



UNIVERSIDAD NACIONAL "PEDRO RUIZ GALLO"

**FACULTAD DE INGENIERIA QUIMICA E
INDUSTRIAS ALIMENTARIAS**

ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERIA QUIMICA



TESIS

Efecto del aceite esencial de hierba luisa (*Cymbopogon citratus*) en las propiedades de las películas elaboradas con almidón de semilla de mango (*Mangifera indica L.*)

PARA OPTAR EL TÍTULO PROFESIONAL DE

INGENIERA QUÍMICA

PRESENTADO POR:

Bach.: Yadira Yamileth Bravo Herrera

ASESORA:

Dra. Blanca Margarita Romero Guzmán (0000-0002-9065-0810)

LAMBAYEQUE – PERU

2024



UNIVERSIDAD NACIONAL "PEDRO RUIZ GALLO"

FACULTAD DE INGENIERIA QUIMICA E
INDUSTRIAS ALIMENTARIAS

ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERIA QUIMICA



TESIS

Efecto del aceite esencial de hierba luisa (*Cymbopogon citratus*) en las propiedades de las películas elaboradas con almidón de semilla de mango (*Mangifera indica* L.)

PARA OPTAR EL TÍTULO PROFESIONAL DE

INGENIERA QUÍMICA

Aprobada ante el siguiente jurado:

Dra.. Ysabel Nevado Rojas

Presidente

M.Sc. Manuel Antonio Diaz Paredes

Vocal

M.Sc. Rodolfo Pastor Tineo Huancas

Secretario

Dra. Blanca Margarita Romero Guzmán

Asesora

DEDICATORIA

*A Dios, que me ha dado
la vida y la fuerza para
culminar este proyecto
de vida.*

*A mis abuelos, Juan Bravo y Yolanda Chavarri
a mis padres, Paco Bravo y Violeta Herrera
por motivarme a seguir adelante;
especialmente a mi **madre** Mery pues fue
la base principal para la construcción de mi
vida profesional, sentó en mí las bases
de responsabilidad y deseos de superación.*

*A mis adoradas hijas Cristhina y Julieth;
esta tesis es un testimonio de mi amor
incondicional por ustedes y mi deseo
de dejar un legado positivo para su futuro.
A mis amigas y a todas aquellas personas que
de una u otra manera han contribuido
para el logro de mis objetivos.*

AGRADECIMIENTO

A mi casa de estudios la *Universidad Nacional Pedro Ruiz Gallo*, quien me ha dado la oportunidad de conocer, explorar e incrementar mis conocimientos, competencias y herramientas para volverme la mejor profesional posible.

A mi asesora *Dra. Blanca M. Romero Guzmán*, por su apoyo invaluable en el desarrollo del proyecto. Su experiencia y orientación fueron fundamentales para llevar a cabo un trabajo de calidad.

A mi co – asesora *Dra. Noemí León Roque*, por enseñarme cómo ser un mejor investigador. Por ello, mi agradecimiento hacia usted es sincero y profundo.

Un especial agradecimiento al *Dr. Davy Hidalgo Chávez*, quien ha sido una pieza clave en mi éxito académico, por lo que le estoy eternamente agradecido por su tiempo, dedicación y apoyo en este proyecto.

A los doctores. *Guillermo Ruiz Reyes* y *Raúl Siche Jara*, docentes de la Universidad Nacional de Trujillo; por el apoyo brindado en la presente investigación.

RESUMEN

La presente investigación se planteó como una necesidad para solucionar el problema de los plásticos derivados del petróleo, con los objetivos de extraer y caracterizar el almidón de la semilla de mango (*Mangifera indica L.*) y el aceite esencial de la hierba luisa (*Cymbopogon citratus*); elaborar películas con almidón, glicerol, aceite esencial de hierba luisa y agua; determinar la concentración óptima de aceite esencial de hierba luisa mediante la variable respuesta (solubilidad, permeabilidad al vapor de agua, elongación y actividad antimicrobiana), y determinar el efecto de la concentración del aceite esencial de hierba luisa en las propiedades de las películas elaboradas, para lo cual el almidón se caracterizó por espectroscopía infrarroja por transformada de Fourier (FTIR) y al aceite, su composición química por cromatografía de gases acoplado a masas. En la formulación de las películas se aplicó el diseño de mezclas con restricciones, 12 tratamientos y 4 puntos centrales estudiando dos controles B1 y B2 sin aceite esencial. La función de deseabilidad se utilizó para optimizar la formulación de la película, obteniendo el tratamiento ideal con las proporciones: almidón (3,30%), glicerol (2,80%), aceite esencial (0,10%) y agua (93,80%). El aceite esencial (0,10-0,50%) agregado a las películas de almidón no tuvo efecto en las propiedades de solubilidad, elongación, permeabilidad al vapor de agua, pero mostró actividad antimicrobiana frente a los patógenos evaluados, siendo el *Staphylococcus aureus* el más sensible y *Escherichia coli* el más resistente.

Palabras claves: residuos, almidón, deseabilidad, optimización, espectroscopía.

ABSTRACT

The present research was proposed as a need to solve the problem of petroleum-derived plastics, with the aims of extracting and characterizing starch from mango seed (*Mangifera indica* L.) and the essential oil of lemon verbena (*Cymbopogon citratus*); to elaborate films with starch, glycerol, lemon verbena essential oil and water; determine the optimal concentration of lemon verbena essential oil by means of the response variable (solubility, water vapor permeability, elongation and antimicrobial activity), and determine the effect of the concentration of lemon verbena essential oil on the properties of the films produced, for which the starch was characterized by Fourier transform infrared spectroscopy (FTIR) and the oil, its chemical composition by gas chromatography coupled to mass. In the formulation of the films, the design of mixtures with restrictions, 12 treatments and 4 central points was applied, studying two controls B1 and B2 without essential oil. The desirability function was used to optimize the film formulation, obtaining the ideal treatment with the proportions: starch (3.30%), glycerol (2.80%), essential oil (0.10%) and water (93.80%). The essential oil (0.10-0.50%) added to the starch films had no effect on the properties of solubility, elongation, water vapor permeability, but showed antimicrobial activity against the pathogens evaluated, being *Staphylococcus aureus* the most sensitive and *Escherichia coli* the most resistant.

Key words: residues, starch, desirability, optimization, spectroscopy.

INDICE

I.	INTRODUCCION	11
II.	MARCO TEORICO	12
2.1.	ANTECEDENTES	12
2.2.	BASE TEORICA.....	13
2.2.1.	Biopelícula.....	13
2.2.2.	El mango.....	17
2.2.3.	Propiedades de las películas	19
2.2.4.	Factores.....	19
III.	MARCO METODOLOGICO	21
3.1.	Lugar de ejecución de la Investigación	21
3.2.	Población y muestra.....	21
3.3.	Tipo de investigación.....	21
3.3.1.	Para la obtención de almidón y aceite esencial	21
3.3.2.	Preparación de películas	21
3.4.	Técnicas, equipos y materiales	22
3.4.1.	Equipos	22
3.4.2.	Reactivos.....	22
3.5.	Método de análisis	23
3.5.1.	Análisis físico	23
3.5.2.	Extracción de almidón	23

3.5.3.	Extracción del aceite esencial	25
3.5.4.	Elaboración de películas	25
3.6.	Análisis estadístico de los datos	28
3.6.1.	Optimización de la formulación de películas	29
IV.	RESULTADOS Y DISCUSIONES	30
4.1.	Caracterización de la almendra de la semilla de mango variedad criollo.....	30
4.1.1.	Identificación de taninos en la almendra de mango: método cualitativo:	30
4.2.	Caracterización del almidón de la almendra de semilla de mango.....	31
4.3.	Caracterización del aceite esencial de hierba luisa.....	35
4.4.	Caracterización de películas	36
4.5.	Análisis estadístico	43
4.5.1.	Modelos matemáticos de mezclas	45
4.5.2.	Optimización de las películas	49
V.	CONCLUSIONES	50
VI.	RECOMENDACIONES	51
VII.	BIBLIOGRAFIA.....	52
VIII.	ANEXOS.....	63

INDICE DE TABLAS

Tabla 1 Porcentaje de amilosa presente en algunos almidones	18
Tabla 2 Tratamientos según el Diseño de Mezclas Simplex Centroide con Restricciones	25
Tabla 3 Peso del mango criollo y sus residuos	30
Tabla 4 Rendimiento de almidón.....	32
Tabla 5 pH del almidón	33
Tabla 6 Amilosa en el almidón.....	34
Tabla 7 Densidad del aceite esencial de hierba luisa.....	35
Tabla 8 Espesor de películas “control” y según tratamiento	37
Tabla 9 Propiedades de las películas sin tratamiento	38
Tabla 10 Propiedades de las películas según tratamiento.....	39
Tabla 11 Análisis de varianza (ANOVA) de las propiedades de las películas de almidón de semilla de mango criollo.....	44

INDICE DE FIGURAS

Figura 1	Estructura de la amilosa	10
Figura 2	Estructura de la amilopectina.....	14
Figura 3	Estructura del citral: (a) geranial, (b) neral	17
Figura 4	Mango criollo y sus partes	18
Figura 5	Almidón de almendra de mango criollo.....	31
Figura 6.	Análisis cualitativo para determinación de almidón	31
Figura 7	Espectro (FTIR - ATR) del almidón de la almendra de mango criollo	35
Figura 8	Aceite esencial de hierba luisa	35
Figura 9	Películas control.....	38
Figura 10	Películas con mayor solubilidad	41
Figura 11	Película con mayor elongación.....	42
Figura 12	Diagrama de Pareto para la respuesta de solubilidad	45
Figura 13	Gráfico de contorno y superficie de respuesta para la solubilidad en función del almidón (g) y glicerol (ml) fijando el agua 91,5%.	46
Figura 14	Diagrama de Pareto para la respuesta de elongación	47
Figura 15	Gráfico de contorno y superficie de respuesta para la elongación en función del almidón (g) y glicerol (ml), fijando el agua a 91,5%	48
Figura 16	Gráfico de deseabilidad para la optimización de películas.....	49
Figura 17	Extracción de almidón de la semilla de mango.....	64
Figura 18	Cromatograma del aceite esencial de hierba luisa.....	64
Figura 19	Actividad antimicrobiana de las películas T4 y T8.....	65

I. INTRODUCCION

Actualmente el uso de plásticos representa una amenaza ambiental por el tiempo que demora su degradación y la dificultad para reciclarlos. Una de las alternativas a esta problemática son las películas y recubrimientos biodegradables mediante el aprovechamiento de residuos, que permitirá valorar los subproductos para la obtención de biopelículas de diversas fuentes vegetales como el almidón de yuca, almidón de semilla de mango entre otros.

La Región Lambayeque, presenta una alta producción de mango criollo, que por ser una fruta pequeña y tener una semilla grande no es apreciado para la exportación por lo que es destinado a los mercados locales y regionales para consumo directo, así como también algunas pequeñas empresas obtienen jugos de esta fruta, y los residuos como cáscaras y semillas son desechados sin el tratamiento adecuado y se convierten en una fuente de contaminación.

La utilización de estos subproductos reducirá el efecto de contaminación al medio ambiental generando un producto con valor agregado como las biopelículas, estas al llevar incorporando aceites esenciales de diversas plantas que además de mejorar sus propiedades presentan propiedades antifúngicas, antibacterianas, antivirales, antioxidantes que mejoran las características de los recubrimientos o películas comestibles (Vázquez-Briones et al., 2017).

El presente estudio plantea extraer almidón de almendra de mango criollo producido en la región Lambayeque para la elaboración de las películas biodegradables al cual se incorporará aceite esencial de hierba luisa por sus propiedades que estas presentan y evaluar su efecto en las propiedades de las películas de almidón de semilla de mango criollo.

Planteando la siguiente pregunta ¿Cómo influye la concentración del aceite esencial de hierba luisa en las propiedades físicas, mecánicas y funcionales de películas de almidón de almendra de mango criollo?. cuyo objetivo fue determinar el efecto de la concentración del aceite esencial de hierba luisa en las propiedades de las películas elaboradas con almidón de almendra de mango criollo. Este estudio sirve como base para otros más específicos que se deseen plantear, orientados a tratar de resolver la problemática de los plásticos derivados del petróleo mediante el aprovechamiento de residuos de frutas y vegetales.

II. MARCO TEORICO

2.1. ANTECEDENTES

Yadav et al. (2022) evaluó el efecto de recubrimientos comestibles utilizando almidón de almendra de mango de la variedad totapuri de India, con esencia de hierba luisa, se evaluó las características postcosecha y vida útil de fruta de guayaba durante el período de almacenamiento (9 días) a $23 \pm 2^{\circ}\text{C}$, considerando al aceite esencial de hierba luisa una alternativa a los fungicidas.

Argueta Miranda y Trujillo Rivera (2019) desarrollaron y caracterizaron biopelículas mediante el uso de almidón de plátano verde y como inhibidor microbiano para conservar fresas empacadas utilizaron aceite esencial de orégano. Los resultados mostraron que la presencia de aceite esencial aumentó la permeabilidad de la biopelícula.

Sarifuddin et al. (2018) elaboraron películas de almidón de almendra de mango, glicerol y aceite esencial de orégano, mediante el método de casting, señalando que las películas de almidón de almendra de mango con 0,4% en peso de aceite esencial de orégano mostró una pérdida de peso mínima durante la prueba de biodegradación en el suelo después del tercer día, confirmando así la función antimicrobiana del aceite esencial.

Nawab et al. (2016) elaboraron biopelículas con almidón de semilla de mango y glicerol como plastificante, obteniendo películas con mejores propiedades físicas y mecánicas.

2.2. BASE TEORICA

2.2.1. Biopelícula

Son películas finas hechas de materiales renovables, como lípidos, proteínas y polisacáridos o mezcla entre ellos. Se utilizan como revestimientos en industrias de envasado para proteger de daños físicos y biológicos, prolongar su vida útil, así como reducir el impacto ambiental de los plásticos sintéticos (Thakur *et al.*, 2016).

Componentes de una biopelícula

Las películas obtenidas de almidón tienen propiedades físicas análogas a las de los polímeros sintéticos: inodoras, transparentes, insípidas, semipermeables al dióxido de carbono y resistentes al paso del oxígeno, así como buenas propiedades mecánicas (Mederos *et al.*, 2020).

2.2.1.1. Almidón

Es una fuente de carbohidrato producido por las plantas para la acumulación de energía y reserva de nutrientes (Vanier *et al.*, 2017). Además de otros componentes (lípidos, proteínas y minerales), la mayoría de los almidones contienen entre un 18 – 30% de amilosa y entre un 70 - 82% de amilopectina (Martins *et al.*, 2022).

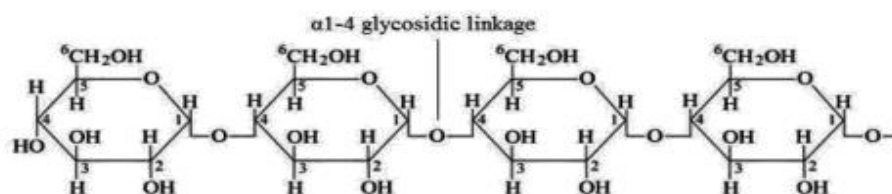
Amilosa

Se caracteriza por su estructura lineal con enlaces glucosídicos α (1-4) y constituye del 15–35% de gránulos de almidón (ver Figura 1), e insoluble en agua (Criollo Feijoo, 2019). La amilosa permite obtener geles con una mayor viscosidad, solubilidad y claridad

(Espinoza Arroyo y Sevich Ruiz, 2019) además de películas fuertes, flexibles, estables y mejorar sus propiedades mecánicas (Pérez López, 2021).

Figura 1

Estructura de la amilosa



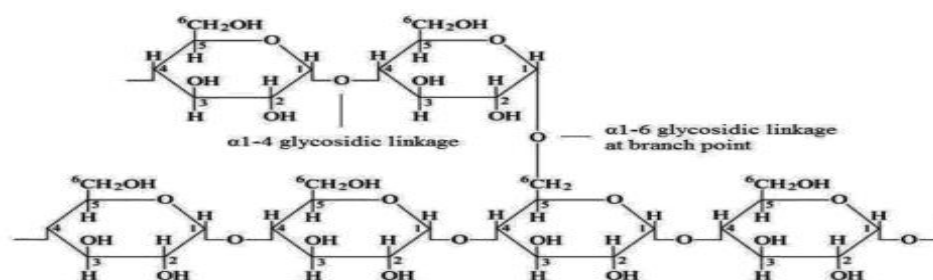
Nota. Adaptado de Physical and Chemical Modifications in Starch Structure and Reactivity por Nawaz et al. (2020). IntechOpen

Amilopectina

Polímero altamente ramificado de unidades de glucopiranososa constituida por 94 a 96% por enlaces α (1-4), unidos por ramas de glucopiranososa con enlaces α (1-6) (Figura 2) (Criollo Feijoo, 2019).

Figura 2

Estructura de la amilopectina



Nota. Adaptado de Physical and Chemical Modifications in Starch Structure and Reactivity por Nawaz et al. (2020). IntechOpen

Propiedades físico químicas del almidón

Hinchamiento: es la capacidad de retención de agua del almidón se expresa como “poder de hinchamiento” e “índice de solubilidad”. La estructura cristalina del almidón cambia bajo la influencia de altas temperaturas, lo que resulta en la formación de enlaces de hidrógeno entre el agua y moléculas de amilosa-amilopectina (Zhu & Xie, 2018).

Gelatinización: Al hincharse los gránulos de almidón pierden su estructura semicristalina al ser calentados a una determinada temperatura con suficiente agua, esencial para aplicaciones alimenticias y no alimenticias. Generalmente, la temperatura de gelatinización de la mayoría de almidones oscila entre 60° y 80°C, sin embargo, se ve afectada por factores como la estructura molecular, los componentes menores y el entorno de crecimiento del cultivo (Zhu & Xie, 2018).

Retrogradación: es un fenómeno en el que el almidón gelatinizado reorganiza su estructura y se recristaliza parcialmente durante el almacenamiento. El factor más importante que explica por qué ocurre esto es la relación amilosa/amilopectina ya que la amilosa se reasocia con mayor rapidez que la amilopectina (Zhu & Xie, 2018).

La concentración de la amilosa y amilopectina influye en las propiedades físicas y funcionales del almidón. Almidón con bajo contenido de amilopectina gelifica más rápido en relación a amilosa. Almidones con mayor contenido de amilosa forman geles más duros y rígidos y películas fuertes, mientras que los almidones con alto contenido de amilopectina se dispersan fácilmente en agua y forman geles blandos y películas débiles (Nawaz *et al.*, 2020).

2.2.1.2. Plastificante

Los plastificantes son necesarios para disminuir la fragilidad e incrementar la flexibilidad de las biopelículas (Sondari *et al.*, 2019). Los más usados son el glicerol y sorbitol (Mederos *et al.*, 2020).

Glicerol

Llamada glicerina $C_3H_8O_3$, es un compuesto químico viscoso, inodoro, incoloro y soluble en agua (Guaña *et al.*, 2022). Se utilizan para optimizar las propiedades mecánicas de las películas, así como su transparencia. Los grupos hidroxilo presentes en la configuración del glicerol, dan a la película una estructura con mayor flexibilidad ya que participan en interacciones dentro de la cadena polimérica (Sondari *et al.*, 2019).

2.2.1.3. Agentes antimicrobianos

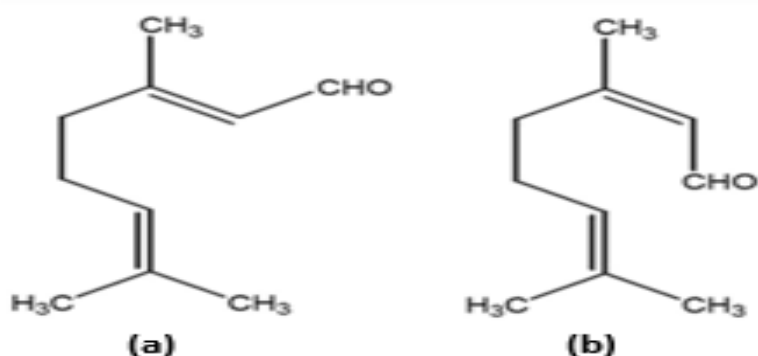
Previenen reacciones de degradación y oxidación de los alimentos con la finalidad de incrementar la duración del producto. Los aceites esenciales según su composición química aportan propiedades antimicrobianas y antioxidantes a las películas, según el tipo de microorganismo utilizado (Atarés y Chiralt, 2016; Montes *et al.*, 2017).

Aceite esencial de hierba luisa (*Cymbopogon Citratus*)

“Se obtiene de las hojas de la planta mediante hidrodestilación. Entre sus componentes tenemos el citral monoterpene, conformado por dos isómeros geométricos α -citral (geranial) y β -citral (neral), con una concentración de 67,49% y el p-mirceno, con una composición de 14,23%” (Alam *et al.*, 2018).

Figura 3

Estructura del citral: (a) geranial, (b) neral



Nota. Adaptado de “In vitro DNA binding studies of therapeutic and prophylactic drug citral” (p.48), por Alam et al. (2018), International Journal of Biological Macromolecules, 113.

2.2.2. El mango

Pertenece al género *Mangifera*, que consta de numerosas especies de frutas tropicales de la familia *Anacardiaceae*. Constituido por cáscara, pulpa y semilla, es de color amarillo anaranjado cuando está maduro, con sabor agradable y dulce (Lauricella *et al.*, 2017). Dependiendo de la variedad su peso varía de 100 a 800 gramos (Carranza Veliz, 2022). Las variedades cultivadas en Perú son: Edward, Kent, Haden, Tommy Atkins y Criollo. Su procesamiento industrial genera entre el 35 a 60% de residuos (Sánchez-Mesa *et al.*, 2020, Braga *et al.*, 2016). La cáscara representa del 15 al 20% y las semillas (incluida la almendra) representan entre el 20 al 45% del peso fresco del fruto entero según el genotipo (Serna-Cock *et al.*, 2016).

“Diversas propiedades de los almidones de almendra de mango son comparables con los almidones obtenidos del maíz, el trigo, el arroz y la papa) y podrían utilizarse eficazmente como fuente de almidón” (Nawab *et al.*, 2016, p.2).

La Tabla 1, muestra las diferentes fuentes de almidón y su contenido de amilosa.

Tabla 1

Amilosa presente en almidón de algunas especies

Almidón	Amilosa (%)	Referencias
Almendra de mango de Pakistán	15,20	Nawab et al., 2016
Papa	26,10	Meza Ramos (2016)
Arroz	14,20	
Yuca	12,60	Benelli et al., 2019
Maíz	16,60	

2.2.2.1. Mango criollo

Es un fruto de textura fibrosa y pulpa dulce, proviene de las provincias del norte peruano (Lambayeque y Piura). “La temporada de cosecha abarca de enero a marzo, y con un peso entre 100 a 330 gr.” (Carranza Veliz, 2022).

“La semilla de mango criollo representa alrededor del 14,0 % del peso total del fruto, la almendra que se extrae de la semilla entre el 7,40 - 8,57%” (León-Roque *et al.*, 2023; Correa *et al.*, 2019) y es rica en carbohidrato (69,78 - 80,51%), grasa (2,10 - 3,20%), fibra (2,75 - 4,50%), proteína (3,99 - 11,17%), tanino (0,6164%) y fuente de almidón (Correa *et al.*, 2019; Nawab *et al.*, 2016).

Figura 4

Mango criollo y sus partes



Nota. a) fruto b) endocarpio con almendra.

2.2.3. Propiedades de las películas

2.2.3.1. Propiedades físicas

- **Espesor:** Es el grosor de la película.
- **Humedad:** Es la relación entre el peso de agua que contiene la muestra en su estado natural y su peso después del secado en estufa a 105°C - 110°C.
- **Solubilidad:** Es la relación entre el peso inicial y final de una muestra después de la inmersión en agua destilada (Andrade *et al.*, 2016).

2.2.3.2. Propiedades mecánicas

- **Elongación:** Es el porcentaje de variación de la longitud inicial de la película hasta que se rompe (Garde Izquierdo, 2014).

2.2.3.3. Propiedades de barrera

- **Permeabilidad al vapor de agua:** Es la cantidad de vapor (g) que atraviesa la superficie (A) de una película de espesor unitario (e) por unidad de tiempo (t), cuando entre sus caras existe una diferencia de presión (ΔP) (Huaracha Canaza, 2016). Los materiales altamente permeables como las películas de almidón son adecuados para embalajes de vegetales frescos, mientras que los materiales poco permeables son más adecuados en productos deshidratados (Sánchez Calancha y Valdez Dávila, 2019).

2.2.4. Factores

2.2.4.1. Espesor

“Las propiedades de barrera de las películas varían con el espesor de las mismas, ya que el espesor determina la distancia que el vapor de agua y gases debe recorrer para difundir de un lado a otro de la película” (Escobar Guadarrama, 2020, p.25).

2.2.4.2. *Plastificante*

Según Escobar Guadarrama (2020), los plastificantes “Interfieren en las uniones entre las cadenas del polímero reduciendo así su cohesión, aumentando la flexibilidad, elasticidad y permeabilidad de la película” (p.25).

2.2.4.3. *Temperatura durante el secado*

“La temperatura modifica la capacidad de las películas para absorber agua lo que afecta las propiedades mecánicas y de barrera de las mismas” (Escobar Guadarrama, 2020, p.26).

III. MARCO METODOLOGICO

3.1. Lugar de ejecución de la Investigación

Laboratorio de Investigación y Servicios Técnicos de la Facultad de Ingeniería Química e Industrias Alimentarias - Universidad Nacional Pedro Ruiz Gallo.

3.2. Población y muestra

- **Población**

Mangos maduros (*Mangifera indica L.*) variedad criollo y hojas de hierba luisa (*Cymbopogon citratus*) fueron adquiridos en el mercado mayorista Moshoqueque, distrito de José Leonardo Ortiz- Chiclayo.

- **Muestras**

72 semillas de mango de las cuales se extrajeron las almendras.

10 kilos de hojas de Hierba luisa.

3.3. Tipo de investigación

3.3.1. Para la obtención de almidón y aceite esencial

Descriptivo

3.3.2. Preparación de películas

Diseño experimental

3.4. Técnicas, equipos y materiales

3.4.1. Equipos

Micrómetro digital (Marca: Baxlo)

Agitador magnético (Marca: Velp scientifica)

Estufa (Marca: Binder)

Balanza analítica de $220 \pm 0,0001$ g de precisión (marca: Ohaus, modelo: AX224)

Licuadaora (Marca: Oster)

Desecador (marca: Lab Companion)

Tamizador N°50 (300 μm), N°100 (150 μm) y N° 200 (75 μm) (Marca:Tyler)

Analizador de textura de doble columna (Marca:Stable Micro Systems,modelo:TA.HD)

Termómetro digital

FTIR – ATR (Marca: Perkin Elmer)

3.4.2. Reactivos

Agua destilada, bisulfito de sodio (NaHSO_3), Lugol, glicerina.

• Materiales

Micropipetas de 100 μl

Placas Petri

Vasos de precipitado de 100, 500 y 1000 ml

Cuchillo (marca: Selika)

Bolsas herméticas para alimentos

Luna de reloj

Probeta de 5 y 100ml

Pipeta de 1ml

Tubos de Hemólisis

3.5. Método de análisis

3.5.1. Análisis físico

De la semilla, se separó el endocarpio y la almendra, expresándolo ésta última en porcentaje (%).

- **Identificación de taninos en la almendra de mango: Método cualitativo**

Se siguió el método de Ramos Briceño y Forero Castañeda (2016). A 1ml de los extractos (acuoso, etanólico) de la almendra de mango, se añadió unas gotas de solución de FeCl_3 , la presencia de color negro azulado indica positivo para taninos.

3.5.2. Extracción de almidón

Se extrajo de las semillas de mango de acuerdo a la metodología descrita por Cordeiro et al. (2014), con algunas modificaciones. Se colocaron 20 semillas en un recipiente de 1 litro con una solución de NaHSO_3 al 0,5% (p/v) a 20°C/24 horas, luego se lavaron y molieron en una licuadora durante 5 minutos con 250 ml de agua destilada. Se filtró con tela filtrante y se dejó durante 24 horas para permitir que sedimentara el almidón Figura 17 (Anexo A), seguido de lavado con agua destilada (3 veces) cada 24 horas. Por último, el almidón se secó en una estufa 37°C/24 horas, se pasó a través de un tamiz N° 200 (75µm) y se almacenó para su uso posterior.

3.5.2.1. Caracterización del almidón

- **Prueba de identificación**

La identificación del almidón se realizó con gotas del reactivo de Lugol, si es positivo la coloración es azul (NMX-F-374-1983).

- **Rendimiento**

Con referencia a la materia prima al 100%

- **Humedad del almidón**

Se utilizó el método de la AOAC.925.10 - 2016. Se pesó 2 g de almidón en luna de reloj y se llevó a 130°C/1 hora en estufa. El porcentaje de humedad fue calculada usando la siguiente ecuación.

$$H(\%) = \left(\frac{W_2 - W_3}{W_2 - W_1} \right) \times 100 \dots\dots\dots (Ec. 1)$$

Peso de la luna de reloj = W1

Peso de almidón + luna de reloj = W2

Peso almidón después de secado + luna de reloj = W3

- **Medición de pH**

Se usó la metodología reportada por Patil et al. (2014). En un vaso de precipitados se mezclaron 5g de muestra con 20 ml de agua destilada, se agitó por 5 minutos permitiendo que el almidón se asiente. El pH de la fase acuosa se midió utilizando un medidor de pH calibrado por triplicado (Sonthalia, 2015).

- **Determinación del contenido de amilosa**

Se siguió la metodología de Hoover y Ratnayake (2001) mediante el método espectrofotométrico, empleándose una curva de calibración de amilosa, en la muestra de almidón resultante de un desgrasado preliminar con etanol al 96% por 10 horas.

- **Identificación de grupos funcionales (FTIR)**

Se realizó mediante espectroscopía infrarroja por transformada de Fourier.

3.5.3. Extracción del aceite esencial

Se realizó mediante la técnica de hidrodestilación, 10 kg de hojas de hierba luisa (*Cymbopogon citratus*), se mezclaron con agua en una proporción de agua: materia prima (1:6). El aceite esencial se colocó en un recipiente color ámbar a 4°C para evitar su degradación.

3.5.3.1. Caracterización fisicoquímica del aceite esencial de hierba luisa

- **Organolépticas**

Color, olor.

- **Densidad**

Se determinó mediante Norma Técnica Peruana NTP-ISO 279.

- **Composición química**

Se realizó por cromatografía de gases acoplado a masas.

3.5.4. Elaboración de películas

La preparación de las películas se hizo de acuerdo al método de casting o vaciado en caja (Arrieta *et al.*, 2013), mediante el diseño de mezclas con restricciones, que incluye 12 tratamientos con 4 puntos centrales (Tabla 2). Preliminarmente se prepararon películas control (B1 y B2), y posteriormente con tratamientos disolviendo almidón (3,4, 5 g) en la

cantidad de agua destilada indicada. Las suspensiones se agitaron a 550 rpm (agitador magnético, marca: Velp Scientifica) por 30 min, luego calentados a 90 °C por 30 min, al término del cual se adicionó glicerol (1-3ml) gota a gota durante 10 min con agitación continua a 1000 rpm hasta disolución completa. Finalmente se añadió aceite esencial de hierba luisa(0,1-0,5ml). Las soluciones(100ml) se mantuvieron a 25°C durante 10 min, luego fueron colocadas en molde de silicona de 18 cm de diámetro y se secaron en una estufa (marca: Binder) por 37°C/24 h.

Tabla 2

Tratamientos según el Diseño de Mezclas Simplex Centroides con Restricciones

Tratamiento	Variables independientes			
	X1 Almidón (%)	X2 Glicerol (%)	X3 A.E (%)	X4 Agua (%)
B1	4,00	2,00	0,00	94,00
B2	5,00	3,00	0,00	92,00
T-1	3,00	1,00	0,10	95,90
T-2	5,00	1,00	0,10	93,90
T-3	3,00	3,00	0,10	93,90
T-4	5,00	3,00	0,10	91,90
T-5	3,00	1,00	0,50	95,50
T-6	5,00	1,00	0,50	93,50
T-7	3,00	3,00	0,50	93,50
T-8	5,00	3,00	0,50	91,50
T-9	4,00	2,00	0,30	93,70
T-10	4,00	2,00	0,30	93,70
T-11	4,00	2,00	0,30	93,70
T-12	4,00	2,00	0,30	93,70

Nota. Aceite Esencial (A.E); Solución filmogénica: almidón (%) en g; glicerol, A.E y agua (%) en ml.

3.5.4.1. Caracterización de películas

- Solubilidad (S)**

Fue determinada siguiendo el método de do Rego et al. (2020) con algunas variaciones. Las películas fueron cortadas en piezas de (2cm x 2cm) y almacenadas en un desecador de silica gel durante siete días, luego pesadas y colocadas en vasos de precipitados

con 50 ml de agua destilada, a 25°C con agitación durante 24h. Terminada la agitación, las piezas de las películas fueron filtradas y secadas en estufa a 80°C. La solubilidad (%) fue calculada usando la siguiente ecuación:

$$S(\%) = \frac{(W_i - W_f)}{W_i} \times 100 \dots\dots\dots (\text{Ec. 2})$$

Donde: W_i es el peso inicial de película y W_f peso final después del secado.

- **Permeabilidad al vapor de agua (WVP)**

Se siguió la metodología descrita por ASTM E 96/ E 96M-10. En frascos de vidrio para esta prueba se colocaron 5g de cloruro de calcio (CaCl_2) previamente desecado a 200°C con piezas de películas de (1,5 x 1,5 cm) y selladas con banda elástica. Se procedió a registrar el peso (frasco + desecante + película) cada hora, y se detuvo hasta que el peso excedió el 10% del peso inicial para B1, B2 y los tratamientos. La permeabilidad se calculó mediante la siguiente ecuación:

$$\text{WPV (g.mm/h.m}^2\text{.Pa)} = \frac{g}{t \cdot A} \cdot \frac{e}{\Delta p} \dots\dots\dots (\text{Ec. 3})$$

donde g es el peso final (g), e espesor de la película (mm), t tiempo (h) registrado al exceder el 10% del peso, A el área de la película (m^2) y Δp en Pascal (presión de vapor del agua a 25°C /HR del ambiente donde se realizó el experimento).

- **Espesor**

Se midió utilizando un micrómetro digital marca Ubermann con una precisión de 0,001 mm. En tres puntos aleatorios de las muestras, se tomaron medidas.

Propiedades mecánicas

- **Elongación (E)**

Los ensayos fueron realizados utilizando un analizador de textura de doble columna (marca: Stable Micro Systems, modelo: TA.HD plus) y siguiendo el método estándar ASTM D882-02. Las películas se cortaron en tiras rectangulares de (10x80 mm), se sujetaron entres dos agarres del texturómetro. La elongación se calculó por la medición de la extensión máxima de la película (D_f) con respecto a la longitud inicial (D_i)

$$E(\%) = \frac{(D_f - D_i)}{D_i} \times 100 \dots\dots\dots(\text{Ec. 4})$$

Actividad antimicrobiana

- **Ensayo de zona de inhibición**

Se desarrolló el estudio antimicrobiano de las películas para reconocer el poder de inhibición utilizando el método seguido por (Villar *et al.*, 2021) contra las bacterias (*Staphylococcus Aureus*) y *Escherichia Coli*). Se preparó un inóculo de cada bacteria transfiriendo cepas puras a tubos de concentración de 10 ml que contenían Mueller Hinton. Se cortaron las películas en tiras de 1,5 x 1,5cm y colocadas asépticamente en placas Petri con agar Mueller Hinton, que contenían las bacterias. Finalmente, se incubaron por 24h a 37 °C, y se evaluó la zona de inhibición de crecimiento (Halos de inhibición) presente en las placas Petri. La presencia de halo de inhibición indica sensibilidad del microorganismo a la película que contiene aceite esencial, y la no presencia de halo de inhibición, resistencia.

3.6. Análisis estadístico de los datos

Los tratamientos de las películas fueron procesados utilizando el análisis de varianza (ANOVA), para lo cual la composición de almidón, glicerol, aceite esencial y agua, no se

consideraron en porcentaje sino en fracción para facilitar la aplicación del software ESTATISTICA v10. Se utilizó los promedios \pm desviación estándar de los controles (B1 y B2) y los tratamientos (T1- T12) así como la prueba de comparación múltiple de medias de Tukey y Dunnet con un nivel significancia de 5% ($p < 0,05$).

3.6.1. Optimización de la formulación de películas

Se llevó a cabo mediante el Diseño de mezclas Simplex Centroide con restricciones, mediante el software ESTATISTICA v10 y los resultados fueron ajustados a un modelo polinómico de segundo orden:

$$Y_n = \beta_0 + \beta_1 X_1 + \beta_2 X_2 + \beta_3 X_3 + \beta_4 X_4 + \beta_{12} X_1 X_2 + \beta_{13} X_1 X_3 + \beta_{14} X_1 X_4 + \beta_{23} X_2 X_3 + \beta_{24} X_2 X_4 + \beta_{34} X_3 X_4 + \beta_{11} X_1^2 + \beta_{22} X_2^2 + \beta_{33} X_3^2 + \beta_{44} X_4^2 + \dots \dots \dots (Ec.5)$$

A partir de allí se consideró los efectos significativos, donde:

Y_i : son las variables dependientes (permeabilidad al vapor de agua, solubilidad, elongación y actividad antimicrobiana)

X_1, X_2, X_3 y X_4 : Variables independientes (almidón (%), glicerol (%), aceite esencial (%) y agua (%))

β_0 es una constante, $\beta_1, \beta_2, \beta_3, \beta_4$ coeficientes de los efectos lineales

$\beta_{12}, \beta_{13}, \beta_{14}, \beta_{23}, \beta_{24}$ y β_{34} : Coeficientes de interacción entre los factores

$\beta_{11}, \beta_{22}, \beta_{33}$ y β_{44} : coeficientes de los efectos cuadráticos

Se consideraron como mejores modelos aquellos con R^2_{adj} más alto y sin falta de ajuste (Lack of Fit). La función de deseabilidad fue utilizada para maximizar la obtención de las mejores condiciones de las variables independientes sobre las propiedades de las películas.

IV. RESULTADOS Y DISCUSIONES

4.1. Caracterización de la almendra de la semilla de mango variedad criollo

La Tabla 3, muestra el peso promedio de la almendra de la semilla, que representa el $(6,32 \pm 0,91 \%)$ del peso total del fruto, valor que difiere de lo reportado por León-Roque et al. (2023) de $(7,4 \pm 0,70\%)$ para la misma variedad.

Tabla 3
Peso del mango criollo y sus residuos

Mango	Peso de fruto (g)	Semilla		Almendra de la semilla	
		Peso(g)	(%)	Peso(g)	(%)
1	169,25	17,40	10,28	11,64	6,88
2	160,51	16,43	10,24	10,81	6,73
3	158,67	17,13	10,80	10,12	6,38
4	163,42	16,62	10,17	9,48	5,80
5	175,85	23,42	13,32	17,23	9,80
6	170,42	19,86	11,65	12,81	7,52
7	165,32	16,39	9,91	10,61	6,42
8	160,31	16,22	10,12	9,36	5,84
9	158,05	16,35	10,34	9,62	6,09
10	170,65	20,82	12,20	12,14	7,11
11	158,66	19,23	12,12	9,15	5,77
12	160,53	16,67	10,38	10,36	6,45
13	170,24	18,63	10,94	9,17	5,39
14	162,75	18,77	11,53	10,46	6,43
15	159,76	16,33	10,22	11,01	6,89
16	160,41	16,67	10,39	9,98	6,22
17	154,28	16,19	10,49	9,79	6,35
18	163,25	16,03	9,82	10,62	6,51
19	169,25	17,15	10,13	10,73	6,34
20	158,42	16,69	10,54	10,91	6,89
\bar{x}	163,50	17,65	10,78	10,80	6,32
σ	5,65	1,93	0,92	1,79	0,91

4.1.1. Identificación de taninos en la almendra de mango: método cualitativo:

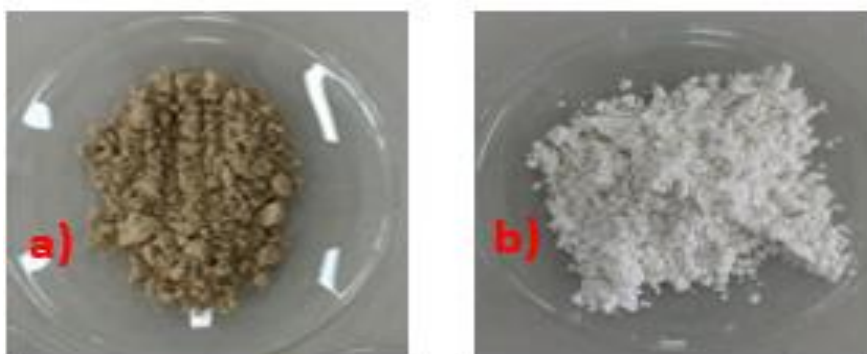
Extracto acuoso y etanólico de la almendra de mango + FeCl_3 = coloración azul (presencia de taninos).

4.2. Caracterización del almidón de la almendra de semilla de mango

La Figura 5, muestra el almidón obtenido. La coloración del almidón es un criterio importante de calidad. Para una mayor aceptabilidad, el almidón debe estar libre de coloraciones (Figura 5b).

Figura 5

Almidón de la almendra de mango criollo.



Nota. a) almidón con taninos, b) almidón sin taninos

- **Prueba cualitativa con solución de Lugol.**

El almidón en contacto con algunas gotas de reactivo de Lugol, presentó una coloración azul oscuro (Figura 6).

Figura 6

Análisis cualitativo para determinación de almidón



- **Rendimiento del almidón**

La Tabla 4, muestra que la almendra de mango es una buena fuente de almidón (67,3%), comparable a lo reportado por Anticona Cabellos y Torres Diaz (2020) para mango variedad criollo de la Región Lambayeque, Perú (69,50%), Maulida et al. (2018) para mango de Indonesia (43,20%), Nawab et al. (2016) para mango de Pakistán (58%) y Sonthalia (2015) para mangos Hindues, variedades Sindhoori (59,06%), Bagenpalli (48,42%) y Totapuri (47,45%). La materia prima, método de extracción y la composición del suelo son factores que influyen directamente en el rendimiento del proceso de extracción de almidón (Martins *et al.*, 2022).

Tabla 4
Rendimiento de almidón

Método de extracción	Rendimiento (gr / 216gr de almendra)	Porcentaje (%)
Vía húmeda	145,42	67,30

- **Humedad**

El porcentaje de humedad obtenido del almidón fue de 8,70%, valor que está dentro del rango estipulado en la Norma Mexicana NMX-F-382-1986 para almidón o fécula de maíz, cuyo máximo contenido de humedad permitido es de 13% (Contreras *et al.*, 2018) y es comparable, con lo reportado por Nawab et al. (2016) de 8,23%.

- **pH**

La Tabla 5, muestra el pH del almidón obtenido, valor en contraste con lo reportado por Sonthalia (2015) para mango Hindues variedades Sindhoori (4,20), Bagenpalli (4,00) y Totapuri (3,80).

Tabla 5
pH del almidón

Muestra	Lectura
1	6,77
2	6,75
3	6,76
\bar{x}	6,76
σ	0,01

- **Contenido de amilosa**

El resultado en este estudio fue de $26,37 \pm 0,39\%$ (Tabla 6), valores cercanos a lo reportado por Pérez López (2021) de 23,50% en mango de Colombia, Anticona y Torres (2020) de $29,70 \pm 0,20\%$ en mango de Perú, variedad criollo, y de Ferreira et al. (2019) de 25,26%, en mango de Brasil, variedad Tommy Atkins, pero en contraste de lo reportado por Bharti et al. (2019) en mango de tres cultivares indios ($42,13 \pm 0,77\%$ variedad safeda, $43,89 \pm 0,70\%$ variedad causa y $43,56 \pm 0,72\%$ variedad Dusheri); por Maulida et al. (2018) de 14,82% en mango de Medan, Indonesia, por Nawab et al. (2016) de 15,20% en mango de Pakistán, y Gutiérrez et al. (2015) de 32% en mango variedad Alphonso de Venezuela. La mayoría de los almidones tienen un contenido de amilosa entre 18 - 30%, por lo que el valor obtenido ($26,37 \pm 0,39\%$) representa almidones con un contenido de amilosa relativamente alto, tienen mejores propiedades filmógenas debido a que su estructura tiene mayor capacidad de reorganizarse durante el secado. (Martins *et al.*, 2022).

Tabla 6
Amilosa en el almidón

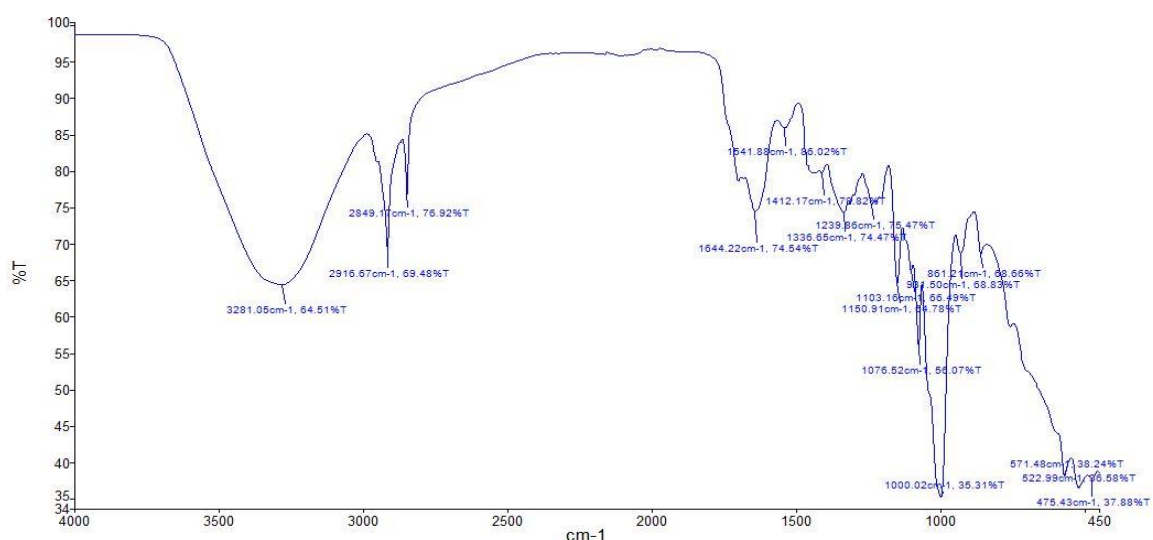
Muestra	Porcentaje (%)
1	26,79
2	26,33
3	25,99
\bar{x}	26,37
σ	0,39

- Identificación de grupos funcionales por FTIR**

En la Figura 7, se observa a 3281 cm^{-1} la presencia del enlace hidrógeno de los grupos OH de la molécula de almidón; a 2916 cm^{-1} y 2848 cm^{-1} el estiramiento del enlace C-H), a 1644 cm^{-1} estiramiento del enlace C=O. Finalmente se observa a 1000 cm^{-1} que se puede atribuir al estiramiento del grupo C-O-H, resultados similares para AAM variedad criollo de Lambayeque, Perú (Anticona Cabellos y Torres Díaz, 2020), Kent del Perú ((Nazario-Naveda *et al.*, 2020), cultivares indios (Bharti *et al.*, 2019) y Azúcar de Colombia (Ortiz Ramírez, 2019).

Figura 7

Espectro (FTIR) del almidón de la almendra de mango criollo.



Nota. 2023

4.3. Caracterización del aceite esencial de hierba luisa

- **Organolépticas**

La figura 8, muestra una coloración amarillo pálido del aceite esencial, apariencia traslúcida y olor a cítrico, acorde con lo obtenido por Quintana Remache (2021).

Figura 8
Aceite esencial de hierba luisa



- **Densidad**

Fue de 0,969g/ml valor cercano a lo reportado, por Quintana Remache (2021).

Tabla 7
Densidad del aceite esencial de hierba luisa

Batch N°	g/ml
1	0,955
2	0,972
3	0,981
\bar{x}	0,969
σ	0,013

- **Composición química**

En la Figura 18 (Anexo B) se observa los mayores contenidos de Geranial (α -citral) 42,40%, Neral (β -citral) 27,89%, metiltridecanoato (24,11%), mientras que lo restante pertenece a compuestos con baja composición. Los valores son comparables a lo reportado por (Mendes *et al.*, 2019) con contenidos de Geranial (35%) y Neral (29%).

4.4. Caracterización de películas

- **Espesor**

En la Tabla 8, se observa que el espesor de las películas varió de $(0,11 \pm 0,01\text{mm}$ a $0,34 \pm 0,05\text{mm})$, resultado comparable a lo obtenido por Shanbhag et al. (2023) para películas comestibles a base de almidón de maíz con un espesor de $(0,18 \pm 0,001\text{mm}$ a $0,38 \pm 0,003\text{mm})$. El espesor de la película es un parámetro importante que influye tanto en las propiedades mecánicas como en la permeabilidad al vapor de agua (Shaikh *et al.*, 2018).

Tabla 8

Espesor de películas “control” y según tratamiento

Tratamiento	Almidón (g)	Glicerol (ml)	A.E (ml)	Agua (ml)	Películas de almidón de semilla de mango	
					Espesor(mm)	
B1	4,00	2,00	0	94,00	0,21	
					0,16	
					0,17	
					\bar{x}	0,18
					σ	0,03
B2	5,00	3,00	0	92,00	0,27	
					0,26	
					0,28	
					\bar{x}	0,27
					σ	0,01
T-1	3,00	1,00	0,10	95,90	0,12	
					0,10	
					0,10	
					\bar{x}	0,11
					σ	0,01
T-2	5,00	1,00	0,10	93,90	0,18	
					0,22	
					0,28	
					\bar{x}	0,23
					σ	0,05
T-3	3,00	3,00	0,10	93,90	0,14	
					0,22	
					0,17	
					\bar{x}	0,18
					σ	0,04
T-4	5,00	3,00	0,10	91,90	0,25	
					0,23	
					0,27	
					\bar{x}	0,25
					σ	0,02
T-5	3,00	1,00	0,50	95,50	0,17	
					0,18	
					0,17	
					\bar{x}	0,18
					σ	0,01

Nota. Películas control (B1 y B2); Aceite Esencial (A.E)

Tratamiento	Almidón (g)	Glicerol (ml)	A.E (ml)	Agua (ml)	Películas de almidón de semilla de mango	
					Espesor(mm)	
T-6	5,00	1,00	0,50	93,50	0,23	
					0,25	
					0,24	
					\bar{x}	0,24
					σ	0,01
T-7	3,00	3,00	0,50	93,50	0,18	
					0,18	
					0,18	
					\bar{x}	0,18
					σ	0,00
T-8	5,00	3,00	0,50	91,50	0,28	
					0,38	
					0,36	
					\bar{x}	0,34
					σ	0,05
T-9	4,00	2,00	0,30	93,70	0,28	
					0,26	
					\bar{x}	0,27
					σ	0,01
						0,32
T-10	4,00	2,00	0,30	93,70	0,29	
					0,24	
					\bar{x}	0,28
					σ	0,04
						0,25
T-11	4,00	2,00	0,30	93,70	0,16	
					0,16	
					\bar{x}	0,19
					σ	0,05
						0,20
T-12	4,00	2,00	0,30	93,70	0,19	
					0,19	
					\bar{x}	0,19
					σ	0,01

- **Propiedades de las películas**

Tabla 9

Propiedades de películas sin tratamiento

Control	Almidón (%)	Glicerol (%)	Agua (%)	Propiedades de Películas de almidón de semilla de mango				
				Solubilidad (%)	Permeabilidad al vapor de agua (g.mm/h.m ² .Pa)	Elongación (%)	Actividad antimicrobiana (diámetro de HI en mm)	
							<i>Escherichia coli</i>	<i>Staphylococcus aureus</i>
B1	4,00	2,00	94,00	36,89	8,78423E-08	19,52	N.H.I	N.H.I
				37,56	9,91658E-08	14,44	N.H.I	N.H.I
				37,92	-	15,34	N.H.I	N.H.I
				\bar{x} 37,46	9,35041E-08	16,43		
				σ 0,52	8,00687E-09	2,71		
				41,98	1,78430E-07	8,34	N.H.I	N.H.I
B2	5,00	3,00	92,00	39,94	2,01763E-07	12,10	N.H.I	N.H.I
				40,95	-	15,04	N.H.I	N.H.I
				\bar{x} 40,96	1,90096E-07	11,83		
				σ 1,20	1,64990E-08	3,36		

Nota. No presenta halo de inhibición (N.H.I), Permeabilidad al vapor de agua se trabajó con dos repeticiones.

Figura 9

Películas control

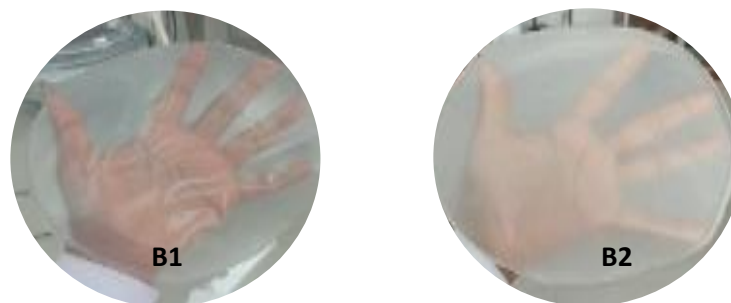


Tabla 10

Propiedades de las películas según tratamiento

Tratamiento	(X1) Almidón (%)	(X2) Glicerol (%)	(X3) A.E (%)	(X4) Agua (%)	Películas de almidón de semilla de mango				
					Solubilidad (%)	Permeabilidad al vapor de agua (gr.mm / h.m ² .Pa)	Elongación (%)	Actividad antimicrobiana (diámetro de HI en mm)	
								<i>Escherichia coli</i>	<i>Estaphylococcus aureus</i>
T-1	3,00	1,00	0,10	95,90	36,69	4,97544E-08	15,04	N.H.I	20,00
					36,29	4,80388E-08	18,60	N.H.I	20,00
					36,89	-	20,80	N.H.I	15,00
					\bar{x} 36,62	4,88966E-08	18,15	-	18,33
					σ 0,31	1,21316E-09	2,91	-	2,89
T-2	5,00	1,00	0,10	93,90	29,22	8,64698E-08	27,84	N.H.I	19,00
					27,13	1,05685E-07	26,24	N.H.I	16,00
					26,15	-	27,90	N.H.I	20,00
					\bar{x} 27,50	9,60776E-08	27,33	-	18,33
					σ 1,57	1,35874E-08	0,94	-	2,08
T-3	3,00	3,00	0,10	93,90	53,51	1,87580E-07	7,70	N.H.I	16,00
					53,59	2,04165E-07	5,80	N.H.I	16,00
					52,49	-	7,58	N.H.I	16,00
					\bar{x} 53,20	1,95872E-07	7,03	-	16,00
					σ 0,62	1,17272E-08	1,06	-	0,00
T-4	5,00	3,00	0,10	91,90	48,01	1,39084E-07	6,80	N.H.I	18,00
					49,40	1,36110E-07	6,90	N.H.I	18,00
					49,55	-	7,34	N.H.I	20,00
					\bar{x} 48,99	1,37597E-07	7,01	-	18,67
					σ 0,85	2,10281E-09	0,29	-	1,15
T-5	3,00	1,00	0,50	95,50	33,20	2,13887E-07	28,46	N.H.I	19,00
					31,84	1,84377E-07	29,60	N.H.I	20,00
					32,53	-	28,98	N.H.I	16,00
					\bar{x} 32,52	1,99132E-07	29,03	-	18,33

					σ	0,68	2,08664E-08	0,81	-	2,08
						25,74	7,20582E-08	19,54	N.H.I	17,00
T-6	5,00	1,00	0,50	93,50		23,12	1,31764E-07	19,98	N.H.I	17,00
						23,39	-	18,86	N.H.I	15,00
					\bar{x}	24,08	1,01911E-07	19,46	-	16,33
					σ	1,44	4,22180E-08	0,56	-	1,15
						47,47	1,63561E-07	7,60	N.H.I	N.H.I
T-7	3,00	3,00	0,50	93,50		48,57	1,51551E-07	6,92	N.H.I	N.H.I
						47,39	-	7,38	N.H.I	N.H.I
					\bar{x}	47,81	1,57556E-07	7,30	-	-
					σ	0,66	8,49214E-09	0,35	-	-
						51,64	1,70995E-07	7,10	N.H.I	18,00
T-8	5,00	3,00	0,50	91,50		50,51	1,99475E-07	8,84	N.H.I	19,00
						51,45	-	8,14	N.H.I	19,00
					\bar{x}	51,20	1,85235E-07	8,03	-	18,67
					σ	0,61	2,01385E-08	0,88	-	0,58
						47,51	4,37496E-07	8,06	N.H.I	16,00
T-9	4,00	2,00	0,30	93,70		48,42	7,09716E-07	6,54	N.H.I	17,00
						46,84	-	7,60	N.H.I	18,00
					\bar{x}	47,59	5,73606E-07	7,40	-	17,00
					σ	0,79	1,92488E-07	0,78	-	1,00
						42,11	2,98527E-07	8,22	N.H.I	16,00
T-10	4,00	2,00	0,30	93,70		42,18	2,00390E-07	9,12	N.H.I	16,00
						40,79	-	6,54	N.H.I	16,00
					\bar{x}	41,69	2,49459E-07	7,96	-	16,00
					σ	0,78	6,93929E-08	1,31	-	0,00
						46,20	1,73740E-07	11,00	N.H.I	16,00
T-11	4,00	2,00	0,30	93,70		45,41	1,70195E-07	9,94	N.H.I	18,00
						44,51	-	8,64	N.H.I	16,00
					\bar{x}	45,37	1,71967E-07	9,86	-	16,67
					σ	0,84	2,50720E-09	1,18	-	1,15
						42,54	2,08626E-07	12,04	N.H.I	17,00
T-12	4,00	2,00	0,30	93,70		41,06	2,08626E-07	9,90	N.H.I	17,00
						42,03	-	13,82	N.H.I	16,00
					\bar{x}	41,88	2,08626E-07	11,92	-	16,67
					σ	0,75	0	1,96	-	0,58

Solubilidad: La solubilidad para todos los tratamientos, incluido (B1 y B2), varió entre ($24,08 \pm 1,44\%$ a $53,20 \pm 0,62\%$), correspondiendo a T6 y T3 respectivamente. El glicerol podría ser responsable del incremento de la solubilidad de las películas, debido a su naturaleza hidrofílica por la presencia de grupos OH (Shanbhag et al.2023). Los resultados son comparables a lo reportado por Anticona Cabellos y Torres Díaz (2020) de ($42,58 \pm 0,62\%$ - $50,13 \pm 0,84\%$) para películas a base de almidón de mango criollo, Basiak et al. (2017) de ($44,76 \pm 0,31\%$) de almidón de maíz, y Nawab et al. (2016) de ($37,69 \pm 0,25\%$ - $46,10 \pm 1,12\%$) de almidón de mango de Pakistán, pero que difiere de Caetano et al. (2017) de ($18,40 \pm 0,50\%$ - $21,90 \pm 0,80\%$) para películas de almidón de yuca, y de do Evangelho et al. (2019) de ($15,25 \pm 0,70\%$ - $18,67 \pm 0,66\%$) para almidón de maíz con aceite esencial de naranja. Una baja solubilidad permite a las películas ser más resistente al agua Arham et al. (2016).

Figura 10

Películas con mayor solubilidad



Permeabilidad al vapor de agua: A 25°C y 76% HR, para las películas control B1($9,35041\text{E}-08 \pm 8,00687\text{E}-09\text{g.mm/h.m}^2\text{Pa}$) y B2 ($1,90096\text{E}-07 \pm 1,6499\text{E}-08\text{ g.mm/h.m}^2\text{Pa}$) con respecto a las películas con aceite esencial T1-T12($4,88966\text{E}-08 \pm 1,21316\text{E}-09$ - $2,08626\text{E}-07 \pm 0,00\text{ g.mm/h.m}^2\text{Pa}$) no presentaron mayor variación, valores similares a lo reportado por (Argueta Miranda y Trujillo Rivera, 2019),pero en contraste con Arce et al. (2016) que reporto valores

de permeabilidad ($7,43 \times 10^{-4}$ g.mm/h.m².Pa) a 25°C y 70%HR para películas elaborados de lactosuero y quitosano.

Elongación: Para las películas con tratamiento, respecto a los controles B1 ($16,43 \pm 2,71\%$) y B2($11,83 \pm 3,36\%$) aumentó de ($7,01 \pm 0,29\%$ a $29,03 \pm 0,81\%$), siendo T5 (almidón 3%, glicerol 1%, aceite esencial 0,50% y agua 95,50%) (Figura 11) el tratamiento que obtuvo el mayor valor ($29,03 \pm 0,81\%$). Los resultados son valores comparables, a lo reportado por Anticona Cabellos y Torres Diaz (2020) de ($33,04 \pm 3,83\%$), Nawab et al. (2016) de ($37,06 \pm 1,77\%$) para películas a partir de almidón de semilla de mango y por Andrade et al. (2016) de ($30,51 \pm 3,65 - 34,49 \pm 5,11\%$) para películas de harina de residuos de frutas y vegetales, pero que difiere de do Evangelho et al. (2019) de ($9,94 \pm 0,46\% - 64,58 \pm 8,95\%$) para películas a partir de almidón de maíz con aceite esencial de naranja.

Figura 11

Películas con mayor elongación



Actividad antimicrobiana: Las películas con aceite esencial(excepto T7) demostraron actividad antimicrobiana para el *S. aureus* pero no fue efectivo para el *Escherichia coli* .Los halos de inhibición (HI) se presentaron en el rango de ($16,00 \pm 0,00 - 18,67 \pm 0,58$ mm), demostrando que el componente bioactivo citral del aceite esencial posee una fuerte eficacia antimicrobiana contra la bacteria *Staphylococcus aureus*, resultados comparables a (Adame et

al., 2024) con HI de 18,59 mm para *S. aureus* y 17,32 mm para *Escherichia coli*, en películas a partir de almidón de pululano/tapiocas incorporadas con aceite esencial de *Litsea cubeba* y do Evangelho et al. (2019) con HI de 10,10 mm, en películas de almidón de maíz con aceite esencial de naranja.

En la figura 19 (Anexo C) se muestra los tratamientos que presentaron los mayores halos de inhibición.

4.5. Análisis estadístico

La Tabla 11, muestra el análisis de varianza (ANOVA) que considera los tratamientos como si fuera un diseño completo al azar normal y las proporciones de los componentes se presentan como fracción.

Solubilidad: La tabla 11, muestra los tratamientos T3 y T8 presentan las cifras más altas y al tener en común la letra “a” son semejantes, T6 presenta el valor más bajo de solubilidad y es muy diferente a todos (el único que tiene letra “i”); T10 y T12 son semejantes a B2 (tienen α). El resto es diferente.

Elongación: La tabla 11, muestra que T2 y T5 presentan las cifras más altas y al tener en común la letra “a” son semejantes; T2, T3, T4, T7, T8, T9, T10 son semejantes con respecto a B1 (tienen α), T2 a T5 son semejantes a B2 (tienen β)

Permeabilidad al vapor de agua: En la tabla 11, se muestra los tratamientos T5, T8, T9 Y T12 son semejantes porque tienen en común la letra “a”. Todos los tratamientos incluidos B1 y B2 presentan valores muy bajos.

Tabla 11*Análisis de varianza (ANOVA) de las propiedades de las películas de almidón de semilla de mango criollo*

Tratamiento	almidón (x1)	Glicerol (x2)	aceite esencial (x3)	Agua (x4)	Solubilidad	Permeabilidad	Elongación	HI
T1	0,03	0,01	0,001	0,959	36,62 ± 0,31 f;β	0,0000000489 ± 1,21E-09 b;α;β	18,15 ± 2,91 bc	18,33 ± 2,89 a
T2	0,05	0,01	0,001	0,939	27,50 ± 1,57 h;α;β	0,0000000961 ± 1,36 E-08 b;α;β	27,33 ± 0,94 a;α;β	18,33 ± 2,08 a
T3	0,03	0,03	0,001	0,939	53,20 ± 0,62 a;α;β	0,000000959 ± 1,17 E-08 b;α;β	7,03 ± 1,06 d;α	16,00 ± 0,00 a
T4	0,05	0,03	0,001	0,919	48,99 ± 0,85 bc;α;β	0,000000138 ± 2,10 E-09 b;α;β	7,01 ± 0,29 d;α	18,67 ± 1,15 a
T5	0,03	0,01	0,005	0,955	32,52 ± 0,68 g;α;β	0,000000199 ± 2,09 E-08 ab;α;β	29,03 ± 0,81 ab;β	18,33 ± 2,08 a
T6	0,05	0,01	0,005	0,935	24,08 ± 1,44 i;α;β	0,000000102 ± 4,22 E-08 b;α;β	19,46 ± 0,56 bc	16,33 ± 1,15 a
T7	0,03	0,03	0,005	0,935	47,81 ± 0,66 cd;α;β	0,000000158 ± 8,49 E-09 b;α;β	7,30 ± 0,35 d;α	-
T8	0,05	0,03	0,005	0,915	51,20 ± 0,61 ab;α;β	0,000000185 ± 2,01 E-08 ab;α;β	8,03 ± 0,88 d;α	18,67 ± 0,58 a
T9	0,04	0,02	0,003	0,937	47,59 ± 0,79 cd;α;β	0,000000574 ± 1,93 E-07 a;α;β	7,40 ± 0,78 d;α	17,00 ± 1,00 a
T10	0,04	0,02	0,003	0,937	41,69 ± 0,78 e;α	0,000000249 ± 6,94 E-08 b;α;β	7,96 ± 1,31 d;α	16,00 ± 0,00 a
T11	0,04	0,02	0,003	0,937	45,37 ± 0,84 d;α;β	0,000000172 ± 2,51 E-09 b;α;β	9,86 ± 1,18 cd	16,67 ± 1,15 a
T12	0,04	0,02	0,003	0,937	41,88 ± 0,70 e;α	0,000000209 ± 0 ab;α;β	11,92 ± 1,96 cd	16,67 ± 0,58 a
B1	0,04	0,02	-	0,940	37,46 ± 0,52 ;β	0,0000000935 ± 8,01E-9; β	16,43 ± 2,71; α	-
B2	0,05	0,03	-	0,960	40,96 ± 1,20 ;α	0,00000019 ± 1,65E-08;α	11,83 ± 3,36; β	-

Nota. Letras minúsculas diferentes en la misma columna indica diferencia estadística entre los tratamientos utilizando la prueba de comparación múltiple de Tukey ($p < 0,05$), α en la misma columna, indica diferencia estadística del tratamiento con respecto a “control B1” por la prueba de Dunnet ($p < 0,05$) y β indica diferencia estadística con respecto a “control B2” por la prueba de Dunnet ($p < 0,05$)

Actividad antimicrobiana (halo de inhibición): La tabla 11, muestra donde todos los tratamientos fueron semejantes porque tienen la letra “a”.

Como los porcentajes de los componentes son: almidón, glicerol, aceite esencial y agua que son variables numéricas, pueden ser ajustados a modelos matemáticos de mezclas.

4.5.1. Modelos matemáticos de mezclas

4.5.1.1. Solubilidad

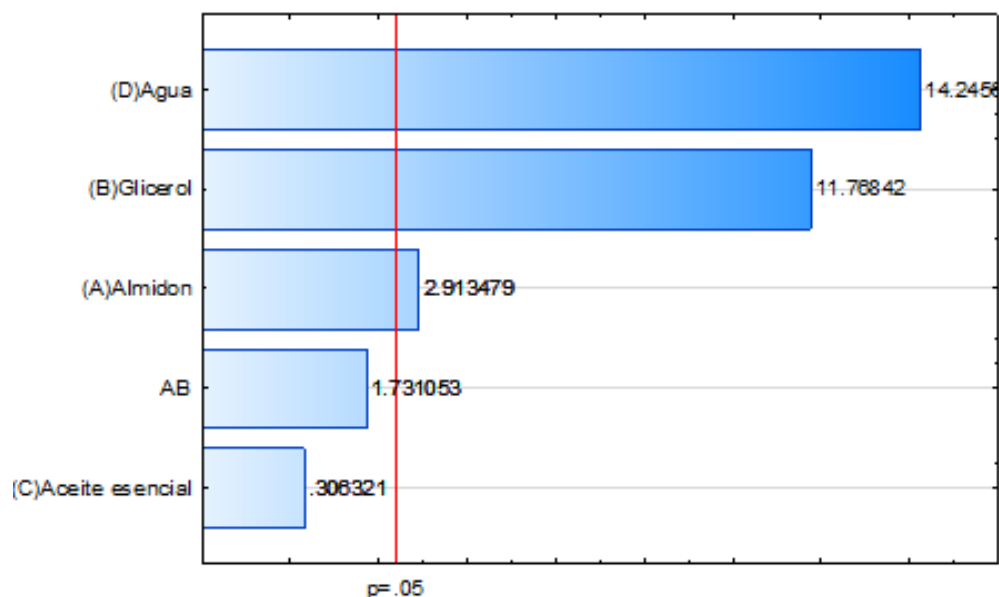
Según el análisis ANOVA, el modelo lineal fue significativo ($p = 0,000469 < 0,05$).

El mejor modelo fue $Y_n = \beta_1 X_1 + \beta_2 X_2 + \beta_3 X_3 + \beta_4 X_4$, y es significativo ($p = 0,000702$) porque no presentó falta de ajuste ($p = 0,336398$) y tiene un R^2 adj alto (0,8691). El alto grado de correlación entre los valores experimentales se determinan cuando los R^2 adj son cercanos a 1.

En el diagrama de Pareto (Figura 12), se observa que fueron significativos el agua, glicerol y almidón en la solubilidad de las películas ($p < 0,05$), pero se debe considerar el aceite esencial porque es parte de la formulación.

Figura 12

Diagrama de Pareto para la respuesta de solubilidad



Por lo tanto, el modelo final para la solubilidad es:

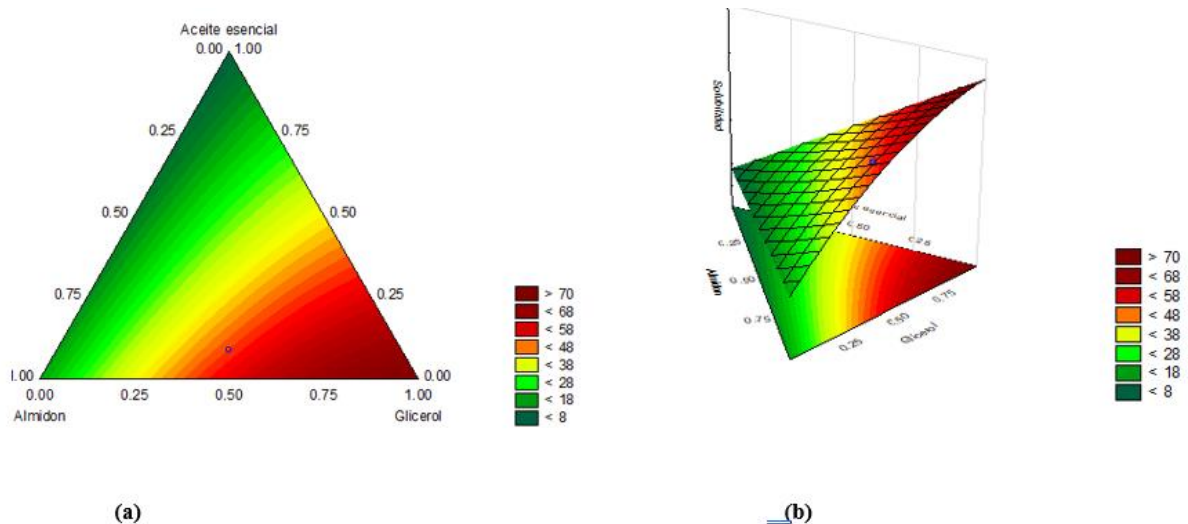
$$Y = 17,88756 (X_1) + 72,25322(X_2) + 7,80972(X_3) + 37,20722(X_4) \dots\dots\dots (Ec.7)$$

Las figuras de contorno y superficie de respuesta (Figura 13a y 13b) fueron generadas fijando el contenido de agua a 0,915 (91,50%). De esta forma se observa que un incremento de la proporción de almidón (0,03 a 0,05) y aceite esencial (0,001, 0,003 y 0,005) es no deseable para la solubilidad, pero un incremento de la proporción de glicerol (0,01 a 0,03) la favorece (Shahrim *et al.*, 2023; Admase *et al.*, 2022; Nawab *et al.*, 2016).

Una solubilidad alta puede ser beneficioso para productos que requieren hidratación antes del consumo; por otro lado, se necesita tener baja solubilidad en películas durante el almacenamiento (Sánchez Calancha y Valdez Dávila, 2019).

Figura 13

Gráfico de contorno y superficie de respuesta para la solubilidad en función del almidón (g) y glicerol (ml) fijando el agua a 91,50%



4.5.1.2. Elongación

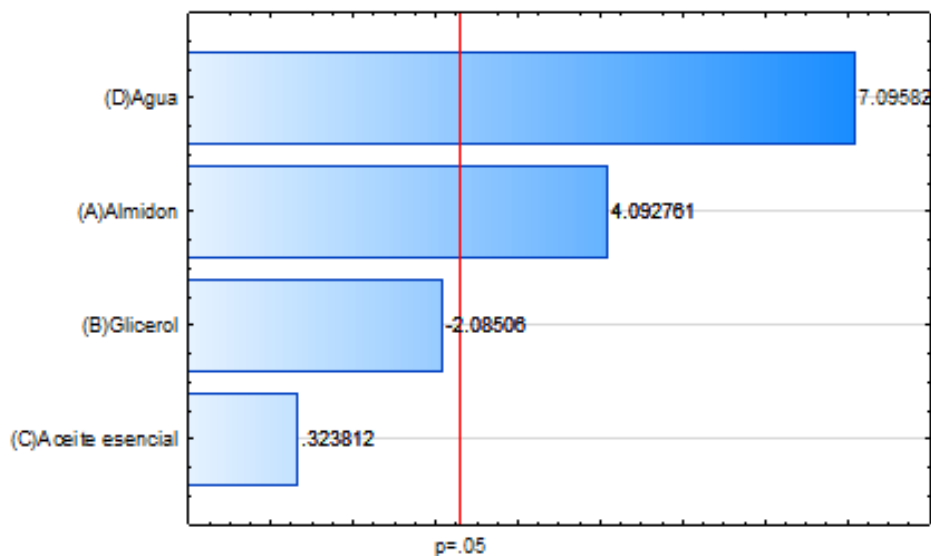
Según el análisis de ANOVA, el modelo lineal fue significativo ($p = 0,008553$) $< 0,05$.

El mejor modelo fue $Y_n = \beta_1 X_1 + \beta_2 X_2 + \beta_3 X_3 + \beta_4 X_4$, es significativo ($p = 0,008553$) porque no presentó falta de ajuste (Lack of Fit) ($p = 0,922217$) y tiene un R^2 adj moderado (0,6567), por lo tanto, es un modelo explicativo.

En el diagrama de Pareto (ver Figura 14) se observa que el aceite esencial no afectó la elongación. Los componentes favorecieron a la elongación en el siguiente orden: agua > almidón >> glicerol > aceite esencial.

Figura 14

Diagrama de Pareto para la respuesta de elongación



Por lo tanto, el modelo final para la elongación es:

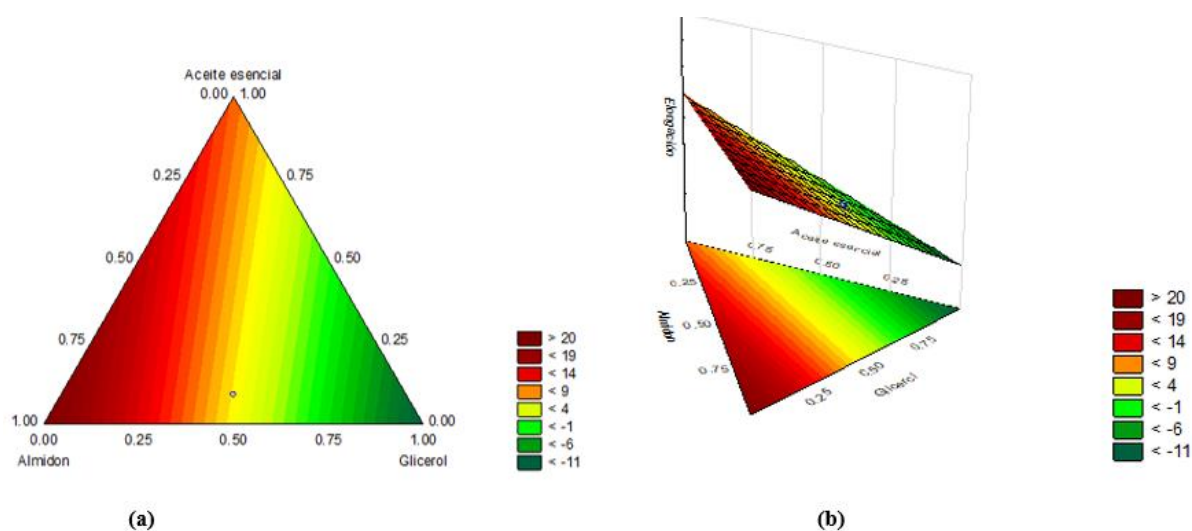
$$Y = 85,184(X_1) - 673,876(X_2) - 195,543(X_3) + 24,874(X_4) \dots\dots\dots (Ec.8)$$

La interacción entre el glicerol y aceite esencial (Ec.8) mostraron un efecto negativo sobre la elongación de la película. Las figuras de contorno y superficie de respuesta (Figura 15a y 15b)

fueron generadas fijando el contenido de agua a 0,915 (91,50%), donde se observa que la elongación se ve favorecida por un incremento de la proporción de almidón (0,03 a 0,05), muy poco con respecto al aceite esencial (0,001, 0,003 y 0,005), pero no es favorecida, al incrementar el glicerol (0,01 a 0,03), contrario al reporte hecho por (Shahrim *et al.*, 2023; Nawab *et al.*, 2016).

Figura 15

Gráfico de *contorno* y *superficie de respuesta* para la elongación en función del almidón (g) y glicerol (ml, fijando el agua a 91,50%)



4.5.1.3. Permeabilidad al vapor de agua

Esta propiedad casi no presentó diferencia estadística (ab) para ser modelados (Tabla 11).

4.5.1.4. Actividad antimicrobiana

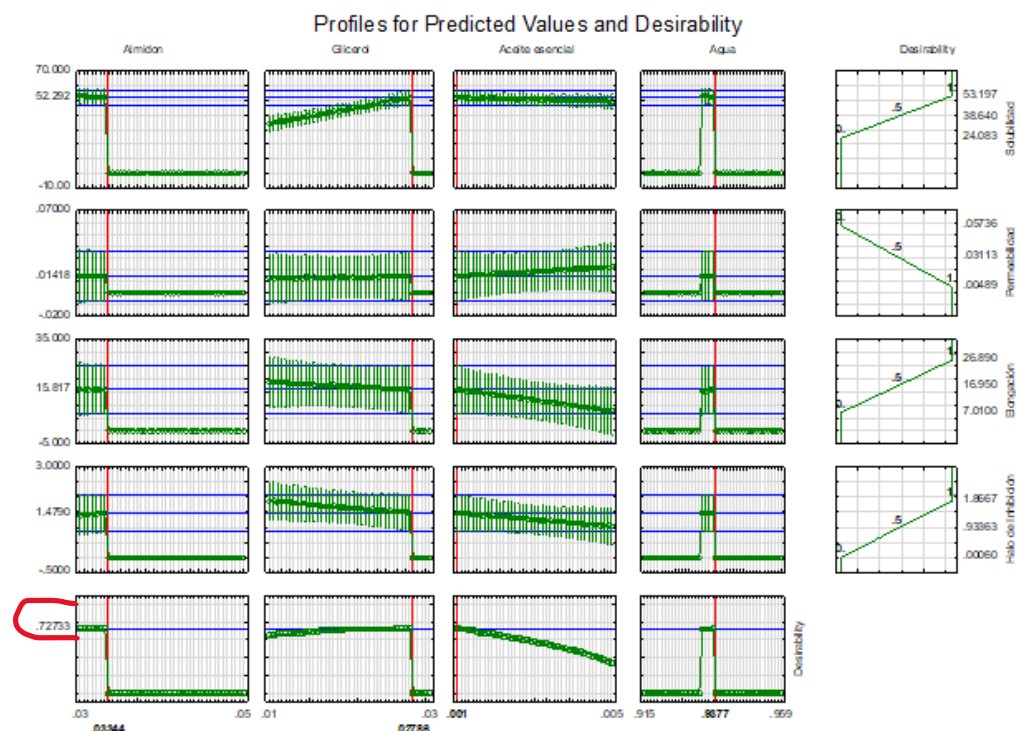
La actividad antimicrobiana (halo de inhibición) no presentó diferencia estadística (a) para ser modelados (Tabla 11).

4.5.2. Optimización de las películas

La optimización de las películas se realizó mediante la función de deseabilidad, y se aplicó con el objetivo de maximizar la solubilidad, elongación y actividad antimicrobiana, de esta forma los resultados mínimos y máximos de estas propiedades recibieron valores de 0 y 1 respectivamente. Así mismo se minimizó la permeabilidad al vapor de agua, en este caso los valores mínimo y máximo de esta propiedad recibieron 1 y 0. Según la Figura 16, la formulación óptima fue: 3,30% de almidón, 2,80% glicerol, 0,10% aceite esencial y 93,80% agua.

Figura 16

Gráfico de deseabilidad para la optimización de películas.



Siendo el resultado de la deseabilidad global 0,7273, el cual está próximo del máximo valor que es 1.

V. CONCLUSIONES

- De la almendra de mango, se extrajo el almidón con un rendimiento de 67,30%, pH (6,76), humedad (8,70%), contenido de amilosa ($26,37 \pm 0,39$ %) y caracterizado por FTIR. De las hojas de hierba luisa (*Cymbopogon citratus*) se extrajo el aceite esencial y por cromatografía de gases acoplado a masas, se determinó su composición, en mayores porcentajes: α -citral (42,40%), β -citral (27,89%), metiltridecanoato.
- Las películas se elaboraron con proporciones de almidón, glicerol, aceite esencial de hierba luisa y agua mediante el diseño de mezclas con restricciones, con 12 tratamientos y dos controles B1 y B2 sin aceite esencial.
- La optimización de las propiedades de las películas se realizó mediante la función de deseabilidad, obteniendo el tratamiento ideal con las proporciones: almidón (3,30%), glicerol (2,80%), aceite esencial (0,10%) y agua (93,80%).
- El aceite esencial (0,1-0,5%) agregado a las películas a base de almidón no tuvo efecto en las propiedades de solubilidad, elongación, permeabilidad al vapor de agua, pero mostró actividad antimicrobiana frente a los patógenos evaluados, siendo el *Staphylococcus aureus* el más sensible y *Escherichia coli* el más resistente.

VI. RECOMENDACIONES

- Para la formulación de películas a base de almidón se debe realizar el análisis de fósforo, ya que su presencia en altas concentraciones retrasa la hinchazón de los gránulos de almidón cuando se calienta y afectar algunas propiedades funcionales, como la transparencia.
- Se debe realizar el análisis de microscopía electrónica de barrido (SEM) para determinar el análisis microestructural de las películas.

VII. BIBLIOGRAFIA

- Adame, M.Y., Shi,C, Li,C., Aziz,T., Alharbi,M., Cui,H.,& Lin,L.(2024).Fabrication and characterization of pullulan/tapioca starch-based antibacterial films incorporated with Litsea cubeba essential oil for meat preservation.*International Journal of Biological Macromolecules*,268, part1.<https://doi.org/10.1016/j.ijbiomac.2024.131775>.
- Admase, A., Sendekle,Z.B., &Alene, A.N.(2022).Biodegradable Film from Mango Seed Kernel Starch Using Pottery Clay as Filler. *Journal of Polymers and the Environment*, 8, 3431-3446. <https://doi.org/10.1007/s10924-022-02449-7>
- Alam, M. F., Varshney, S., Khan, M. A., Laskar, A. A., & Younus, H. (2018). In vitro DNA binding studies of therapeutic and prophylactic drug citral. *International Journal of Biological Macromolecules*, 113, 300–308. doi:10.1016/j.ijbiomac.2018.02.09
- Andrade, R. M. S., Ferreira, M. S. L., & Gonçalves, É. C. B. A. (2016). Development and Characterization of Edible Films Based on Fruit and Vegetable Residues. *Journal of Food Science*, 81(2), E412–E418. doi:10.1111/1750-3841.13192
- Anticona Cabellos, G.H. y Torres Diaz, L.B.(2020). *Efecto de la concentración de almidón de almendra de mango criollo (mangifera indica L.) en la obtención de películas* [Tesis de pregrado, Universidad Nacional Pedro Ruiz Gallo, Lambayeque, Perú]. <https://hdl.handle.net/20.500.12893/8715>
- Arce Ortiz, K. L., Ortega Villalba, K. J., Ochoa-Martinez, C. I., y Vélez Pasos, C. (2016). Evaluación de la permeabilidad al vapor de agua de películas de proteína de lactosuero/quitosano y su efecto sobre la respiración en banano recubierto. *INNOTECH*, 1(11 ene-jul), 59–64. <https://doi.org/10.26461/11.08>

- Argueta Miranda, M. de la Paz y Trujillo Rivera, A.M (2019). *Elaboración y caracterización de una biopelícula a partir de almidón de plátano verde (Musa paradisiaca) incorporando aceite esencial de orégano (Origanum sp.) como inhibidor microbiano en la preservación de fresas empacadas* [Tesis de pregrado, Universidad de el Salvador, El Salvador]. <https://hdl.handle.net/20.500.14492/17926>
- Arham, R., Mulyati, M. T., Metusalach, M., & Salengke, S. (2016). Physical and mechanical properties of agar based edible film with glycerol plasticizer. *International Food Research Journal*, 23(4), 1669–1675.
- Arrieta, M., Peltzer, M., Garrigós, M., & Jiménez, A. (2013). Structure and mechanical properties of sodium and calcium caseinate edible active films with carvacrol. *Journal of Food Engineering*, 114(4), 486-494. doi:<https://doi.org/10.1016/j.jfoodeng.2012.09.002>
- ASTM E96/E96M-10(2013). Standard Test Methods for Water Vapor Transmission of Materials
- ASTM International (2002). Philadelphia American Society for Testing and Materials, Annual Book of ASTM
- Atarés, L., & Chiralt, A. (2016). Essential oils as additives in biodegradable films and coatings for active food packaging. *Trends in Food Science & Technology*. 48,51-62. <https://doi.org/10.1016/j.tifs.2015.12.001>
- Auccapiña, E. R., Champi, J. C., y Lino, D. B. (2017). *Caracterización y evaluación de la actividad antibacteriana del aceite esencial de hierba luisa (Cymbopogon citratus (DC.) Stapf.) obtenido por el método de arrastre con vapor* [Tesis de pregrado, Basiak, E., Universidad del Callao. Perú]. <https://hdl.handle.net/20.500.12952/3536>

- Basiak, E., Lenart, A. & Debeaufort, F. (2017). Effect of starch type on the physico-chemical properties of edible films. *International Journal of Biological Macromolecules*, 98, 348–356. <https://doi.org/10.1016/j.ijbiomac.2017.01.122>
- Benelli, F. E., Gianna, V., y Calandri, E. (2019). Determinación de amilosa en almidones mediante el método amperométrico. *Revista De La Facultad De Ciencias Exactas, Físicas Y Naturales*, 6(1), 15. <https://revistas.unc.edu.ar/index.php/FCEFYN/article/view/16779>
- Bharti, I., Singh S., & Saxena, D.C. (2019). Influence of alkali treatment on physicochemical, pasting, morphological and structural properties of mango kernel starches derived from Indian cultivars. *Int. J. Biological Macromolecules*, 125, 203-212. <https://doi.org/10.1016/j.ijbiomac.2018.12.034>
- Braga, G. C., Melo, P. S., Bergamaschi, K. B., Tiveron, A. P., Massarioli, A. P., & Alencar, S. M. (2016). Rendimento de extração, atividade antioxidante e compostos fenólicos dos subprodutos agro industriais de uva, manga e amendoim. *Ciência Rural*, 46(8), 1498-1504. [http:// dx.doi.org/10.1590/0103-8478cr20150531](http://dx.doi.org/10.1590/0103-8478cr20150531)
- Caetano, K. D. S., Hessel, C. T., Tondo, E. C., Flôres, S. H., & Cladera-Olivera, F. (2017). Application of active cassava starch films incorporated with oregano essential oil and pumpkin residue extract on ground beef. *Journal of Food Safety*, 37(4), e12355. <https://doi.org/10.1111/jfs.12355>
- Carranza Veliz, S. (2022). *Comparación de la concentración de flavonoides de residuos de mango (Mangifera indica L.) mediante espectrometría de masas* [Tesis de pregrado, Universidad Nacional Pedro Ruiz Gallo, Lambayeque, Perú]. <https://hdl.handle.net/20.500.12893/10824>

- Contreras - Pérez, R. K., Gutiérrez, L. D., González Cortés, N. y Jiménez Vera, R. (2018). Caracterización funcional de almidones de plátano cuadrado (*Musa balbisiana* Colla). *European Scientific Journal*, 82-97. <http://dx.doi.org/10.19044/esj.2018.v14n30p82>.
- Cordeiro, E. M. S., Nunes, Y. L., Mattos, A. L. A., Rosa, M. F., de sá M. Sousa Filho, M., & Ito, E. N. (2014). Polymer Biocomposites and Nanobiocomposites Obtained from Mango Seeds. *Macromolecular Symposia*, 344(1), 39–54. doi:10.1002/masy.20130021
- Correa, R. D.E., Romero, G. B. M. y León, R. N. (2019). Extracción de taninos de semilla de mango criollo (*Mangifera indica* L.) y su aplicación como curtiente. *Journal of Agro-Industry Sciences*, 1, 51–55. DOI: <http://dx.doi.org/10.17268/JAIS.2019.007>
- Criollo Feijoo, J.L. (2019). *Propiedades físicas y mecánicas de películas comestibles elaboradas a base de almidón de banano* [Tesis de pregrado, Universidad Tecnica de Machala, Ecuador]. <http://repositorio.utmachala.edu.ec/handle/48000/14105>
- Decreto Legislativo N°1278 del 2017 que aprueba la Ley de Gestión Integral de Residuos Sólidos. 24 abril del 2017. <https://www.gob.pe/institucion/minam/normas-legales/3610-1278>
- do Evangelho, J. A., da Silva Dannenberg, G., Biduski, B., El Halal, S. L. M., Kringel, D. H., Gularte, M. A., Fiorentini, A. M., & da Rosa Zavareze, E. (2019). Antibacterial activity, optical, mechanical, and barrier properties of corn starch films containing orange essential oil. *Carbohydrate polymers*, 222, 114981. <https://doi.org/10.1016/j.carbpol.2019.114981>
- do Rego, J. de A. R., da Costa, M. L., Brasil, D. do S. B., Cruz, J. N., Costa, C. M. L., Santana, E. B., Furtado, S. V., & Lopes, A. S. (2020). Characterization and Evaluation of Filmogenic, Polymeric, and Biofilm Suspension Properties of Cassava Starch Base (*Manihot esculenta* Crantz) Plasticized with Polyols / Caracterização e Avaliação das

- Propriedades Filmogénicas, Poliméricas e de Suspensão de Biofilme da Base de Amido de Mandioca (*Manihot esculenta* Crantz) Plastificado com Polióis. *Brazilian Journal of Development*, 6(7), 50417–50442. <https://doi.org/10.34117/bjdv6n7-626>
- Escobar Guadarrama, J.A. (2020). *Elaboración y caracterización de biopelículas elaboradas con quitosano y adicionadas con partículas de almidón* [Tesis de pregrado, Universidad Autónoma del estado de México]. <http://hdl.handle.net/20.500.11799/109321>
- Espinoza Arroyo, F.H., y Sevich Ruiz, D. C. (2019). *Influencia del porcentaje de glicerol sobre la resistencia y deformación en tracción de plásticos biodegradables a base de almidón del tubérculo "Manihot esculenta crantz* [Tesis de pregrado, Universidad Nacional de Trujillo, Perú]. <https://hdl.handle.net/20.500.14414/12561>
- Ferreira, S., Araujo, T., Souza, N., Rodrigues, L., Lisboa, H., Pasquali, M., Trindade, G., & Rocha, A.(2019). Physicochemical, morphological and antioxidant properties of spray-dried mango kernel starch.*J. Agriculture & Food Research.* 1, 100012. <https://doi.org/10.1016/j.jafr.2019.100012>
- 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* [Tesis de maestría, Universidad Pública de Navarra, España]. <https://hdl.handle.net/2454/12224>
- Guaña Escobar, F., Vaca Tenorio, M. y Aguilar Morales, J. (2022). Biopelículas y envases activos, nuevas tecnologías en la industria alimentaria. *FACSALUD-UNEMI*, 6(10), 18-32. <https://doi.org/10.29076/issn.2602-8360vol6iss10.2022pp18-32p>
- Gutiérrez, C., Rivera, Y.,Gómez, R. Bastidas, V. y Izaguirre, C. (2015). Extracción y caracterización de grasa y almidón de la almendra de mango variedad Alphonso

- (*Mangifera indica* L). *Revista de la Facultad de Farmacia universidad de los Andes, Mérida, Venezuela*. 57(2), 33-42. <http://www.saber.ula.ve/handle/123456789/42003>
- Hoover, R. & Ratnayake, W.S. (2001). Determination of Total Amylose Content of Starch. *Current Protocols in Food Analytical Chemistry*. E2.3.1-E2.3.5 <https://doi.org/10.1002/0471142913.fae0203s00>
- Huaracha Canaza, M.A. (2016). *Estudio de la permeabilidad al vapor de agua en películas modificadas de quitosano* [Tesis de pregrado, Universidad Nacional de San Agustín, Arequipa, Perú]. <http://repositorio.unsa.edu.pe/handle/UNSA/10062>
- Latimer, G. (2016). AOAC International, Official Methods Of Analysis Of AOAC International. 20th Edition Gaithersburg, Md.
- Lauricella, M., Emanuele, S., Calvaruso, G., Giuliano & D'Anneò, A. (2017). Multifaceted Health Benefits of *Mangifera indica* L. (Mango): The Inestimable Value of Orchards Recently Planted in Sicilian Rural Areas. *Nutrients*, 9(5), 1–14. <https://doi.org/10.3390/nu9050525>.
- León-Roque, N., Romero Guzmán, B.M., Oblitas cruz, J.F., & Hidalgo Chavez, D.W. (2023). Optimization of total polyphenol extraction and flavonoid screening by mass spectrometry in mango (*Mangifera indica* L.) waste from Peru. *Food Science and Technology*, 43, e105322. DOI: [Dhttps://doi.org/10.1590/fst.105322](https://doi.org/10.1590/fst.105322)
- Martins, S. H. F., K.V. Pontes, K. V., Fialho, R.L., & F.M. Fakhouri, F.M. (2022). Extraction and characterization of the starch present in the avocado seed (*Persea americana* mill) for future applications. *Journal of Agriculture and Food Research*, 8, 100303. <https://doi.org/10.1016/j.jafr.2022.100303>
- Maulida, Kartika, T., Harahap, M. B., & Ginting, M. H. S. (2018). Utilization of mango seed

starch in manufacture of bioplastic reinforced with microparticle clay using glycerol as plasticizer. *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering*, 309(1), 0–7. <https://doi.org/10.1088/1757-899X/309/1/012068>

Mederos, Y., Bernabé, P. y Ramírez, M. (2020). Películas basadas en polisacáridos como recubrimientos biodegradables y su empleo en la postcosecha de los frutos. *Cultrop*, 41(3), ISSN 0258-5936

Mendes, J. F., Norcino, L. B., Martins, H. H. A., Manrich, A., Otoni, C. G., Carvalho, E. E. N., Piccoli, R.H., Oliveira, J.E.,Pinheiro,A.C.M.,&Mattosoc, L. H. C. (2019). Correlating emulsion characteristics with the properties of active starch films loaded with lemongrass essential oil. *Food Hydrocolloids*, 105428. doi:10.1016/j.foodhyd.2019.105428

Meza Ramos, P.N. (2016). *Elaboración de bioplásticos a partir de almidón residual obtenido de peladoras de papa y determinación de su biodegradabilidad a nivel de laboratorio* [Tesis de pregrado, Universidad Nacional Agraria La Molina, Lima, Perú]. <https://hdl.handle.net/20.500.12996/2016>

Montes Hernández, A. I., Oropeza González, R. A., Padrón Pereira, C. A., Araya Quesada, Y. M., Wexler Goering, L. M. y Cubero Castillo, E. M. (2017). Películas biodegradables con propiedades bioactivas. *Revista Venezolana de Ciencia y Tecnología de Alimentos* 8(1),057-089.

Nawab, A., Alam, F., Haq , M. A. & Hasnain, A. (2016). Biodegradable film from mango kernel starch: Effect of plasticizers on physical, barrier, and mechanical properties. *Starch - Stärke*, 68, 1-10. <https://doi.org/10.1002/star.201500349>

- Nawaz, H. Waheed, R., Nawaz, M. & Dure Shahwar, D. (2020) Physical and Chemical Modifications in Starch Structure and Reactivity. Emeje, M. Chemical Properties of Starch. *Intechopen* .doi: 10.5772/intechopen.78119.
- Nazario-Naveda, R., Gallozzo Cárdenas, M., Angelats Silva, L., Mantilla Sifuentes, F., Alayo Zavaleta, Y., Castillo Ramírez, A., Chavín Castillo, C., & Duran Zambrano, M. (2020). Reinforcement of mango seed starch based biodegradable films through incorporation of mango peel extracts for active packaging. Proceedings of the LACCEI International Multi-Conference for Engineering, Education and Technology. <https://doi.org/10.18687/LACCEI2020.1.1.75>
- NMX-F-374-1983 “Foods–Starch.Qualitative Determination (Lugol Test)”, Method of Test Normas Mexicanas. Dirección General de Normas.
- NMX-F-382-1986. “Alimentos. Almidón o fécula de maíz”.
- Norma Técnica Peruana (2022) Determinación de la densidad relativa a 20 °C en aceites esenciales (NTP-ISO 279). <https://busquedas.elperuano.pe/dispositivo/NL/2101273-1>
- Ortiz Ramírez, M. A. (2019). *Evaluación de un bioplástico de almidón de semillas de mango (Mangifera indica) con aplicación potencial en envases* [Tesis de pregrado, Universidad el Bosque, Bogotá, Colombia]. <http://hdl.handle.net/20.500.12495/2106>
- Patil, P.D., Gokhale,M.V, & Chavan, N.S.(2014). Mango starch: its use and future prospects, *Innovare Journal of Food Science*, 2(1). <https://journals.innovareacademics.in/index.php/ijfs/article/view/3100/1345>
- Pérez López, A. F. (2021) *Evaluación para la obtención de almidón aprovechando los residuos de mango (Mangifera Indica L.) Para la producción de un biopolímero* [Tesis de pregrado, Fundación Universidad de América, Bogotá, Colombia].

- Quintana Remache, D. M. (2021). *Obtención de bioplástico a partir de la yuca amarilla (Manihot esculenta) y aceite esencial de hierbaluisa (Cymbopogon citratus) para embalaje de alimentos* [Tesis de pregrado, Escuela Superior Politécnica de Chimborazo, Riobamba, Ecuador]. <http://dspace.esPOCH.edu.ec/handle/123456789/16801>
- Ramos Briceño, L.N. y Forero Castañeda, J.C. (2016). Análisis fitoquímico preliminar de la especie vegetal *Duranta mutisii* (Bogotá-Colombia). *Boletín Semillas Ambientales*, 10(2), 46 – 54. ISSN: 2463-0691. <https://revistas.udistrital.edu.co/index.php/bsa/article/view/11350>
- Sánchez Calancha, J. y Valdez Dávila L. (2019). *Biopelícula activa a base de almidón de mandioca (Manihot Esculenta) aceite esencial de romero (Rosmarinus officinalis) reforzado con organoarcillas* [Tesis de pregrado, Universidad Peruana Unión, Lima, Perú]. <https://repositorio.upeu.edu.pe/handle/20.500.12840/1768>
- Sánchez-Mesa, N., Sepúlveda-Valencia, J. U., Ciro-Velásquez, H. J., & Meireles, M. A. (2020). Bioactive compounds from mango peel (*Mangifera indica* L. var. tommy atkins) obtained by supercritical fluids and pressurized liquids extraction. *Revista Mexicana de Ingeniería Química*, 19(2), 755-766. <http://dx.doi.org/10.24275/rmiq/Alim657>
- Sarifuddin, N., Shahrim, N. A. A., & Azman, k.S. (2018). Effect of Oregano Essential on the Properties of Mango Kernel Starch Films. IOP Conference Series: *Materials Science and Engineering*, 429, 012062. DOI 10.1088/1757-899X/429/1/012062
- Serna-Cock, L., García-Gonzales, E., & Torres-León, C. (2016). Agroindustrial potential of the mango peel based on its nutritional and functional properties. *Food Reviews International*, 32(4), 364-376. <http://dx.doi.org/10.1080/87559129.2015.1094815>.
- Shahrim, N.A.A, Sarifuddin, N., Daud, F.D.M, & Zaki, H.H.M (2023). The influence of Glycerol on physical and Mechanical properties of mango seed starch films. *Proceeding*

of 5th International conference on advances in Manufacturing and materials engineering: ICAMME 2022.

- Shaikh, M., Haidar, S., Ali, T.M., & Hasnain, A. (2018). Physical, thermal, mechanical and barrier properties of pearl millet starch films as affected by levels of acetylation and hydroxypropylation. *Int J Biol Macromol.* 124, 209–219. doi: 10.1016/j.ijbiomac.2018.11.135
- Shanbhag, C., Shenoy, R., Shetty, P., Srinivasulu, M., & Nayak, R. (2023) Formulation and characterization of starch-based novel biodegradable edible films for food packaging. *J Food Sci Technol.* 60(11), 2858–2867. doi: 10.1007/s13197-023-05803-2.
- Sondari, D., Falah, F., Suryaningrum, R., Sari, F.P., Septefani, A.A., Restu, W.K., & Sampora, Y. (2019), Biofilm Based on Modified Sago Starch : Preparation and Characterization, *Reaktor*, 19(3), 125 - 130, <http://dx.doi.org/10.14710/reaktor.19.3.125-130>
- Sonthalia, M. S. (2015). Production of Starch from Mango (*Mangifera indica*. L) Seed Kernel and Its Characterization. *International Journal of Technical Research and Applications*, 3(3), 346–349. e-ISSN, 2320-8163.
- Thakur, R., Saberi, B., Pristijono, P., Golding, J., Stathopoulos, C., Scarletta, C., Bowyera, M., & Vuonga, Q. (2016). Characterization of rice starch- l-carrageenan biodegradable edible film. Effect of stearic acid on the film properties. *International Journal of Biological Macromolecules* 93 PART A , 952–960. <https://doi.org/10.1016/j.ijbiomac.2016.09.053>
- Vanier, N., El Halal, S., Dias, A., & Zavareze, E. d. (2017). Molecular structure, functionality and applications of oxidized starches. *Food Chemistry*, 221, 1546–1559. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2016.10.138>

- Vázquez-Briones, María del Carmen, & Guerrero-Beltrán, José Ángel. (2017). Efecto del aceite esencial de *Cymbopogon citratus* sobre propiedades fisicoquímicas en películas de quitosano. *Scientia Agropecuaria*, 8(4), 401-409. <https://dx.doi.org/10.17268/sci.agropecu.2017.04.11>
- Villar Calero, K.A., Ruiz Pacco, G.A., y Fuertes Ruiton, C.M. (2021). Biopelículas a base de quitosano y aceite esencial de *Minthostachys Mollis* (Muña) con propiedades antioxidante y antimicrobiana. *Revista de la Sociedad Química del Perú* 87(4). <http://dx.doi.org/10.37761/rsqp.v87i4.357>
- Yadav, A. Kumar, N., Upadhyay A., Singh A., Anurag, R.K., & Pandiselvam, R. (2022). Effect of mango kernel seed starch-based active edible coating functionalized with lemongrass essential oil on the shelf-life of guava fruit. *Quality Assurance and Safety of Crops & Foods*, 14(3). DOI: 10.15586/qas.v14i3.1094
- Zhu, F. & Xie, Q. (2018). Rheological and thermal properties in relation to molecular structure of New Zealand sweetpotato starch. *Food Hydrocolloids*, 83, 165-172. <https://doi.org/10.1016/j.foodhyd.2018.05.004>

VIII. ANEXOS

Anexo A. Tratamiento de materia prima

Figura 17

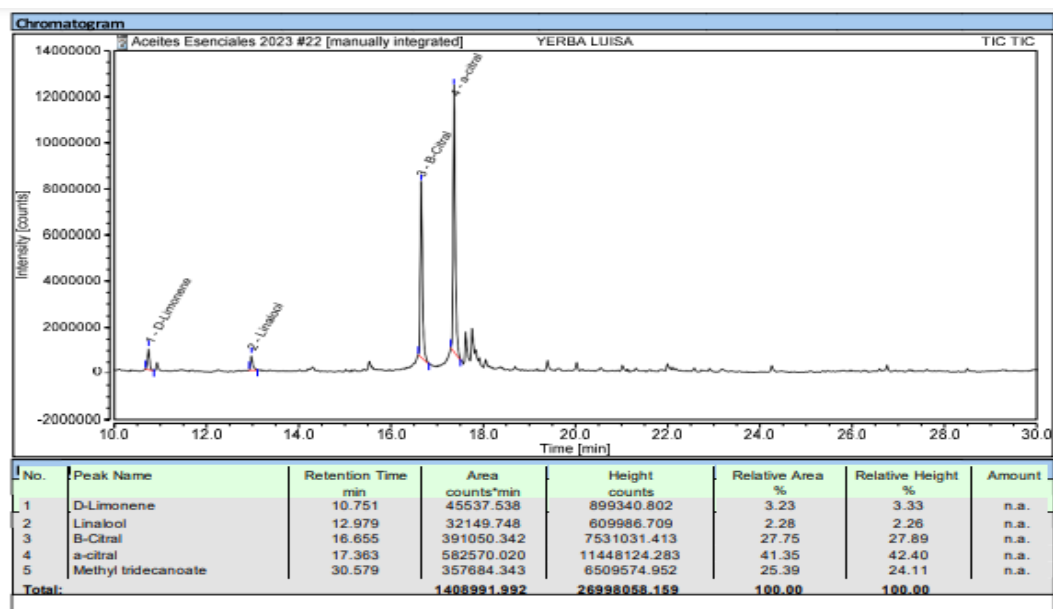
Extracción de almidón de la semilla de mango



Anexo B. Composición química del aceite esencial de hierba luisa

Figura 18

Cromatograma del aceite esencial de hierba luisa

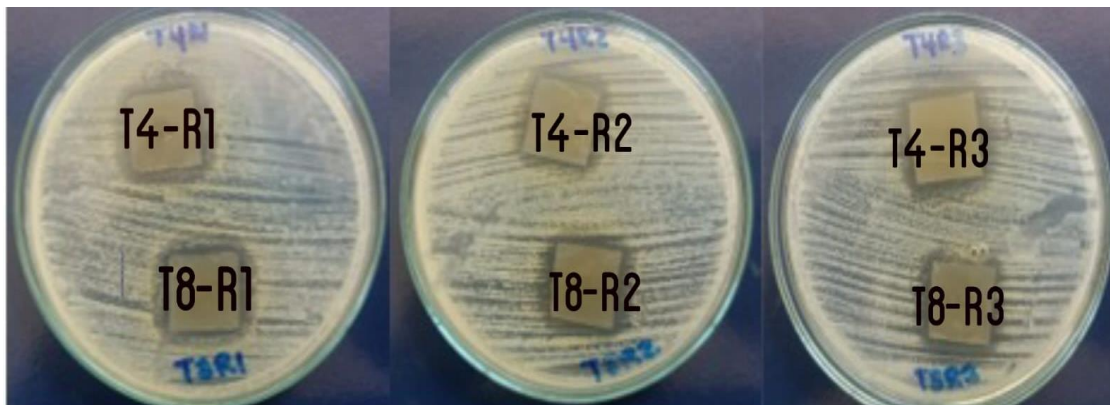


Nota. Laboratorio de Farmacognosia de la Universidad Nacional de Trujillo

Anexo C. Actividad antimicrobiana

Figura 19

Actividad antimicrobiana de las películas T4 y T8



Nota. Placas Petri con películas con presencia de halo de inhibición (cepa: *Staphylococcus aureus*)



ACTA DE SUSTENTACIÓN - 2024

Siendo las 12:30 m del día viernes 05 de julio del 2024, se reunieron en la sala de sustentación de la Facultad de Ingeniería Química e Industrias Alimentarias los miembros del jurado evaluador de la Tesis Titulada: **"Efecto del aceite esencial de hierba luisa (*Cymbopogon citratus*) en las propiedades de películas elaboradas con almidón de semilla de mango (*Mangifera indica* L.)"**; designados con Res. N°253-2022-D-FIQIA-VIRTUAL de fecha 27 de julio del 2022 y aprobada con Res. N°029-2023-D-FIQIA-VIRTUAL de fecha 31 de enero del 2023, con la finalidad de Evaluar y Calificar la sustentación de la tesis antes mencionada, conformados por los siguientes docentes:

- **Presidente:** Dra. Ysabel Nevado Roja
- **Secretario:** M.Sc. Rodolfo Pastor Tineo Huancas
- **Vocal:** M.Sc. Manuel Antonio Díaz Paredes

La tesis fue asesorada por la Dra. Blanca Margarita Romero Guzmán, nombrada con Res. N°229-2022-D-FIQIA-VIRTUAL de fecha 15 de julio del 2022. El acto de sustentación es autorizado con Res. N°323-2024-D-FIQIA de fecha 01 de julio del 2024.

La Tesis fue presentada y sustentada por la Bachiller: **YADIRA YAMILETH BRAVO HERRERA; de la Escuela Profesional de Ingeniería Química;** y tuvo una duración de 60 minutos.

Después de la sustentación, y absueltas las preguntas y observaciones de los miembros del jurado; se procedió a la calificación respectiva, otorgándole el calificativo de 16 (Dieciséis) en la escala vigesimal, mención Bueno.

Por lo que quedan APTO (s) para obtener el Título Profesional de **INGENIERA QUIMICA** de acuerdo con la Ley Universitaria 30220 y la normatividad vigente de la Facultad de Ingeniería Química e Industrias Alimentarias y la Universidad Nacional Pedro Ruiz Gallo.

Siendo las 1:30 pm se dio por concluido el presente acto académico, dándose conformidad al presente acto, con la firma de los miembros del jurado.

Firmas

Presidente

Dra. YSABEL NEVADO ROJA

Vocal

M.Sc. MANUEL ANTONIO DIAZ PAREDES

Secretario

M.Sc. RODOLFO PASTOR TINEO HUANCAS

Asesora

Dra. BLANCA MARGARITA ROMERO GUZMAN

CONSTANCIA DE APROBACIÓN DE ORIGINALIDAD DE TESIS

Yo, Blanca Margarita Romero Guzmán, Asesora de tesis de la Bachiller:

YADIRA YAMILETH BRAVO HERRERA

Titulada:

“EFECTO DEL ACEITE ESENCIAL DE HIERBA LUISA (*Cymbopogon citratus*)
EN LAS PROPIEDADES DE PELÍCULAS ELABORADAS CON ALMIDÓN DE SEMILLA
DE MANGO (*Mangifera indica* L.)”

Luego de la revisión exhaustiva del documento constato que la misma tiene un índice de similitud de 14% verificable en el reporte de similitud del programa Turnitin.

La suscrita analizó dicho reporte y concluyó que cada una de las coincidencias detectadas no constituyen plagio. A mi leal saber y entender, la tesis cumple con todas las Normas para el uso de citas y referencias establecidas por la Universidad Nacional Pedro Ruiz Gallo.

Lambayeque, 24 de Junio del 2024

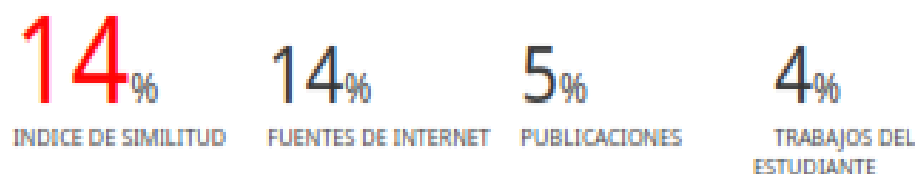


Blanca Margarita Romero Guzmán
DNI: 16440129

BMRG.

EFFECTO DEL ACEITE ESENCIAL DE HIERBA LUISA (Cymbopogon citratus) EN LAS PROPIEDADES DE PELÍCULAS ELABORADAS CON ALMIDÓN DE SEMILLA DE MANGO (Mangifera indica L.)

INFORME DE ORIGINALIDAD



FUENTES PRIMARIAS

1	cybertesis.unmsm.edu.pe Fuente de Internet	1 %
2	hdl.handle.net Fuente de Internet	1 %
3	repositorio.unprg.edu.pe Fuente de Internet	1 %
4	repositorio.uns.edu.pe Fuente de Internet	1 %
5	es.scribd.com Fuente de Internet	1 %
6	repositorio.uma.edu.pe Fuente de Internet	1 %
7	ri.ues.edu.sv Fuente de Internet	1 %
8	1library.co Fuente de Internet	<1 %



Asesora: Blanca Margarita Romero Guzmán

9	agradecimiento.net Fuente de Internet	<1 %
10	Submitted to Universidad Técnica de Machala Trabajo del estudiante	<1 %
11	bibliotecadigital.exactas.uba.ar Fuente de Internet	<1 %
12	ridaa.unq.edu.ar Fuente de Internet	<1 %
13	www.researchgate.net Fuente de Internet	<1 %
14	www.apabcn.es Fuente de Internet	<1 %
15	ojs.brazilianjournals.com.br Fuente de Internet	<1 %
16	www.revistas.unitru.edu.pe Fuente de Internet	<1 %
17	repositorio.unsa.edu.pe Fuente de Internet	<1 %
18	repositorio.lamolina.edu.pe Fuente de Internet	<1 %
19	www.energy.gov Fuente de Internet	<1 %
20	Submitted to CONACYT Trabajo del estudiante	<1 %



Asesora: Blanca Margarita Romero Guzmán

21	reviberpol.files.wordpress.com Fuente de Internet	<1 %
22	doi.org Fuente de Internet	<1 %
23	revistas.sqperu.org.pe Fuente de Internet	<1 %
24	www.tandfonline.com Fuente de Internet	<1 %
25	Submitted to Universidad Catolica De Cuenca Trabajo del estudiante	<1 %
26	Submitted to Universidad Nacional del Chimborazo Trabajo del estudiante	<1 %
27	etd.repository.ugm.ac.id Fuente de Internet	<1 %
28	dspace.unitru.edu.pe Fuente de Internet	<1 %
29	repositorio.upeu.edu.pe Fuente de Internet	<1 %
30	repositorio.ug.edu.ec Fuente de Internet	<1 %
31	Moya, Jeison Diaz. "Latinx Student Perception of New Student Orientation at a Community College", Illinois State University, 2023 Publicación	<1 %



Asesora: Blanca Margarita Romero Guzmán



Recibo digital

Este recibo confirma que su trabajo ha sido recibido por **Turnitin**. A continuación podrá ver la información del recibo con respecto a su entrega.

La primera página de tus entregas se muestra abajo.

Autor de la entrega: **Yadira Yamileth Bravo Herrera**
Título del ejercicio: **Quick Submit**
Título de la entrega: **EFFECTO DEL ACEITE ESENCIAL DE HIERBA LUISA (Cymbopogo...**
Nombre del archivo: **Tesis_YADIRA_BRAVO.docx**
Tamaño del archivo: **1.3M**
Total páginas: **03**
Total de palabras: **11,523**
Total de caracteres: **64,027**
Fecha de entrega: **23-jun.-2024 04:21p. m. (UTC-0500)**
Identificador de la entre...: **2407324477**

