		7.480	0.174	7.796	7.813	7.822	7.830	7.847	7.863
T4	3.596		7.697	0.183	8.028	8.037	8.046	8.055	8.072	8.089
T5	3.326		7.427	0.186	7.772	7.789	7.799	7.808	7.825	7.842
T6	3.492		7.593	0.189	7.945	7.956	7.965	7.975	7.992	8.010
T7	3.263		7.364	0.192	7.725	7.739	7.749	7.759	7.777	7.795
T8	3.281		7.382	0.193	7.755	7.771	7.781	7.792	7.810	7.828
T9	3.250		7.351	0.193	7.727	7.737	7.747	7.758	7.777	7.796
HORAS	10	14	18	21	24	27	30	33		
PESAJE	7	8	9	10	11	12	13	14		
T1	7.948	7.966	7.989	8.004	8.017	8.042	8.087	8.097		
T2	7.942	7.982	8.005	8.030	8.044	8.080	8.134	8.162		
T3	7.872	7.911	7.935	7.961	7.975	8.011	8.044	8.077		
T4	8.098	8.138	8.162	8.189	8.203	8.240	8.275	8.310		
T5	7.852	7.893	7.917	7.944	7.959	7.997	8.021	8.055		
T6	8.021	8.062	8.087	8.115	8.130	8.168	8.210	---		
T7	7.806	7.847	7.873	7.901	7.917	7.956	7.993	---		
T8	7.840	7.882	7.908	7.937	7.953	7.992	8.016	---		
T9	7.809	7.852	7.879	7.908	7.925	7.965	7.990	---		

Donde: (P.Tubo V = Peso del tubo vacío, P+Dse = Peso del tubo más el desecante, P+M= Peso de la película)

* Los valores marcados con negrita indican el valor con el que se logró el límite en la ganancia de peso del desecante que contiene el tubo de ensayo.

Como se puede ver en Tabla, el aumento fue mayor a 0,410 gramos en promedio, a partir de este límite los valores dejaron de registrarse.

Luego de registrados todos los datos, se procedió a determinar el aumento de peso en cada tubo, para esto se utilizó la ecuación 10

$$\text{Aumento} = P_n - P_i \dots \dots \dots \text{Ec}(10)$$

Donde:

- Aumento: Ganancia de peso en el tubo en un periodo determinado.
- P_n: Peso del tubo tomado en un tiempo conocido
- P_i: Peso inicial del tubo en el ensayo.

Para el caso del primer tubo se tiene que después de dos horas el aumento de peso fue: **Aumento**= 7.813 g– 7.668 g = 0.144 g

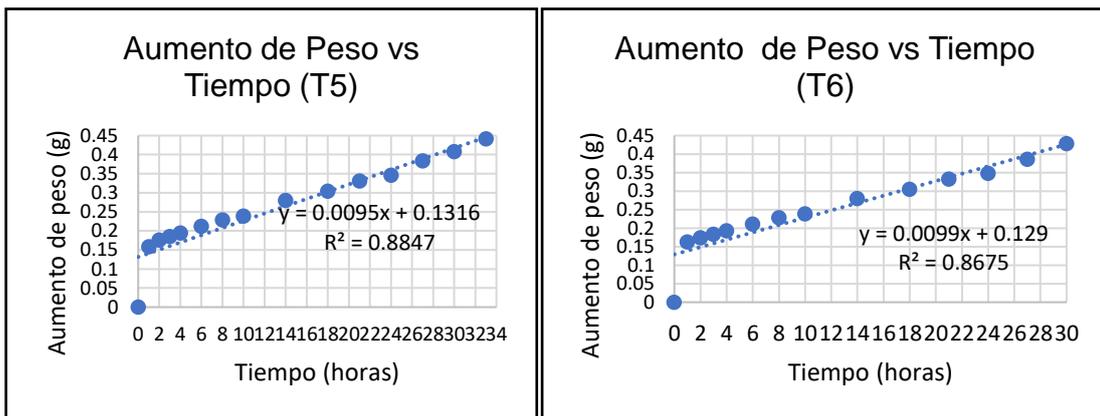
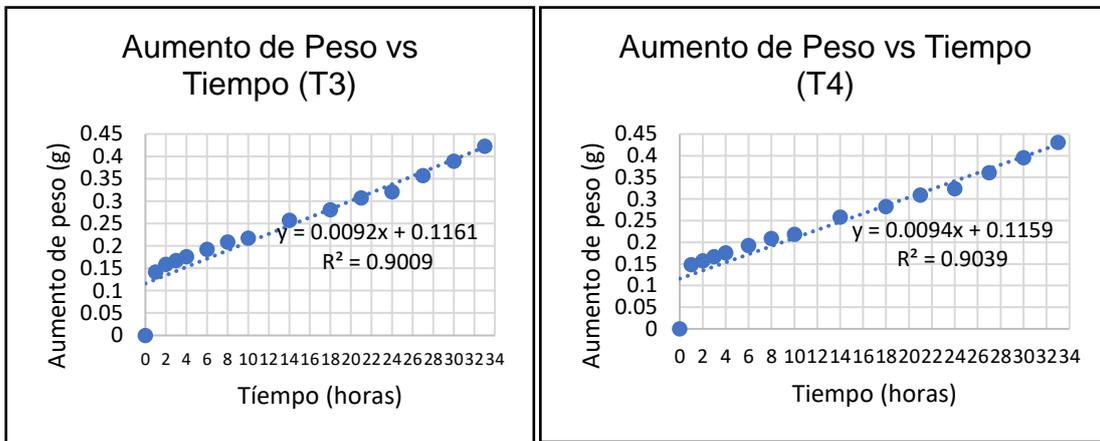
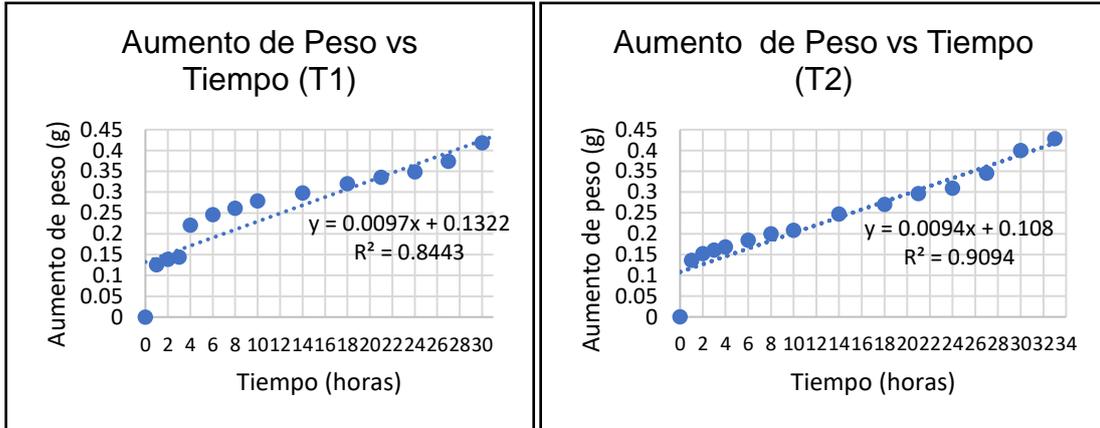
Se procedió de la misma manera con todos los datos recolectados, los resultados se muestran en la siguiente Tabla de aumentos experimentados de los tubos de ensayo para (WVP).

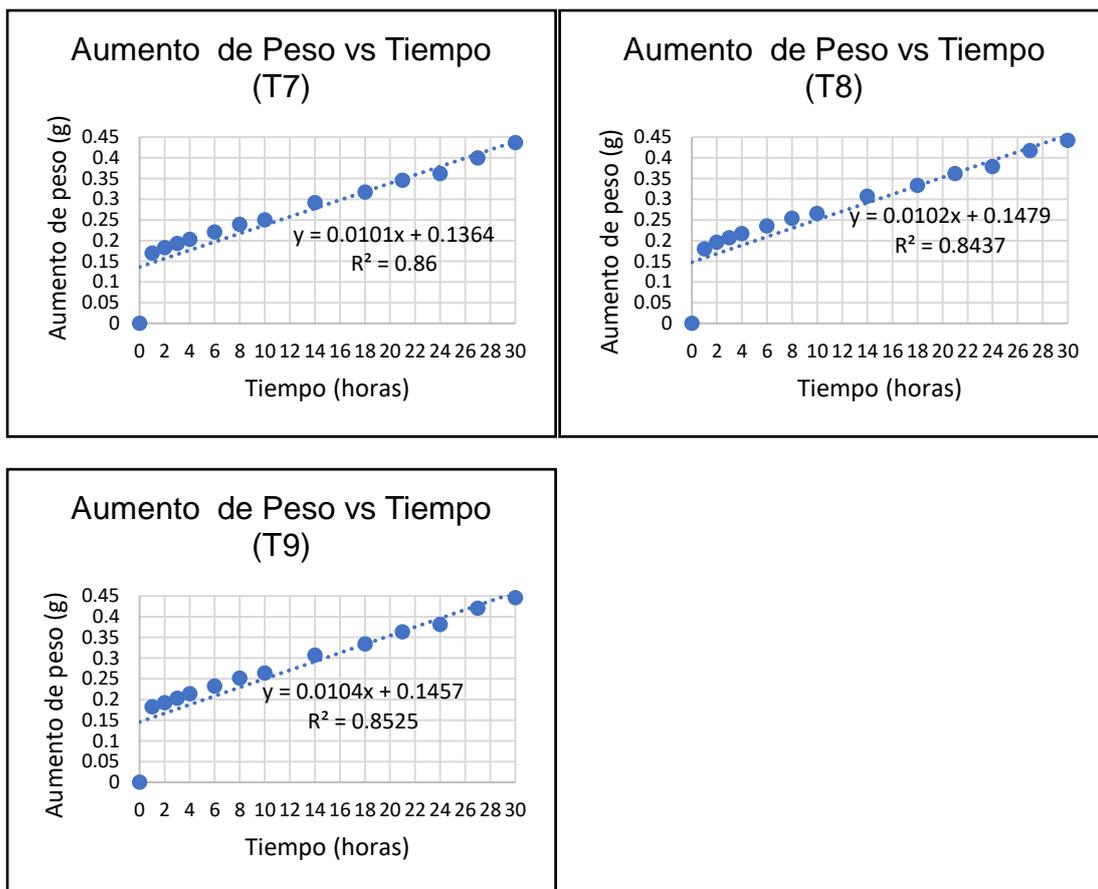
HORAS PESAJE	P.Tubo V	P+Dse	P+M	1 1	2 2	3 3	4 4	6 5	8 6
T1	3.404	7.505	0.163	0.125	0.138	0.144	0.220	0.246	0.261
T2	3.466	7.567	0.167	0.136	0.152	0.160	0.168	0.184	0.200
T3	3.379	7.480	0.174	0.141	0.158	0.167	0.176	0.192	0.208
T4	3.596	7.697	0.183	0.148	0.157	0.166	0.175	0.192	0.208
T5	3.326	7.427	0.186	0.158	0.175	0.185	0.194	0.211	0.228
T6	3.492	7.593	0.189	0.163	0.173	0.183	0.193	0.210	0.228
T7	3.263	7.364	0.192	0.169	0.182	0.192	0.202	0.220	0.238
T8	3.281	7.382	0.193	0.179	0.196	0.206	0.216	0.234	0.253
T9	3.250	7.351	0.193	0.182	0.192	0.202	0.213	0.232	0.251
HORAS PESAJE	10 7	14 8	18 9	21 10	24 11	27 12	30 13	33 14	
T1	0.279	0.297	0.320	0.335	0.348	0.373	0.418	0.428	
T2	0.208	0.247	0.270	0.296	0.309	0.345	0.399	0.428	
T3	0.217	0.256	0.280	0.306	0.320	0.357	0.389	0.423	
T4	0.218	0.258	0.282	0.309	0.323	0.360	0.395	0.430	
T5	0.238	0.279	0.304	0.331	0.346	0.383	0.407	0.441	
T6	0.238	0.280	0.305	0.332	0.348	0.386	0.428	---	
T7	0.249	0.291	0.317	0.345	0.361	0.399	0.436	---	
T8	0.264	0.307	0.333	0.361	0.378	0.417	0.441	---	
T9	0.264	0.307	0.334	0.363	0.380	0.420	0.445	---	

Donde: (P.Tubo V = Peso del tubo vacío, P+Dse = Peso del tubo más el desecante, P+M= Peso de la película)

En la Tabla de aumentos experimentados, se puede observar cómo se va incrementando el peso en los tubos de ensayo a medida que el tiempo también se incrementa, por ejemplo: el tubo que contiene la muestra de T1 ha experimentado un incremento en su peso de 0,000 a 0.125 g después de 1 hora, luego de 33 horas el incremento es de 0,428 g, valor con el que se alcanzó el límite de peso. En la mayoría de los casos, todos los tubos de prueba alcanzaron sus límites en diferentes tiempos, de modo que se puede concluir que todas las películas difieren en su concentración por lo cual presentan diferentes valores a la permeabilidades al vapor del agua, ya que todos los tubos de ensayo, se sometieron a las mismas condiciones experimentales.

Anexo 05: Resumen de las gráficas de la pendiente de la VPA.





Anexo 06: Datos del conteo de UFC/g para características microbiológicas

Tratamiento	Unidades Formadoras de Colonias UFC/g (37 °C*24 h)	UFC/g (37 °C*24 h)		
		R1	R2	R3
T1	UFC/g	0	0	0
T2	UFC/g	0	0	0
T3	UFC/g	0	0	0
T4	UFC/g	0	0	0
T5	UFC/g	0	0	0
T6	UFC/g	0	0	0
T7	UFC/g	0	0	0
T8	UFC/g	0	0	0
T9	UFC/g	0	0	0

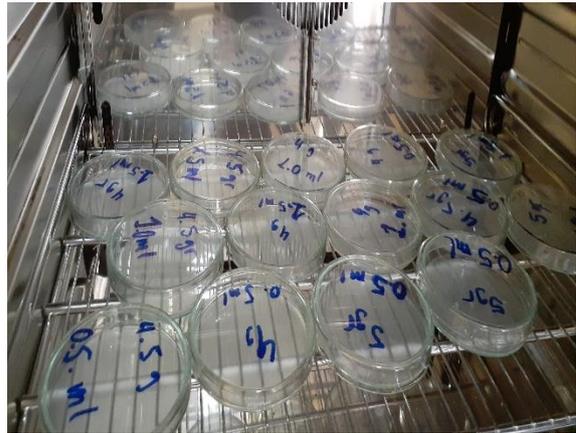
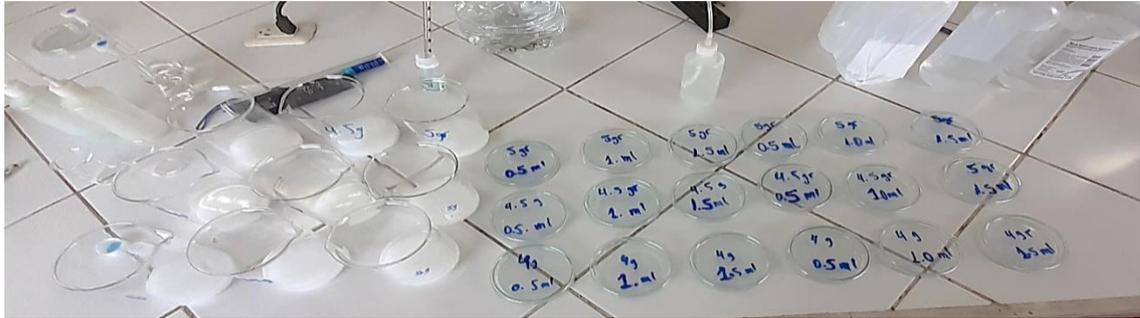
Anexo 07: Panel fotográfico de extracción del almidón de papa.



Anexo 08: Panel fotográfico del proceso de oxidación del almidón de papa.



Anexo 09: Panel fotográfico del proceso de obtención de las películas



Anexo 10: Panel fotográfico de la obtención de películas



Anexo 11: Panel fotográfico de la determinación de la solubilidad.



Anexo 12: Panel fotográfico de la determinación de la humedad.



Anexo 13: Panel fotográfico del acondicionamiento para la WPA.



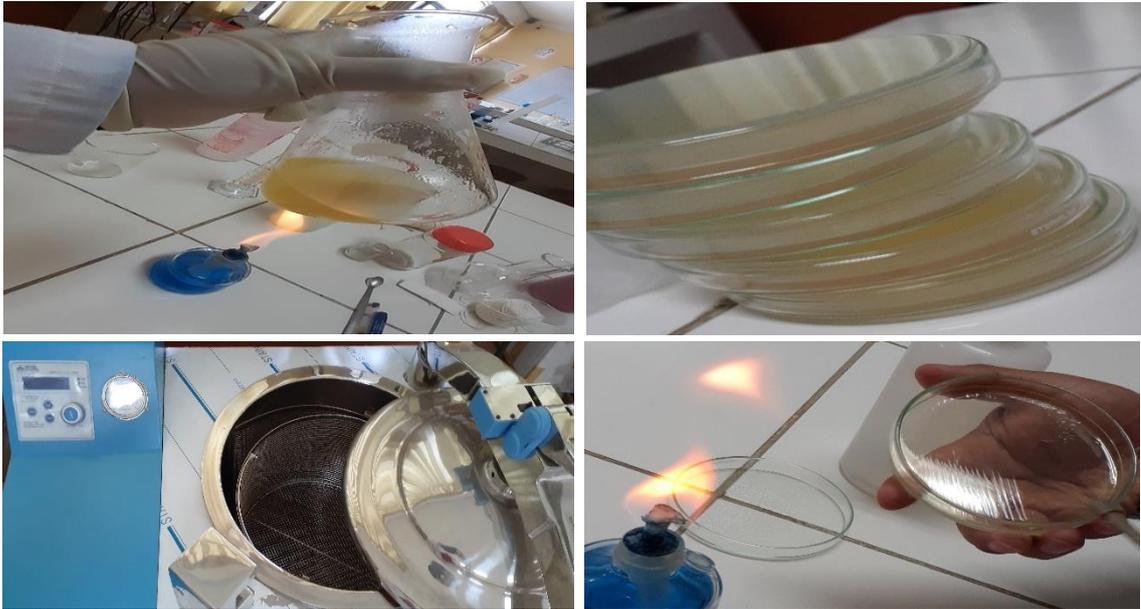
Anexo 14: Panel fotográfico de la cámara ambientada para la WPA



Anexo 15: Panel fotográfico del registro de pesos, control de temperatura y humedad para la WPA



Anexo 16: Panel fotográfico de la preparación y siembra de microorganismos.



Anexo 17: Panel fotográfico de la siembra, incubación y conteo de microorganismos



Anexo 18: Resumen del ensayo mecánico



SISTEMA DE SERVICIOS Y ANÁLISIS
QUÍMICOS S.A.C. SLAB

SERV-051190-SL21
69923 Cod. Cliente
24.05.2021

RESUMEN DEL SERVICIO SERV-051190-SL21

DATOS DEL CLIENTE

Cliente/ Razón Social Yban Perez Salcedo **RUC** : 10468643567
Dirección : Jr. Torre Tagle N°576, Lince. **Contacto** : Yban Perez Salcedo
E-mail : yperezsalcedo@gmail.com **Teléfono** : 931 365 311
Asesor Com. : Elvis Del Aguila

DATOS DE LA MUESTRA

Descripción de muestra : 9 Muestras de Películas Biodegradables **Moneda** : Soles
Cantidad de muestra requerida : 4 unidades de Películas Biodegradables por muestra

Código de Servicio	Descripción del Servicio Solicitado	Método de Referencia / Técnica Analítica	Precio Unit.	Número de muestras	Total
81104	Ensayo de Tracción Ensayo de Elongación	ASTM D882 Método de prueba estándar para las propiedades de tracción de láminas de plástico delgadas	324.75	9	2922.75

Total análisis, Soles	2922.75
Descuento 7.5% apoyo a la investigación Soles	-219.21
Gastos Administrativos (Envío de informe virtual y factura), Soles	0.00
Sub total general, Soles	2703.54
IGV, Soles	486.64
Total del servicio con IGV, Soles	3190.18

Observaciones/Comentarios : La presente resumen de servicios es válida para el conjunto de los ítem presentados.

Recepción de muestra : Calle 22 Urb. Vipol Naranjal MZ E Lt 07, San Martín de Porras, Lima

Entrega de resultados : 8 Días Hábiles a partir del día siguiente de la recepción de muestra.

I. CONDICIONES DEL SERVICIO

1. SLAB S.A.C. no se responsabilizará por las siguientes situaciones fuera de su alcance, que involucre: Postergación y/o cancelación, ocurrencia de imprevistos. Se informará al Cliente y se considerará en la facturación final los montos correspondiente por los gastos adicionales incurridos no contemplados en la presente Cotización de Servicio.

2. Para la Recepción e Ingreso de las muestras, el contratante deberá presentar: Orden de Servicio y Cadena de Custodia con el detalle de los datos de las muestras. Caso contrario comunicarse con su Asesor Comercial para coordinar como proceder.

3. Los resultados de los análisis serán reportados al cliente en un Informe Preliminar para la confirmación de los datos, vía digital por e-mail a la persona solicitante y/o contacto autorizado.

Emitido el informe preliminar se brindará 48 horas para que el cliente revise la información general (carátula, otro equivalente) y/o haga llegar sus observaciones. Pasado este tiempo se dará por aprobado el Informe Preliminar y se procederá con la impresión del Informe de Ensayo, en el formato respectivo y con la firma correspondiente.

En caso el cliente requiera un Informe de Monitoreo detallado, tendrá que ser solicitado con anticipación y su costo dependerá del alcance del informe el cual tendrá que ser coordinado con su Asesor Comercial.

Cualquier solicitud posterior de cambio, se emitirá un nuevo informe completo haciendo referencia al que reemplaza, al respectivo costo (Consultar con el Asesor Comercial a los correos siguientes: contacto@slabperu.com; sjulca@slabperu.com).

4. El cliente es responsable de ingresar tantas muestras como material solicitado y entregado: envases o frascos, cooler, ice pack, etc.

Para material faltante de entrega/devolución pasado los 15 días calendarios y según estado de devolución, serán facturados los costos correspondientes. Consultar a contacto@slabperu.com. No se aceptarán devoluciones de materiales en mal estado.

5. La toma de Muestras Dirimientes se realizará según aplique y previa solicitud específica del contratante o entidad solicitante. El tiempo de custodia será de acuerdo a las características de la muestra, análisis y/o perecibilidad de la misma.

6. Para la postergación o cancelación de los servicios se deberán hacer con no menos de 48 horas de anticipación comunicándose directamente con su Asesor Comercial, y la nueva programación dependerá de la disponibilidad de equipos y personal para esa nueva fecha.

RESUMEN DEL SERVICIO SERV-051190-SL21

7. SLAB S.A.C. guardará CONFIDENCIALIDAD sobre los registros y/o gestión de la información obtenida o creada durante la realización de las actividades del laboratorio, solicitará aprobación con antelación acerca de la información que pretenda poner al alcance del público, excepto por la información que el cliente considere pública. En caso sea requerida información del cliente por ley o autorizado por las disposiciones contractuales, para revelar información confidencial, se notificará al cliente o a la persona interesada la información correspondiente, salvo que este prohibido por ley.

II. CONDICIONES DE PAGO

1. Todo pago en Dólares Americanos, se realizará con el tipo de cambio de acuerdo a lo establecido por la SUNAT, el día de emitida la factura.
2. Los precios corresponden al acuerdo previamente especificado, que puede incluir Muestreo o toma de muestra, Mediciones en campo, Transporte del personal, alimentación, alojamiento, seguridad de equipos en campo, Transporte de muestras, Análisis en el Laboratorio, entre otros Gastos Operativos.
3. Forma de pago: 50% adelantado y 50% al término
El pago podrá realizarlo a través de:
a). Transferencia o Depósito a nuestras cuentas bancarias, adicionalmente enviar el voucher de pago escaneado, indicando la Cotización de Servicio correspondiente, por e-mail a contacto@slabperu.com, sjulca@slabperu.com.

III. CUENTAS BANCARIAS

Banco	Moneda	N° Cuenta Corriente	Código de Cuenta Interbancario
Banco de Crédito del Perú	Soles	191-2466191-0-19	002-191-002466191019-50
Banco de Crédito del Perú	Dólares	191-2423567-1-83	002-191-002423567183-51

*Cuenta Corriente de Detracción
Banco de la Nación Soles 00-074-116221

(*) Sistema de Pago de Obligaciones Tributarias D.L. N° 940 (12%). Aplicable por ingresos mayores a S/.700.00

SISTEMA DE SERVICIOS Y ANÁLISIS QUÍMICOS S.A.C. RUC: 20602031889
Calle 22 Urb. Vipol Naranjal MZ. E Lote 07, San Martín de Porras-Lima
de Atención: Lunes a Viernes 08:30 a.m. - 05:30 p.m.
e-mail: contacto@slabperu.com
web: www.slabperu.com



Anexo 19: Tablas de saturación de vapor de agua a temperatura expuesta

<i>T</i> /°C	<i>P</i> /mmHg	<i>P</i> /hPa	<i>T</i> /°C	<i>P</i> /mmHg	<i>P</i> /hPa	<i>T</i> /°C	<i>P</i> /mmHg	<i>P</i> /hPa
0	4.5840	6.1115	47	79.709	106.27	95	634.61	846.08
0.01	4.58780	6.11657	48	83.834	111.77	96	658.34	877.71
1	4.9286	6.5709	49	88.147	117.52	97	682.78	910.30
2	5.2954	7.0599	50	92.648	123.52	98	707.98	943.90
3	5.6861	7.5808	51	97.343	129.78	99	733.95	978.52
4	6.1021	8.1355	52	102.24	136.31	100	760.00	1013.3
5	6.5449	8.7258	53	107.35	143.12	101	787.57	1050.0
6	7.0158	9.3536	54	112.67	150.22	102	815.86	1087.7
7	7.5164	10.021	55	118.23	157.62	103	845.12	1126.7
8	8.0482	10.730	56	124.01	165.33	104	875.06	1166.7
9	8.6130	11.483	57	130.03	173.36	105	906.07	1208.0
10	9.2123	12.282	58	136.29	181.71	106	937.92	1250.5
11	9.8483	13.130	59	142.82	190.41	107	970.60	1294.0
12	10.522	14.028	60	149.61	199.46	108	1004.42	1339.12
13	11.237	14.981	61	156.67	208.88	109	1038.92	1385.11
14	11.993	15.990	62	164.02	218.67	110	1074.56	1432.63
15	12.795	17.058	63	171.65	228.85	111	1111.20	1481.48
16	13.642	18.188	64	179.59	239.43	112	1148.74	1531.53
17	14.539	19.384	65	187.83	250.42	113	1187.42	1583.10
18	15.487	20.647	66	196.39	261.83	114	1227.25	1636.20
19	16.489	21.983	67	205.28	273.68	115	1267.98	1690.50
20	17.546	23.393	68	214.51	285.99	120	1489.14	1985.36
21	18.663	24.882	69	224.09	298.76	125	1740.93	2321.05
22	19.841	26.453	70	234.03	312.01	130	2026.10	2701.24
23	21.085	28.111	71	244.33	325.75	135	2347.26	3129.42
24	22.395	29.858	72	255.02	340.00	140	2710.92	3614.26
25	23.776	31.699	73	266.11	354.78	145	3116.76	4155.34
26	25.231	33.639	74	277.59	370.09	150	3570.48	4760.25
27	26.763	35.681	75	289.49	385.95	175	6694.08	8924.71
28	28.376	37.831	76	301.82	402.39	200	11 659.16	15 544.27
29	30.071	40.092	77	314.58	419.41	225	19 123.12	25 495.40
30	31.855	42.470	78	327.80	437.03	250	29 817.84	39 753.85
31	33.730	44.969	79	341.48	455.27	275	44 580.84	59 436.23
32	35.700	47.596	80	355.63	474.14	300	64 432.8	85 903.3
33	37.769	50.354	81	370.28	493.67	325	90 447.6	120 587
34	39.942	53.251	82	385.43	513.87	350	124 001.6	165 321.9
35	42.221	56.290	83	401.10	534.76	360	139 893.2	186 508.9
36	44.613	59.479	84	417.30	556.35	365	148 519.2	198 009.3
37	47.121	62.823	85	434.04	578.67	366	150 320.4	200 410.7
38	49.750	66.328	86	451.33	601.73	367	152 129.2	202 822.3
39	52.506	70.002	87	469.21	625.56	368	153 960.8	205 264.2
40	55.391	73.849	88	487.67	650.17	369	155 815.2	207 736.5
41	58.413	77.878	89	506.73	675.58	370	157 692.4	210 239.2
42	61.577	82.096	90	526.41	701.82	371	159 584.8	212 762.2
43	64.886	86.508	91	546.72	728.90	372	161 507.6	215 325.8
44	68.349	91.124	92	567.68	756.84	373	163 468.4	217 939.9
45	71.968	95.950	93	589.31	785.68	373.946	165 452.0	220 584.5
46	75.749	100.99	94	611.61	815.41			

Anexo 20: Metodología de norma ASTM -E96



Designation: E 96 – 95

Standard Test Methods for Water Vapor Transmission of Materials¹

This standard is issued under the fixed designation E 96; the number immediately following the designation indicates the year of original adoption or, in the case of revision, the year of last revision. A number in parentheses indicates the year of last reapproval. A superscript epsilon (ϵ) indicates an editorial change since the last revision or reapproval.

This standard has been approved for use by agencies of the Department of Defense.

ϵ^1 NOTE—Table 1 was corrected editorially and the year date was changed on March 6, 1995.

TABLE 1 Metric Units and Conversion Factors^{A,B}

Multiply	by	To Obtain (for the same test condition)
<i>WVT</i>		
g/h·m ²	1.43	grains/h·ft ²
grains/h·ft ²	0.697	g/h·m ²
<i>Permeance</i>		
g/Pa·s·m ²	1.75×10^7	1 Perm (inch-pound)
1 Perm (inch-pound)	5.72×10^{-8}	g/Pa·s·m ²
<i>Permeability</i>		
g/Pa·s·m	6.88×10^{-9}	1 Perm inch
1 Perm inch	1.45×10^{-9}	g/Pa·s·m

^AThese units are used in the construction trade. Other units may be used in other standards.

^BAll conversions of mm Hg to Pa are made at a temperature of 0°C.

1. Scope

1.1 These test methods cover the determination of water vapor transmission (WVT) of materials through which the passage of water vapor may be of importance, such as paper, plastic films, other sheet materials, fiberboards, gypsum and plaster products, wood products, and plastics. The test methods are limited to specimens not over 1/4 in. (32 mm) in thickness except as provided in Section 9. Two basic methods, the Desiccant Method and the Water Method, are provided for the measurement of permeance, and two variations include service conditions with one side wetted and service conditions with low humidity on one side and high humidity on the other. Agreement should not be expected between results obtained by different methods. That method should be selected which more nearly approaches the conditions of use.

1.2 The values stated in inch-pound units are to be regarded as the standard. Metric inch-pound conversion factors for WVT, permeance, and permeability are stated in Table 1. All conversions of mm Hg to Pa are made at a temperature of 0°C.

1.3 *This standard does not purport to address all of the safety problems, if any, associated with its use. It is the responsibility of the user of this standard to establish appropriate safety and health practices and determine the applicability of regulatory limitations prior to use.*

¹ These test methods are under the jurisdiction of ASTM Committee C-16 on Thermal Insulation and are the direct responsibility of Subcommittee C16.33 on Thermal Insulation Finishes and Vapor Transmission.

Current edition approved March 6, 1995. Published May 1995. Originally published as E 96 – 53 T. Last previous edition E 96 – 94.

2. Referenced Documents

2.1 ASTM Standards:

- C 168 Terminology Relating to Thermal Insulating Materials²
- D 449 Specification for Asphalt Used in Damproofing and Waterproofing³
- D 2301 Specification for Vinyl Chloride Plastic Pressure-Sensitive Electrical Insulating Tape⁴
- E 691 Practice for Conducting an Interlaboratory Study to Determine the Precision of a Test Method⁵

3. Terminology

3.1 Definitions of terms used in this standard will be found in Terminology C 168, from which the following is quoted:

“*water vapor permeability*—the time rate of water vapor transmission through unit area of flat material of unit thickness induced by unit vapor pressure difference between two specific surfaces, under specified temperature and humidity conditions.

3.1.1 *Discussion*—Permeability is a property of a material, but the permeability of a body that performs like a material may be used. Permeability is the arithmetic product of permeance and thickness.

“*water vapor permeance*—the time rate of water vapor transmission through unit area of flat material or construction induced by unit vapor pressure difference between two specific surfaces, under specified temperature and humidity conditions.

3.1.2 *Discussion*—Permeance is a performance evaluation and not a property of a material.

3.2 *water vapor transmission rate*—the steady water vapor flow in unit time through unit area of a body, normal to specific parallel surfaces, under specific conditions of temperature and humidity at each surface.”

4. Summary of Test Methods

4.1 In the Desiccant Method the test specimen is sealed to the open mouth of a test dish containing a desiccant, and the assembly placed in a controlled atmosphere. Periodic weighings determine the rate of water vapor movement through the

² *Annual Book of ASTM Standards*, Vol 04.06.

³ *Annual Book of ASTM Standards*, Vol 04.04.

⁴ *Annual Book of ASTM Standards*, Vol 10.01.

⁵ *Annual Book of ASTM Standards*, Vol 14.02.

specimen into the desiccant.

4.2 In the Water Method, the dish contains distilled water, and the weighings determine the rate of vapor movement through the specimen from the water to the controlled atmosphere. The vapor pressure difference is nominally the same in both methods except in the variation, with extremes of humidity on opposite sides.

5. Significance and Use

5.1 The purpose of these tests is to obtain, by means of simple apparatus, reliable values of water vapor transfer through permeable and semipermeable materials, expressed in suitable units. These values are for use in design, manufacture, and marketing. A permeance value obtained under one set of test conditions may not indicate the value under a different set of conditions. For this reason, the test conditions should be selected that most closely approach the conditions of use. While any set of conditions may be used and those conditions reported, standard conditions that have been useful are shown in Appendix X1.

6. Apparatus

6.1 *Test Dish*—The test dish shall be of any noncorroding material, impermeable to water or water vapor. It may be of any shape. Light weight is desirable. A large, shallow dish is preferred, but its size and weight are limited when an analytical balance is chosen to detect small weight changes. The mouth of the dish shall be as large as practical and at least 4.65 in.² (3000 mm²x). The desiccant or water area shall be not less than the mouth area except if a grid is used, as provided in 12.1, its effective area shall not exceed 10 % of the mouth area. An external flange or ledge around the mouth, to which the specimen may be attached, is useful when shrinking or warping occurs. When the specimen area is larger than the mouth area, this overlay upon the ledge is a source of error, particularly for thick specimens. This overlay material should be masked as described in 10.1 so that the mouth area defines the test area. The overlay material results in a positive error, indicating excessive water vapor transmission. The magnitude of the error is a complex function of the thickness, ledge width, mouth area, and possibly the permeability. This error is discussed by Joy and Wilson.⁶ This type of error should be limited to about 10 to 12 %. For a thick specimen the ledge should not exceed 3/4 in. (19 mm) for a 10-in. (254-mm) or larger mouth (square or circular) or 1/2 in. (3 mm) for a 5-in. (127-mm) mouth (square or circular). For a 3-in. (76-mm) mouth (square or circular) the ledge should not exceed 0.11 in. (2.8 mm) wide. An allowable ledge may be interpolated for intermediate sizes or calculated according to Joy and Wilson.⁶ A rim around the ledge (Fig. X1.1) may be useful. If a rim is provided, it shall be not more than 1/4 in. (6 mm) higher than the specimen as attached. Different depths may be used for the Desiccant Method and Water Method, but a 3/4-in. (19-mm) depth (below the mouth) is satisfactory for either method.

⁶Joy, F. A., and Wilson, H. G., "Standardization of the Dish Method for Measuring Water Vapor Transmissions," National Research Council of Canada, Research Paper 279, January 1966, p. 263.

6.2 *Test Chamber*—The room or cabinet where the assembled test dishes are to be placed shall have a controlled temperature and relative humidity. The temperature chosen shall be between 70 and 90°F (21 and 32°C), and shall be maintained constant within 1°F (0.6°C). A temperature of 90°F (32°C) is recommended (Note 1). The relative humidity shall be maintained at 50 ± 2 %, except where extremes of humidities are desired, when the conditions shall be 100 ± 1°F (38 ± 0.6°C) and 90 ± 2 % relative humidity. Both temperature and relative humidity shall be measured frequently, or preferably recorded continuously. Air shall be continuously circulated throughout the chamber, with a velocity sufficient to maintain uniform conditions at all test locations. The air velocity over the specimen in feet per minute shall be, numerically, not less than ten times the permeance of the specimen expressed in perms, not exceeding a maximum of 600 ft/min (3.05 m/s). However, for designed materials with a permeance of greater than 55 perms the velocity shall be 550 ± 50 ft/min (2.80 ± 25 m/s). Suitable racks shall be provided on which to place the test dishes within the test chamber.

NOTE 1—Simple temperature control by heating alone is usually made possible at 90°F (32°C). However, it is very desirable to enter the controlled space, and a comfortable temperature is more satisfactory for that arrangement. Temperatures of 73.4°F (23°C) and 80°F (26.7°C) are in use and are satisfactory for this purpose. With cyclic control, the average test temperature may be obtained from a sensitive thermometer in a mass of dry sand. The temperature of the chamber walls facing a specimen over water should not be cooler than the water to avoid condensation on the test specimen.

6.3 *Balance and Weights*—The balance shall be sensitive to a change smaller than 1 % of the weight change during the period when a steady state is considered to exist. The weights used shall be accurate to 1 % of the weight change during the steady-state period. For example: -perm ($5.7 \times 10^{-11} \text{ kg} \cdot \text{Pa}^{-1} \cdot \text{s}^{-1} \cdot \text{m}^{-2}$) specimen 10 in. (254 mm) square at 80°F (26.7°C) passes 8.6 grains or 0.56 g/day. In 18 days of steady state, the transfer is 10 g. For this usage, the balance must have a sensitivity of 1 % of 10 g or 0.1 g and the weights must be accurate to 0.1 g. If, however, the balance has a sensitivity of 0.2 g or the weights are no better than 0.2 g, the requirements of this paragraph can be met by continuing the steady state for 36 days. An analytical balance that is much more sensitive will permit more rapid results on specimens below 1 perm ($5.7 \times 10^{-11} \text{ kg} \cdot \text{Pa}^{-1} \cdot \text{s}^{-1} \cdot \text{m}^{-2}$) when the assembled dish is not excessively heavy. A light wire sling may be substituted for the usual pan to accommodate a larger and heavier load.

7. Materials

7.1 Desiccant and Water:

7.1.1 For the Desiccant Method, anhydrous calcium chloride in the form of small lumps that will pass a No. 8 (2.36-mm) sieve, and free of fines that will pass a No. 30 (600- μm) sieve, shall be used (Note 2). It shall be dried at 400°F (200°C) before use.

NOTE 2—If CaCl_2 will react chemically on the specimen, an adsorbing desiccant such as silica gel, activated at 400°F (200°C), may be used; but the moisture gain by this desiccant during the test must be limited to 4 %.

7.1.2 For the Water Method, distilled water shall be used in the test dish.

7.2 *Sealant*—The sealant used for attaching the specimen to the dish, in order to be suitable for this purpose, must be highly resistant to the passage of water vapor (and water). It must not lose weight to, or gain weight from, the atmosphere in an amount, over the required period of time, that would affect the test result by more than 2%. It must not affect the vapor pressure in a water-filled dish. Molten asphalt or wax is required for permeance tests below 4 perms ($2.3 \times 10^{-10} \text{ kg} \cdot \text{Pa}^{-1} \cdot \text{s}^{-1} \cdot \text{m}^{-2}$). Sealing methods are discussed in Appendix X2.

8. Sampling

8.1 The material shall be sampled in accordance with standard methods of sampling applicable to the material under test. The sample shall be of uniform thickness. If the material is of nonsymmetrical construction, the two faces shall be designated by distinguishing marks (for example, on a one-side-coated sample, "I" for the coated side and "II" for the uncoated side).

9. Test Specimens

9.1 Test specimens shall be representative of the material tested. When a product is designed for use in only one position, three specimens shall be tested by the same method with the vapor flow in the designated direction. When the sides of a product are indistinguishable, three specimens shall be tested by the same method. When the sides of a product are different and either side may face the vapor source, four specimens shall be tested by the same method, two being tested with the vapor flow in each direction and so reported.

9.2 A slab, produced and used as a laminate (such as a foamed plastic with natural "skins") may be tested in the thickness of use. Alternatively, it may be sliced into two or more sheets, each being separately tested and so reported as provided in 9.4, provided also, that the "overlay upon the cup ledge" (6.1) of any laminate shall not exceed $\frac{1}{8}$ in. (3 mm).

9.3 When the material as used has a pitted or textured surface, the tested thickness shall be that of use. When it is homogeneous, however, a thinner slice of the slab may be tested as provided in 9.4.

9.4 In either case (9.2 or 9.3), the tested overall thickness, if less than that of use, shall be at least five times the sum of the maximum pit depths in both its faces, and its tested permeance shall be not greater than 5 perms (3.3 metric perms).

9.5 The overall thickness of each specimen shall be measured at the center of each quadrant and the results averaged. Measurement of specimens of 0.125 in. or less in thickness shall be made to the nearest 0.0001 in. Measurement of specimens greater than 0.125 in. in thickness shall be made to the nearest 0.001 in.

9.6 When testing any material with a permeance less than 0.05 perms or when testing a low permeance material that may be expected to lose or gain weight throughout the test (because of evaporation or oxidation), it is strongly recommended that an additional specimen, or "dummy," be tested exactly like the others, except that no desiccant or water is put in the dish. Failure to use this dummy specimen to establish modified dish

weights may significantly increase the time required to complete the test. Because time to reach equilibrium of water permeance increases as the square of thickness, thick, particularly hygroscopic, materials may take as long as 60 days to reach equilibrium conditions.

10. Attachment of Specimen to Test Dish

10.1 Attach the specimen to the dish by sealing (and clamping if desired) in such a manner that the dish mouth defines the area of the specimen exposed to the vapor pressure in the dish. If necessary, mask the specimen top surface, exposed to conditioned air so that its exposure duplicates the mouth shape and size and is directly above it. A template is recommended for locating the mask. Thoroughly seal the edges of the specimen to prevent the passage of vapor into, or out of, or around the specimen edges or any portion thereof. The same assurance must apply to any part of the specimen faces outside their defined areas. Suggested methods of attachment are described in Appendix X2.

NOTE 3—In order to minimize the risk of condensation on the interior surface of the sample when it is placed in the chamber, the temperature of the water prior to preparation of the test specimen should be within $\pm 2^\circ\text{F}$ ($\pm 1.1^\circ\text{C}$) of the test condition.

11. Procedure for Desiccant Method

11.1 Fill the test dish with desiccant within $\frac{1}{4}$ in. (6 mm) of the specimen. Leave enough space so that shaking of the dish, which must be done at each weighing, will mix the desiccant.

11.2 Attach the specimen to the dish (see 10.1) and place it in the controlled chamber, specimen up, weighing it at once. (This weight may be helpful to an understanding of the initial moisture in the specimen.)

11.3 Weigh the dish assembly periodically, often enough to provide eight or ten data points during the test. A data point is the weight at a particular time. The time that the weight is made should be recorded to a precision of approximately 1% of the time span between successive weighing. Thus, if weighings are made every hour, record the time to the nearest 30 s; if recordings are made every day, a time to the nearest 15 min would be allowed. At first the weight may change rapidly; later a steady state will be reached where the rate of change is substantially constant. Weighings should be accomplished without removal of the test dishes from the controlled atmosphere, but if removal is prescribed necessary, the time the specimens are kept at different conditions, temperature or relative humidity, or both, should be kept to a minimum. When results of water vapor transmission are expected to be less than .05 perm, a dummy specimen is strongly recommended. Such a dummy specimen should be attached to an empty cup in the normal manner. The environmental effects of temperature variation and buoyancy variability due to barometric pressure fluctuation can be arithmetically tared out of the weighing values. This precaution permits earlier and more reliable achievement of equilibrium conditions. Analyze the results as prescribed in 13.1.

11.4 Terminate the test or change the desiccant before the water added to the desiccant exceeds 10% of its starting weight (Note 1 and Note 3). This limit cannot be exactly determined and judgement is required. The desiccant gain may

be more or less than the dish weight-gain when the moisture content of the specimen has changed.

NOTE 4—The WVT of some materials (especially wood) may depend on the ambient relative humidity immediately before the test. An apparent hysteresis results in higher WVT if the prior relative humidity was above the test condition and vice versa. It is therefore recommended that specimens of wood and paper products be conditioned to constant weight in a 50 % relative humidity atmosphere before they are tested. Some specimens may be advantageously preconditioned to minimize the moisture that the specimen will give up to the desiccant. This applies when the specimen is likely to have high moisture content or when it is coated on the top (vapor source) side.

12. Procedure for Water Method

12.1 Fill the test dish with distilled water to a level $\frac{3}{4} \pm \frac{1}{4}$ in. (19 ± 6 mm) from the specimen. The air space thus allowed has a small vapor resistance, but it is necessary in order to reduce the risk of water touching the specimen when the dish is handled. Such contact invalidates a test on some materials such as paper, wood, or other hygroscopic materials. The water depth shall be not less than $\frac{1}{8}$ in. (3 mm) to ensure coverage of the dish bottom throughout the test. However, if the dish is of glass, its bottom must be visibly covered at all times but no specific depth is required. Water surges may be reduced in placing a grid of light noncorroding material in the dish to break the water surface. This grid shall be at least $\frac{1}{4}$ in. (6 mm) below the specimen, and it shall not reduce the water surface by more than 10 % (Note 4).

NOTE 5—For the Water Method, baking the empty dish and promptly coating its mouth with sealant before assembly is recommended. The water may be added most conveniently after the specimen is attached, through a small sealable hole in the dish above the water line.

12.2 Attach the specimen to the dish (see 10.1). Some specimens are likely to warp and break the seal during the test. The risk is reduced by preconditioning the specimen, and by clamping it to the dish ledge (if one is provided).

12.3 Weigh the dish assembly and place it in the controlled chamber on a true horizontal surface. Follow the procedure given in 11.3. If the test specimen cannot tolerate condensation on the surface, the dish assembly shall not be exposed to a temperature that differs by more than 5°F (2.8°C) from the control atmosphere to minimize the risk of condensation on the specimen. When results of water vapor transmission are expected to be less than .05 perm, a dummy specimen is strongly recommended. Such a dummy specimen should be attached to an empty cup in the normal manner. The environment effects of temperature variation and buoyancy variability due to barometric pressure fluctuation can be arithmetically tared out of the weighing values. This precaution permits earlier and more reliable achievement of equilibrium conditions. Analyze the results as prescribed in 13.1.

12.4 Where water is expected to be in contact with the barrier in service, proceed as in 11.3 except place the dish in an inverted position. The dish must be sufficiently level so that water covers the inner surface of the specimen despite any distortion of the specimen due to the weight of the water. With highly permeable specimens it is especially important to locate the test dish so that air circulates over the exposed surface at the specified velocity. The test dishes may be placed on the

balance in the upright position for weighing, but the period during which the wetted surface of the specimen is not covered with water must be kept to a minimum.

13. Calculation and Analysis of Results

13.1 The results of the rate of water vapor transmission may be determined either graphically or numerically.

13.1.1 *Dummy Specimen*—If a dummy specimen has been used to compensate for variability in test conditions, due to temperature or barometric pressure, or both, the daily recorded weights can be adjusted by calculating the weight change from initial to time of weighing. This adjustment is made by reversing the direction of the dummy's weight change, relative to its initial weight, and modifying all the appropriate specimen weight(s) recorded at this time. This permits earlier achievement of equilibrium conditions. An alternate procedure, particularly for tests of long duration and more than six weighings, is to subtract the arithmetic mean slope of the rate of weight change of the dummy specimen from the arithmetic mean slope of each similar specimen to get an effective rate of weight change. These procedures are also desirable if the specimen is changing weight due to a curing process while under test.

13.1.2 *Graphic Analysis*—Plot the weight, modified by the dummy specimen when used, against elapsed time, and inscribe a curve which tends to become straight. Judgment here is required and numerous points are helpful. When a straight line adequately fits the plot of at least six properly spaced points (periodic weight changes matching, or exceeding 20 % of the multiple of 100 times the scale sensitivity), a nominally steady state is assumed, and the slope of the straight line is the rate of water vapor transmission.

13.1.3 *Numerical Analysis*—A mathematical least squares regression analysis of the weight, modified by the dummy specimen when used, as a function of time will give the rate of water vapor transmission. An uncertainty, or standard deviation of this rate, can also be calculated to define the confidence band. For very low permeability materials, this method can be used to determine the results after 30 to 60 days when using an analytical balance, with a sensitivity of ± 1 mg, even if the weight change does not meet the 100 times the sensitivity requirement of 6.3. Specimens analyzed in this manner must be clearly identified in the report.

13.2 Calculate the water vapor transmission, WVT, and permeance as follows:

13.2.1 *Water Vapor Transmission:*

$$WVT = G/tA = (G/t)/A \quad (1)$$

where:

In inch-pound units:

G = weight change, grains (from the straight line),
 t = time during which G occurred, h,
 G/t = slope of the straight line, grains/h,
 A = test area (cup mouth area), ft², and
 WVT = rate of water vapor transmission, grains/h-ft².

In metric units:

G = weight change (from the straight line), g,
 t = time, h,
 G/t = slope of the straight line, g/h,

A = test area (cup mouth area), m^2 , and
 WVT = rate of water vapor transmission, $g/h \cdot m^2$.

13.2.2 Permeance:

$$\text{Permeance} = WVT/\Delta p = WVT/S(R_1 - R_2) \quad (2)$$

where:

In inch-pound units:

Δp = vapor pressure difference, in. Hg,
 S = saturation vapor pressure at test temperature, in. Hg,
 R_1 = relative humidity at the source expressed as a fraction (the test chamber for desiccant method; in the dish for water method), and
 R_2 = relative humidity at the vapor sink expressed as a fraction

In metric units:

Δp = vapor pressure difference, mm Hg (1.333×10^2 Pa),
 S = saturation vapor pressure at test temperature, mm Hg (1.333×10^2 Pa),
 R_1 = relative humidity at the source expressed as a fraction (the test chamber for desiccant method; in the dish for water method), and
 R_2 = relative humidity at the vapor sink expressed as a fraction.

13.2.3 In the controlled chamber the relative humidity and temperature are the average values actually measured during the test and (unless continuously recorded) these measurements shall be made as frequently as the weight measurements. In the dish the relative humidity is nominally 0 % for the desiccant and 100 % for the water. These values are usually within 3 % relative humidity of the actual relative humidity for specimens below 4 perms ($2.3 \times 10^{-7} g \cdot Pa^{-1} \cdot s^{-1} \cdot m^{-2}$) when the required conditions are maintained (no more than 10 % moisture in $CaCl_2$ and no more than 1 in. (25 mm) air space above water).

13.3 Only when the test specimen is homogeneous (not laminated) and not less than 1/2 in. (12.5 mm) thick, calculate its average permeability (perm in.) (metric perm-cm) as follows:

$$\text{Average permeability} = \text{permeance} \times \text{thickness} \quad (3)$$

NOTE 6—Example: In a desiccant test that ran 288 h (12 days) on an exposed area of 100 in.² (0.0645 m²), it was found that the rate of gain was substantially constant after 48 h and during the subsequent 240 h, the weight gain was 12 g. The controlled chamber conditions were measured at 89.0°F (31.7°C) and 49 % relative humidity.

Required: WVT and permeance

Calculation (inch-pound units):

G/t = $12 \text{ g} \times 15.43 \text{ grains/g} \div 240 \text{ h}$
 = 0.771 grains/h,
 A = $100 \text{ in.}^2 \times 1 \text{ ft}^2/144 \text{ in.}^2 = 0.695 \text{ ft}^2$,
 S = 1.378 in. Hg (from standard references tables),
 R_1 = 49 % (in chamber),
 R_2 = 0 % (vapor sink), and
 WVT = $0.771 \text{ grains/h} \div 0.694 \text{ ft}^2 = 1.11 \text{ grains/ft}^2 \cdot \text{h}$.
 Permeance = $WVT/\Delta p = WVT/S (R_1 - R_2)$
 = $1.11 \text{ grains/ft}^2 \cdot \text{h} \div 1.378 \text{ in. Hg} (0.49 - 0)$
 = $1.64 \text{ grains/ft}^2 \cdot \text{h} \cdot \text{in. Hg} = 1.64 \text{ perms}$

Calculation (metric units):

G/t = $12 \text{ g}/240 \text{ h} = 0.05 \text{ g/h}$,
 A = 0.0645 m^2 ,
 S = 35 mm Hg (from reference tables),
 = $35 \text{ mm Hg} \times 1.333 \times 10^2 \text{ Pa/mm Hg} = 46.66 \times 10^2 \text{ Pa}$,
 R_1 = 49 % (in chamber),
 R_2 = 0 % (vapor sink), and
 WVT = $0.05 \text{ g/h} \div 0.0645 \text{ m}^2 = 0.775 \text{ g/h} \cdot \text{m}^2$.
 Permeance = $WVT/\Delta p = WVT/S (R_1 - R_2)$
 = $0.775 \text{ g/h} \cdot \text{m}^2 \times 1 \text{ h}/3600 \text{ s} \div 46.66 \times 10^2 \text{ Pa} \times (0.49 - 0)$
 = $9.42 \times 10^{-8} \text{ g/Pa} \cdot \text{s} \cdot \text{m}^2$

13.4 Metric units and conversion factor are given in Table 1.

14. Report

14.1 The report shall include the following:

14.1.1 Identification of the material tested, including its thickness.

14.1.2 Test method used (desiccant or water).

14.1.3 Test temperature.

14.1.4 Relative humidity in the test chamber.

14.1.5 Permeance of each specimen in perms (to two significant figures).

14.1.6 The side of each specimen on which the higher vapor pressure was applied. (The sides shall be distinguished as "side A" and "side B" when there is no obvious difference between them. When there is an obvious difference, this difference shall also be stated, such as "side A waxed" and "side B unwaxed.")

14.1.7 The average permeance of all specimens tested in each position.

14.1.8 The permeability of each specimen (as limited by 13.3), and the average permeability of all specimens tested.

14.1.9 Include a portion of the plot indicating the section of the curve used to calculate permeability.

14.1.10 State design of cup and type or composition of sealant.

15. Precision and Bias ⁷

15.1 Precision—Table 2 is based on an interlaboratory tests conducted in 1988 and 1991.^{7,8} In 1988 four materials (A, B, C, D) were tested using the desiccant method and the water method in triplicate. Fifteen laboratories contributed data, with full results secured from four laboratories. In 1991 ten laboratories contributed data for material E, using triplicate specimens, again using both the desiccant method and the water method.

15.1.1 Test results were analyzed using Practice E 691.

15.2 Bias—This test method has no bias because water vapor transmission of materials is defined in terms of this test method.

16. Keywords

16.1 permeability; plastics (general); plastic sheet and film; sheet material; thermal-insulating materials; thermal insulation

⁷ Supporting data have been filed at ASTM Headquarters. Request RR: C-16-1014.

⁸ Available from E. I. DuPont de Nemours & Co., Inc., Polymer Products Dept., Wilmington, DE 19898.

TABLE 2 Precision Results from Interlaboratory Testing

<i>For Desiccant Method at 73.4°F:</i>								
Material	Thickness, in.	WVT (mean), perm	Repeatability ^A			Reproducibility ^A		
			S	CV%	LSD	S	CV%	LSD
A	0.001	0.606	0.0166	2.70	0.047	0.098	15.0	0.278
B	0.0055	0.0129	0.0028	22.1	0.008	0.0055	42.6	0.016
C	0.5	0.0613	0.0044	7.22	0.012	0.0185	30.6	0.052
D	1.0	0.783	0.0259	3.30	0.073	0.0613	7.8	0.174
E	0.014	0.0461	0.0023	4.99	0.007	0.0054	11.7	0.015

<i>For Water Method at 73.4°F:</i>								
Material	Thickness, in.	WVT (mean), perm	Repeatability ^A			Reproducibility ^A		
			S	CV%	LSD	S	CV%	LSD
A	0.001	0.715	0.0134	1.95	0.039	0.156	21.9	0.44
B	0.0055	0.0157	0.0022	13.8	0.0062	0.0021	19.4	0.006
C	0.5	0.097	0.0055	5.7	0.016	0.0195	20.9	0.055
D	1.0	1.04	0.0192	1.8	0.054	0.217	20.9	0.62
E	0.014	0.0594	0.0034	5.7	0.010	0.0082	13.8	0.023

^AFor this data,

S = standard deviation,

CV = percent coefficient of variation ($S \times 100/\text{mean}$), and

LSD = least significant difference between two individual test results based on a 95 % confidence level = $2 \sqrt{2S}$.

^BMaterial B was Teflon[®] PTFE fluorocarbon resin brand of tetrafluoroethylene. It was extremely difficult to provide a seal to this sample, which accounts for the poor repeatability.

permeability films; water vapor transmission (WVT)

APPENDIX

(Nonmandatory Information)

X1. STANDARD TEST CONDITIONS

X1.1 Standard test conditions that have been useful are:

X1.1.1 *Procedure A*—Desiccant Method at 73.4°F (23°C).

X1.1.2 *Procedure B*—Water Method at 73.4°F (23°C).

X1.1.3 *Procedure BW*—Inverted Water Method at 73.4°F (23°C).

X1.1.4 *Procedure C*—Desiccant Method at 90°F (32.2°C).

X1.1.5 *Procedure D*—Water Method at 90°F (32.2°C).

X1.1.6 *Procedure E*—Desiccant Method at 100°F (37.8°C).

X2. CUP DESIGN AND SEALING METHODS

X1.2 An ideal sealing material has the following properties:

X1.2.1 Impermeability to water in either vapor or liquid form.

X1.2.2 No gain or loss of weight from or to the test chamber (evaporation, oxidation, hygroscopicity, and water solubility being undesirable).

X1.2.3 Good adhesion to any specimen and to the dish (even when wet).

X1.2.4 Complete conformity to a rough surface.

X1.2.5 Compatibility with the specimen and no excessive penetration into it.

X1.2.6 Strength or pliability (or both).

X1.2.7 Easy handleability (including desirable viscosity and thermal of molten sealant).

X1.2.8 Satisfactory sealants possess these properties in

varying degrees and the choice is a compromise, with more tolerance in items at the beginning of this list for the sake of those at the latter part of the list when the requirements of 7.2 are met (Note A2). Molten asphalt or wax is required for permeance tests below 4 perms (2.6 metric perms). Tests to determine sealant behavior should include:

X1.2.8.1 An impervious specimen (metal) normally sealed to the dish and so tested, and

X1.2.8.2 The seal normally assembled to an empty dish with no specimen and so tested.

X1.3 The following materials are recommended for general use when the test specimen will not be affected by the temperature of the sealant:

X1.3.1 Asphalt, 180 to 200°F (82 to 93°C) softening point,

meeting the requirements of Specification D 449, Type C. Apply by pouring.

X1.3.2 Beeswax and rosin (equal weights). A temperature of 275°F (135°C) is desirable for brush application. Pour at lower temperature.

X1.3.3 Microcrystalline wax⁹ (60 %), mixed with refined crystalline paraffin wax (40 %).

X1.4 The materials listed in X1.4.1 are recommended for particular uses such as those shown in Fig. X1.1. The suggested procedure described in X1.4.2 applies to an 11-³/₈-in. (289-mm) square specimen if its permeance exceeds 4 perms (2.6 metric perms) (limited by evaporation of sealants).

X1.4.1 Materials:

X1.4.1.1 Aluminum foil, 0.005 in. (0.125 mm) minimum thickness.

X1.4.1.2 Tape, meeting the requirements of Specification D 2301, vinyl chloride plastic pressure-sensitive, electrical insulating tape.

X1.4.1.3 Cement, contact bond, preferably rubber base.

X1.4.2 Procedure:

X1.4.2.1 *Step 1*—Seal aluminum foil around edges of specimen, leaving a 100-in.² (0.0654-m²) exposed test area on each side. Use contact bond cement as directed by the manufacturer.

X1.4.2.2 *Step 2*—Spread sealant on inside of rim and ledge. Place desiccant (dry), or water and surge control material (wet) in pan. Press specimen in place. Avoid squeezing compound into the test area.

X1.4.2.3 *Step 3*—Coat outside of rim and bottom of ledge with contact bond cement, and place foil strips from edge of template, around rim, and bottom of ledge.

X1.5 A method of using hot asphalt, as applied to a 10-in. (254-mm) square-mouth dish with ledge and rim, is as follows:

X1.5.1 Apparatus:

X1.5.1.1 *Template*—A square frame of brass or steel, ³/₁₆in. (5 mm) thick and ³/₄ in. (19 mm) deep. The ³/₁₆-in. (5-mm) thickness is tapered to zero at the bottom of the frame where it will touch the test specimen and maintain a 10-in. (254-mm) square test area.

X1.5.1.2 *Sealant*—Asphalt (see X1.3.1 used at the proper pouring consistency of 375 to 450°F (179 to 232°C).

X1.5.1.3 *Melting Pot* for the asphalt, electrically heated, with one dimension greater than 11-³/₈ in. (289 mm).

X1.5.1.4 *Small Ladle* for pouring.

X1.5.2 *Procedure*—Mark the 11-³/₈-in. (289-mm) square specimen with a line at an equal distance from each edge, so that the area enclosed by the lines is as nearly as possible a 10-in. (254-mm) square. The template may be used for marking. Dip each edge of the specimen in molten asphalt up to the line, so that the test area is defined and all edges are coated with a heavy layer of asphalt. Place the specimen over the pan containing water or desiccant. Lightly oil the template or coat with petroleum jelly on its outer side, and place on the specimen. Pour molten asphalt into the space between the template and the rim of the pan. After the asphalt has cooled for a few minutes, the template should be easily removable.

X1.6 Hot wax may be applied like asphalt. It may also be applied (freely) with a small brush. Its lower working temperature may be advantageous when a specimen contains moisture.

X1.7 Several designs for dishes with supporting rings and flanges are shown in Fig. X1.2. Various modifications of these designs may be made provided that the principle of prevention of edge leakage by means of a complete seal is retained. The dishes may be constructed of any rigid, impermeable, corrosion-resistant material, provided that they can be accommodated on the available analytical balance. A lightweight metal, such as aluminum or one of its alloys, is generally used for larger-size dishes. In some cases when an aluminum dish is employed and moisture is allowed to condense on its surface,

⁹ Grade Nos. 2305 or 2310 of the Mobil Oil Corp., or their equivalent, have been found satisfactory for this purpose.

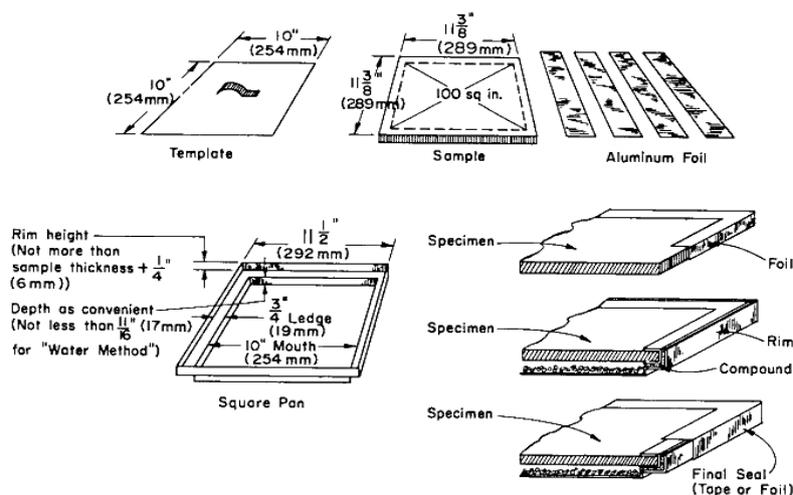


FIG. X1.1 Apparatus for Water Vapor Transmission Tests of Large Thick Specimens

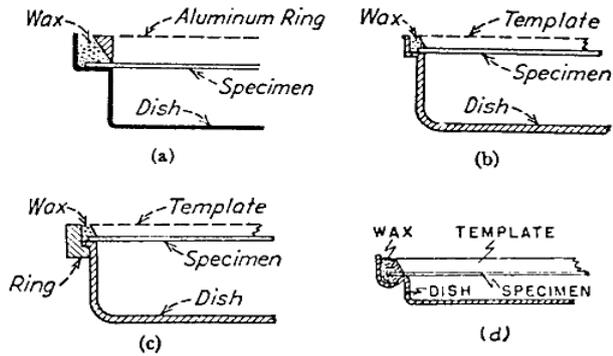


FIG. X1.2 Several Types of Dishes for Water Vapor Transmission Tests of Materials in Sheet Form

there may be appreciable oxidation of the aluminum with a resulting gain in weight. Any gain in weight will ordinarily depend on the previous history of the dish and the cleanness of the surface. An empty dish carried through the test procedure as a control will help to determine whether any error may be expected from this cause. When aluminum dishes are used for the water methods, a pressure may develop inside the assembly during a test due to corrosion. This can cause seal failure or otherwise affect the result. Where this is a problem, it can be overcome by providing inside the dish a protective coating of baked-on epoxy resin or similar material. Dishes with flanges or rings that project from the inner walls of the dish are to be avoided, as such projections influence the diffusion of the water vapor. The depth of the dish for the water procedures is such that there is a 0.80 ± 0.20 in. (20 ± 5 -mm) distance between the water surface and the under surface of the specimen, with a water depth of about 0.20 in. (5 mm).

X1.7.1 For the desiccant-in-dish procedures, the dishes need not be as deep as those required for the water-in-dish procedures. The desiccant is within $\frac{1}{4}$ in. (6 mm) of the under surface, and a minimum depth of only $\frac{1}{2}$ in. (12 mm) of desiccant is required.

X1.7.2 The dishes shown in Fig. X1.2 require a molten seal.

X1.7.3 A template such as is shown in Fig. X1.3 is usually used for defining the test area and effecting the wax seal. It consists of a circular metal dish $\frac{1}{8}$ in. (3.18 mm) or more in thickness with the edge beveled to an angle of about 45° . The diameter of the bottom (smaller) face of the template is approximately equal to, but not greater than, the diameter of

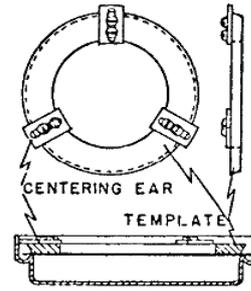


FIG. X1.3 Template Suitable for Use in Making the Wax Seals on Test Dishes

the effective opening of the dish in contact with the specimen. Small guides may be attached to the template to center it automatically on the test specimen. A small hole through the template to admit air, and petrolatum applied to the beveled edge of the template facilitate its removal after sealing the test specimen to the dish. In use, the template is placed over the test specimen and when it is carefully centered with the dish opening, molten wax is flowed into the annular space surrounding the beveled edge of the template. As soon as the wax has solidified, the template is removed from the sheet with a twisting motion. The outside flange of the dish should be high enough to extend over the top of the specimen, thus allowing the wax to completely envelop the edge.

X1.7.4 Gasketed types of seals are also in use on appropriately designed dishes. These simplify the mounting of the specimen, but must be used with caution, since the possibility of edge leakage is greater with gasketed seals than with wax seals. Gasketed seals are not permitted for the measurement of permeance less than 44 perms (2.3×10^{-7} g·Pa⁻¹·s⁻¹·m²). As a further precaution when gasketed seals are used instead of preferred sealants, a blank test run is suggested using glass or metal as a dummy specimen.

X1.7.5 A suitable weighing cover consists of a circular disk of aluminum $\frac{1}{32}$ to $\frac{3}{32}$ in. (0.8 to 2.4 mm) in thickness provided with a suitable knob in the center for lifting. The cover fits over the test specimen when assembled and makes contact with the inside beveled surface of the wax seal at, or just above, the plane of the specimen. The cover is free of sharp edges which might remove the wax and is numbered or otherwise identified to facilitate its exclusive use with the same dish.

The American Society for Testing and Materials takes no position respecting the validity of any patent rights asserted in connection with any item mentioned in this standard. Users of this standard are expressly advised that determination of the validity of any such patent rights, and the risk of infringement of such rights, are entirely their own responsibility.

This standard is subject to revision at any time by the responsible technical committee and must be reviewed every five years and if not revised, either reapproved or withdrawn. Your comments are invited either for revision of this standard or for additional standards and should be addressed to ASTM Headquarters. Your comments will receive careful consideration at a meeting of the responsible technical committee, which you may attend. If you feel that your comments have not received a fair hearing you should make your views known to the ASTM Committee on Standards, 100 Barr Harbor Drive, West Conshohocken, PA 19428.

This standard is copyrighted by ASTM, 100 Barr Harbor Drive, West Conshohocken, PA 19428-2959, United States. Individual reprints (single or multiple copies) of this standard may be obtained by contacting ASTM at the above address or at 610-832-9585 (phone), 610-832-9555 (fax), or service@astm.org (e-mail); or through the ASTM website (http://www.astm.org).

Anexo 21: Metodología del ASTM-D 882



Designation: D 882 – 02

Standard Test Method for Tensile Properties of Thin Plastic Sheeting¹

This standard is issued under the fixed designation D 882; the number immediately following the designation indicates the year of original adoption or, in the case of revision, the year of last revision. A number in parentheses indicates the year of last reapproval. A superscript epsilon (ϵ) indicates an editorial change since the last revision or reapproval.

These test methods have been approved for use by agencies of the Department of Defense to replace Method 1013 of Federal Test Method Standard 406.

1. Scope *

1.1 This test method covers the determination of tensile properties of plastics in the form of thin sheeting, including film (less than 1.0 mm (0.04 in.) in thickness).

NOTE 1—Film has been arbitrarily defined as sheeting having nominal thickness not greater than 0.25 mm (0.010 in.).

NOTE 2—Tensile properties of plastics 1.0 mm (0.04 in.) or greater in thickness shall be determined according to Test Method D 638.

1.2 This test method may be used to test all plastics within the thickness range described and the capacity of the machine employed.

1.2.1 *Static Weighing, Constant-Rate-of-Grip Separation Test*—This test method employs a constant rate of separation of the grips holding the ends of the test specimen.

1.3 Specimen extension may be measured in these test methods by grip separation, extension indicators, or displacement of gage marks.

1.4 A procedure for determining the tensile modulus of elasticity is included at one strain rate.

NOTE 3—The modulus determination is generally based on the use of grip separation as a measure of extension; however, the desirability of using extensometers, as described in 5.2, is recognized and provision for the use of such instrumentation is incorporated in the procedure.

1.5 Test data obtained by this test method is relevant and appropriate for use in engineering design.

1.6 The values stated in SI units are to be regarded as the standard. The values in parentheses are provided for information only.

1.7 *This standard does not purport to address all of the safety concerns, if any, associated with its use. It is the responsibility of the user of this standard to establish appropriate safety and health practices and determine the applicability of regulatory limitations prior to use.*

NOTE 4—This test method is similar to ISO 527-3, but is not considered

¹ These test methods are under the jurisdiction of ASTM Committee D20 on Plastics and are the direct responsibility of Subcommittee D20.10 on Mechanical Properties.

Current edition approved April 10, 2002. Published June 2002. Originally published as D 882 – 46 T. Last previous edition D 882 – 01.

technically equivalent. ISO 527-3 allows for additional specimen configurations, specifies different test speeds, and requires an extensometer or gage marks on the specimen.

2. Referenced Documents

2.1 ASTM Standards:

D 618 Practice for Conditioning Plastics for Testing²

D 638 Test Method for Tensile Properties of Plastics²

D 4000 Classification System for Specifying Plastic Materials³

D 5947 Test Methods for Physical Dimensions of Solid Plastic Specimens⁴

D 6287 Practice for Cutting Film and Sheeting Test Specimens⁴

E 4 Practices for Force Verification of Testing Machines⁵

E 691 Practice for Conducting an Interlaboratory Study to Determine the Precision of a Test Method⁶

2.2 ISO Standard:

ISO 527-3 Plastics—Determination of Tensile Properties—Part 3: Test Conditions for Films and Sheets⁷

3. Terminology

3.1 *Definitions*—Definitions of terms and symbols relating to tension testing of plastics appear in the Annex to Test Method D 638.

3.1.1 *line grips*—grips having faces designed to concentrate the entire gripping force along a single line perpendicular to the direction of testing stress. This is usually done by combining one standard flat face and an opposing face from which protrudes a half-round.

3.1.2 *tear failure*—a tensile failure characterized by fracture initiating at one edge of the specimen and progressing across the specimen at a rate slow enough to produce an anomalous load-deformation curve.

² *Annual Book of ASTM Standards*, Vol 08.01.

³ *Annual Book of ASTM Standards*, Vol 08.02.

⁴ *Annual Book of ASTM Standards*, Vol 08.03.

⁵ *Annual Book of ASTM Standards*, Vol 03.01.

⁶ *Annual Book of ASTM Standards*, Vol 14.02.

⁷ Available from American National Standards Institute, 25 W. 43rd St., 4th Floor, New York, NY 10036.

*A Summary of Changes section appears at the end of this standard.

4. Significance and Use

4.1 Tensile properties determined by this test method are of value for the identification and characterization of materials for control and specification purposes. Tensile properties may vary with specimen thickness, method of preparation, speed of testing, type of grips used, and manner of measuring extension. Consequently, where precise comparative results are desired, these factors must be carefully controlled. This test method shall be used for referee purposes, unless otherwise indicated in particular material specifications. For many materials, there may be a specification that requires the use of this test method, but with some procedural modifications that take precedence when adhering to the specification. Therefore, it is advisable to refer to that material specification before using this test method. Table 1 in Classification D 4000 lists the ASTM materials standards that currently exist.

4.2 Tensile properties may be utilized to provide data for research and development and engineering design as well as quality control and specification. However, data from such tests cannot be considered significant for applications differing widely from the load-time scale of the test employed.

4.3 The tensile modulus of elasticity is an index of the stiffness of thin plastic sheeting. The reproducibility of test results is good when precise control is maintained over all test conditions. When different materials are being compared for stiffness, specimens of identical dimensions must be employed.

4.4 The tensile energy to break (TEB) is the total energy absorbed per unit volume of the specimen up to the point of rupture. In some texts this property has been referred to as *toughness*. It is used to evaluate materials that may be subjected to heavy abuse or that might stall web transport equipment in the event of a machine malfunction in end-use applications. However, the rate of strain, specimen parameters, and especially flaws may cause large variations in the results. In that sense, caution is advised in utilizing TEB test results for end-use design applications.

4.5 Materials that fail by tearing give anomalous data which cannot be compared with those from normal failure.

5. Apparatus

5.1 *Testing Machine*—A testing machine of the constant rate-of-crosshead-movement type and comprising essentially the following:

5.1.1 *Fixed Member*—A fixed or essentially stationary member carrying one grip.

5.1.2 *Movable Member*—A movable member carrying a second grip.

5.1.3 *Grips*—A set of grips for holding the test specimen between the fixed member and the movable member of the testing machine; grips can be either the fixed or self-aligning type. In either case, the gripping system must minimize both slippage and uneven stress distribution.

5.1.3.1 Fixed grips are rigidly attached to the fixed and movable members of the testing machine. When this type of grip is used, care must be taken to ensure that the test specimen is inserted and clamped so that the long axis of the test specimen coincides with the direction of pull through the center line of the grip assembly.

5.1.3.2 Self-aligning grips are attached to the fixed and movable members of the testing machine in such a manner that they will move freely into alignment as soon as a load is applied so that the long axis of the test specimen will coincide with the direction of the applied pull through the center line of the grip assembly. The specimens should be aligned as perfectly as possible with the direction of pull so that no rotary motion that may induce slippage will occur in the grips; there is a limit to the amount of misalignment self-aligning grips will accommodate.

5.1.3.3 The test specimen shall be held in such a way that slippage relative to the grips is prevented insofar as possible. Grips lined with thin rubber, crocus-cloth, or pressure-sensitive tape as well as file-faced or serrated grips have been successfully used for many materials. The choice of grip surface will depend on the material tested, thickness, etc. Line grips padded on the round face with 1.0 mm (40 mil) blotting paper or filter paper have been found superior. Air-actuated grips have been found advantageous, particularly in the case of materials that tend to “neck” into the grips, since pressure is maintained at all times. In cases where samples frequently fail at the edge of the grips, it may be advantageous to increase slightly the radius of curvature of the edges where the grips come in contact with the test area of the specimen.

5.1.4 *Drive Mechanism*—A drive mechanism for imparting to the movable member a uniform, controlled velocity with respect to the stationary member. The velocity shall be regulated as specified in Section 9.

5.1.5 *Load Indicator*—A suitable load-indicating mechanism capable of showing the total tensile load carried by the test specimen held by the grips. This mechanism shall be essentially free of inertial lag at the specified rate of testing (see Note 5). Unless a suitable extensometer is used (see 5.2), the motion of the weighing system shall not exceed 2 % of the specimen extension within the range being measured. The load indicator shall determine the tensile load applied to the specimen with an accuracy of ± 1 % of the indicated value, or better. The accuracy of the testing machine shall be verified in accordance with Practices E 4.

5.1.6 *Crosshead Extension Indicator*—A suitable extension-indicating mechanism capable of showing the amount of change in the separation of the grips, that is, crosshead movement. This mechanism shall be essentially free of inertial lag at the specified rate of testing (see Note 5) and shall indicate the crosshead movement with an accuracy of ± 1 % of the indicated value, or better.

5.2 *Extensometer (Optional)*—A suitable instrument may, if desired, be used for determining the distance between two designated points on the test specimen as the specimen is stretched. This apparatus, if employed, shall be so designed as to minimize stress on the specimen at the contact points of the specimen and the instrument (see 8.3). It is desirable that this instrument automatically record the distance, or any change in it, as a function of the load on the test specimen or of the elapsed time from the start of the test, or both. If only the latter is obtained, load-time data must also be taken. This instrument must be essentially free of inertial lag at the specified speed of testing (see Note 5).

5.2.1 Modulus of Elasticity and Low-Extension Measurements—Extensometers used for modulus of elasticity and low-extension (less than 20 % elongation) measurements shall, at a minimum, be accurate to ± 1 % and comply with the requirements set forth in Practice E 83 for a Class C instrument.

5.2.2 High-Extension Measurements—Instrumentation and measuring techniques used for high-extension (20 % elongation or greater) measurements shall be accurate to ± 10 % of the indicated value, or better.

NOTE 5—A sufficiently high response speed in the indicating and recording system for the load and extension data is essential. The response speed required of the system will depend in part on the material tested (high or low elongation) and the rate of straining.

5.3 Thickness Gage—A dead-weight dial micrometer as prescribed in Method C of Test Methods D 5947, or an equivalent measuring device, reading to 0.0025 mm (0.0001 in.) or less.

5.4 Width-Measuring Devices—Suitable test scales or other width measuring devices capable of measuring 0.25 mm (0.010 in.) or less.

5.5 Specimen Cutter—For the apparatus and techniques for cutting film and sheeting used in this test method, refer to Practice D 6287.

5.5.1 Devices that use razor blades have proven especially suitable for materials having an elongation-at-fracture above 10 to 20 %.

5.5.2 The use of punch press or striking dies are not recommended because poor and inconsistent specimen edges may be produced.

6. Test Specimens

6.1 The test specimens shall consist of strips of uniform width and thickness at least 50 mm (2 in.) longer than the grip separation used.

6.2 The nominal width of the specimens shall be not less than 5.0 mm (0.20 in.) or greater than 25.4 mm (1.0 in.).

6.3 A width-thickness ratio of at least eight shall be used. Narrow specimens magnify effects of edge strains or flaws, or both.

6.4 The utmost care shall be exercised in cutting specimens to prevent nicks and tears which are likely to cause premature failures (Note 6). The edges shall be parallel to within 5 % of the width over the length of the specimen between the grips.

NOTE 6—Microscopical examination of specimens may be used to detect flaws due to sample or specimen preparation.

6.5 Wherever possible, the test specimens shall be selected so that thickness is uniform to within 10 % of the thickness over the length of the specimen between the grips in the case of materials 0.25 mm (0.010 in.) or less in thickness and to within 5 % in the case of materials greater than 0.25 mm (0.010 in.) in thickness but less than 1.00 mm (0.040 in.) in thickness.

NOTE 7—In cases where thickness variations are in excess of those recommended in 6.5, results may not be characteristic of the material under test.

6.6 If the material is suspected of being anisotropic, two sets of test specimens shall be prepared having their long axes respectively parallel with and normal to the suspected direction of anisotropy.

6.7 For tensile modulus of elasticity determinations, a specimen gage length of 250 mm (10 in.) shall be considered as standard. This length is used in order to minimize the effects of grip slippage on test results. When this length is not feasible, test sections as short as 100 mm (4 in.) may be used if it has been shown that results are not appreciably affected. However, the 250-mm gage length shall be used for referee purposes. The speed of testing of shorter specimens must be adjusted in order for the strain rate to be equivalent to that of the standard specimen.

NOTE 8—Two round robin tests⁸ have shown that, for materials of less than 0.25-mm (10-mil) thickness, line grips padded on the round side with 1.0-mm (40-mil) blotting paper give the same results with a 100-mm test section as a 250-mm test section produces with flat-face grips.

NOTE 9—Excessive jaw slippage becomes increasingly difficult to overcome in cases where high modulus materials are tested in thicknesses greater than 0.25 mm (0.010 in.).

7. Conditioning

7.1 Conditioning—Condition the test specimens at $23 \pm 2^\circ\text{C}$ ($73.4 \pm 3.6^\circ\text{F}$) and 50 ± 5 % relative humidity for not less than 40 h prior to test in accordance with Procedure A of Practice D 618 unless otherwise specified by contract or the relevant ASTM material specification. Reference pre-test conditioning, to settle disagreements, shall apply tolerances of $\pm 1^\circ\text{C}$ (1.8°F) and ± 2 % relative humidity.

7.2 Test Conditions—Conduct the tests at $23 \pm 2^\circ\text{C}$ ($73.4 \pm 3.6^\circ\text{F}$) and 50 ± 5 % relative humidity unless otherwise specified by contract or the relevant ASTM material specification. Reference testing conditions, to settle disagreements, shall apply tolerances of $\pm 1^\circ\text{C}$ (1.8°F) and ± 2 % relative humidity.

8. Number of Test Specimens

8.1 In the case of isotropic materials, at least five specimens shall be tested from each sample.

8.2 In the case of anisotropic materials, at least ten specimens, five normal and five parallel with the principal axis of anisotropy, shall be tested from each sample.

8.3 Specimens that fail at some obvious flaw or that fail outside the gage length shall be discarded and retests made, unless such flaws or conditions constitute a variable whose effect is being studied. However, jaw breaks (failures at the grip contact point) are acceptable if it has been shown that results from such tests are in essential agreement with values obtained from breaks occurring within the gage length.

NOTE 10—In the case of some materials, examination of specimens, prior to and following testing, under crossed optical polarizers (polarizing films) provides a useful means of detecting flaws which may be, or are, responsible for premature failure.

⁸ Supporting data are available from ASTM Headquarters. Request RR: D20-1058.

9. Speed of Testing

9.1 The speed of testing is the rate of separation of the two members (or grips) of the testing machine when running idle (under no load). This rate of separation shall be maintained within 5 % of the no-load value when running under full-capacity load.

9.2 The speed of testing shall be calculated from the required initial strain rate as specified in Table 1. The rate of grip separation may be determined for the purpose of these test methods from the initial strain rate as follows:

$$A = BC \quad (1)$$

where:

A = rate of grip separation, mm (or in.)/min,
 B = initial distance between grips, mm (or in.), and
 C = initial strain rate, mm/mm·min (or in./in.·min).

9.3 The initial strain rate shall be as in Table 1 unless otherwise indicated by the specification for the material being tested.

NOTE 11—Results obtained at different initial strain rates are not comparable; consequently, where direct comparisons between materials in various elongation classes are required, a single initial strain rate should be used. For some materials it may be advisable to select the strain rates on the basis of percent elongation at yield.

9.4 In cases where conflicting material classification, as determined by percent elongation at break values, results in a choice of strain rates, the lower rate shall be used.

9.5 If modulus values are being determined, separate specimens shall be used whenever strain rates and specimen dimensions are not the same as those employed in the test for other tensile properties.

10. Procedure

10.1 Select a load range such that specimen failure occurs within its upper two thirds. A few trial runs may be necessary to select a proper combination of load range and specimen width.

10.2 Measure the cross-sectional area of the specimen at several points along its length. Measure the width to an accuracy of 0.25 mm (0.010 in.) or better. Measure the thickness to an accuracy of 0.0025 mm (0.0001 in.) or better for films less than 0.25 mm (0.010 in.) in thickness and to an accuracy of 1 % or better for films greater than 0.25 mm (0.010 in.) but less than 1.0 mm (0.040 in.) in thickness.

10.3 Set the initial grip separation in accordance with Table 1.

10.4 Set the rate of grip separation to give the desired strain rate, based on the initial distance between the grips, in

accordance with Table 1. Zero the calibrated load weighing system, extension indicator(s) and recording system.

NOTE 12—Extensometers may be used for modulus of elasticity determinations with the expectation of obtaining more accurate values than may be obtained using grip separation as the effective gage length. Precautions should be taken to ensure that extensometer slippage and undue stressing of the specimen do not occur. Refer also to 6.7.

10.5 In cases where it is desired to measure a test section other than the total length between the grips, mark the ends of the desired test section with a soft, fine wax crayon or with ink. Do not scratch these marks onto the surface since such scratches may act as stress raisers and cause premature specimen failure. Extensometers may be used if available; in this case, the test section will be defined by the contact points of the extensometer.

NOTE 13—Measurement of a specific test section is necessary with some materials having high elongation. As the specimen elongates, the accompanying reduction in area results in a loosening of material at the inside edge of the grips. This reduction and loosening moves back into the grips as further elongation and reduction in area takes place. In effect, this causes problems similar to grip slippage, that is, exaggerates measured extension.

10.6 Place the test specimen in the grips of the testing machine, taking care to align the long axis of the specimen with an imaginary line joining the points of attachment of the grips to the machine. Tighten the grips evenly and firmly to the degree necessary to minimize slipping of the specimen during test.

10.7 Start the machine and record load versus extension.

10.7.1 When the total length between the grips is used as the test area, record load versus grip separation.

10.7.2 When a specific test area has been marked on the specimen, follow the displacement of the edge boundary lines with respect to each other with dividers or some other suitable device. If a load-extension curve is desired, plot various extensions versus corresponding loads sustained, as measured by the load indicator.

10.7.3 When an extensometer is used, record load versus extension of the test area measured by the extensometer.

10.8 If modulus values are being determined, select a load range and chart rate to produce a load-extension curve of between 30 and 60° to the X axis. For maximum accuracy, use the most sensitive load scale for which this condition can be met. The test may be discontinued when the load-extension curve deviates from linearity.

10.9 In the case of materials being evaluated for secant modulus, the test may be discontinued when the specified extension has been reached.

TABLE 1 Crosshead Speeds and Initial Grip Separation

Percent Elongation at Break	Initial Strain Rate, mm/mm·min (in./in.·min)	Initial Grip Separation		Rate of Grip Separation	
		mm	in.	mm/min	in./min
Modulus of Elasticity Determination					
	0.1	250	10	25	1.0
Determinations other than Elastic Modulus					
Less than 20	0.1	125	5	12.5	0.5
20 to 100	0.5	100	4	50	2.0
Greater than 100	10.0	50	2	500	20.0

10.10 If tensile energy to break is being determined, some provision must be made for integration of the stress-strain curve. This may be either an electronic integration during the test or a subsequent determination from the area of the finished stress-strain curve (see Annex A2).

11. Calculation

11.1 Toe compensation shall be made in accordance with Annex A1 unless it can be shown that the toe region of the curve is not due to the takeup of slack, seating of the specimen, or other artifact, but rather is an authentic material response.

11.2 *Breaking Factor* (nominal) shall be calculated by dividing the maximum load by the original minimum width of the specimen. The result shall be expressed in force per unit of width, usually newtons per metre (or pounds per inch) of width, and reported to three significant figures. The thickness of the film shall always be stated to the nearest 0.0025 mm (0.0001 in.).

Example—Breaking Factor = 1.75 kN/m (10.0 lbf/in.) of width for 0.1300-mm (0.0051-in.) thickness.

NOTE 14—This method of reporting is useful for very thin films (0.13 mm (0.005 in.) and less) for which breaking load may not be proportional to cross-sectional area and whose thickness may be difficult to determine with precision. Furthermore, films which are in effect laminar due to orientation, skin effects, nonuniform crystallinity, etc., have tensile properties disproportionate to cross-sectional area.

11.3 *Tensile Strength* (nominal) shall be calculated by dividing the maximum load by the original minimum cross-sectional area of the specimen. The result shall be expressed in force per unit area, usually megapascals (or pounds-force per square inch). This value shall be reported to three significant figures.

NOTE 15—When tear failure occurs, so indicate and calculate results based on load and elongation at which tear initiates, as reflected in the load-deformation curve.

11.4 *Tensile Strength at Break* (nominal) shall be calculated in the same way as the tensile strength except that the load at break shall be used in place of the maximum load (Note 15 and Note 16).

NOTE 16—In many cases tensile strength and tensile strength at break are identical.

11.5 *Percent Elongation at Break* shall be calculated by dividing the extension at the moment of rupture of the specimen by the initial gage length of the specimen and multiplying by 100. When gage marks or extensometers are used to define a specific test section, only this length shall be used in the calculation; otherwise the distance between the grips shall be used. The result shall be expressed in percent and reported to two significant figures (Note 15).

11.6 *Yield Strength*, where applicable, shall be calculated by dividing the load at the yield point by the original minimum cross-sectional area of the specimen. The result shall be expressed in force per unit area, usually megapascals (or pounds-force per square inch). This value shall be reported to three significant figures. Alternatively, for materials that exhibit Hookean behavior in the initial part of the curve, an offset yield strength may be obtained as described in the Appendix of Test

Method D 638. In this case the value should be given as “yield strength at —% offset.”

11.7 *Percent Elongation at Yield*, where applicable, shall be calculated by dividing the extension at the yield point by the initial gage length of specimen and multiplying by 100. When gage marks or extensometers are used to define a specific test section, only this length shall be used in the calculation. Before calculating, correct the extension for “toe compensation” as described in Annex A1. The results shall be expressed in percent and reported to two significant figures. When offset yield strength is used, the elongation at the offset yield strength may be calculated.

11.8 *Elastic Modulus* shall be calculated by drawing a tangent to the initial linear portion of the load-extension curve, selecting any point on this tangent, and dividing the tensile stress by the corresponding strain. Before calculating, correct the extension for “toe compensation” as described in Annex A1. For purposes of this determination, the tensile stress shall be calculated by dividing the load by the average original cross section of the test section. The result shall be expressed in force per unit area, usually megapascals (or pounds-force per square inch), and reported to three significant figures.

11.9 *Secant Modulus*, at a designated strain, shall be calculated by dividing the corresponding stress (nominal) by the designated strain. Elastic modulus values are preferable and shall be calculated whenever possible. However, for materials where no proportionality is evident, the secant value shall be calculated. Draw the tangent as directed in A1.3 and Fig. A1.2 of Annex A1, and mark off the designated strain from the yield point where the tangent line goes through zero stress. The stress to be used in the calculation is then determined by dividing the load at the designated strain on the load-extension curve by the original average cross-sectional area of the specimen.

11.10 *Tensile Energy to Break*, where applicable, shall be calculated by integrating the energy per unit volume under the stress-strain curve or by integrating the total energy absorbed and dividing it by the volume of the original gage region of the specimen. As indicated in Annex A2, this may be done directly during the test by an electronic integrator, or subsequently by computation from the area of the plotted curve. The result shall be expressed in energy per unit volume, usually in megajoules per cubic metre (or inch-pounds-force per cubic inch). This value shall be reported to two significant figures.

11.11 For each series of tests, the arithmetic mean of all values obtained shall be calculated to the proper number of significant figures.

11.12 The standard deviation (estimated) shall be calculated as follows and reported to two significant figures:

$$s = \sqrt{(\sum X^2 - n\bar{X}^2)/(n - 1)} \quad (2)$$

where:

- s = estimated standard deviation,
- X = value of a single observation,
- n = number of observations, and
- \bar{X} = arithmetic mean of the set of observations.

12. Report

12.1 Report the following information:

12.1.1 Complete identification of the material tested, including type, source, manufacturer's code number, form, principal dimensions, previous history, and orientation of samples with respect to anisotropy (if any),

- 12.1.2 Method of preparing test specimens,
- 12.1.3 Thickness, width, and length of test specimens,
- 12.1.4 Number of specimens tested,
- 12.1.5 Strain rate employed,
- 12.1.6 Grip separation (initial),

ments were taken by five laboratories. The relative precision obtained in this interlaboratory study is in Table 2.

13.1.1 In deriving the estimates in Table 2, statistical outliers were not removed, in keeping with Practice E 691.⁹

13.1.2 The within-lab standard deviation of a mean value, $S_{\bar{x}}$, in each case was determined from the standard deviation, S_x , of the five individual specimens as follows: $S_{\bar{x}} = S_x / (5)^{1/2}$. The $S_{\bar{x}}$ values were pooled among laboratories for a given material to obtain the within-lab standard deviation, S_r , of a

TABLE 2 Precision Data for Modulus

Tangent Modulus						
Material	Thickness, mils	Average, 10 ³ psi	S_n , 10 ³ psi	S_{Rn} , 10 ³ psi	I_n , 10 ³ psi	I_{Rn} , 10 ³ psi
LDPE	1.4	53.9	1.81	8.81	5.12	24.9
HDPE	1.6	191	5.47	16.2	15.5	45.9
PP	1.1	425	10.3	31.5	29.0	89.1
PET	0.9	672	13.8	55.5	39.1	157.1
Secant Modulus						
LDPE	1.4	45.0	2.11	3.43	5.98	9.70
HDPE	1.6	150	3.29	9.58	9.30	27.1
PP	1.1	372	4.66	26.5	13.2	74.9
PET	0.9	640	10.0	27.5	28.4	77.8

- 12.1.7 Crosshead speed (rate of grip separation),
- 12.1.8 Gage length (if different from grip separation),
- 12.1.9 Type of grips used, including facing (if any),
- 12.1.10 Conditioning procedure (test conditions, temperature, and relative humidity if nonstandard),

12.1.11 Anomalous behavior such as tear failure and failure at a grip,

- 12.1.12 Average breaking factor and standard deviation,
- 12.1.13 Average tensile strength (nominal) and standard deviation,

12.1.14 Average tensile strength at break (nominal) and standard deviation,

12.1.15 Average percent elongation at break and standard deviation,

12.1.16 Where applicable, average tensile energy to break and standard deviation,

12.1.17 In the case of materials exhibiting "yield" phenomenon: average yield strength and standard deviation; and average percent elongation at yield and standard deviation,

12.1.18 For materials which do not exhibit a yield point: average —% offset yield strength and standard deviation; and average percent elongation at —% offset yield strength and standard deviation,

12.1.19 Average modulus of elasticity and standard deviation (if secant modulus is used, so indicate and report strain at which calculated), and

12.1.20 When an extensometer is employed, so indicate.

13. Precision and Bias

13.1 Two interlaboratory tests have been run for these tensile properties. The first was run for modulus only, in 1977, in which randomly drawn samples of four thin (~ 0.025 mm (0.001-in.)) materials were tested with five specimens in each laboratory. Elastic (tangent) modulus measurements were made by six laboratories, and secant (1 %) modulus measure-

test result (mean of five specimens). See 13.3-13.3.2 for definitions of terms in the tables.

13.2 An interlaboratory test was run for all the other tensile properties except modulus in 1981, in which randomly drawn samples of six materials (one of these in three thicknesses) ranging in thickness from 0.019 to 0.178 mm (0.00075 to 0.007 in.) were tested in seven laboratories. A test result was defined as the mean of five specimen determinations. However, each laboratory tested eight specimens, and the $S_{\bar{x}}$ was determined from $S_{\bar{x}} = S_x / (5)^{1/2}$ as above. This was done to improve the quality of the statistics while maintaining their applicability to a five-specimen test result. The materials and their thicknesses are identified in Tables 3-7, each of which contain data for one of the following properties: tensile yield stress, yield elongation, tensile strength, tensile elongation at break, and tensile energy at break (see Note 17).¹⁰

NOTE 17—Subsequent to filing the research report, examination of the LDPE used in this study between crossed polarizers revealed lengthwise lines representing substantial widthwise variation in molecular orientation that probably was not successfully randomized out of the between-labs component of variance.

NOTE 18—**Caution:** The following explanations of I_r and I_R (13.3-13.3.3) are only intended to present a meaningful way of considering the *Approximate* precision of this test method. The data in Table 2 should not be rigorously applied to the acceptance or rejection of material, as those data are specific to the round robin and may not be representative of other lots, conditions, materials, or laboratories. Users of this test method should apply the principles outlined in Practice E 691 to generate data specific to their laboratory and materials, or between specific laboratories. The principles of 13.3-13.3.3 would then be valid for such data.

⁹ Supporting data are available from ASTM Headquarters. Request RR: D20-1084.

¹⁰ Supporting data are available from ASTM Headquarters. Request RR: D20-1101.

TABLE 3 Precision Data for Yield Stress

Material	Thickness, mils	Average, 10 ³ psi	(S _r) ^A 10 ³ psi	(S _R) ^B 10 ³ psi	I(r) ^C 10 ³ psi	I(R) ^D 10 ³ psi
LDPE	1.0	1.49	0.051	0.13	0.14	0.37
HDPE	1.0	4.33	0.084	0.16	0.24	0.44
PP	0.75	6.40	0.13	0.52	0.37	1.46
PC	4.0	8.59	0.072	0.29	0.20	0.82
CTA	5.3	11.4	0.12	0.50	0.34	1.43
PET	4.0	14.3	0.12	0.23	0.34	0.66
PET	2.5	14.4	0.14	0.54	0.40	1.52
PET	7.0	14.4	0.13	0.36	0.37	1.03

^A S_r is the within-laboratory standard deviation of the average.

^B S_R is the between-laboratories standard deviation of the average.

^C I_r = 2.83 S_r.

^D I_R = 2.83 S_R.

TABLE 4 Precision Data for Yield Elongation

Material	Thickness, mils	Average, %	(S _r) ^A , %	(S _R) ^B , %	I(r) ^C , %	I(R) ^D , %
PP	0.75	3.5	0.15	0.41	0.42	1.2
PET	2.5	5.2	0.26	0.92	0.74	2.6
PET	4.0	5.3	0.25	0.60	0.71	1.7
PET	7.0	5.4	0.14	1.05	0.40	3.0
CTA	5.3	5.4	0.19	0.99	0.54	2.8
PC	4.0	6.9	0.24	0.98	0.68	2.8
HDPE	1.0	8.8	0.32	1.82	0.91	5.2
LDPE	1.0	10.0	0.55	3.41	1.56	9.6

NOTE 1—See Table 3 for footnote explanation.

TABLE 5 Precision Data for Tensile Strength

Material	Thickness, mils	Average, 10 ³ psi	(S _r) ^A 10 ³ psi	(S _R) ^B 10 ³ psi	I(r) ^C 10 ³ psi	I(R) ^D 10 ³ psi
LDPE	1.0	3.42	0.14	0.53	0.40	1.5
HDPE	1.0	6.87	0.27	0.81	0.76	2.3
PC	4.0	12.0	0.34	0.93	0.96	2.6
CTA	5.3	14.6	0.20	1.37	0.57	3.9
PP	0.75	28.4	1.57	4.56	4.4	12.9
PET	4.0	28.9	0.65	1.27	1.8	3.6
PET	7.0	30.3	0.83	1.32	2.3	3.7
PET	2.5	30.6	1.22	2.64	3.4	7.5

NOTE 1—See Table 3 for footnote explanation.

TABLE 6 Precision Data for Elongation at Break

Material	Thickness, mils	Average, %	(S _r) ^A , %	(S _R) ^B , %	I(r) ^C , %	I(R) ^D , %
CTA	5.3	26.4	1.0	4.3	3	12
PP	0.75	57.8	4.4	12.7	12	36
PET	2.5	120	8.0	14.6	23	41
PET	7.0	132	5.8	10.6	16	30
PET	4.0	134	4.4	12.2	12	35
PC	4.0	155	5.4	17.1	15	48
LDPE	1.0	205	24.4	73.3	69	210
HDPE	1.0	570	26.0	91.7	74	260

NOTE 1—See Table 3 for footnote explanation.

13.3 For the purpose of compiling summary statistics, a test result has been defined to be the average of five replicate measurements of a property for a material in a laboratory, as specified in this test method. Summary statistics are given in Table 3. In each table, for the material indicated, S(r) is the pooled within-laboratory standard deviation of a test result, S(R) is the between-laboratory standard deviation of a test result, where r equals 2.83 × S(r) (see 13.3.1) and R equals 2.83 × S(R) (see 13.3.2).

13.3.1 *Repeatability, I_r*, (Comparing two test results for the same material, obtained by the same operator using the same equipment on the same day)—The two test results should be judged not equivalent if they differ by more than the I_r value for that material.

13.3.2 *Reproducibility*—In comparing two mean values for the same material obtained by different operators using different equipment on different days, either in the same

TABLE 7 Precision Data for Tensile Energy to Break

Material	Thickness, mils	Average, 10^3 in./lb./in. ³	$(S_T)^A 10^3$ in./lb./in. ³	$(S_R)^B 10^3$ in./lb./in. ³	$l(r)^C 10^3$ in./lb./in. ³	$l(R)^D 10^3$ in./lb./in. ³
CTA	5.0	3.14	0.14	0.70	0.4	2.0
LDPE	1.0	5.55	0.84	2.47	2.4	7.0
PP	0.75	11.3	1.19	3.11	3.4	8.8
PC	4.0	12.9	0.59	1.55	1.7	4.4
HDPE	1.0	26.0	1.87	5.02	5.3	14.2
PET	2.5	26.1	2.13	4.20	6.0	11.9
PET	4.0	27.1	1.42	2.75	4.0	7.8
PET	7.0	28.4	1.71	2.72	4.8	7.7

NOTE 1—See Table 3 for footnote explanation.

laboratory or in different laboratories, the means should be judged not equivalent if they differ by more than the *R* value for that material.

13.3.3 Any judgment made in accordance with 13.3.1 and 13.3.2 would have an approximate 95 % (0.95) probability of being correct.

13.3.4 For further information, see Practice E 691.

13.4 *Bias*—The systematic error which contributes to the difference between a test result and a true (or reference) value.

There are no recognized standards on which to base an estimate of bias for these test methods.

14. Keywords

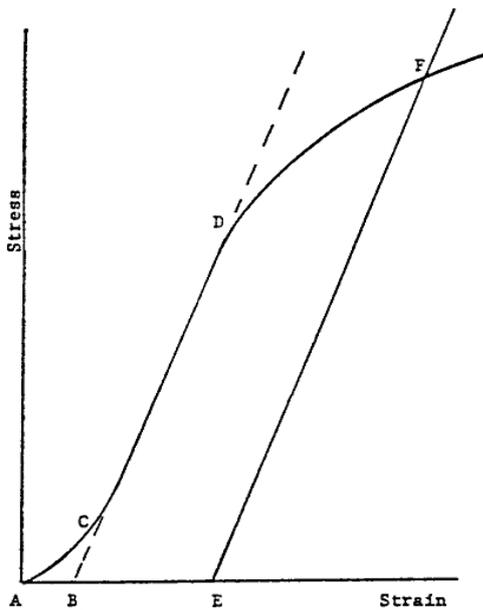
14.1 modulus of elasticity; plastic film; plastic sheeting; tensile properties; tensile strength; toughness; yield stress

ANNEXES

(Mandatory Information)

A1. TOE COMPENSATION

A1.1 In a typical stress-strain curve (Fig. A1.1) there is a

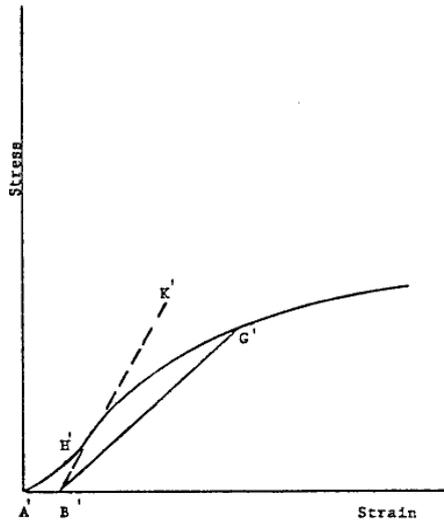


NOTE 1—Some chart recorders plot the mirror image of this graph.
FIG. A1.1 Material with Hookean Region

toe region, *AC*, which does not represent a property of the material. It is an artifact caused by a takeup of slack, and alignment or seating of the specimen. In order to obtain correct values of such parameters as modulus, strain, and offset yield point, this artifact must be compensated for to give the corrected zero point on the strain or extension axis.

A1.2 In the case of a material exhibiting a region of Hookean (linear) behavior (Fig. A1.1), a continuation of the linear (*CD*) region of the curve is constructed through the zero-stress axis. This intersection (*B*) is the corrected zero-strain point from which all extensions or strains must be measured, including the yield offset (*BE*), if applicable. The elastic modulus can be determined by dividing the stress at any point along the line *CD* (or its extension) by the strain at the same point (measured from point *B*, defined as zero-strain).

A1.3 In the case of a material that does not exhibit any linear region (Fig. A1.2), the same kind of toe correction of the zero-strain point can be made by constructing a tangent to the maximum slope at the inflection point (*H'*). This is extended to intersect the strain axis at point *B'*, the corrected zero-strain point. Using point *B'* as zero strain, the stress at any point (*G'*) on the curve can be divided by the strain at that point to obtain a secant modulus (slope of line *B'G'*). For those materials with no linear region, any attempt to use the tangent through the inflection point as a basis for determination of an offset yield point may result in unacceptable error.



NOTE 1—Some chart recorders plot the mirror image of this graph.
FIG. A1.2 Material with No Hookean Region

A2. DETERMINATION OF TENSILE ENERGY TO BREAK

A2.1 Tensile energy to break (TEB) is defined by the area under the stress-strain curve, or

$$TEB = \int_0^{\epsilon_T} S \, d\epsilon \tag{A2.1}$$

where S is the stress at any strain, ϵ , and ϵ_T is the strain at rupture. The value is in units of energy per unit volume of the specimen's initial gage region. TEB is most conveniently and accurately measured with a tension tester equipped with an integrator. The calculation is then:

$$TEB = \frac{I/K}{\frac{(\text{full scale load}) (\text{chart speed}) (\text{crosshead speed/chart speed})}{(\text{mean caliper}) (\text{specimen width}) (\text{gage length})}} \tag{A2.2}$$

where I is the integrator count reading and K is the maximum possible count per unit time for a constant full scale load. This whole calculation is typically done electronically. The results are best expressed in megajoules per cubic metre (or inch-pounds-force per cubic inch).

A2.2 Without an integrator, the area under the recorded stress-strain curve can be measured by planimeter, counting

squares, or weighing the cut-out curve. These techniques are time-consuming and likely to be less accurate, since the load scale on some chart paper is not in round-number dimensions. Moreover, if the curve coordinates are in terms of force and extension instead of stress and strain, the calculated energy, corresponding to the measured area, must be divided by the product of gage length, specimen width, and mean caliper:

$$TEB = \frac{(\text{curve area}) (\text{force per unit chart scale})}{(\text{extension per unit chart travel}) (\text{mean caliper}) (\text{specimen width}) (\text{gage length})} \tag{A2.3}$$

A2.3 For example, if the area under a force-extension curve is 60 000 mm², the load coordinate is 2.0 N/mm of chart scale, the extension coordinate is 0.25 mm of extension per mm of chart travel, and the specimen dimensions are 0.1 mm caliper, 15 mm width and 100 mm gage length, then the calculation for tensile energy to break is:

$$TEB = \frac{(60\,000 \text{ mm}^2) (2.0 \text{ N/mm}) (0.25 \times 10^{-3} \text{ m/mm})}{(0.1 \times 10^{-3} \text{ m}) (15 \times 10^{-3} \text{ m}) (100 \times 10^{-3} \text{ m})} \tag{A2.4}$$

$$TEB = 200 \text{ MJ/m}^3$$



D 882

SUMMARY OF CHANGES

This section identifies the location of selected changes to this test method. For the convenience of the user, Committee D20 has highlighted those changes that may impact the use of this test method. This section may also include descriptions of the changes or reasons for the changes, or both.

D 882 – 02:

(1) Revised 7.1 and 7.2.

D 882 – 01:

(1) Section 5.5 rewritten.

(2) Note 6 deleted.

(3) Added Practice D 6287 to Referenced Documents section.

D 882 – 00:

(1) Added 11.1.

D 882 – 97:

(1) Note 3 rewritten and moved.

(2) ISO equivalency statement changed in Note 4.

(3) ISO reference changed in 2.2.

(4) Apparatus section (Section 5) rewritten.

(5) Table 1 deleted. Table 2 renumbered as Table 1.

(6) Sections 10.3 and 10.4 rewritten.

(7) Note 13 deleted. New Note 12 added.

ASTM International takes no position respecting the validity of any patent rights asserted in connection with any item mentioned in this standard. Users of this standard are expressly advised that determination of the validity of any such patent rights, and the risk of infringement of such rights, are entirely their own responsibility.

This standard is subject to revision at any time by the responsible technical committee and must be reviewed every five years and if not revised, either reapproved or withdrawn. Your comments are invited either for revision of this standard or for additional standards and should be addressed to ASTM International Headquarters. Your comments will receive careful consideration at a meeting of the responsible technical committee, which you may attend. If you feel that your comments have not received a fair hearing you should make your views known to the ASTM Committee on Standards, at the address shown below.

This standard is copyrighted by ASTM International, 100 Barr Harbor Drive, PO Box C700, West Conshohocken, PA 19428-2959, United States. Individual reprints (single or multiple copies) of this standard may be obtained by contacting ASTM at the above address or at 610-832-9585 (phone), 610-832-9555 (fax), or service@astm.org (e-mail); or through the ASTM website (www.astm.org).

Anexo 22: Identificación de bacterias

Identificación de bacterias Gram positivos y Gram negativos: El método de siembra y aislamiento se basa, según (Francisco, 2009) en el cual se usa la tinción Gram, para determinar bacterias Gram positivas y Gram negativas.

- Verter una gota de agua destilada sobre un porta objeto, por medio del asa de siembra previamente esterilizada.
- Tomar la muestra de una colonia de las placas Petri por medio del asa de siembra.
- Extender la colonia en el porta objeto y luego se pasó levemente el porta objeto por el mechero (2 veces), hasta que este fijo las colonias.

a) Coloración con la tinción Gram:

- Colorear la muestra fija con violeta de Genciana por 1 minuto.
- Lavar con agua destilada y pasar con el Lugol con el fin de penetrar el colorante (30s), volver a lavar con agua destilada para evitar residuos del Lugol.
- Decolorar con el alcohol acetona por (15 s).
- Volver a lavar con agua destilada.
- Finalmente se colorear con fucsina fenicada o safranina por (1 minuto o 2 minutos). Luego se lavar la muestra con un chorro de agua destilada y se dejar secar.

b) Análisis de las muestras:

Llevar las muestras coloreadas al microscopio, enfocadas con el lente N° 10 y posteriormente con el lente N° 100. Con una gota de aceite de inmersión. Estos análisis nos darán el resultado de dos grupos de bacterias tal como dice (Bowen et al., 2014). Las bacterias Gram positivas se colorearán violetas por la violeta de genciana y las Gram negativas de color rojo o rosado por la safranina o fucsina fenicada. Obteniendo una idea general de los principales tipos de microorganismos que podrían ser perjudiciales a las películas elaboradas a partir de almidón de papa modificado por oxidación y glicerina.

Anexo 23: Constancia de traducción

CONSTANCIA

EL QUE SUSCRIBE EL PRESENTE DOCUMENTO, LIC. JAVIER ESPINOZA CÁRDENAS DOCENTE DE IDIOMAS. HACE CONSTAR QUE:

Se ha traducido del idioma español a la lengua quechua Chanka, el resumen de la tesis titulado: **PROPIEDADES MECÁNICAS, FÍSICAS Y CARACTERÍSTICAS MICROBIOLÓGICAS EN PELÍCULAS BIODEGRADABLES OBTENIDAS A PARTIR DE ALMIDÓN MODIFICADO DE PAPA CANCHÁN Y GLICERINA**, para optar el título profesional de Ingeniero Agroindustrial. Dicho trabajo pertenece al bachiller en Ingeniería Agroindustrial Yban Pérez Salcedo, de la escuela Profesional de Ingeniería Agroindustrial de la Universidad Nacional José María Arguedas.

Se emite la presente constancia a petición del interesado.

Andahuaylas 07 de Julio de 2021



UNIVERSIDAD NACIONAL DANIEL ALCIDES CARRION
CENTRO DE IDIOMAS
Lic. Javier Raúl ESPINOZA CÁRDENAS
DOCENTE DE LENGUAS EXTRANJERAS