

UNIVERSIDAD NACIONAL JOSÉ MARÍA ARGUEDAS
FACULTAD DE INGENIERÍA
ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA AGROINDUSTRIAL



Presentado por

Br. SANDRA DIAZ OROSCO

**EVALUACIÓN DEL COLOR, SOLUBILIDAD y β -CAROTENOS DE
PELICULAS COMESTIBLES FORMULADAS CON ZUMO DE
ZANAHORIA, ALMIDÓN DE PAPA Y MUCILAGO DE NOPAL**

Asesor:

Dr. DAVID CHOQUE QUISPE

Co-Asesor:

Dr. CARLOS ALBERTO LIGARDA SAMANEZ

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

ANDAHUAYLAS – APURIMAC – PERÚ

2023



UNIVERSIDAD NACIONAL JOSÉ MARÍA ARGUEDAS
FACULTAD DE INGENIERÍA
ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA AGROINDUSTRIAL



APROBACIÓN DEL ASESOR

Quien suscribe:

Dr. CHOQUE QUISPE, David por la presente:

CERTIFICA,

Que, el bachiller de la Escuela Profesional de Ingeniería Agroindustrial **SANDRA DIAZ OROSCO** ha culminado satisfactoriamente el informe final de tesis intitulado:

“EVALUACIÓN DEL COLOR, SOLUBILIDAD Y β -CAROTENOS DE PELICULAS COMESTIBLES FORMULADAS CON ZUMO DE ZANAHORIA, ALMIDÓN DE PAPA Y MUCILAGO DE NOPAL”, para optar el título profesional de **Ingeniero Agroindustrial**.

Andahuaylas, 18 de enero del 2024



Dr. David Choque Quispe

Asesor



Br. Sandra Diaz OroSCO

Tesista



UNIVERSIDAD NACIONAL JOSÉ MARÍA ARGUEDAS
FACULTAD DE INGENIERÍA
ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA AGROINDUSTRIAL



APROBACIÓN DEL CO-ASESOR

Quien suscribe:

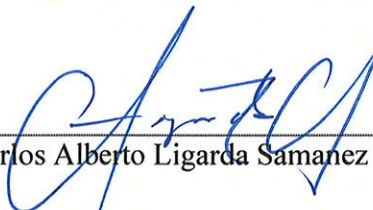
Dr. LIGARDA SAMANEZ, Carlos Alberto por la presente:

CERTIFICA,

Que, el bachiller de la Escuela Profesional de Ingeniería Agroindustrial **SANDRA DIAZ OROSCO** ha culminado satisfactoriamente el informe final de tesis intitulado:

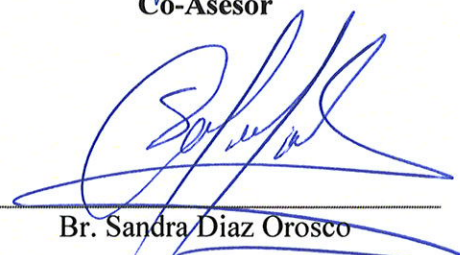
“EVALUACIÓN DEL COLOR, SOLUBILIDAD Y β -CAROTENOS DE PELICULAS COMESTIBLES FORMULADAS CON ZUMO DE ZANAHORIA, ALMIDÓN DE PAPA Y MUCILAGO DE NOPAL”, para optar el título profesional de **Ingeniero Agroindustrial**.

Andahuaylas, 18 de enero del 2024



Dr. Carlos Alberto Ligarda Samanez

Co-Asesor



Br. Sandra Diaz Orosco

Tesista



FACULTAD DE INGENIERIA

ACTA DE SUSTENTACION DE TESIS

En la Av. 28 de julio N° 1103 del Local Académico SL02 (Santa Rosa) en el Salón de Grados de la Escuela Profesional de Ingeniería Agroindustrial de la Universidad Nacional José María Arguedas ubicado en el distrito de Talavera de la Reyna de la Provincia de Andahuaylas, siendo las 08:00 horas del día viernes 03 de mayo del año 2024, se reunieron los docentes: MSc. Thomas Ancco Vizcarra, Dra. Rosa Huaraca Aparco, Msc. José Luis Estrada Pantía, en condición de integrantes del Jurado Evaluador del Informe Final de Tesis intitulado: **“EVALUACIÓN DE COLOR, SOLUBILIDAD Y B-CAROTENOS DE PELÍCULAS COMESTIBLES FORMULADAS CON ZUMO DE ZANAHORIA, ALMIDÓN DE PAPA Y MUCILAGO DE NOPAL”**, cuya autora es la Bachiller en Ingeniería Agroindustrial **SANDRA DIAZ OROSCO**, el asesor Dr. David Choque Quispe y el Co-asesor Dr. Carlos Alberto Ligarda Samanez., con el propósito de proceder a la sustentación y defensa de dicha tesis.


Luego de la sustentación y defensa de la tesis, el Jurado Evaluador **ACORDÓ: Aprobar** por **Unanimidad** a la Bachiller en Ingeniería Agroindustrial **SANDRA DIAZ OROSCO**, obteniendo la siguiente calificación y mención:

Nota escala vigesimal		Mención
Números	Letras	
15	QUINCE	BUENO

En señal de conformidad, se procedió a la firma de la presente acta en 03 ejemplares.


.....
MSc. Thomas Ancco Vizcarra
Presidente del Jurado Evaluador


.....
Dra. Rosa Huaraca Aparco
Primer Miembro del Jurado Evaluador


.....
MSc. José Luis Estrada Pantía
Segundo Miembro del Jurado Evaluador



ANEXO 31

APROBACIÓN DEL JURADO DICTAMINADOR

La tesis: “EVALUACIÓN DEL COLOR, SOLUBILIDAD Y B-CAROTENOS DE PELICULAS COMESTIBLES FORMULADAS CON ZUMO DE ZANAHORIA, ALMIDÓN DE PAPA Y MUCILAGO DE NOPAL”; para optar el TÍTULO PROFESIONAL DE INGENIERO AGROINDUSTRIAL, ha sido evaluado por el jurado dictaminador conformado por:


PRESIDENTE: MSc. Thomas Ancco Vizcarra

PRIMER MIEMBRO: Dra. Rosa Huaraca Aparco

SEGUNDO MIEMBRO: MSc. José Luis Estrada Pantía

Habiendo sido aprobado por UNANIMIDAD, en la ciudad de Andahuaylas el día 03 del mes de mayo de 2024.

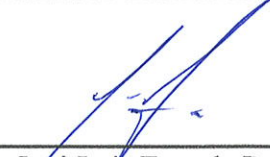
Andahuaylas, 03 de octubre de 2024



MSc. Thomas Ancco Vizcarra
Presidente Jurado Evaluador



Dra. Rosa Huaraca Aparco
Primer Miembro Jurado Evaluador



MSc. José Luis Estrada Pantía
Segundo Miembro Jurado Evaluador



UNIVERSIDAD NACIONAL JOSÉ MARÍA ARGUEDAS
FACULTAD DE INGENIERÍA
ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA AGROINDUSTRIAL



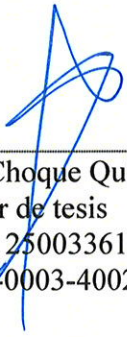
INFORME DE ORIGINALIDAD

El que suscribe asesor del trabajo de investigación/tesis, titulada **“EVALUACIÓN DEL COLOR, SOLUBILIDAD y β -CAROTENOS DE PELICULAS COMESTIBLES FORMULADAS CON ZUMO DE ZANAHORIA, ALMIDÓN DE PAPA Y MUCILAGO DE NOPAL”** presentado por la **Br. Sandra Diaz Orosco**, con DNI N° 70792958, de la **Escuela Profesional de Ingeniería Agroindustrial**, para optar el título profesional de **Ingeniero Agroindustrial**.

Informo que el documento ha sido sometido a revisión de originalidad, utilizando el software de control de similitud y detección de plagio Turnitin, conforme al reglamento vigente, verificándose un porcentaje de **9% de similitud general**.

Por tanto en mi condición de asesor, firmo el presente informe en señal de conformidad y adjunto el reporte de software firmado.

Andahuaylas, 13 de septiembre del 2024



Dr. David Choque Quispe
Asesor de tesis
DNI N° 25003361
ORCID: 0000-0003-4002-7526



UNIVERSIDAD NACIONAL JOSÉ MARÍA ARGUEDAS
FACULTAD DE INGENIERÍA
ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA AGROINDUSTRIAL



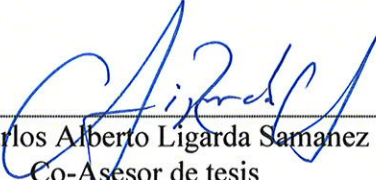
INFORME DE ORIGINALIDAD

El que suscribe Co-Asesor del trabajo de investigación/tesis, titulada **“EVALUACIÓN DEL COLOR, SOLUBILIDAD y β -CAROTENOS DE PELICULAS COMESTIBLES FORMULADAS CON ZUMO DE ZANAHORIA, ALMIDÓN DE PAPA Y MUCILAGO DE NOPAL”** presentado por la **Br. Sandra Diaz Orosco**, con DNI N° 70792958, de la **Escuela Profesional de Ingeniería Agroindustrial**, para optar el título profesional de **Ingeniero Agroindustrial**.

Informo que el documento ha sido sometido a revisión de originalidad, utilizando el software de control de similitud y detección de plagio Turnitin, conforme al reglamento vigente, verificándose un porcentaje de **9% de similitud general**.

Por tanto en mi condición de asesor, firmo el presente informe en señal de conformidad y adjunto el reporte de software firmado.

Andahuaylas, 13 de septiembre del 2024


Dr. Carlos Alberto Ligarda Samanez
Co-Asesor de tesis
DNI N° 31190026
ORCID: 0000-0001-7519-8355

Se adjunta:

1. *Reporte firmado, generado por el software.*



Andahuaylas, 25 de setiembre de 2024

La Unidad de Investigación de la Facultad de Ingeniería, expide la:

Constancia

De porcentaje de similitud (9%) según el software Turnitin, al informe final de investigación: Evaluación del color, solubilidad y B-carotenos de películas comestibles formuladas con zumo de zanahoria, almidón de papa y mucílago de nopal. Presentado por la Bach. **Sandra Diaz Orosco**, cuyo asesor es el Dr. David Choque Quispe y coasesor el Dr. Carlos Alberto Ligarda Samanez

.....
Dra. María del Carmen Delgado Calme
Presidente de la Unidad de Investigación
de la Facultad de Ingeniería

.....
M.Sc. Richard Carrión Abollaneda
Membro de la
Unidad de Investigación de la Facultad de Ingeniería

NOMBRE DEL TRABAJO

**EVALUACIÓN DEL COLOR, SOLUBILIDAD
Y β -CAROTENOS DE PELICULAS
COMESTIBLES FORMULADAS CON ZUMO
DE ZANAHORIA, ALMIDÓN DE PAPA Y
MUCILAGO DE NOPAL**

AUTOR

SANDRA DIAZ OROSCO

RECUENTO DE PALABRAS

25607 Words

RECUENTO DE CARACTERES

137050 Characters

RECUENTO DE PÁGINAS

109 Pages

TAMAÑO DEL ARCHIVO

2.8MB

FECHA DE ENTREGA

Sep 13, 2024 8:01 PM GMT-5

FECHA DEL INFORME

Sep 13, 2024 8:02 PM GMT-5

● **9% de similitud general**

El total combinado de todas las coincidencias, incluidas las fuentes superpuestas, para cada base de datos.

- 9% Base de datos de Internet
- Base de datos de Crossref
- 1% Base de datos de publicaciones
- Base de datos contenido publicado de Crossref

● **Excluir del Reporte de Similitud**

- Material bibliográfico
- Material citado
- Material citado
- Coincidencia baja (menos de 15 palabras)

● **9% de similitud general**


Principales fuentes encontradas en las siguientes bases de datos:

- 9% Base de datos de Internet
- Base de datos de Crossref
- 1% Base de datos de publicaciones
- Base de datos de contenido publicado de Crossr


FUENTES PRINCIPALES

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


1	repositorio.unajma.edu.pe Internet	3%
2	hdl.handle.net Internet	1%
3	edoc.pub Internet	<1%
4	secgen.unajma.edu.pe Internet	<1%
5	dspace.esPOCH.edu.ec Internet	<1%
6	ri.ues.edu.sv Internet	<1%
7	sedici.unlp.edu.ar Internet	<1%
8	repositorio.unamba.edu.pe Internet	<1%
9	pdfcookie.com Internet	<1%


 Br. Sandra Diaz Orasco X
 70792958


10	jpacd.org Internet	<1%
11	docplayer.es Internet	<1%
12	repositorio.ucss.edu.pe Internet	<1%
13	repositorio.ute.edu.ec Internet	<1%
14	renati.sunedu.gob.pe Internet	<1%
15	fcb.uanl.mx Internet	<1%
16	1library.co Internet	<1%
17	revistas.eia.edu.co Internet	<1%
18	repositorio.unal.edu.co Internet	<1%
19	repositorio.unprg.edu.pe Internet	<1%
20	scielo.org.co Internet	<1%
21	kyanilatinoamerica.com Internet	<1%


 Br. Sandra Díaz Orasco
 70792958 xi

22	abcnoticias.mx Internet	<1%
23	repositorio.ucv.edu.pe Internet	<1%
24	ecorfan.org Internet	<1%
25	repositorio.lamolina.edu.pe Internet	<1%
26	vrin.unsaac.edu.pe Internet	<1%
27	totul-bio.blogspot.com Internet	<1%
28	scribd.com Internet	<1%
29	repositorio.utc.edu.ec Internet	<1%
30	es.wikipedia.org Internet	<1%
31	kupdf.net Internet	<1%
32	repositorio.unheval.edu.pe Internet	<1%
33	repositorio.uaaan.mx:8080 Internet	<1%


Br. Sandra Díaz Orasco
70792958

34	tesis.ucsm.edu.pe Internet	<1%
35	Food Science Text Series, 1999. Crossref	<1%
36	repositorio.unh.edu.pe Internet	<1%
37	atmosfera.cl Internet	<1%


Br. Sandra Diaz Orasco
70992958 xiii

DEDICATORIA

El presente trabajo de investigación lo dedico primeramente a mí, gracias a la decisión, esfuerzo, a mi consistencia y perseverancia siempre con metas tratando de ser lo mejor cada día, logre lo que un día soñé y desee.

A mi familia, quienes nunca dejaron de creer en mí y en mis capacidades, en especial a mis padres quienes me dieron una vida maravillosa, apoyo incondicional y una educación rica y humilde.

A dios y al universo, por guiarme, darme salud, sabiduría y por bendecirme con esta meta trazada.

AGRADECIMIENTO

A la Universidad Nacional José María Arguedas (UNAJMA) en personal a la escuela profesional de Ingeniería Agroindustrial, por darme la oportunidad de formar parte de su institución y a todos los docentes de dicha escuela quienes dejaron sus legados y sabiduría, llevándome los aprendizajes de sus conocimientos y experiencias de cada uno de ustedes en mi formación académica.

Al Dr. David Choque Quispe y Dr. Carlos Alberto Ligarda Samanez, asesores quienes compartieron sus conocimientos amplios y quienes me dieron un apoyo incondicional, encaminando de la mejor forma de manera más conforme y conveniente el presente trabajo de investigación.

A mis padres quienes me motivaron y no dejaron rendirme apoyándome mutuamente en todas las circunstancias que se presentaron el camino, brindándome sus consejos sabios.

A las personas cercanas a mi quienes aportaron con un gramito de arena y también me motivaron para seguir y me abrieron las puertas a nuevos retos y proyectos, con la ilusión intacta de cumplir mis objetivos y seguir creciendo tanto personal como profesionalmente.

A mis jurados evaluadores, MSc. Thomas Ancco Vizcarra, Dra. Rosa Huaraca Aparco y MSc. Jose Luis Estrada Pantia, quienes me dieron valiosos y sabios comentarios, también correcciones que en un futuro las tendré que aplicar en el proceso de las etapas de mi vida y formación profesional.

ÍNDICE GENERAL

	Pág.
Dedicatoria.....	ii
Agradecimiento.....	iii
Índice general.....	iv
Índice de tablas	vii
Índice de figuras.....	viii
Índice de anexos.....	ix
Abreviaturas, símbolos y unidades	x
Resumen.....	xiii
Abstrac.....	xiv
Chumasqa.....	xv
Introducción.....	xvi
CAPITULO I: PROBLEMA DE LA INVESTIGACIÓN.....	1
1.1. Planteamiento del problema.....	1
1.2. Formulación del problema	1
1.2.1. Problema general	1
1.2.2. Problemas específicos.....	1
1.3. Justificación de la investigación	2
1.4. Objetivos de la investigación.....	2
1.4.1. Objetivo general.....	2
1.4.2. Objetivos específicos	2
CAPÍTULO II: ANTECEDENTES DE LA INVESTIGACIÓN.....	3
2.1. Antecedentes internacionales.....	3
2.2. Antecedentes nacionales	5
2.3. Antecedentes Regionales	6
CAPITULO III: MARCO TEORICO.....	8
3.1. Zanahoria	8
3.1.1. Zumo de zanahoria.....	10
3.1.2. β -carotenos.....	11
3.1.2.1. Degradación del β -caroteno	12

3.1.2.2. Métodos de extracción de carotenoides	12
3.2. Almidón.	13
3.2.1. Propiedades funcionales del almidón.....	13
3.3. Nopal.....	15
3.3.1. Mucilago del Nopal.....	15
3.4. Pectina.....	16
3.5. Plastificantes	16
3.5.1. Glicerol	17
3.6. Método de casting	17
3.7. Películas comestibles	18
3.7.1. Componentes de películas comestibles.....	18
3.7.2. Propiedades fisicoquímicas de películas comestibles.....	20
CAPÍTULO IV: METODOLOGÍA DE INVESTIGACIÓN	25
4.1. Lugar de ejecución.....	25
4.2. Identificación de las variables.....	25
4.3. Equipos, instrumentos, materiales y reactivos.....	26
4.4. Población, muestra, tipo de muestreo y unidad de análisis.....	28
4.4.1. Población.....	28
4.4.2. Muestra	28
4.4.3. Tipo de muestreo.....	28
4.4.4. Unidad de análisis	29
4.5. Tipo de investigación.....	29
4.6. Metodología experimental	30
4.6.1. Diagrama de bloques del proceso	30
4.6.2. Elaboración de películas comestibles	33
4.7. Métodos de análisis.....	36
4.7.1. Color... ..	36
4.7.2. Determinación de la Transparencia	36
4.7.3. Solubilidad.....	37
4.7.4. Determinación de actividad de agua (a_w).....	37
4.7.5. Determinación de β -carotenos totales.....	38

4.7.6. Determinación del porcentaje de acidez	39
4.8. Diseño experimental (variables y pruebas estadísticas).....	39
4.8.1. Análisis estadístico.....	40
CAPITULO V: RESULTADOS Y DISCUSIONES	42
5.1. Medida del color y transparencia de películas comestibles	42
5.2. Solubilidad y actividad de agua de películas comestibles	47
5.4. β -Carotenos totales y acidez de películas comestibles	53
CONCLUSIONES	58
RECOMENDACIONES Y SUGERENCIAS	59
REFERENCIAS BIBLIOGRAFICAS.....	60
ANEXOS.....	65
PANEL FOTOGRAFICO.....	80

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1 Composición nutricional de la zanahoria.....	9
Tabla 2 Variables independientes y dependientes	25
Tabla 3 Lista de equipos y instrumentos empleados en la investigación	26
Tabla 4 Lista de materiales de laboratorio empleados en la investigación.....	27
Tabla 5 Lista de reactivos e insumos de laboratorio empleados en la investigación.....	28
Tabla 6 Formulación para la elaboración de películas comestibles.....	33
Tabla 7 Diseño experimental de mezclas: formulaciones (%).....	40
Tabla 8 Promedio de coordenadas y índice de color	42
Tabla 9 Prueba de LSD para coordenadas e índice de color.....	44
Tabla 10 Promedio de solubilidad y actividad de agua	47
Tabla 11 Prueba de LSD para la solubilidad y actividad de agua	48
Tabla 12 Promedio de β -Carotenos y acidez	53
Tabla 13 Prueba de LSD para β -Carotenos y acidez	54

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1 Estructura química del β -Caroteno.....	12
Figura 2 Modificación del almidón sometido a hidrocalentamiento	14
Figura 3 Planta de nopal	15
Figura 4 Estructura química del glicerol.....	17
Figura 5 Circulo de coordenadas de $L^*a^*b^*$	21
Figura 6 Diagrama de bloques para la extracción de nopal	30
Figura 7 Diagrama de bloques para la extracción de zumo de zanahoria.....	32
Figura 8 Proceso de elaboración de películas comestibles	35
Figura 9 Superficie de respuesta y diagrama de Pareto para el índice de color.....	45
Figura 10 Superficie de respuesta y diagrama de Pareto para transparencia.....	46
Figura 11 Superficie de respuesta y diagrama de Pareto para solubilidad	51
Figura 12 Superficie de respuesta y diagrama de Pareto para la actividad de agua	53
Figura 13 Superficie de respuesta y diagrama de Pareto para β -Carotenos.....	56
Figura 14 Superficie de respuesta y diagrama de Pareto para la acidez	57

ÍNDICE DE ANEXOS

Anexo A Matriz de consistencia	66
Anexo B Instrumentos de recolección de datos	67
Anexo B1 Datos de color de películas comestibles	67
Anexo B2 Datos de índice de color.....	69
Anexo B3 Datos de transparencia de películas comestibles	71
Anexo B4 Datos de solubilidad de películas comestibles	72
Anexo B5 Datos de actividad de agua de películas comestibles	76
Anexo B6 Datos de β -carotenos de películas comestibles.....	77
Anexo B7 Datos de espesor de películas comestibles	78
Anexo B8 Datos de acidez de películas comestibles	79

Abreviaturas, símbolos y unidades

a*	: Coordenada
abs/mm	: Absorbancia sobre milímetros
a_w	: Actividad de agua
b*	: Coordenada
C	: Concentración
C*	: Croma
C₄₀H₅₆	: β-Caroteno
Ca	: Calcio
CGRAMO	: Concentración por gramo
Cm	: Centímetros
CMC	: Carboximetilcelulosa
Cu	: Cobre
F	: Formulación de películas comestibles
Fe	: Hierro
G	: Gramos
g/mol	: Gramos por mol
h	: Horas
H*	: Angulo de tonalidad
IA	: Índice de amarillo
IB	: Índice de blancura
IC	: Índice de color

K	: Potasio
Kcal	: Kilocalorías
L	: Litros
L*	: Luminosidad
LSD	: Diferencia mínima significativa
M	: Molar
mcg	: Microgramo
mEq	: Miliequivalente
Mg	: Magnesio
mg	: Miligramos
mg%g	: Miligramos por gramo
min	: Minutos
ml	: Mililitros
mm	: Milímetros
mV	: Minivoltios
N	: Normalidad
NaOH	: Hidróxido de sodio
nm	: Nanómetros
P	: Fosforo
p/p	: Porcentaje peso de soluto/peso de una solución
PHA	: Polihidroxialcanoatos
Ppm	: Partes por millón
Q.P.	: Químicamente puro

RH	: Humedad relativa
rpm	: Revoluciones por minuto
SA	: Solubilidad en agua
T°	: Temperatura
T1	: Tratamiento
Tg	: Temperatura de transición vítrea
UV	: Ultravioleta
Zn	: Zinc
β	: Beta
%	: Porcentaje
%AP	: Porcentaje de almidón de papa
%G	: Porcentaje de glicerina
%M	: Porcentaje mucilago de nopal
%P	: Porcentaje de pectina
%Z	: Porcentaje de zumo de zanahoria
(-OH)	: Grupos hidroxilo
°C	: Grados Celsius
°h	: Angulo de tonalidad
µg/100g	: Microgramos equivalentes de β-caroteno por 100 gramos de muestra
µL	: Microlitros
µm	: Micrones
1:1	: Relación de mililitro por mililitro

RESUMEN

Una película comestible es una capa fina y delgada elaborada de materiales poliméricas comestibles. El objetivo de la investigación fue evaluar los efectos del almidón de papa, pectina y zumo de zanahoria en las propiedades fisicoquímicas de las películas comestibles formuladas con zumo de zanahoria, almidón de papa y mucílago de nopal. Las películas comestibles se elaboraron utilizando el método casting, se compusieron de almidón de papa de la variedad Qayma Marcela, pectina cítrica de 95°, glicerina, mucílago de nopal y zumo de zanahoria. Se formularon tres tipos de películas: F1 (43% almidón de papa, 44% pectina, 4% glicerina, 4% mucílago de nopal, 5% zumo de zanahoria, temperatura de 65 °C), F2 (45% almidón de papa, 43% pectina, 4% glicerina, 4% mucílago de nopal, 4% zumo de zanahoria, temperatura de 65 °C) y F3 (44% almidón de papa, 42% pectina, 4% glicerina, 4% mucílago de nopal, 6% zumo de zanahoria, temperatura de 65 °C). Estas formulaciones se sometieron a un proceso de secado. Se observó que las coordenadas de $L^*a^*b^*$ tienden al color naranja, el índice de amarillo varió de 18,02 a 26,38, el índice de blancura de 39,72 a 56,76 y el índice de color de 4,11 a 6,55 determinándose efectos positivos una menor adición de almidón de papa y una mayor adición de pectina y zumo de zanahoria para índice de amarillo, mostrando lo contrario para el índice de blancura y una mayor adición de zumo de zanahoria para el índice de color, la adición de pectina para la transparencia, con valores de 0,20 a 0,54 abs/mm. Por otra parte, se observó una alta solubilidad en medio ácido y básico, con valores por encima del 94%, influenciada por la adición de almidón de papa y pectina. En cuanto a la actividad de agua (a_w), la adición del zumo de zanahoria también tuvo un efecto significativo ($p < 0,05$), reportándose valores de 0,47 y 0,48. En cuanto a la evaluación de los β -Carotenos totales y la acidez, se obtuvieron valores de 9,12 a 26,11 $\mu\text{g}/100\text{g}$ y de 0,22% a 0,31%, respectivamente. La presencia de zumo de zanahoria influyó en los valores de β -Carotenos totales, mientras que la adición de almidón de papa y pectina influyó en la acidez ($p < 0,05$). Se concluye que los efectos del almidón de papa, pectina y zumo de zanahoria tuvieron influencia en el color, solubilidad y β -Carotenos de películas comestibles.

Palabras claves: Acidez, a_w , color, solubilidad, película comestible, β -Carotenos.

ABSTRAC

An edible film is a thin, thin layer made of edible polymeric materials. The objective of the research was to evaluate the effects of potato starch, pectin and carrot juice on the physicochemical properties of edible films formulated with carrot juice, potato starch and cactus mucilage. The edible films were made using the casting method, they were composed of potato starch from the Qayma Marcela variety, 95° citrus pectin, glycerin, cactus mucilage and carrot juice. Three types of films were formulated: F1 (43% potato starch, 44% pectin, 4% glycerin, 4% cactus mucilage, 5% carrot juice, temperature of 65 °C), F2 (45% potato starch, 43% pectin, 4% glycerin, 4% cactus mucilage, 4% carrot juice, temperature 65 °C) and F3 (44% potato starch, 42% pectin, 4% glycerin, 4% cactus mucilage, 6 % carrot juice, temperature 65 °C). These formulations were subjected to a drying process. It was observed that the coordinates of $L^*a^*b^*$ tend to be orange, the yellow index varied from 18.02 to 26.38, the whiteness index from 39.72 to 56.76 and the color index from 4.11 to 6.55, positive effects being determined by a lower addition of potato starch and a greater addition of pectin and carrot juice for the yellow index, showing the opposite for the index of whiteness and a greater addition of carrot juice for the color index, the addition of pectin for transparency, with values from 0.20 to 0.54 abs/mm. On the other hand, a high solubility was observed in acidic and basic medium, with values above 94%, influenced by the addition of potato starch and pectin. Regarding water activity (a_w), the addition of carrot juice also had a significant effect ($p < 0.05$), reporting values of 0.47 and 0.48. Regarding the evaluation of total β -Carotenes and acidity, values of 9.12 to 26.11 $\mu\text{g}/100\text{g}$ and 0.22% to 0.31% were obtained, respectively. The presence of carrot juice influenced the values of total β -Carotenes, while the addition of potato starch and pectin influenced the acidity ($p < 0.05$). It is concluded that the effects of potato starch, pectin and carrot juice had an influence on the color, solubility and β -Carotenes of edible films.

Keywords: acidity, a_w , color, edible film, solubility, β -Carotenes.

CHUMASQA

Mikhuna p'anqa nisqaqa mikhuypaq polimyu imayaykunamanta rurasqa Ilañu, Ilañu qatanami. Kay investigacionpa munayninca karqan papa almidón, pectina, zanahoria jugo ima, zanahoria jugowan, papa almidónwan, cactus mucilagewan ima formulasqa mikhuypaq peliculakunap propiedades fisicoquímicas nisqapi. Chay mikhuypaq películas nisqakunaqa ruwakurqa método de fundición nisqawanmi, chaykunaqa ruwasqam karqa almidón de papa nisqamanta chay variedad Qayma Marcela nisqamanta, pectina cítrica 95° nisqamanta, glicerina nisqamanta, mucilage de cactus nisqamanta hinaspa zanahoria jugo nisqamanta. Kimsa laya peliculakunam ruwasqa karqa: F1 (43% papa almidón, 44% pectina, 4% glicerina, 4% cactus mucilage, 5% zanahoria jugo, temperatura 65 °C), F2 (45% papa almidón, 43% pectina, 4% glicerina, 4% cactus mucilage, 4% zanahoria jugo, temperatura 65 °C) hinallataq F3 (44% papa almidón, 42% pectina, 4% glicerina, 4% cactus mucilage, 6 % zanahoria jugo, temperatura 65 °C). Kay formulaciones nisqakunataqa ch'akichiywanmi ruwarqaku. Chaytahmi qawarikurqa L*a*b* nisqapa coordenadas nisqa naranja nisqa kananpaq, índice amarillo nisqa 18,02manta 26,38kama, yuraq kaynin 39,72manta 56,76kama, índice de color 4,11manta 6,55, allin efectos nisqakunam determinasqa kachkanku aswan pisi papa almidón yapasqawan chaymanta aswan hatun pectina hinaspa zanahoria jugo yapasqawan chay índice q'illu nisqapaq, chaymi qawachin contrario nisqa yuraq kaymanta índice nisqapaq hinallataq aswan hatun yapay zanahoria jugo nisqawan índice de color nisqapaq, pectina nisqa yapasqa transparencia nisqapaq, valores nisqawan 0,20manta 0,54 abs/mmkama. Huhninqa, hatun solubilidad nisqa qawarisqam medio ácido y básico nisqapi, valores nisqa 94% pataman, chaymi influenciasqa papa almidón nisqawan pectina nisqawan yapasqawan. Yakupa ruwayninmantaqa (a_w), zanahoria jugo yapayqa ancha allintam ruwarqa ($p < 0,05$), willakurqa valores 0,47 hinaspa 0,48. Tukuy β -Carotenos nisqamanta chanta acidez nisqamanta chaninchaymanta, valores 9,12manta 26,11 $\mu\text{g}/100\text{gm}$ chanta 0,22% a_w 0,31% a_w kama, chaymanjina tarikurqa. Chay zanahoria jugo kasqanmi influyerqa valores de total β -Carotenos nisqapi, chaymantatahmi papa almidón nisqawan pectina nisqawan yapayqa acidez nisqapi influyerqa ($p < 0,05$). Tukuchikunmi, papa almidón, pectina, zanahoria jugo ima efectosninca, mikhuypaq peliculakunapa colorninpi, solubilidadninpi, β -Carotenos nisqapipas influenciayuc kasqanmanta.

Sapaq simikuna: mikhuypaq película, llimp'i, solubilidad, a_w , β -Carotenos, acidez.

INTRODUCCIÓN

La creciente demanda de alimentos saludables y sostenibles ha llevado a la investigación y desarrollo de nuevas tecnologías y materiales en la industria alimentaria. Entre estas innovaciones, las películas comestibles han ganado relevancia debido a su potencial para mejorar la calidad y vida útil de los alimentos. En este contexto, la presente investigación se enfoca en la evaluación de los efectos del almidón de papa, pectina y zumo de zanahoria en las propiedades fisicoquímicas de las películas comestibles. Estos ingredientes fueron seleccionados por sus propiedades únicas y beneficios potenciales para la salud y el medio ambiente. El almidón de papa, por ejemplo, es un recurso renovable y biodegradable con excelentes propiedades de formación de películas. La pectina, un polisacárido presente en las paredes celulares de las plantas, es conocida por su capacidad para formar geles y películas con buenas propiedades mecánicas y de barrera. Por último, el zumo de zanahoria, rico en β -Carotenos y otros nutrientes, puede mejorar el valor nutricional de las películas y proporcionar un color atractivo. En este estudio, se prepararon tres tipos de películas comestibles utilizando diferentes proporciones de estos ingredientes y se evaluaron sus propiedades fisicoquímicas, incluyendo el color, la solubilidad, la actividad del agua, la concentración de β -Carotenos y la acidez. Los resultados de esta investigación podrían proporcionar información valiosa para el desarrollo de películas comestibles más eficientes y sostenibles. Así mismo el presente trabajo de investigación esta enlazada por el capítulo I que describe sobre la situación problemática, formulación del problema, justificación, objetivos e hipótesis de la investigación, con la finalidad de identificar una nueva opción de solución al problema, capítulo II muestra los antecedentes recopilados sobre el estudio y elaboración de películas comestibles, capítulo III se describen teorías y conceptos de la investigación, el capítulo IV metodología de la investigación hace referencia al lugar de ejecución, identificación de las variables, equipos, instrumentos, materiales, reactivos e insumos utilizados en el laboratorio de investigación, población, muestra, tipo de muestreo, unidad de análisis, tipo de investigación, metodología experimental, los métodos de análisis y diseño experimental, capítulo V se observan los resultados obtenidos acerca de la evaluación de los efectos principales e influencia del almidón de papa, pectina y zumo de zanahoria en el color, solubilidad y β -carotenos de películas comestibles y en el capítulo VI se determinan las conclusiones en respuesta a los objetivos, recomendaciones para futuras investigaciones, bibliografías y los anexos del trabajo de investigación.

CAPITULO I: PROBLEMA DE LA INVESTIGACIÓN

1.1. Planteamiento del problema

Las películas comestibles han ganado importancia en la industria alimentaria como alternativas sostenibles a los envases tradicionales. Su aplicación en la protección y conservación de alimentos, así como en la liberación controlada de ingredientes activos, ha generado un gran interés. En este contexto, el uso de ingredientes naturales como el zumo de zanahoria, el almidón de papa y el mucílago de nopal, ofrece un potencial para la elaboración de películas comestibles con propiedades funcionales específicas. Sin embargo, los efectos de la proporción de estos ingredientes en el color, la solubilidad y el contenido de β -carotenos de las películas comestibles no ha sido completamente estudiada. Es fundamental comprender cómo las diferentes formulaciones impactan en estas propiedades fisicoquímicas.

De esta manera es que el presente trabajo de investigación tuvo como objetivo evaluar los efectos del almidón de papa, pectina y zumo de zanahoria en el color, solubilidad y β -carotenos con la finalidad de obtener películas comestibles que presenten características deseables en términos de presentación de apariencia y atributos para su potencial uso y que suscite interés de industrias alimentarias para futuras investigaciones.

1.2. Formulación del problema

1.2.1. Problema general

¿Cuáles serán los efectos del almidón de papa, pectina y zumo de zanahoria en el color, solubilidad y β -carotenos de películas comestibles?

1.2.2. Problemas específicos

¿Cuál será el efecto del almidón de papa, pectina y zumo de zanahoria en el color de películas comestibles?

¿Cuál será el efecto del almidón de papa, pectina y zumo de zanahoria en la solubilidad de películas comestibles?

¿Cuál será el efecto del almidón de papa, pectina y zumo de zanahoria en los β -carotenos de películas comestibles?

1.3. Justificación de la investigación

La investigación sobre películas comestibles con base en ingredientes naturales es crucial para el desarrollo de alternativas sostenibles en la industria alimentaria. Evaluar los efectos del almidón de papa, la pectina y el zumo de zanahoria en el color, la solubilidad y el contenido de β -carotenos de las películas comestibles permitirá:

- Desarrollar películas comestibles con un color atractivo que satisfagan las preferencias del consumidor.
- Lograr una solubilidad superior al 90% para una mejor experiencia de consumo.
- Aumentar significativamente el contenido de β -carotenos en las películas comestibles, con beneficios para la salud.
- Características deseables en términos de presentación y atributos.

El uso de productos orgánicos como el zumo de zanahoria, rico en β -carotenos, ofrece una gran opción para la producción de películas comestibles. Del mismo modo, el almidón de papa y el mucílago de nopal tienen un gran potencial agroindustrial para obtener diversos productos. Además, la pectina, como componente natural, puede contribuir a la textura y consistencia de las películas.

1.4. Objetivos de la investigación

1.4.1. Objetivo general

Evaluar los efectos del almidón de papa, pectina y zumo de zanahoria en el color, solubilidad y β -carotenos de películas comestibles.

1.4.2. Objetivos específicos

- Determinar el efecto del almidón de papa, pectina y zumo de zanahoria en el color de películas comestibles.
- Determinar el efecto del almidón de papa, pectina y zumo de zanahoria en la solubilidad de películas comestibles.
- Determinar el efecto del almidón de papa, pectina y zumo de zanahoria en los β -carotenos de películas comestibles.

CAPÍTULO II: ANTECEDENTES DE LA INVESTIGACIÓN

2.1. Antecedentes internacionales

Iahnke et al. (2015), estudiaron residuos de cápsulas de gelatina y zanahoria mínimamente procesadas como materiales potenciales para películas de empaque. El objetivo del estudio fue desarrollar películas biodegradables utilizando estos residuos industriales y investigar los efectos de diferentes concentraciones de residuos de cápsulas de gelatina y zanahoria mínimamente procesada con alto contenido de fibra dietética total en las propiedades antioxidantes, fisicoquímicas, de barrera, mecánicas y ópticas de las películas. Los resultados obtenidos demostraron que la solubilidad en agua y la permeabilidad al vapor de agua mejoraron con la adición creciente de zanahoria mínimamente procesada. Además, la zanahoria contribuyó a mayores valores de opacidad en las películas. Estos hallazgos indican que el uso de residuos para la formación de películas biodegradables representa una alternativa prometedora para la producción de envases activos y sostenibles, así como para el desarrollo de tecnologías ecoamigables. Así, como también contribuyó a entender mejor el objetivo de esta investigación.

Burgos & Calderón. (2009), estudiaron la determinación del contenido de carotenoides totales en ocho especies de frutas y verduras comercializadas en la zona metropolitana de San Salvador. El objetivo principal fue determinar el contenido de carotenoides totales en estas especies utilizando el método de espectrofotometría en base seca y húmeda, mediante la obtención de espectros de adsorción y longitudes de onda. En el caso específico de la zanahoria, se encontraron valores de 89,39 μg equivalente de β -caroteno/100g en base húmeda y 10,62 μg equivalente de β -caroteno/100g en base seca. Además, se observó una longitud de onda máxima de absorción a 449,15 nm, así como dos hombros ubicados a cada lado con longitudes de onda de 426,77 nm y 476,01 nm. El β -caroteno es el carotenoide más característico encontrado en la zanahoria, y su absorción máxima se produce a una longitud de onda de 449 nm. Además, presenta dos picos adicionales a 426 nm y 476 nm. Para la extracción de los carotenoides, se utilizó el hexano líquido como solvente. Estos resultados son relevantes ya que proporcionan información sobre el contenido de carotenoides en la zanahoria, lo cual es importante debido a los beneficios para la salud asociados con estos compuestos. Los carotenoides son pigmentos naturales que actúan como antioxidantes y se ha demostrado que tienen efectos positivos en la prevención de enfermedades

crónicas. La metodología de cuantificación de carotenoides es viable para analizar β -carotenos en el trabajo de investigación.

Wang et al. (2011), estudiaron las propiedades mecánicas y de barrera de películas de puré de zanahoria. El objetivo de la investigación fue desarrollar películas comestibles utilizando puré de zanahoria, carboximetilcelulosa, almidón de maíz, gelatina y glicerol. Se analizaron los efectos del contenido de hidrocoloides y plastificantes en las propiedades de la película. En cuanto a los valores obtenidos de la luminosidad L^* , se encontró un valor de $43,02 \pm 0,83$. Para el coordenada a^* , se obtuvo un valor de $35,11 \pm 0,37$, y para la coordenada b^* , se obtuvo un valor de $43,05 \pm 0,52$. Estos valores aumentaron con el aumento del contenido de glicerol y disminuyeron con el aumento del contenido de almidón de maíz. Estos resultados indican que el contenido de glicerol influye positivamente en la luminosidad y el color de las películas de puré de zanahoria, mientras que el contenido de almidón de maíz tiene un efecto contrario. Estos hallazgos son importantes para comprender cómo los diferentes ingredientes afectan las propiedades de las películas y pueden ser útiles en el desarrollo de películas comestibles a base de zanahoria con características específicas.

Ventrera et al. (2013), realizaron la caracterización por contenido de β -carotenos de ocho cultivares de zanahoria (*Daucus carota L.*) y su relación con el color. El objetivo principal de la investigación fue determinar el contenido de β -caroteno y su relación con el índice de Color. En el estudio, se evaluó el contenido de β -caroteno y se calculó el IC utilizando la captación de imagen digital con una PC y un escáner, midiendo los valores de Lab^* . Los cultivares de zanahoria se mantuvieron constantes durante los dos años de estudio. Los resultados mostraron que los cultivares Natasha, Flakesse y Colmar presentaron valores menores de 18 mg%g en cuanto al contenido de β -carotenos. Además, el autor menciona que otras investigaciones han reportado contenidos de β -carotenos más bajos, de 14,3 y 10,7 mg%g, así como contenidos más altos, de 21,8 y 23 mg%g. En cuanto al índice de Color, se obtuvieron valores que oscilaron entre 11,30 y 18,30. Estos resultados son importantes ya que proporcionan información sobre el contenido de β -carotenos y el índice de Color en diferentes cultivares de zanahoria.

Palestina et al. (2018), en su investigación, evaluación del color y propiedades antioxidantes de películas comestibles de gelatina incorporadas con aceite rico en licopeno y β -caroteno. Los atributos del color se midieron utilizando un colorímetro HunterLab. Los valores de la coordenada a^* (rojo-verde) y coordenada b^* (amarillo-azul) se utilizaron para calcular los valores de

cromaticidad (C*) y ángulo de tonalidad ($^{\circ}h$). Los resultados obtenidos mostraron que la película de control (0% de aceite) presentaba un color más amarillento y un croma muy bajo, lo que la hacía prácticamente incolora a simple vista. Por otro lado, la película con mayor contenido de aceite (15%) mostró un color más rojo y más cromático. Se puede concluir que, en las películas con mayor contenido de aceite, la intensidad de color más roja se debe a la presencia de licopeno. Además, se observó que, en las películas a base de extractos de proteína y carotenoides de camarón, el color amarillo se debe a la presencia de licopeno, mientras que los tonos rojo anaranjado se deben a la concentración de licopeno y astaxantina. Esta investigación proporcionó aportes importantes para la evaluación del color en películas comestibles.

2.2. Antecedentes nacionales

Ayquipa (2018), estudio la caracterización física de películas comestibles obtenidas de mucílago de la cáscara de tuna y almidón de la cáscara de papa (*Solanum tuberosum*). El objetivo principal fue obtener y caracterizar estas películas comestibles utilizando subproductos de la agroindustria. Después de extraer el mucílago de la cáscara de tuna y el almidón de la cáscara de papa, se procedió a la elaboración de las películas comestibles mediante la adición de glicerina y vinagre en seis formulaciones diferentes. Se realizó la caracterización física de las películas, incluyendo el espesor, la solubilidad en agua y la opacidad. Los resultados reportaron valores de espesor que oscilaron entre 0,17 mm y 0,28 mm. En cuanto a la opacidad, se obtuvieron valores de 0,63 a 1,01 mm. Se concluyó que estas dos características estuvieron directamente influenciadas por el espesor, ya que los tratamientos con mayor densidad (Formulación 2 y Formulación 3) presentaron mayor espesor y, por lo tanto, mayor opacidad. En cuanto a la solubilidad en agua, se reportaron valores de 49,97% a 62,58%. Estos resultados indicaron que las propiedades de solubilidad en agua fueron más influenciadas por la composición de la formulación utilizada. En resumen, el estudio demostró que las películas comestibles obtenidas a partir del mucílago de la cáscara de tuna y el almidón de la cáscara de papa presentaron diferentes características físicas, como espesor, opacidad y solubilidad en agua, que fueron influenciadas por la composición de la formulación utilizada.

Herrera Campos (2018), en su investigación efecto de la concentración de goma arábiga y temperatura de aire de secado por aspersión en el contenido de carotenoides totales, vitamina C y actividad antioxidante de la pulpa de tomate de árbol (*Cyphomandra betacea* de *Solanum*

betaceum). El objetivo principal del estudio fue evaluar cómo la concentración de goma arábica y la temperatura del aire de secado por aspersión y atomizado afectan los carotenoides totales, la vitamina C y la actividad antioxidante en la pulpa de tomate de árbol. Se determinó el contenido de carotenoides totales, vitamina C y actividad antioxidante en la pulpa de tomate de árbol. Los resultados reportaron un valor de 29,28 mg de β -caroteno por cada 100 g de muestra en cuanto a los carotenoides totales. Esta información contribuye a una mejor comprensión del proceso de obtención de los carotenoides totales, lo cual es útil para conocer más sobre la metodología utilizada en este estudio.

Peralta Guevara (2022), elaboró y caracterizó biopelículas comestibles para recubrir alimentos a partir de mucílago de nopal (*Opuntia Ficus Indica*) y almidón de oca (*Oxalis Tuberosa*). El objetivo principal de la investigación fue obtener y caracterizar biopelículas comestibles a partir de estos ingredientes. Se crearon nueve tratamientos de biopelículas comestibles utilizando el método de termoconformado. Además, se evaluaron las propiedades fisicoquímicas de las biopelículas. Según el análisis de solubilidad, se encontró que las biopelículas son más del 91% solubles en agua. La actividad de agua de las biopelículas osciló entre 0,402 y 0,573, y la transparencia fue menor a 2,08. Las formulaciones y los resultados obtenidos en este estudio fueron útiles para la elaboración de las biopelículas comestibles.

2.3. Antecedentes Regionales

Choque-Quispe et al. (2021), el objetivo de su investigación fue obtener películas a partir de almidón de papa de la variedad Allcca sipas (*Solanum tuberosum subespecie Andigena*), mucílago de nopal (*Opuntia ficus indica*) y glicerina. Se formularon doce tratamientos de películas comestibles utilizando diferentes sustratos mediante el proceso de termosíntesis. En el estudio se observó que tanto el mucílago como el glicerol tienen un efecto significativo en la solubilidad y en la actividad de agua, teniendo un efecto opuesto. Del mismo modo, se encontró que el almidón también tiene un efecto en estas propiedades. Además, se menciona que el valor de la actividad de agua (a_w) osciló entre 0,562 y 0,639, y la solubilidad varió entre 19,77% y 54,08%. Este artículo de investigación proporciona información valiosa sobre la formulación de películas comestibles utilizando estas muestras, contribuyendo así al conocimiento en este campo.

Chocano (2019), estudio propiedades físicas y mecánicas de una película formulada con almidón de papa (*Solanum tuberosum*) y mucilago de nopal (*Opuntia ficus*). El objetivo de su trabajo de

investigación fue evaluar estas propiedades en una biopelícula formulada con estos ingredientes. Para la formulación de las películas, se utilizaron almidón de papa nativa de la variedad Yana palta, mucílago de nopal, pectina cítrica de alto metoxilo y glicerina químicamente pura. Los resultados de la investigación mostraron que a medida que aumentaba el porcentaje de almidón de papa, la solubilidad en agua también aumentaba. En cuanto al color, se observó que el índice de opacidad y amarillez aumentaba con la temperatura, aunque el índice de blancura disminuía después de cierto punto. Además, se observó que el biofilm era más estable en ambientes no polares, mientras que, en solventes polares, la resistencia del biofilm disminuía a temperaturas más bajas. Este trabajo de investigación proporcionó una guía para la elaboración y formulación de películas comestibles en investigaciones posteriores.

CAPITULO III: MARCO TEORICO

3.1. Zanahoria

Zanahoria (*Daucus carota sp*) es una planta silvestre con hojas recortadas, flores blancas. Su raíz vegetal es puntiaguda, gruesa y alargada (cónica), siendo jugosa y comestible. Pertenece a la familia de las umbelíferas, también conocidas como apiáceas. *Daucus carota; L* es la especie de zanahoria más consumida de su familia. Originaria de Europa y Asia Sudoccidental, la zanahoria se desarrolla mejor a temperaturas entre 18 °C y 24 °C. El tamaño de estas raíces varía de 6 a 30 cm, dependiendo de la capacidad de las hojas (Macas, 2007).

Su piel y carne suelen tener un color rojizo amarillento debido a la presencia de β -carotenos. Es rica en provitaminas A, E y C, fibra dietética, carotenos y minerales como calcio (Ca), potasio (K), magnesio (Mg), hierro (Fe), fósforo (P), cobre (Cu) y zinc (Zn). La calidad de las raíces se determina por el volumen del corazón interior, que va desde las hojas hasta la base, y por los tejidos, donde se almacenan los azúcares y el caroteno. Desde el punto de vista nutricional, la zanahoria ofrece numerosas ventajas en la alimentación, sin importar la edad. Su sabor delicioso ayuda a fortalecer los dientes y las encías. Es excelente para estimular el apetito y está muy recomendada por nutricionistas para personas que sufren de anemia y depresión (Sharma et al., 2012).

a. Taxonomía

La clasificación de la zanahoria ocupa la siguiente posición taxonómica.

Reino: Plantae

Division: Magnoliophyta

Clase: Magnoliopsida

Subclase: Dicotyledoneae

Orden: Umbelliferales

Familia: Umbelliferae

Género: Daucus

Especie: Carota

Nombre científico: Daucus carota. Var. Nantes, Chantenay

Nombre común: Zanahoria

Fuente: (Rueda, 2015, p. 125)

b. Componentes nutricionales de la zanahoria

Tabla 1

Composición nutricional de la zanahoria en 100 gramos de sustancia comestibles.

Componente	OMS y FAO
Calorías (Kcal)	27.00
Proteínas (g)	1.00
Carbohidratos (glúcidos) (g)	9.58
Azúcares (g)	4.74
Lípidos (grasas) (g)	0.24
Fibra (g)	2.80
Vitamina (mcg)	835
B-caroteno (mcg)	8285
Vitamina B1 (mg)	0.066
Vitamina B2 (mg)	0.058
Vitamina B3 (mg)	0.983
Vitamina B6 (mg)	0.138
Vitamina B9 (mcg)	19.00
Vitamina C (mg)	5.90
Vitamina E (mg)	0.66
Vitamina K (mcg)	13.20
Calcio (mg)	33.00
Fósforo (mg)	35.00
Cobre (mg)	0.045
Hierro (mg)	0.300
Magnesio (mg)	12.00
Potasio (mg)	320.00
Tiamina (mg)	0.03
Selenio (mcg)	0.10
Sodio (mg)	69.00
Zinc (mg)	0.24
Riboflavina	0.03
Niacina	0.40
Carotenos totales (µg)	12000

Fuente: FAO y OMS (fao.org/es/agricultura/produ/papa.html).

3.1.1. Zumo de zanahoria

El zumo de zanahoria es el líquido que se obtiene al exprimir o licuar zanahorias (*Daucus carota*). Es particularmente rico en betacaroteno, una fuente de vitamina A, así como en vitaminas del complejo B, como el ácido fólico, y varios minerales como calcio, cobre, magnesio, potasio, fósforo y hierro. Se obtiene aproximadamente una taza de zumo (236 ml) a partir de 500 g de zanahorias, aunque la pulpa de zanahoria es dura y puede ser difícil de separar del zumo. Una alternativa para obtener zumo de zanahoria es prensarlo en frío, lo que preserva los micronutrientes y evita la oxidación prematura (Sharma et al., 2012).

Según Sharma et al (2012) el zumo de zanahoria presenta diversas propiedades físicas y químicas, A continuación, se mencionan algunas de ellas:

Características físicas:

- El zumo de zanahoria es un líquido de color naranja intenso debido a la presencia de carotenoides, como el betacaroteno.
- Tiene una consistencia líquida y suave, lo que facilita su consumo y digestión.
- Puede presentar una ligera viscosidad debido a los azúcares naturales presentes en las zanahorias.

Características químicas:

- El zumo de zanahoria es rico en nutrientes como vitaminas y minerales. Contiene vitamina A, vitamina C, vitamina K, vitamina B6, ácido fólico, potasio, calcio, magnesio y fósforo, entre otros.
- Es una fuente importante de antioxidantes, como los carotenoides, que ayudan a proteger las células del daño oxidativo.
- Contiene fibra dietética, que contribuye a la salud digestiva y puede ayudar a regular el tránsito intestinal.
- Es bajo en calorías y grasas, lo que lo convierte en una opción saludable para incluir en la dieta.

El proceso de secado puede afectar algunas características del zumo de zanahoria, como la concentración de nutrientes y la estabilidad de los pigmentos carotenoides. En general, el secado a altas temperaturas puede provocar la degradación de nutrientes sensibles al calor, como las

vitaminas. Por el contrario, el secado a bajas temperaturas puede ayudar a preservar mejor los nutrientes y mantener la calidad del zumo. No obstante, es importante tener en cuenta que el proceso de secado puede variar dependiendo de los métodos y equipos utilizados (CODEX, 2005).

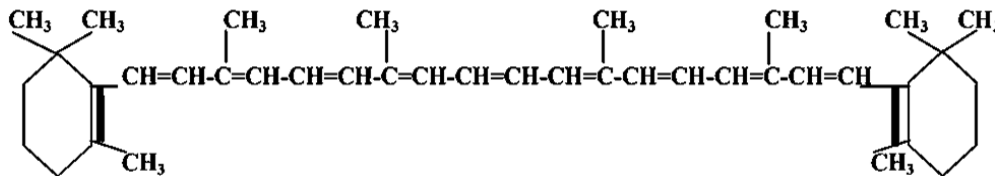
3.1.2. β -carotenos

Los β -carotenos son pigmentos biológicos que se encuentran de forma natural presentes en las zanahorias de color rojo, amarillo y anaranjado (Carranco et al., 2011). Sin embargo, desde el punto de vista químico (Figura 1), el β -caroteno es inestable y propenso a la isomerización y oxidación, lo que puede ocasionar pérdidas en el color y en las propiedades antioxidantes que favorecen la salud de las personas gracias a su contenido de provitamina A, el β -caroteno cumple una función nutricional importante, actuando como protector contra los rayos UV, como comunicador celular y reduciendo el riesgo de enfermedades degenerativas como el cáncer, enfermedades cardiovasculares y degeneración macular, entre otras. El número de dobles enlaces conjugados es proporcional a la longitud de onda de absorción. La ciclación afecta el grado de formación del color. Estos compuestos son fácilmente solubles en otros lípidos y solventes como: acetona, etanol, metanol, éter, cloroformo y otras sustancias orgánicas. Sin embargo, para disolverlos y obtener β -carotenos, es mejor utilizar solventes no polares como el éter de petróleo, hexano (Cavalcanti et al., 2013).

En la industria alimentaria, el β -caroteno es de gran importancia debido a su estructura, que consiste en dos grupos cíclicos de iones conectados por una cadena. Este carotenoide es un intermediario isoprenoide con nueve dobles enlaces conjugados, lo que le confiere estabilidad y su característico color. La apertura del anillo o el agrandamiento del mismo produce un cambio de color hacia tonos rojos, mientras que la epoxidación o la pérdida de conjugación da como resultado tonos amarillos (Badui, 2006).

Figura 1

Estructura química del β -Caroteno.



Fuente: (Cavalcanti et al., 2013).

3.1.2.1. Degradación del β -caroteno

El tratamiento térmico tiene efectos duales sobre el β -caroteno. Por un lado, puede provocar la hidrogenación y degradación del β -caroteno, especialmente en condiciones de procesamiento severas y altas temperaturas, lo que lleva a pérdidas por tratamiento térmico. Sin embargo, por otro lado, el tratamiento térmico puede aumentar la biodisponibilidad del betacaroteno. Además, la descomposición de la matriz celular de los alimentos procesados puede afectar el contenido de β -caroteno y hacerlos más susceptibles a la degradación oxidativa. Factores como la luz, el calor y la autooxidación durante el tratamiento pueden provocar la degradación de los carotenoides. Esta degradación también puede estar relacionada con el mal sabor en algunos alimentos, como la deshidratación de zanahorias (Falconer et al., 1964).

3.1.2.2. Métodos de extracción de carotenoides

Existen varios métodos de extracción de β -carotenos. A continuación, se presentan algunos de estos métodos.

Métodos de extracción de carotenoides Según: AOAC, (2023).

- A. Extracción convencional:** Este método implica la extracción de betacarotenos a partir de la zanahoria utilizando solventes como éter de petróleo, hexano o etanol.
- B. Extracción por Soxhlet:** Este método utiliza un aparato de Soxhlet para extraer betacarotenos a partir de la materia prima, como la zanahoria. El solvente, como éter de

petróleo, se calienta y se hace circular a través de la muestra repetidamente para lograr una extracción eficiente.

C. Extracción con solventes polares: Los solventes polares como el etanol, el metanol o la acetona también se utilizan para extraer betacarotenos. Estos solventes pueden ser efectivos para extraer xantofilas, que son otro tipo de pigmentos carotenoides presentes en las plantas.

D. Extracción con solventes orgánicos: Los carotenoides, incluido el betacaroteno, también se pueden extraer de fuentes naturales como microalgas, levaduras y flores utilizando disolventes orgánicos.

Es importante tener en cuenta que la elección del método de extracción puede depender de varios factores, como la naturaleza de la muestra, el objetivo de la extracción y la disponibilidad de equipos y solventes (AOAC, 2023).

3.2. Almidón

El almidón es un biopolímero elaborado a partir de los residuos del carbohidrato de reserva más abundante en las plantas, como hojas, flores, frutas, semillas, tallos y raíces. Se presenta en forma de gránulos insolubles, de forma ovalada a esférica, con un tamaño que oscila entre 5 y 100 μm . Es el segundo carbohidrato más abundante después de la celulosa y está compuesto por polisacáridos de glucosa, como la amilosa y la amilopectina. El almidón es fácilmente dispersable en agua fría, tiene alta viscosidad y buena estabilidad a la retrogradación. Además, presenta alta transparencia en forma de pasta. En la industria alimentaria, el almidón de papa se utiliza en diversas aplicaciones, como agente texturizante, formador de películas, aglutinante de agua, estabilizador, emulsionante, humectante y espesante. También se utiliza en procesos de fabricación para mejorar la textura, la estabilidad y la calidad de los alimentos (Holguin & Cardona, 2019).

3.2.1. Propiedades funcionales del almidón

3.2.1.1. Gelatinización

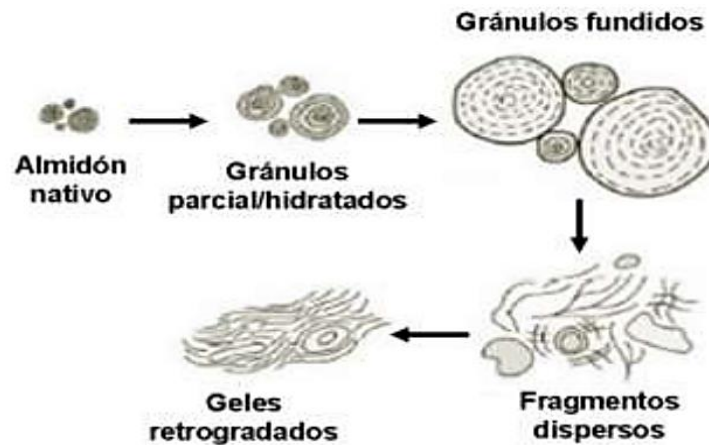
La gelatinización de un almidón se produce mediante un proceso de calentamiento en presencia de agua. Durante este proceso, el agua se dispersa en el gránulo de almidón, provocando su hinchamiento y pérdida de cristalinidad debido a la deshidratación de la fase amorfa (la región del gránulo de almidón). A medida que se concentra una cantidad ilimitada de agua, los puentes

de hidrógeno de la fase amorfa se rompen, permitiendo que el agua se una a los grupos hidroxilos libres, así como se muestra en Figura 2 (Fennema, 2000).

La gelatinización del almidón se ve influenciada por varios factores, como la temperatura (T_g), el tiempo, la energía mecánica y la absorción de calor. El rango de temperatura óptimo para que ocurra la gelatinización está entre 88 y 90 °C, aunque estos valores pueden variar según el origen, la variedad y el tipo de almidón. En algunos casos, la gelatinización completa puede ocurrir a 95 °C y permite mejorar la flexibilidad y resistencia de las películas, lo que las hace más adecuadas para su uso en aplicaciones de películas y recubrimientos comestibles (Donovan, 1979).

Figura 2

Modificación del almidón sometido a hidrocalentamiento.



Fuente: Rooney & Huang, (2001).

3.2.1.2. Retrogradación

La retrogradación del almidón es un proceso que ocurre cuando las moléculas en los gránulos de almidón gelatinizado comienzan a reasociarse en una estructura más ordenada después de la gelatinización y el enfriamiento. Durante la retrogradación, las moléculas de amilosa y amilopectina se unen formando enlaces de tipo cristalino, lo que resulta en la formación de una red tridimensional (Fennema, 2000).

3.3. Nopal

Los nopales (*Opuntia ficus-indica*) se encuentran geográficamente en zonas semiáridas, templadas y áridas-tropicales secas con pH neutro. Existe una diversidad de diferentes especies de nopales. A simple vista, son plantas arbustivas, erectas y ramificadas, que pueden llegar a crecer de 3 a 5 metros de altura. Las pencas de los nopales tienen un color verde opaco debido a la fotosíntesis
Figura 3 (Abraján, 2008).

Figura 3

Planta de nopal.



La clasificación taxonómica del nopal es la siguiente:

Reino: plantae

Subreino: Embryophita

División: Angiospermae

Clase: Dicotyledonea

Subclase: Dialipetalas

Orden: Opuntiales

Familia: Cactaceae

Subfamilia: Opuntioideae

Género: Opuntia ficus-indica

Fuente: (Rios & Quintana, 2004).

3.3.1. Mucilago del Nopal

Los mucílagos son polisacáridos fibrosos heterogéneos que se caracterizan por formar coloides viscosos (geles cristalinos) con capacidad de retención de agua y modificar propiedades como la viscosidad, elasticidad y textura. Estos mucílagos son carbohidratos complejos y son buenos

gelificantes, espesantes y emulsionantes. Tienen un peso molecular que oscila entre $2,3 \times 10^4$ - 3×10^6 g/mol y están compuestos por una mezcla de monosacáridos ácidos y neutros, principalmente arabinosa (42-42,6%), galactosa (21-40,1%), ácido galacturónico (8-12,7%), ramnosa (7-13,1%) y xilosa (22-22,2%) (Sáenz et al., 2006).

3.4. Pectina

La pectina es un polisacárido de origen vegetal que se utiliza en la elaboración de películas comestibles debido a sus propiedades funcionales, como su capacidad para formar geles y su capacidad de retención de agua. Estas propiedades permiten que las películas a base de pectina sean flexibles y tengan una buena capacidad de retención de humedad. Además, se ha utilizado en combinación con otros polisacáridos, como el almidón y la celulosa, para mejorar las propiedades mecánicas y de barrera. La pectina puede interactuar con otros componentes de las películas, como el glicerol, para generar transiciones termodinámicas y cambiar la microestructura de las cadenas laterales de la pectina (Henaó et al., 2012)

La pectina es un ácido con un pK de aproximadamente 3,5. Un alto porcentaje de grupos ácido-disociados en comparación con los no disociados hace que la pectina sea más hidrofílica. Por lo tanto, la gelificación aumenta considerablemente al disminuir el pH. Esto es especialmente evidente en las pectinas de alto metoxilo, las cuales normalmente requieren un pH por debajo de 3,5 para gelificar. El proceso de gelificación lenta de las pectinas de alto metoxilo permite un tiempo de 25 a 30 minutos para que las burbujas de aire atrapadas puedan escapar. Además, las pectinas de alto metoxilo se pueden clasificar en diferentes categorías según su temperatura de gelificación. Aquellas que gelifican en menos de cinco minutos a 95 °C, presentan un grado de esterificación entre 68 y 75%. Las pectinas con un grado de esterificación entre el 60 y 68% gelifican en tiempos superiores a los cinco minutos a 65 °C (Muñoz & Ordoñez, 2011).

3.5. Plastificantes

Los plastificantes son moléculas pequeñas de bajo peso molecular y baja volatilidad que se utilizan para mejorar la flexibilidad y funcionalidad de los recubrimientos. Entre los agentes plastificantes más comúnmente utilizados se encuentran el glicerol, polietilenglicol, sorbitol, aceites, ácidos grasos, ceras, entre otros. El glicerol es el plastificante más utilizado en las formulaciones a base de polisacáridos y proteínas. Estos plastificantes aumentan la flexibilidad de los recubrimientos al

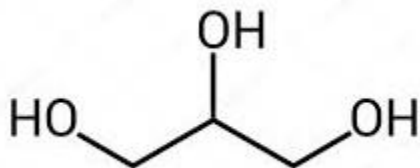
incrementar el volumen libre o la movilidad molecular de los polímeros, reduciendo los enlaces de hidrógeno internos entre las cadenas de polímeros (Krochta & Mulder, 1997).

3.5.1. Glicerol

El glicerol, también conocido como glicerina, es un compuesto químico utilizado ampliamente en la industria farmacéutica. Es un líquido viscoso, incoloro. El glicerol tiene tres grupos hidroxilos que son responsables de su solubilidad en agua y su naturaleza hidróscópica. Es el componente central de algunos lípidos y tiene un sabor ligeramente dulce y baja toxicidad. Debido a los grupos hidroxilo (-OH) en su estructura, el glicerol es capaz de vincularse a través de puentes de hidrógeno con las cadenas del almidón, impidiendo el completo ordenamiento de las mismas. Esto se debe a que el glicerol se interpone entre las cadenas del almidón. El efecto global de reemplazar las interacciones polímero-polímero por interacciones plastificante-polímero es la reducción de la rigidez de las películas. El tamaño molecular, la configuración y el número total de grupos -OH funcionales del plastificante, así como su compatibilidad con el polímero, afectan el tipo y la cantidad de interacciones entre el plastificante y las cadenas poliméricas, así como se muestra en la Figura 4 (Yang & Paulson, 2000).

Figura 4

Estructura química del glicerol.



Fuente: Yang & Paulson, (2000).

3.6. Método de casting

Es la técnica que se utiliza a nivel de laboratorio y también es conocida como técnica de vaciado en placas o gelatinización térmica se utiliza para formar películas a partir de un polímero formador en solución. En esta técnica, se realiza un calentamiento con exceso de agua y la solución obtenida se vierte en placas o soportes para luego secar bajo condiciones determinadas, y finalmente se retira la película de la placa (Sothornvit et al. 2007).

3.7. Películas comestibles

Una película comestible es una capa matriz fina y delgada, preformada con un espesor de 0.3 mm, elaborada a partir de materiales poliméricos comestibles. Se utiliza para recubrir alimentos con el objetivo de retrasar su deterioro, preservar sus características fisicoquímicas y prolongar su vida útil. Estas películas proporcionan una barrera al oxígeno, lo que ayuda a mantener la calidad y frescura de los alimentos (McHugh, 2000).

Gracias a la investigación moderna, se han identificado diversas sustancias que pueden ser utilizadas para elaborar películas comestibles seguras para el consumo humano. Algunas de las más comunes son la gelatina y el quitosano. Además, existen películas comestibles hechas de sacarosa, pectina, gluten de trigo, proteína de maíz, almidón de papa, mucílago de nopal, puré de zanahoria y otros materiales. Estas películas pueden ser un excelente componente para mejorar el valor nutricional de los alimentos, dependiendo del tipo de material utilizado en su elaboración (Parra et al., 2004).

3.7.1. Componentes de películas comestibles

3.7.1.1. Películas comestibles a base de zanahoria

Las películas comestibles elaboradas a partir de zanahoria son un tema de investigación en la tecnología de alimentos. Se han realizado estudios para evaluar su composición y propiedades físicas, así como su aplicación en la conservación de alimentos. Estas películas comestibles fueron elaboradas a base de pure de zanahoria añadiendo almidón de maíz, gelatina, glicerol como plastificante, a base de almidón de zanahoria y a base de residuos de derivados de zanahorias mínimamente procesados (Wang et al., 2011).

El contenido de betacaroteno en la zanahoria fresca es un aspecto relevante en la investigación de estas películas comestibles.

3.7.1.2. Películas comestibles de almidón de papa

El almidón de papa se utiliza como ingrediente principal en la formulación de estas películas debido a sus propiedades como biopolímero biodegradable y comestible. Se han realizado estudios para evaluar la composición y propiedades físicas y la influencia de diferentes concentraciones de almidón de papa en la formación de las películas y cómo esto afecta sus características, como su flexibilidad, resistencia, solubilidad y otros, actuando como una

barrera protectora, ayudando a retener la humedad y prevenir la deshidratación de los alimentos. Además, pueden prolongar la vida útil de los productos al evitar la entrada de oxígeno y otros contaminantes al utilizarse como recubrimientos (Pérez, 2021).

3.7.1.3. Películas comestibles a base de mucilago de nopal

El mucílago de nopal, obtenido de la planta *Opuntia ficus-indica*, se utiliza como ingrediente principal en la elaboración de películas comestibles. Estas películas se han evaluado en diferentes concentraciones para estudiar sus propiedades, como la capacidad de retención de humedad y resistencia mecánica. Además, se han explorado diferentes métodos de extracción y procesamiento del mucílago, así como su combinación con otros ingredientes, como la pectina, para mejorar las propiedades de las películas. Estas películas comestibles han demostrado su capacidad para proteger y extender la vida útil de alimentos como fresas y arándanos al formar una capa protectora (Peralta, 2022).

3.7.1.4. Películas a base de pectina

La fabricación de películas comestibles en forma de mezclas de pectina, almidón, mucilago de nopal y otros componentes se presenta como una alternativa para reemplazar derivados de las golosinas. Estas películas se permiten su uso en la industria farmacéutica, alimentaria y de golosinas debido a sus propiedades gelificantes y su capacidad para formar recubrimientos. La pectina, que es un componente clave en estas películas, tiene una estructura molecular básica y una carga neta negativa a pH por encima de 3,5 lo que facilita su interacción con otras moléculas y compuestos positivamente cargados (Muñoz, 2011).

En la tecnología alimentaria, una de las propiedades más importantes de las pectinas es su capacidad para formar geles. Estos geles están compuestos por moléculas poliméricas con enlaces entrecruzados que forman una red densa e interconectada inmersa en un líquido, generalmente agua. Las propiedades del gel son el resultado de complejas interacciones entre el soluto y el solvente, así como de las fuerzas intermoleculares que mantienen la integridad del gel. Esta estructura de gel tiene una alta capacidad de retención de agua y permite que las burbujas de aire atrapadas escapen lentamente durante un período de 25 a 30 minutos. Las pectinas de alto metoxilo se pueden clasificar según su temperatura de gelificación, aquellas pectinas que gelifican en menos de cinco minutos a 95 °C tienen un grado de esterificación

entre el 68 y 75%. Por otro lado, aquellas pectinas con un grado de esterificación entre el 60 y 68% gelifican en tiempos superiores a los cinco minutos a 65 °C (Pagan, 1999).

3.7.1.5. Películas comestibles de glicerina

La glicerina, también conocida como glicerol, se emplea como ingrediente en la fabricación de películas comestibles debido a sus propiedades como plastificante y humectante, para mejorar su flexibilidad y prevenir su fragilidad. Además, actúa como humectante al ayudar a retener la humedad en los alimentos, prolongando así su vida útil. Estas películas han sido objeto de estudio en cuanto a su composición y propiedades físicas, como su flexibilidad y transparencia. Así como también, se ha investigado cómo diferentes concentraciones de glicerina afectan la formación de las películas y sus características (CIT, 2009).

3.7.2. Propiedades fisicoquímicas de películas comestibles

Las propiedades fisicoquímicas de las películas comestibles pueden variar dependiendo de varios factores, como los componentes utilizados en su formulación y las condiciones de procesamiento. Algunas propiedades fisicoquímicas relevantes son:

3.7.2.1. Color

El color se refiere a la apariencia visual que presentan las películas comestibles, siendo un factor importante en la calidad, ya que puede influir en la aceptabilidad y percepción del consumidor. El color de las películas comestibles puede variar dependiendo de los ingredientes utilizados en su formulación. Además, el color puede estar relacionado con las propiedades de barrera y opacidad de las películas comestibles, ya que puede afectar la protección contra los efectos de la luz y la oxidación en los alimentos (Conde, 2000).

Según Conde, (2000). el color depende de tres atributos para definirlo y estos son:

- **Matiz o tono:** Es el atributo fundamental que clasifica los colores en categorías como rojizos, verdosos, etc. Es una cualidad cualitativa del color.
- **Brillo o luminosidad:** Es la característica que determina si un color es más claro o más oscuro. Este atributo es cuantitativo y se refiere a la cantidad relativa de luz reflejada o transmitida en comparación con la cantidad de luz incidente.
- **Saturación o pureza:** Es otro atributo cuantitativo que determina el grado de diferencia de tono en relación con el color gris de la misma luminosidad.

Estos tres atributos (matiz, brillo y saturación) son fundamentales para describir y entender las características de los colores.

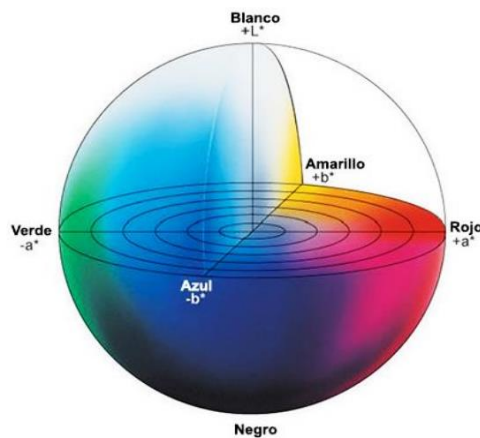
3.7.2.1.1. Coordenadas de $L^*a^*b^*$

El espacio de color tridimensional, CIE Lab* (CIELAB), se define por tres coordenadas: L^* , a^* y b^* . L^* representa la luminosidad de un color y varía desde cero para el negro hasta 100 para el blanco (los colores fluorescentes pueden tener un valor de $L^* = 100$). La coordenada a^* representa el contenido de rojo o verde de un color, siendo positiva para el rojo y negativa para el verde. La coordenada b^* es perpendicular a la coordenada a^* y representa el contenido de amarillo o azul ($+a =$ rojo y $-a =$ verde / $+b =$ amarillo y $-b =$ azul) (Padrón et al., 2012).

El conjunto de coordenadas a^* y b^* junto con la luminosidad L^* definen el color de un estímulo. El croma C^* es el atributo de la percepción visual que indica la saturación de un área en relación a un color o tonalidad específica. El tono H^* representa el color básico de un objeto (rojo, amarillo, verde, etc.) y se define por su posición angular en el espacio de color, variando entre 0 y 360° (Gil, 2014).

Figura 5

Circulo de coordenadas $L^*a^*b^*$



Fuente: (kassaggi, 2012).

Según Netdisseny, (2009). Las dimensiones se organizan de la siguiente manera:

Eje vertical: representa una escala de grises que va desde el blanco en la parte superior hasta el negro en la parte inferior. A esta escala también se le conoce como escala acromática o eje neutro.

Eje horizontal: es perpendicular al eje de los grises y muestra el nivel de saturación de cada tono. A medida que nos alejamos del eje vertical y nos acercamos al borde exterior de la figura geométrica, que se llama línea o superficie de máxima saturación, la saturación aumenta.

Figura geométrica plana: puede ser un círculo o un polígono donde se representan los tonos en su máxima saturación. El croma o saturación se refiere a la pureza cromática de un color en relación al gris.

A medida que un color se satura, se vuelve más puro y contiene menos gris, así como también se debe de tomar en cuenta los elementos de la percepción del color como el observador, la fuente de luz y el objeto (Netdisseney, 2009).

3.7.2.1.2. Índice de amarillo, índice de blancura y índice de color

El índice de amarillo, el índice de blancura y el índice de color son términos utilizados en películas comestibles. El índice de blancura es una medida de la claridad de un color y se expresa en una escala que va desde cero hasta 100, donde 100 representa el blanco absoluto. El índice de amarillo se refiere a la cantidad de contenido de color amarillo en una película comestible, mientras que el índice de color es una medida de la diferencia de color en comparación con una referencia (Netdisseney, 2009).

3.7.2.1.3. Transparencia y translucidez

La transparencia en las películas comestibles se refiere a la propiedad de permitir el paso de la luz a través de la película sin distorsionar significativamente la apariencia visual del producto. La mayoría de los polímeros son transparentes e incoloros, lo que los hace adecuados para su uso en recubrimientos que requieren transparencia. Las propiedades ópticas de los polímeros están relacionadas con su estructura química y morfología. Cuando la luz incide en una muestra de polímero, parte de ella se refleja, parte se absorbe, parte se dispersa y el resto se transmite a través del material. La claridad óptica y la transparencia están determinadas por la cantidad de luz que se transmite a través de la muestra, siendo menor cuanto mayor sea la cantidad de luz reflejada. La absorción de luz en los polímeros está relacionada con su estructura electrónica. Cada polímero tiene una estructura electrónica característica que puede absorber energía electromagnética de ciertas frecuencias, lo que puede dar lugar a la aparición de color. En general, los polímeros son incoloros ya que no absorben luz visible, aunque pueden absorber radiación ultravioleta (UV), lo que puede ser el inicio de su degradación. La absorción de luz aumenta con el espesor de la

muestra. Sin embargo, los polímeros pueden ser coloreados mediante la adición de tintes que absorben ciertas radiaciones y permiten el paso de la luz correspondiente al color deseado (Varela, 1997).

3.7.2.2. Solubilidad

La solubilidad se refiere a la capacidad de la película para disolverse en un líquido, generalmente agua. Se expresa como el porcentaje de materia seca de la película que se disuelve en el líquido. En el caso de las películas comestibles, la solubilidad en agua es una propiedad deseable, ya que permite que la película se disuelva fácilmente cuando entra en contacto con la humedad o la saliva durante su consumo. La solubilidad puede variar dependiendo de varios factores, como su composición, la presencia de aditivos o ingredientes específicos, y las condiciones de almacenamiento. Algunos estudios han demostrado que el contenido de proteína en las películas puede influir en su solubilidad, mostrando un aumento en la solubilidad al incrementar el contenido de proteína. Si las películas comestibles tienen un alto porcentaje de solubilidad, son adecuadas para alimentos con bajo contenido de humedad y que no se descompongan fácilmente. Estas películas se utilizan para conservar el material comestible sobre una superficie nivelada en un medio acuoso para su posterior uso. Al evaluar esta propiedad, se busca determinar cómo el polímero biodegradable se comporta en presencia de agua (Rivera, 2021).

3.7.2.2.1. Actividad de agua

La actividad de agua en películas comestibles se refiere a la cantidad de agua disponible. Se expresa como una relación entre la presión de vapor de agua en la película y la presión de vapor de agua en condiciones de equilibrio. Por lo tanto, es un factor importante a considerar en las películas comestibles, ya que puede afectar la calidad y la vida útil del producto, influyendo en sus propiedades como la barrera de humedad, la textura, la estabilidad y la capacidad de retener la frescura. Un bajo nivel de actividad de agua puede ayudar a prevenir el crecimiento de microorganismos y la degradación del producto, mientras que un alto nivel de actividad de agua puede favorecer la proliferación de microorganismos y la pérdida de calidad. Es importante tener en cuenta que la actividad de agua puede variar dependiendo de factores como la composición de la película, las condiciones de almacenamiento y la interacción con el entorno. Por lo tanto, es necesario controlar y ajustar la actividad de agua en las películas comestibles para garantizar la calidad y la seguridad del producto (Cardona, 2019).

3.7.2.3. Betacarotenos

En el contexto de las películas comestibles, los betacarotenos pueden ser utilizados como aditivos para proporcionar color y mejorar la apariencia visual. Estos compuestos pueden ser incorporados en la formulación de las películas comestibles para lograr el efecto deseado en términos de coloración. Es importante tener en cuenta que los betacarotenos también pueden tener propiedades antioxidantes, lo que significa que pueden ayudar a proteger los alimentos de la oxidación y el deterioro causados por los radicales libres. Esto puede contribuir a prolongar la vida útil de los productos envasados y mantener su calidad (Sui et al., 2009).

3.7.2.3.1. Acidez

La acidez de las películas comestibles se refiere a la presencia y concentración de ácidos en la composición de la película, lo cual puede variar dependiendo de la formulación y los ingredientes utilizados. Algunos estudios han demostrado que la adición de ácidos como el ácido cítrico puede influir en la actividad antimicrobiana de las películas, lo que puede ayudar a prolongar su vida útil al inhibir el crecimiento de microorganismos. Es importante tener en cuenta que la acidez de las películas comestibles puede afectar tanto las propiedades físicas como las propiedades sensoriales. Por ejemplo, una mayor acidez puede influir en la textura y la percepción del sabor (Jones, 2013).

CAPÍTULO IV: METODOLOGÍA DE INVESTIGACIÓN

4.1. Lugar de ejecución

La investigación se desarrolló en los laboratorios de química, Investigación de Materiales Avanzados para el Tratamiento de Aguas e Investigación en Nanotecnología de Alimentos de la Escuela Profesional de Ingeniería Agroindustrial (EPIA), de la Universidad Nacional José María Arguedas, ubicados en la sede académica Santa Rosa, distrito de Talavera, provincia de Andahuaylas, departamento de Apurímac.

4.2. Identificación de las variables

Tabla 2

Variables independientes y dependientes.

Variables Independientes	Variables dependientes
- Almidón de papa (2%)	Características fisicoquímicas:
- Pectina (2%)	- Color: L*a* b*
- Zumo de zanahoria	- IA, IB, IC
	- Transparencia
	- Solubilidad
	- Actividad de agua
	- β -carotenos
	- Acidez

4.3. Equipos, instrumentos, materiales y reactivos

a) Equipos

Tabla 3

Lista de equipos y instrumentos empleados en la investigación.

Cantidad	Descripción	Marca
1	Estufa	KER LAB
1	Balanza digital de precisión Cap. 100g. Sensibilidad 0.01g	AND EK-1600
1	Balanza Analítica Cap. 500g. Sensibilidad 0.01mg	OHALIS-PIONER
4	Termómetro digital - 50°C hasta +200°C	S/M
1	Colorímetro de mesa CR-5 Cap. 400nm hasta 700nm.	Konica Minolta CR-5
1	Espectrofotómetro visible UV. ÚNICO® 2800 UV/VIS	Thermo scientific
1	Refractómetro de mesa Cap. 1.3 a 1.7 Sensibilidad 0.0001	ISOLAB
1	Extractor	OSTER
4	Agitador termomagnético 0°C hasta +300°C, Sensibilidad $\pm 0.1^\circ\text{C}$	CAT (M6)
2	Micropipeta automática 5 y 10 μL Sensibilidad 0.1 μL	ISOLAB ALAEMAN
1	Sistema de filtración al vacío	S/M
1	Vernier	REY
1	Desecador	DRY KEENER
1	Potenciómetro de mesa Cap. -2000mV a +2000mV. Sensibilidad 0.1mV	HANNA
1	Medidor de actividad de agua portátil HP23- a _w -A. Cap. 0 a 1. Sensibilidad 0.1	ROTRONIC
1	Compresor	TEKNAL
1	Refrigeradora	LG

b) Materiales

Tabla 4

Lista de materiales de laboratorio empleados en la investigación.

Cantidad	Unidad	Descripción
6	Unid.	Matraz Erlenmeyer de 100 ml
9	Unid.	Placas Petri
10	Unid.	Tubos de ensayo plastificado
1	Unid.	Gradilla de tubos de ensayo
2	Unid.	Colador metálico y plastificado
1	Unid.	Pizetas
5	Unid.	Probetas de 50, 100, 250 ml, 1000 ml.
2	Unid.	Espátula
12	Unid.	Fiolas (50 a 100 ml)
15	Unid.	Vasos precipitados de 100, 250, 500 y 1000 ml
9	Unid.	Ampolla de separación
5	Unid.	Embudo de Buschner (de separación)
1	Unid.	Kitasato de 1000 ml
1	Unid.	Tubo de goma
3	Unid.	Portafiltro magnético
10	Unid.	Papel filtro Whatman poro grueso N°41
2	Unid.	Pinzas de laboratorio
2	Unid.	Buretas de 50 ml
2	Unid.	Soporte universal metálico
4	Unid.	Recipiente de 2L
9	Unid.	Cubetas de cuarzo
1	Unid.	Cuchillo
4	Unid.	Varilla de vidrio
36	Unid.	Lunas de reloj
5	Unid.	Frascos de vidrio
1	Unid.	Tabla de picar
1	Unid.	Dispensador para pipetas automáticas
4	Unid.	Espátula de cuchara de muestreo
1	Unid.	Bisturí
4	Unid.	Puntas de micropipetas multiajuste
2	Unid.	Jeringas de 5 a 10 ml
1	Unid.	Rollo de Parafilm
1	Unid.	Bandeja metálica
1	Unid.	Paquete de guantes desechables de nitrilo y latex
4	Unid.	Gorro descartable ressol
1	Unid.	Paquete de mascarillas KN 95
5	Unid.	Papel toalla
1	Unid.	Paquete de papel tissue
2	Unid.	Telas lienzo
1	Unid.	Rollos de papel aluminio 8x1 m
1	Unid.	Guardapolvo de laboratorio
1	Unid.	Desinfectante
2	Unid.	Rotuladores

c) Reactivos e insumos

Tabla 5

Lista de reactivos e insumos de laboratorio empleados en la investigación.

Cantidad	Unidad	Descripción
12	g	Pectina critica 95°
12	ml	Glicerina 0.83%
1	ml	Fenolftaleína al 1%
800	ml	Hidróxido de sodio 0.1N
1500	ml	Ácido cítrico 1M
200	ml	Acetona
250	ml	Hexano
200	ml	Ethanol

4.4. Población, muestra, tipo de muestreo y unidad de análisis

4.4.1. Población

La población de estudio está representada por 12 placas, las cuales representan la totalidad de las películas comestibles analizadas (Tabla 6).

4.4.2. Muestra

La muestra está referida a una porción de las películas comestibles, utilizando medidas de 5x5 cm para el color, IA, IB, IC, 12x45cm para transparencia, 0,1 g para solubilidad, 0,1 g para actividad de agua, 1 g para β -carotenos totales y 2 g para acidez.

4.4.3. Tipo de muestreo

Se llevó a cabo un muestreo no probabilístico de juicio, ya que las películas comestibles fueron seleccionadas según el criterio del investigador.

4.4.4. Unidad de análisis

Las películas comestibles, elaboradas a base de zumo de zanahoria, almidón de papa y mucílago de nopal, fueron sometidas a una evaluación para determinar los efectos del porcentaje de adición de almidón de papa, pectina y zumo de zanahoria en el color, transparencia, IA, IB, IC, solubilidad, actividad de agua, β -carotenos totales y acidez.

4.5. Tipo de investigación

Experimental:

El enfoque experimental se utiliza para probar la hipótesis planteada, mediante la manipulación y medición de variables en una situación controlada.

Aplicada:

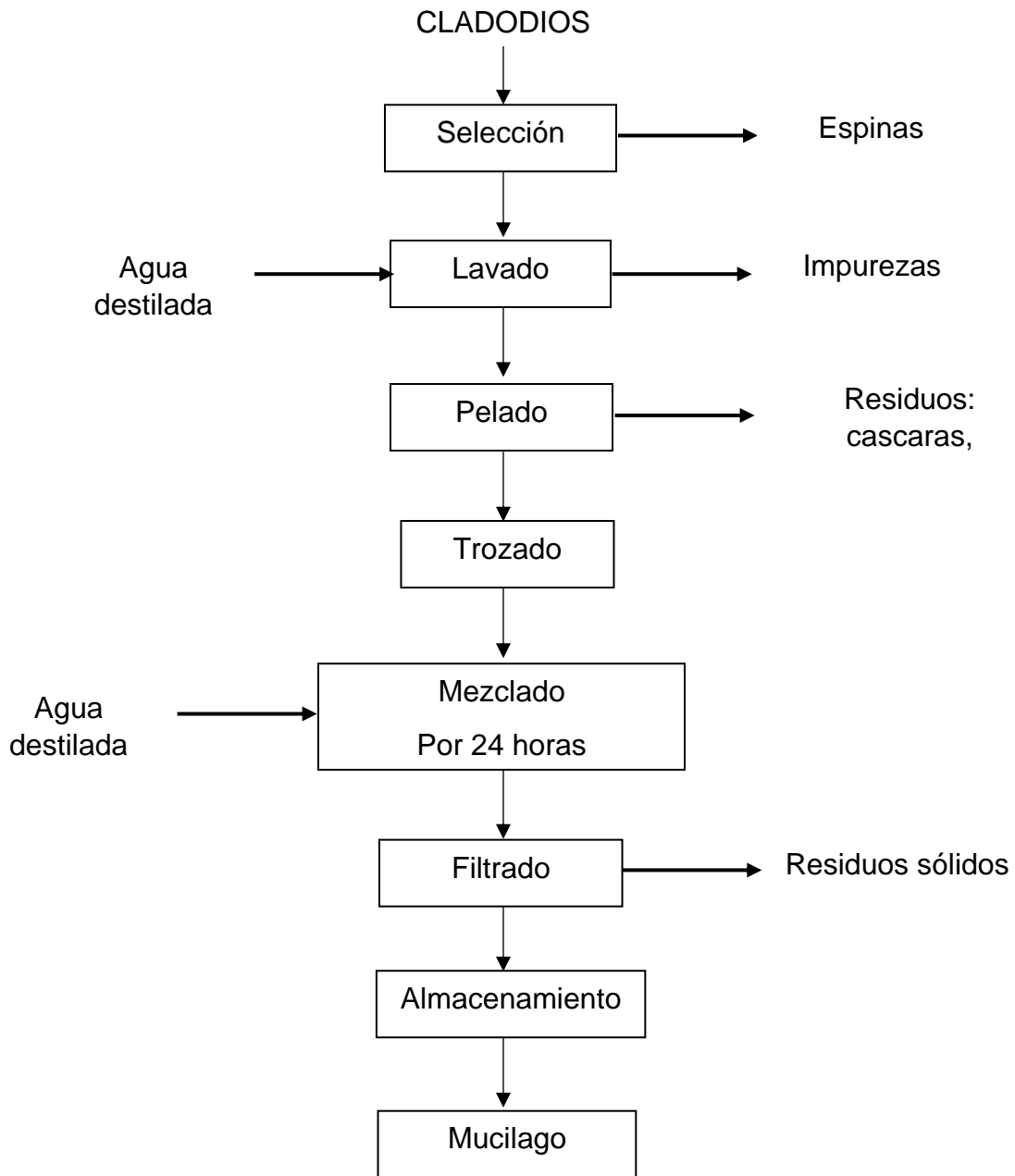
La investigación tiene un enfoque aplicado, ya que los conocimientos adquiridos se utilizan para que los resultados obtenidos sean aplicables o útiles para la industria alimentaria y diversos derivados de productos de valor agregado.

4.6. Metodología experimental

4.6.1. Diagrama de bloques del proceso

Figura 6

Diagrama de bloques para la extracción de mucilago de nopal.

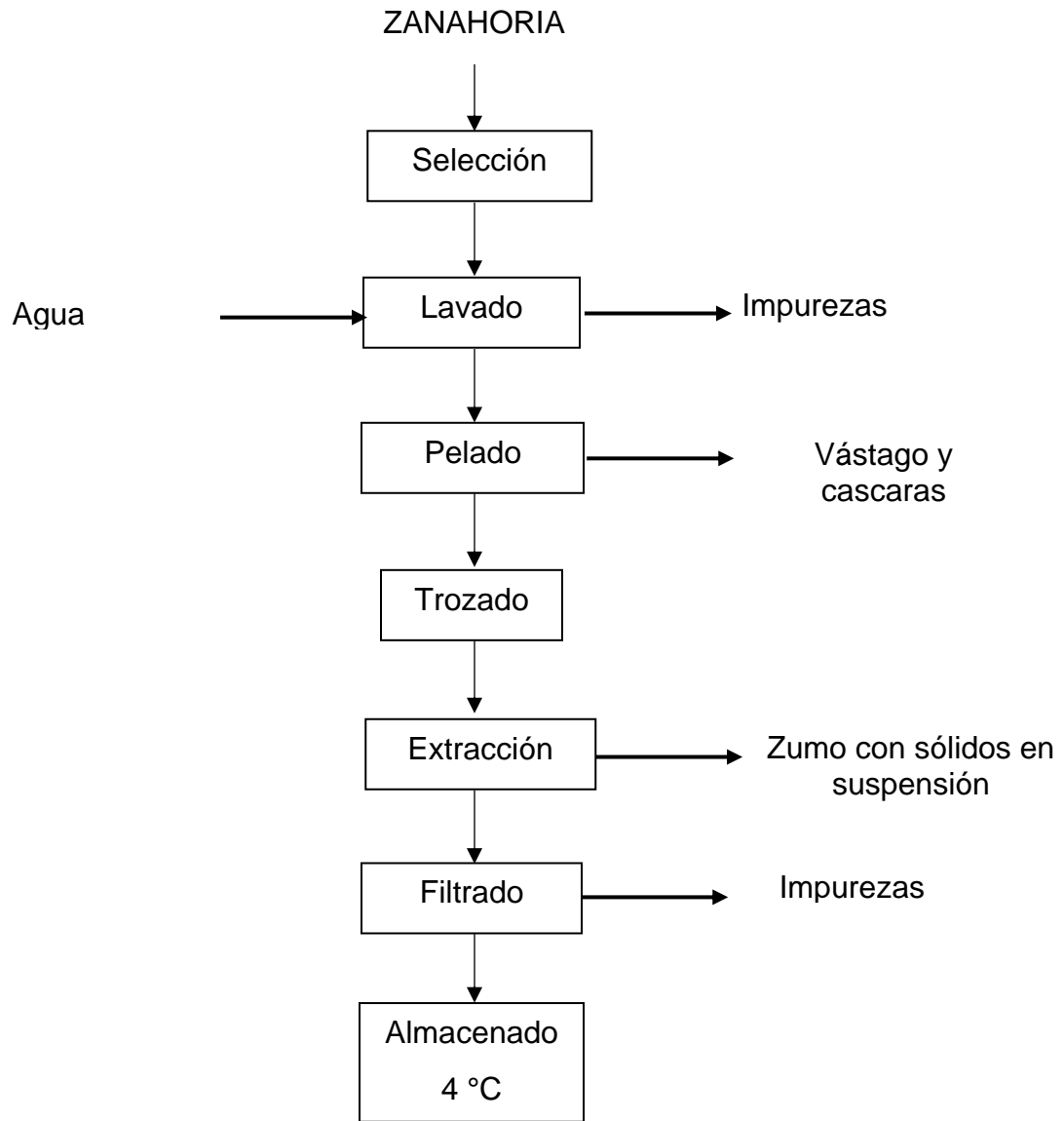


Fuente: (Abraján, 2008).

- **Selección:** Se seleccionaron cladodios de nopales frescos, de aproximadamente dos años de edad y con longitudes promedio de 20 a 30 cm. Se desespitaron cuidadosamente.
- **Lavado:** Los cladodios se lavaron con agua destilada.
- **Pelado y trozado:** Se separó la piel del parénquima y se cortó en cubos de 0.5x0.5 cm.
- **Mezclado:** Los trozos de nopal se mezclaron con agua destilada en una proporción de 1:1 (nopal - agua destilada) durante 24 horas.
- **Filtrado:** Se filtró el mucílago de nopal, separando la fase líquida de la fase sólida.
- **Almacenamiento:** Finalmente, el mucílago se almacenó en refrigeración a una temperatura de 4 °C.

Figura 7

Diagrama de bloques para la extracción de zumo de zanahoria.



Fuente: (Almeida et al., 2007).

- **Selección:** Se seleccionaron zanahorias manualmente, asegurando que cumplieran con estándares de calidad e inocuidad y que no presentaran daños físicos o mecánicos.
- **Lavado:** Las zanahorias se lavaron con agua destilada de forma manual para eliminar impurezas y partículas extrañas.
- **Pelado:** Se pelo la cascara de las zanahorias.
- **Trozado:** Se cortaron las zanahorias para reducir su tamaño.
- **Extracción:** Se utilizó un extractor de jugo domestico para obtener zumo y desechos.
- **Filtrado:** Después de la extracción, el zumo de zanahoria se filtró con una tela de lienzo.
- **Almacenado:** Finalmente, se almacenó en refrigeración a 4 °C para su posterior uso en la formulación.

4.6.2. Elaboración de películas comestibles

La elaboración de las películas comestibles se determinó a través de la Tabla 6.

Tabla 6

Formulación para la elaboración de películas comestibles.

Formulación	%AP (2%)	%P (2%)	% G	%M	%Z	Temperatura (°C)
F1	43	44	4	4	5	65
F2	45	43	4	4	4	65
F3	44	42	4	4	6	65

La preparación se desarrolló de acuerdo al proceso de elaboración de la Figura 8 cuya descripción es la siguiente:

Pesado: Se pesó 4,4 g de almidón de papa y 4,4 g de pectina (al 2%).

Gelificación: En un vaso precipitado de 500 ml se diluyo almidón de papa con agua destilada de 220 ml y se gelifico a 70 °C en agitación a 500 rpm/20 min, luego se conservó en reposo hasta alcanzar a una temperatura ambiente. De la misma manera se diluyo pectina y se gelifico a 55 °C.

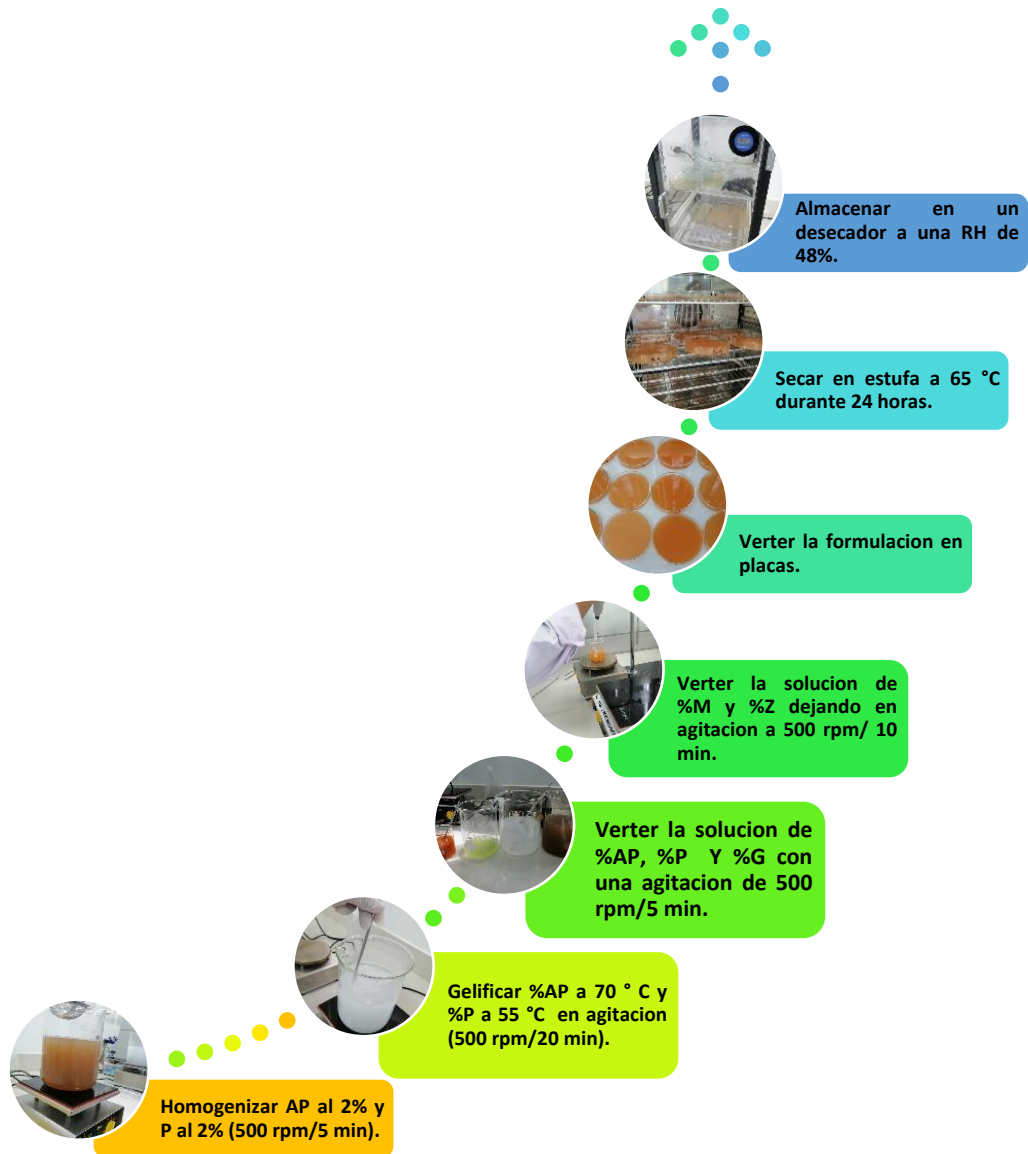
Formulación: Una vez enfriadas las muestras, se formularon de acuerdo con la Tabla 6. En un vaso precipitado de 100 ml se vertió una solución de almidón de papa (%AP), pectina (%P) y glicerina (%G), luego se mezcló y diluyó por completo con una agitación a 500 rpm durante 5 minutos. A continuación, se agregó mucilago (%M) de la misma manera, agitándose durante 5 minutos, y se agregó zumo de zanahoria (%Z), dejándolo en agitación durante 10 minutos para lograr una completa homogeneización. Finalmente, se dejó en reposo aproximadamente durante 30 minutos.

Secado: Las formulaciones en reposo se vertieron en placas Petri y luego se trasladaron a una estufa a una temperatura de 65°C durante 24 horas mediante el proceso de Casting.

Almacenamiento: Finalmente se dejó enfriar las películas en un desecador a una humedad relativa de 48% por 24 horas para luego ser analizadas de acuerdo a las variables de estudio.

Figura 8

Proceso de elaboración de películas comestibles.



4.7. Métodos de análisis

4.7.1. Color

Para la evaluación del color se empleó un equipo llamado colorímetro minolta CR-5 de mesa, previamente se calibró a cero. Las películas comestibles se cortaron en láminas de 50x45 mm y seguidamente fueron puestas sobre el área de medición para sólidos.

Los parámetros a medirse correspondieron al sistema CIE Lab, L^* representa luminosidad (variando desde un cero para un negro hasta 100 para un blanco), un valor positivo de a^* representa rojo, un valor negativo representa verde, un valor positivo de b^* representa amarillo y un valor negativo significa azul. El índice de amarillo (IA) se calculó de acuerdo a la Ecuación (1), método propuesto por (Krochta & Mulder, 1997).

$$IA = 142,82 \frac{b^*}{L^*} \quad (1)$$

El índice de blancura (IB), se calculó a través de la Ecuación 2 (CIE, 2004).

$$IB = L^* - 3b^* \quad (2)$$

Y el índice de color (IC) se determinó a través de la Ecuación 3

$$IC = \frac{(a \times 1000)}{L \times b} \quad (3)$$

Los valores de IC de -40 a -20 pertenecen al rango de color púrpura a verde oscuro. Los valores de -20 a -2 se refieren a muestras con un color verde oscuro a amarillo verdoso. Los valores de -2 a 2 corresponden al color amarillo-verde.

4.7.2. Determinación de la Transparencia

Para determinar la transparencia de las películas comestibles, se empleó el método propuesto por Oregel et al. (2016). Se utilizó un espectrofotómetro UV-Vis marca Thermo Scientific, previamente calibrado a una longitud de onda de 600 nm.

Se cortaron láminas de aproximadamente de 12x45 mm de películas comestibles, las láminas se colocaron en la celda de medición del espectrofotómetro para luego tomar la lectura de los datos. Para calcular la transparencia, los datos de absorbancia obtenidos se dividieron por el espesor de

la película comestible en milímetros. De esta manera, se obtuvo la transparencia expresada en unidades de absorbancia por milímetro.

4.7.3. Solubilidad.

Se empleo el método propuesto por (Bertuzzi et al., 2007).

- Se pesaron láminas de aproximadamente 0,1 g de películas comestibles de cada formulación en una relación de 0,1:100 (película comestible: disolvente) (g/ml).
- Se preparó un medio solvente utilizando ácido cítrico para obtener un pH de 4 y pH de 5. También se preparó un medio alcalino utilizando hidróxido de sodio (NaOH) para obtener un pH de 8. Además, se utilizó agua ionizada ultrapura con un pH de 7.
- Las muestras se dejaron reposar durante 24 horas en los medios solventes preparados.
- La fracción desintegrada de las películas comestibles se filtró al vacío utilizando papel filtro de poro grueso N° 41.
- Las muestras solubilizadas se secaron en una estufa a una temperatura de 70°C durante 24 horas, hasta obtener un peso constante.
- Finalmente se calculó el porcentaje de materia soluble de acuerdo a la Ecuación (4).

$$\% \text{ de solubilidad} = \frac{P_0 - P_f}{P_0} \times 100 \quad (4)$$

Donde:

P_0 = peso seco inicial de la película comestible

P_f = peso seco final de la película comestible

4.7.4. Determinación de actividad de agua (a_w)

Se empleo el método propuesto por (Bassersdorf, 2015).

Se pesaron láminas de aproximadamente 0,1g de películas comestibles. Las muestras se colocaron en la celda de medición del medidor de actividad de agua portátil HP23- a_w -A y se tomaron las lecturas de los datos.

4.7.5. Determinación de β -carotenos totales

Se empleo el método propuesto por Talcott y Howard, (1999) para determinar el contenido de β -carotenos totales de las películas comestibles. Se siguió los pasos:

- Se pesó 1,0 g de película por triplicado.
- Las láminas de películas se homogeneizaron en 10 ml de una mezcla de acetona-etanol en proporción de 1:1.
- Se dejó reposar la película en la muestra durante 24 horas a 4 °C.
- La muestra se filtró utilizando papel filtro de poro grueso (N° 41).
- Después, la muestra se transfirió a un balón volumétrico de 50 ml y se llevaron a volumen con un solvente para carotenoides (acetona-etanol).
- A continuación, se transfirió la solución a una pera de decantación y se añadieron 25 ml de hexano y 12,5 ml de agua destilada.
- Se agitó vigorosamente la mezcla y se dejó reposar durante 30 minutos para promover la separación de fases.
- Finalmente, se calibró el espectrofotómetro utilizando hexano como blanco y se midieron las absorbancias de la fase orgánica (parte inferior) a una longitud de onda de 470 nm.

Los resultados se expresaron en μg de β -caroteno equivalente por 100 g de muestra, utilizando el coeficiente de absortividad molar de 2500 del β -caroteno, de acuerdo a la ecuación (5) mencionada en la metodología.

$$\mu\text{g de } \beta - \text{caroteno Equiv}/100\text{g} = \left(\frac{A \times V \times 10^6}{A_{1\text{cm}}^{1\%} \times 100 \times Px} \right) \quad (5)$$

Donde:

A= absorbancia de muestra

V= Volumen total de extracto conteniendo el $\beta - \text{caroteno}$

$A_{1\text{cm}}^{1\%}$ = coeficiente de absortividad molar del $\beta - \text{caroteno}$ (2500)

Px = Peso de muestra en g

4.7.6. Determinación del porcentaje de acidez

El método utilizado fue propuesto por (Hongda Chen, 2006) consistió en:

- Se pesaron 2 g de películas comestibles.
- En un vaso precipitado de 100 ml, se diluyeron las láminas de películas comestibles con agua destilada y se homogeneizaron en un agitador termomagnético a 500 rpm durante 20 minutos.
- Las muestras diluidas se transfirieron a un matraz de 100 ml y se añadieron 5 gotas de fenolftaleína al 1% como indicador.
- Se tituló la muestra utilizando una bureta de 50 ml e hidróxido de sodio (NaOH) 0,1N hasta que el color rosa persistiera durante 30 segundos.
- Finalmente, se registró el volumen de NaOH titulado en mililitros utilizados. El porcentaje de acidez se calculó de acuerdo a la siguiente Ecuación (6).

$$\% \text{ Acidez} = \frac{A \times B \times C}{D \times 100} \quad (6)$$

Donde:

A: Cantidad de mililitros de base NaOH 0.1N

B: Normalidad de la base usada en la titulación (0.1N)

C: Peso equivalente en gramos de ácido predominante (ácido málico, 134,09g/mol)

D: peso de la muestra en gramos

4.8. Diseño experimental (variables y pruebas estadísticas)

Para este trabajo de investigación, se desarrolló un diseño experimental de mezclas no convencional, ajustado y personalizado, para la elaboración de películas comestibles a base de zumo de zanahoria, almidón de papa y mucílago de nopal. Los experimentos preliminares permitieron determinar proporciones factibles de los ingredientes y sus posibles rangos de variación.

En base a estos resultados, se seleccionaron tres tratamientos con la siguiente composición: almidón de papa, pectina y zumo de zanahoria (Tabla 7). Las cantidades de glicerina y mucílago

de nopal se mantuvieron constantes. Se variaron sistemáticamente las proporciones de los ingredientes principales para evaluar su efecto, tanto individual como en conjunto, sobre el color, la solubilidad y los β -carotenos.

El diseño desarrollado, aunque no se ajusta a un diseño estandarizado de mezclas, permite enfocar los experimentos en las zonas de mayor interés, proporcionando flexibilidad basada en los conocimientos obtenidos en ensayos preliminares.

Tabla 7

Diseño experimental de mezclas: formulaciones (%).

Componentes	Formulaciones (%)		
	F1 (%)	F2 (%)	F3 (%)
Almidón de papa (%AP)	43.00	45.00	44.00
Pectina (%P)	44.00	43.00	42.00
Glicerina (%G)	4.00	4.00	4.00
Mucilago (%M)	4.00	4.00	4.00
Zumo de zanahoria (%Z)	5.00	4.00	6.00
Total	100.00	100.00	100.00

Donde:

F1, fue la primera formulación de las películas comestibles

F2, fue la segunda formulación de las películas comestibles

F3, fue la tercera formulación de las películas comestibles

4.8.1. Análisis estadístico

Se implementó un diseño de mezclas no convencional con tres tratamientos, previamente ajustados en base a experimentos preliminares realizados por el investigador. Se evaluaron los efectos del almidón de papa, pectina y zumo de zanahoria a un nivel de significancia del 5%, mediante un análisis de superficie de respuesta. Así mismo, los resultados de las variables dependientes fueron sometidos a un ANOVA (análisis de varianza).

Hipótesis nula (H_0): No existen diferencias significativas entre las formulaciones de películas comestibles.

Hipótesis alternativa (H_1): Existen diferencias significativas entre las formulaciones de películas comestibles.

$$H_0: F_1 = F_2 = F_3 = 0$$

$$H_A: F_i \neq 0; \text{ para algun } i \neq j$$

El criterio de aceptación de la prueba de hipótesis nula fue el siguiente:

H_0 : Si el valor de p-Value $> \alpha$, donde $\alpha = 0,05$ (nivel de confianza), esto indica que las formulaciones de películas comestibles no presentan diferencias significativas. Por otro lado, si rechazamos la hipótesis nula, se acepta la hipótesis alternativa.

$$H_0: F_i = F_j$$

$$H_A: F_i \neq F_j \text{ para todo } i \neq j$$

Incluyendo pruebas de comparación LSD Fischer de múltiples rangos al 95%. Para el procedimiento de datos se utilizaron los paquetes estadísticos Statgraphics Centurion XVII, Statistica y Excel.

CAPITULO V: RESULTADOS Y DISCUSIONES

5.1. Medida del color y transparencia de películas comestibles

Tabla 8

Promedio de las coordenadas y índice de color.

Formulación	L*	a*	b*	IA	IB	IC	Transparencia
F1	89.09±0.02	8.78±0.16	16.46±0.04	26.38±0.05	39.72±0.09	5.99±0.10	0.54±0.05
F2	91.32±0.22	4.32±0.22	11.52±0.20	18.02±0.28	56.76±0.44	4.11±0.29	0.33±0.03
F3	88.65±0.45	9.11±0.02	15.68±0.14	25.27±0.34	41.60±0.85	6.55±0.02	0.20±0.01
p-value	0.0001	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0001

Valores dimensionales para la L*a*b*, índice de amarillo (IA), índice de blancura (IB), índice de color (IC) y valores expresados en absorbancia por milímetros (abs/mm) para transparencia.

La Tabla 8 muestra los resultados del promedio de las coordenadas Lab*, índice de amarillo, índice de blancura, índice de color y transparencia, según las formulaciones propuestas de las películas comestibles. La luminosidad L* varió entre 88,65±0,45 y 91,32±0,22, lo que indica una tendencia hacia el color claro. Los valores de la coordenada a* variaron entre 4,32±0,22 y 9,11±0,02, mostrando una ligera tendencia hacia el color rojo. De manera similar, los resultados de la coordenada b* variaron entre 11,52±0,20 y 16,46±0,04, indicando una tendencia hacia el color amarillo. Las variaciones observadas en los valores de L*, a* y b* sugieren que las películas comestibles tienden al color naranja debido a la pigmentación del zumo de zanahoria. Es posible que el contenido de calcio y hierro en el zumo, al estar expuesto a temperaturas de 65°C, se oxide, lo que podría influir en las variaciones observadas en las coordenadas.

Los valores de IA, IB e IC obtenidos en la investigación, según las formulaciones, variaron de 18,02±0,28 a 26,38±0,05 para el IA, con una tendencia hacia el color amarillo. Para el IB, los valores fueron de 39,72±0,09 y 56,76±0,44, tendiendo hacia un color oscuro claro. En cuanto al IC, los valores variaron de 4,11±0,29 a 6,55±0,02, indicando que el color tiende desde un amarillo pálido hasta un naranja intenso. La transparencia de las películas comestibles varió entre 0,20±0,01 y 0,54±0,05 abs/mm, lo que se atribuye al efecto de las concentraciones de almidón de papa y pectina en las formulaciones, así como al proceso de gelatinización. Se observaron diferencias estadísticas significativas entre todas las formulaciones en términos de Lab*, IA, IB, IC y transparencia (ver Anexo B1, B2 y B3) al 95% del nivel de confianza. Por lo tanto, se rechaza la hipótesis nula y se acepta la hipótesis alternativa ($p < 0,05$).

La Tabla 9 muestra los resultados de la prueba de LSD Fisher para las coordenadas de Lab*, índices de color y transparencia de las películas comestibles. No se encontraron diferencias significativas en la luminosidad L* entre las formulaciones F1-F3. Sin embargo, se observaron diferencias significativas entre F1-F2 y F2-F3. Comportamientos similares se encontraron en las coordenadas ab*, IA, IB, IC y transparencia.

Tabla 9

Prueba de LSD para coordenadas de L* a* b* e índice de color.

	Formulación	Casos	Media	Sig. (*)
L*	F3	3	88.65	a
	F1	3	89.08	a
	F2	3	91.32	b
a*	F1	3	4.32	a
	F2	3	8.78	b
	F3	3	9.11	c
b*	F2	3	11.52	b
	F3	3	15.68	c
	F1	3	16.46	a
IA	F2	3	18.02	b
	F3	3	25.27	c
	F1	3	26.38	a
IB	F1	3	39.71	a
	F3	3	41.60	c
	F2	3	56.76	b
IC	F2	3	4.11	b
	F1	3	5.99	a
	F3	3	6.55	c
Transparencia	F3	3	0.22	c
	F2	3	0.33	b
	F1	3	0.55	a

*Letras diferentes indican diferencia significativa evaluadas a través de la prueba de LSD Fisher al 95% de confianza.

Los valores obtenidos de L*a*b* son superiores a los reportados por Chocano (2019), quien reporto valores más bajos para la luminosidad L* (64,84 y 67,09) tiende hacia el color blanco, coordenada a* (0,92 y 1,20) tiene una ligera tendencia hacia el color rojo y valores más altos para

la coordenada b^* (0,42 y 0,98) tiende hacia el amarillo, mientras que los valores determinados por Dick et al., (2015) reportaron valores más bajos para la luminocidad L^* (79,97 y 82,71), coordenada a^* de 0,64 y 0,69, y valores más altos para la coordenada b^* (23,81 y 28,28) y Wang et al., (2011) reportaron valores inferiores para la luminocidad L^* (43,02 a 44,52), coordenada a^* de 35,11 a 36,83, y valores superiores para la coordenada b^* (43,05 a 45,65), debido a que el aumento de la concentración de glicerol en las películas disminuyó la luminosidad L^* , pero aumentó la coordenada a^* y la coordenada b^* , las películas se volvieron ligeramente rojizas en la coordenada a^* y amarillentas en la coordenada b^* , pero permaneció transparente y que los valores de L^* , a^* y b^* aumentaron con el aumento del glicerol y disminuyeron con el aumento del almidón. Además, la adición de varios compuestos cambió el color natural de las películas, ya que estos compuestos se unieron estructuralmente con las soluciones formadoras de películas. Los parámetros del color son de suma importancia, ya que tienen una influencia directa en la apariencia general y la aceptabilidad del consumidor.

En cuanto a los valores obtenidos para el índice de amarillo, índice de blancura e índice de color fueron superiores a los reportados por Chocano (2019), quien encontró valores más bajos para el IA (0,83 y 2,17) y valores superiores para el IB (61,53 y 65,86), debido a que el índice de blancura aumentó con la adición del almidón de papa, y que la adición de pectina aumentaría el índice de amarillo, Dick et al. (2015) reportaron valores superiores de transparencia que variaron entre 53,36 y 59,63, a una transmitancia de luz de 600 nm. Las películas tienen la capacidad de proteger contra las radiaciones UV debido a su capacidad de barrera. Sin embargo, señalaron que, a mayor cantidad de almidón, aumenta la opacidad de las películas comestibles debido al proceso de gelatinización, lo cual influye negativamente en su transparencia. Estos resultados indican que las concentraciones de los componentes utilizados en las películas comestibles pueden influir en su transparencia, y es importante considerar este factor al formular y diseñar películas con propiedades ópticas deseadas, Torruco (2004) la fuente de almidón tiene un impacto en la transparencia de los geles de almidón. Por ejemplo, los almidones de granos como el maíz tienen propiedades opacas y oscuras, mientras que los almidones de raíces y tubérculos como la yuca y la papa tienen propiedades claras, clarificadas y translúcidas (Spector et al., 1995) indicaron que la transparencia o claridad de los geles de almidón aumenta con la disminución del contenido de amilosa. Esto se debe a que la amilosa tiende a estar poco dispersa, lo que interfiere con la penetración de la luz en la estructura del gel, dándole una apariencia opaca. Por lo tanto, cuando

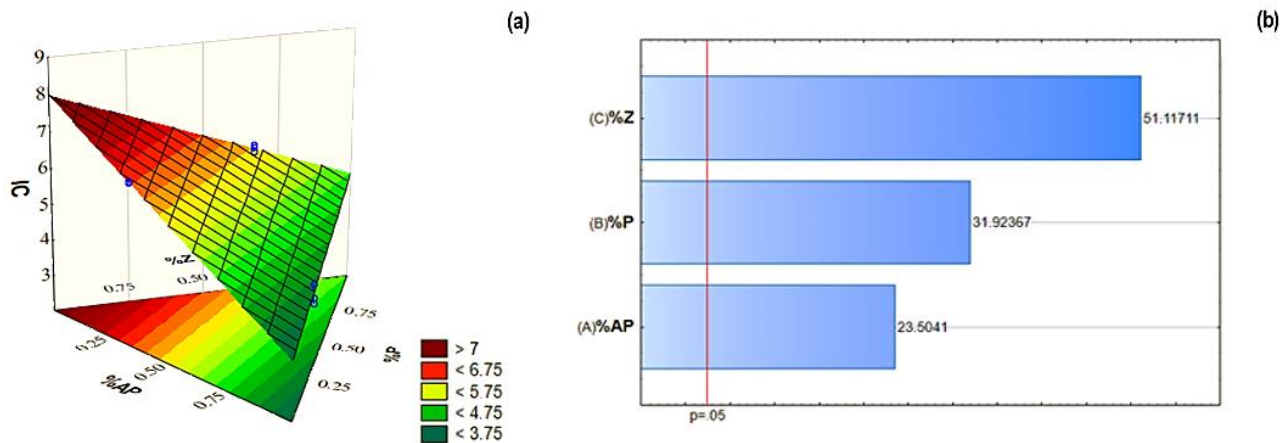
se utilizan almidones con bajo contenido de amilosa, sus gránulos tienden a dispersarse más fácilmente, lo que aumenta su potencial de gelatinización y tiene un efecto positivo en la transparencia de los geles de almidón.

En la Figura 9(a) se muestra la gráfica de superficie de respuesta para la evaluación de los efectos en función del índice de color. El modelo cuadrático explica el 99% de la dependencia de las formulaciones. Se observa que a medida que se aumenta la concentración de zumo de zanahoria en la formulación, mayor es la influencia en el índice de color. Sin embargo, si se aumenta el almidón de papa y %P en la formulación, disminuye la coloración de las películas comestibles. El almidón de papa es generalmente blanco o ligeramente amarillo, por lo que pudo dar a las películas comestibles un color claro o ligeramente amarillo. Sin embargo, el color exacto varía dependiendo de la fuente del almidón y del proceso de elaboración, la pectina es incolora o amarilla, por lo que no debería tener impacto en el color de las películas, sin embargo, puede afectar la transparencia, lo que influye en la percepción del color, el zumo de zanahoria tiene un color naranja intenso, por lo que pudo dar a las películas un color naranja. El color exacto dependerá de la concentración del zumo de zanahoria en la película.

De acuerdo con el diagrama de Pareto para el índice de color, se observa que las concentraciones de zumo de zanahoria, pectina y almidón de papa influyen significativamente, presentando una diferencia significativa entre las formulaciones de las películas comestibles, Figura 9(b).

Figura 9

Superficie de respuesta y diagrama de Pareto para el índice de color.

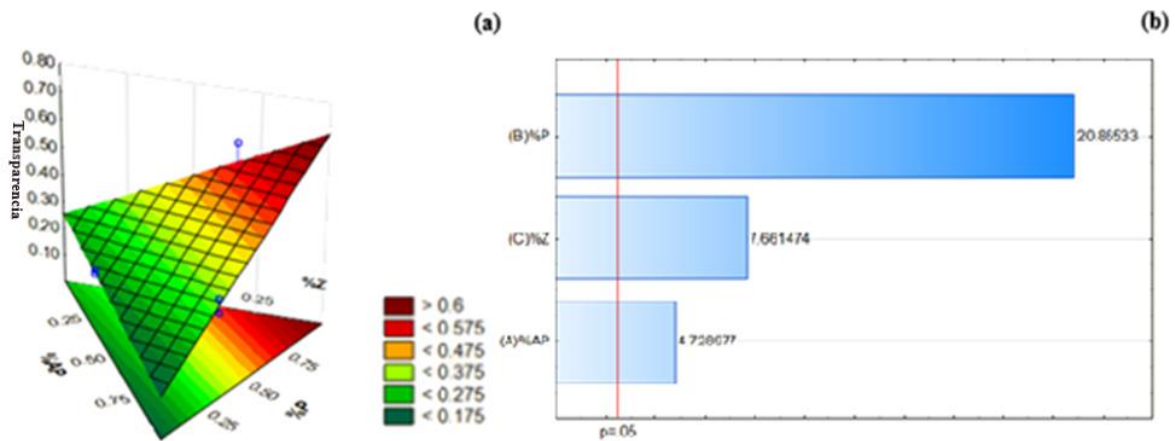


En la Figura 10(a) se muestra la gráfica de superficie de respuesta en función de la transparencia. El modelo cuadrático de la transparencia explica un 95% de la dependencia de las formulaciones. Se observa que a medida que se aumenta la concentración de pectina en la formulación, mayor es la influencia en la transparencia. El almidón de papa hace que las películas sean opacas o translúcidas y con una alta concentración de almidón suelen ser más opacas, la pectina forma geles transparentes, por lo que aumenta la transparencia y el zumo de zanahoria reduce la transparencia debido a la pigmentación del color naranja y a la presencia de partículas sólidas en el zumo.

De acuerdo con el diagrama de Pareto, se observa que las concentraciones de pectina, zumo de zanahoria y almidón de papa influyen significativamente, presentando una diferencia significativa entre las formulaciones de las películas comestibles, Figura 10(b).

Figura 10

Superficie de respuesta y diagrama de Pareto para transparencia.



Se ha observado que, a una mayor concentración de zumo de zanahoria y almidón de papa, mayor será el color y la opacidad de las películas, lo que disminuye su transparencia. Además, se ha encontrado que la transparencia de las películas aumenta con las vitaminas liposolubles como la vitamina E. Sin embargo, durante el almacenamiento, estas películas permiten el paso de la luz, lo que acelera la rancidez de los lípidos (Yang & Paulson, 2000). En general, se puede deducir que las películas comestibles con valores inferiores a 1 suelen ser más transparentes. Sin embargo, es importante tener en cuenta que valores menores a 1 también

pueden indicar mayor opacidad, debido a los efectos de la morfología y la categorización molecular de las películas.

Peralta (2022), menciona que es evidente que las biopelículas comestibles pierden transparencia a temperaturas superiores a 50 °C. Esto se debe a que la amilosa y varias interacciones de hidrocoloides (como la pectina) y amilopectina pueden dar lugar a la formación de nuevos compuestos. Como resultado, la luz no puede atravesar la estructura molecular de la biopelícula comestible debido a la estructura de la red. Sin embargo, en esta investigación en particular, ocurrió lo contrario. Las formulaciones de las películas comestibles se secaron a 65 °C y los valores de transparencia fueron menores a 1.

5.2. Solubilidad y actividad de agua de películas comestibles

Tabla 10

Promedio de solubilidad y actividad de agua.

Formulación	Medio ácido (pH=4)	Medio ácido (pH=5)	Medio alcalino (pH=8)	Agua ultrapura (pH=7)	Actividad de agua (a_w)
F1	98.13±0.13	99.28±0.15	93.19±0.18	97.2±0.17	0.47±0.00
F2	99.32±0.03	95.71±0.31	97.18±0.20	98.2±0.32	0.47±0.00
F3	94.21±0.19	94.01±0.06	95.09±0.09	96.6±0.36	0.48±0.00
p-value	0.0000	0.0000	0.0000	0.0014	0.0219

Valores expresados en porcentajes (%).

La Tabla 10 muestra los resultados del promedio de la solubilidad y la actividad de agua, según las formulaciones propuestas de las películas comestibles. Los valores obtenidos de la solubilidad en medio ácido a pH 4 variaron entre 94,21±0,19 y 99,32±0,03. En medio ácido a pH 5, la solubilidad varió entre 94,01±0,06 y 99,28±0,15. En medio alcalino a pH 8, la solubilidad varió entre 93,19±0,18 y 97,18±0,20. En agua ultrapura a pH 7, la solubilidad varió entre 96,57±0,36 y 98,22±0,32. La actividad de agua presentó valores que variaron entre 0,47 y 0,48. Los valores obtenidos para la solubilidad son superiores al 94%, lo que significa que más del 94% de la película comestible puede disolverse en la boca o en el tracto gastrointestinal. Si la película comestible no se disuelve completamente, no todos los ingredientes activos se liberarán y serán absorbidos por el organismo. Una alta solubilidad también puede mejorar la experiencia de comer la película, ya que no dejará residuos no deseados, no requerirá agua y se disolverá rápidamente en la boca. Una

actividad de agua menor al 0,6 significa que hay muy poca agua disponible para el crecimiento microbiano. Esto es importante por varias razones: mayor vida útil, seguridad alimentaria (al limitar el crecimiento de microorganismos, se reduce el riesgo de enfermedades transmitidas por alimentos), y calidad del producto (cambios indeseables en la textura o el sabor). Se observaron diferencias estadísticas significativas entre todas las formulaciones en términos de solubilidad y actividad de agua (ver Anexo B4 y B5) al 95% del nivel de confianza. Por lo tanto, se rechaza la hipótesis nula y se acepta la hipótesis alternativa ($p < 0,05$).

En la Tabla 11 se observa la prueba de LSD Fisher para para la solubilidad y actividad de agua. Los valores para la solubilidad con medio ácido a pH 4, solubilidad con medio ácido a pH 5, solubilidad con medio alcalino a pH 8 y solubilidad con agua ultrapura a pH 7 indican diferencias significativas, mientras que en la actividad de agua solo F1-F2, F2-F3 muestran diferencias significativas y F1-F3 no indican diferencias significativas.

Tabla 11

Prueba de LSD para la solubilidad y actividad de agua.

	Formulación	Casos	Media	Sig. (*)
Medio ácido (pH=4)	F3	3	94.21	c
	F1	3	98.13	a
	F2	3	99.32	b
Medio ácido (pH=5)	F3	3	94.01	c
	F2	3	95.71	b
	F1	3	99.28	a
Medio alcalino (pH=8)	F1	3	93.19	a
	F3	3	95.09	c
	F2	3	97.18	b
Agua ultrapura (pH=7)	F3	3	96.58	b
	F1	3	97.17	c
	F2	3	98.22	a
Actividad de agua (a_w)	F2	3	0.467	b
	F1	3	0.474	a
	F3	3	0.476	a

*Letras diferentes indican diferencia significativa evaluadas a través de la prueba de LSD Fisher al 95% de confianza.

Los valores determinados para la solubilidad con medio ácido a pH 5 fueron superiores a los resultados reportados por Choque et al. (2021), que variaron entre 24,72% y 54,08%, mientras que los valores reportados por Flores & Lopez (2007) fueron inferiores, variando entre 57,42% y 84,00%, para la solubilidad a medio alcalino a pH 8 fueron inferiores a los valores reportados por Choque et al. (2022), que variaron entre 28,34% y 51,65%. Esto se puede atribuir al hecho de que el mucílago de nopal tiene una estructura muy ramificada y contiene grupos carboxilo e hidroxilo que facilitan la unión y la interacción del almidón. La baja solubilidad indica una mayor cohesión provocada por los enlaces de hidrógeno entre las cadenas poliméricas implicadas. Por lo tanto, cuando se aumenta la concentración de mucílago, mayor será la solubilidad de las películas comestibles. Además, los valores reportados por Chocano (2019) para la solubilidad en agua ultrapura a pH 7 fueron alrededor de 77,14% a 80,06%. Por otro lado, Peralta Guevara (2022) reportó resultados de solubilidad entre 91,7% y 99,2%, mientras que Gonzales et al. (2019) mostraron resultados de 91,04%. Y (Dick et al., 2015) reportaron resultados de solubilidad de 31,65% a 44,54%. Por otro lado, diversos autores han analizado la solubilidad como una medida de la resistencia al agua y la integridad de la película, la cual está determinada por la composición química de la matriz estructural y la naturaleza de sus constituyentes y el valor de pH cercano al punto isoeléctrico de una película es más probable que interactúe con moléculas de agua que tienen baja solubilidad. Además, la distribución de los puntos polares catiónicos, aniónicos y no aniónicos de las moléculas de almidón está influenciada por el pH, y los cambios en esta distribución tienen un impacto en la interacción agua-película (Wong, 1995).

De la misma forma para la actividad de agua similares resultados fueron reportados por Peralta Guevara (2022), con valores de 0,402 y 0,573, Choque-Quispe et al., (2021), con valores de 0,562 y 0,680 y Choque et al., (2022) con valores de 0,422 y 0,404, los residuos de azúcar del zumo de zanahoria, almidón de papa y mucilago de nopal y glicerol tienen efecto debido a que estas aumentan la capacidad higroscópica junto con las moléculas de agua y grupos hidroxilos en su superficie que se encuentran activos y disponibles.

En la Figura 11 se muestra la gráfica de superficie de respuesta en función a la solubilidad dentro del almidón de papa, pectina y zumo de zanahoria para la solubilidad con medio ácido a pH 4, solubilidad con medio ácido a pH 5, solubilidad con medio alcalino a pH 8 y solubilidad con agua ultrapura a pH 7. El modelo cuadrático de las solubilidades explica un 88% y 99% de la

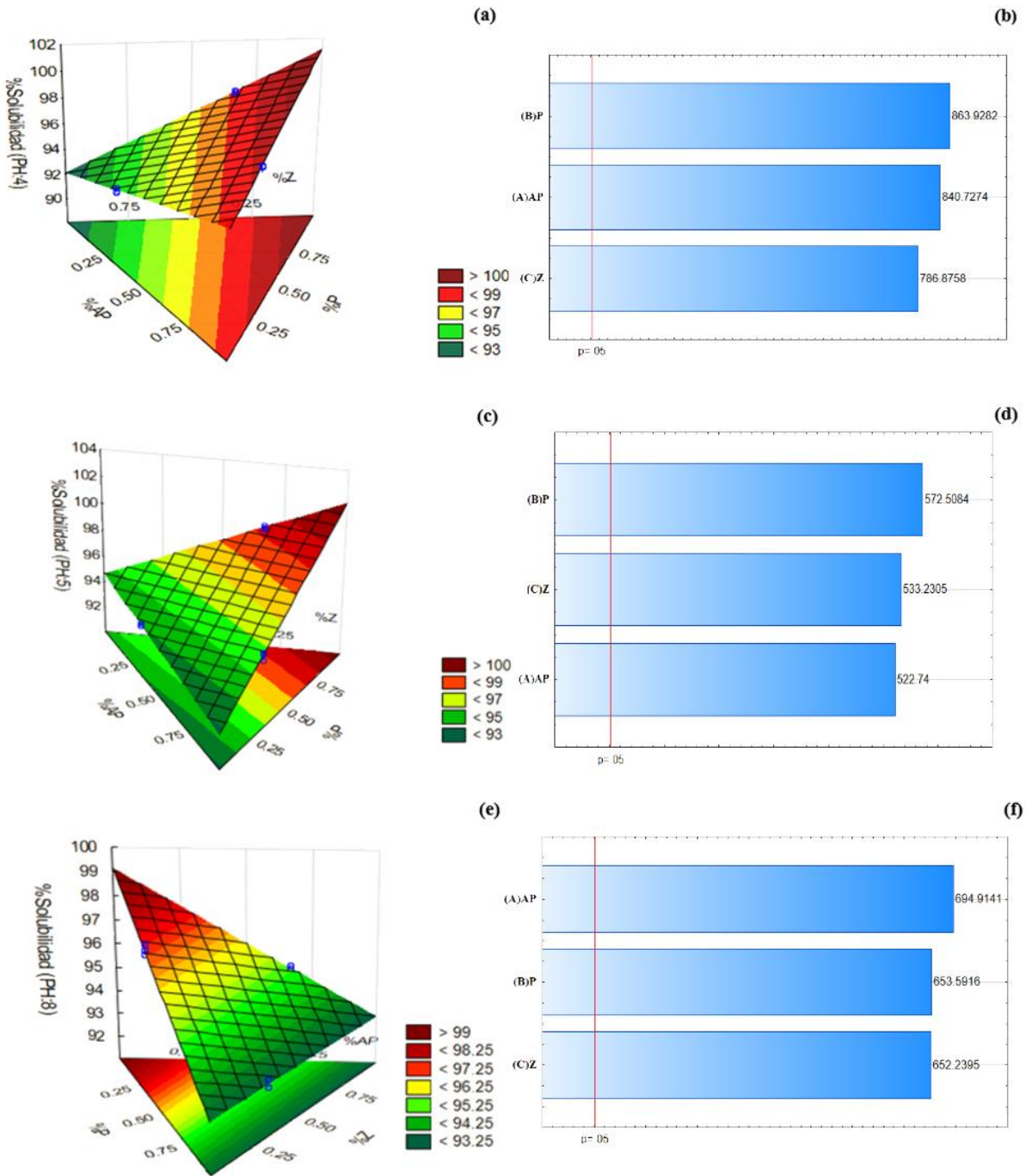
dependencia de las formulaciones. En la solubilidad con medio ácido a pH 4, se observó que a medida que se aumenta la concentración de pectina y almidón de papa en la formulación, mayor es el efecto en la solubilidad, Figura 11(a). Este mismo patrón se observó en la solubilidad con agua ultrapura a pH 7, Figura 11(g).

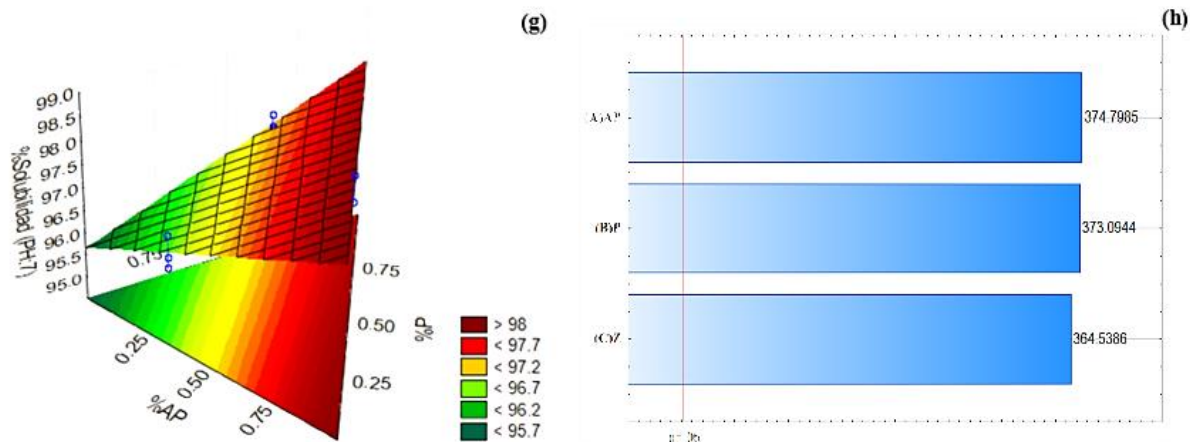
Para la solubilidad con medio ácido a pH 5, se observó que a medida que se aumenta la concentración de pectina en la formulación, mayor es el efecto en la solubilidad, Figura 11(c). En cuanto a la solubilidad con medio alcalino a pH 8, se observó que a medida que se aumenta la concentración de almidón de papa en la formulación, mayor es el efecto en la solubilidad, siendo excelente, Figura 11(e). El almidón de papa puede afectar la solubilidad de las películas comestibles de varias maneras. En general, el almidón hace que estas películas sean menos solubles debido a su estructura cristalina. Sin embargo, el tratamiento térmico y otros procesos pueden romper esta estructura y hacer que el almidón sea más soluble. Por otro lado, la pectina es un hidrocoloide que tiene la capacidad de formar geles en presencia de azúcar y ácido. Esto aumenta la solubilidad de las películas, especialmente si se utilizan pectinas de bajo metoxilo que forman geles más solubles. Así como también es importante tener en cuenta que la solubilidad de las películas comestibles puede ser afectada por muchos otros factores, incluyendo la presencia de otro ingrediente, el método de elaboración, y las condiciones de almacenamiento (Perez & Krochta, 2001). El zumo de zanahoria tiene varios efectos en la solubilidad, dependiendo de cómo se utilice la concentración en la formulación, tiene un alto contenido de agua, lo que aumenta la solubilidad. Sin embargo, también puede hacer que la película sea más susceptible a la descomposición microbiana, también contiene azúcares naturales, que pueden interactuar con la pectina para formar geles, contiene fibra dietética que puede afectar la textura y la solubilidad. La fibra hace que la película sea más resistente y menos soluble, pero también mejora su capacidad para retener agua y aumentar la solubilidad.

En la Figura 11(b), 11(d), 11(f), 11(h) se muestran el diagrama de Pareto para la solubilidad con medio ácido a pH 4, solubilidad con medio ácido a pH 5, solubilidad con medio alcalino a pH 8 y solubilidad con agua ultrapura a pH 7 de las películas comestibles. Se observaron que las concentraciones de almidón de papa, pectina y zumo de zanahoria influyen significativamente, presentando una diferencia significativa entre las formulaciones.

Figura 11

Superficie de respuesta y diagrama de Pareto para solubilidad.



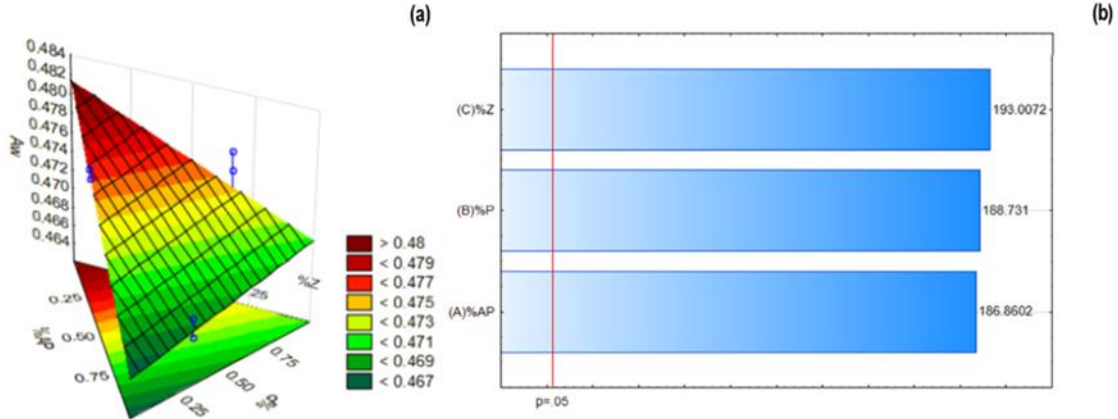


En la Figura 12(a) se muestra la grafica de superficie de respuesta en función de la actividad de agua. El modelo cuadrático de actividad de agua explica un 72% de la dependencia de las formulaciones. Se observa que a medida que se aumenta la concentración de zumo de zanahoria en la formulación, mayor es la influencia en la actividad de agua. El almidon de papa absorbe agua y forma una estructura de gel, lo que reduce la actividad del agua al limitar la cantidad de agua libre disponible. La pectina forma geles en presencia de azucar y acido, lo que tambien reduce la actividad del agua al limitar la cantidad de agua libre. Además, la pectina forma una barrera que limita la perdida de agua, lo que ayuda a mantener la actividad del agua en la película. El zumo de zanahoria tiene un alto contenido de agua, por lo que aumenta la actividad del agua, sin embargo tambien contiene azucares y otros solutos que pueden unirse al agua y reducir la cantidad de agua libre, lo que podria tener efecto contrario y reducir la actividad de agua al tener interaccion con otros ingredientes.

De acuerdo con el diagrama de Pareto se observa que las concentraciones de zumo de zanahoria, pectina y almidón de papa influyen significativamente, presentando una diferencia significativa entre las formulaciones de las películas comestibles, Figura 12(b).

Figura 12

Superficie de respuesta y diagrama de Pareto para la actividad de agua.



5.4. β -Carotenos totales y acidez de películas comestibles

Tabla 12

Promedio de β-Carotenos y acidez.

Formulación	β –Carotenos (µg/100g)	Acidez (%)
F1	13.83±0.10	0.24±0.01
F2	9.12±0.13	0.31±0.01
F3	26.11±0.13	0.22±0.02
p-value	0.0000	0.0001

Valores expresados en µg de β-caroteno equivalente/100 g (µg/100g) para el contenido betacarotenos totales y valores expresado en porcentaje (%) para la acidez.

La Tabla 12 muestra los resultados del contenido de β-Carotenos y acidez en las películas comestibles. El promedio del contenido de β-Carotenos variaron entre 9,12±0,13 y 26,11±0,13 µg/100g y el promedio de los valores de acidez variaron entre 0,22±0,02% y 0,31%±0,01 siendo valores bajos, ya que la mayoría de las películas comestibles tienen un pH que está más cerca del neutro (alrededor de 7), una acidez muy baja podría hacer que la película sea demasiado acida para algunos usos. Los alimentos ácidos tienden a tener una vida útil más larga, ya que el ambiente ácido inhibe el crecimiento de ciertos tipos de bacterias y hongos, así como también, una acidez excesiva afecta al sabor y hace que sea menos agradable al paladar. También se observaron

diferencias estadísticas significativas entre todas las formulaciones en términos del contenido de betacarotenos y acidez (ver Anexo B6 y B8) al 95% del nivel de confianza; por tanto, se rechaza la hipótesis nula y se acepta las hipótesis alterna $p < 0,05$.

En la Tabla 13 se observa la prueba de LSD Fisher para el contenido de betacarotenos y acidez. Los valores del contenido de betacarotenos indican diferencias estadísticamente significativas, de igual manera se determinó el mismo comportamiento para la acidez.

Tabla 13

Prueba de LSD para β -Carotenos y acidez.

	Formulación	Casos	Media	Sig. (*)
β –Carotenos ($\mu\text{g}/100\text{g}$)	F2	3	9.124	b
	F1	3	13.83	a
	F3	3	26.11	c
Acidez (%)	F3	3	0.216	c
	F1	3	0.243	a
	F2	3	0.31	b

*Letras diferentes indican diferencia significativa evaluadas a través de la prueba de LSD Fisher al 95% de confianza.

Los valores obtenidos del contenido de betacarotenos en el presente trabajo de investigación fueron similares a lo reportado por (Burgos & Calderón, 2009), con valores de 10,62 y 30,25 μg equivalente de β -caroteno/100g en la zanahoria. Además, Ventrera et al. (2013) reportaron valores menores a 18 mg/%g y 23 mg/%g, indicando que el contenido elevado de β -Carotenos en las películas puede atribuirse al contenido inicial de β -Carotenos (precursor de la vitamina A) en el zumo de zanahoria. Además, los valores determinados fueron inferiores a 30 debido a que fueron afectados por la temperatura de secado. Una alta temperatura puede ejercer una mayor influencia en la degradación de los β -Carotenos. Es primordial tener en cuenta el tiempo, la temperatura y otros factores como la luz, enzimas y presencia de oxígeno. Al implementar un sistema más eficiente de secado, se puede obtener un incremento en la retención de los β -Carotenos. Así como también es importante mencionar que el desecho de la cáscara de la zanahoria presenta una pérdida del 10% al 12% de los β -Carotenos, ya que la mayor cantidad se encuentra en la cáscara. Esto podría ser una de las razones por las cuales disminuye el valor de contenido de β -Carotenos y su valor nutricional (Almeida et al., 2007) Mencionan que el color, la luz o la acidez pueden producir

la isomerización de todos los carotenoides trans en distintos isómeros cis. Esta reacción origina pérdidas en la actividad de la vitamina A y cambios en el color.

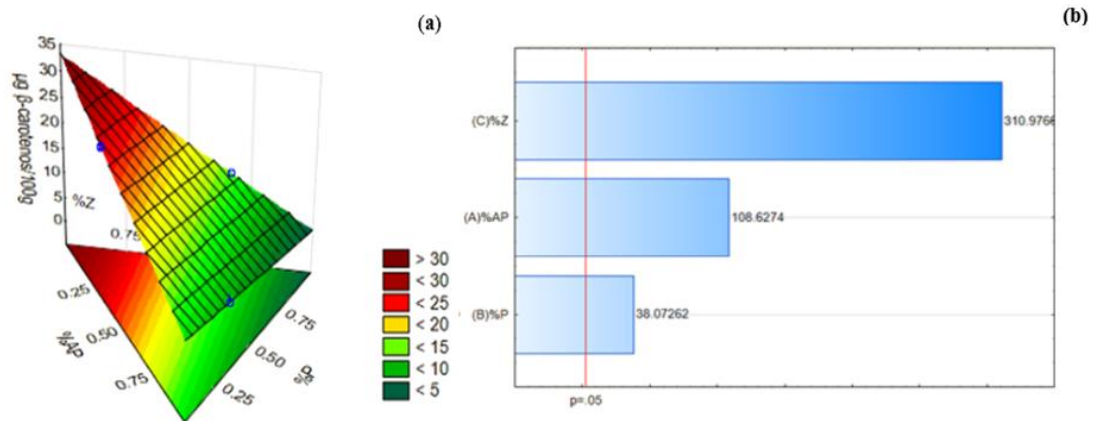
Por otro lado, Kester & Fennema (1986) mencionan que en las hortalizas se han identificado varios ácidos, como el oxálico, málico, cítrico, acético, succínico y pirrolidoncarboxílico. Durante el calentamiento, la degradación térmica de la glutamina se considera una causa principal del aumento de la acidez en las hortalizas. Otros factores que contribuyen al aumento de la acidez son los ácidos grasos formados durante la hidrólisis de los lípidos. La disminución de la acidez mejora la eficacia y retrasa el desarrollo de malos olores derivados del proceso de oxidación. Además, las condiciones de acidez suave y el calentamiento pueden producir la hidrólisis de los enlaces glicosídicos, lo cual puede alterar la textura y el aroma de las frutas y hortalizas. IG, D. (1994) los polisacáridos que se consumen de manera habitual, tanto como componentes naturales de los vegetales comestibles y frutos, como las gomas añadidas a los alimentos preparados industrialmente, no se digieren en la parte superior del tracto digestivo. En cambio, pasan al intestino grueso (colon) con pocos o ningún cambio. Esto significa que la acidez del estómago no es lo suficientemente fuerte y el tiempo de permanencia en él no es lo suficientemente largo como para causar un ataque significativo a las moléculas de los polisacáridos. Es importante destacar que una variedad ácida puede presentar un pH inferior a 2 y una acidez de valorización superior a 50 mEq por 100 g de tejido.

En la Figura 13(a) se muestra la gráfica de superficie de respuesta en función de los β -Carotenos. El modelo cuadrático de los β -Carotenos explica un 99% de la dependencia de las formulaciones. Se observa que a medida que aumenta la concentración de zumo de zanahoria en la formulación, mayor es la influencia en los β -Carotenos totales. El almidón de papa y la pectina no contienen betacarotenos, por lo que no contribuye directamente al contenido de este, pero afecta la estabilidad y biodisponibilidad de los betacarotenos en las películas, por ejemplo, pueden formar una matriz que protege a los betacarotenos de la degradación y el zumo de zanahoria es rica fuente de betacarotenos, es por eso que aumenta significativamente el contenido de betacarotenos en las películas, Sin embargo la variación de los contenidos exactos depende de la concentración del zumo de zanahoria y las condiciones de almacenamiento, ya que los betacarotenos pueden degradarse con el tiempo y bajo ciertas condiciones.

De acuerdo con el diagrama de Pareto, se puede apreciar que las concentraciones de zumo de zanahoria, almidón de papa y pectina influyen significativamente, presentando una diferencia significativa entre las formulaciones de las películas comestibles, Figura 13(b).

Figura 13

Superficie de respuesta y diagrama de Pareto para el contenido de β -Carotenos.

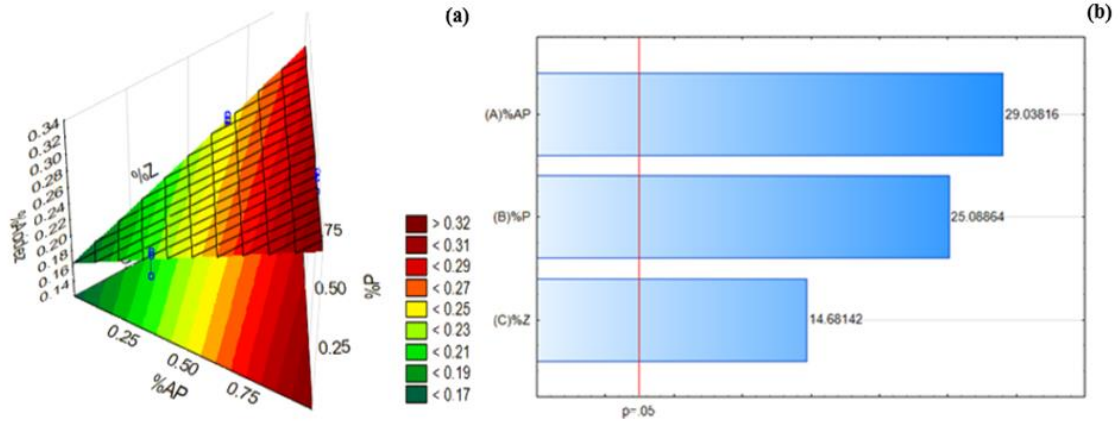


En la Figura 14(a) se muestra la gráfica de superficie de respuesta en función a la acidez, considerando los porcentajes de almidón de papa, pectina y zumo de zanahoria. El modelo cuadrático de la acidez explica un 93% de la dependencia de las formulaciones. Se observa que a medida que se aumenta la concentración de pectina en la formulación, mayor es la influencia en la acidez. El almidón de papa en sí mismo no es ácido y tiene un pH neutro que no afecta significativamente en la acidez, la pectina tiene un efecto acidificante en las películas. Esto se debe a que es un polisacárido que contiene grupos carboxilo, libera iones de hidrogeno, por lo tanto, aumenta la acidez y el zumo de zanahoria tiene un pH que varía entre 6,0 y 6,6 que es ligeramente ácido, por lo cual puede aumentar la acidez, aunque el efecto sea moderado.

De acuerdo con el diagrama de Pareto, se puede visualizar que las concentraciones de almidón de papa, pectina y zumo de zanahoria tienen una influencia significativa y presentan diferencias significativas entre todas las formulaciones, Figura 14(b).

Figura 14

Superficie de respuesta y diagrama de Pareto para la acidez.



CONCLUSIONES

- La investigación se centró en determinar el efecto del almidón de papa, la pectina y el zumo de zanahoria en el color de las películas comestibles. Los valores experimentales obtenidos mostraron que las coordenadas de Lab* tienden a ser de color naranja, lo cual coincide con la apariencia visual. En relación al índice de Amarillo, se encontró que una menor adición de almidón de papa y una mayor adición de pectina y zumo de zanahoria tuvieron un efecto positivo. En el índice de blancura, una mayor adición de almidón de papa, pectina y una menor adición de zumo de zanahoria resultaron en un efecto positivo. En el índice de Color, la adición de zumo de zanahoria tuvo mayor efecto. En términos de transparencia, la adición de pectina tuvo un efecto positivo.
- En la determinación del efecto del almidón de papa, la pectina y el zumo de zanahoria en la solubilidad y la actividad de agua de las películas comestibles, los valores experimentales obtenidos mostraron que los tratamientos F1 y F2 reportaron una solubilidad superior al 95%. La adición del almidón de papa y la pectina tuvieron la mayor influencia en la solubilidad. En relación a la actividad de agua, se observó que la adición de zumo de zanahoria tuvo un efecto positivo.
- En la determinación del efecto del almidón de papa, la pectina y el zumo de zanahoria en el contenido de β -carotenos totales y la acidez, se determinó que el tratamiento F3 mostró el mayor valor de β -carotenos con 26,11 $\mu\text{g}/100\text{g}$. El porcentaje de adición de zumo de zanahoria tuvo el mayor efecto en el contenido de β -carotenos. En cuanto a la acidez, se observó que la adición de pectina tuvo el mayor efecto significativo.

RECOMENDACIONES Y SUGERENCIAS

- ✓ Se recomienda secar las formulaciones de películas comestibles en estufa a una temperatura de 65°C.
- ✓ Realizar investigaciones de películas comestibles, evaluando sus características mecánicas, térmicas y estructurales.
- ✓ Elaborar películas comestibles con otros componentes como: almidones, hortalizas, frutas, etc.
- ✓ Reformular las películas comestibles con los resultados óptimos que se determinó.
- ✓ Realizar un estudio amplio en la evaluación y obtención de β -Carotenos totales de películas comestibles, etc.
- ✓ Se recomienda usar Pectina de bajo metoxilo.
- ✓ Se recomienda almacenar en un desecador a una humedad relativa de 48%.
- ✓ Se recomienda agregar los ingredientes de acuerdo al orden de la elaboración de películas comestibles.
- ✓ Se recomienda usar un Agitador termomagnético a 500rpm/min para el mezclado de las formulaciones.
- ✓ Realizar un estudio amplio de los métodos de análisis de acidez de las películas comestibles.
- ✓ Se recomienda a investigar minuciosamente la determinación de acidez de películas comestibles.

REFERENCIAS BIBLIOGRAFICAS

- Abraján Villaseñor, M. A. (2008). Efecto del método de extracción en las características químicas y físicas del mucilago del nopal (*Opuntia ficus-indica*) y estudio de su aplicación como recubrimiento comestible. *Revista Española, Valencia*, 16(3), 35-55.
- Almeida et al., (2007). Caracterização fisicoquímica de cenoura minimamente processada e sua relação com o processamento. *Ciência e Tecnologia de Alimentos*, 27(1), 144-150.
- AOAC. Métodos oficiales de análisis de AOAC internacional 22ª, 2023. <https://doi.org/10.1093/9780197610145.001.0001>
- Ayquipa, E. (2018). Caracterización física de películas comestibles obtenidas de mucílago de cáscara de tuna (*opuntia spp*) y almidón de cáscara de papa (*solanum tuberosum*) (Tesis de grado). Universidad Nacional Micaela Bastidas de Apurímac, Abancay.
- Badui, S. (2006). *Química de los alimentos* (4ta Edición). Pearson - México.
- Bertuzzi et al., (2007). Physicochemical characterization of starch based films. *Journal of Food Engineering*, 82(1), 17-25. <https://doi.org/10.1016/j.jfoodeng.2006.12.016>
- Burgos & Calderón, (2009). Determinación del contenido de carotenoides totales en ocho especies de frutas y verduras comercializadas en la zona metropolitana de San Salvador. *Journal of Chemical Information and Modeling*.
- Cardona Serrate, F. (2019). *Actividad del agua en alimentos: concepto, medida y aplicaciones*.
- Carranco et al., (2011). Carotenoides y su función antioxidante: A review. *Archivos latinoamericanos de nutrición*. 61(3), 233-241.
- Carranco et al., (2011). Carotenoides y su función antioxidante: A review. *Archivos latinoamericanos de nutrición*. 61(3), 233-241.
- Cavalcanti et al., (2013). Uses and applications of extracts from natural sources. *RSC Green Chemistry*. <https://doi.org/10.1039/9781849737579-00001>
- Centro de Información Técnica - CIT. (2009). *Plásticos Biodegradables, ¿qué son? y su relación con los RSU*. Plastivida.

- Chocano, N. (2019). Propiedades físicas y mecánicas de una biopelícula formulada con almidón de papa (*Solanum tuberosum*) y mucilago de nopal (*Opuntia ficus*) (Tesis de grado). Universidad Nacional José María Arguedas, Talavera- Apurímac.
- Choque-Quispe et al., (2021). Preparation and chemical and physical characteristics of an edible film based on native potato starch and nopal mucilage. *Polymers*, 13(21). <https://doi.org/10.3390/polym13213719>
- CIE, (2004). Colorimetry, 3rd Edition. Vienna: Central Bureau.
- CODEX, (2005). Norma general del Codex para zumos (jugos) y néctares de frutas (CODEX STAN 247). *Codex Alimentarios*, 21.
- Conde-Acevedo & Báez-Rojas, (2000). Conversión de un conjunto de imágenes multispectrales a un sistema RGB. *Revista Mexicana de Física*, 46(1).
- Dick et al., (2015). Edible film production from chia seed mucilage: Effect of glycerol concentration on its physicochemical and mechanical properties. *Carbohydrate Polymers*, 130(8). <https://doi.org/10.1016/j.carbpol.2015.05.040>
- Donovan, J. W. (1979). Phase transitions of the starch–water system. *Biopolymers: Original Research on Biomolecules*, 18(2), 263-275.
- Falconer et al., (1964). Carotene oxidation and off-flavor development in dehydrated carrot. *J. Sci. Food Agric.* 15:897- 901. <http://onlinelibrary.wiley.com/doi/10.1002/jsfa.2740151215/pdf>
- FAO & OMS (fao.org/es/agricultura/produ/papa.html)
- Fennema, O. R. (2000). Carbohidratos. *Química de los alimentos*, pp;228-245, 262-264.
- Flores Bustamante, N., & López Martínez, M. A. (2007). Estudio de la formación de películas comestibles empleando mezclas de gelatina-proteína de suero de leche (Tesis de grado). Unidad Profesional Interdisciplinaria de Biotecnología, Instituto Politécnico Nacional, México.
- Gil Vicente, M. (2014). Pigmentos bioactivos y propiedades ópticas de la frambuesa. Trabajo fin de máster. Universidad de Sevilla.

- Henao et al., (2012). Extracción y caracterización de pectina a partir de cáscaras de plátano para desarrollar un diseño general del proceso de producción (Tesis de grado). Universidad de Cartagena, Indias.
- Herrera Campos, S. L. (2018). Efecto de la concentración de goma arábica y temperatura de aire de secado por aspersion en el contenido de carotenoides totales, vitamina C y actividad antioxidante de la pulpa de tomate de árbol (*Cyphomandra betacea de solanum betaceum*) (Tesis de grado). Universidad Nacional del Centro del Perú, Huancayo.
- Holguin Cardona, J. (2019). Obtención de un bioplástico a partir del almidón de papa (Tesis de grado). Fundación Universitaria de América.
- Iahnke et al., (2015). Residues of minimally processed carrot and gelatin capsules: Potential materials for packaging films. *Industrial Crops and Products*, 76. <https://doi.org/10.1016/j.indcrop.2015.08.025>
- IG, D. (1994). Edible films and coatings: Characteristics, formation, definitions, and testing methods. *Edible Coatings and Films to Improve Food Quality.*, 1-24.
- Kester, J. J., & Fennema, O. R. (1986). Compositional and sensory changes in fruits and vegetables. In *Chemical Changes in Food during Processing* (pp. 1-22). American Chemical Society.
- Kester, J. J., & Fennema, O. R. (1986). Edible films and coatings: a review. *Food Technology*, 40(12), 47-59.
- Krochta, J., & Mulder, J. (1997). Scientific status summary: Edible and biodegradable polymer films: challenges and opportunities. *Food Technology*, 51(2).
- Macas, M. (2007). Evaluación Nutricional de la Zanahoria. Deshidratado (Tesis de grado) Facultad de Ciencias Bioquímicas y Farmacias, México.
- McHugh, TH (2000). Interacciones proteína-lípido en películas y recubrimientos comestibles. *Comida/Nahrung*, 44 (3), 148-151.

- Muñoz Ordoñez, J. F. (2011). Extracción y caracterización de la pectina obtenida a partir del fruto de dos ecotipos de cocona (*solanum sessiliflorum*), en diferentes grados de madurez; a nivel de planta piloto (Tesis de maestría). Universidad Nacional de Colombia, Bogotá.
- Netdisseny, (2009). Nociones Básicas de Teoría del Color, Cuaderno 2, Netdisseny, Castellón, España. <http://www.weblogicnet.com/descargas/teoria-del-color.pdf>
- Oregel-Zamudio et al., (2016). caracterización fisicoquímica de películas comestibles a base de cera de candelilla. revista iberoamericana de tecnología postcosecha, 17(1).
- Padrón et al., (2012). Determinación del color en epicardio de tomates (*Lycopersicum esculentum* Mill.) con sistemas de visión computarizada durante su maduración. En Agronomía Costarricense, pp. 97-111
- Pagan Gilabert, J. (1999). Degradación enzimática y características físicas y químicas de la pectina del bagazo de melocotón. Biblioteca virtual Miguel de Cervantes, Universidad de Lleida.
- Palestina et al., (2018). Evaluación del color y propiedades antioxidantes de películas comestibles de gelatina incorporadas con aceite rico en licopeno y β -caroteno. Investigación y Desarrollo en Ciencia y Tecnología de Alimentos, 16, 413-415.
- Parra et al., (2004). Mechanical properties and water vapor transmission in some blends of cassava starch edible films. *Carbohydrate Polymers*, 58(4). <https://doi.org/10.1016/j.carbpol.2004.08.021>
- Peralta Guevara, D. (2022). Obtención y caracterización de biopelículas comestibles para recubrir alimentos a partir de mucilago de nopal (*Opuntia ficus indica*) y almidón de oca (*Oxalis tuberosa*) (Tesis de grado). Universidad Nacional San Antonio Abad Del Cusco.
- Pérez Salcedo, Y. (2021). Propiedades mecánicas, físicas y características microbiológicas en películas biodegradables obtenidas a partir de almidón modificado de papa canchan y glicerina (Tesis de grado). Universidad Nacional José María Arguedas, Talavera- Apurímac.
- Pérez-gago, M. B., & Krochta, J. M. (2001). Denaturation time and temperature effects on solubility, tensile properties, and oxygen permeability of whey protein edible films. *Journal of Food Science*, 66(5). <https://doi.org/10.1111/j.1365-2621.2001.tb04625.x>

- Ríos-Ramos, J., & Quintana-M, V. (2004). Manejo general del cultivo del nopal. Biodiversidad de México (Vol. 113).
- Rivera M. R. (2021). Análisis de solubilidad y resistencia del biofilm comestible a base de residuos agroindustriales (Tesis de grado). Instituto Tecnológico Superior de Teziutlán, México.
- Rooney, L. W., & Huang, D. P. (2001). Starches for snack foods En: Snack foods processing, ed. Lusas, EW, Rooney, LW Lancaster, Pennsylvania.
- Rueda, D. (2015). Botánica sistémica. Quito, Ecuador: ESPE Universidad de las Fuerzas Armadas. Recuperado el, 8.
- Ruiz Avilés, G. (2006). Obtención y caracterización de un polímero biodegradable a partir del almidón de yuca. Ingeniería y Ciencia - Ing.Cienc., 2(4).
- Sáenz et al., (2006). Utilización agroindustrial del nopal. Boletín de servicios agrícolas de la FAO. Boletín 162. *FAO*.
- Sandoval et al., (2019). Formulation and characterization of edible films based on organic mucilage from Mexican *Opuntia ficus-indica*. *Coatings*, 9(8). <https://doi.org/10.3390/coatings9080506>
- Sharma et al., (2012). Chemical composition, functional properties and processing of carrot. *Journal of Food Science and Technology* (Vol. 49, Issue 1). <https://doi.org/10.1007/s13197-011-0310-7>
- Mchough, T.H & Krotcha, J.M. (2003). Formation conditions, water vapor permeability and solubility of compression-molded whey protein films. En: *Journal of Food Science*. 68(6):1985-1989.
- Spector et al., (1995). A brief photochemically induced oxidative insult causes irreversible lens damage and cataract II. Mechanism of action. *Experimental Eye Research*, 60(5). [https://doi.org/10.1016/S0014-4835\(05\)80063-6](https://doi.org/10.1016/S0014-4835(05)80063-6)
- Sui et al., (2009). Sorgeleos Effect of dietary soybean lecithin on reproductive performance of Chinese mitten crab *Eriocheir sinensis* (H. Milne-Edwards) broodstock.

- Torruco-Uco, J. G. (2004). Estructura y funcionalidad de almidones de makal (*Xanthosoma yucatanensis*), frijol x'pelón (*Vigna unguiculata*) y plátano macho (*Musa paradisiaca*) (pp. 49–56) (Tesis doctoral). Universidad Autónoma de Yucatán, México.
- Varela, A. (1997). Propiedades químicas y físicas de polímeros. Universidad Coruña. Editorial Universidade da Coruña, Coruña, España. 95 p.
- Ventrera et al., (2013). Carotenoid content and antioxidant activity of different apricot varieties. *Food Chemistry*, 45(2), 211–218. <http://www.redalyc.org/articulo.oa?id=382837655012>
- Wang et al., (2011). Barrier and mechanical properties of carrot puree films. *Food and Bioprocess Processing*, 89(2). <https://doi.org/10.1016/j.fbp.2010.03.012>
- Wong, D. (1995). *Química de los Alimentos. Mecanismos y teoría*. Editorial Acribia. Zaragoza
- Yang, L., & Paulson, A. T. (2000). Mechanical and water vapour barrier properties of edible gellan films. *Food Research International*, 33(7). [https://doi.org/10.1016/S0963-9969\(00\)00092-2](https://doi.org/10.1016/S0963-9969(00)00092-2)

ANEXOS

Anexo A. Matriz de consistencia

Problema General	Objetivo General	Hipótesis General	Variables de la Investigación	Definición conceptual	Definición operacional	Indicador	Unidad de medida	La Población y Muestra
¿Cuáles serán los efectos del almidón de papa, pectina y zumo de zanahoria en el color, solubilidad y β -carotenos de películas comestibles?	Evaluar los efectos del almidón de papa, pectina y zumo de zanahoria en el color, solubilidad y β -carotenos de películas comestibles.	los efectos del almidón de papa, pectina y zumo de zanahoria tienen efecto significativo en el color, solubilidad y β -carotenos de películas comestibles.	Zumo de zanahoria (%Z)	Es el jugo líquido de la zanahoria fresca, extraído por presión.	Es el componente de las películas comestibles extraído de la zanahoria fresca.	% de adición	%	Están representadas por tres tipos de películas comestibles con diferentes concentraciones en su formulación.
			Almidón de papa (%AP)	Es el almidón extraído de la papa variedad Qayma Marcela, utilizado en la elaboración de películas para mejorar la vida útil y calidad de los alimentos.	Es el componente de las películas comestibles. Se medirá el 2% de almidón de papa para 100 ml de agua destilada.	% de adición	%	
			Pectina (%P)	Polisacárido presente en la pared celular de frutas y vegetales, utilizado en la industria alimentaria por sus propiedades gelificantes, espesantes y estabilizantes.	Es el componente de las películas comestibles. Se medirá el 2% de pectina cítrica de 95° para 100 ml de agua destilada.	% de adición	%	
¿Cuál será el efecto del almidón de papa, pectina y zumo de zanahoria en la solubilidad de películas comestibles?	Determinar el efecto del almidón de papa, pectina y zumo de zanahoria en la solubilidad de películas comestibles.	los efectos del almidón de papa, pectina y zumo de zanahoria tienen efecto significativo en la solubilidad de películas comestibles.	Propiedades Físicoquímicas	Son las características físicas y químicas inherentes a las películas comestibles que pueden afectar su funcionalidad y eficacia.	Se medirá a través de laboratorio para evaluar las propiedades como: Color, Transparencia, IA, IB, IC, Solubilidad, Actividad de agua, β -carotenos y acidez.	Color: L*a*b, IA, IB, IC.	Dimensional	están representados por tres tipos de láminas comestibles por triplicado de acuerdo a su evaluación, utilizándose 5x5 cm para el color, IA, IB, IC, 12x45cm para transparencia, 0.1 g para solubilidad, 0.1 g para actividad de agua, 1 g para β -carotenos totales y 2 g para acidez.
Transparencia	abs/mm							
Solubilidad	%							
Actividad de agua	-							
β -carotenos	$\mu\text{g}/100\text{g}$							
Acidez	%							
¿Cuál será el efecto del almidón de papa, pectina y zumo de zanahoria en los β -carotenos de películas comestibles?	Determinar el efecto del almidón de papa, pectina y zumo de zanahoria en los β -carotenos de películas comestibles.	los efectos del almidón de papa, pectina y zumo de zanahoria tienen efecto significativo en el contenido de β -carotenos de películas comestibles.						

Anexo B. Instrumentos de recolección de datos

Anexo B1. Datos de color de películas comestibles

N° Replicas por			
Formulación	L*	a*	b*
F1	89.1	8.85	16.49
F1	89.09	8.9	16.46
F1	89.07	8.6	16.42
F2	91.07	4.57	11.31
F2	91.48	4.25	11.54
F2	91.41	4.15	11.71
F3	89.08	9.11	15.55
F3	88.69	9.09	15.68
F3	88.19	9.13	15.82

Tabla ANOVA para L* por Formulación

Fuente	Suma de Cuadrados	Gl	Cuadrado Medio	Razón-F	Valor-P
Entre grupos	12.2867	2	6.14333	74.5	0.0001
Intra grupos	0.494733	6	0.0824556		
Total (Corr.)	12.7814	8			

Prueba de múltiple rango para L* por formulación

Método: 95,0 porcentaje LSD

Formulación	Casos	Media	Grupos Homogéneos
F3	3	88.65	a
F1	3	89.08	a
F2	3	91.32	b

Tabla ANOVA para a* por Tratamiento

Fuente	Suma de Cuadrados	Gl	Cuadrado Medio	Razón-F	Valor-P
Entre grupos	42.9105	2	21.4552	865.52	0.0000
Intra grupos	0.148733	6	0.0247889		
Total (Corr.)	43.0592	8			

Prueba de múltiple rango para a* por formulación

Método: 95,0 porcentaje LSD

Formulación	Casos	Media	Grupos Homogéneos
F1	3	4.32	a
F2	3	8.78	b
F3	3	9.11	c

Tabla ANOVA para b* por Formulación

Fuente	Suma de Cuadrados	Gl	Cuadrado Medio	Razón-F	Valor-P
Entre grupos	42.3021	2	21.151	1061.68	0.0000
Intra grupos	0.119533	6	0.0199222		
Total (Corr.)	42.4216	8			

Prueba de múltiple rango para b* por formulación

Método: 95,0 porcentaje LSD

Formulación	Casos	Media	Grupos Homogéneos
F2	3	11.52	b
F3	3	15.6833	c
F1	3	16.4567	a

Procesamiento de datos en Statgraphics Centurion 19.

Anexo B2. Datos de índice de color (IC), índice de amarillo (IA), índice de blancura (IB).

N° De Replicas por formulación	IA	IB	IC
F1	26.43	39.63	6.02
F1	26.39	39.71	6.07
F1	26.33	39.81	5.88
F2	17.74	57.14	4.44
F2	18.02	56.86	4.03
F2	18.30	56.28	3.88
F3	24.93	42.43	6.58
F3	25.25	41.65	6.54
F3	25.62	40.73	6.54

Tabla ANOVA para IA por formulación

Fuente	Suma de Cuadrados	Gl	Cuadrado		
			Medio	Razón-F	Valor-P
Entre grupos	123.706	2	61.8532	927.03	0.0000
Intra grupos	0.400333	6	0.0667222		
Total (Corr.)	124.107	8			

Prueba de múltiple rango para IA por formulación

Método: 95,0 porcentaje LSD

FORMULACIÓN	Casos	Media	Grupos Homogéneos
F2	3	18.02	b
F3	3	25.2667	c
F1	3	26.3833	a

Tabla ANOVA para IB por formulación

Fuente	Suma de Cuadrados	Gl	Cuadrado		
			Medio	Razón-F	Valor-P
Entre grupos	523.759	2	261.88	849.65	0.0000
Intra grupos	1.84933	6	0.308222		
Total (Corr.)	525.609	8			

Prueba de múltiple rango para IB por formulación

Método: 95,0 porcentaje LSD

FORMULACIÓN	Casos	Media	Grupos Homogéneos
F1	3	39.7167	a
F3	3	41.6033	c
F2	3	56.76	b

Tabla ANOVA para IC por formulación

Fuente	Suma de Cuadrados	Gl	Cuadrado		
			Medio	Razón-F	Valor-P
Entre grupos	9.76407	2	4.88203	155.37	0.0000
Intra grupos	0.188533	6	0.0314222		
Total (Corr.)	9.9526	8			

Prueba de múltiple rango para IC por formulación

Método: 95,0 porcentaje LSD

FORMULACIÓN	Casos	Media	Grupos Homogéneos
F2	3	4.11667	b
F1	3	5.99	a
F3	3	6.55333	c

Anexo B3. Datos de transparencia de películas comestibles

N° de replicas por formulación	Abs (600nm)	Espesor	Transparencia (abs/mm)
F1	0.24	0.47	0.52
F1	0.25	0.41	0.61
F1	0.24	0.48	0.51
F2	0.19	0.59	0.32
F2	0.22	0.58	0.37
F2	0.19	0.59	0.32
F3	0.13	0.59	0.22
F3	0.14	0.61	0.23
F3	0.14	0.63	0.22

Tabla ANOVA para Transparencia (abs/mm) por formulación

Fuente	Suma de Cuadrados	Gl	Cuadrado Medio	Razón-F	Valor-P
Entre grupos	0.162619	2	0.0813096	57.44	0.0001
Intra grupos	0.00849397	6	0.00141566		
Total (Corr.)	0.171113	8			

Prueba de múltiple rango para IC por formulación

Método: 95,0 porcentaje LSD

Formulación	Casos	Media	Grupos Homogéneos
F3	3	0.22	c
F2	3	0.33	b
F1	3	0.55	a

Anexo B4. Datos de solubilidad de películas comestibles

Anexo B4.1. Solubilidad de películas comestibles con medio ácido (pH:4)

N° de replicas por formulación	W (g) Película comestible	Ácido cítrico 1M (pH 4) (ml)	W Papel filtro (g) (N° 41)	Wf Papel F + WPe (g)	(Wf Papel F + Wpe) - (W Papel filtro)	% solubilidad
F1	0.10	95.6	0.16	0.16	0.002	98.12
F1	0.06	63.2	0.16	0.16	0.001	98.26
F1	0.10	100.1	0.16	0.16	0.002	98.00
F2	0.09	85.5	0.16	0.16	0.001	99.30
F2	0.09	87.5	0.16	0.16	0.001	99.31
F2	0.09	92.9	0.16	0.16	0.001	99.35
F3	0.13	126.2	0.15	0.16	0.008	94.06
F3	0.12	116.5	0.16	0.17	0.007	94.16
F3	0.10	102.2	0.16	0.17	0.006	94.42

Tabla ANOVA para Solubilidad (%) con medio ácido (pH:4) por Formulación

Fuente	Suma de Cuadrados	Gl	Cuadrado Medio	Razón-F	Valor-P
Entre grupos	42.8242	2	21.4121	1215.5	0.0000
Intra grupos	0.105695	6	0.0176159		
Total (Corr.)	42.9299	8			

Prueba de múltiple rango para solubilidad de películas comestibles con medio ácido (pH:4)

Método: 95,0 porcentaje LSD

Formulación	Casos	Media	Grupos Homogéneos
F3	3	94.2143	c
F1	3	98.262	a
F2	3	99.222	b

Anexo B4.2. Solubilidad de películas comestibles con medio ácido (pH:5)

N° de replicas por formulación	W (g) Película comestible	Ácido cítrico 1M (pH 5) (ml)	W Papel filtro (N° 41)	Wf Papel F + MPe (g)	(Wf Papel F + Wpe) - (W Papel filtro)		% solubilidad
F1	0.07	65.5	0.16	0.16		0.0005	99.24
F1	0.05	54.2	0.16	0.16		0.0003	99.45
F1	0.06	59	0.16	0.16		0.0005	99.15
F2	0.07	71.5	0.16	0.16		0.0029	95.94
F2	0.08	75.5	0.16	0.16		0.0035	95.36
F2	0.06	62.4	0.16	0.16		0.0026	95.83
F3	0.08	82.8	0.16	0.16		0.0049	94.08
F3	0.09	93	0.16	0.17		0.0056	93.98
F3	0.06	64.7	0.16	0.17		0.0039	93.97

Nota. Procesamiento de datos en Excel. Autoría propia.

Tabla ANOVA para Solubilidad (%) con medio ácido (pH:5) por Formulación

Fuente	Suma de	Gl	Cuadrado		Valor-P
	Cuadrados		Medio	Razón-F	
Entre grupos	43.3544	2	21.6772	535.22	0.0000
Intra grupos	0.243011	6	0.0405018		
Total (Corr.)	43.5975	8			

Prueba de múltiple rango para solubilidad de películas comestibles con medio ácido (pH:5)

Método: 95,0 porcentaje LSD

Formulación	Casos	Media	Grupos Homogéneos
F3	3	94.0109	c
F2	3	95.7139	b
F1	3	99.2785	a

Anexo B4.3. Solubilidad de películas comestibles con medio alcalino (pH:8)

N° de replicas por formulación	W (g) Película comestible	NaOH 0.1N (pH 8) (ml)	W Papel filtro (N° 41)	Wf Papel F + MPe (g)	(Wf Papel F + Wpe) - (W Papel filtro)	% solubilidad
F1	0.10	102.6	0.16	0.15	0.007	93.08
F1	0.06	60.8	0.16	0.17	0.004	93.09
F1	0.09	87.7	0.16	0.16	0.006	93.39
F2	0.09	92.4	0.15	0.15	0.003	97.19
F2	0.10	99.2	0.16	0.16	0.003	97.38
F2	0.10	96.2	0.17	0.17	0.003	96.99
F3	0.08	83.2	0.15	0.16	0.004	95.19
F3	0.08	84.4	0.17	0.17	0.004	95.02
F3	0.06	56.6	0.16	0.17	0.003	95.05

Tabla ANOVA para Solubilidad (%) con medio alcalino (pH:8) por Formulación

Fuente	Suma de Cuadrados	Gl	Cuadrado Medio	Razón-F	Valor-P
Entre grupos	23.9562	2	11.9781	457.59	0.0000
Intra grupos	0.157058	6	0.0261764		
Total (Corr.)	24.1133	8			

Prueba de múltiple rango para solubilidad de películas comestibles con medio alcalino (pH:8)

Método: 95,0 porcentaje LSD

Formulación	Casos	Media	Grupos Homogéneos
F1	3	93.1887	a
F3	3	95.0897	c
F2	3	97.1835	b

Anexo B4.4. Solubilidad de películas comestibles con agua ultra pura (pH:7)

N° de replicas por formulación	W (g) Película comestible	H2O Ionizada (pH 7) (ml)	W Papel filtro (N° 41)	Wf Papel F + MPe (g)	(Wf Papel F + Wpe) - (W Papel filtro)	% solubilidad
F1	0.1001	100.1	0.1562	0.1591	0.0029	97.10
F1	0.0576	57.6	0.1573	0.159	0.0017	97.05
F1	0.0608	60.8	0.1603	0.1619	0.0016	97.37
F2	0.0911	91.1	0.1675	0.1693	0.0018	98.02
F2	0.1137	113.7	0.1599	0.1583	0.0016	98.59
F2	0.1022	102.2	0.1732	0.1752	0.002	98.04
F3	0.0958	95.8	0.1672	0.1701	0.0029	96.97
F3	0.0427	42.7	0.1635	0.165	0.0015	96.49
F3	0.0428	42.8	0.1667	0.1683	0.0016	96.26

Tabla ANOVA para Solubilidad (%) con agua ultra pura (pH:7) por Formulación

Fuente	Suma de Cuadrados	Gl	Cuadrado Medio	Razón-F	Valor-P
Entre grupos	4.16451	2	2.08225	23.51	0.0014
Intra grupos	0.531425	6	0.0885708		
Total (Corr.)	4.69593	8			

Prueba de múltiple rango para solubilidad de películas comestibles con agua ultrapura (pH:7)

Método: 95,0 porcentaje LSD

Formulación	Casos	Media	Grupos Homogéneos
F3	3	96.5739	c
F1	3	97.1733	a
F2	3	98.22	b

Anexo B5. Datos de actividad de agua (a_w) de películas comestibles

N° de replicas por formulación	W Película comestible	T°	a_w
F1	0.1026	20.54	0.47
F1	0.0608	20.63	0.48
F1	0.0878	20.79	0.48
F2	0.0924	20.86	0.47
F2	0.0992	20.86	0.47
F2	0.0962	20.91	0.47
F3	0.0832	21.01	0.48
F3	0.0844	21.06	0.48
F3	0.0566	21.06	0.48

Tabla ANOVA para a_w de películas comestibles por formulación

Fuente	Suma de Cuadrados	Gl	Cuadrado Medio	Razón-F	Valor-P
Entre grupos	0.00012356	2	6.1778E-05	7.72	0.0219
Intra grupos	0.000048	6	0.000008		
Total (Corr.)	0.00017156	8			

Prueba de múltiple rango para a_w de películas comestibles por formulación

Método: 95,0 porcentaje LSD

Formulación	Casos	Media	Grupos Homogéneos
F2	3	0.467667	b
F1	3	0.474333	a
F3	3	0.476333	a

Anexo B6. Datos de B-carotenos de películas comestibles

N° de replicas por formulación	Px películas comestibles	Acetona-Etanol		H2O		V (ml) de extracto	Px películas comestibles	µg β-carotenos/100g
		(50ml)	Hexano	Ionizada	Abs (470 nm)			
F1	0.9424	9.424	23.56	11.78	0.216	15	0.9424	13.75
F1	0.8868	8.868	22.17	11.085	0.204	15	0.8868	13.80
F1	0.8939	8.939	22.3475	11.17375	0.215	14.5	0.8939	13.95
F2	1.005	10.05	25.125	12.5625	0.136	16.85	1.005	9.12
F2	1.0594	10.594	26.485	13.2425	0.139	17.15	1.0594	9.00
F2	1.0768	10.768	26.92	13.46	0.138	18.05	1.0768	9.25
F3	0.9699	9.699	24.2475	12.12375	0.35	18.15	0.9699	26.20
F3	1.0007	10.007	25.0175	12.50875	0.351	18.5	1.0007	25.96
F3	1.0041	10.041	25.1025	12.55125	0.354	18.56	1.0041	26.17

Nota. Procesamiento de datos en Excel. Autoría propia.

Tabla ANOVA para B-carotenos de películas comestibles por formulación

Fuente	Suma de		Cuadrado		
	Cuadrados	Gl	Medio	Razón-F	Valor-P
Entre grupos	461.319	2	230.659	15605.9	0.0000
Intra grupos	0.0886816	6	0.0147803		
Total (Corr.)	461.407	8			

Prueba de múltiple rango para B-carotenos de películas comestibles por formulación

Método: 95,0 porcentaje LSD

Formulación	Casos	Media	Grupos Homogéneos
F2	3	9.12487	b
F1	3	13.8349	a
F3	3	26.1093	c

Anexo B7. Datos de espesor (mm) de películas comestibles

N° de replicas por formulación	Medida Placa de vidrio	Medida de placa + película (mm)			Promedio	E Placa - E Película (mm)
F1	1.07	1.63	1.5	1.48	1.53667	0.47
F1	1.07	1.65	1.4	1.39	1.48000	0.41
F1	1.07	1.67	1.5	1.47	1.54667	0.48
F2	1.01	1.63	1.51	1.65	1.59667	0.59
F2	1.01	1.64	1.54	1.6	1.59333	0.58
F2	1.01	1.61	1.55	1.65	1.60333	0.59
F3	1.01	1.59	1.63	1.59	1.60333	0.59
F3	1.01	1.6	1.62	1.63	1.61667	0.61
F3	1.01	1.65	1.61	1.65	1.63667	0.63

Tabla ANOVA para espesor (mm) de películas comestibles por formulación

Fuente	Suma de	Gl	Cuadrado	Razón-F	Valor-P
	Cuadrados		Medio		
Entre grupos	0.0440056	2	0.0220028	41.2	0.0003
Intra grupos	0.00320467	6	0.00053411		
Total (Corr.)	0.0472103	8			

Prueba de múltiple rango para espesor (mm) de películas comestibles por formulación

Método: 95,0 porcentaje LSD

Formulación	Casos	Media	Grupos Homogéneos
F1	3	0.451133	a
F2	3	0.587767	b
F3	3	0.6089	b

Anexo B8. Datos de % acidez de películas comestibles

N° de replicas					
por formulación	Película en (g)	Agua Destilada	NaOH (ml)	N (g/mol)	% acidez
F1	2.16	21.65	4	0.1	0.25
F1	2.28	22.79	4	0.1	0.24
F1	2.23	22.25	4	0.1	0.24
F2	2.14	21.39	5	0.1	0.31
F2	2.10	20.97	5	0.1	0.32
F2	2.41	24.07	5.3	0.1	0.30
F3	2.03	23.05	3.4	0.1	0.22
F3	2.44	24.36	3.6	0.1	0.20
F3	2.05	20.47	3.5	0.1	0.23

Tabla ANOVA para % acidez de películas comestibles por formulación

Fuente	Suma de				
	Cuadrados	Gl	Cuadrado Medio	Razón-F	Valor-P
Entre grupos	0.0138667	2	0.00693333	56.73	0.0001
Intra grupos	0.000733333	6	0.000122222		
Total (Corr.)	0.0146	8			

Prueba de múltiple rango para % acidez de películas comestibles por formulación

Método: 95,0 porcentaje LSD

Formulación	Casos	Media	Grupos Homogéneos
F3	3	0.216667	c
F1	3	0.243333	a
F2	3	0.31	b

PANEL FOTOGRAFICO

Formulación de Películas comestibles



Solución de Almidón de papa.



Solución de pectina.



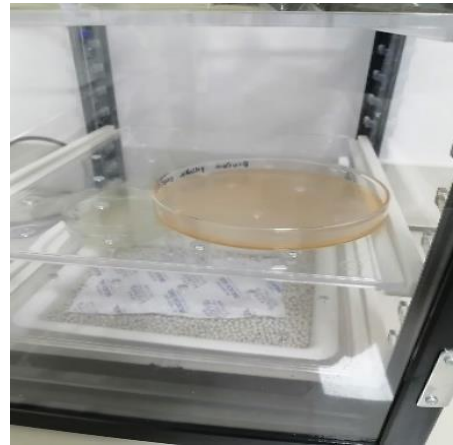
Dilución de almidón, pectina, mucilago, zumo de zanahoria.



Formulación de películas comestibles.



Películas comestibles.



Almacenamiento de películas comestibles en un desecador.

Análisis de color de películas comestibles

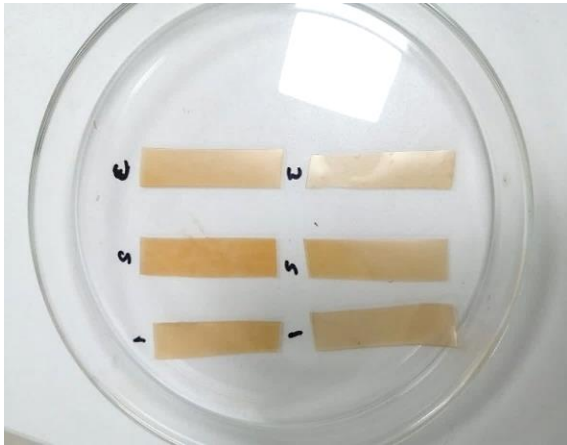


Películas comestibles en el colorímetro a su posterior medida.

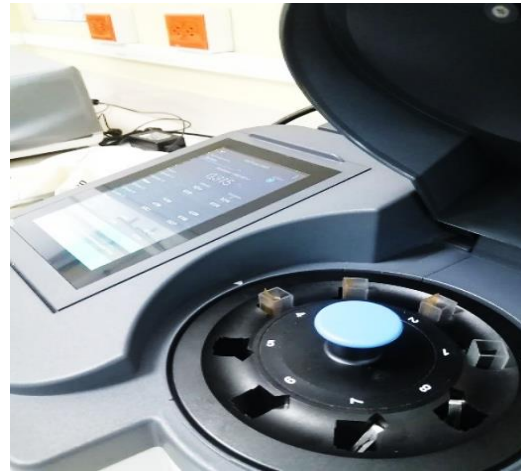


Medida de color de películas comestibles en el colorímetro.

Análisis de transparencia de películas comestibles



Películas comestibles para su medida de transparencia.

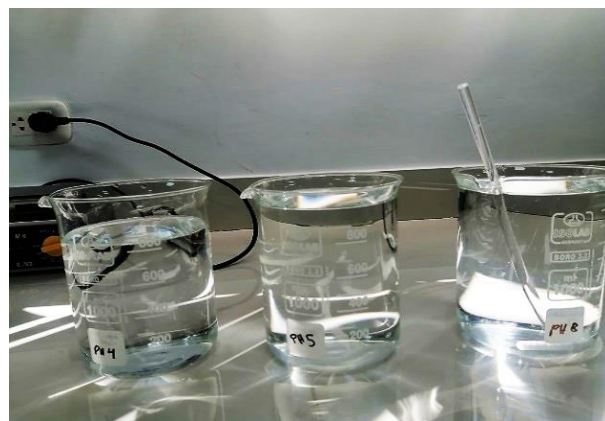


Lectura de Abs de películas comestibles en el espectrofotómetro.

Análisis de solubilidad de películas comestibles



Solución de hidróxido de sodio 0.1N NaOH y ácido cítrico 1M.



Solución de medio ácido ($C_6H_8O_7$) pH:4, pH:5 y medio alcalino (NaOH) pH:8.



Pesado de proporciones de películas comestibles.



Dilución de películas comestibles y medio ácido, medio alcalino, Agua Ionizada en reposo por 24Hrs.

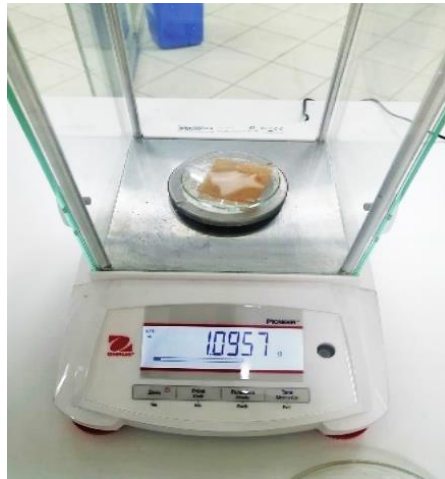


Filtrado de fracción desintegrada con papel filtro N° 41.



Secado fracción desintegrada en estufa por 24 H a 70°C.

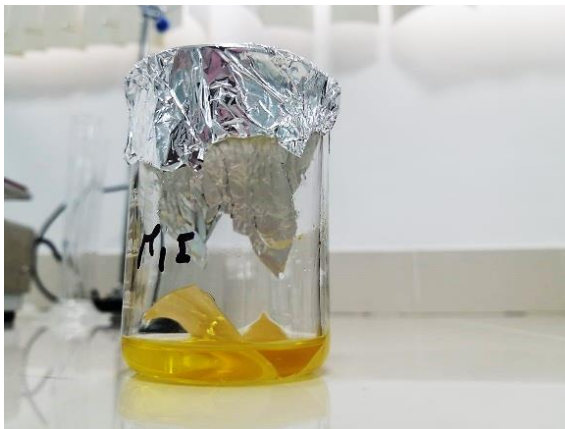
Análisis de β -Carotenos de películas comestibles



Pesado de proporciones de películas comestibles para su análisis de β -Carotenos.



Reactivos para utilizarle.



Adición de solvente para carotenoides a la muestra de películas comestibles.



Homogenizado de películas comestibles con solvente para carotenoides y en reposo por 24H en refrigeración a 4°C.



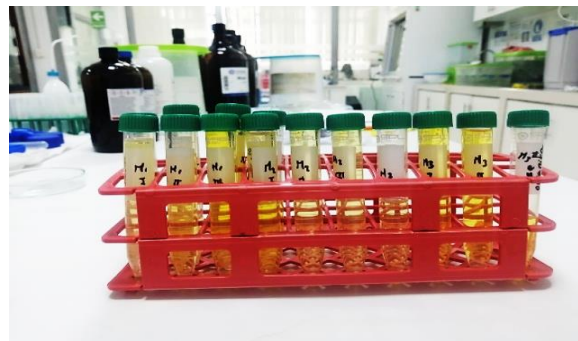
Filtrado del solvente y películas comestibles para carotenoides utilizando papel filtro Whatman N° 41.



Transferido del filtrado a fioas de 50ml.



Aforado con solvente para carotenoides.



Muestra de fase sólida para lectura en el espectrofotómetro.



**FORMATO DE AUTORIZACIÓN DE PUBLICACIÓN EN EL REPOSITORIO
INSTITUCIONAL DE LA UNAJMA**

Formulario de autorización para la publicación electrónica en la página web del Repositorio Institucional de la Universidad Nacional de José María Arguedas, de conformidad con la Ley N° 30035 Ley que regula el Repositorio Nacional Digital de Ciencia, Tecnología e Innovación de Acceso Abierto y Resolución de Comisión Organizadora N° 0203-2021 que aprueba el Reglamento que regula el Repositorio Institucional Digital de Ciencia, Tecnología e Innovación de Acceso Abierto de la Universidad Nacional de José María Arguedas.

1. DATOS DEL AUTOR:

Nombres y Apellidos: Sandra Diaz Oroasco

DNI / Carnet de Extranjería: 70792958

Correo Institucional: 1002820161@unajma.edu.pe

Teléfono/Celular: 918 818 854

Correo Electrónico: sandra960513795@gmail.com

2. GRADO, TÍTULO O ESPECIALIZACIÓN (Marque con una X)

Bachiller	Título Profesional	Magíster	Doctor	Segunda Especialidad
	X			

3. TIPO DE PUBLICACIÓN (Marque con una X)

Tesis	Trabajo Académico	Trabajo de investigación	Trabajo de Suficiencia profesional
X			

4. DATOS DE LA PUBLICACION:

Título: EVALUACIÓN DEL COLOR, SOLUBILIDAD y β -CAROTENOS DE PELICULAS COMESTIBLES FORMULADAS CON ZUMO DE ZANAHORIA, ALMIDÓN DE PAPA Y MUCILAGO DE NOPAL.



5. DATOS DEL ASESOR:

Nombres y Apellidos: Dr. David Choque Quispe

DNI/Pasaporte/Cédula: 25003361

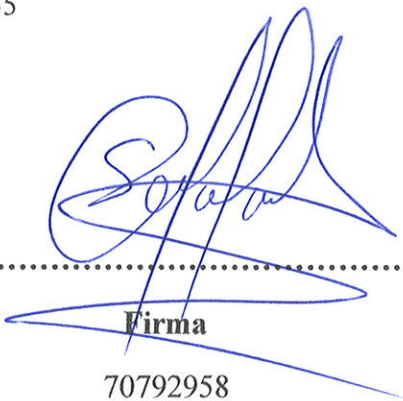
ORCID: 0000-0003-4002-7526

6. DATOS DEL CO-ASESOR:

Nombres y Apellidos: Dr. Carlos Alberto Ligarda Samanez

DNI/Pasaporte/Cédula: 31190026

ORCID: 0000-0001-7519-8355



.....

Firma

70792958

Sandra Diaz Orosco



LICENCIAS

Licencia Estándar

Bajo los siguientes términos, autorizo el depósito de mi trabajo de investigación en el Repositorio Institucional Digital de la UNAJMA.

Con la autorización de depósito de mi trabajo de investigación otorgo a la Universidad Nacional de José María Arguedas, una Licencia No Exclusiva para reproducir, distribuir, comunicar al público, transformar (únicamente mediante su traducción a otros idiomas) y poner a disposición del público mi trabajo de investigación (incluido el resumen), en formato físico o digital en cualquier medio, conocido o por conocerse, a través de los diversos servicios provistos por la Universidad, creados o por crearse, tales como el Repositorio Institucional Digital de la UNAJMA, Colección de Tesis, entre otros, en el Perú y en el extranjero, por el tiempo y veces que considere necesarias y libre de remuneraciones.

En virtud de dicha Licencia, la Universidad Nacional de José María Arguedas, podrá reproducir mi trabajo de investigación en cualquier tipo de soporte y en más de un ejemplar, sin modificar su contenido, solo con los propósitos de seguridad, respaldo y preservación.

Declaro que el trabajo de investigación es una creación de mi autoría y exclusiva titularidad, o coautoría con titularidad compartida, y me encuentro facultado a conceder la presente licencia y, asimismo, garantizo que dicho trabajo de investigación no infringe derechos de autor de terceras personas.

La Universidad Nacional de José María Arguedas consignará el nombre del/los autores/es del trabajo de investigación, y no le hará ninguna modificación más de la permitida en la presente licencia.

Autorizo el depósito (marque con una X).

SI autorizo que se deposite inmediatamente

No autorizo.


.....
Firma



Documento de identidad: 70792958

Nombres y apellidos: Sandra Díaz Orosco