

**UNIVERSIDAD NACIONAL DEL SANTA**  
**ESCUELA DE POSGRADO**  
**Programa de Doctorado en Ingeniería de Alimentos**



**UNS**  
ESCUELA DE  
**POSGRADO**

---

---

**“Bandejas biodegradables de cascarilla de arroz  
y cushuro, aplicadas para conservar fresas con  
aceite de eucalipto”**

---

---

**Tesis para optar el grado de  
Doctor en Ingeniería de alimentos**

**Autora:**

**Mg. Zuñiga Vallejos, Mónica Tatiana**

**Asesor:**

**Dr. Domínguez Castañeda, Jorge Marino**  
**DNI. N° 32975182**  
**Código ORCID: 0000-0003-0488-5726**

**Línea de investigación**  
**Desarrollo de nuevos materiales y**  
**tecnologías de envasado**

**Nuevo Chimbote - PERÚ**  
**2024**



## CERTIFICACIÓN DEL ASESOR

Yo, **Dr. Domínguez Castañeda, Jorge Marino**, mediante la presente certifico mi asesoramiento de la Tesis de Doctorado titulada: **“Bandejas biodegradables de cascarilla de arroz y cushuro, aplicadas para conservar fresas con aceite de eucalipto”**, elaborada por la **Mg. Zuñiga Vallejos, Mónica Tatiana**, para obtener el Grado de **Doctor en Ingeniería de Alimentos** en la Escuela de Posgrado de la Universidad Nacional del Santa.

Nuevo Chimbote, junio del 2024

---

**Dr. Domínguez Castañeda, Jorge Marino**  
ASESOR

DNI: 32975182

Código ORCID: 0000-0003-0488-5726



**UNS**  
**POSGRADO**

## **AVAL DE CONFORMIDAD DEL JURADO**

Tesis de Doctorado titulada: **“Bandejas biodegradables de cascarilla de arroz y cushuro, aplicadas para conservar fresas con aceite de eucalipto”**, elaborada por la **Mg. Zuñiga Vallejos, Mónica Tatiana**.

**Revisado y Aprobado por el Jurado Evaluador:**

---

**Dra. Aguirre Vargas, Elza Berta**  
**Presidenta**  
DNI: 19096335  
ORCID: 0000-0003-1659-9874

---

**Dr. Reyes Ávalos, Walter Eduardo**  
**Secretario**  
DNI: 17878579  
ORCID 0000-0002-4277-9521

---

**Dr. Manayay Sanchez, Damian**  
**Vocal**  
DNI: 09972613  
Código ORCID: 0000-0002-1621-7250



**UNS**  
ESCUELA DE  
POSGRADO

## ACTA DE EVALUACIÓN DE SUSTENTACIÓN DE TESIS

A los quince días del mes de junio del año 2024, siendo las 9:00 horas, en las instalaciones de la Escuela de Agroindustria de la Universidad Nacional del Santa, se reunieron los miembros del Jurado Evaluador, designados mediante Resolución Directoral N° 208-2024-EPG-UNS de fecha 16.04.2024, conformado por los docentes: Dra. Elza Berta Aguirre Vargas (Presidenta), Dr. Walter Eduardo Reyes Avalos (Secretario) y el Dr. Damián Manayay Sánchez (Vocal); con la finalidad de evaluar la tesis titulada "**BANDEJAS BIODEGRADABLES DE CASCARILLA DE ARROZ Y CUSHURO, APLICADAS PARA CONSERVAR FRESAS CON ACEITE DE EUCALIPTO**"; presentado por la tesista **Mónica Tatiana Zuñiga Vallejos**, egresada del programa de **Doctorado en Ingeniería de Alimentos**.

Sustentación autorizada mediante Resolución Directoral N° 318-2024-EPG-UNS de fecha 10 de junio de 2024.

El presidente del jurado autorizó el inicio del acto académico; producido y concluido el acto de sustentación de tesis, los miembros del jurado procedieron a la evaluación respectiva, haciendo una serie de preguntas y recomendaciones al tesista, quien dio respuestas a las interrogantes y observaciones.

El jurado después de deliberar sobre aspectos relacionados con el trabajo, contenido y sustentación del mismo y con las sugerencias pertinentes, declara la sustentación como APROBADO, asignándole la calificación de (18) BUENO.

Siendo las 10:45 horas del mismo día se da por finalizado el acto académico, firmando la presente acta en señal de conformidad.

  
Dra. Elza Berta Aguirre Vargas  
Presidenta

  
Dr. Walter Eduardo Reyes Avalos  
Secretario

  
Dr. Damián Manayay Sánchez  
Vocal

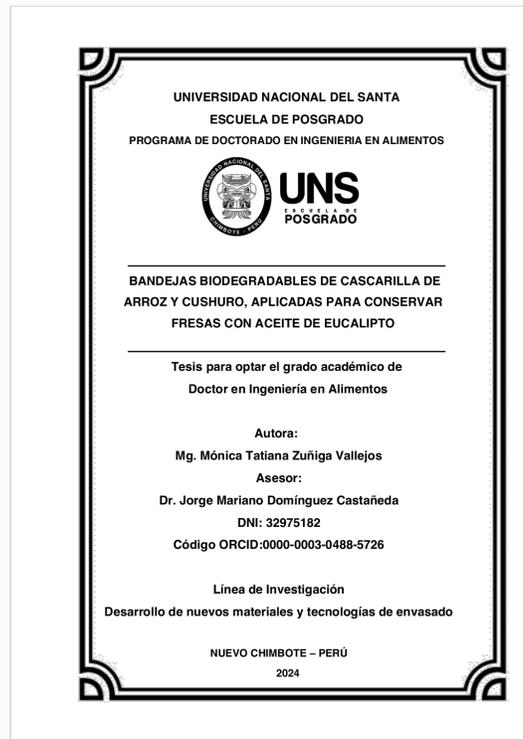


## Recibo digital

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

La primera página de tus entregas se muestra abajo.

Autor de la entrega: user user  
Título del ejercicio: BANDEJAS BIODEGRADABLES DE CASCARILLA DE ARROZ Y C...  
Título de la entrega: INFORME MÓNICA ZUÑIGA.docx  
Nombre del archivo: INFORME\_MÓNICA\_ZUÑIGA.docx  
Tamaño del archivo: 8M  
Total páginas: 121  
Total de palabras: 25,801  
Total de caracteres: 141,288  
Fecha de entrega: 24-jul.-2024 07:39a. m. (UTC-0500)  
Identificador de la entrega... 2421775884



# INFORME MÓNICA ZUÑIGA.docx

## INFORME DE ORIGINALIDAD

17%

INDICE DE SIMILITUD

16%

FUENTES DE INTERNET

5%

PUBLICACIONES

5%

TRABAJOS DEL  
ESTUDIANTE

## FUENTES PRIMARIAS

1	<a href="http://repositorio.uns.edu.pe">repositorio.uns.edu.pe</a> Fuente de Internet	3%
2	<a href="http://dspace.unitru.edu.pe">dspace.unitru.edu.pe</a> Fuente de Internet	2%
3	<a href="http://hdl.handle.net">hdl.handle.net</a> Fuente de Internet	1%
4	<a href="http://es.scribd.com">es.scribd.com</a> Fuente de Internet	1%
5	<a href="http://dspace.esPOCH.edu.ec">dspace.esPOCH.edu.ec</a> Fuente de Internet	<1%
6	<a href="http://repositorio.unas.edu.pe">repositorio.unas.edu.pe</a> Fuente de Internet	<1%
7	Submitted to Universidad Nacional de San Cristóbal de Huamanga Trabajo del estudiante	<1%
8	<a href="http://sedici.unlp.edu.ar">sedici.unlp.edu.ar</a> Fuente de Internet	<1%
9	<a href="http://revistas.unsm.edu.pe">revistas.unsm.edu.pe</a> Fuente de Internet	<1%

## **AGRADECIMIENTO**

Mi profundo agradecimiento y gratitud al Dr. Jorge Domínguez Castañeda por su apoyo incondicional, sus pertinentes sugerencias durante todo el proceso de desarrollo de mi tesis y sobre todo por su especial y valiosa amistad.

## DEDICATORIA

Virgen, de la Medalla Milagrosa, te agradezco por conducirme día a día por el camino que conlleva a la excelencia.

A mis padres: Lucero y Luis; hermanas: Magaly y Milagros por su confianza, motivación y apoyo en todas las decisiones que he tomado hasta el día de hoy.

A mi esposo: Danny e hijos: Gabriel y Rafael por su paciencia, comprensión y tiempo brindado para llevar adelante un proyecto que se convirtió en una meta profesional.

A cada una de las personas que formaron parte de la ejecución de la tesis:  
Dra. Elza Aguirre Vargas, a los ingenieros de la facultad de Ingeniería Agroindustrial de la UNS: Fátima, Janeth, Darwin, William, Jhon y Lenin.

MÓNICA TATIANA

## ÍNDICE GENERAL

CERTIFICACIÓN DEL ASESOR.....	ii
AVAL DEL JURADO.....	iii
AGRADECIMIENTO.....	iv
DEDICATORIA.....	v
I. INTRODUCCIÓN.....	1
II. MARCO TEÓRICO	
2.1. Antecedentes .....	6
2.2. Marco Conceptual	
2.2.1. Almidón.....	9
2.2.2. Cascarilla de arroz .....	11
2.2.3. Cushuro.....	11
2.2.4. Espectroscopía Infrarrojo por Transformada de Fourier..... (FTIR)	13
2.2.5. Difracción de Rayos X (DRX).....	14
2.2.6. Microscopía Electrónica de Barrido (SEM) .....	15
2.2.7. Aceites esenciales.....	15
2.2.8. Fresa.....	19
III. MATERIALES Y MÉTODOS	
3.1. Variables e indicadores de la investigación.....	21
3.2. Métodos de la investigación.....	24
3.3. Diseño de la investigación.....	24
3.4. Población y muestra.....	27
3.5. Actividades del proceso investigativo.....	28
3.5.1. Obtención del almidón de maíz.....	30
3.5.2. Obtención de la cascarilla de arroz en polvo.....	32
3.5.3. Obtención del cushuro en polvo.....	33
3.5.4. Elaboración de las bandejas biodegradables.....	35
3.5.5. Vida útil de la fresa almacenada en bandejas biodegradables.....	38
3.5.5.1. Extracción del aceite esencial de eucalipto.....	38
3.5.5.2. Almacenamiento de la fresa.....	39
3.6. Técnicas, instrumentos y procedimiento de recolección de datos.....	42

3.6.1. Métodos de análisis para las bandejas biodegradables	42
3.6.2. Métodos de análisis para la determinación de la vida útil de fresas rociadas con aceite esencial de eucalipto envasadas en bandejas biodegradables	45
3.6.3. Equipos	46
3.7. Técnicas de procesamiento y análisis de los datos	47
<b>IV. RESULTADOS Y DISCUSIÓN</b>	
4.1. Rendimiento de la extracción del almidón de maíz broza	47
4.2. Caracterización fisicoquímica del almidón de maíz broza	48
4.2.1. Cuantificación de amilosa y amilopectina en el almidón de maíz	48
4.2.2. Espectroscopía Infrarrojo por Transformada de Fourier (FTIR) del almidón de maíz	48
4.3. Rendimiento de la cascarilla de arroz en polvo	50
4.3.1. Análisis químico proximal de la cascarilla de arroz	50
4.3.2. Espectroscopía Infrarrojo por Transformada de Fourier (FTIR) de la cascarilla de arroz	51
4.4. Cushuro ( <i>Nostoc sphaericum</i> )	52
4.4.1. Apariencia y diámetro del cushuro fresco	52
4.4.2. Rendimiento de la obtención del cushuro seco en polvo	52
4.4.3. Análisis químico proximal del cushuro seco en polvo	52
4.4.4. Color del cushuro seco en polvo	54
4.4.5. Espectroscopía Infrarrojo por Transformada de Fourier (FTIR) del <i>cushuro</i>	54
4.5. Propiedades Físicas de las bandejas biodegradables	56
4.5.1. Apariencia y Color	56
4.5.2. Espesor y densidad	62
4.5.3. Humedad y Capacidad de Absorción de Agua (CAA)	66
4.6. Propiedades mecánicas de las bandejas biodegradables	69
4.7. Formulación óptima para elaborar bandejas biodegradables	73
4.8. Comparación de las propiedades físicas y mecánicas de las bandejas control, óptimo y comerciales	73

4.9. Propiedades estructurales de la bandeja biodegradable con formulación óptima	77
4.9.1. Espectroscopia Infrarrojo por Transformada de Fourier (FTIR) de la bandeja biodegradable con formulación óptima	77
4.9.2. Difracción de Rayos X de la bandeja biodegradable con formulación óptima	78
4.9.3. Microscopía Electrónica de Barrido (SEM) de la bandeja biodegradable con formulación óptima	80
4.10. Vida útil de fresas almacenadas en bandejas biodegradables con formulación óptima	82
4.10.1. Revestimiento de las bandejas biodegradables con cera de abeja	82
4.10.2. Composición química del aceite esencial de eucalipto	83
4.10.3. Caracterización fisicoquímica de la fresa fresca	85
4.10.4. Cambios en los atributos físico-químicos y microbiológicos de la fresa almacenada en bandejas biodegradables con formulación óptima	87
4.10.5. Estimación de la vida útil de la fresa almacenada en bandejas biodegradables con formulación óptima	94
V. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES	95
VI. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS Y VIRTUALES	97
VII. ANEXOS	108

## ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1	Principales componentes de cascarilla de arroz	11
Tabla 2	Composición proximal del cushuro (g/100 g de muestra) en base seca	12
Tabla 3	Aplicación de los aceites esenciales en la industria alimentaria	18
Tabla 4	Operacionalización de variables en la elaboración de bandejas biodegradables	22
Tabla 5	Operacionalización de variables en la determinación de la vida útil de la fresa	23
Tabla 6	Niveles codificados de las variables independientes en la elaboración de bandejas biodegradables	25
Tabla 7	Composición del diseño experimental de los 11 tratamientos para la elaboración de las bandejas biodegradables expresados en %	26
Tabla 8	Composición del diseño experimental de los 11 tratamientos para la elaboración de las bandejas biodegradables expresados en g	27
Tabla 9	Datos obtenidos y comparados con la literatura para la cuantificación de la amilosa y amilopectina	48
Tabla 10	Datos obtenidos y comparados con la literatura en la caracterización de los componentes de la cascarilla de arroz en polvo	50
Tabla 11	Datos obtenidos y comparados con la literatura de la composición química del cushuro en base seca	53
Tabla 12	Análisis de varianza para la L* de los 11 tratamientos de las bandejas biodegradables	58
Tabla 13	Análisis de varianza para la coordenada cromática a* de los 11 tratamientos de las bandejas biodegradables	59

Tabla 14	Análisis de varianza para la coordenada cromática b* de los 11 tratamientos de las bandejas biodegradables	61
Tabla 15	Análisis de varianza para el análisis del espesor de los 11 tratamientos de las bandejas biodegradables	62
Tabla 16	Análisis de varianza para el análisis de la densidad de los 11 tratamientos de las bandejas biodegradables	64
Tabla 17	Análisis de varianza para el análisis de la humedad de los 11 tratamientos de las bandejas biodegradables	66
Tabla 18	Análisis de varianza para el análisis de la CAA de los 11 tratamientos de las bandejas biodegradables	68
Tabla 19	Análisis de varianza para el análisis de la dureza de los 11 tratamientos de las bandejas biodegradables	70
Tabla 20	Análisis de varianza para el análisis de la fracturabilidad de los 11 tratamientos de las bandejas biodegradables	72
Tabla 21	Parámetros de color de bandejas control, óptimo y comercial (1)	74
Tabla 22	Espesor, densidad, CAA, dureza y fracturabilidad de las bandejas control, óptimo y comerciales (1,2)	76
Tabla 23	Fases del difractograma de la bandeja biodegradable con formulación óptima	78
Tabla 24	Composición química del aceite esencial de <i>Eucalyptus globulus</i> identificados por cromatografía de gases y espectrometría de masas	84
Tabla 25	Caracterización fisicoquímica de la fresa en el día cero	86
Tabla 26	Valores de L*, a*, b* y $\Delta E$ en el control y las FRAE almacenadas a 8 °C durante 9 días	88

## ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1	Patrones de difracción de almidones tipo A, B y C	10
Figura 2	Principales bandas de absorción originadas por los compuestos mayoritarios en alimentos	14
Figura 3	Carta de formas de la fresa	19
Figura 4	Diagrama de bloques del diseño de la investigación	29
Figura 5	Diagrama de flujo de la obtención del almidón de maíz	30
Figura 6	Diagrama de flujo de la obtención de cascarilla de arroz en polvo	32
Figura 7	Diagrama de flujo de la obtención del cushuro en polvo	35
Figura 8	Diagrama de flujo de la elaboración de las bandejas biodegradables	36
Figura 9	Diagrama de flujo de la extracción del aceite esencial de eucalipto	38
Figura 10	Diagrama de flujo del almacenamiento de la fresa	40
Figura 11	Espectro infrarrojo del almidón de maíz	49
Figura 12	Espectro infrarrojo de la cascarilla de arroz	51
Figura 13	Diámetros del cushuro	52
Figura 14	Espectro infrarrojo del cushuro seco en polvo	55
Figura 15	Apariencia y color de los 11 tratamientos de las bandejas biodegradables	57
Figura 16	Superficie – Respuesta para la $L^*$ de los 11 tratamientos de las bandejas biodegradables	58
Figura 17	Superficie – Respuesta para la coordenada cromática $a^*$ de los 11 tratamientos de las bandejas biodegradables	60
Figura 18	Superficie – Respuesta para la coordenada cromática $b^*$ de los 11 tratamientos de las bandejas biodegradables	61
Figura 19	Superficie – Respuesta para el espesor de los 11 tratamientos de las bandejas biodegradables	63
Figura 20	Superficie – Respuesta para la densidad de los 11 tratamientos de las bandejas biodegradables	65

Figura 21	Superficie – Respuesta para la humedad de los 11 tratamientos de las bandejas biodegradables	67
Figura 22	Superficie – Respuesta para la CAA de los 11 tratamientos de las bandejas biodegradables	69
Figura 23	Superficie – Respuesta para la dureza de los 11 tratamientos de las bandejas biodegradables	71
Figura 24	Superficie – Respuesta para la fracturabilidad de los 11 tratamientos de las bandejas biodegradables	72
Figura 25	Diagrama del color CIElab del control, óptimo y comercial (1)	75
Figura 26	Espectro infrarrojo de la bandeja biodegradable con formulación óptima	78
Figura 27	Difractograma de la bandeja biodegradable con formulación óptima	79
Figura 28	Micrografías SEM de la bandeja biodegradable con formulación óptima	81
Figura 29	Forma típica de las fresas	86
Figura 30	Evolución del color de las fresas durante 9 días de almacenamiento a 8 °C	89
Figura 31	Control de la pérdida de peso (%) del control y FRAE durante 9 días de almacenamiento a 8 °C	90
Figura 32	Firmeza (N) del control y FRAE durante 9 días de almacenamiento a 8 °C	91
Figura 33	pH del control y FRAE durante 9 días de almacenamiento a 8 °C	93
Figura 34	Recuento de mohos del control y FRAE durante 9 días de almacenamiento a 8 °C	94

## ÍNDICE DE ANEXOS

Anexo 1	Matriz de consistencia del proceso de investigación	109
Anexo 2	Acondicionamiento del almidón de maíz	110
Anexo 3	Acondicionamiento de la cascarilla de arroz	111
Anexo 4	Acondicionamiento del cushuro	112
Anexo 5	Elaboración de bandejas biodegradables	113
Anexo 6	Vistas de la bandeja biodegradable	114
Anexo 7	Parámetros de color de bandejas biodegradables de cascarilla de arroz y cushuro	115
Anexo 8	Espesor, densidad, humedad, CAA y propiedades mecánicas de las bandejas biodegradables de cascarilla de arroz y cushuro	116
Anexo 9	Obtención del aceite esencial de eucalipto	117
Anexo 10	Vida útil de fresas rociadas con aceite esencial de eucalipto envasadas en bandejas biodegradable	118
Anexo 11	Métodos de análisis aplicados en la investigación	119

## RESUMEN

La sustitución del poliestireno por residuos orgánicos y recursos naturales ricos en polisacáridos y proteínas, como la cascarilla de arroz y cushuro (*Nostoc sphaericum*) direccionan al desarrollo de envases. El objetivo del estudio fue establecer las concentraciones óptimas de cascarilla de arroz y cushuro que permitan mejorar las propiedades físicas, mecánicas y estructurales de las bandejas biodegradables, a partir de once formulaciones, y dar uso con aplicación de aceite de eucalipto para conservar fresa. El termoprensado se realizó con temperaturas de 149°C y 159 °C de la base y parte superior del molde por 3 minutos. La formulación óptima fue la bandeja con 18.6 g (15.5%) de cascarilla de arroz y 5.38 g (4.5%) de cushuro. El espesor, densidad y capacidad de absorción de agua de las bandejas fueron  $2.784 \pm 0.00$  mm,  $0.315 \pm 0.003$  g/cm<sup>3</sup> y  $86.01 \pm 11.3$  %, respectivamente, dureza  $2.267 \pm 3.737$  N y fracturabilidad  $2.692 \pm 0.102$  mm. Los análisis de Microscopía Electrónica de Barrido (SEM), Difracción de rayos X (DRX) y el FTIR, mostraron distribución homogénea de los materiales, con zonas cristalinas y amorfas, así como una superficie compacta y porosa de las bandejas. Las bandejas biodegradables y el aceite de eucalipto aplicado prolongaron en 3 días la vida útil de las fresas almacenadas a 8°C y HR = 85%.

**Palabras clave:** cascarilla arroz, almidón maíz, cushuro, bandejas biodegradables.

## ABSTRACT

The substitution of polystyrene by organic residues and natural resources rich in polysaccharides and proteins, such as rice husks and cushuro (*Nostoc sphaericum*), leads to the development of packaging. The objective of the study was to establish the optimum concentrations of rice husk and cushuro that allow improving the physical, mechanical and structural properties of biodegradable trays, from eleven formulations, and to use them with the application of eucalyptus oil to preserve strawberries. The thermo-pressing was carried out with temperatures of 149°C and 159°C of the base and top of the mold for 3 minutes. The optimum formulation was the tray with 18.6 g (15.5%) of rice husk and 5.38 g (4.5%) of cushuro. The thickness, density and water absorption capacity of the trays were 2.784 ±0.00 mm, 0.315 ±0.003 g/cm<sup>3</sup> and 86.01 ±11.3 %, respectively, hardness 2.267±3.737 N and fracturability 2.692±0.102 mm. Scanning Electron Microscopy (SEM), X-ray Diffraction (XRD) and FTIR analyses showed homogeneous distribution of the materials, with crystalline and amorphous zones, as well as a compact and porous surface of the trays. The biodegradable trays and the applied eucalyptus oil prolonged the shelf life of strawberries stored at 8°C and RH = 85% by 3 days.

**Key words:** rice husks, corn starch, cushuro, biodegradable trays.

## **I.INTRODUCCIÓN**

Entre los materiales plásticos tenemos al poliestireno expandido (EPS), es espumado de color blanco y tiene como propiedades: ser químicamente estable, aislante térmico, resistencia mecánica, resistente a la humedad y presentar una baja tasa de reciclaje (Tapia-Blácido et al., 2022).

Se utiliza para la fabricación de envases para comida y bebidas: platos, vasos, contenedores de comida preparada y para el expendio de frutas, verduras y embutidos en los supermercados; además, embalajes en electrodomésticos como protección contra impactos. Este plástico es de un solo uso, tiene una vida corta convirtiéndose en un desperdicio en instantes; pero su desintegración demora al menos 500 años, por lo que termina contaminando el agua y suelo por periodos largos de tiempo (Rizal et al., 2020).

A nivel mundial el uso de plásticos va en aumento, pero su adecuada disposición final es limitada, pues en el Perú solo el 56% de residuos plásticos son destinados a un relleno sanitario y el 43.7% terminan en el océano, ríos, lagos, etc. El instituto para la protección del medio ambiente: VIDA, ha recolectado más de 6000 toneladas de basura de los ecosistemas acuáticos continentales y del mar, de las cuales el 50% es plástico y que de este porcentaje el 9.12% se le retribuye al poliestireno expandido (Zarate & Iannacone, 2021).

A fines del 2018, el MINAM promulga la Ley N° 30884 que permite la disminución de plástico de un solo uso e impulsa el consumo responsable del plástico, además, en el artículo 3, se indica que a partir del 2021, se prohíbe “La fabricación para el consumo interno, importación, distribución, entrega y consumo de platos, vasos y otros utensilios y vajillas de base polimérica, para alimentos y bebidas de consumo humano, que no sean reciclables y aquellos cuya degradación generen contaminación por micro plástico o sustancias peligrosas y no aseguren su valorización”; sin embargo, esta normativa no ha representado un cambio significativo sobre su manejo.

La Sociedad Peruana de Derecho Ambiental (SPDA), realiza cada primer fin de semana de marzo la jornada denominada HAZLA por tu playa, la cual consiste en limpiar las playas y ecosistemas acuáticos con la finalidad

de concientizar a la población acerca de la contaminación plástica y empoderar a agentes de cambio; la cantidad recolectada de platos, vasos y contenedores de tecnopor entre los años 2020 y 2023 fue de 15 495 unidades.

Los residuos plásticos, especialmente de tecnopor, generan un problema para la vida marina ya que pueden ser confundido como alimento por las especies marinas, quienes al consumirlos pueden causarle obstrucción física del sistema digestivo, generando que el animal deje de alimentarse debido a la sensación de llenura o causen su muerte (Sánchez et al., 2022).

El incremento de dificultades para eliminar los residuos y sus efectos nocivos para el medio ambiente y salud pública provocados por la no degradabilidad de muchos polímeros sintéticos, aumentan la preocupación en el mundo por encontrar un material alternativo que sea respetuoso con el medio ambiente (Luckachan y Pillai, 2011).

Los polímeros biodegradables son utilizados para muchas aplicaciones industriales con la finalidad de controlar el riesgo causado por el plástico no biodegradable, éstos tienen propiedades físicas, mecánicas, ópticas y de barrera comparables a los materiales de origen sintético (Yuan et al., 2016). Además, en ocasiones se consumen con el producto o pueden ser descompuestos por microorganismos sin producir emisiones ambientales peligrosas, debido a la composición de proteínas, polisacáridos, lípidos, etc que presentan (Sharma et al., 2021) y para mejorar aún más su funcionalidad se complementan con ingredientes bioactivos; es decir, antimicrobianos, antioxidantes, vitaminas, flavonoides, etc. (Lu et al., 2019).

Los envases biodegradables para alimentos fueron el primer producto bioplástico comercializado con éxito, siendo utilizados para envasar frutas y hortalizas, por lo que su funcionalidad se basa en las propiedades mecánicas, como es la resistencia a la tracción la cual depende del tipo de biopolímero (almidón, celulosa, proteína, lípidos, etc), aditivos ( glicerol, estearato, etc.), modificación química y las mezclas (adherencia de los materiales); sin embargo, para seleccionar un envase biodegradable y aplicarlo para conservar un alimento específico, se debe conocer los materiales y las formulaciones que mejor se adecuen y frenen el deterioro del mismo (Van der Oever, 2017).

Para sustituir a los plásticos tradicionales por envases flexibles o rígidos, los polímeros biodegradables deben cumplir una serie de requisitos como: ser ligeros, económicos, reciclables, resistentes y fáciles de procesar. Por ello, en una formulación se debe incluir componentes capaces de formar matrices cohesivas y continuas, como son el caso de las proteínas, lípidos y polisacáridos (Embuscado & Huber, 2009).

Actualmente encontramos empresas como Harvest, CLAF. BGAS™, Pamolsa entre otras, que se dedican a brindar a sus clientes soluciones seguras, eficientes y ecológicas en el envasado de alimentos, haciendo uso de pulpa de bambú, bagazo de caña de azúcar, pulpa de trigo, etc. que son biodegradable y compostable, resistentes al agua y aceite, no tóxicas y con ausencia de olores.

Por otro lado, miles de toneladas de fresas se pudren cada año debido a que son altamente perecederas, pues su tasa de respiración es relativamente alta. Los envases utilizados para contener a las fresas, en los supermercados, suelen ser cajas plásticas o bandejas de poliestireno envueltas en una película plástica, los cuales no le dan ninguna protección frente al daño mecánico que pueden sufrir debido a golpes o movimientos brusco; por otro lado, estos envases no la protegen de la humedad, lo cual acelera su deterioro microbiano especialmente por hongos como el *Botrytis cinérea* y *Rhizopus stolonifer*, que conlleva a pérdidas considerable de esta fruta (Dhital et al., 2018). Saleh & Al-Thani (2019) por su parte manifiestan que las fresas contienen la mayor variedad de hongos de todas las frutas, dicha contaminación se debe a la naturaleza de su piel debido a que contiene bolsas en las que se fijan las esporas de hongos.

En las investigaciones realizadas se plantean el uso de diversas fuentes y formulaciones para elaborar envases biodegradables con resultados aceptables. En este sentido, con esta investigación se busca nuevas alternativas como la cascarilla de arroz y cushuro, con razones de utilización en el presente estudio.

Frente a la alternativa de emplear cascarilla de arroz y cushuro, para elaborar bandejas biodegradables con propiedades físicas, mecánicas y

estructurales que garanticen extender la vida útil de la fresa, no existe la información de trabajos de investigación realizados que precisen las concentraciones óptimas de cada uno de los insumos a emplear y tampoco del tiempo de la vida útil de la fresa, como tal se plantea la siguiente interrogante:

### **Formulación del Problema**

¿Cuáles son las concentraciones óptimas de cascarilla de arroz y cushuro para mejorar las propiedades físicas, mecánicas y estructurales de las bandejas biodegradables que permitan prolongar la vida útil de la fresa, aplicada con aceite de eucalipto?

### **Objetivos de la investigación**

#### **Objetivo General**

- Establecer las concentraciones óptimas de cascarilla de arroz y cushuro que permitan mejorar las propiedades físicas, mecánicas y estructurales de las bandejas biodegradables para prolongar la vida útil de la fresa, aplicada con aceite de eucalipto.

#### **Objetivos Específicos**

- Determinar las propiedades físicas de las bandejas biodegradables elaboradas según concentraciones óptimas de cascarilla de arroz y cushuro.
- Determinar las propiedades mecánicas de las bandejas biodegradables elaboradas según concentraciones óptimas de cascarilla de arroz y cushuro.
- Determinar las propiedades estructurales de las bandejas biodegradables elaboradas según concentraciones óptimas de cascarilla de arroz y cushuro.
- Identificar y cuantificar la composición química del aceite esencial de eucalipto a aplicarse a la fresa durante su almacenamiento en las bandejas biodegradables con concentraciones óptimas.
- Estimar el tiempo de vida útil de la fresa, aplicada con aceite de eucalipto y almacenadas en las bandejas biodegradables elaboradas con concentraciones óptimas.

## Hipótesis de la investigación

Las concentraciones óptimas de cascarilla de arroz y cushuro son 16.67% (20 g) y 3.33% (4 g) respectivamente, las mismas que permitirán mejorar las propiedades físicas, mecánicas y estructurales de las bandejas biodegradables para prolongar la vida útil de la fresa, aplicada con aceite de eucalipto.

## Justificación e importancia

El estudio se justifica por:

**Conveniencia e implicancias económicas:** Aprovechamiento de biopolímeros como carbohidratos, proteínas y aceites esenciales presentes en estructuras vivas en envases biodegradables y ser aplicados para dar mayor conservación a la fresa y evitar pérdidas de fruta y económicas.

**Relevancia social:** Permitirá tener alcance de envases biodegradables y mayor conservación y disponibilidad de la fresa.

**Impacto ambiental:** Por la biodegradabilidad, las bandejas, pueden ser usadas como insumos para la producción de compostaje y metano, a fin de evitar contaminación.

**Beneficiarios:** El desarrollo de esta bandeja biodegradable beneficiaría a todos los que participarían en la cadena productiva, como agricultores, exportadores, comerciantes y consumidores.

**Aplicaciones tecnológicas:** Busca otorgar mayor importancia al alga *Nostoc sphaericum* (cushuro) rica en carbohidratos y proteínas, a los recursos lignocelulósicos que nos provee la cascarilla de arroz; así también, la actividad antimicrobiana del aceite de eucalipto en la conservación de la fresa.

El estudio es importante porque:

Permite establecer las concentraciones óptimas de cascarilla de arroz y cushuro en la bandeja biodegradable, así como dar mayor vida útil a la fresa, al ser tratada con aceite de eucalipto.

## **II. MARCO TEÓRICO**

### **2.1. Antecedentes**

Aguilar & Tapia-Blácido (2023), en el Laboratorio de Biopolímeros Agroindustriales del Departamento de Química de la Universidad de Sao Paulo, evaluaron cómo la adición de harina de semilla de aguacate, afecta las propiedades mecánicas y resistencia al agua de las bandejas de espuma a base de almidón de yuca, para ello, prepararon bandejas biodegradables, mediante termoprensado, al respecto, la adición de harinas de semilla de aguacate hasta el 5%, contribuyeron con la mejora de la resistencia al agua; permitiendo que las bandejas sean menos hidrofílicas debido a la presencia de fibras, proteínas y lípidos en las semillas de aguacate, mas no así, a concentraciones más altas (10% y 15% de harinas de semillas de aguacate), donde observaron que las propiedades mecánicas se vieron afectadas, debido a que los gránulos de almidón no se gelatinizaron de manera eficiente provocando así, bandejas con estructura irregular y más densas, las mismas que cumplen con las propiedades y pueden ser utilizadas como recipientes de alimentos con humedad intermedia. En tanto, Aguirre et al. (2023), demostraron mediante el termoprensado, en los laboratorios del Instituto de Investigación Tecnológica Agroindustrial (IITA) de la Universidad Nacional del Santa, de Chimbote, Perú, la viabilidad de fabricar bandejas biodegradables a partir de almidón de yuca y residuos de panca de maíz, donde las propiedades físicas y mecánicas de las bandejas se vieron influenciadas por las diferentes proporciones de almidón de yuca y panca de maíz; además mediante análisis del FTIR, SEM, DXR confirmaron que las bandejas formuladas con 85% de almidón de yuca y 15% de harina de cáscara de maíz, exhibieron atributos físicos y químicos prometedores, asimismo, confirman que a mayor incorporación de harina de hoja de maíz, el brillo disminuyó y se pronunció un tono amarillo rojizo en la superficie de la bandeja. Similarmente, Arévalo (2023), con la finalidad de aprovechar los residuos de semillas y cascaras del procesamiento de mango, determinó como formulación óptima para elaborar bandejas biodegradables, con 70 % de almidón de semilla de mango y 30% de harina de cáscara de mango, asimismo, observó que al aumentar la concentración de harina de cáscara de mango, las bandejas mejoraron las propiedades físicas y mecánicas. A estas investigaciones, se

suman, Matos & Díaz (2022), que elaboraron y caracterizaron bandejas biodegradables a base de almidón y fibra de semilla de palta y almidón de mango, como resultados mediante análisis de FTIR, confirmaron la presencia de polisacáridos y enlaces aromáticos, por otro lado, corroboraron que, al adicionar fibras, se generó una menor luminosidad, espesor (2.467 - 3.273 cm), humedad (11.59 - 12.20%) y CAA (56.072 - 114.132%) en las bandejas. En otro estudio, Callirgos (2022) evaluó el efecto de la adición de hidroxiapatita obtenida a partir de la cascara de huevo en las propiedades físicas, mecánicas y térmicas de bandejas biodegradables elaboradas a partir de fibra de cascarilla y almidón de arroz, de los resultados reportó que al incorporar hidroxiapatita las bandejas biodegradables mejoraron sus propiedades, por su parte, evidenció también que las mejoras de características mecánicas de las bandejas, se deben a que el almidón presente, se gelatiniza en agua caliente, y la reacción con iones de calcio y fosfato, llegan a producirse tamaño de cristales muy pequeños. Igualmente, Ferreira et al. (2020) experimentaron que la mezcla de bagazo de caña de azúcar y panca de maíz proporcionaron bandejas con mejores propiedades mecánicas: alta rigidez y resistencia a la tracción, debido a la buena dispersión de las fibras en la matriz de almidón, además, la incorporación de todos estos residuos a la matriz del almidón de yuca, disminuyó la higroscopicidad de la bandeja, porque estas fibras contenían lípidos y proteínas; sin embargo, todas las bandejas compuestas resultaron con mayor densidad y propiedades mecánicas inferiores a las bandejas de tecnopor, pero más biodegradables. En otra investigación, Chiarathanakrit et al. (2019) compararon el efecto de la adición del carbonato de calcio comercial (CC) y el proveniente de la macroalga verde *Halimeda macroloba* (MG) en las propiedades de las bandejas biodegradables a base de almidón de yuca, obteniendo bandejas bien formadas con suave superficie, con mayor densidad y mejor resistencia al impacto debido a que las macroalgas contienen polisacáridos que se asemejan estructuralmente al almidón e interactúan más eficazmente con la matriz polimérica; así también, concluyeron que la adición de MG provocó cambios significativos en el color de las bandejas resultantes, así como, un buen material de relleno y eficaz incluso en cantidades muy pequeñas. También en otro estudio, cuyo objetivo fue caracterizar bandejas elaboradas

a partir de almidones de camote, oca y arracacha, Cruz-Tirado et al. (2019), demostraron que con altos contenidos de amilosa en los almidones de camote (42.65%) y oca (31.87%), obtuvieron bandejas con baja densidad; sin embargo, todas las bandejas presentaron una CAA > 50%, mejor resistencia a la tracción, estos autores recomiendan el uso de materiales lignocelulósicos, fibras, almidones modificados químicamente y/o incorporación de aditivos hidrofóbicos para mejorar las propiedades mecánicas y estructurales. Algo similar, Machado et al. (2017), para elaborar bandejas biodegradables mezclaron al almidón de yuca y residuo de sésamo, siendo este último el que provocó una disminución de densidad y CAA en comparación con las bandejas control; así también, porcentajes >20% del residuo de sésamo mejoraron las propiedades mecánicas en comparación con el EPS; estos autores aseguran que las bandejas obtenidas podrían ser una alternativa para envasar alimentos secos y con bajo contenido de humedad, contribuyendo a reducir el uso de envases de tecnopor. De la misma forma, Espina et al. (2016) desarrollaron un trabajo cuyo objetivo, fue evaluar el efecto de la adición de fibras naturales obtenidas de residuos agroindustriales en la densidad, el gramaje y las propiedades mecánicas de las espumas termoprensadas elaboradas con especies nativas camote, oca y arracacha, donde observaron que la alta concentración de bagazo de caña de azúcar (40%) mejoró la resistencia mecánica, resistencia al agua y la densidad de la bandeja de almidón de oca; sin embargo, el uso de peladilla de espárrago provocó un comportamiento inverso, los autores indican que en comparación con la peladilla de espárrago, el bagazo de caña de azúcar se incorporó mejor al almidón de oca, con lo cual concluyen que estas variaciones fueron producto del tipo de almidón, tipo y concentración de la fibra empleada. Finalmente, Cheng et al. (2023), con la finalidad de conservar fresa, elaboraron una película nanofibrosa electrohilada y encapsularon al 1,8 cineol para estudiar la cinética de liberación de éste, el cual evidenciaron un efecto antibacteriano limitado, debido que al cuarto día observaron manchas negras y al sexto día, las fresas resultaron completamente cubiertas por mohos; con pérdida de peso, de firmeza y de los valores  $L^*$  y  $a^*$  y aumento del pH; sin embargo, en las fresas cubiertas con la película nanofibrosa permitió que la vida útil de las fresas se prolongue hasta 6 días a 25 °C.

## **2.2. Marco Conceptual**

### **2.2.1. Almidón**

Desde el punto de vista químico, el almidón es una mezcla de dos polímeros cuyo monómeros son unidades de glucosa: amilosa (25%) y amilopectina (75%). La relación amilosa/amilopectina depende de la fuente de almidón, lo que puede influir en las propiedades de los envases biodegradables (Tapia-Blácido et al., 2022).

En la naturaleza, la amilosa y la amilopectina se encuentran en forma semicristalina, en entidades llamadas “gránulos”; estos cuerpos son birrefringentes, por lo cual, cuando se irradian con la luz polarizada desarrollan la típica “cruz de malta” (alto orden dentro del gránulo) debido a que dentro se localizan zonas cristalinas que se asocian exclusivamente con el componente amilopectina y zonas amorfas con amilosa (Badui, 2015).

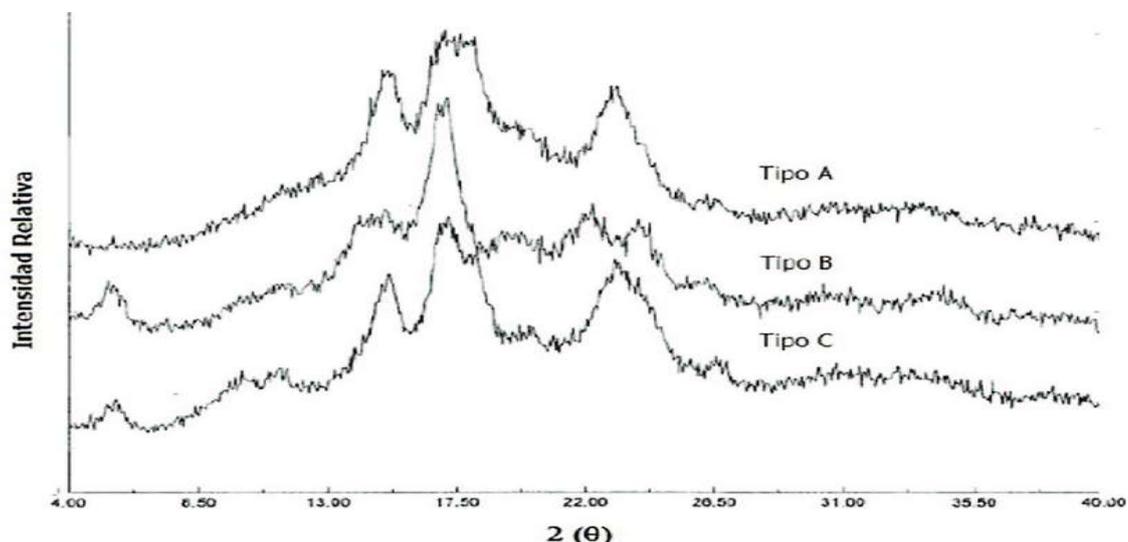
Las ramificaciones de la molécula de amilopectina forman dobles hélices que se pueden ordenar en tres arreglos diferentes, dando lugar a la formación de tres patrones de difracción de rayos X: A, B y C, este último se considera como una combinación de los arreglos tipos A y B (figura 1)

La estructura cristalina del tipo A tiene un arreglo de dobles hélices densamente compactadas en forma monoclinica con un bajo contenido de agua y es típico de la mayoría de los cereales; el polimorfismo tipo B tiene un arreglo menos compacto de tipo hexagonal y una mayor cantidad de agua inter-helicoidal, característico de los tubérculos y almidones ricos en amilosa y para los almidones de legumbres y cereales que crecen en condiciones específicas de temperatura e hidratación, el patrón tipo C (Maldonado-Astudillo et al., 2021).

Los gránulos del almidón son insolubles en agua debido a que su estructura está altamente organizada y a que presentan una gran estabilidad por las múltiples interacciones que existen entre la amilosa y la amilopectina. Sin embargo, cuando se calientan se absorbe el líquido en la zona amorfa, que es la menos organizada y las más accesible, ya que los puentes de hidrógeno no son tan numerosos ni rígidos como en la zona cristalina de la amilopectina (Badui, 2015).

**Figura 1**

***Patrones de difracción de almidones tipo A, B y C***



El incremento de la temperatura origina que el gránulo retenga más agua y por lo tanto, se hinche y aumenta su volumen, luego ocurre la disociación de la doble hélice de las moléculas de la amilopectina, la fusión de las zonas cristalinas y la salida de moléculas de amilosa ocasiona un aumento de la viscosidad, si se continúa incrementando la temperatura el gránulo hinchado, incapacitado para retener el líquido, se rompe permitiendo la salida de más amilosa, el resultado es una matriz continua de amilosa altamente hidratada, donde se encuentran insertos los gránulos de almidón gelatinizados, que contienen principalmente amilopectina. Esta pérdida del orden molecular (colapso molecular) que se manifiesta dentro del gránulo del almidón se le denomina gelatinización (Quintero et al., 2012).

El colapso del orden cristalino dentro de los gránulos de almidón se manifiesta como cambios estructurales irreversibles en sus propiedades como: absorción de agua, hinchamiento de los gránulos, fusión de la parte cristalina, pérdida de la birrefringencia óptica, la pérdida del orden cristalino, el desenrollamiento y la disociación de las dobles hélices y la solubilidad del almidón (Singh et al., 2003; Badui, 2015)

El incremento de las propiedades mecánicas como la resistencia a la tensión, resistencia a la flexión, deformación y rigidez de los productos obtenidos a partir de almidón pueden deberse a la modificación física del almidón mediante la gelatinización; adicionalmente, ésta permite la formación

de redes con fuertes uniones intermoleculares, reduce la tendencia a la retrogradación y presenta una menor velocidad de absorción de agua (Cajiao et al., 2016).

### 2.2.2 Cascarilla de arroz

Es un subproducto generado del proceso de molienda del grano de arroz, obteniéndose en promedio por cada tonelada de arroz 200 Kg de cascarilla (Mirmohamadsadeghi & Karimi, 2020).

Contiene una combinación de celulosa, hemicelulosa y lignina, junto con cantidades apreciables de sílice y otros componentes menores como proteínas y grasas (Mirmohamadsadeghi & Karimi, 2020). Debido a sus altos contenidos de sílice (18.8 - 22.3%) la cascarilla no es apta para el consumo humano ni animal; por lo tanto, para su eliminación es quemada lo cual ocasiona una mayor contaminación ambiental (El Safty AMK, 2020).

Es una fibra natural que, en los últimos años, está siendo utilizada como un residuo, debido a que se considera como una parte del cultivo de arroz que no cumple con los estándares mínimos de calidad para comercializarse, sin embargo, es posible hacerlo a través de un tratamiento y proceso especial, mezclado con otros insumos, sustituyendo y mejorando materiales para aumentar la calidad de estos (Naveda Rengifo et al., 2019).

La composición química típica de la cascarilla se muestra en la tabla 1, según Mirmohamadsadeghi & Karimi (2020).

**Tabla 1**

***Principales componentes de cascarilla de arroz***

	<b>Celulosa</b>	<b>Hemicelulosa</b>	<b>Lignina</b>
Cascarilla	28.6 – 43.3	22.0 – 29.7	19.2 – 24.4

### 2.2.3 Cushuro (*Nostoc sphaericum*)

Se le conoce con los nombres de: murmunta, llullucha, llayta, etc. Es una cianobacteria de color verde (clorofila), azul (ficocianina), rojo (ficoeritrina) o

marrón; de forma esférica y cilíndrica, con un diámetro que varía de 10 a 25 mm y textura gelatinosa (Corpus-Gomez et al., 2021).

Crece en lagunas, lagos, charcos, ríos y diversos ambientes húmedos altoandinos de los departamentos de: Ancash, Junín, Cajamarca, Huánuco, Cuzco y Puno (Corpus-Gomez et al., 2021).

El cushuro es considerado un alimento de alto valor nutricional debido al aporte de carbohidratos y proteínas (tabla 2).

**Tabla 2**

***Composición proximal del Cushuro (g/100 g de muestra) en base seca***

Componente	Reyes et al. (2017)	Choque-Quispe et al. (2022)
Agua	15.1	10.78
Carbohidratos	46.9	57.30
Proteína	29	24.70
Grasa total	0.5	1.73
Cenizas	8.5	4.78

El trabajo realizado por Choque-Quispe et al. (2022) revela que los grupos funcionales presente en el nostoc atomizado son: carboxilo (-COOH), carbonilo (-CO-) e hidroxilo (-OH), por lo que los polisacáridos del cushuro presentan buena estabilidad para ser usados como hidrocoloides en la fabricación de alimentos; sin embargo, las algas de agua dulce, su aprovechamiento explotación e información científica sobre su comportamiento sobre una matriz polimérica son escasas. Lo que sí se puede hacer es comparar y predecir su comportamiento al de las algas marinas las cuales desarrollan configuración helicoidal reaccionando entre sí para formar una red tridimensional, la cual sería capaz de atrapar las moléculas del solvente y crear una matriz de consistencia sólida.

#### 2.2.4 Espectroscopía Infrarrojo por Transformada de Fourier (FTIR)

Es una técnica que utiliza el modelo matemático (transformada de Fourier) para traducir los datos sin procesar (interferograma) en el espectro infrarrojo por absorción, emisión o fotoconductividad de una muestra sólida, líquida o gaseosa (Mohamed & Mohamed, 2019).

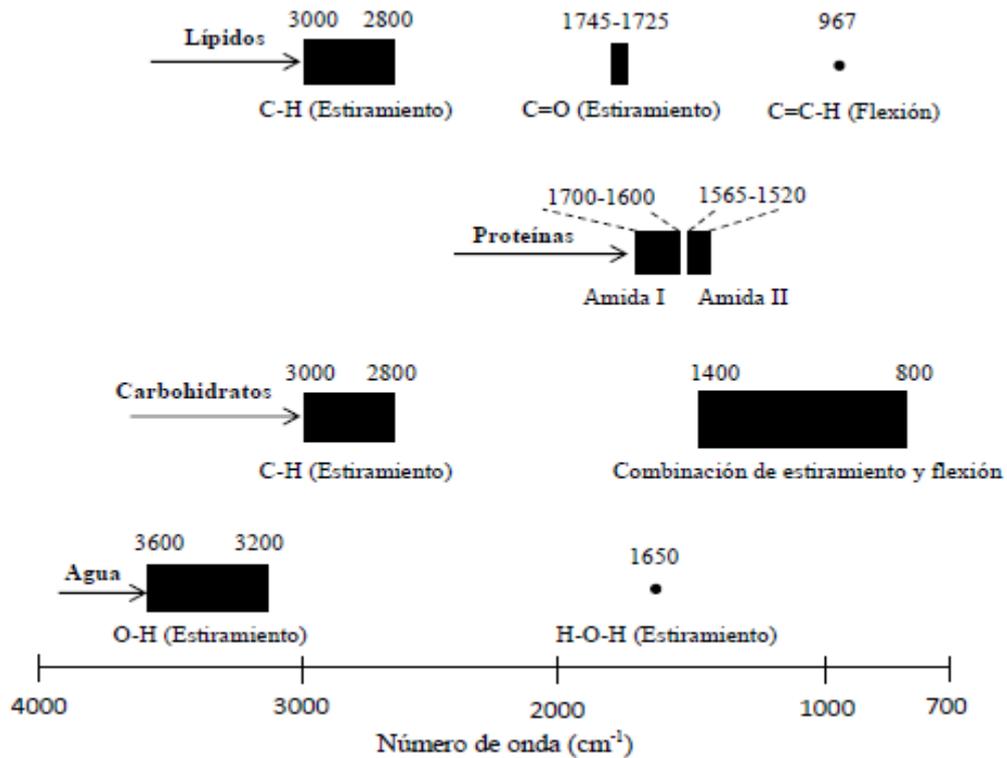
El espectro de infrarrojo es un diagrama compuesto por bandas o picos, en donde en el eje de las abscisas están representados todos los valores del intervalo de longitud de onda del infrarrojo medio, ya sea en número de onda ( $\text{cm}^{-1}$ ) o de longitud de onda (nanómetros), mientras que en el eje de las ordenadas están representados los valores de la intensidad de absorción o transmisión. El espectro representa los estados excitados producidos al hacer un barrido en todo el intervalo de longitudes de onda en el infrarrojo medio y la intensidad del pico es una indicación directa de la naturaleza de los materiales presentes (Mohamed & Mohamed, 2019).

El espectro FTIR consta de picos de absorción que corresponden a las frecuencias de vibración entre los enlaces químicos de los átomos en la muestra a analizar. La región del espectro situada entre  $4000$  y  $1400 \text{ cm}^{-1}$ , es de gran utilidad para la identificación de la mayoría de los grupos funcionales presentes en las moléculas orgánicas, las absorciones que aparecen en esta zona, provienen fundamentalmente de las vibraciones de estiramiento. La zona situada entre  $1400$  y  $600 \text{ cm}^{-1}$ , es por lo general, compleja, debido a que en ella aparecen una combinación de vibraciones de alargamiento, así como de flexión; en esta región cada compuesto tiene una absorción característica por esta razón a esta parte del espectro se denomina como la región de las huellas dactilares (Mondragón, 2017).

En el contexto de la medición y análisis de los alimentos o bebidas, el FTIR proporciona una buena alternativa para la detección de los componentes mayoritarios presentes en los alimentos, tales como agua, carbohidratos, proteínas y lípidos habitualmente medidos para establecer intervalos de control en la elaboración de algún producto, de manera rápida confiable y efectiva (Torres-Rivero et al., 2021).

**Figura 2**

**Principales bandas de absorción originadas por los compuestos mayoritarios en alimentos**



### 2.2.5 Difracción de Rayos X (DRX)

Se utiliza para la caracterización primaria de las propiedades de los materiales como la estructura cristalina, el tamaño de los cristalitas y la deformación. Para ello, se analizan la estructura y los parámetros de la muestra de polvo difractada midiendo el ángulo de difracción cuando un haz de rayos X incide sobre la muestra (Raval et al., 2019).

La interferencia que se produce debido a la dispersión de los rayos X entre sí se observa aplicando la ley de Bragg y un detector convenientemente situado y se determinan las características de la estructura cristalina del material. Bragg puede describirse en términos de reflexión de un haz de rayos X colimado sobre un plano cristalino de la muestra a caracterizar. Un haz de rayos X atraviesa la muestra y es dispersado, o difractado, por los átomos que se encuentran en la trayectoria del haz y cada material cristalino, tiene una estructura atómica única, que hace que el haz de rayos X difractante produzca un patrón característico distinto (Raval et al., 2019).

Para confirmar los resultados obtenidos mediante DRX, pueden compararse con técnicas de microscopía u otras técnicas de caracterización del estado sólido. Sin embargo, la DRX puede llevar mucho tiempo y puede requerir grandes cantidades de muestra (Torres-Rivero et al., 2021).

### **2.2.6 Microscopía Electrónica de Barrido (SEM)**

Es una técnica utilizada para caracterizar la morfología y la composición química de distintas estructuras sólida de una muestra, a través de imágenes ampliadas y escaneadas con un haz concentrado de electrones en lugar de un haz de luz. La acción del haz de electrones estimula la emisión de electrones dispersados de alta y baja energía de la superficie de la muestra, permitiendo la observación y caracterización de todo tipo de materiales sólidos con excelente nitidez y alta resolución de hasta 100 Å, resolución muy superior al microscopio óptico (Sun et al., 2019).

Para el análisis, la muestra se coloca en un soporte y se recubre con oro por pulverización catódica, este recubrimiento permite obtener buenos resultados al proporcionar una capa protectora a las muestras sometidas al alto voltaje del SEM. La muestra se atornilla a una barra intercambiadora y la columna de electrones se conecta al SEM creando un vacío. La posición de la muestra debe estar recta y la columna de electrones se cierra después de insertar la muestra en el soporte de la muestra dentro de la columna de electrones. Las imágenes se capturan después de ajustar distancia de trabajo y el aumento requerido con la ayuda del controlador para su posterior análisis (Torres-Rivero et al., 2021).

La ventaja de SEM sobre otras técnicas es que proporciona mayores aumentos (20 a 10.000 X) junto con un mayor campo de profundidad, lo que ayuda a explorar eficientemente el tamaño de las partículas y la separación de componentes (Sivakumar et al., 2022).

### **2.2.7 Aceites esenciales**

Los aceites esenciales son líquidos volátiles extraídos de varias partes de las plantas aromáticas como cortezas, semillas, flores, cáscaras, frutas, raíces, hojas, madera, plantas enteras y se nombran según la planta de la que se obtienen; a través de diferentes métodos de extracción como

hidrodestilación, destilación con vapor, hidrodifusión y extracción con solvente (Sharma et al., 2021).

Según su composición química se pueden dividir en terpenos e hidrocarburos.

**Terpenos.** - están compuestos por un número diferente de unidades de isopreno. Dependiendo del número de unidades de isopreno, los terpenos se pueden clasificar en hemiterpenos ( $C_5H_8$ ), monoterpenos ( $C_{10}H_{16}$ ), sesquiterpenos ( $C_{15}H_{24}$ ), diterpenos ( $C_{20}H_{32}$ ), etc. (Sharma et al., 2021). Casi el 90% de todos los aceites esenciales están compuestos de monoterpenos, esta composición va a depender de la zona geográfica, la región, la edad de la planta, parte de la planta utilizada (raíces, tallos, hojas, etc) temporada de cosecha, método de secado, las condiciones de almacenamiento y el método de extracción (destilación con vapor o agua, solvente de extracción, extracción con fluidos supercríticos, entre otros) (Salanță & Cropotova, 2022).

**Hidrocarburos.** - según su estructura, los hidrocarburos se clasifican en hidrocarburos alifáticos, alcanos y aromáticos, contienen sólo una pequeña cantidad de compuestos alifáticos con grupos funcionales oxigenados adheridos y responsables del olor del aceite proveniente de los cítricos. Los hidrocarburos aromáticos son responsables del olor agradable debido a la presencia del anillo de benceno en su estructura (Sharma et al., 2021).

Entre los principales aceites esenciales encontramos al de canela, menta, clavo, romero, orégano, tomillo, cilantro, jengibre, albahaca, comino negro, anís, entre otros (Salanță & Cropotova, 2022).

Las frutas y verduras son los tipos de alimentos más comunes donde se aplican los aceites esenciales; así también en pescado, productos cárnicos, leche y productos lácteos, pan y alimentos horneados, etc. (tabla 3).

Los aceites esenciales son ampliamente utilizados en la industria alimentaria debido a su efecto natural antimicrobiano y antioxidante, que ayuda a prolongar la vida útil de los alimentos. (Sharma et al., 2021). Los compuestos bioactivos responsables de estas propiedades son los terpenos, terpenoides y fenoles. La efectividad de los aceites esenciales depende del

tipo de microorganismo, tipo y concentración del aceite, condiciones ambientales y composición química de la matriz alimentaria (Christaki et al., 2021).

La limitación más común con respecto a las aplicaciones de los aceites esenciales en productos alimenticios es su fuerte olor y su intenso sabor astringente, modificando negativamente las características organolépticas de los productos. El efecto organoléptico adverso no solo depende de la concentración del aceite, sino que puede verse afectado por una serie de factores como el tipo y la composición del aceite esencial, el producto alimenticio y la forma de incorporación, ya que cuando se agregan directamente a la matriz del alimento, los compuestos bioactivos de los aceites esenciales y extractos se oxidan fácilmente en presencia de oxígeno, luz, alta temperatura e iones metálicos, mientras que la hidrofobicidad y volatilización de los constituyentes del aceite esencial también pueden limitar su aplicación como conservante (Christaki et al., 2021).

El aceite esencial de eucalipto es incoloro, de sabor y olor característico, altamente inflamable (Rehman et al., 2015). La composición fitoquímica del eucalipto globulus está compuesta por 96,86 % monoterpenos (21,45% hidrocarburos y 75,41% oxigenados) y solo el 3,14% son sesquiterpenos (1,44% hidrocarburos y 1,70% oxigenados), siendo el compuesto mayoritario 1,8 cineol (68,26%) conocido como eucaliptol. Además, la actividad biológica del 1,8 cineol se ha relacionado con los efectos antimicrobianos, en especial de bacterias y hongos, antiinflamatorios y anticancerígenos (Pedrottia et al., 2019).

**Tabla 3**

**Aplicación de los aceites esenciales en la industria alimentaria**

<b>Aceite esencial</b>	<b>Componentes mayoritarios</b>	<b>Aplicación en alimentos</b>	<b>Referencias</b>
<b>Albahaca</b> ( <i>Ocimum basilicum</i> )	Linalool (41.3%), 1,8 cineol (9.6%), isoeugenol (5.9%), 1-epi-cubenol (4.8%)	Fresas Jamón cocido en rodajas Camarón	Salanță & Cropotova, (2022)
<b>Canela</b> ( <i>Cinnamomum zeylanicum</i> )	Aldehído cinámico (50-80%), eugenol (9- 10%), safrol (0- 11%), linalol (10- 15%)	Pepinos Hamburguesa de carne Fresas	Becerril et al. (2020)
<b>Menta</b> ( <i>Mentha spicata</i> )	Carvona (78.76%), limoneno (11.50%) y $\beta$ - bourbonene (11.23%)	Fresas Pan	Srivastava et al. (2024)
<b>Romero</b> ( <i>Rosmarinus officinalis</i> )	1,8 cineol (27.5%), $\alpha$ -pineno (21.2%), alcanfor (12.8%), $\alpha$ -pineno (8.9%) y borneol (3.0%)	Fruta picada Pechuga de pollo Carne de cordero	Salanță & Cropotova, (2022)
<b>Eucalipto</b> ( <i>Eucalyptus globulus</i> )	1,8 cineol (68.26%) $\alpha$ – pineno (16.24%)	Fresas Melocotones Pepinos Salchichas en rodajas Queso Cerdo	Azadbakth et al. (2018) Surbhi et al. (2023)

### 2.2.8 Fresa (*Fragaria vesca*)

La fresa es una baya no climatérica, de color rojo, sabor dulce y de diversas formas, como se aprecia en la figura 3.

Está compuesta por agua (89.1%), proteína (0.7%), grasa (0.8%), carbohidratos totales (8.9%), fibra dietaria (2%), vitaminas; así como polifenoles, flavonoides, antocianinas, pectinas, etc (Lin et al., 2021).

**Figura 3**

**Carta de formas de la fresa**



*Nota.* Adaptado del Departamento de Agricultura de EEUU (González-Araiza et al., 2017)

Debido a que es una fruta desprovista de cáscara, los daños mecánicos e infecciones fúngicas son dos de las principales causas que conllevan al deterioro postcosecha (Lin et al., 2021); así también, la transpiración y respiración activa reducen la calidad y valor comercial lo que acorta la vida útil a 1 o 3 días a temperatura ambiente (Cheng et al., 2023). Por lo tanto, es necesario mantenerla en refrigeración a temperatura entre los 2 y 8 °C y humedades relativas altas (85 – 95%) para evitar la pérdida de agua, reducir la tasa de respiración e inhibir el crecimiento microbiano (Ruiz et al., 2016).

La fresa posee diversos microorganismos como hongos y levaduras, los cuales están presentes en el agua de riego y/o suelo. El hongo *Botrytis cinerea*, es el causante más común del deterioro desde el campo, antes de la cosecha y permanecer latente hasta el almacenamiento (Saleh & Abu-Dieyh

2022). Esta contaminación suele venir acompañada de hongos como *Rhizopus spp* y *Oidium fragariae* (Gil-Giraldo et al., 2019).

El ataque de *Botrytis cinérea* implica la síntesis de celulasa, poligalacturonasa, pectin metilesterasa y glucosidasa, las cuales participan en la degradación de paredes celulares del fruto, este proceso se da de manera natural en la maduración de las fresas (Gil-Giraldo et al., 2019).

### **Parámetros de calidad de la fresa**

El control de los procesos de deterioro o inactivación de procesos fisiológicos pueden mejorar la vida útil de la fresa. Los parámetros a tener en cuenta incluyen:

- **Pérdida de peso**

La alta tasa de respiración de las fresas (50 - 100 ml de CO<sub>2</sub> por Kg /h a 20 °C) produce pérdidas de agua y la consecuente disminución de peso (6% como máximo durante su comercialización) y la pérdida de parámetros de calidad, los cuales implican mayor envejecimiento y disminución del brillo (Gil-Giraldo et al., 2019).

Las mayores migraciones de vapor de agua se producen en la superficie de la fresa y más aún si existen heridas superficiales en el fruto. Los factores que influyen en este proceso son: internos (características morfológicas y anatómicas del fruto, relación superficie/ volumen, grado de madurez) y externos (temperatura, humedad relativa, movimiento del aire y presión atmosférica) (Ruiz et al.,2016; López-Valencia et al.,2018).

- **Color**

El color rojo de la fresa se debe a la presencia de dos antocianinas: pelargonidina-3-glucósido y cianidina-3-glucósido. Las concentraciones de éstas y las condiciones del pH ácido de la fresa son los responsables de las diferencias de la intensidad del color entre las variedades y estados de maduración (López-Valencia et al.,2018).

El color de las fresas recién recolectadas es rojo – rosáceo y brillante; pero durante el almacenamiento se vuelve oscuro; es decir, la pérdida del color rojo y aparición de la coloración marrón se da debido a reacciones de

pardeamiento enzimático y degradación del ácido ascórbico. La intensidad de los cambios en la coloración es debido a la temperatura, pH y tiempo de almacenamiento (Pinzón et al.,2020).

- **Firmeza**

Las fresas son firmes y moderadamente crujientes, pero la pérdida de la firmeza se ve incrementada con la respiración y el grado de madurez de la fresa, debido a la degradación de la celulosa y pectina (componentes de la pared celular), mediante la acción de las enzimas celulasa, pectinmetilesterasa y pectinasa, lo cual ocurre tanto en el campo como durante el almacenamiento (Lopez-Valencia et al., 2018). Los cambios de firmeza son irreversibles; sin embargo, la rápida velocidad de la pérdida de la textura con la que se lleva a cabo en cierta medida puede ser controlada por la refrigeración, ya que esta disminuye la velocidad de los procesos fisiológicos (Pinzón et al.,2020).

- **pH**

Durante el periodo postcosecha de las fresas, el pH es uno de los parámetros que presenta mínimas diferencias (Gil-Giraldo et al., 2019).

### **III. MATERIALES Y MÉTODOS**

#### **3.1. Variables e indicadores de la investigación**

Las tablas 4 y 5 muestran las variables y operacionalización de las etapas de construcción de bandejas biodegradables y la vida útil de la fresa.

**Tabla 4**

**Operacionalización de variables en la elaboración de las bandejas biodegradables**

Variable	Definición conceptual	Definición operacional	Dimensiones	Indicadores	Técnica o instrumento	Unidades
<b>Independientes</b>						
Concentración de cascarilla de arroz (X <sub>1</sub> )	Magnitud que expresa los gramos de soluto por 100 g de solución	Magnitud que expresa los gramos de cascarilla de arroz por cada 100 g de masa a elaborar la bandeja biodegradable	Baja Media Alta	15.50 - 15.85 16.67 17.48 - 17.83	Gravimetría	%
Concentración de cushuro (X <sub>1</sub> )	Magnitud que expresa los gramos de soluto por 100 g de solución	Magnitud que expresa los gramos de cushuro por cada 100 g de masa a elaborar la bandeja biodegradable.	Baja Media Alta	2.16 - 2.52 3.33 4.15 - 4.50	Gravimetría	%
<b>Dependientes</b>						
Propiedades físicas de las bandejas	Es una característica que describe un objeto o sustancia posible de observar y medir sin cambiar la identidad de la sustancia. Ejemplos: color, forma, tamaño, densidad, etc.	Son las características que presentan las bandejas biodegradables, posibles de ser medibles, como el color, espesor, densidad, humedad y la capacidad de adsorción de agua (CAA).	Color  Espesor Densidad Humedad  CAA	Luminosidad y cromaticidad Longitud Masa / volumen Masa de agua / 100 g masa Masa de agua adsorbida / 100 g masa	Colorimetría  Vernier Gravimetría / volumetría Gravimetría / volumetría  Gravimetría / volumetría	L*, a*, b*  mm % %  %
Propiedades mecánicas de las bandejas	Son aquellas propiedades que afectan a la resistencia mecánica y a su capacidad de un cuerpo cuando se les aplica una fuerza.	Son aquellas que describen el comportamiento de las bandejas biodegradables cuando está expuesta a un esfuerzo mecánico de compresión, como la dureza y fracturabilidad.	Dureza Fracturabilidad	Nivel de resistencia a la compresión Grado de reventamiento	Texturometría	N mm
Propiedades estructurales de las bandejas	Son aquellas que permiten obtener la huella dactilar molecular de una materia en su estado sólido.	Son propiedades que presentan las bandejas biodegradables con respecto a la estructura, al absorber radiaciones electromagnéticas con los enlaces químicos y estructurales de las moléculas de lípidos, proteínas carbohidratos y ácidos nucleicos.	Grado de cristalinidad Identificación de sustancias Imagen electrónica superficial	Angulo de difracción Número de onda Morfología superficial	DRX FTIR  SEM	0 – 90° cm <sup>-1</sup>  adimensional

**Tabla 5**

**Operacionalización de variables en la determinación de la vida útil de la fresa**

Variable	Definición conceptual	Definición operacional	Dimensiones	Indicadores	Técnica o instrumento	Unidades
<b>Independiente</b>						
Aplicación del aceite esencial de eucalipto	Es rociar sobre la superficie de un alimento una cantidad de aceite de eucalipto por ser agente natural antimicrobiano	Es rociar sobre la superficie de las fresas una dosis de aceite de eucalipto con fines de prolongar la vida útil.	Sin aplicación Con aplicación	0 0.0012	Gravimetría / volumetría	ml de aceite / g de fresa
<b>Dependiente</b>						
Calidad fisicoquímica	Son los atributos que debe cumplir un alimento destinado a un consumidor y son determinados mediante técnicas analíticas e instrumentales.	Son los atributos de calidad como peso, color, firmeza y pH, que debe cumplir la fresa para ser destinado a un consumidor.	Peso Color Firmeza  pH	Pérdida de peso Luminosidad/cromaticidad Resistencia a la compresión Nivel de acidez	Gravimetría Colorimetría Texturometría  Potenciometría	g L*, a*, b* N  adimensional
Calidad microbiológica	Es la aceptabilidad de un alimento basada en la ausencia o presencia de microorganismos.	Es la aceptabilidad de la fresa basada en la detección y recuento de mohos mediante técnicas analíticas	Contenido de mohos	menor a 1,000	Recuento de mohos	UFC/g fresa

### **3.2. Métodos de la investigación**

Se empleó el método experimental, el cual permitió obtener y registrar datos conforme se fue realizando el experimento, bajo condiciones controladas según las variables planteadas.

Los diferentes experimentos se realizaron en laboratorios especializados, haciendo uso de instrumentos y equipos para cada una de las etapas de la investigación.

Los datos obtenidos, a través de la estadística, se procesaron e interpretaron en base a la correlación de las variables dependientes e independientes para llegar, según los objetivos planteados a las conclusiones. Así mismo, los conocimientos contribuyeron a establecer las condiciones óptimas para la elaboración de bandejas biodegradables, las cuales permitieron conservar a las fresas.

### **3.3. Diseño de la investigación**

La elaboración de las bandejas será conducida a través del Diseño Factorial del tipo Diseño Central Compuesto Rotable (DCCR), bajo el modelo de  $2^k + 2^{k/4} + pc$ , con un total de  $k=2$ , con  $\alpha = 2^{k/4} = +/- 1.4142$  y  $2^2 + 2 \times 2 + 3 = 11$  tratamientos. Las variables independientes y dependientes de estudio se muestran en las tablas 6, 7 y 8.

**Tabla 6*****Niveles codificados de las variables independientes en la elaboración de bandejas biodegradables***

N°	Variables	Niveles					
		Unid.	(-α)	-1	0	1	(+α)
			-1.4142				+1.4142
X <sub>1</sub>	Cascarilla de arroz	(%)	15.50	15.85	16.67	17.48	17.83
X <sub>2</sub>	Cushuro	(%)	2.16	2.52	3.33	4.15	4.5
X <sub>1</sub>	Cascarilla de arroz	(g)	18.6	19.02	20	20.98	21.4
X <sub>2</sub>	Cushuro	(g)	2.6	3.02	4	4.98	5.4

**Tabla 7**

***Composición del diseño experimental de los 11 tratamientos para la elaboración de las bandejas biodegradables expresados en %***

<b>Tratamientos</b>	<b>Niveles codificados</b>		<b>Niveles reales de variables</b>	
	<b>Cascarilla de arroz</b>	<b>Cushuro</b>	<b>Cascarilla de arroz (%)</b>	<b>Cushuro (%)</b>
1	-1	-1	15.85	2.52
2	1	-1	17.48	2.52
3	-1	1	15.85	4.15
4	1	1	17.48	4.15
5	-1.41	0	15.50	3.33
6	1.41	0	17.83	3.33
7	0	-1.41	16.67	2.16
8	0	1.41	16.67	4.50
9	0	0	16.67	3.33
10	0	0	16.67	3.33
11	0	0	16.67	3.33

**Tabla 8**

**Composición del diseño experimental de los 11 tratamientos para la elaboración de las bandejas biodegradables expresados en g**

Tratamientos	Niveles codificados		Niveles reales de variables	
	Cascarilla de arroz	Cushuro	Cascarilla de arroz (g)	Cushuro (g)
1	-1	-1	19.02	3.02
2	1	-1	20.98	3.02
3	-1	1	19.02	4.98
4	1	1	20.98	4.98
5	-1.41	0	18.6	4.00
6	1.41	0	21.4	4.00
7	0	-1.41	20	2.6
8	0	1.41	20	5.4
9	0	0	20	4
10	0	0	20	4
11	0	0	20	4

### 3.4. Población y muestra

**La población en estudio estuvo conformada por:**

- **Cascarilla de arroz**

Procedente de los molinos del departamento de Lambayeque.

- **Cushuro Fresco**

Proveniente de las lagunas de Cushurbamba – Áncash.

- **Eucalipto**

Cultivado en el caserío Sexe Shita del distrito de San Luis de Lucma, provincia de Cutervo, departamento de Cajamarca.

- **Fresa**

Cosechadas de los fundos de provincia de Casma.

**La muestra en estudio estuvo conformada por:**

- **Cascarilla de arroz**

10 Kg de cascarilla de arroz comprada en el Molino: Molinor – Carretera Lambayeque

- **Cushuro**

15 Kg de cushuro fresco adquirido en el mercado La Perla – Chimbote.

- **Eucalipto**

20 Kg de ramas de eucalipto recolectadas de Sexe Shita.

- **Fresa**

10 Kg de fresa adquirida en el mercado Buenos Aires – Nuevo Chimbote.

### **3.5. Actividades del proceso investigativo**

La investigación comprendió tres etapas según el diagrama de bloque mostrado en la figura 4.

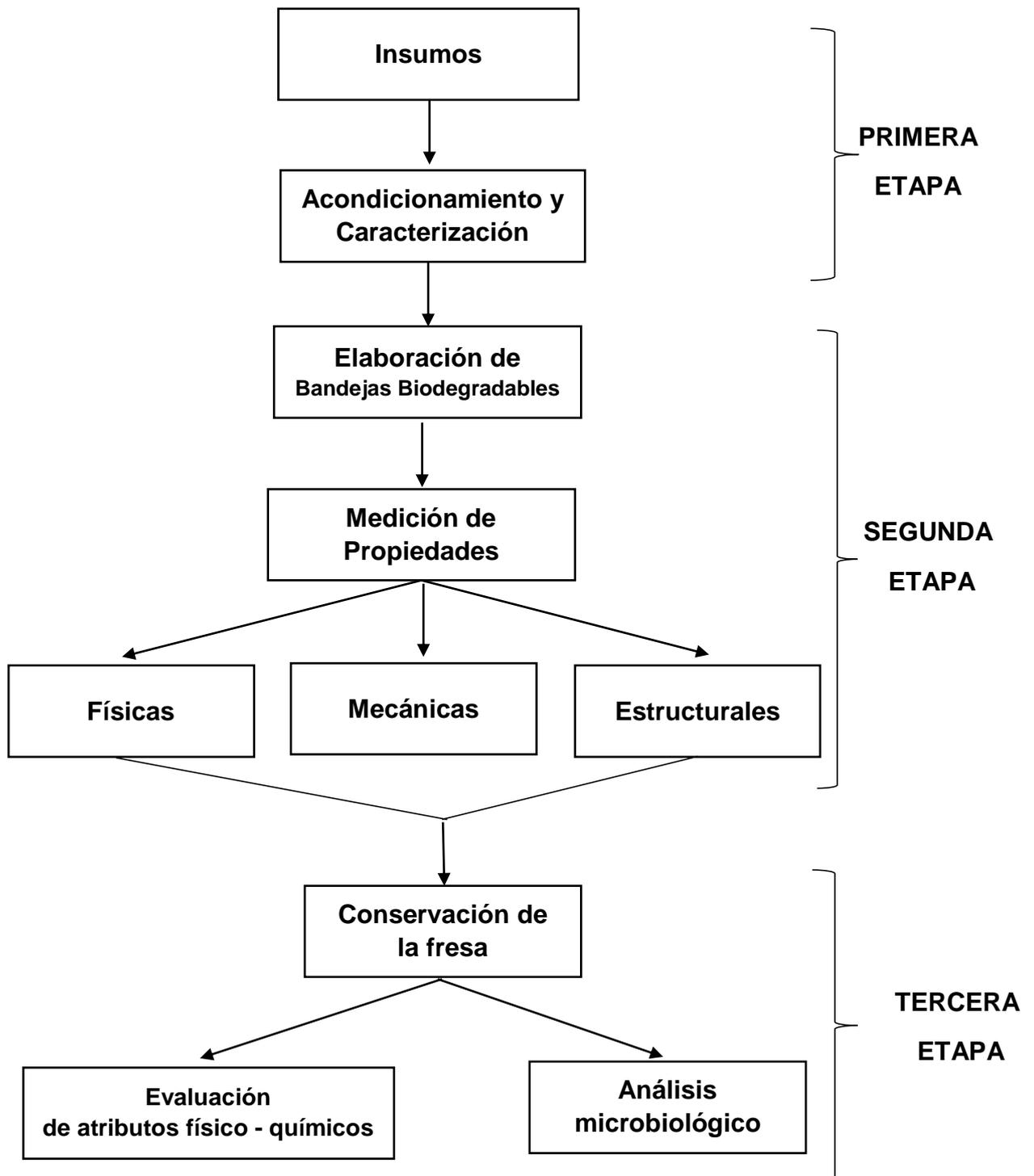
**Primera Etapa: Acondicionamiento y caracterización de los insumos.** - se realizó la obtención del almidón de maíz, cascarilla de arroz y cushuro en polvo. Así mismo, se caracterizaron estos insumos mediante análisis fisicoquímicos.

**Segunda Etapa: Elaboración de las bandejas biodegradables.** - en esta etapa se elaboraron las bandejas biodegradables según la tabla 8. Una vez obtenidas las bandejas, se les realizó la medición de sus propiedades físicas, mecánicas y estructurales, para finalmente determinar la formulación óptima.

**Tercera Etapa: Vida útil de la fresa.** – las fresas fueron rociadas con aceite esencial de eucalipto y almacenadas en sistema de frío a 8 °C / HR= 85%. Mediante la evaluación de los atributos físico-químicos y microbiológicos se determinó la vida útil de las fresas.

**Figura 4**

**Diagrama de bloques del diseño de la investigación**

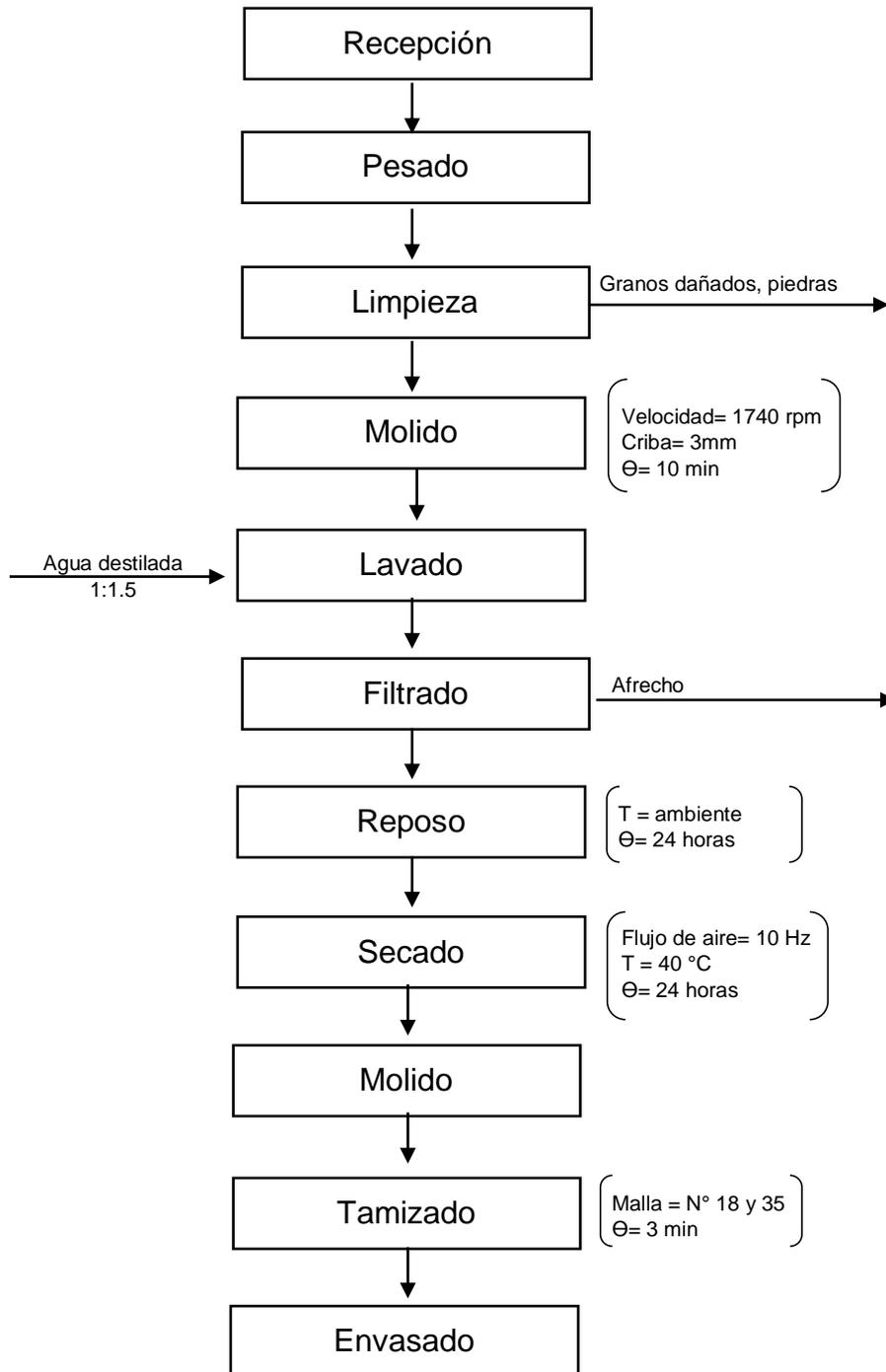


### 3.5.1 Obtención del almidón de maíz

En la figura 5 el diagrama de flujo de la obtención del almidón de maíz.

**Figura 5**

**Diagrama de flujo de la obtención del almidón de maíz**



## **Descripción del diagrama de flujo de la obtención del almidón de maíz**

- **Recepción:**

El maíz se adquirió en Grains del Valle E.I.R.L – Chiclayo y trasladado al Instituto de Investigación Tecnológico Agroindustrial (IITA) de la UNS.

- **Pesado:**

Se pesó el maíz empleando una balanza industrial, para posteriormente obtener el rendimiento de la materia prima.

- **Limpieza:**

Se realizó de manera manual con la finalidad de eliminar granos dañados e impurezas.

- **Molido:**

Una vez limpio el maíz pasó al módulo de molienda y tamizado con criba de 3 mm, el cual trabajó a una velocidad de 1740 rpm por un tiempo de 10 minutos, quedando un polvo fino.

- **Lavado:**

El polvo fino obtenido de la molienda fue lavado con agua destilada, siendo la relación 1:1.5 y frotado con la finalidad de lograr una buena separación del endospermo, germen y pericarpio.

- **Filtrado:**

Se utilizó tela organza con el objetivo de que el filtrado sea solo agua – almidón, evitando el paso del afrecho del maíz, para eso se colocó en un balde grande un colador con la tela organza y la mezcla obtenida en el lavado se iba vertiendo de a pocos.

- **Reposo:**

El líquido filtrado contenido en el balde fue vertido en recipientes de plástico de poca profundidad y dejados en reposo por 24 horas a temperatura ambiente, con el fin de que el almidón sedimente y el agua pueda ser eliminada con facilidad.

- **Secado:**

Una vez separado el almidón completamente del agua se extendió en bandejas de aluminio para ser secado en el secador de bandejas a 40 °C durante 24 horas, con un flujo de aire de 10 Hz.

- **Molido:**

Para esta operación se trabajó de manera manual con la ayuda de un mortero y el pistilo, con la finalidad de moler por completo el almidón ya que al secarse su textura es dura, pero frágil a la vez.

- **Tamizado:**

El almidón obtenido pasó por las mallas N° 18 y 35 por un tiempo aproximado de 3 minutos en cada una.

- **Envasado**

El almidón fue envasado en bolsas herméticas con doble zipp.

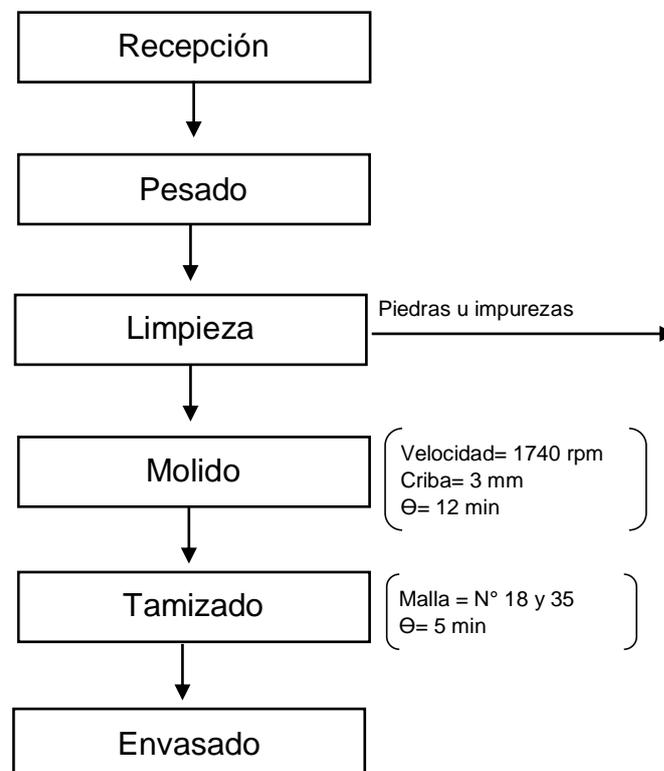
El rendimiento del almidón fue de 39% y 7% de humedad.

### 3.5.2 Obtención de la cascarilla de arroz en polvo

En la figura 6 se muestra el diagrama de flujo de la obtención de cascarilla de arroz en polvo.

**Figura 6**

**Diagrama de flujo de la obtención de cascarilla de arroz en polvo**



### **Descripción del diagrama de flujo de la obtención de la cascarilla de arroz en polvo**

- **Recepción:**

La cascarilla de arroz provenía del molino de arroz: Molinor – carretera Lambayeque y fue trasladada al Instituto de Investigación Tecnológico Agroindustrial (IITA) de la UNS.

- **Pesado:**

La cascarilla de arroz fue pesada en una balanza industrial, para posteriormente obtener el rendimiento de la materia prima.

- **Limpieza:**

Se hizo de manera manual con el objetivo de eliminar piedras u otras impurezas.

- **Molido:**

La cascarilla de arroz pasó a través del módulo de molienda y tamizado con criba de 3 mm, el cual trabajó a una velocidad de 1740 rpm por un tiempo de 12 minutos, quedando un polvo fino.

- **Tamizado:**

El tamizado se realizó en las mallas N° 18 y 35 por un tiempo aproximado de 5 minutos en cada una.

- **Envasado**

La cascarilla de arroz fue envasada en bolsas de polietileno.

El rendimiento del almidón fue de 28% y 9% de humedad.

### **3.5.3 Obtención del cushuro en polvo**

En la figura 7 se muestra el diagrama de flujo de la obtención del cushuro en polvo.

### **Descripción del diagrama de flujo de la obtención del cushuro en polvo**

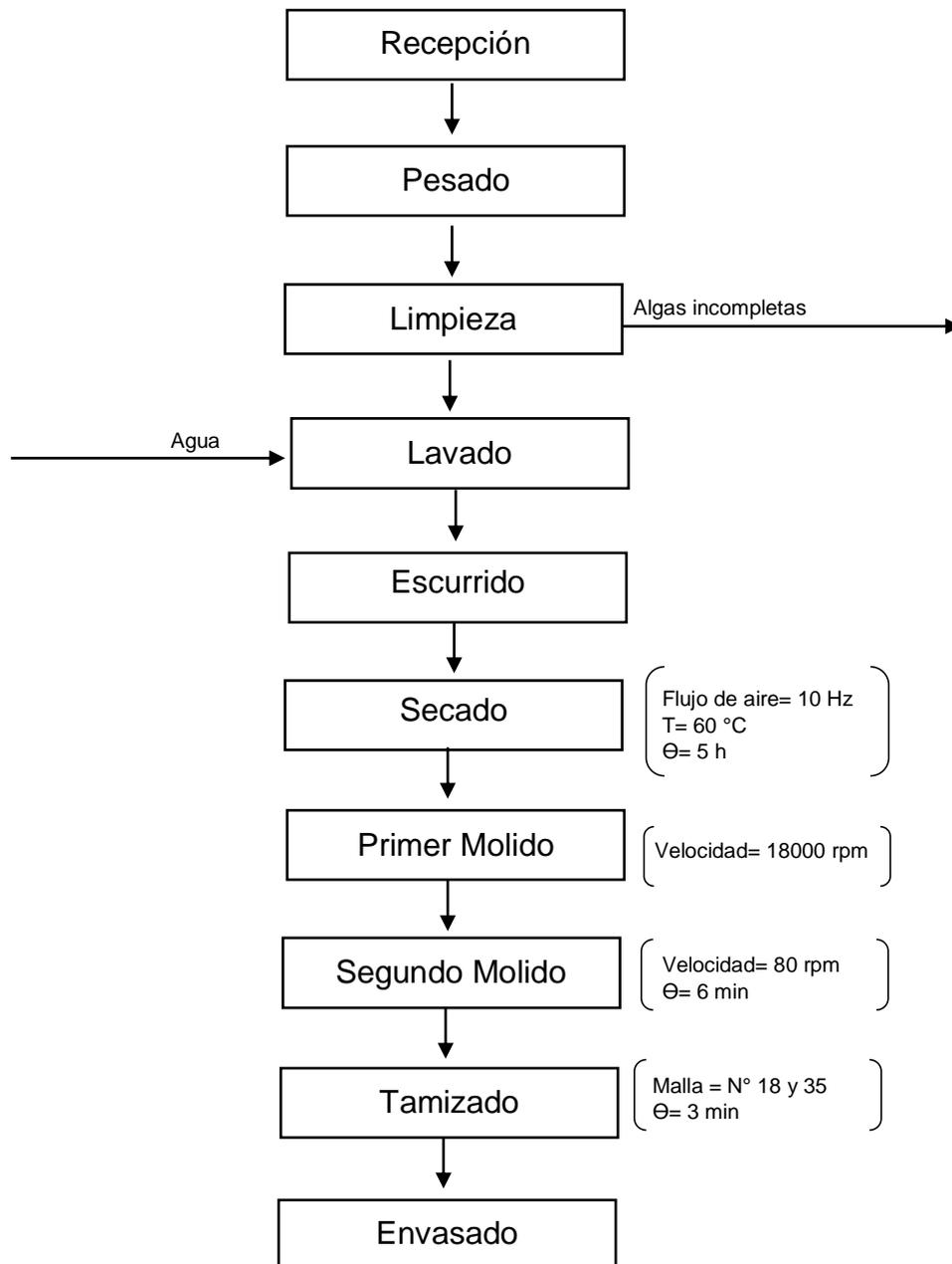
- **Recepción:**

El cushuro fresco proveniente de las lagunas de Cushurbamba – Áncash fue comprado en el mercado La Perla – Chimbote y transportado al Instituto de Investigación Tecnológico Agroindustrial (IITA) de la UNS.

- **Pesado:**  
El cushuro fue pesado para posteriormente obtener el rendimiento de la materia prima.
- **Limpieza:**  
Se llevó a cabo de manera manual y en seco con el objetivo de retirar algas incompletas o presencia de otras sustancias.
- **Lavado:**  
El cushuro fue lavado con abundante agua; con el propósito de eliminar toda suciedad o tierra que pueda llevar adherida.
- **Ecurrido:**  
El cushuro se distribuyó en coladores con la finalidad de eliminar el agua en exceso.
- **Secado:**  
El cushuro se extendió en tela tul sobre las bandejas del secador con la intención de evitar pérdidas cuando esté seco. El secado se realizó a 60 °C durante 5 horas, con un flujo de aire de 10 Hz.
- **Primer Molido:**  
El cushuro seco fue molido en el molino ultra centrifugo a una velocidad de 18 000 rpm.
- **Segundo Molido:**  
Con la finalidad de disminuir más aún el tamaño de la partícula del cushuro, éste pasó por una segunda molienda en el molino pulverizador a una velocidad de 80 rpm durante 6 minutos.
- **Tamizado:**  
El cushuro obtenido pasó por las mallas N° 18 y 35 por un tiempo aproximado de 3 minutos en cada una.
- **Envasado:**  
El cushuro fue envasado en bolsas herméticas con doble zipp.  
El rendimiento del cushuro fue del 1.30% y 12% de humedad.

**Figura 7**

**Diagrama de flujo de la obtención del cushuro en polvo**

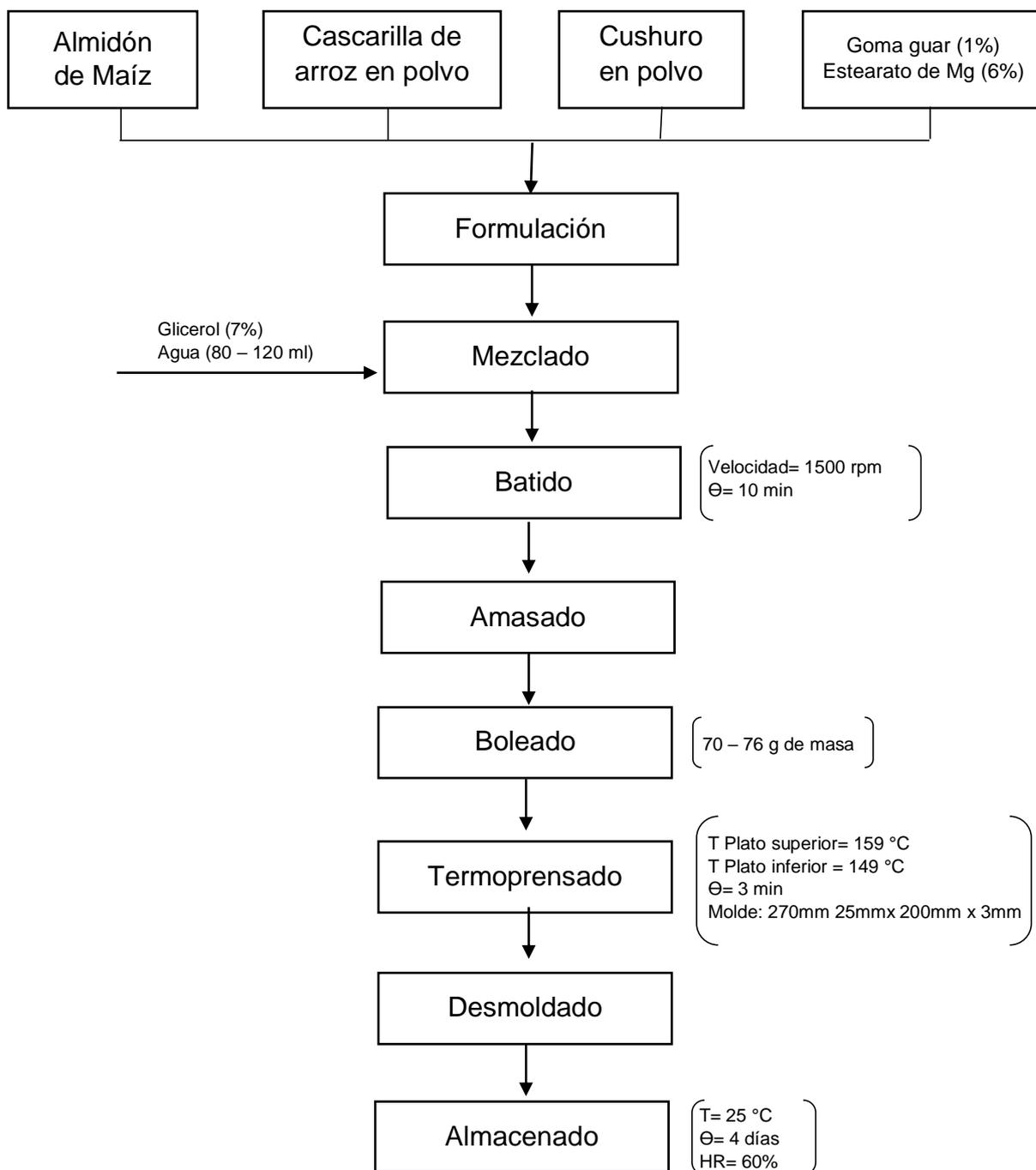


### 3.5.4 Elaboración de las bandejas biodegradables

En la figura 8 se muestra el diagrama de flujo de la elaboración de las bandejas biodegradables.

**Figura 8**

**Diagrama de flujo de la elaboración de las bandejas biodegradables**



## **Descripción del diagrama de flujo de la elaboración de las bandejas biodegradables**

- **Formulación:**

El almidón, cascarilla de arroz, cushuro en polvo e insumos (1 % de goma guar y 6% de estearato de magnesio utilizados como plastificante y agente de liberación, respectivamente) fueron pesados por separado de acuerdo a la cantidad requerida según las formulaciones que se muestran en la tabla 8.

- **Mezclado:**

Una vez pesados los insumos antes descritos fueron mezclados entre sí con una cuchara, agregándosele el 7% de glicerol del peso total de la mezcla (el cual interactúa con las moléculas del almidón) y agua (80 - 120 ml).

- **Batido:**

Con la finalidad de homogenizar todos los insumos se usó una batidora mecánica a 1500 rpm por 10 minutos.

- **Amasado - Boleado:**

La masa resultante se amasó y dividió en cantidades pequeñas de 70 a 76 g para ser boleada.

- **Termoprensado:**

La masa ovalada y aplanada fueron colocadas en la plataforma teflonada de la termoprensa (dimensiones: 270 mm de largo, 200 mm de ancho, 25 mm de profundidad y 3 mm de espesor), siendo la temperatura del plato superior 159 °C y la del plato inferior a 149°C por un tiempo de 3 minutos.

- **Desmoldado:**

Una vez detenida la termoprensa las bandejas fueron desmoldadas con pinzas y guantes apropiados.

- **Almacenado:**

Las bandejas obtenidas se almacenaron en bolsas de polipropileno durante 4 días a temperatura ambiente (25 °C) y humedad relativa de 60 %.

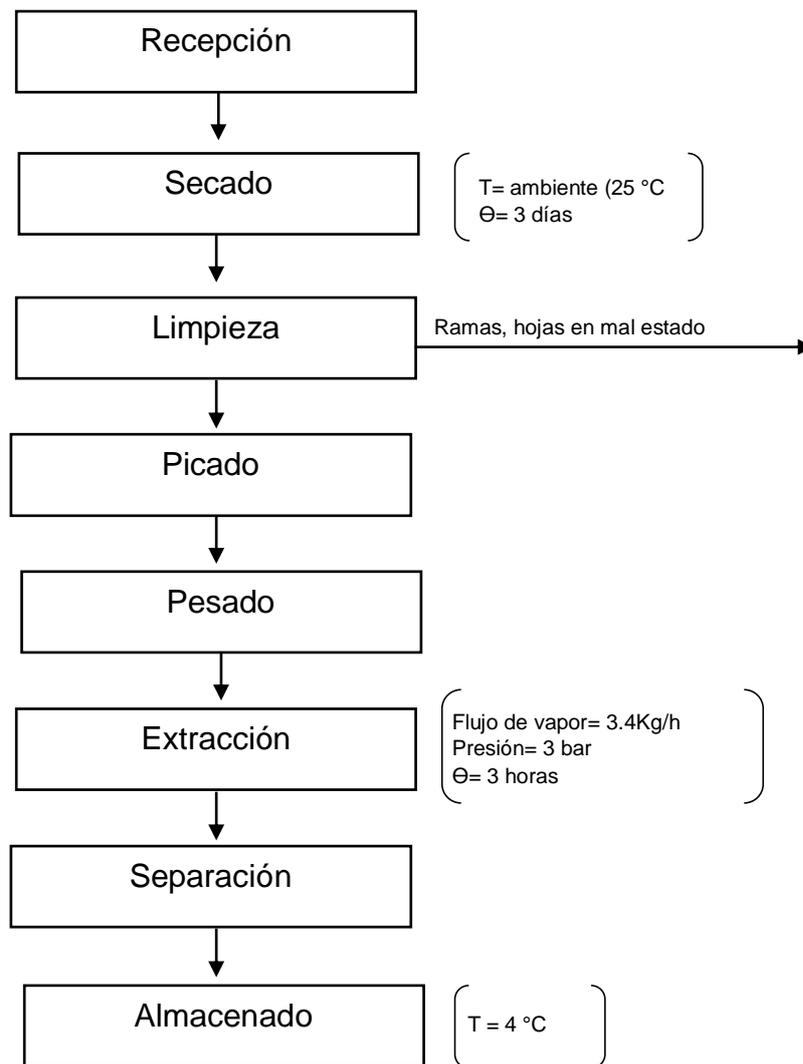
### 3.5.5. Vida útil de la fresa almacenada en bandejas biodegradables

#### 3.5.5.1. Extracción del aceite esencial de eucalipto

La figura 9 muestra el diagrama de flujo de la extracción de aceite esencial de eucalipto.

**Figura 9**

**Diagrama de flujo de la extracción del aceite esencial de eucalipto**



## **Descripción del diagrama de flujo de la extracción del aceite esencial de eucalipto**

- **Recepción:**

Las plantas de eucalipto fueron recolectadas en el caserío de Sexe Shita del distrito de San Luis de Lucma, provincia de Cutervo y trasladadas hasta el área de proceso de extracción.

- **Secado:**

Las plantas de eucalipto fueron secadas a condiciones ambientales bajo luz directa solar, durante 3 días.

- **Limpieza:**

Esta limpieza tuvo como fin eliminar ramas, tallos, hojas en mal estado y sólo aprovechar las hojas secas en buen estado.

- **Picado:**

Se procedió a fraccionar las hojas limpias de eucalipto de manera manual con el propósito de que haya mayor área de contacto al momento de la extracción del aceite.

- **Pesado:**

Las hojas fueron pesadas de acuerdo a la capacidad del destilador.

- **Extracción:**

Las hojas ingresaron al destilador de aceites esenciales, el cual mediante arrastre de vapor a 3,4 kg/h a 3 bar, durante 3 horas se obtuvo la mezcla agua – aceite esencial.

- **Separación:**

A la mezcla agua-aceite esencial obtenida en la etapa anterior, se realizó la separación por diferencia de densidades en un matraz de separación.

- **Almacenado:**

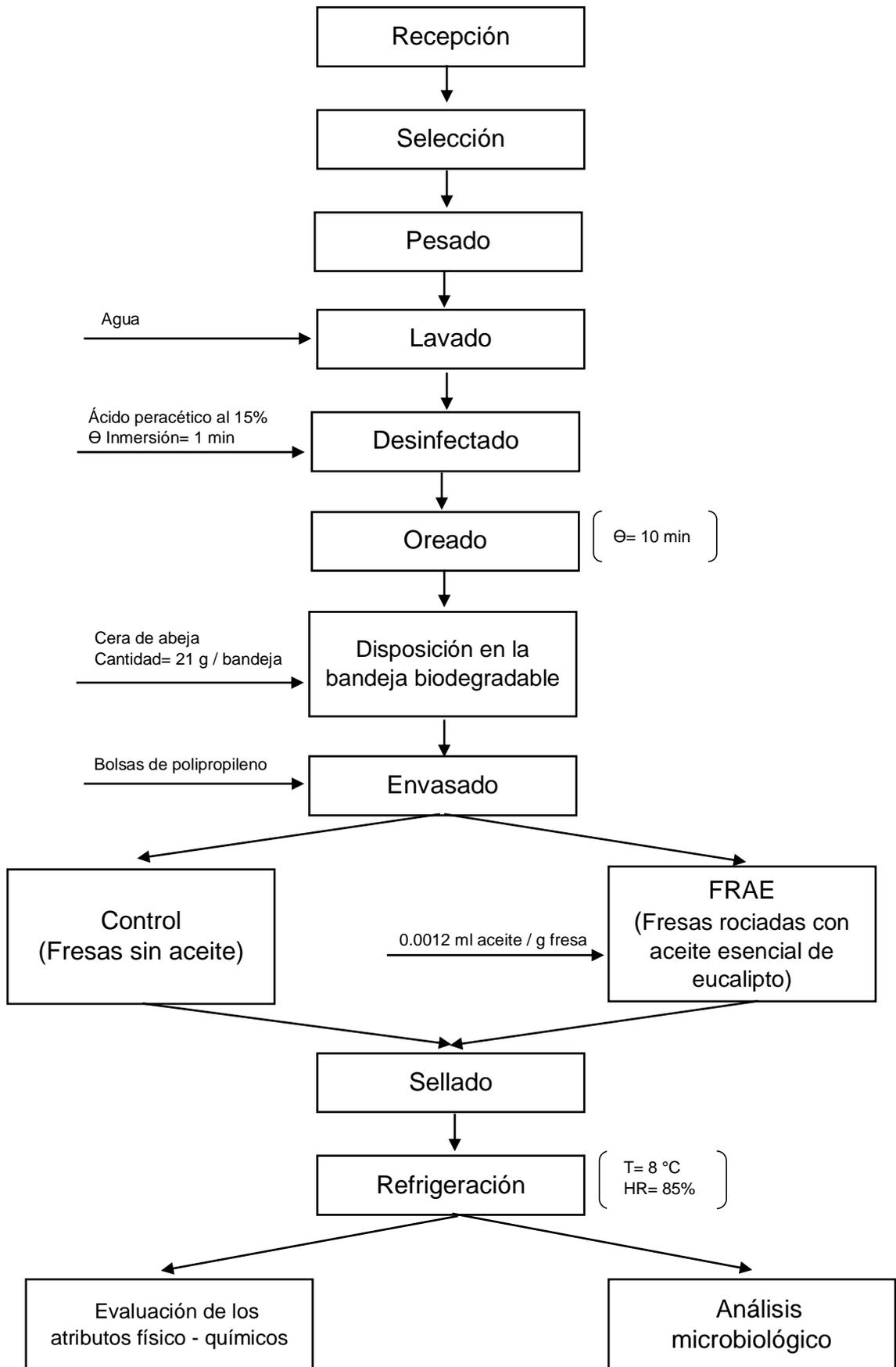
El aceite conseguido fue envasado en un frasco estéril de color ámbar y almacenado a 4 °C hasta su aplicación en la fresa.

### **3.5.5.2. Almacenamiento de la fresa**

La figura 10 muestra el diagrama de flujo del almacenamiento de la fresa

Figura 10

Diagrama de flujo del almacenamiento de la fresa



## **Descripción del diagrama de flujo del almacenamiento de la fresa**

- **Recepción:**

Las fresas provenientes de Casma fueron adquiridas en el mercado “Buenos Aires” – Nuevo Chimbote y transportadas hasta el laboratorio de diseño y desarrollo de nuevos productos en el Instituto de Investigación Tecnológico Agroindustrial (IITA) de la UNS.

- **Selección:**

Las fresas fueron seleccionadas considerando varias características físicas como: color de la superficie, maduración uniforme y ausencia de defectos.

- **Pesado:**

El pesado se hizo con la finalidad de calcular la cantidad que correspondería distribuir en cada bandeja biodegradable.

- **Lavado:**

El lavado de las fresas fue a chorro con la finalidad de eliminar cualquier suciedad presente en ellas.

- **Desinfectado – Oreado:**

La desinfección se realizó con ácido peracético al 15%, para ello se preparó una solución y las fresas fueron sumergidas por 1 minuto, transcurrido este tiempo, a las fresas se les colocó en coladores donde se les dejó orear por 10 minutos y finalmente con papel toalla se procedió a secar una por una.

- **Disposición en la bandeja biodegradable:**

Las fresas fueron dispuestas en las bandejas biodegradables. Con la finalidad de evitar que la humedad de la fresa se transfiera a la bandeja, durante el almacenamiento, las bandejas fueron revestidas con aproximadamente 21 g cera de abeja fundida (58 a 60 °C).

- **Envasado:**

Una vez dispuestas las fresas en las bandejas biodegradables (aproximadamente 310.09 g de fresa en cada bandeja) fueron envasadas en bolsas de polipropileno y se dividieron en dos grupos: el primer grupo “Control” correspondía a las fresas sin aceite y el segundo grupo estaba compuesto por las bandejas biodegradables que contenían a las fresas a

las cuales se les roció el aceite esencial de eucalipto “FRAE”, la cantidad de aceite de eucalipto fue aproximadamente 0.0012 ml de aceite /g de fresa.

- **Sellado:**

Se realizó con una selladora manual de bolsas.

- **Refrigeración:**

Todos los tratamientos fueron almacenados a  $8 \pm 1$  °C y a  $85 \pm 5\%$  HR

- **Análisis de la fresa:**

Los atributos físico - químicos y microbiológicos fueron realizados en el 0, 3, 6 y 9 día de almacenamiento.

### 3.6. Técnicas, instrumentos y procedimiento de recolección de datos

#### 3.6.1. Métodos de análisis para las bandejas biodegradables

**Rendimiento del almidón de maíz obtenido.** – se determinó a través de la siguiente ecuación (Avellán et al., 2020):

$$\% \text{ de Rendimiento} = \frac{\text{Masa del almidón obtenido}}{\text{Masa del maíz}} \times 100 \quad (1)$$

**Cuantificación de amilosa y amilopectina.** - se tomaron 20 mg de muestras de almidón y se le añadieron 10 ml de KOH 0.5 N, la muestra dispersa se transfirió a un matraz de 100 ml y se aforó con agua destilada, de esta solución se pipetearon 10 ml a un matraz de 50 ml y añadieron 5 ml de HCl 0.1 N y 0.5 ml de reactivo de yodo, se aforó el matraz y se midió la absorbancia a 600 nm. El contenido de amilosa de las muestras se calculó en base a las curvas estándar de las soluciones de amilosa (Golkar et al., 2022).

**Análisis químico proximal del almidón, cascarilla de arroz y cushuro.** - se determinó humedad, proteína, cenizas, grasa y carbohidratos siguiendo las metodologías propuestas por la Association of Official Analytical Chemists (AOAC, 2019).

**Tamaño del cushuro en fresco.** - las muestras de cushuro fueron clasificadas según el tamaño. Sus diámetros fueron medidos utilizando el vernier analógico Mitutoyo (Modelo: DC051) (Corpus-Gomez et al., 2021).

**Color del cushuro en polvo.** – el color del cushuro en polvo se determinó utilizando el colorímetro Konica Minolta (Modelo: CR- A12)

previamente calibrado con la placa estándar. Se midieron las coordenadas Luminosidad:  $L^*$  (0= negro y 100= blanco) y cromáticas:  $a^*$  y  $b^*$  (+ $a$ = rojo, - $a$ = verde, + $b$ = amarillo y - $b$ = azul). Así también, se calculó el Índice de Color (IC) que permite expresar el color en un solo dato numérico (ecuación 2):

$$IC = \frac{a^* \times 1000}{L^* \times b^*} \quad (2)$$

Interpretación del IC, si:

Si  $IC^*$  -40 a -20, los colores van desde el azul violeta hasta el verde intenso.

Si  $IC^*$  -20 a -2, los colores van desde el verde intenso hasta el verde amarillento.

Si  $IC^*$  - 2 a +2, representa amarillo verdoso.

Si  $IC^*$  +2 a +20, los colores van del amarillo pálido al naranja intenso.

Si  $IC^*$  +20 a +40, los colores van del naranja intenso al rojo intenso.

**Color de las bandejas.** – se empleó el colorímetro Konica Minolta (Modelo: CR- A12) previamente calibrado con la placa estándar. Se midieron las coordenadas  $L^*$  y las cromáticas  $a^*$  y  $b^*$ . Se calculó la diferencia total del color ( $\Delta E$ ) para cada tratamiento, según la ecuación 3 (Cruz-Tirado et al., 2019). Las coordenadas obtenidas al calibrar el colorímetro fueron:  $L=83.11$ ;  $a= -0.55$  y  $b= 2.88$

$$\Delta E = \sqrt{(L_{bandeja} - L_{estandar})^2 + (a_{bandeja} - a_{estandar})^2 + (b_{bandeja} - b_{estandar})^2} \quad (3)$$

**Espesor y densidad.** – para medir el espesor de las bandejas se utilizó el vernier de acero inoxidable (modelo DC051), la medición se realizó por triplicado para cada formulación (Matos & Díaz, 2022).

La densidad de cada muestra fue calculada en función a su masa (g) y volumen ( $cm^3$ ). Se cortaron las muestras con dimensiones de 100 mm de largo y 25 mm de ancho, se pesaron y el volumen fue obtenido al multiplicar sus medidas (espesor x ancho x largo), las mediciones de espesor y densidad se realizaron por triplicado (Cruz-Tirado, 2019).

**Humedad y Capacidad de Absorción de Agua (%CAA).** - el porcentaje de humedad se realizó en el horno secador de bandejas, la muestra utilizada fue de 3 g de bandeja molida, por un tiempo de 3 horas.

$$\%H = \frac{P_m - (P_f - P_i)}{P_m} \times 100 \quad (4)$$

Donde:

$P_m$  = peso de la muestra

$P_f$  = Peso final de la placa con la muestra

$P_i$  = Peso de la placa vacía

Para determinar el agua absorbida por las bandejas se utilizó la norma técnica ABNT NBR NM. ISO 535. A muestras de 25 mm por 4 mm se les registró el peso inicial, luego fueron sumergidas en agua destilada por 30 segundos, pasado este tiempo se llevó la muestra sobre un colador por 1' para retirar el exceso de agua y registró el peso final (Matos & Díaz, 2022).

$$\%CAA = \frac{\text{Peso Final} - \text{Peso Inicial}}{\text{Peso Inicial}} \times 100 \quad (5)$$

**Propiedades mecánicas.** – de las bandejas se cortaron muestras cuadradas de 5 cm por lado y fueron sometidas a esfuerzos mecánicos de compresión, en el analizador de textura (modelo CT3™) con 50 N de carga de celda. La sonda utilizada fue la TA18 de acero inoxidable y se establecieron los siguientes parámetros: velocidad 2 mm/s, frecuencia de muestreo de 10 puntos/s, carga de activación 6,8 g y distancia objetivo de 4 mm. Los ensayos se realizaron por triplicado.

**Espectroscopía Infrarroja por Transferencia de Fourier (FTIR).** – fue realizada en muestras de bandejas de 1 cm por lado, utilizando un espectrofotómetro Thermo Fisher Scientific (modelo Nicolet™ iS50) en un rango de frecuencia de 600 a 4000  $\text{cm}^{-1}$ , empleando 16 barridos (Callirgos, 2022).

**Microscopía electrónica de Barrido (SEM).** – se realizó siguiendo la técnica de la norma ASTM F 1877-16: Estándar Practice for Characterization of Particles".

**Difracción de Rayos X.**- se realizó con un difractor (Panalytical – Modelo Aeris), operando con una radiación de Cu k- $\alpha$  a longitud de onda de 1,5418 Å, voltaje de 40 kV y una corriente operativa de 15 mA. La velocidad de barrido fue de 0.0220 y 2 $\Theta$  varió de 5.0109 a 79.9869.

### **3.6.2. Métodos de análisis para la determinación de la vida útil de fresas rociadas con aceite esencial de eucalipto envasadas en bandejas biodegradables**

**Análisis del Aceite Esencial de Eucalipto.** - el aceite se analizó empleando técnica cromatografía de gases acoplada a espectrometría de masas (GC-MS) en el cromatógrafo de gases (modelo GC-2010 Plus) y en el detector de espectrometría de masas (modelo GCMS-QP210 Ultra).

Los parámetros de calidad del control (fresas sin adición de aceite esencial de eucalipto) y de las FRAE (fresas rociadas con aceite esencial de eucalipto) se evaluaron durante 9 días de almacenamiento a 8  $\pm$ 0.5°C, en intervalos de 3 días.

**Caracterización del tamaño y peso de las fresas frescas.** - se tomaron al azar 20 unidades de fresas y con el vernier analógico (modelo: DC051) se realizaron las mediciones del largo y ancho. El peso fue tomado de manera individual en una balanza digital de precisión (Modelo: Precisa XB 320M).

**Determinación del Color.** - el color de las fresas se determinó tomando 3 lecturas de diferentes puntos de la superficie de cada fruta utilizando el colorímetro (modelo: CR- A12) previamente calibrado con la placa estándar. Se midieron las coordenadas L\*, a\* y b\*(López – Valencia, 2018). Así también, se calculó el Índice de Coloración (IC) con la ecuación 2.

**Determinación Pérdida de peso.** - la evaluación de la pérdida de peso se realizó cada dos días durante el almacenamiento durante 9 días, utilizando la siguiente fórmula (Laala et al., 2023):

$$\text{Pérdida de peso promedio} = \frac{\text{Peso inicial} - \text{Peso final}}{\text{Peso inicial}} \times 100 \quad (6)$$

**Determinación Firmeza.** - se analizó en el día 0 y luego cada 3 días tanto para el control como para las FRAE. En el día 0, se midió la firmeza de las fresas frescas para poder evaluar el cambio de firmeza con el tiempo. Las mediciones se realizaron con el analizador de textura TA.DHplus (modelo CT3™), provisto con una sonda cilíndrica TA44 y se estableció los siguientes parámetros: velocidad 1 mm/s, frecuencia de muestreo de 10 puntos/s, carga de activación 6,8 g y distancia objetivo de 10 mm. Las mediciones se realizaron en la zona ecuatorial de cada fresa (González-Araiza et al., 2017).

**Determinación pH.** - la lectura del pH se realizó a las muestras de fresas acondicionadas de manera homogénea, extraídas de las bandejas en los días 0, 3, 6 y 9. Se utilizó el potenciómetro, modelo Orion Star™ A214. Se usó una solución tampón de pH 7 para calibrar el equipo antes de las mediciones (Pinzón et al., 2020).

**Microbiología de las fresas.** – se realizó a las fresas almacenadas en los días 0, 3, 6 y 9 siguiendo el método de recuento de mohos por siembra en placa en todo el medio según la ICMSF (2006).

### 3.6.3. Equipos

- Balanza Analítica. OHAUS – USA. Modelo: PX323
- Balanza Digital de Precisión. Modelo: Precisa XB 320M
- Módulo de Molienda y Tamizado. JARCON PERÚ. Modelo: MOMT – 60 XL
- Secador de Bandejas. JARCON PERÚ. Modelo: SBT
- Molino Pulverizador. FRITSCH
- Molino de Centrifugación Ultra. RESTCH. Modelo: ZM 200
- Agitador de Criba. RETSCH. Modelo: AS 200 basic.
- Batidora de Mano. IMACO. Modelo: HM505
- Termoprensa. RELES. Modelo. PHECL/D10
- Estufa. POLEKO APARATURA. Modelo: SLN 115 STD INOX-G
- Colorímetro. KONICA MINOLTA. Modelo: CR- A12
- Vernier Analógico. MITUTOYO. Modelo: DC051
- Horno Secador de Bandejas. INOX TROM
- Analizador de Textura. TA.HDplus. Modelo CT3™

- Software TexturePro CT V1.4 Build 17
- Espectrofotómetro THERMO FISHER SCIENTIFIC. Modelo: Nicolet™ iS50 FTIR
- Difractómetro de Rayos X. PANALYTICAL. Modelo: AERIS
- Microscopio Electrónico de Barrido. TESCAN. Modelo: Vega 3 LMU
- Destilador de aceites esenciales mediante arrastre de vapor. ELETTRONICA VENETA. Modelo: UDCA-2.
- Cromatógrafo de Gases. SHIMADZU. Modelo: GC 2010 Plus
- Detector de espectrometría de masas: SHIMADZU. Modelo: GCMS-QP210 Ultra
- Refrigeradora Nevecon No Frost, 567 L. Modelo: Platinum Silver
- Termómetro infrarrojo VWR®. Traceable®

### **3.7. Técnicas de procesamiento y análisis de los datos**

Los valores de las variables respuestas fueron evaluados en su promedio y desviación estándar, a través de:

- Hoja de calculo Excel
- Software Statgraphics Centurion XIX
- Análisis de ANOVA para determina el nivel de significancia al 95%

## **IV. RESULTADOS Y DISCUSIÓN**

### **4.1. Rendimiento de la extracción del almidón de maíz broza**

A partir de 20 Kg de maíz broza y siguiendo las etapas descritas en el diagrama de flujo de la figura 5, el rendimiento del proceso de extracción fue de 39%; porcentaje dentro de lo reportado por Avellán et al. (2019) quienes a través de diferentes métodos de extracción del almidón de maíz obtuvieron rendimientos de 29.76 al 41.03 %; así mismo, el rendimiento del almidón del maíz chulpi, obtenido por método húmedo, fue de 27.31% (Maza-Martínez et al., 2021); esto indicaría, que tanto la variedad del maíz como del método de extracción (seco o húmedo) influyen en el rendimiento de la extracción del almidón.

## 4.2. Caracterización fisicoquímica del almidón de maíz broza

### 4.2.1. Cuantificación de amilosa y amilopectina en el almidón de maíz

Tabla 9

***Datos obtenidos y comparados con la literatura para la cuantificación de la amilosa y amilopectina***

Componente %	Obtenido	Singh et al., 2003	Maza- Martínez et al., 2021	Jha, 2021
Amilosa	<b>25.3</b>	22.4	25.6	28
Amilopectina	<b>74.7</b>	77.6	74.3	72

La tabla 9 muestra que los porcentajes de amilosa y amilopectina presentes en el almidón de maíz en estudio, fue de 25.3 y 74.7%, respectivamente; según Tapia-Blácido et al. (2022) la relación amilosa/amilopectina en los gránulos de almidón depende de la fuente de almidón siendo para el caso de los cereales: 25% de amilosa y 75% de amilopectina, debido a que el maíz es un cereal los porcentajes obtenidos estuvieron dentro de lo esperado.

Por otro lado, los porcentajes obtenidos en esta investigación fueron muy similares a los reportados por Maza-Martínez et al. (2021) para el maíz chulpi; pero mayores a los declarado por Singh et al. (2003) quienes trabajaron con maíz criollo y por debajo a los informados por Jha (2021), las variaciones de los resultados fueron atribuidas a la variedad de maíz, método de extracción del almidón y métodos analíticos utilizados para cuantificar el contenido de amilosa y amilopectina presentes en el almidón.

### 4.2.2. Espectroscopía Infrarrojo por Transformada de Fourier (FTIR) del almidón de maíz

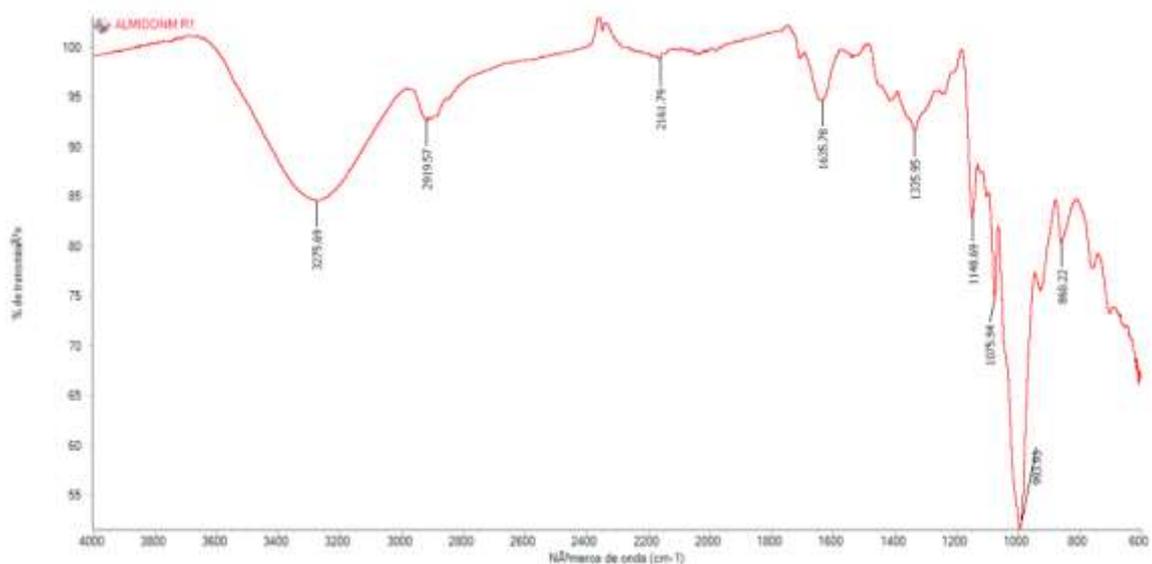
El almidón de maíz según la figura 11, presenta en el espectro de 4000 a 600  $\text{cm}^{-1}$  variadas vibraciones moleculares. Inicialmente, se muestra en la figura 10 un ancho pico a 3275.69  $\text{cm}^{-1}$ , el cual se encuentra dentro de la

banda 3600 – 3220  $\text{cm}^{-1}$  asociado con la molécula del agua, esta banda corresponde a vibraciones de tipo estiramiento del grupo hidroxilo (OH) característico de los puentes de hidrógeno del agua (Callirgos, 2022 y Daza Orsini & Parra Aparicio, 2021). A 2919.57  $\text{cm}^{-1}$  este pico se atribuye a la vibración de estiramiento del C - H y a 1635.78  $\text{cm}^{-1}$  un pico de absorción poco pronunciado que corresponde al agua adsorbida en la región amorfa de los gránulos del almidón (Daza Orsini & Parra Aparicio, 2021).

La región de huellas digitales en el espectro abarca desde 1500 a 500  $\text{cm}^{-1}$ , en la cual se registraron picos a 1335.95, 1148.69, 1075.94 y 860.22  $\text{cm}^{-1}$  asociados a una combinación de vibraciones de los enlaces C - O (estiramiento), C - H (balanceo) consecuencia de la presencia de amilosa y amilopectina presente en el almidón y C- O- C (estiramiento y balanceo) correspondientes a las biomoléculas lipídicas y carbohidratadas, principalmente cuando la muestra se encuentra en polvo, como lo estaba el almidón de maíz (Daza Orsini & Parra Aparicio, 202). Por último, el pico a 995.90  $\text{cm}^{-1}$  podría estar relacionado con las vibraciones características del anillo de piranosa en unidades particulares que pertenecen a la glucosa, propias del almidón de maíz (Matos & Díaz, 2022).

**Figura 11**

**Espectro infrarrojo del *almidón de maíz***



### 4.3. Rendimiento de la cascarilla de arroz en polvo

A partir de 15 Kg de cascarilla de arroz y siguiendo las etapas descritas en el diagrama de bloques de la figura 6, para la obtención de cascarilla de arroz en polvo, el rendimiento fue de 29%, este porcentaje fue mayor a lo obtenido por Pérez et al. (2022) debido a que este último empleó en el tamizado mallas de N° 30 y 50 en comparación con las mallas N° 18 y 35 utilizadas en esta investigación, originándoles un menor rendimiento.

#### 4.3.1. Análisis químico proximal de la cascarilla de arroz

**Tabla 10**

***Datos obtenidos y comparados con la literatura en la caracterización de los componentes de la cascarilla de arroz en polvo***

Componentes	Obtenido (%)	Datos reportados por diferentes autores (%)		
		Doria et al.(2013)	Bhardwaj et al. (2014)	Pérez et al., (2022)
Humedad	<b>3.65</b>	8.78	NR	5.72
Celulosa	<b>37.99</b>	60.12	35	36.82
Lignina	<b>4.98</b>	6.66	20	7.68
Hemicelulosa	<b>21.49</b>	11.90	25	16.98
Holocelulosa	<b>59.48</b>	72.02	60	53.80
Ceniza	<b>21.80</b>	15.90	17	21.92
Sílice	<b>87.28</b>	NR	NR	70.62

NR = No Reportado

Los mayores porcentajes obtenidos en la cascarilla de arroz son la holocelulosa (59.48%) y sílice (87.28%); así mismo, los porcentajes de celulosa (37.99%), hemicelulosa (21.49%) y lignina (4.98%) son semejantes, pero a la vez difieren de los valores obtenidos por los autores consultados los cuales se muestran en la tabla 10. Estas variaciones en la composición dependen de los tipos de arroz y de las zonas geográficas de donde provienen (Pérez et al., 2022).

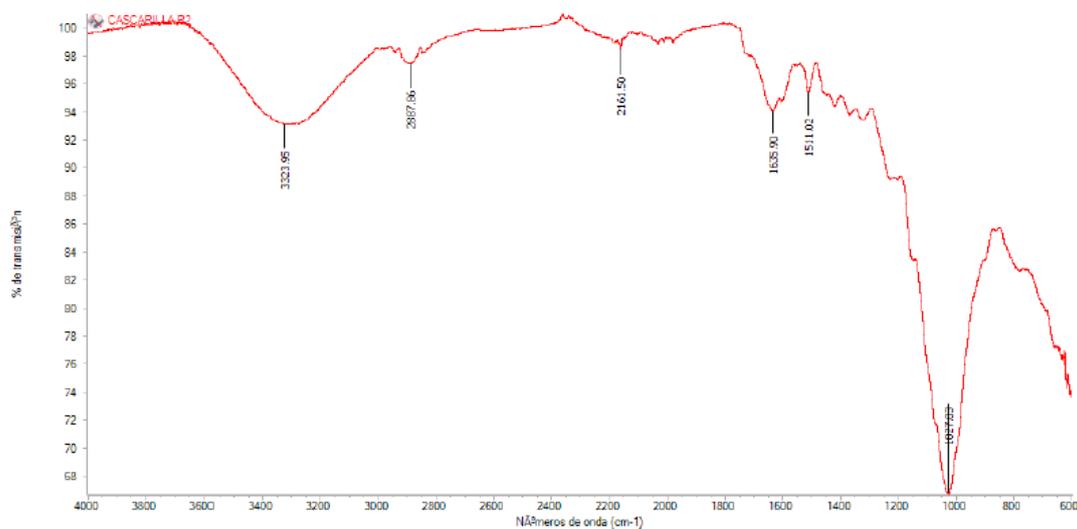
Así también, el alto contenido de celulosa presente en la cascarilla de arroz (37.99%) representaba un excelente material de refuerzo necesario para la elaboración de bandejas biodegradables, pues la linealidad de ésta facilita a que las moléculas se asocien fuertemente en forma paralela en la interfaz fibra-matriz, lo que combinado con la matriz del almidón forman en el interior redes que mejoran a esta propiedad mecánica (Cajiao et al., 2016).

#### 4.3.2. Espectroscopía Infrarrojo por Transformada de Fourier (FTIR) de la cascarilla de arroz

El FTIR de la cascarilla de arroz presentó bandas desde  $3323.95\text{ cm}^{-1}$  a  $1027.23\text{ cm}^{-1}$  (figura 12), siendo los principales picos: a  $3323.95\text{ cm}^{-1}$  una banda ancha correspondiente al enlace O – H asociados a la estructura de la celulosa y lignina; a  $2887.86\text{ cm}^{-1}$  corresponde al enlace C – H asociados a la estructura de la celulosa y hemicelulosa (Pérez et al., 2022; Naveda Rengifo et al., 2019); el pico a  $1635.90\text{ cm}^{-1}$  es asignado al estiramiento C = C de lignina y celulosa; así también  $1511.02\text{ cm}^{-1}$  indica la presencia de enlaces aromáticos de la lignina (Matos & Díaz, 2022) y finalmente, un pico bastante pronunciado a  $1027.03\text{ cm}^{-1}$  asociado a las vibraciones del enlace C - O – C correspondiente al anillo piranoso de la celulosa; similares grupos funcionales fueron reportados por Pérez et al. (2022) y Naveda Rengifo et al.(2019).

**Figura 12**

#### ***Espectro infrarrojo de la cascarilla de arroz***



#### 4.4. Cushuro (*Nostoc sphaericum*)

##### 4.4.1. Apariencia y diámetro del cushuro fresco

La figura 13 muestra la apariencia del cushuro el cual fue un tanto esférica, traslúcida y gelatinosa, con diámetros entre 2 a 24.5 mm. En cuanto al color este se percibió como verde olivo oscuro, propio de las coloraciones que presenta el cushuro las cuales varían entre verde oliva, pardo verdoso o amarillento y a la vez dependen del género y zona geográfica en donde se desarrolla esta cianobacteria (Corpus-Gómez et al., 2021).

#### Figura 13

##### *Diámetros del cushuro*



##### 4.4.2. Rendimiento de la obtención del *cushuro* seco en polvo

A partir de 10 Kg de cushuro fresco y siguiendo las etapas descritas en el diagrama de flujo de la figura 7 de la obtención del cushuro en polvo, el rendimiento obtenido fue de 1.30%, porcentaje bastante bajo debido al alto contenido de agua (98%) que este posee (Choque-Quispe et al., 2022).

##### 4.4.3. Análisis químico proximal del *cushuro* seco en polvo

El cushuro en polvo conforme a la tabla 11, presentó 8.16% de humedad para una temperatura de 60 °C y 5 horas, semejante al obtenido por Chasquibol et al. (2023); pero más bajo al reportado por Choque-Quispe et al. (2022) quienes secaron al cushuro a 20 °C por 24 horas, siendo las condiciones de secado las que habrían influido en los resultados obtenidos; sumado a ello, la variación de los diámetros del cushuro no permite una evaporación uniforme durante el secado ya que, según la ley de Fick la difusividad eficaz del agua está relacionada con la geometría del producto a deshidratar (Choque-Quispe et al., 2022).

El porcentaje de carbohidratos fue de 39.24%, valor por debajo a los autores consultados en la tabla 11, según Corpus-Gómez et al. (2021) estas variaciones están relacionadas con el hábitat, especie, estacionalidad de la cosecha, etc. Con respecto, al tipo de carbohidratos presente en el cushuro éstos no fueron identificados a diferencia de Chasquibol et al. (2023) quienes reconocieron a la ramnosa, arabinosa, galactosa, glucosa, manosa, fructosa y ácido galacturónico y agregan que la presencia de estos azúcares coincide con la de polisacáridos tipo hemicelulosa,  $\beta$  - glucano y pectinas.

**Tabla 11**

***Datos obtenidos y comparados con la literatura de la composición química del cushuro en base seca***

Componentes	Obtenido (%)	% Reportados por diferentes autores	
		Choque-Quispe et al. (2022)	Chasquibol et al. (2023)
Humedad	<b>8.16</b>	10.78	8.36
Carbohidratos	<b>39.24</b>	57.30	56.82
Proteína	<b>24.74</b>	24.70	34.53
Grasa	<b>1.85</b>	1.73	0.29
Ceniza	<b>8.66</b>	4.78	NR

NR = No Reportado

Para la proteína el porcentaje obtenido fue de 24.74%, el cual coincidió con el reportado por Choque-Quispe et al. (2022); según Cadena et al. (2013) señala que el valor proteico de las cianobacterias es muy variable pudiendo alcanzar valores bastante distantes entre las mismas especies a pesar de ser cultivadas en la misma zona, condiciones, etc

Como se muestra en la tabla 11, los componentes mayoritarios presentes en el cushuro fueron los carbohidratos y proteínas, siendo éstos piezas claves a la hora de elaborar bandejas biodegradables, Chiarathanakrit et al. (2019) atribuyeron a los polisacáridos presentes en la macroalga *Halimeda macroloba* de ser los responsables de aportar una mejor resistencia al impacto a las bandejas de almidón de yuca, debido a que éstos se asemejan estructuralmente al almidón e interactúan más eficazmente con la matriz polimérica; por otro lado, las proteínas pueden formar mediante el

entrecruzamiento de sus moléculas una red macromolecular relativamente organizada y estabilizada por interacciones de tipo covalente o no covalente uniformemente distribuidas, lo cual refuerza y rigidiza a la matriz polimérica (Badui, 2015).

El porcentaje de grasa encontrado fue de 1.85%, valor por encima al de Chasquibol et al. (2023), este mismo autor explica que el contenido de ácidos grasos en el género *Nostoc* se ve influenciado por las condiciones de crecimiento que ofrece su habitat, variedad taxonómica, entre otros.

Finalmente, para las cenizas el porcentaje fue de 8.6%, valor por encima al reportado por Choque-Quispe et al. (2022); sin embargo, ambos porcentajes estarían dentro del rango de 2 a 50% que pueden reportar las cianobacterias (Cadena et al., 2013).

#### **4.4.4. Color del cushuro seco en polvo**

El índice de color obtenido para el cushuro seco en polvo fue - 0.013, valor dentro del rango de -2 a +2 que representa al color amarillo verdoso, en comparación con la coloración del cushuro en estado fresco el cual fue verde olivo oscuro; según Choque-Quispe et al. (2022) este cambio de tonalidad se debe principalmente a que por efecto de la temperatura se lleve a cabo la conversión de las clorofilas en feofitinas.

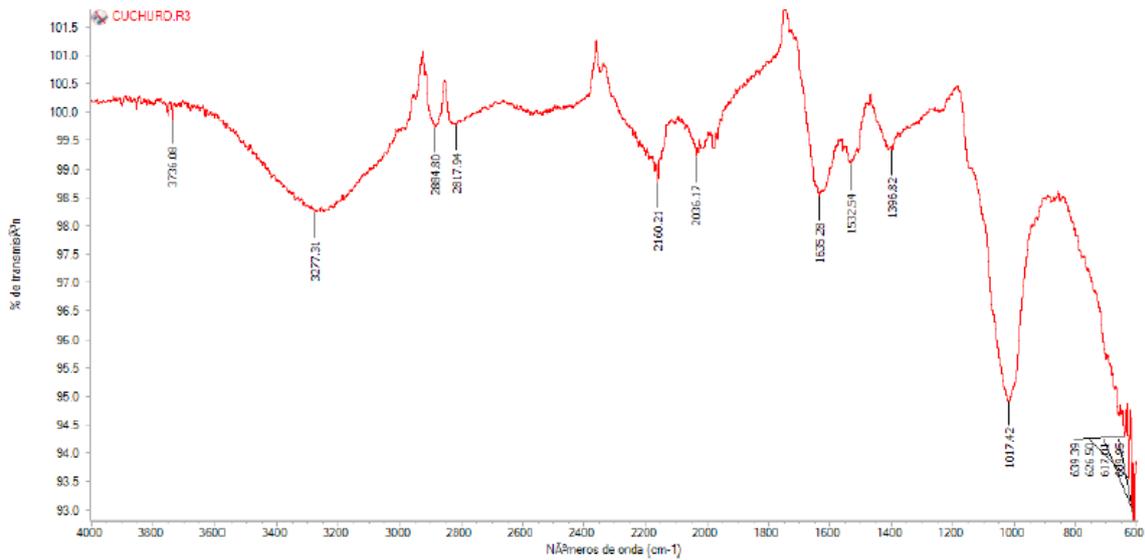
#### **4.4.5. Espectroscopía Infrarrojo por Transformada de Fourier (FTIR) del cushuro**

La figura 14 representa las vibraciones moleculares de los grupos funcionales registrados por el cushuro, las cuales van desde los  $3277.31\text{ cm}^{-1}$  hasta los  $609.95\text{ cm}^{-1}$ .

Inicialmente, se percibe una banda ancha en la longitud de  $3277.31\text{ cm}^{-1}$  valor que se encuentra dentro de los  $3500\text{ a }3200\text{ cm}^{-1}$  en donde se registran las vibraciones de estiramiento del enlace O – H característico de los puentes de hidrógeno del agua; así mismo, los picos de  $2884.80$  y  $2817.94\text{ cm}^{-1}$  se encuentran dentro de la región espectral de  $2700\text{ a }2900\text{ cm}^{-1}$  donde aparecen bandas asociadas a las grasas con vibraciones de estiramiento del enlace C - H (Daza Orsini & Parra Aparicio, 2021; Torres-Maza et al., 2020).

**Figura 14**

***Espectro infrarrojo del cushuro seco en polvo***



La figura 14 muestra también dos picos en la longitud de onda a 2160.21 y 2036.17  $\text{cm}^{-1}$ , según Torres-Maza et al. (2020) en la región de 2500 a 2000  $\text{cm}^{-1}$  del espectro no aparecen bandas y en caso de que existieran tienen una apariencia muy débil; por lo tanto, no son importantes en la interpretación del espectro.

El pico alrededor de 1635  $\text{cm}^{-1}$  correspondería a la flexión del agua adsorbida y la intensidad del pico indicaría la naturaleza hidrofílica del cushuro, este pico junto al de 1532.54  $\text{cm}^{-1}$  se encuentran dentro de la banda asociada a las proteínas; por lo tanto, correspondería a vibraciones de estiramiento propio de los grupos funcionales – COO – y - NH presente en los aminoácidos y proteínas (Choque-Quispe et al., 2022).

Los picos a 1396.82 y 1017.42  $\text{cm}^{-1}$  se encuentran dentro de la región espectral asociada a las bandas de los carbohidratos como arabinosa, galactosa, glucosa, manosa, fructosa, ácido galacturónico, entre otros; a 1017.42  $\text{cm}^{-1}$  se muestra un pico bastante acentuado, correspondiente a las vibraciones de estiramiento de los enlaces C-O-C propios al ciclo de la glucosa (Torres-Maza et al., 2020).

Finalmente, el espectro registró unos picos de baja intensidad a 639.39, 626.50, 617.01 y 609.95  $\text{cm}^{-1}$  en la región denominada “región de huella

digital”, en esta misma región Choque-Quispe et al. (2022) evidenciaron un pico aún menor alrededor de los  $580\text{ cm}^{-1}$  al cual lo relacionaron con la flexión asimétrica del enlace OSO, debido a la absorción de la clorofila a y b.

#### **4.5. Propiedades físicas de las bandejas biodegradables**

##### **4.5.1. Apariencia y Color**

La figura 15, muestra las bandejas elaboradas según los 11 tratamientos, en ella se observa que aparentemente tienen las mismas características, pues muy probable, según la tabla 6, sea por las bajas variaciones de las concentraciones añadidas, tanto de cascarilla de arroz (15.5 – 17.83%) y cushuro (2.16 – 4.5%), mostrando en todas las bandejas, superficies lisas y sin grietas, debido a la alta concentración (80%) empleada de almidón de maíz, el cual confirió la capacidad de formar una matriz homogénea y con ella, espesores muy finos, los cuales solían romperse al momento del desmoldado, a pesar de haber usado el estearato de magnesio para ayudar en el desmoldado de las bandejas después del termoprensado.

En cuanto al color los parámetros de  $L^*$ ,  $a^*$  y  $b^*$  que se midieron en los 11 tratamientos dieron como resultado valores de  $L^*= 59.782$  a  $65.385$ , es decir, con poca luminosidad debido al color verde azulado del cushuro, mientras que con valores de  $a^*= 2.173$  a  $3.013$  y  $b^*= 18.645$  a  $22.177$ , muestran que las bandejas manifestaron tener baja cromaticidad, como amarillo anaranjado débil.

La tabla 12 muestra el análisis de varianza, en la que se puede observar que el valor de significancia es  $p > 0.05$ ; por lo tanto, no existen diferencias significativas entre las medias de los tratamientos tanto para la cascarilla del arroz, cushuro y la interacción entre ellos; lo que significa que todos los tratamientos tienen el mismo grado de luminosidad.

**Figura 15**

**Apariencia y color de los 11 tratamientos de las bandejas biodegradables**

TRATAMIENTOS		COLOR
T1		
T2		
T3		
T4		
T5		
T6		
T7		
T8		
T9		
T10		
T11		

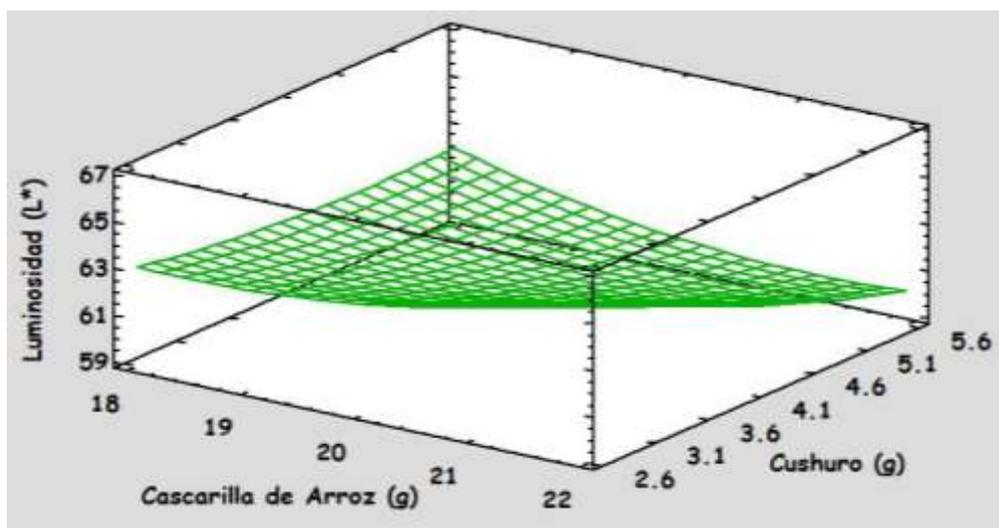
**Tabla 12**

**Análisis de varianza para la L\* de los 11 tratamientos de las bandejas biodegradables**

Fuente	Suma de Cuadrados	Gl	Cuadrado Medio	Razón - F	Valor - P
A:Cascarilla de arroz	0.1154	1	0.1154	0.04	0.8586
B:Cushuro	8.9342	1	8.9342	2.72	0.1598
AA	0.2291	1	0.2291	0.07	0.8021
AB	0.5527	1	0.5527	0.17	0.6984
BB	0.1894	1	0.1894	0.06	0.8196
Error total	16.4027	5	3.2805		
Total (corr.)	26.3293	10			

**Figura 16**

**Superficie – Respuesta para la L\* de los 11 tratamientos de las bandejas biodegradables**



La figura 16, muestra que la luminosidad se incrementó ligeramente en los tratamientos al emplear más cantidad de cascarilla de arroz, lo cual coincide con Srivastava et al. (2024) quienes obtuvieron un aumento de la luminosidad de 39.641 a 44.333 al incrementar el porcentaje de 10 al 50% de cascarilla de arroz, respectivamente, en la elaboración de una película a base de almidón de maíz, cascarilla de arroz y aceite esencial de menta. Según Cruz-Tirado et al. (2019) mencionaron que el oscurecimiento de las bandejas está relacionado con las reacciones de Maillard, como producto de la reacción

carbohidratos y proteínas. Dado que la cascarilla de arroz tiene un contenido de proteína menor al 2.3% se podría decir que fue la causa de un menor oscurecimiento.

Por otro lado, Mello & Malí (2014) mencionan que la adición de fibra disminuye el valor de la luminosidad de los biocompuestos del almidón, esto se confirmó con investigaciones en donde se emplearon fibras como el sorgo de malta (Mello & Malí, 2014), torta de ajonjolí (Machado et al., 2017) y fibra de semilla de palta (Matos & Díaz, 2022) en la elaboración de bandejas biodegradables, las cuales provocaron una disminución de la luminosidad cuando la concentración de estos residuos aumentó. Esto mismo ocurrió en esta investigación cuando las cantidades de cushuro se incrementaron (figura 16) coincidiendo con Chiarathanakrit et al. (2019) quienes obtuvieron una disminución de la luminosidad de 67.20 a 60.52 al aumentar el porcentaje de 10 al 20 % de macroalga verde *Halimeda macroloba* en la elaboración de bandejas a base de almidón de yuca. Así también, los carbohidratos y proteínas del cushuro y la alta temperatura de la termoprensa (plato superior = 159 °C y plato inferior = 149 °C) requerida al momento del termoprensado, pudieron haber provocado una reacción de Maillard; por lo tanto, mayor oscurecimiento (Badui, 2015).

**Tabla 13**

***Análisis de varianza para la coordenada cromática a\* de los 11 tratamientos de las bandejas biodegradables***

Fuente	Suma de Cuadrados	Gl	Cuadrado Medio	Razón-F	Valor-P
<b>A:Cascarilla de arroz</b>	0.0086	1	0.0086	0.08	0.7850
<b>B:Cushuro</b>	0.3206	1	0.3206	3.08	0.1394
<b>AA</b>	0.0710	1	0.0710	0.68	0.4462
<b>AB</b>	0.0128	1	0.0128	0.12	0.7392
<b>BB</b>	0.0021	1	0.0021	0.02	0.8920
<b>Error total</b>	0.5199	5	0.1039		
<b>Total (corr.)</b>	0.934237	10			

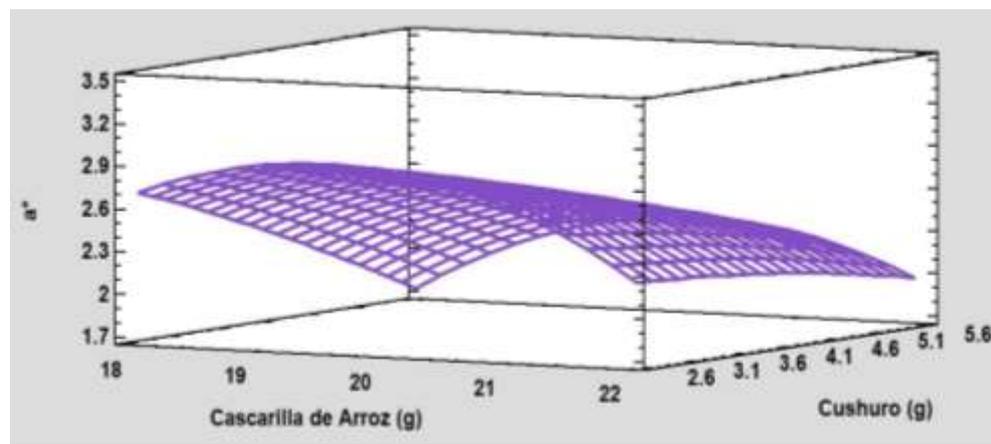
La tabla 13 muestra el análisis de varianza, en la que se puede observar que el valor de significancia es  $p > 0.05$ ; por lo tanto, no existen diferencias significativas entre las medias de los tratamientos tanto para la cascarilla del

arroz, cushuro y su interacción, lo que significa que la coordenada cromática  $a^*$  no se vio afectada por las cantidades adicionadas de cascarilla de arroz y cushuro.

El rango de los valores de  $a^*$  estuvieron entre 2.173 a 3.172, los cuales disminuyeron al aumentar la cantidad de cascarilla de arroz como de cushuro en la elaboración de las bandejas (figura 17) lo cual coincidió con Chiarathanakrit et al. (2019) quienes reportaron una disminución de los valores de  $a^*$  de -0.68 a -1.21 al aumentar el porcentaje de 10 al 20 % de macroalga verde *Halimeda macroloba*; igualmente, Arevalo (2023) quien utilizó como fibra la cáscara de mango obtuvo una disminución de  $a^*$  de 3.99 a 3.08 a medida que la concentración de fibra aumentó de 10 al 30%.

**Figura 17**

***Superficie – Respuesta para la coordenada cromática  $a^*$  de los 11 tratamientos de las bandejas biodegradables***



En cuanto a la coordenada  $b^*$ , la tabla 14 muestra el análisis de varianza, con un nivel de significancia de ( $p < 0.05$ ), la que muestra que existen diferencias significativas entre las medias de los tratamientos del cushuro; estadísticamente, se puede decir que las cantidades adicionadas de cushuro (2.6 a 5.4g) influyeron sobre las coordenadas  $b^*$  de las bandejas biodegradables a diferencia de la cascarilla de arroz (18.6 a 21.4g).

**Tabla 14**

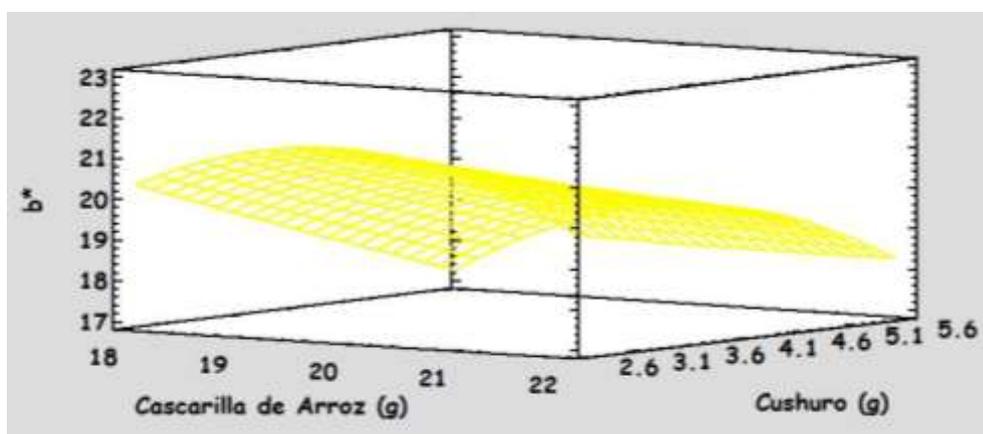
**Análisis de varianza para la coordenada cromática  $b^*$  de los 11 tratamientos de las bandejas biodegradables**

Fuente	Suma de Cuadrados	Gl	Cuadrado Medio	Razón-F	Valor-P
A:Cascarilla de arroz	0.0129	1	0.0129	0.02	0.8843
B:Cushuro	4.4606	1	4.4606	8.09	0.0361
AA	0.6899	1	0.6899	1.25	0.3141
AB	0.0592	1	0.0592	0.11	0.7562
BB	0.0015	1	0.0015	0.00	0.9600
Error total	2.7566	5	0.5513		
Total (corr.)	8.06738	10			

Según la figura 18 el valor de  $b^*$  tiende a disminuir conforme aumenta la cantidad de cascarilla de arroz, esto no coincide con Srivastava (2023) quien reportó un incremento de  $b^*$  al aumentar la concentración de cascarilla de arroz en la película elaborada; por lo tanto, la disminución del valor de  $b^*$  en esta investigación se le atribuye a la presencia del cushuro, coincidiendo con Chiarathanakrit et al. (2019) quienes observaron una disminución de los valores de  $b^*$  de 17.85 a 16.84 para concentraciones de 10 y 20 % de macroalga verde Halimeda macroloba respectivamente, en la elaboración de bandejas con almidón de yuca; por lo tanto, el cushuro al igual que la macroalga verde fueron los responsables del color resultante de las bandejas biodegradables en ambas investigaciones.

**Figura 18**

**Superficie – Respuesta para la coordenada cromática  $b^*$  de los 11 tratamientos de las bandejas biodegradables**



#### 4.5.2. Espesor y densidad

La tabla 15 muestra el análisis de varianza, donde el nivel de significancia es  $p > 0.05$ ; por lo tanto, no existen diferencias significativas entre las medias de los tratamientos; esto quiere decir que el espesor tanto para las bandejas reforzadas con cascarilla de arroz y cushuro, no presentaron valores estadísticamente diferentes al igual que la interacción de ambos tratamientos, independiente de la cantidad de estos dos insumos adicionados en la elaboración de las bandejas biodegradables. Al respecto, los valores del espesor obtenidos estuvieron entre 2.163 a 2.967 mm, valores similares a los registrados por Aguilar & Tapia-Blácido (2023) en bandejas formuladas con almidón de yuca y fibra de semilla de palta (2.1 a 2.3 mm) y a 2.57 – 3.21 mm medidos en las bandejas de almidón de yuca y fibra de panca de maíz (Aguirre et al., 2023); pero inferiores a 3.3 - 4.6 mm reportados por Machado et al. (2017) en bandejas de almidón de yuca y torta de ajonjolí como fibra; así también, Ferreira et al. (2020) obtuvieron espesores de 3.5 a 4.1 mm en bandejas a base de almidón con fibras bagazo de caña, malta y naranja. Al comparar los valores reportados por los autores citados y los obtenidos en la investigación, éstos estuvieron entre los menores siendo esto lo que se busca en las bandejas biodegradables.

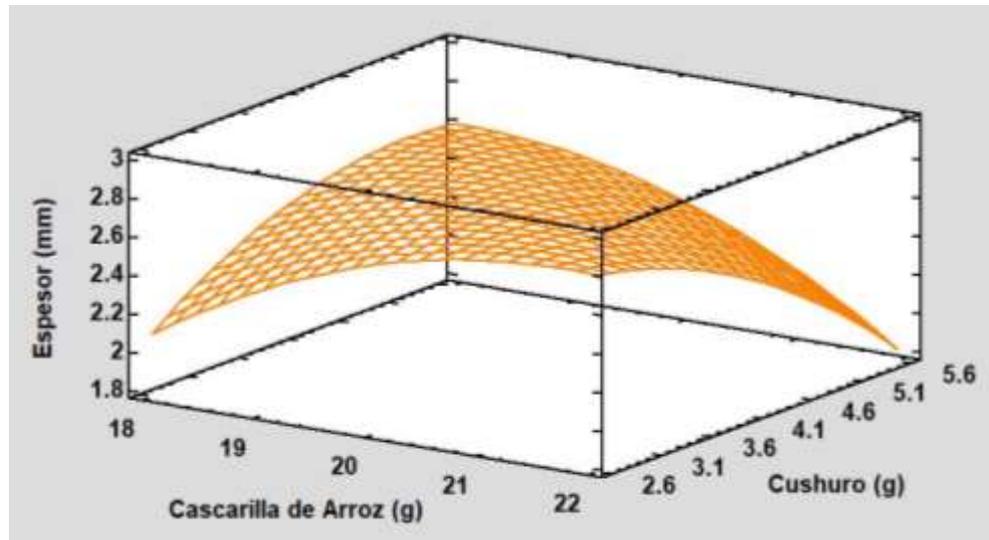
**Tabla 15**

***Análisis de varianza para el análisis del espesor de los 11 tratamientos de las bandejas biodegradables***

Fuente	Suma de Cuadrados	Gl	Cuadrado Medio	Razón-F	Valor-P
<b>A:Cascarilla de Arroz</b>	0.0000	1	0.0000	0.00	0.9936
<b>B:Cushuro</b>	0.0261	1	0.0261	0.26	0.6294
<b>AA</b>	0.0138	1	0.0138	0.14	0.7234
<b>AB</b>	0.0556	1	0.0554	0.56	0.4881
<b>BB</b>	0.0314	1	0.0314	0.32	0.5977
<b>Error total</b>	0.4956	5	0.0991		
<b>Total (corr.)</b>	0.6134	10			

**Figura 19**

***Superficie – Respuesta para el espesor de los 11 tratamientos de las bandejas biodegradables***



La figura 19 muestra que el espesor de las bandejas aumentó al incrementarse la cantidad de cascarilla de arroz, pero con la adición del cushuro sucedió lo contrario, esto último coincide con Machado et al. (2017) quienes reportaron una disminución del espesor de 4.6 a 3.8 mm a medida que la concentración de fibra utilizada aumentó de 0 a 20%, respectivamente; así también registraron Ferreira et al. (2020) para bandejas de almidón de yuca con la adición de bagazo de malta como fibra, el espesor disminuyó de 4.21 mm con 10% de fibra a 4.10 mm con 30% de fibra; por último Matos & Díaz (2022) manifiestan que a la misma cantidad de almidón de semilla de palta y mango el espesor disminuyó de 2.810 a 2.467 mm al incrementar el porcentaje de fibra de palta de 0 a 5%. En tanto, según Pornsuksomboon et al. (2016) a mayor cantidad de fibra la viscosidad de la masa del almidón aumenta impidiendo la expansión de los gránulos del almidón, reflejándose en un menor espesor de la bandeja. Así también, Chasquibol et al. (2023) agregan que soluciones concentradas de cushuro presentan una matriz enredada por la presencia de enlaces de hidrogeno, lo cual conduce al aumento de la viscosidad; esto explicaría porque los valores del espesor de las bandejas disminuyeron al incrementarse la cantidad de cushuro (figura

19); además, el cushuro se habría comportado de forma similar a las fibras utilizadas por los autores antes mencionados.

Según se muestra en la tabla 16, el análisis de varianza para la densidad, con un nivel de significancia de  $p > 0.05$ , indica que no existen diferencias significativas entre las medias de los tratamientos; es decir, estadísticamente que las cantidades de cascarilla de arroz y cushuro no influyeron en esta variable, al igual que su interacción.

**Tabla 16**

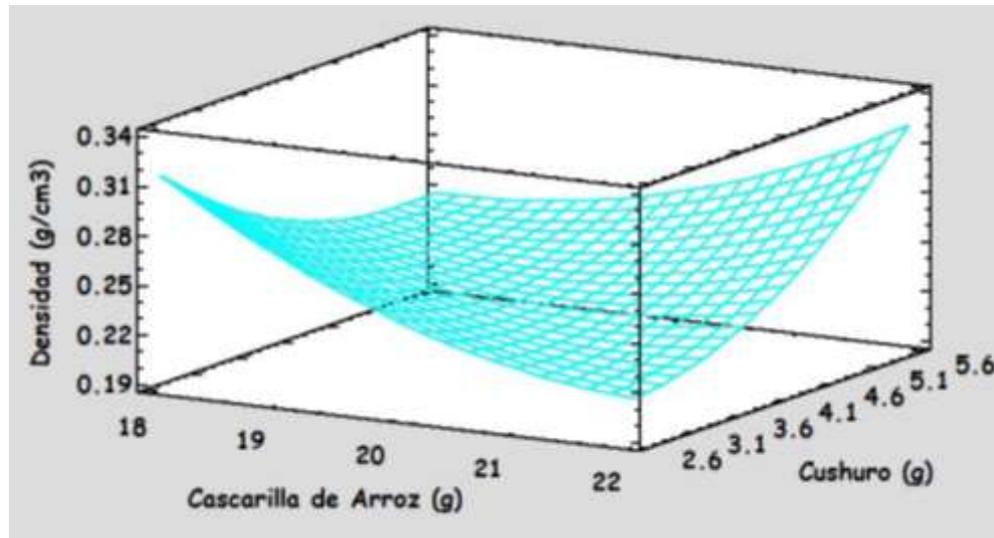
***Análisis de varianza para el análisis de la densidad de los 11 tratamientos de las bandejas biodegradables***

<i>Fuente</i>	<i>Suma de Cuadrados</i>	<i>Gl</i>	<i>Cuadrado Medio</i>	<i>Razón-F</i>	<i>Valor-P</i>
<b>A:Cascarilla de arroz</b>	0.0001	1	0.0001	0.11	0.7544
<b>B:Cushuro</b>	0.0001	1	0.0001	0.09	0.7812
<b>AA</b>	0.0001	1	0.0001	0.08	0.7899
<b>AB</b>	0.0007	1	0.0007	0.45	0.5321
<b>BB</b>	0.0005	1	0.0005	0.30	0.6050
<b>Error total</b>	0.0087	5	0.0017		
<b>Total (corr.)</b>	0.0103	10			

Los valores de la densidad de las bandejas biodegradables elaboradas fueron de 0.196 a 0.311 g/cm<sup>3</sup>, valores semejantes a 0.17 - 0.29 g/cm<sup>3</sup> reportados por Aguirre et al. (2023) en bandejas de almidón de yuca y fibra de panca de maíz y a 0.23 - 0.30 g/cm<sup>3</sup> en bandejas de almidón de yuca y fibra de torta de ajonjolí (Machado et al., 2017); pero menores a los publicados por Aguilar & Tapia-Blácido (2023) en bandejas formuladas con almidón de yuca y fibra de semilla de palta (0.70 – 0.86 g/cm<sup>3</sup>), pudiéndose decir que la cascarilla de arroz se comportó de manera muy similar a la panca de maíz y torta de ajonjolí, ya que al ser adicionadas estas fibras las bandejas biodegradables resultaron con una menor densidad al igual que en esta investigación.

**Figura 20**

***Superficie – Respuesta para la densidad de los 11 tratamientos de las bandejas biodegradables***



La figura 20 muestra el comportamiento de la densidad al incorporar cascarilla de arroz y cushuro sobre la matriz del almidón de maíz, apreciándose que la densidad disminuye al aumentar la cantidad de cascarilla de arroz. Según Cruz-Tirado (2019) la menor densidad que se busca en las bandejas biodegradables puede ser posible al empleo de almidones con bajo contenido de amilosa, la cual permite una mejor expansión del almidón; entonces para esta investigación el aumento de la cascarilla no habría interferido en la buena expansión que le estaría aportando la amilosa ya que el porcentaje presente de ésta en almidón de maíz era de 25.3% (tabla 9), lo cual permitió obtener bandejas biodegradables con menor densidad. Sin embargo, la densidad de las bandejas aumentó al aumentar la cantidad de cushuro (figura 20), esto coincidió con Chiarathanakrit et al. (2019) quienes obtuvieron un incremento de la densidad de 0.21 a 0.27g/cm<sup>3</sup> al aumentar la concentración de la macroalga *Macroloba Halimeda* de 3 a 5 %, respectivamente, los autores asociaron este resultado con la alta viscosidad del almidón de yuca utilizado, ya que las estructuras moleculares de los constituyentes del almidón contribuyen a que en el medio la viscosidad aumente y; por lo tanto, influyan en la densidad; así también, Aguirre et al. (2023) agregan que las variaciones de la densidad surgen debido a la distribución de masa y viscosidad del almidón, esto explicaría el incremento

de la densidad que presentaron las bandejas biodegradables al aumentar la cantidad de cushuro, ya que este al igual que el almidón habrían influenciado en la viscosidad en la matriz polimérica.

#### 4.5.3. Humedad y Capacidad de Absorción de Agua (CAA)

Para la humedad, estadísticamente no existen diferencias significativas entre las medias de los tratamientos, dado que  $p > 0.05$  (tabla 17); es decir, las cantidades de cascarilla de arroz (18.6 a 21.4 g), cushuro (2.6 a 5.4 g) e interacción no influyeron en la humedad de las bandejas biodegradables obtenidas, esto se puede contrastar con la apariencia homogénea que presentaron dichas bandejas de los 11 tratamientos, toda vez, que todas adsorbieron la misma cantidad de agua, por contener la misma composición, niveles de cascarilla de arroz, cushuro, almidón de maíz y porosidad en la matriz.

**Tabla 17**

***Análisis de varianza para el análisis de la humedad de los 11 tratamientos de las bandejas biodegradables***

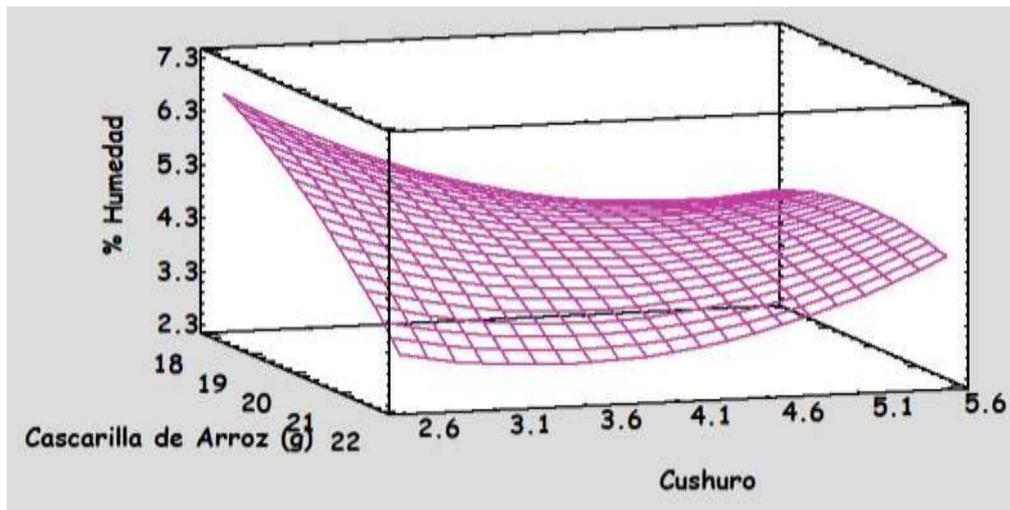
<i>Fuente</i>	<i>Suma de Cuadrados</i>	<i>Gl</i>	<i>Cuadrado Medio</i>	<i>Razón-F</i>	<i>Valor-P</i>
<b>A:Cascarilla de Arroz</b>	1.4158	1	1.4158	0.65	0.4558
<b>B:Cushuro</b>	0.4073	1	0.4073	0.19	0.6828
<b>AA</b>	0.0444	1	0.0444	0.02	0.8917
<b>AB</b>	0.3422	1	0.3422	0.16	0.7076
<b>BB</b>	0.7678	1	0.7678	0.35	0.5778
<b>Error total</b>	10.8456	5	2.1691		
<b>Total (corr.)</b>	14.0193	10			

La figura 21 muestra la disminución del porcentaje de humedad conforme aumenta la cantidad de cascarilla de arroz, esto coincide con Aguirre et al. (2023) los porcentajes de humedad disminuyeron de 9.94 a 5.65% a medida que el porcentaje de harina de la panca de maíz aumentó (0 a 15%) así también Matos & Díaz (2022) reportaron que, a concentraciones de 0, 2.5 y 5 % de fibra de la semilla de palta los porcentajes de humedad fueron 12.20, 12.01 y 11.81%, respectivamente. La disminución de la humedad tanto de los autores reportados como el obtenido en la presente investigación se le atribuiría a la naturaleza hidrofóbica que presentan en

común estas fibras, especialmente por la presencia de celulosa, y al porcentaje utilizado de éstas, lo que originó la reducción de la afinidad de las bandejas por la humedad. Con respecto, al comportamiento de la humedad frente a la adición del cushuro, la figura 21 muestra que a cantidades menores de 4 g de esta alga la humedad presentó una ligera disminución; pero se observó lo contrario en los tratamientos en que la cantidad de cushuro adicionada a la matriz polimérica era mayor a este valor; este comportamiento podría atribuírsele a la hemicelulosa presente en el cushuro, por tener tanto fracciones solubles e insolubles en agua (Badui, 2015).

**Figura 21**

***Superficie – Respuesta para la humedad de los 11 tratamientos de las bandejas biodegradables***



La tabla 18 muestra el análisis de varianza para la capacidad de absorción de agua, dado que  $p > 0.05$ , con un nivel de significancia del 5%; no existen diferencias significativas entre las medias de los tratamientos; es decir que las cantidades de cascarilla de arroz (15.50, 15.85, 16.67, 17.48 y 17.83%), cushuro (2.16, 2.52, 3.33, 4.15 y 4.5%) e interacción no influenciaron en los 11 tratamientos, debido a que los porcentajes en que se aplicaron fueron relativamente bajos y entre ellos, la diferencia no es significativa en las bandejas biodegradables.

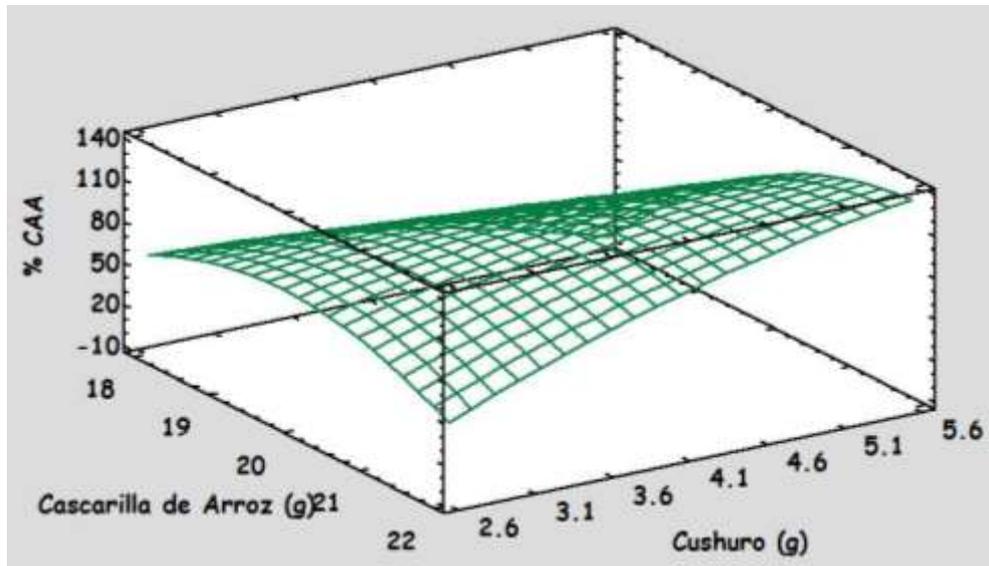
**Tabla 18****Análisis de varianza para el análisis de la CAA de los 11 tratamientos de las bandejas biodegradables**

<i>Fuente</i>	<i>Suma de Cuadrados</i>	<i>Gl</i>	<i>Cuadrado Medio</i>	<i>Razón -F</i>	<i>Valor-P</i>
<b>A:Cascarilla de Arroz</b>	1576.02	1	1576.02	3.21	0.1332
<b>B:Cushuro</b>	326.313	1	326.313	0.66	0.4520
<b>AA</b>	300.459	1	300.459	0.61	0.4695
<b>AB</b>	562.164	1	562.164	1.14	0.3335
<b>BB</b>	148.137	1	148.137	0.30	0.6064
<b>Error total</b>	2455.01	5	491.003		
<b>Total (corr.)</b>	5274.74	10			

La CAA de las bandejas luego de la inmersión en agua por 30 segundos, oscilaron entre 69.96 a 137.82%, porcentajes muy similares fueron obtenidos por Matos & Díaz (2022) estando éstos entre 56.07 a 114.13 % en bandejas de almidón de mango y semilla de palta y fibra de esta última; pero altos a los obtenidos en bandejas biodegradables de almidón de semilla de mango y harina de cáscara de mango, los cuales estuvieron entre 28.17 a 80.76% (Arevalo et al., 2023), como se puede apreciar los altos porcentajes de CAA es un problema que presentan en común las bandejas biodegradables debido a la naturaleza hidrofílica de los diferentes almidones empleados (Tapia-Blácido et al., 2022). En tanto, la figura 22 muestra el comportamiento de la CAA frente a la adición de cascarilla de arroz y cushuro en la matriz del almidón de maíz. La CAA disminuyó a medida que se incrementó la cantidad de cascarilla de arroz, la misma situación se observó con la variable humedad (figura 21) igualmente este comportamiento se le atribuye a la presencia de celulosa en la cascarilla de arroz; pues, Espina et al. (2016) explican que cuando a un material a base de almidón se incrementa fibra la capacidad de absorción de agua disminuye, debido a la presencia de celulosa, ya que ésta adopta una mejor disposición en la matriz polimérica originando al mismo tiempo una estructura menos porosa con celdas de aire más pequeñas y como consecuencia una disminución en la CAA.

**Figura 22**

***Superficie – Respuesta para la CAA de los 11 tratamientos de las bandejas biodegradables***



Por otro lado, el incremento de la CAA se reflejó con el aumento de la cantidad de cushuro (2.6 a 5.6 g), esto se atribuye posiblemente al carácter hidrofílico de éste, debido a la presencia de polisacáridos tipo hemicelulosa, pectina y  $\beta$ -glucano (Chasquibol et al. 2022), los cuales son capaces de retener entre 15 a 20% del peso en agua por la presencia del grupo hidroxilo (OH) (Badui, 2015). Así también, las proteínas presentes en el cushuro (24.74%) por las altas temperaturas a las que fueron expuestas al momento del termoprensado pudieron haberse desnaturalizado y conllevar a un aumento de la capacidad de absorción de agua, ya que ésta incrementa la accesibilidad de los aminoácidos polares, los cuales tienen afinidad por el agua, esto explicaría el aumento de la CAA en todos los tratamientos; por lo tanto, esta propiedad en las bandejas biodegradables debe mejorarse para que puedan ser adecuadas como material de embalaje de alimentos con baja humedad.

#### **4.6. Propiedades mecánicas de las bandejas biodegradables**

Según el análisis de varianza para la dureza (tabla 19), las bandejas biodegradables no presentaron valores de dureza diferentes ( $p > 0.05$ ), con un nivel de significancia del 5%; estadísticamente esto quiere decir que las

cantidades de cascarilla de arroz, cushuro e interacción no influyeron en esta variable analizada, por ser concentraciones bajas que permitieron elaborar bandejas con matrices homogéneas y durezas similares.

**Tabla 19**

***Análisis de varianza para el análisis de la dureza de los 11 tratamientos de las bandejas biodegradables***

<i>Fuente</i>	<i>Suma de Cuadrados</i>	<i>Gl</i>	<i>Cuadrado Medio</i>	<i>Razón-F</i>	<i>Valor-P</i>
<b>A:Cascarilla de arroz</b>	2.2877	1	2.28777	0.08	0.7839
<b>B:Cushuro</b>	22.4232	1	22.4232	0.82	0.4064
<b>AA</b>	4.19674	1	4.19674	0.15	0.7112
<b>AB</b>	7.11556	1	7.11556	0.26	0.6315
<b>BB</b>	2.08028	1	2.08028	0.08	0.7936
<b>Error total</b>	136.548	5	27.3096		
<b>Total (corr.)</b>	177.148	10			

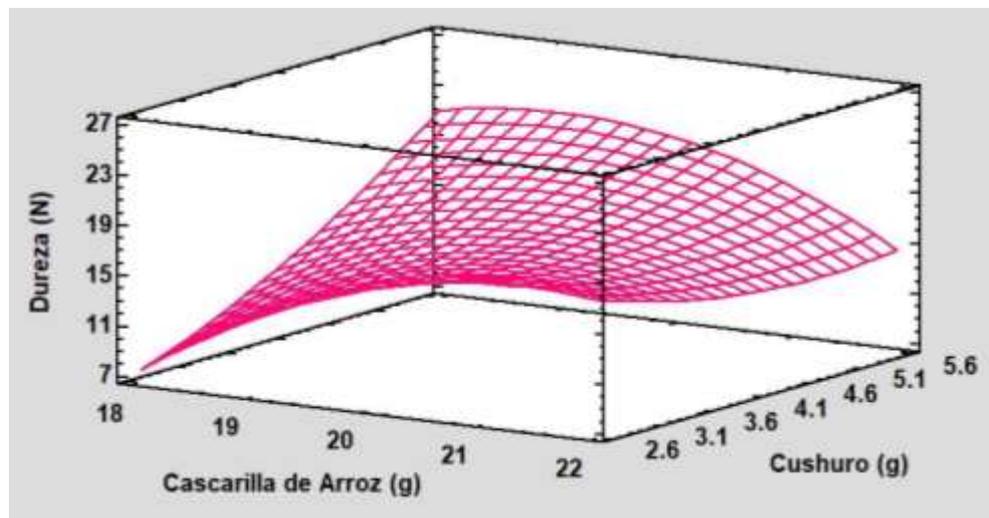
Los valores de dureza “resistencia a la perforación” de los tratamientos variaron de 11.487 a 25.391 N, estos fueron similares a 12.56 - 23.95 N obtenidos por Aguirre et al. (2023), cercanos a 19.71 - 34 N reportados por Matos & Díaz (2022); pero por debajo a los de Arevalo (2023) 44.39 a 92.18 N para bandejas de almidón y fibra de mango, quien agrega que las diferencias entre los resultados obtenidos pueden deberse al tipo y cantidad de materia prima, reactivos, tipo y porcentaje de fibra utilizada por cada investigador, coincidiendo con ella ya que estos autores utilizaron como fuente de almidón y fibra a la yuca, mango, palta en diferentes proporciones a la de esta investigación.

En la figura 23 se muestra que la dureza aumentó a medida que aumentó la cantidad de cascarilla de arroz, esto debido principalmente al contenido de celulosa que ésta contenía (37.99%), pues Cajiao et al. (2016) y Callirgos (2022) explican que la dureza es una característica de los materiales la cual depende de la cohesión y estructura de la fibra ya que actúan como un material de refuerzo debido a la fuerte unión que se desarrolla en la interfaz fibra-matriz; por lo tanto, fibras con un elevado contenido de celulosa, por lo general mejoran la resistencia de la bandeja ya que la linealidad de ésta facilita a que las moléculas se asocien fuertemente en forma paralela, lo que combinado con la matriz del almidón forman en el interior redes que mejoran

a esta propiedad mecánica. Por otro lado, el ligero aumento de la dureza que presentó la figura 23 con respecto a la adición del cushuro, se debería a la presencia tanto de proteínas (24.74%) como de polisacáridos estructurales presentes en él, coincidiendo esto último con Chiarathanakrit et al. (2019) quienes atribuyen la resistencia al impacto de las bandejas biodegradables elaboradas a la buena interacción de los polisacáridos presentes en la macroalga *Halimeda macroloba* con el almidón.

**Figura 23**

***Superficie – Respuesta para la dureza de los 11 tratamientos de las bandejas biodegradables***



Estadísticamente, no existen diferencias significativas entre las medias de los tratamientos para la fracturabilidad, por tener un nivel de significancia mayor que el 5% (tabla 20), dado que  $p > 0.05$ , es decir, las cantidades de cascarilla de arroz (18.6 a 21.4 g) y el cushuro (2.6 a 5.4 g) empleadas en la elaboración de las bandejas biodegradables no influyeron sobre la fracturabilidad.

Los valores obtenidos de fracturabilidad estuvieron entre 0.907 a 2.670 mm, similares a 1.88 – 2.43 mm registrados por Arevalo (2023), 2.07- 4.39 mm para Matos & Díaz (2022), 1.81 a 3.67 mm (Espina et al., 2016); pero muy por debajo a los reportados por Callirgos (2022) en bandejas de residuos de arroz e hidroxiapatita y Aguirre et al. (2023) en bandejas de almidón de yuca

y panca de maíz, los cuales fueron de 1.54 a 7.42 mm y 6.59 - 8.11 mm, respectivamente.

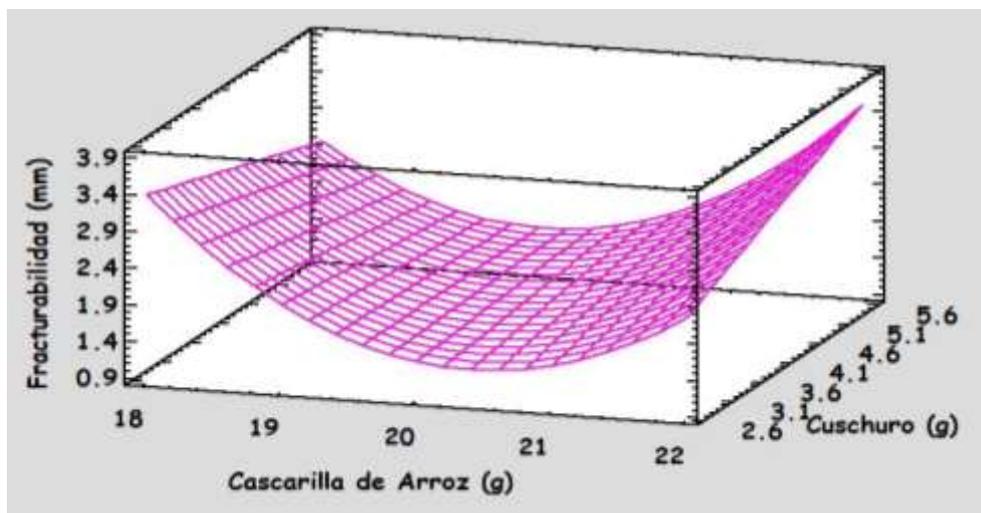
**Tabla 20**

**Análisis de varianza para el análisis de la fracturabilidad de los 11 tratamientos de las bandejas biodegradables**

Fuente	Suma de Cuadrados	Gl	Cuadrado Medio	Razón-F	Valor-P
A:Cascarilla de arroz	0.0100	1	0.0100	0.01	0.9156
B:Cushuro	0.0438	1	0.0438	0.05	0.8250
AA	0.6687	1	0.6687	0.83	0.4046
AB	0.1200	1	0.1200	0.15	0.7157
BB	8.89E-8	1	8.89E-8	0.00	0.9997
Error total	4.0390	5	0.8078		
Total (corr.)	4.9453	10			

**Figura 24**

**Superficie – Respuesta para la fracturabilidad de los 11 tratamientos de las bandejas biodegradables**



Según Lawton et al. (1999) aseguran que los porcentajes de fibra deben ser bajos, pues a mayor porcentaje de ésta genera mayor discontinuidad en la masa del almidón, lo cual ocasiona un menor desplazamiento; sin embargo, los resultados muestran que esto se cumplió parcialmente con adición de la cascarilla de arroz (figura 24) pero al incrementarse ésta por encima de los 20 g aproximadamente la integridad de la bandeja mejoró, lo cual generó un mayor desplazamiento antes de

romperse, esto fue similar a lo reportado por Espina et al. (2016) al utilizar concentraciones del 15% de peladilla de espárrago. Así también, la figura 24 muestra que al aumentar la cantidad de cushuro la integridad de las bandejas durante el desplazamiento fue mayor; es decir, la integridad de las bandejas mejoró con la adición de cushuro.

#### **4.7. Formulación óptima para elaborar bandejas biodegradables**

La formulación óptima para elaborar bandejas biodegradables, ajustada a partir de las once formulaciones y evaluadas mediante las propiedades físicas de color, espesor, humedad, capacidad de adsorción de agua y mecánicas como la dureza y fracturabilidad mostradas en los anexos 7 y 8, estuvo constituida por 18.6g (15.5%) de cascarilla de arroz y 5.4g (4.5%) de cushuro.

#### **4.8. Comparación de las propiedades físicas y mecánicas de las bandejas control, óptimo y comerciales**

Durante el proceso de formación de las bandejas, varios factores pueden afectar las propiedades de las bandejas como la composición y viscosidad del almidón, dispersión de los componentes, cristalinidad del material, etc., siendo estos factores los que influyen en el color, volumen de expansión, morfología, y, por consiguiente, en sus propiedades mecánicas y funcionales de las bandejas (Tapia-Blácido et al., 2022).

A continuación, con el fin de identificar, evaluar y comparar las propiedades físicas y mecánicas de las bandejas biodegradables con formulación óptima, de las bandejas control y comerciales se empleó la siguiente terminología:

- Control** : Bandeja elaborada solo con almidón de maíz
- Óptimo** : Bandeja elaborada con 96 g de almidón, 18.6 g de cascarilla de arroz y 5.4 g de cushuro
- Comercial (1)** : Bandeja de Tecnopor
- Comercial (2)** : Bandeja bio - form “natural cartón bagazo de caña”

- **Color**

**Tabla 21**

**Parámetros de color de bandejas control, óptimo y comercial (1)**

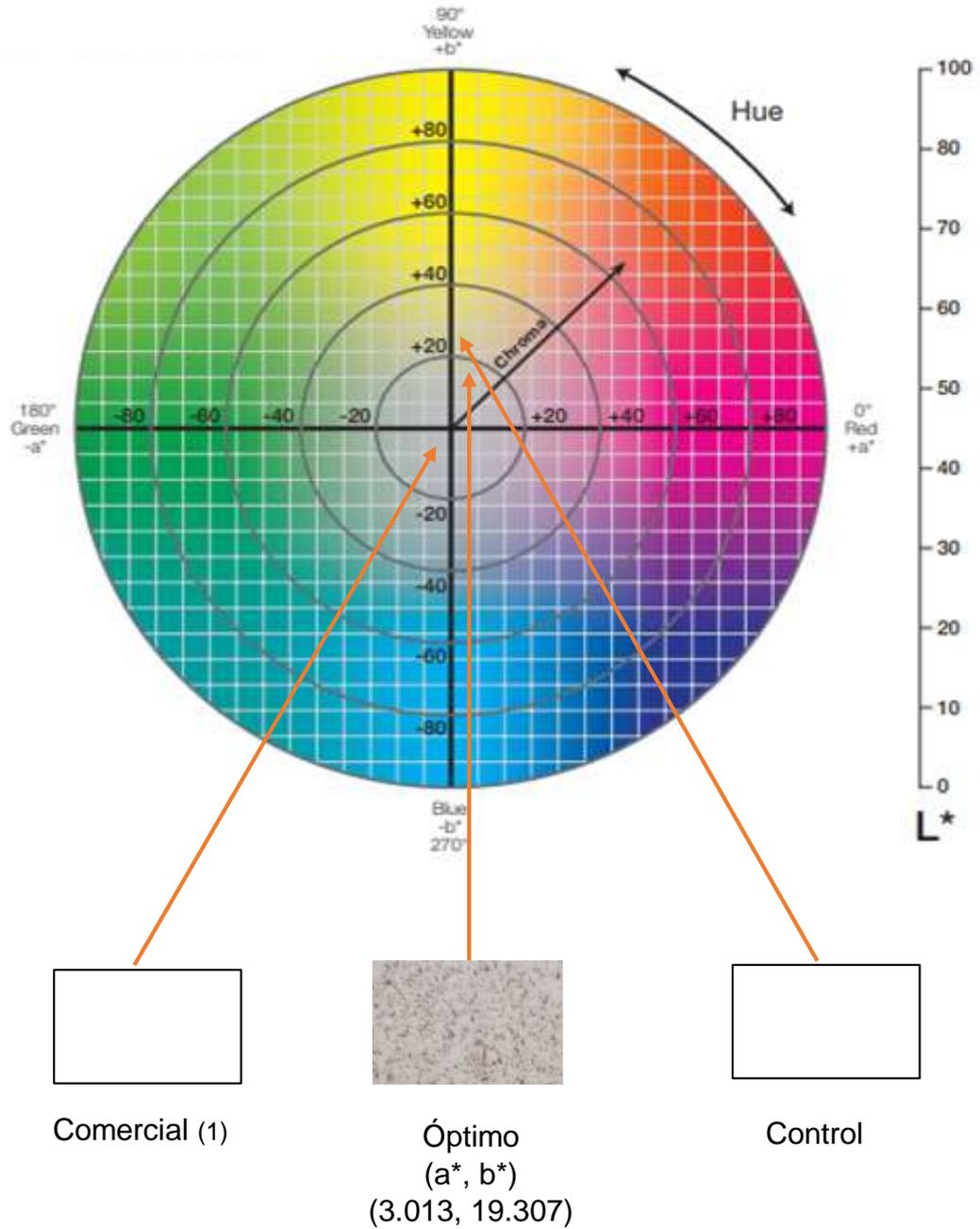
	<b>L*</b>	<b>a*</b>	<b>b*</b>
Control	74.953 ±1.967	2.428 ±0.530	23.442 ±1.517
Óptimo	59.868 ±3.319	3.013 ±0.702	19.307 ±1.414
Comercial (1)	83.117 ±0.627	-0.552 ±0.702	2.888 ±0.118

La tabla 21, muestra los parámetros de color, la cual evidencia diferencias entre el control, óptimo y comercial (1). El color de los antes mencionados fue ubicado en el diagrama de color CIElab (figura 25). El color del control, debido a que estuvo formulado sólo con almidón, fue blanco como lo son los envases de tecnopor; sin embargo, el óptimo debido a la adición de cushuro (5.38 g) resultaron de color beige oscuro con tonalidades amarillas, propias del color amarillo verdoso del cushuro seco en polvo, confirmándose lo que Machado et al. (2017) aseguran con respecto a que el color de las bandejas va a estar relacionado con el color inherente del residuo agregado.

Por otro lado, Aguirre et al. (2023) afirman que los colores oscuros de los envases suelen ser menos atractivos para los consumidores; sin embargo, según Chiarathanakrit et al. (2019) la variedad de colores es una alternativa para la producción de bandejas biodegradables ya que tienen el desafío de romper el hábito del consumidor que asocia a los envases de los alimentos con el color blanco o transparente; por lo tanto, el color beige oscuro con tonalidades amarillas adquirido por las bandejas biodegradables en esta investigación tendría una buena aceptación por los consumidores.

Figura 25

Diagrama de color CIElab del control, óptimo y comercial (1)



**Tabla 22*****Espesor, densidad, CAA, dureza y fracturabilidad de las bandejas control, óptimo y comerciales (1 y 2)***

	<b>Espesor (mm)</b>	<b>Densidad (g/cm<sup>3</sup>)</b>	<b>CAA (%)</b>	<b>Dureza (N)</b>	<b>Fracturabilidad (mm)</b>
Control	2.967 ±0.029	0.375 ±0.015	61.41 ±7.22	16.629 ±3.240	1.770 ±0.646
Óptimo	2.784 ±0.000	0.315 ±0.003	86.01 ±11.3	22.267 ±3.737	2.692 ±0.102
Comercial (1)	2.430 ±0.000	0.040 ±0.006	---	39.851 ±1.334	5.970 ±0.010
Comercial (2)	0.447 ±0.002	0.671 ±0.025	23.86 ±2.40	42.401 ±5.983	2.837 ±0.135

▪ ***Espesor, densidad, CAA, dureza y fracturabilidad de las bandejas control, óptimo y comerciales (1 y 2)***

La tabla 22 compara los valores de las propiedades físicas y mecánicas obtenidas del control, óptimo y comerciales 1 y 2, comparados entre ellos, con respecto al espesor, del óptimo resultó ser menor con respecto al control; pero al mismo tiempo fue mayor a los comerciales 1 y 2, siendo atribuido esta disminución del espesor a la presencia del cushuro en la matriz polimérica.

Por su parte, la densidad de las bandejas biodegradables elaboradas, se vieron influenciadas por la adición de cascarilla de arroz, debido a que por su naturaleza, a mayor masa, aumenta su volumen en mayor magnitud, siendo la densidad del óptimo menor que las bandejas control y mayor que el de las bandejas comerciales 1, comportamiento de la densidad aceptable, en razón que la menor densidad, permitirá obtener bandejas más livianas, fáciles de transportar y el costo de producción se reduciría.

En tanto, la Capacidad de Absorción de Agua, el control y en especial el comercial (2) presentaron una menor CAA con respecto al óptimo. La alta capacidad de absorción que presentó el óptimo se le atribuyó al carácter hidrofílico del cushuro; así como, a las proteínas desnaturalizadas que pudieron resultar al momento del termoprensado; por lo tanto, el uso del óptimo no sería recomendable para el almacenamiento de productos secos.

Por su parte, de las propiedades mecánicas, con una dureza de 22 N para las bandejas elaboradas, fue inferior al de las bandejas comerciales 1 y

2, como tal, se considera aceptable para la producción y uso comercial, esta dureza, se debe a la incorporación de cascarilla de arroz, principalmente por la presencia de celulosa, así como de las proteínas del cushuro por los polisacáridos estructurales y proteínas, que estas contienen, aumentaron el valor de la dureza del óptimo con respecto al control. Asimismo, con respecto a la fracturabilidad, el valor obtenido por el óptimo estuvo más cercano al comercial (2); es decir, las cantidades adicionadas de cascarilla de arroz y en especial del cushuro mejoraron la integridad de las bandejas propiciando un mayor desplazamiento antes de romperse, en comparación con la bandeja control.

#### **4.9. Propiedades estructurales de la bandeja biodegradable con formulación óptima**

##### **4.9.1. Espectroscopia Infrarrojo por Transformada de Fourier (FTIR) de la bandeja biodegradable con formulación óptima**

Alrededor de  $3277.17\text{ cm}^{-1}$  el espectro del óptimo muestra una ancha e intensa onda (figura 26) muy semejantes a las observadas en el almidón, cascarilla de arroz y cushuro, dicho valor se encuentra en la región espectral asociada al agua ( $3600 - 3200\text{ cm}^{-1}$ ) con predominio de las vibraciones tipo estiramiento del grupo funcional O-H, característico de los puentes de hidrógeno (Mondragón, 2017).

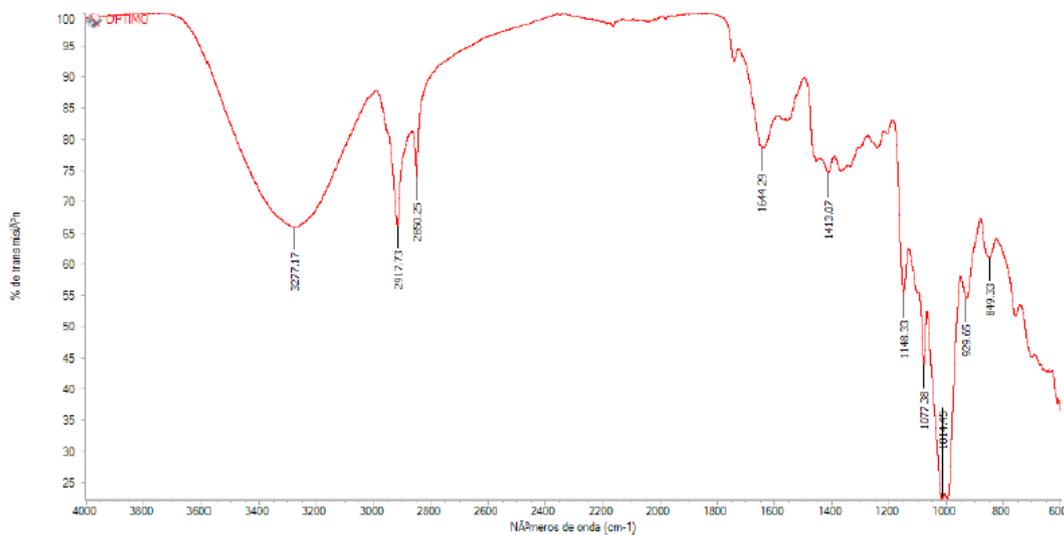
Los carbohidratos en el espectro infrarrojo ocupan dos regiones: a  $3000 - 2800\text{ cm}^{-1}$  y  $1400 - 800\text{ cm}^{-1}$ , en la primera región se dan vibraciones de estiramiento C – H y en la segunda una combinación de estiramiento y flexión (Mondragón, 2017). La figura 26 muestra los picos a  $2917.73$  y  $2850.25\text{ cm}^{-1}$  ubicados en la primera región y  $1148.33$ ,  $1077.38$ ,  $1014.45$ ,  $929.65$  y  $849.33\text{ cm}^{-1}$  en la segunda. Según Bolio-López (2018) el pico ubicado a  $1014\text{ cm}^{-1}$  podría relacionarse a la presencia de amilosa y amilopectina contenida en el almidón de maíz y los picos alrededor de  $1000\text{ cm}^{-1}$  a la transición cristalina – amorfa del almidón.

Finalmente, la figura 26 muestra un pico a  $1644.29\text{ cm}^{-1}$  el cual puede asociarse al estiramiento del CO (amida I) debido al contenido proteico que le estaría aportando el cushuro; así también, este pico se encuentra dentro del

rango de 1656 a 1640  $\text{cm}^{-1}$ , rango asociado con la flexión O - H de la molécula de agua absorbida en las regiones amorfas del almidón, ya que la alta porosidad de los gránulos del almidón facilita el ingreso del agua especialmente a la región amorfa (Wang et al., 2016). Por lo tanto, el análisis FTIR confirmó la presencia e interacción entre los componentes que intervinieron en la formulación del óptimo como fueron: agua, carbohidratos y proteínas.

**Figura 26**

**Espectro infrarrojo de la bandeja biodegradable con formulación óptima**



#### 4.9.2. Difracción de Rayos X de la bandeja biodegradable con formulación óptima

La figura 27 muestra los grados de cristalinidad y la tabla 23 los porcentajes de las fases cristalina y amorfa de las que estaba compuesta el óptimo.

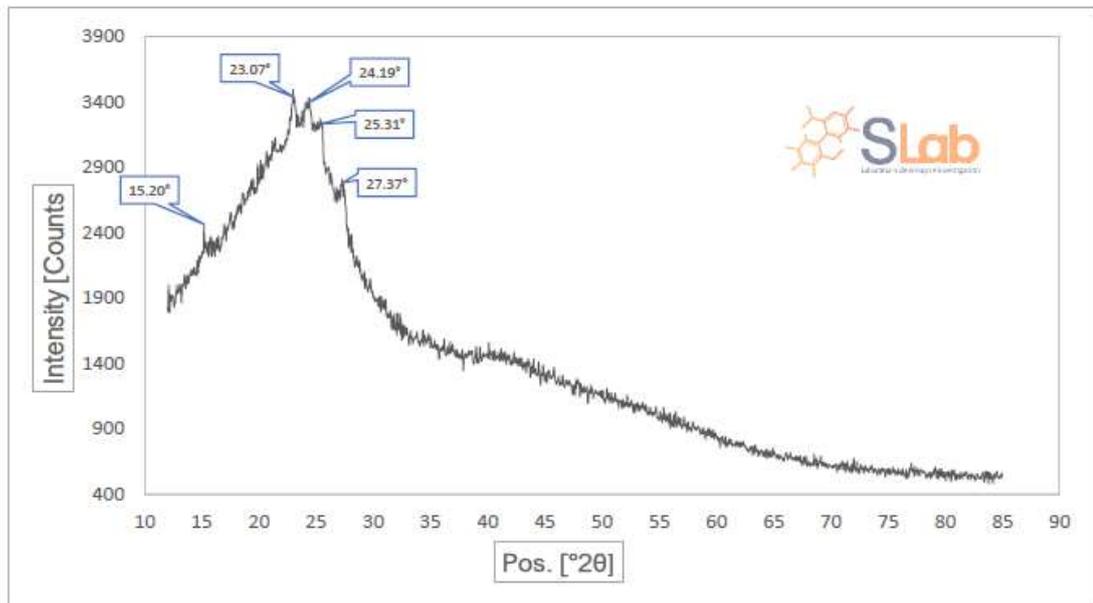
**Tabla 23**

**Fases del difractograma de la bandeja biodegradable con formulación óptima**

Fase	%
Cristalinidad	<10
Amorfa	>90

**Figura 27**

***Difractograma de la bandeja biodegradable con formulación óptima***



Los picos de difracción de  $2\theta$  registrados en la figura 26 fueron=  $15^\circ$ ,  $23^\circ$ ,  $24^\circ$ ,  $25^\circ$  y  $27^\circ$ ; el patrón de difracción obtenido podría considerarse como una mezcla de los tipos de difracción A y B (figura 1). Quintero et al. (2013) puntualiza que los picos característicos del patrón A son:  $2\theta = 15^\circ$ ,  $17^\circ$  y  $23^\circ$  y son propios de los almidones de los cereales. Según se muestra en el difractograma los picos  $15^\circ$  y  $23^\circ$  corresponderían al almidón de maíz. La estructura cristalina de este tipo de patrón tiene un arreglo de dobles hélices densamente compactadas, de bajo contenido de agua y simetría monoclinica (Maldonado-Astudillo et al., 2021). Los picos de  $24^\circ$  y  $27^\circ$  obedecen al patrón tipo B, con una estructura menos compacta, mayor cantidad de agua y con un cristal tipo hexagonal, presente en los tubérculos; sin embargo, Bolio-López (2018) afirma que el pico de  $2\theta = 24^\circ$ , es propio de la celulosa, entonces este pico correspondería a la celulosa presente en la cascarilla de arroz.

Por otro lado, la celulosa al igual que el almidón presenta zonas cristalinas y amorfas. La celulosa aparte de los enlaces glucosídicos forma puentes de hidrógeno intramoleculares e intermoleculares, estos puentes de hidrógeno son los responsables de la alta cohesión molecular, formando zonas ordenadas unidas por regiones amorfas (Badui, 2015).

Durante el termoprensado, debido al comportamiento de los almidones, pueden ocurrir cambios estructurales en la región amorfa: gelatinización (Cruz-Tirado et al., 2019). Aguilar & Tapia-Blácido (2023) agregan mencionan que los almidones con altas proporciones de amilopectina se gelatinizan eficazmente lo que induce una menor cristalinidad; por lo tanto, la menor cristalinidad (<10%) estuvo justificada ya que el porcentaje de amilopectina presente en el almidón de maíz era de 74.7%, lo cual dio como resultado un material semicristalino cuyos patrones de difracción se encontraban predominantemente en la región amorfa (>90%); estos resultados coincidieron con los reportados por Mello & Mali (2014), Machado et al. (2017) y Arevalo (2023).

#### **4.9.3. Microscopía Electrónica de Barrido (SEM) de la bandeja biodegradable con formulación óptima**

Las micrografías de barrido de la sección superficial del óptimo se presentan en la figura 28, la cual muestra una superficie compacta y porosa que encierra a células pequeñas.

Durante el termoprensado, el agua presente en la mezcla se evapora y difunde en el material, formando una mezcla de vapor de agua y matriz polimérica (Aguilar & Tapia-Blácido, 2023). La formación de células comienza cuando el sistema saturado se sobresatura con vapor de agua, debido a un aumento de temperatura o una caída de presión (Machado et al., 2017). Las células de aire logran crecer hasta cuando el almidón gelatinizado se solidifica, formando una masa que adopta la forma del molde, para luego pasar a la evaporación y secado de la bandeja (Cruz-Tirado et al., 2019). El tiempo empleado en el termoprensado fue de 3 minutos, tiempo en el que se logró obtener tamaños de poro en promedio de 64  $\mu\text{m}$ , longitud mínima y máxima de 18 y 171  $\mu\text{m}$ , respectivamente, mucho menor a los reportados por Aguirre et al. (2023) y Arevalo (2023) los cuales fueron en promedio 370.19  $\mu\text{m}$  y 970.59  $\mu\text{m}$ , respectivamente.

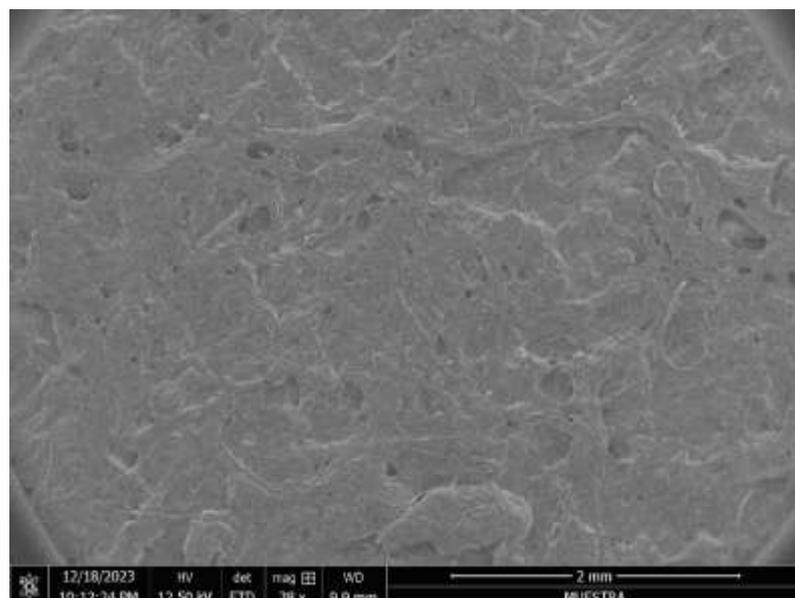
Los almidones con altas proporciones de amilopectina además de influir en una menor cristalinidad también forman células de aire más expandidas con paredes celulares más delgadas (Aguilar & Tapia-Blácido,

2023); sin embargo, esto no coincide con lo que mostraba la microscopía, pues los tamaños de éstas eran pequeñas; a pesar, que los altos porcentajes de capacidad de absorción de agua pudieron haber sugerido la presencia de grandes y numerosas células de aire, la formación de estas células pequeñas de aire pudo deberse a la presencia de la cascarilla de arroz, ya que el tipo de residuo lignocelulósico empleado, debido a que las fibras tienen una estructura más rígida que el almidón generan una masa con menor capacidad de expansión (Aguilar & Tapia-Blácido, 2023).

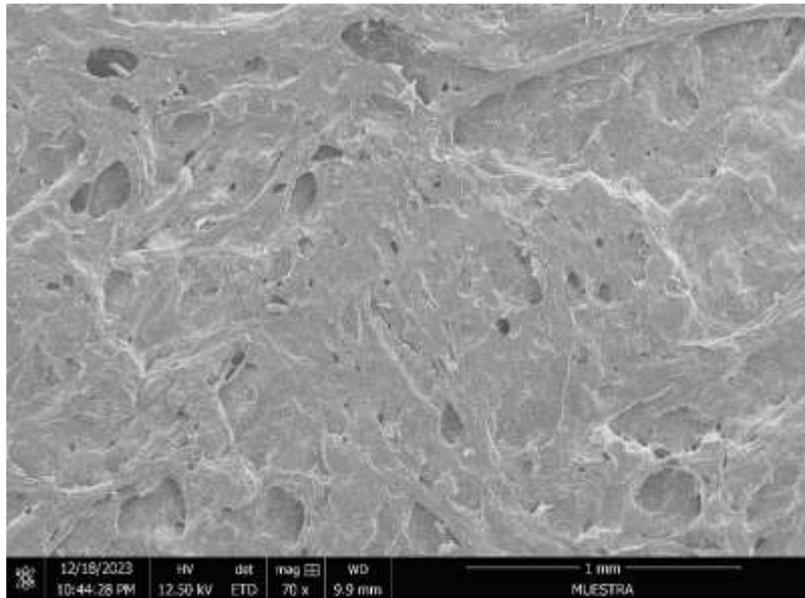
Las células pequeñas de aire que se muestran en las micrografías habrían sido resultado de una completa gelatinización del almidón de maíz, la presencia y cantidades utilizadas de cascarilla de arroz, la viscosidad y la desnaturalización de las proteínas presentes en el cushuro, ya que éstas, dependiendo de la desnaturalización proteica y la gelatinización del almidón durante el termoprensado, pueden formar complejos almidón-proteína afectando la microestructura y propiedades de la bandeja (Cruz-Tirado et al., 2019); todo esto habría influenciado en la homogeneidad y grado de compactación de la bandeja (figura 28) como resultado de una buena distribución e interacción de la cascarilla y el cushuro por toda la matriz polimérica.

### **Figura 28**

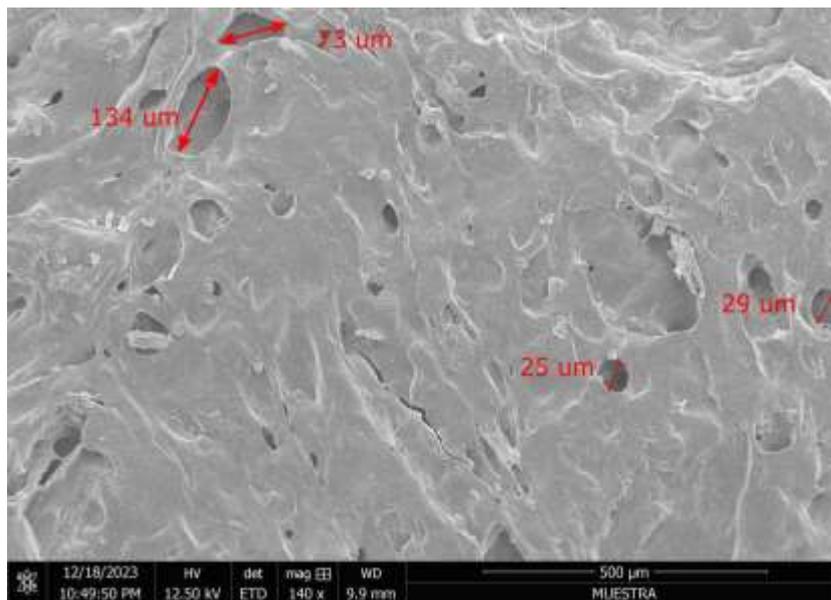
#### ***Micrografías SEM de la bandeja biodegradable con formulación óptima***



**Zona de análisis - 38X**



**Zona de análisis - 70X**



**Zona de análisis - 140X**

#### **4.10. Vida útil de fresas almacenadas en bandejas biodegradables con formulación óptima**

##### **4.10.1. Revestimiento de las bandejas biodegradables con cera de abeja**

Debido al alto porcentaje de capacidad de absorción de agua que presentó la bandeja biodegradable el cual fue 86.01%, fue necesario aplicarle un revestimiento con cera de abeja con el propósito de reducir el

transporte de moléculas de agua de la fresa hacia la bandeja, ya que la cera de abeja es uno de los materiales más eficaces para reducir la permeabilidad al vapor de agua, debido a su alta hidrofobicidad y a ser sólida a temperatura ambiente (Reis et al., 2018), siendo estas características las requeridas para disminuir la absorción de agua en la bandeja biodegradable.

Por otro lado, Hosseini et al., (2023) mencionan que en los últimos años se ha demostrado la eficacia de la cera de abeja como recubrimiento comercial de frutas, lo que ha permitido mantener la firmeza, reducir la pérdida de peso e incidencia de pudriciones, prolongar la vida útil en almacenamiento de diversas frutas. Se entiende que estos efectos se dan cuando la cera se encuentra recubriendo a la fruta; pero al estar las fresas en contacto con la superficie de la bandeja la cual se encontraba revestida con cera de abeja también habría influido positivamente durante el almacenamiento de la fresa.

#### **4.10.2. Composición química del aceite esencial de eucalipto**

La tabla 24 muestra los 60 compuestos identificados en el aceite esencial clasificados de la siguiente manera: 82.86% monoterpenos (19.00% hidrogenados y 63,86% oxigenados), 11.54% sesquiterpenos (7.57% hidrogenados y 3.97% oxigenados), y otros 5.57%, siendo los principales compuestos identificados el (+) - 2 - bornanona (28.40%), eucalyptol (26.40%) y  $\alpha$ -pineno (6.63%). Estos resultados difieren con Azadbakht et al. (2018) y Pedrotti et al. (2019) quienes reportaron como componentes mayoritarios al eucalyptol (1,8 cineol) en porcentajes de 58.1 y 68.26% y al  $\alpha$ -pineno con 3.3 y 16.24%, respectivamente. Así también, Elaissi et al. (2012) al comparar la composición química de 8 especies de eucalipto obtuvo como componentes mayoritarios al 1,8 cineol (4.5 a 70.4%), seguido de cryptone (0 a 20.9%) y  $\alpha$ -pineno (1 a 17.6%) entre otros. Estos autores no reportaron al (+) - 2 - bornanona; sin embargo, El Guerrouj et al. (2023) encontraron el impacto de la altitud del cultivo sobre la composición química del aceite esencial de *E. globulus*, los cuales reportan la presencia del (+) - 2 - bornanona en un 5.26% a 380 m de altitud en comparación de 950 m donde no se encontró; por lo tanto, los componentes mayoritarios presentes en el aceite esencial de eucalipto dependen de la zona geográfica, región, edad de la planta, parte de

la planta utilizada (raíces, tallos, hojas, etc), temporada de cosecha, método de secado y método de extracción (Salanță & Cropotova, 2022).

**Tabla 24**

***Composición química del aceite esencial de Eucalyptus globulus identificados por cromatografía de gases y espectrometría de masas***

	%	Compuesto	Fórmula
	0.14	trans-β-Ocimene	C <sub>10</sub> H <sub>16</sub>
	0.21	Tricyclo[2.2.1.0(2,6)]heptane, 1,7,7-trimethyl-	C <sub>10</sub> H <sub>16</sub>
	0.69	Bicyclo[3.1.0]hex-2-ene, 2-methyl-5-(1-methylethyl)-	C <sub>10</sub> H <sub>16</sub>
<b>Hidrocarburos</b>	1.42	o-Cymene	C <sub>10</sub> H <sub>14</sub>
<b>Monoterpénicos</b>	2.28	Bicyclo[3.1.1]heptane, 6,6-dimethyl-2-methylene-, (1S)-	C <sub>10</sub> H <sub>16</sub>
	3.00	β-Myrcene	C <sub>10</sub> H <sub>16</sub>
	4.63	Camphene	C <sub>10</sub> H <sub>16</sub>
	6.63	α-Pineno	C <sub>10</sub> H <sub>16</sub>
<b>Subtotal</b>	<b>19.00</b>		
	0.03	Geraniol	C <sub>10</sub> H <sub>18</sub> O
	0.06	Bicyclo[3.1.1]hept-3-en-2-ol, 4,6,6-trimethyl-, [1S-(1 α, 2 β, 5 α)]	C <sub>10</sub> H <sub>16</sub> O
	0.06	trans-Ascaridol glycol	C <sub>10</sub> H <sub>18</sub> O
	0.10	Bicyclo[3.1.1]heptan-3-one, 2,6,6-trimethyl-, (1 α, 2 α, 5 α)-	C <sub>10</sub> H <sub>16</sub> O
	0.10	2-Cyclohexen-1-one, 3-methyl-6-(1-methylethyl)-	C <sub>10</sub> H <sub>16</sub> O
	0.14	cis-Dihydrocarvone	C <sub>10</sub> H <sub>16</sub> O
	0.15	Benzenemethanol, α, α, 4-trimethyl-	C <sub>10</sub> H <sub>14</sub> O
<b>Monoterpenos</b>	0.15	Cyclohexanone, 5-methyl-2-(1-methylethylidene)-	C <sub>10</sub> H <sub>16</sub> O
<b>Oxigenados</b>	0.20	Cyclohexanemethanol, α, α-dimethyl-4-methylene-	C <sub>10</sub> H <sub>18</sub> O
	0.44	Cyclohexanol, 5-methyl-2-(1-methylethenyl)-	C <sub>10</sub> H <sub>18</sub> O
	0.63	Bicyclo[3.1.1]hept-3-en-2-one, 4,6,6-trimethyl-	C <sub>10</sub> H <sub>14</sub> O
	1.13	Terpinen-4-ol	C <sub>10</sub> H <sub>18</sub> O
	1.81	α-Terpineol	C <sub>10</sub> H <sub>18</sub> O
	1.96	Bicyclo[2.2.1]heptan-2-ol, 1,7,7-trimethyl-, (1S-endo)-	C <sub>10</sub> H <sub>18</sub> O
	2.10	Linalool	C <sub>10</sub> H <sub>18</sub> O
	26.40	1,8 – cineol	C <sub>10</sub> H <sub>18</sub> O
	28.40	(+)-2-Bornanone	C <sub>10</sub> H <sub>16</sub> O
<b>Subtotal</b>	<b>63.86</b>		
	0.02	Humulene	C <sub>15</sub> H <sub>24</sub>
	0.03	1H-Cycloprop[e]azulene, 1a,2,3,4,4a,5,6,7b-octahydro-1,1,4,7-tetramethyl-,	C <sub>15</sub> H <sub>24</sub>
	0.05	α-Muurolene	C <sub>15</sub> H <sub>24</sub>
	0.08	β-Bisabolene	C <sub>15</sub> H <sub>24</sub>
	0.15	Naphthalene, 1,2,3,4,4a,5,6,8a-octahydro-7-methyl-4-methylene-1-(1-methyl	C <sub>15</sub> H <sub>24</sub>

<b>Hidrocarburos</b>	0.20	Copaene	C <sub>15</sub> H <sub>24</sub>
<b>Sesquiterpénicos</b>	0.26	γ-Murolene	C <sub>15</sub> H <sub>24</sub>
	0.27	Naphthalene, 1,2,3,5,6,8a-hexahydro-4,7-dimethyl-1-(1-methylethyl)-, (1S-c	C <sub>15</sub> H <sub>24</sub>
	1.59	Humulene	C <sub>15</sub> H <sub>24</sub>
	4.92	Caryophyllene	C <sub>15</sub> H <sub>24</sub>
<b>Subtotal</b>	<b>7.57</b>		
	0.03	(1R,2S,6S,7S,8S)-8-Isopropyl-1-methyl-3-methylenetricyclo[4.4.0.0 <sup>2,7</sup> ]deca	C <sub>15</sub> H <sub>24</sub> O
	0.04	1H-Cycloprop[e]azulene, decahydro-1,1,7-trimethyl-4-methylene-	C <sub>15</sub> H <sub>24</sub> O
	0.04	Caryophyllene oxide	C <sub>15</sub> H <sub>24</sub> O
	0.06	(1R,7S,E)-7-Isopropyl-4,10-dimethylenecyclodec-5-enol	C <sub>15</sub> H <sub>24</sub> O
	0.09	Caryophylla-4(12),8(13)-dien-5.alpha.-ol	C <sub>15</sub> H <sub>24</sub> O
<b>Sesquiterpenos</b>	0.12	Caryophyllene oxide	C <sub>15</sub> H <sub>24</sub> O
<b>Oxigenados</b>	0.17	1H-Cycloprop[e]azulene, decahydro-1,1,7-trimethyl-4-methylene-	C <sub>15</sub> H <sub>24</sub> O
	0.22	1H-Cycloprop[e]azulene, decahydro-1,1,7-trimethyl-4-methylene-	C <sub>15</sub> H <sub>24</sub> O
	0.47	(1R,3E,7E,11R)-1,5,5,8-Tetramethyl-12-oxabicyclo[9.1.0]dodeca-3,7-diene	C <sub>15</sub> H <sub>24</sub> O
	2.73	Caryophyllene oxide	C <sub>15</sub> H <sub>24</sub> O
<b>Subtotal</b>	<b>3.97</b>		
	0.02	3-Penten-2-one, 4-methyl-	C <sub>6</sub> H <sub>10</sub> O
	0.16	3-Hexen-2-one	C <sub>6</sub> H <sub>10</sub> O
	0.08	Methyleugenol	C <sub>11</sub> H <sub>14</sub> O
	0.03	Bicyclo[2.2.1]heptan-2-ol, 1,7,7-trimethyl-, formate, endo-	C <sub>11</sub> H <sub>18</sub> O <sub>2</sub>
	0.06	1,3-Dioxolane, 2,2-dimethyl-4,5-di-1-propenyl-	C <sub>11</sub> H <sub>18</sub> O <sub>2</sub>
	0.02	2-Methylisoborneol	C <sub>11</sub> H <sub>20</sub> O
	0.04	2,6-Octadien-1-ol, 3,7-dimethyl-, acetate, (Z)-	C <sub>12</sub> H <sub>20</sub> O
<b>Otros</b>	0.19	α -Terpinyl acetate	C <sub>12</sub> H <sub>20</sub> O
	3.03	Bornyl acetate	C <sub>12</sub> H <sub>20</sub> O
	0.05	2-(1-Cyclopent-1-enyl-1-methylethyl)cyclopentanone	C <sub>13</sub> H <sub>20</sub> O
	0.09	5,9-Undecadien-2-one, 6,10-dimethyl-, (Z)-	C <sub>13</sub> H <sub>22</sub> O
	0.04	2,6,10-Dodecatrien-1-ol, 3,7,11-trimethyl-, acetate, (E,E)-	C <sub>17</sub> H <sub>28</sub> O <sub>2</sub>
	0.03	1,3,6,10-Cyclotetradecatetraene, 3,7,11-trimethyl-14-(1-methylethyl)-, [S-(E	C <sub>20</sub> H <sub>32</sub>
	0.42	p-Camphorene	C <sub>20</sub> H <sub>32</sub>
	1.31	m-Camphorene	C <sub>20</sub> H <sub>32</sub>
<b>Subtotal</b>	<b>5.57</b>		
	100.00		

#### 4.10.3. Caracterización fisicoquímica de la fresa fresca

La figura 29 muestra la forma de las fresas en esta investigación, las cuales fueron consideradas: cónicas (figura 3). En cuanto al grado de calidad,

pertenecieron a la categoría: Primera, según la NTP 011.011 1975 (revisada el 2019).

## Figura 29

### Forma típica de las fresas



La tabla 25, reporta las características fisicoquímicas iniciales de la fresa antes, de ser almacenadas y evaluadas. Con respecto al color, Gonzales-Araiza et al. (2017) mencionan que la medición objetiva de éste está relacionada especialmente con las coordenadas L\* y a\*, las cuales fueron  $28.346 \pm 1.296$  y  $23.202 \pm 2.756$ , respectivamente. En cuanto al índice de color (IC) de las fresas frescas fue rojo intenso y cubría todo el fruto, según López-Valencia et al. (2018) el índice de color obedece a la coloración de la epidermis de la fruta.

## Tabla 25

### Caracterización fisicoquímica de la fresa en el día cero

Parámetro	Unidad	Valor
Luminosidad	L	$28.346 \pm 1.296$
Coordenada cromática a*	a	$23.202 \pm 2.756$
Coordenada cromática b*	b	$8.667 \pm 1.902$
Peso	g	$20.553 \pm 3.162$
Largo	cm	$3.930 \pm 0.373$
Ancho	cm	$2.965 \pm 0.218$
Firmeza	N	$2.733 \pm 0.485$
pH		$3.398 \pm 0.089$

El diámetro de las fresas fue de 29 mm muy semejantes a los reportados por Gonzales-Araiza et al. (2017), según la NTP 011.011 1975 (revisada el 2019) las fresas por tener este diámetro son consideradas de

calibre “D”. Con respecto, al peso 20.553 g y largo 3.930 cm, se encontraron por encima a los reportados por Ruiz et al. (2016) y por debajo a los de López-Valencia et al. (2018); en cuanto a la firmeza esta fue 2.733 N, valor semejante a lo reportado por Gonzales-Araiza et al. (2017) y por último, 3.398 como valor promedio de pH, el cual estaba por debajo al de 3.5 obtenido por Ruiz et al. (2016), estas diferencias entre los valores obtenidos y los reportados por los autores consultados pueden ser entendidas por los factores que generan variación en las características fisicoquímicas de la fresa como la variedad, clima, lugar de producción, tiempo de cosecha, etc (López-Valencia et al., 2018).

En cuanto al recuento inicial de mohos en la fresa después de ser lavada y desinfectada fue de  $1.0 \times 10^4$  UFC/g, con el cual se garantizó la calidad sanitaria de la fresa, pues este valor se encontró dentro del rango aceptable de  $10^3 - 10^5$  UCF/g para frutas y hortalizas, según Westhoff & Frazier (1993), el cual también agrega que un valor superior a  $10^5$  UFC en un alimento a pesar de no saber si los microorganismos son patógenos o no, debe ser considerado como no apto para el consumo humano.

#### **4.10.4. Cambios en los atributos físico-químicos y microbiológicos de la fresa almacenada en bandejas biodegradables con formulación óptima**

A lo largo de los 9 días de almacenamiento, se retiraron muestras de los tratamientos: control y FRAE para medir los parámetros de peso, color, firmeza, pH y carga microbiana.

- **Color**

La tabla 26 muestra el cambio de color de la superficie de la fresa, a través de  $L^*$ ,  $a^*$ ,  $b^*$  y  $\Delta E$ , los cuales disminuyeron de manera más acentuada en las FRAE con respecto al día 0, resultando en fresas menos rojas al final del almacenamiento, lo cual se habría originado debido al descenso de los constituyentes químicos como antocianos, carotenos, xantofilas y flavonoides (Ruiz et al., 2016); así como, al deterioro de la fruta durante el proceso de senescencia, siendo esto lo que ocasiona la pérdida de calidad en la fresa a lo largo del almacenamiento (Cheng et al., 2023).

**Tabla 26**

**Valores de L\*, a\*, b\* y  $\Delta E$  en el control y las FRAE almacenadas a 8 °C durante 9 días**

	Días	L*	a*	b*	$\Delta E$
<b>Control</b>	0	28.346 $\pm$ 1.296	23.202 $\pm$ 2.756	8.667 $\pm$ 1.902	0
	3	15.002 $\pm$ 2.830	12.238 $\pm$ 1.866	4.463 $\pm$ 0.949	17.775
	6	18.974 $\pm$ 2.807	14.096 $\pm$ 2.531	4.790 $\pm$ 1.136	13.630
	9	18.328 $\pm$ 2.661	15.348 $\pm$ 3.360	5.308 $\pm$ 1.192	13.165
<b>FRAE</b>	0	28.346 $\pm$ 1.296	23.202 $\pm$ 2.756	8.667 $\pm$ 1.902	0
	3	22.380 $\pm$ 2.789	13.436 $\pm$ 2.335	4.210 $\pm$ 0.733	15.325
	6	17.312 $\pm$ 2.760	13.293 $\pm$ 3.316	4.803 $\pm$ 0.994	12.281
	9	15.269 $\pm$ 2.612	10.157 $\pm$ 2.520	3.591 $\pm$ 0.976	19.155

La  $\Delta E$  muestra un aumento significativo para las FRAE (tabla 26), estos cambios son el resultado de la variación L\*, a\* y b\* que se registraron durante el almacenamiento, evidenciándose un pronunciado cambio de color, lo que resultó en fresas oscuras, sin brillo y con apariencia de sobremadura, siendo más acentuado en las FRAE en el día 9 (figura 30); por lo tanto, la adición del aceite de eucalipto no influyó positivamente en la conservación del color de las fresas, más bien tuvo un comportamiento muy similar a resultados de fresas refrigeradas a 5 y 8 °C reportados por Ruiz et al. (2016) y García & Pinzón (2016), en donde la variación del color se vio afectada por la temperatura y tiempo de almacenamiento. Además, Ruiz et al. (2016) agregan que la pérdida de brillo en la superficie de las fresas, durante el almacenamiento, está relacionada directamente con la pérdida de peso; sin embargo, la pérdida de peso registrada en las fresas almacenadas en las bandejas biodegradables con formulación óptima fue menor al 1%.

**Figura 30**

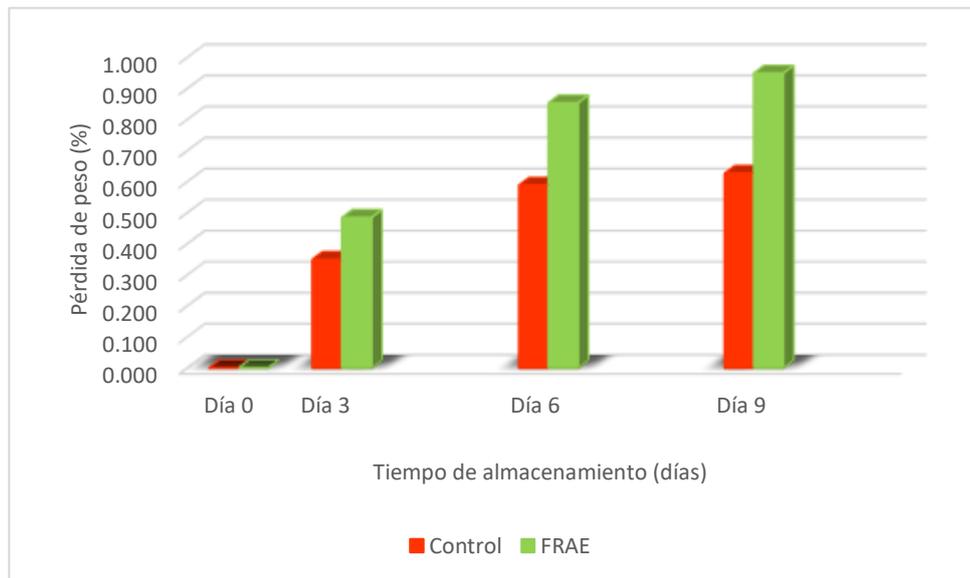
**Evolución del color de las fresas durante 9 días de almacenamiento a 8 °C**

	<b>Control</b>	<b>FRAE</b>
<b>Día 0</b>		
<b>Día 3</b>		
<b>Día 6</b>		
<b>Día 9</b>		

- **Control de la Pérdida de peso**

**Figura 31**

**Control de la pérdida de peso (%) del control y FRAE durante 9 días de almacenamiento a 8 °C.**



La pérdida de frescura en las frutas es un indicador de la pérdida de peso la cual se da por la migración del agua al medio ambiente a través de los estomas durante la transpiración (Laala et al. 2023). La figura 31, muestra que ambos tratamientos presentaron una pérdida de peso durante los 9 días de almacenamiento, siendo más acentuada en las FRAE, coincidiendo con Cheng et al. (2023) pues el tratamiento en el cual rociaron a las fresas con aceite de eucalipto presentaron una pérdida de peso de 3.8% en comparación a 1.7% en el tratamiento donde las fresas fueron cubiertas con una película nanofibrosa, en donde el 1,8 cineol se encontraba encapsulado, los autores atribuyeron este resultado al daño celular de las fresas causado por el rociado del aceite de eucalipto; esto explicaría la causa de que la pérdida de peso en las FRAE haya sido más acentuada en comparación al control .

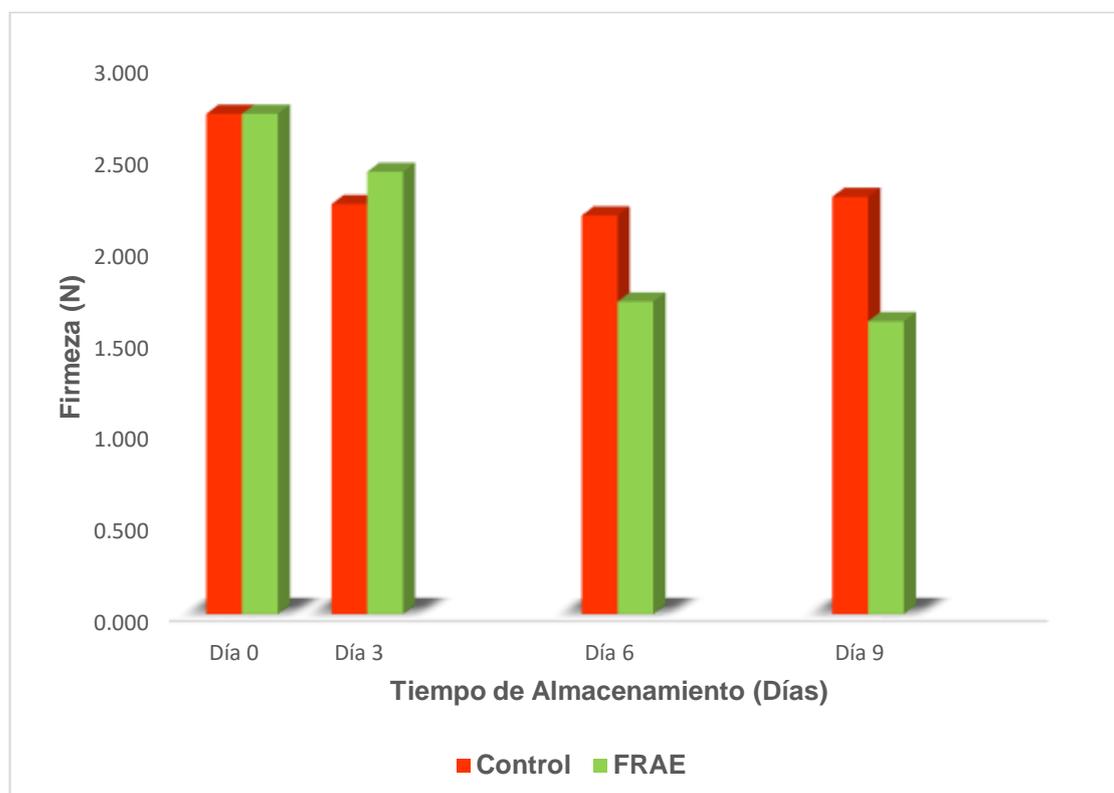
Por otro lado, los resultados de pérdida de peso (< 1%) obtenidos en esta investigación coincidieron con Ruiz et al. (2016) quienes concluyeron que esta menor pérdida de peso se debe a la temperatura de refrigeración, ya que las bajas temperaturas ejercen un control sobre la tasa de respiración y por

ende sobre la evolución de la pérdida de peso; para esta investigación además, de la temperatura de refrigeración (8 °C) a la que estaba almacenada la fresa, se podría considerar el uso de bolsas de polipropileno empleadas en el envasado de las bandejas biodegradables que contenían a las fresas, humedad relativa (85%) de almacenamiento y al revestimiento de la bandeja biodegradable con cera de abeja, a pesar que esta no se encontraba recubriendo a la fresa, también habría podido influir en la menor pérdida de peso que presentaron las fresas, durante el almacenamiento.

- **Firmeza**

**Figura 32**

**Firmeza (N) del control y FRAE durante 9 días de almacenamiento a 8 °C**



La firmeza de las FRAE disminuyó (2.7 a 1.6 N) de manera más pronunciada que las del control durante los 9 días de almacenamiento (figura 32). Las fresas rociadas con aceite esencial de eucalipto presentaron al día 3 una pequeña disminución de la firmeza, pero más severa a partir del sexto día, coincidiendo esto con Cheng et al. (2023) quienes aseveran que las células superficiales de la fresa se dañaron al ser rociadas con 1,8 cineol.

Xylia et al. (2022) consideran que  $\alpha$ -pineno y el 1,8 cineol, son los responsables de la eficacia de los aceites esenciales sobre la firmeza de la fruta, ya que reduce la pérdida de agua de las células y la conversión de la pectina, manteniendo la resistencia mecánica de la pared celular y, por lo tanto, la estructura celular de la fruta. Sin embargo, a pesar que estos componentes estaban presentes en el aceite esencial de eucalipto y la pérdida de agua fue menor, la disminución de la firmeza de la fresa se vio afectada por el método (rociado) en que fue aplicado el aceite.

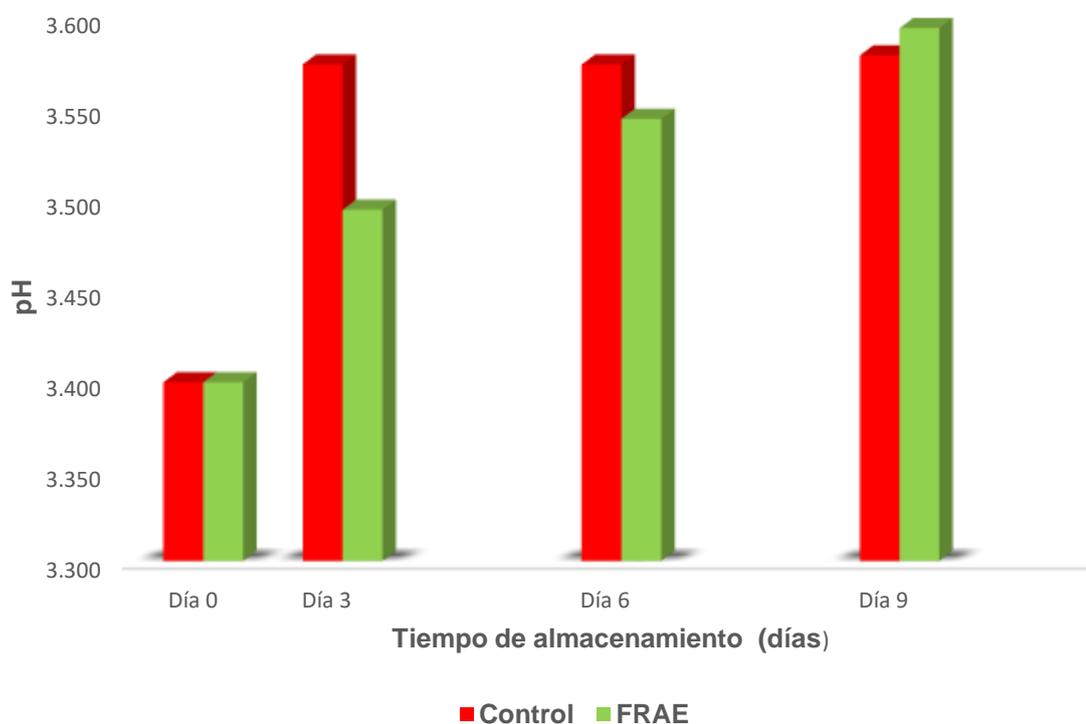
Por otro lado, Saleh & Abu-Dieyeh (2022) agregan que la disminución de la firmeza es un indicador de destrucción en la estabilidad de las paredes celulares, consecuente pérdida de agua por rompimiento de las células y la propia senescencia del fruto, en especial de los no climatéricos como la fresa; según esto, la disminución de la firmeza tanto para las FRAE como para el control habría disminuido a causa del inicio de la senescencia de las fresas durante el almacenamiento.

- **pH**

Los resultados del pH de la pulpa de las fresas a lo largo de los 9 días de almacenamiento se muestran en la figura 33. A partir del día 3 el pH se incrementó tanto para el control como FRAE. Cheng et al. (2023) explican que el incremento del pH se debe a la degradación de los ácidos málico y cítrico dentro de las células; así también, Ruiz et al. (2016) afirman que los responsables del incremento del pH son los iones  $H^+$ , debido a que participan en la formación de sacarosa y glucosa, haciendo que la concentración a nivel vacuolar disminuya durante el almacenamiento y por último Gil-Giraldo et al., (2019) relaciona este incremento con el deterioro de la fresa, debido tanto a la formación de compuestos nitrogenados como a la producción de metabolitos fúngicos en la superficie de la fresa, haciendo que el pH cambie con el incremento de las UFC/g, siendo esto último lo que habría originado un ligero aumento del pH, pero sin formación de mohos sobre la superficie de la fresa, durante los 9 días de almacenamiento.

**Figura 33**

**pH del control y FRAE durante 9 días de almacenamiento a 8 °C**



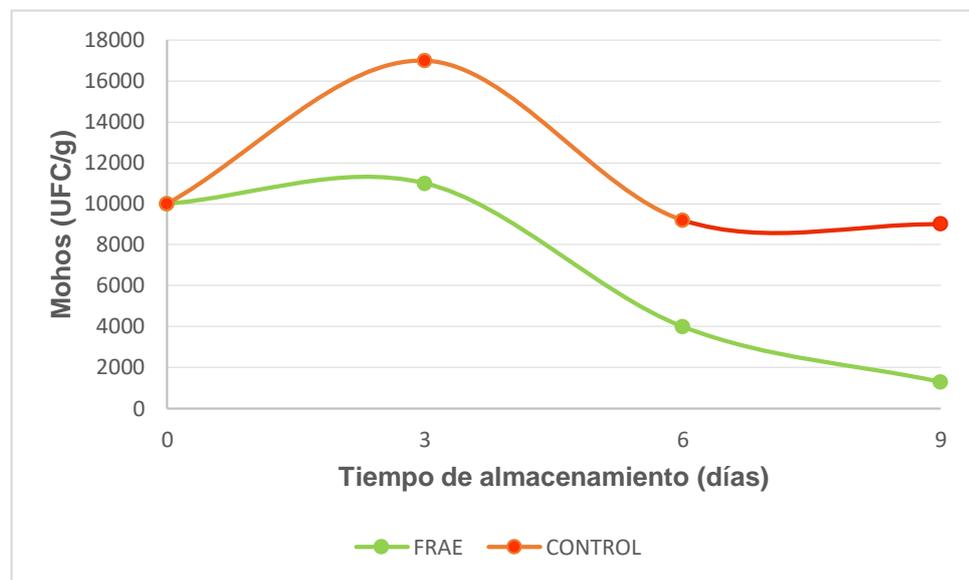
▪ **Microbiología de las fresas durante el almacenamiento**

Durante el almacenamiento, en el día 3 el recuento de mohos aumentó ligeramente para las FRAE y de manera más acentuada para el control; sin embargo, en los días 6 y 9 el recuento de mohos muestra una marcada disminución para las FRAE con relación al día cero; esto no coincidió con Cheng et al.(2023) quienes obtuvieron un rápido incremento de mohos (1.977 UFC/g a 4.557 UFC/g) en el 6<sup>to</sup> día de almacenamiento en las fresas rociadas con el 1,8 cineol, además éstas resultaron completamente cubiertas de mohos, a diferencia con esta investigación, no se observó síntomas visibles de podredumbre, ni en último día de almacenamiento (día 9). Por lo tanto, se puede aseverar que las FRAE presentaron un recuento de mohos menor que el control durante los 9 días de almacenamiento, debido a que éstas estaban rociadas con aceite esencial de eucalipto y especialmente por su composición química de éste: (+) - 2 - bornanona (28.40%), eucalyptol (26.40%) y  $\alpha$ -pineno (6.63%), aunque la actividad antimicrobiana del aceite esencial del eucalipto está vinculada al 1,8 cineol, los efectos sinérgicos de compuestos menores como  $\alpha$ -pineno también deben ser considerados (Azadbakht et al., 2018).

Además, Christaki et al. (2021) agregan que la efectividad de los aceites esenciales depende de la composición química de la matriz alimentaria, tipo de microorganismo, tipo y concentración del aceite, etc.; por lo tanto, esto indicaría que la cantidad de 0.0012 ml de aceite de eucalipto que se le aplicó a las fresas habría sido la adecuada para disminuir el recuento inicial de mohos presentes en la fresa.

**Figura 34**

**Recuento de mohos del control y FRAE durante 9 días de almacenamiento a 8 °C**



#### **4.10.5 Estimación de la vida útil de la fresa almacenada en bandejas biodegradables con formulación óptima**

Es bien sabido que el fin de la vida útil de un alimento depende de la degradación de alguna de sus características sensoriales, físicas, químicas o microbiológicas. Del análisis microbiológico realizado a las fresas y mostrado en la figura 34, se observó a través del recuento de mohos, que los niveles fueron aceptables, mientras que el color determinado organolépticamente, manifestó estar fuera de lo aceptable, siendo esta propiedad utilizada para determinar la vida útil de la fresa. Según Pinzón et al. (2020) para el caso particular de la fresa, la calidad de esta depende de la apariencia, la cual está dada por la intensidad y distribución del color rojo; pero durante el almacenamiento, el color se ve afectado debido a la acumulación de otros pigmentos.

Como se muestra en la figura 30 el color de las fresas en el sexto día aún era aceptable; es por ello que la vida útil de la fresa se estableció en 3 días más de la vida estimada a temperatura ambiente (Cheng et al., 2023).

## V. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

### 5.1. Conclusiones

- Las concentraciones óptimas que permitieron mejorar las propiedades físicas, mecánicas y estructurales de las bandejas biodegradables para prolongar la vida útil de la fresa, fueron 15.5% de cascarilla de arroz y 4.5% de cushuro.
- Las propiedades físicas de las bandejas biodegradables fueron influenciadas por las concentraciones óptimas de cascarilla de arroz y cushuro, siendo el espesor 2.784 mm, densidad 0.315 g/cm<sup>3</sup> y la capacidad de absorción de agua del 86.01%.
- Las propiedades mecánicas de las bandejas biodegradables con concentraciones óptimas fueron favorecidas por la presencia tanto de cascarilla de arroz como del cushuro, resultando la dureza 22.267 N y la fracturabilidad 2.692 mm.
- Las propiedades estructurales de las bandejas biodegradables con concentraciones óptimas de cascarilla de arroz y cushuro analizadas mediante FTIR, DRX y SEM, confirman la presencia e interacción entre moléculas de agua, carbohidratos y proteínas, una región amorfa (90>), y una buena distribución e interacción de la cascarilla y el cushuro por toda la matriz polimérica.
- Los principales componentes identificados en el aceite esencial de eucalipto fueron (+)-2-bornanone: 28.40%, eucalyptol: 26.40% y  $\alpha$ -pineno: 6.63% y otros 38.57%.

- La vida útil de la fresa rociada con aceite esencial de eucalipto almacenada en bandeja biodegradable con formulación óptima, tomando al color como factor determinante, se prolongó en 3 días a 8 °C y 85% de humedad relativa.

## **5.2. Recomendaciones**

- Elaborar bandejas biodegradables con cascarilla de arroz y cushuro, a niveles de concentración más altos y evaluar en qué magnitud variarán sus propiedades físicas y mecánicas.
- Evaluar otros métodos de aplicación del aceite esencial de eucalipto y su interacción con las bandejas biodegradables sobre la conservación de la fresa.
- Evaluar organolépticamente a las fresas rociadas con aceite esencial de eucalipto.

## VI. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS Y VIRTUALES

- Aguilar, G. J., & Tapia-Blácido, D. (2023). Evaluating how avocado residue addition affects the properties of cassava starch-based foam trays. *International Journal of Biological Macromolecules*, 240, 124348. <https://doi.org/10.1016/j.ijbiomac.2023.124348>
- Aguirre, E., Domínguez, J., Villanueva, E., Ponce-Ramirez, J. A., de Fátima Arevalo-Oliva, M., Siche, R., González-Cabeza, J., & Rodríguez, G. (2023). Biodegradable trays based on *Manihot esculenta* Crantz starch and *Zea mays* husk flour. *Food Packaging and Shelf Life*, 38. <https://doi.org/10.1016/j.fpsl.2023.101129>
- AOAC. (2019). Official Methods of Analysis of AOAC International. Official Methods of Analysis of AOAC International. <https://doi.org/10.1093/9780197610138.001.0001>
- Arevalo, M. de F. (2023). Elaboración de envases biodegradables con cáscara y semilla de mango (*Mangifera indica* L.). Repositorio Institucional - UNS. <http://repositorio.uns.edu.pe/handle/20.500.14278/4460>
- Avellán, A., Díaz, D., Mendoza, A., Zambrano, M., Zamora, Y., & Riera, M. A. (2020). Obtención de bioplástico a partir de almidón de maíz (*Zea mays* L.). *Colón Ciencias, Tecnología y Negocios*, 7(1), 1-11. <https://doi.org/10.48204/j.colonciencias.v7n1a1>
- Azadbakht, E., Maghsoudlou, Y., Khomiri, M., & Kashiri, M. (2018). Development and structural characterization of chitosan films containing *Eucalyptus globulus* essential oil: Potential as an antimicrobial carrier for packaging of sliced sausage. *Food Packaging and Shelf Life*, 17, 65-72. <https://doi.org/10.1016/j.fpsl.2018.03.007>
- Badui, S. (2015). *Química de los alimentos*. (4<sup>ta</sup> ed.). <https://fcen.uncuyo.edu.ar/upload/libro-badui200626571.pdf>
- Becerril, R., Nerín, C., & Silva, F. (2020). Encapsulation systems for antimicrobial food packaging components: An update. *Molecules*, 25(5). <https://doi.org/10.3390/molecules25051134>

- Bhardwaj, U., Dhar, P., Kumar, A., & Katiyar, V. (2014). Polyhydroxyalkanoates (PHA)-cellulose based nanobiocomposites for food packaging applications. *Food Additives and Packaging*, 1162 (19), 275-314.  
<https://doi.org/10.1021/bk-2014-1162.ch019>
- Bolio-López, G. (2018). Planta piloto para obtención de celulosa de residuos de caña de azúcar (*Saccharum spp.*) y elaboración de recipientes biodegradables. *Agro Productividad*, 10(11).  
<https://revista-agroproductividad.org/index.php/agroproductividad/article/view/64>
- Cadena, M., Molina, D., Carvajal, A., Ontaneda, D., & Morales, E. (2013). Bioprospección de macrocolonias de *Nostoc sp.* en Los Andes ecuatorianos. *Acta Botánica Venezolana*, 36 (2), 287-307.  
<https://www.redalyc.org/pdf/862/86238659013.pdf>
- Cajiao, E., Bustamante, L., Cerón, A., & Villada, H. (2016). Efecto de la gelatinización de harina de yuca sobre las propiedades mecánicas, térmicas y microestructurales de una matriz moldeada por compresión. *Información Tecnológica*, 27(4), 53-62.  
<https://doi.org/10.4067/S0718-07642016000400006>
- Callirgos, R. (2022). Efecto de la hidroxiapatita en las propiedades físicas, mecánicas y térmicas en bandejas biodegradables a partir de residuos de arroz [Tesis de Licenciatura, Universidad Nacional de Trujillo].  
<http://dspace.unitru.edu.pe/handle/UNITRU/19551>
- Chasquibol N, Sotelo A, Alarcón R. (2023). Desarrollo de Bebida en Polvo con Proteína Concentrada de Cushuro (*Nostoc commune*) y Quinoa (*Chenopodium quinoa*). *Foro de Biología y Ciencias de la Vida*, 25(1), 2.  
<https://doi.org/10.3390/blsf2023025002>
- Cheng, C., Min, T., Luo, Y., Zhang, Y., & Yue, J. (2023). Electrospun polyvinyl alcohol/chitosan nanofibers incorporated with 1,8-cineole/cyclodextrin inclusion complexes: Characterization, release kinetics and application in strawberry preservation. *Food Chemistry*, 418.  
<https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2023.135652>
- Chiarathanakrit, C., Mayakun, J., Prathep, A., & Kaewtatip, K. (2019). Comparison of the effects of calcified green macroalga (*Halimeda*

macroloba Decaisne) and commercial CaCO<sub>3</sub> on the properties of composite starch foam trays. *International Journal of Biological Macromolecules*, 121, 71-76.

<https://doi.org/10.1016/j.ijbiomac.2018.09.191>

Choque-Quispe, D., Mojo-Quisani, A., Ligarda-Samanez, C., Calla-Florez, M., Ramos-Pacheco, B., Zamalloa-Puma, L., Peralta-Guevara, D., Solano-Reynoso, A., Choque-Quispe, Y., Zamalloa-Puma, A., Palomino-Malpartida, Y., Medina-Quiquin, L., & Kari-Ferro, A. (2022). Preliminary Characterization of a Spray-Dried Hydrocolloid from a High Andean Algae (*Nostoc sphaericum*). *Foods*, 11(11), 1-15.

<https://doi.org/10.3390/foods11111640>

Christaki, S., Moschakis, T., Kyriakoudi, A., Biliaderis, C., & Mourtzinou, I. (2021). Recent advances in plant essential oils and extracts: Delivery systems and potential uses as preservatives and antioxidants in cheese. *Trends in Food Science and Technology*, 116, 264-278.

<https://doi.org/10.1016/j.tifs.2021.07.029>

Corpus-Gomez, A., Alcantara-Callata, M., Celis-Teodoro, H., Echevarria-Alarcón, B., Paredes-Julca, J., & Paucar-Menacho, L. M. (2021). Cushuro (*Nostoc sphaericum*): Habitat, physicochemical characteristics, nutritional composition, forms of consumption and medicinal properties. *Agroindustrial Science*, 11(2), 231-238.

<https://doi.org/10.17268/agroind.sci.2021.02.13>

Cruz-Tirado, J., Vejarano, R., Tapia-Blácido, D., Barraza-Jáuregui, G., & Siche, R. (2019). Biodegradable foam tray based on starches isolated from different Peruvian species. *International Journal of Biological Macromolecules*, 125, 800-807.

<https://doi.org/10.1016/j.ijbiomac.2018.12.111>

Daza Orsini, S., & Parra Aparicio, G. (2021). Espectroscopia de Infrarrojo con Transformada de Fourier (FT-IR) para análisis de muestras de harina de trigo, fécula de maíz y almidón de yuca. *@limentech, Ciencia y Tecnología Alimentaria*, 19(1).

<https://doi.org/10.24054/limentech.v19i1.1407>

- Dhital, R., Mora, N. B., Watson, D. G., Kohli, P., & Choudhary, R. (2018). Efficacy of limonene nano coatings on post-harvest shelf life of strawberries. *LWT*, 97, 124-134.  
<https://doi.org/10.1016/j.lwt.2018.06.038>
- Doria Herrera, G., Hormaza Anaguano, A., & Gallego Suarez, D. (2013). Caracterización estructural de la cascarilla de arroz modificada como adsorbente alternativo y eficiente para la remoción de Cr (VI) en solución. *Revista de Investigación Agraria y Ambiental*, 4(1), 22.  
<https://doi.org/10.22490/21456453.976>
- El Guerrouj, B., Taibi, M., Elbouzidi, A., Bouhassoun, S., Loukili, E., Moubchir, T., Haddou, M., Hammouti, Y., Khoulati, A., Addi, M., Asehrou, A., & Bellaouchi, R. (2023). The Effect of Altitude on the Chemical Composition, Antioxidant and Antimicrobial Activities of *Eucalyptus globulus Labill.* Essential Oils. *Tropical Journal of Natural Product Research*, 7(11), 5279-5285.  
<https://doi.org/10.26538/tjnpr/v7i11.37>
- El Safty AMK, B. (2020). Environmental and Health Impact of Open Burning Rice Straw. *Egyptian Journal of Occupational Medicine*, 44(3), 679-708.  
<https://doi.org/10.21608/EJOM.2020.118349>
- Elaissi, A., Rouis, Z., Salem, N., Mabrouk, S., Ben Salem, Y., Salah, K., Aouni, M., Farhat, F., Chemli, R., Harzallah-Skhiri, F., Harzallah-Skhiri, F., & Khouja, M. L. (2012). Chemical composition of 8 eucalyptus species' essential oils and the evaluation of their antibacterial, antifungal and antiviral activities. *BMC Complementary and Alternative Medicine*, 12 (81).  
<https://doi.org/10.1186/1472-6882-12-81>
- Embuscado, M., & Huber, K. (2009). *Edible Films and Coatings for Food Applications*. Springer Editorial.  
<https://www.amazon.com/-/es/Milda-Embuscado-ebook/dp/B008BBAGHC>
- Espina, M., Cruz-Tirado, J. P., & Siche, R. (2016). Mechanical properties of trays based on starch of native plant species and fiber of agroindustrial wastes. *Scientia Agropecuaria*, 07(02), 133-143.  
<https://doi.org/10.17268/sci.agropecu.2016.02.06>

- Ferreira, D. C. M., Molina, G., & Pelissari, F. M. (2020). Biodegradable trays based on cassava starch blended with agroindustrial residues. *Composites Part B: Engineering*, 183.  
<https://doi.org/10.1016/j.compositesb.2019.107682>
- Gil-Giraldo, E., Duque-Cifuentes, A. & Quintero-Castaño, V. D. (2019). Efecto del baño químico sobre la conservación de propiedades fisicoquímicas, microbiológicas y sensoriales de fresa. *Biotecnología en el Sector Agropecuario y Agroindustrial*, 17(2), 36-45.
- Golkar, A., Milani, J., Motamedzadegan, A., & Kenari, R. (2022). Modification of corn starch by thermal-ultrasound treatment in presence of arabic gum. *Scientific Reports*, 12(1).  
<https://doi.org/10.1038/s41598-022-23836-z>
- González-Araiza, J., Ortiz-Sánchez, M, Vargas-Luna, M., & Cabrera-Sixto, JM (2017). Aplicación de bioimpedancia eléctrica para la evaluación de la madurez de la fresa. *Revista Internacional de Propiedades de los Alimentos*, 20 (5), 1044-1050.  
<https://doi.org/10.1080/10942912.2016.1199033>
- Hosseini, S., Mousavi, Z., & McClements, D. (2023). Beeswax: A review on the recent progress in the development of superhydrophobic films/coatings and their applications in fruits preservation. *Food Chemistry*, 424.  
<https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2023.136404>
- ICMSF. (2006). International Commission on Microbiological Specifications for Foods.  
<https://www.icmsf.org/wp-content/uploads/2018/02/GuiaSimplificadosp.pdf>
- Jha, P. (2021). Functional properties of starch-chitosan blend bionanocomposite films for food packaging: the influence of amylose-amylopectin ratios. *Journal of Food Science and Technology*, 58(9), 3368-3378.  
<https://doi.org/10.1007/s13197-020-04908-2>
- Laala, G. E., Irshad, G., Naz, F., & Hafiz, A. A. (2023). Microencapsulation of *Eucalyptus globulus* essential oil anti-fungal sachet against blue mold on peaches. *Journal of Plant Protection Research*, 63(4), 428-439.  
<https://doi.org/10.24425/jppr.2023.147826>

- Lawton, J. W., Shogren, R. L., & Tiefenbacher, K. F. (1999). Effect of batter solids and starch type on the structure of baked starch foams. *Cereal Chemistry*, 76(5), 682-687.  
<https://doi.org/10.1094/CCHEM.1999.76.5.682>
- Lin, Y., Huang, R., Sun, X., Yu, X., Xiao, Y., Wang, L., Hu, W., & Zhong, T. (2021). The p-Anisaldehyde/ $\beta$ -cyclodextrin inclusion complexes as fumigation agent for control of postharvest decay and quality of strawberry. *Food Control*, 130.  
<https://doi.org/10.1016/J.FOODCONT.2021.108346>
- Lopez-Valencia, D., Sanchez-Gomez, M., Acuna-Caita, J. & Fischer, G. (2018). Physicochemical properties of seven outstanding strawberry (*Fragaria x ananassa Duch.*) varieties cultivated in Cundinamarca (Colombia) during maturation. *Ciencia y Tecnología Agropecuaria*, 19(1), 163-178.  
[https://doi.org/10.21930/rcta.vol19\\_num1\\_art:848](https://doi.org/10.21930/rcta.vol19_num1_art:848)
- Lu, X., Chen, J., Guo, Z., Zheng, Y., Rea, M. C., Su, H., Zheng, X., Zheng, B., & Miao, S. (2019). Using polysaccharides for the enhancement of functionality of foods: A review. *Trends in Food Science and Technology*, 86, 311-327.  
<https://doi.org/10.1016/j.tifs.2019.02.024>
- Luckachan, G., & Pillai, C. (2011). Biodegradable polymers- a review on recent trends and emerging perspectives. *Journal of Polymers and the Environment*, 19(3), 637-676.  
<https://doi.org/10.1007/s10924-011-0317-1>
- Machado, C., Benelli, P., & Tessaro, I. (2017). Sesame cake incorporation on cassava starch foams for packaging use. *Industrial Crops and Products*, 102, 115-121.  
<https://doi.org/10.1016/j.indcrop.2017.03.007>
- Maldonado-Astudillo, Y., Gutiérrez, A., Flores, Y., Arámbula-Villa, G., Flores-Casamayor, V., Jiménez-Hernández, J., Ramírez, M., Álvarez-Fitz, P., & Salazar, E. (2021). Propiedades morfométricas, fisicoquímicas y actividad antiproliferativa de maíces pigmentados de Guerrero. *Nova Scientia*, 14(27),1-26.  
<https://doi.org/10.21640/ns.v13i27.2825>

- Matos, Y., & Díaz, M. (2022). Caracterización de bandejas biodegradables de almidón y fibra de semilla de *Persea americana* y almidón de *Mangifera indica* [Tesis de Licenciatura, Universidad Nacional del Santa]. <https://repositorio.uns.edu.pe/handle/20.500.14278/3939>
- Maza-Martínez, J., Flores-Fiallos, L., Santiana-Espín, C., & Bonilla-Lucero, M. (2021). Obtención de almidón de maíz chulpi (*Zea mays amylosaccharata*). Dominio de las Ciencias, 7(3), 943-958. <https://doi.org/10.23857/dc.v7i3.2032>
- Mello, L. R. P. F., & Mali, S. (2014). Use of malt bagasse to produce biodegradable baked foams made from cassava starch. Industrial Crops and Products, 55, 187-193. <https://doi.org/10.1016/j.indcrop.2014.02.015>
- Mirmohamadsadeghi, S., & Karimi, K. (2020). Recovery of silica from rice straw and husk. Current developments in biotechnology and bioengineering: resource recovery from wastes, 411-433. <https://doi.org/10.1016/B978-0-444-64321-6.00021-5>
- Mohamed, P., y Mohamed, P. (2019). Exploration and enhancement on fuel stability of biodiesel. Advanced Biofuels, 181-213. <https://doi.org/10.1016/B978-0-08-102791-2.00008-8>
- Mondragón, P. (2017). Espectroscopia de infrarrojo para todos ...y 51 espectros de alimentos consumidos en México. Centro de Investigación y Asistencia en Tecnología y Diseño del Estado de Jalisco, A.C. [https://ciatej.mx/files/divulgacion/divulgacion\\_5a43b7c09fdc1.pdf](https://ciatej.mx/files/divulgacion/divulgacion_5a43b7c09fdc1.pdf)
- Naveda Rengifo, R., Jorge Montalvo, P., Flores del Pino, L., & Visitación, L. (2019). Lignine remotion from rice husk pretreatment by steam explosion. Revista de la Sociedad Química del Perú, 85 (3) 352-361.
- Pedrotti, C., Marcon, Â., Delamare, A., Echeverrigaray, S., Da Silva Ribeiro, R., & Schwambach, J. (2019). Alternative control of grape rots by essential oils of two eucalyptus species. Journal of the Science of Food and Agriculture, 99(14), 6552-6561. <https://doi.org/10.1002/jsfa.9936>
- Pérez, R. H., Olarte, A., Salgado, R., Salgado, A., Medrano, A. S., & Martínez, F. (2022). Manejo de la cascarilla de arroz como residuo postcosecha

- y su conversión en nanocelulosa. *Mundo Nano. Revista Interdisciplinaria en Nanociencias y Nanotecnología*, 16(30).  
<https://doi.org/10.22201/ceich.24485691e.2023.30.69697>
- Pinzón, M., Sánchez, L., García, O., Gutiérrez, R., Luna, J. & Villa, C. (2020). Aumento de la vida útil de las fresas (*Fragaria ssp*) mediante el uso de un recubrimiento comestible compuesto de almidón de plátano, quitosano y gel de aloe vera. *Revista Internacional de Ciencia y Tecnología de los Alimentos*, 55 (1), 92-98.
- Pornsuksomboon, K., Holló, B. B., Szécsényi, K. M., & Kaewtatip, K. (2016). Properties of baked foams from citric acid modified cassava starch and native cassava starch blends. *Carbohydrate Polymers*, 136, 107-112.  
<https://doi.org/10.1016/J.CARBPOL.2015.09.019>
- Quintero, V., Lucas, J., & Álzate, E. (2012). Determinación de las propiedades térmicas y composicionales de la harina y almidón de chachafruto (*erytina edulis triana ex micheli*). *Revista Temas Agrarios* , 18 (2), 21-35.
- Raval, N., Maheshwari, R., Kalyane, D., Youngren-Ortiz, S., Chougule, M., & Tekade, R. (2019). Importance of Physicochemical Characterization of Nanoparticles in Pharmaceutical Product Development. *Basic Fundamentals of Drug Delivery*, 369-400.  
<https://doi.org/10.1016/B978-0-12-817909-3.00010-8>
- Rehman, R., Hayat, U., Jilani, M. I., & Nadeem, F. (2015). A review on *Eucalyptus globulus*: A new perspective in therapeutics medicinal essential oils from plants of cypress family view project essential oils view project a review on *Eucalyptus globulus*: A new perspective in therapeutics. *International Journal of Chemical and Biochemical Sciences*, 8, 85-91.  
[www.iscientific.org/Journal.html](http://www.iscientific.org/Journal.html)
- Reis, M., Olivato, J., Bilck, A., Zanela, J., Grossmann, M., & Yamashita, F. (2018). Biodegradable trays of thermoplastic starch/poly (lactic acid) coated with beeswax. *Journal of the Industrial Crops & Products*, 112, 481-487  
<https://doi.org/10.1016/j.indcrop.2017.12.045>

- Rizal, R., Tua, L. M., & Ginting, S. B. (2020). Husk as a substitute for styrofoam plastic products manufacturing packaging. *Journal of Physics: Conference series*, 1569(3).  
<https://doi.org/10.1088/1742-6596/1569/3/032016>
- Ruiz, M., Ávila, J., & Ruales, J. (2016). Diseño de un recubrimiento comestible bioactivo para aplicarlo en la frutilla (*Fragaria vesca*) como proceso de postcosecha. *Revista Iberoamericana de Tecnología Postcosecha*, 17 (2), 276-287.  
<https://www.redalyc.org/pdf/813/81349041015.pdf>
- Salanță, L., & Cropotova, J. (2022). An update on effectiveness and practicability of plant essential oils in the food industry. *Plants*, 11(19).  
<https://doi.org/10.3390/plants11192488>
- Saleh, I., & Abu-Dieyeh, M. (2022). Novel *Prosopis juliflora* leaf ethanolic extract coating for extending postharvest shelf-life of strawberries. *Food Control*, 133.  
<https://doi.org/10.1016/j.foodcont.2021.108641>
- Saleh, I., & Al-Thani, R. (2019). Fungal food spoilage of supermarkets displayed fruits. *Veterinary World*, 12(11), 1877-1883.  
<https://doi.org/10.14202/vetworld.2019.1877-1883>
- Sánchez, L., Huamán, A., & Ángeles, J. (2022). Micro plástico: una amenaza imperceptible en la Playa Agua Dulce, distrito de Chorrillos. *Revista del Instituto de Investigación de la Facultad de Minas, Metalurgia y Ciencias Geográficas*, 25(49), 303-311.  
<https://doi.org/10.15381/iigeo.v25i49.19219>
- Sharma, S., Barkauskaite, S., Jaiswal, A., & Jaiswal, S. (2021). Essential oils as additives in active food packaging. *Food Chemistry*, 343.  
<https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2020.128403>
- Singh, N., Singh, J., Kaur, L., Sodhi, N., & Gill, B. (2003). Morphological, thermal and rheological properties of starches from different botanical sources. *Food Chemistry*, 81(2), 219-231.  
[https://doi.org/10.1016/S0308-8146\(02\)00416-8](https://doi.org/10.1016/S0308-8146(02)00416-8)
- Sivakumar, C., Chaudhry, M. M. A., Nadimi, M., Paliwal, J., y Courcelles, J. (2022). Characterization of roller and Ferkar-milled pulse flours using

laser diffraction and scanning electron microscopy. *Power Technology*, 409.

<https://doi.org/10.1016/j.powtec.2022.117803>

Srivastava, V., Singh, S., & Das, D. (2024). Development and characterization of peppermint essential oil/rice husk fibre/ corn starch active biocomposite film and its performance on bread preservation. *Industrial Crops and Products*, 208.

<https://doi.org/10.1016/j.indcrop.2023.117765>

Sun, D., Siddiqui, M., & Iqbal, K. (2019). Specialty testing techniques for smart textiles. *Smart Textile Coatings and Laminates*, 99-116.

<https://doi.org/10.1016/B978-0-08-102428-7.00004-3>

Surbhi, Kumar, A., Singh, S., Kumari, P., & Rasane, P. (2023). Eucalyptus: phytochemical composition, extraction methods and food and medicinal applications. *Advances in Traditional Medicine*, 23(2), 369-380.

<https://doi.org/10.1007/s13596-021-00582-7>

Tapia-Blácido, D., Aguilar, G. J., de Andrade, M., Rodrigues-Júnior, M., & Guareschi-Martins, F. (2022). Trends and challenges of starch-based foams for use as food packaging and food container. *Trends in Food Science and Technology*, 119, 257-271.

<https://doi.org/10.1016/j.tifs.2021.12.005>

Torres-Maza, A., Yupanqui-Bacilio, C., Castro, V., Aguirre, E., Villanueva, E., & Rodríguez, G. (2020). Comparison of the hydrocolloids *Nostoc commune* and *Nostoc sphaericum*: Drying, spectroscopy, rheology and application in nectar. *Scientia Agropecuaria*, 11(4), 583-589.

<https://doi.org/10.17268/SCI.AGROPECU.2020.04.14>

Torres-Rivero, K., Bastos-Arrieta, J., Fiol, N., y Florido, A. (2021). Metal and metal oxide nanoparticles: An integrated perspective of the green synthesis methods by natural products and waste valorization: applications and challenges. *Comprehensive Analytical Chemistry*, 433-469.

<https://doi.org/10.1016/bs.coac.2020.12.001>

Van der Oever, M., Molenveld, K., Van der Zee, M., & Bos, H. (2017). Bio-based and biodegradable plastics: facts and figures: focus on food

packaging in the Netherlands. Wageningen Food & Biobased Research, 1722.

<https://research.wur.nl/en/publications/e7bc4e7b-b1aa-49f3-bde9-281ecfa09575>

Wang, H., Lv, J., Jiang, S., Niu, B., Pang, M., & Jiang, S. (2016). Preparation and characterization of porous corn starch and its adsorption toward grape seed proanthocyanidins. *Starch Biosynthesis Nutrition Biomedical*, 68(11-12), 1254-1263.

<https://doi.org/10.1002/star.201600009>

Westhoff, D., & Frazier, W. (1993). *Microbiología de los alimentos*. (4<sup>ta</sup> ed.).

[https://www.editorialacribia.com/libro/microbiologia-de-los-alimentos\\_53822/](https://www.editorialacribia.com/libro/microbiologia-de-los-alimentos_53822/)

Xylia, P., Chrysargyris, A., Shahwar, D., Ahmed, Z., & Tzortzakis, N. (2022). Application of rosemary and eucalyptus essential oils on the preservation of cucumber fruit. *Horticulturae*, 8(9).

<https://doi.org/10.3390/horticulturae8090774>

Yuan, G., Chen, X., & Li, D. (2016). Chitosan films and coatings containing essential oils: The antioxidant and antimicrobial activity, and application in food systems. *Food Research International*, 89, 117-128.

<https://doi.org/10.1016/j.foodres.2016.10.004>

Zarate, M., & Iannaccone, J. (2021). Microplásticos en tres playas arenosas de la costa central del Perú. *Salud Ambiental.*, 21(2), 123-131.

<https://ojs.diffundit.com/index.php/rsa/article/view/1079>

## VII. ANEXOS

## ANEXO 1

### MATRIZ DE CONSISTENCIA DEL PROCESO DE INVESTIGACIÓN

Formulación del Problema	Objetivos	Hipótesis	Variable	Dimensiones
<p>¿Cuáles son las concentraciones óptimas de cascarilla de arroz y cushuro para mejorar las propiedades físicas, mecánicas y estructurales de las bandejas biodegradables que permitan prolongar la vida útil de la fresa, aplicada con aceite de eucalipto?</p>	<p><b>Objetivo General</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>Establecer las concentraciones óptimas de cascarilla de arroz y cushuro que permitan mejorar las propiedades físicas, mecánicas y estructurales de las bandejas biodegradables para prolongar la vida útil de la fresa, aplicada con aceite de eucalipto.</li> </ul> <p><b>Objetivos Específicos</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>Determinar las propiedades físicas de las bandejas biodegradables elaboradas según concentraciones óptimas de cascarilla de arroz y cushuro.</li> <li>Determinar las propiedades mecánicas de las bandejas biodegradables elaboradas según concentraciones óptimas de cascarilla de arroz y cushuro.</li> <li>Determinar las propiedades estructurales de las bandejas biodegradables elaboradas según concentraciones óptimas de cascarilla de arroz y cushuro.</li> <li>Identificar y cuantificar la composición química del aceite esencial de eucalipto a aplicarse a la fresa durante su almacenamiento en las bandejas biodegradables con concentraciones óptimas.</li> <li>Estimar el tiempo de vida útil de la fresa, aplicada con aceite de eucalipto y almacenadas en las bandejas biodegradables elaboradas con concentraciones óptimas.</li> </ul>	<p>Las concentraciones óptimas de cascarilla de arroz y cushuro son 16.67% (20 g) y 3.33% (4 g) respectivamente, las mismas que permitirán mejorar las propiedades físicas, mecánicas y estructurales de las bandejas biodegradables para prolongar la vida útil de la fresa, aplicada con aceite de eucalipto.</p>	<p><b>En elaboración de bandejas:</b></p> <p><b>Independientes</b>            Concentración de cascarilla de arroz (<math>X_1</math>)            Concentración de cushuro (<math>X_2</math>)</p> <p><b>Dependientes</b>  <b>Propiedades físicas de la bandeja</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- Color</li> <li>- Espesor</li> <li>- Densidad</li> <li>- Humedad</li> <li>- CAA</li> </ul> <p><b>Propiedades mecánicas de la bandeja</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- Dureza</li> <li>- Fracturabilidad</li> </ul> <p><b>Propiedades estructurales de la bandeja</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- FTIR</li> <li>- DRX</li> <li>- SEM</li> </ul> <p><b>En la vida útil de la fresa:</b></p> <p><b>Independientes</b>            Sin aplicación de aceite esencial de eucalipto</p> <p>Con aplicación de aceite esencial de eucalipto</p> <p><b>Dependientes</b>  <b>Atributos físico - químico</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- Pérdida de peso</li> <li>- Color</li> <li>- Firmeza</li> <li>- pH</li> </ul> <p><b>Análisis microbiológico</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- Mohos</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Concentración</li> <li>- Concentración</li> <li>- Color</li> <li>- Espesor</li> <li>- Densidad</li> <li>- Humedad</li> <li>- CAA</li> <li>- Dureza</li> <li>- Fracturabilidad</li> <li>- FTIR</li> <li>- DRX</li> <li>- SEM</li> <li>0 ml de aceite/ g de fresa</li> <li>0.0012 ml de aceite / g de fresa</li> <li>- Pérdida de peso</li> <li>- Color</li> <li>- Firmeza</li> <li>- pH</li> <li>- Mohos</li> </ul>

## ANEXO 2

---

### ACONDICIONAMIENTO DEL ALMIDÓN DE MAÍZ

---

**Molienda**



**Lavado - Reposo**



**Secado**



**Tamizado**



## ANEXO 3

---

### ACONDICIONAMIENTO DE LA CASCARILLA DE ARROZ

---

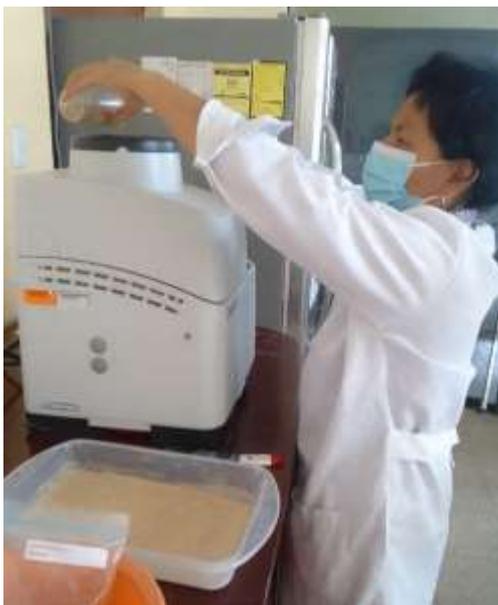
**Adquisición**



**Molienda**



**Reducción de Tamaño**



**Tamizado**



**ANEXO 4**

---

**ACONDICIONAMIENTO DEL CUSHURO**

---

**Secado**



**Secado**



**Molienda**



**Tamizado**



## ANEXO 5

---

### ELABORACIÓN DE BANDEJAS BIODEGRADABLES

---

**Pesado de Insumos**



**Boleado**



**Termoprensado**



**Formado**



## ANEXO 6

---

### VISTAS DE LA BANDEJA BIODEGRADABLE

---



**Vista Superior**



**Vista Frontal**

## ANEXO 7

### PARÁMETROS DE COLOR DE BANDEJAS BIODEGRADABLES DE CASCARILLA DE ARROZ Y CUSHURO

	<b>L*</b>	<b>a*</b>	<b>b*</b>	<b>ΔE</b>
T1	63.823 ±1.642	2.683 ±0.416	20.150 ±1.091	26.090
T2	65.385 ±2.100	2.417 ±0.497	20.360 ±0.929	25.070
T3	60.828 ±3.448	2.212 ±0.409	18.645 ±0.570	27.434
T4	60.903 ±2.703	2.173 ±0.234	19.342 ±0.931	27.777
T5	61.523 ±1.103	2.658 ±0.406	20.432 ±0.906	28.006
T6	61.045 ±1.268	2.688 ±0.233	20.018 ±0.775	28.125
T7	61.593 ±1.438	3.172 ±0.339	22.177 ±0.605	29.141
T8	60.902 ±1.793	2.545 ±0.316	19.737 ±0.488	28.052
T9	63.272 ±1.791	2.397 ±0.403	19.885 ±0.576	26.294
T10	59.782 ±1.470	3.013 ±0.502	20.580 ±1.019	29.498
T11	61.793 ±1.147	2.690 ±0.228	20.857 ±0.300	28.072

## ANEXO 8

### ESPESOR, DENSIDAD, HUMEDAD, CAA Y PROPIEDADES MECÁNICAS DE LAS BANDEJAS BIODEGRADABLES DE CASCARILLA DE ARROZ Y CUSHURO

	Espesor (cm)	Densidad (g/ cm <sup>3</sup> )	Humedad (%)	CAA (%)	Dureza (N)	Fracturabilidad (mm)
T1	2.163 ±0.001	0.311 ±0.015	4.67 ±0.471	75.64 ±3.74	13.556 ±3.544	2.670 ±1.417
T2	2.567 ±0.012	0.255 ±0.027	4.17 ±0.236	90.48 ±4.12	19.257 ±3.974	1.397 ±0.813
T3	2.500 ±0.000	0.260 ±0.010	4.83 ±0.236	69.96 ±1.27	16.359 ±4.843	2.643 ±0.549
T4	2.433 ±0.012	0.260 ±0.027	5.50 ±1.1.79	132.22 ±1.92	16.725 ±3.291	2.063 ±0.297
T5	2.900 ±0.000	0.209 ±0.015	5.00 ±1.414	69.96 ±1.27	16.447 ±1.252	1.200 ±0.632
T6	2.667 ±0.029	0.221 ±0.026	2.50 ±0.236	94.84 ±4.51	15.182 ±1.051	2.310 ±0.295
T7	2.967 ±0.006	0.196 ±0.014	5.83 ±1.179	81.43 ±3.78	14.113 ±1.074	1.083 ±0.321
T8	2.500 ±0.000	0.253 ±0.017	3.50 ±0.236	92.06 ±0.69	23.392 ±0.941	1.050 ±0.147
T9	2.500 ±0.000	0.245 ±0.002	2.33 ±0.471	83.81 ±3.30	25.391 ±2.367	0.907 ±0.099
T10	2.967 ±0.006	0.210 ±0.011	4.83 ±0.236	137.82 ±4.20	11.487 ±2.779	1.087 ±0.346
T11	2.667 ±0.029	0.238 ±0.046	5.50 ±0.236	80.59 ±3.49	14.524 ±2.776	2.380 ±0.805

## ANEXO 9

---

### OBTENCIÓN DEL ACEITE ESENCIAL DE EUCALIPTO

---

#### Secado



#### Extracción por Arrastre de Vapor



## ANEXO 10

---

### VIDA ÚTIL DE FRESAS ROCIADAS CON ACEITE ESENCIAL DE EUCALIPTO ENVASADAS EN BANDEJA BIODEGRADABLE

---

Recepción



Encerado de la Bandeja



Adición de Aceite y Sellado



Refrigeración



## ANEXO 11

---

### MÉTODOS DE ANÁLISIS APLICADOS EN LA INVESTIGACIÓN

---

Contenido de amilosa	Método de Sodhi y Singh
Contenido de humedad	Método gravimétrico por desecación en estufa - Norma AOAC 931.04
Contenido de proteína	Método de Kjeldahl - Norma AOAC 926.36
Contenido de grasa	Método gravimétrico por extracción continua - Norma AOAC 920.85
Contenido de ceniza	Método gravimétrico por incineración directa - Norma AOAC 923.03
Contenido de sílice	Norma AOAC 963.02
Contenido de lignina, celulosa y hemicelulosa	Método de Klason – Norma ANSI/ASTM (American National Standards Institute, 1977b)
Capacidad de absorción de agua	Norma técnica ABNT NBR NM. ISO 535
Microscopía Electrónica de Barrido	Norma ASTM F 1877- 16
Recuento de mohos	Método de siembra en placa en todo el medio según ICMSF (2006)

---



### ACTA DE APROBACIÓN DE ORIGINALIDAD

Yo: JORGE MARINO DOMINGUEZ CASTAÑEDA

asesor / presidente de la Unidad de Investigación de la

Facultad	Ciencias		Educación		Ingeniería	
Departamento Académico						
Escuela de Posgrado		Maestría		Doctorado		X
Programa: <u>DOCTORADO EN INGENIERIA DE ALIMENTOS</u>						

De la Universidad Nacional del Santa. Asesor / Unidad de Investigación revisora del trabajo de Investigación intitulado:

Bandejas biodegradables de cushuro, aceite de eucalipto y cascarilla de arroz, aplicadas en la conservación de la fresa

Del estudiante / docente: Mónica Tatiana Zuñiga Vallejos  
De la escuela / departamento académico: Posgrado

Constato que la investigación presentada tiene un porcentaje de similitud del 15 % el cual se verifica con el reporte de originalidad de la aplicación Turnitin adjunto.  
Quién suscribe la presente, declaro el haber analizado dicho reporte y concluyo que las coincidencias detectadas no se conforman como plagio. A mi claro saber y entender, la investigación cumple con las normas de citas y referencias establecidas por la Universidad Nacional del Santa.

Nuevo Chimbote, 10 de abril de 2024.

Firma:

Nombres y Apellidos del Asesor/Presidente UIF: Jorge Marino Dominguez Castañeda

DNI: 32975182





DECLARACION JURADA DE AUTORÍA

Yo, MONICA TATIANA ZUÑIGA VALLEJOS

estudiante / docente de la

Facultad	Ciencias		Educación		Ingeniería	
----------	----------	--	-----------	--	------------	--

Escuela Profesional	
---------------------	--

Departamento Académico	
------------------------	--

Escuela de Posgrado	Maestría		Doctorado	X
---------------------	----------	--	-----------	---

Programa: DOCTORADO EN INGENIERIA EN ALIMENTOS

De la Universidad Nacional del Santa; Declaro que el trabajo de investigación intitulado:

"BANDEJAS BIODEGRADABLES DE CUSHURO, ACEITE DE EUCALIPTO Y CASCARILLA DE ARROZ, APLICADAS EN LA CONSERVACION DE LA FRESA"

presentado en 136 folios, para la obtención del Grado académico

Título profesional	( )	Investigación anual	( )
--------------------	-----	---------------------	-----

- He citado todas las fuentes empleadas, no he utilizado otra fuente distinta a las declaradas en el presente trabajo.
- Este trabajo de investigación no ha sido presentado con anterioridad ni completa ni parcialmente para la obtención de grado académico o título profesional.
- Comprendo que el trabajo de investigación será público y por lo tanto sujeto a ser revisado electrónicamente para la detección de plagio por el VRIN.
- De encontrarse uso de material intelectual sin el reconocimiento de su fuente o autor, me someto a las sanciones que determinan el proceso disciplinario.

Nuevo Chimbote, 12 de abril de 2024.

Firma:

Nombres y Apellidos: MONICA TATIANA ZUÑIGA VALLEJOS

DNI: 41573030

