

**UNIVERSIDAD NACIONAL DEL SANTA**  
**ESCUELA DE POSGRADO**  
**Programa de Maestría en Gestión Ambiental**



**UNS**  
E S C U E L A D E  
**POSGRADO**

---

**Bandejas biodegradables a partir de almidón de yuca (*Manihot Esculenta*) y fibras de residuos agroindustriales de maracuyá (*Passiflora Edulis*) y alcachofa (*Cynara Scolimus*)**

---

**Tesis para obtener el grado de Maestro en  
Ciencias en Gestión Ambiental**

**Autora:**

**Bach. Acevedo Sparrow, Stephanie**  
**Código ORCID: 0009-0003-4959-4401**

**Asesora:**

**Dra. Aguirre Vargas. Elza Berta**  
**DNI. N° 19096335**  
**Código ORCID. 0000-0003-1659-9874**

**Nuevo Chimbote - PERÚ**  
**2025**



**UNS**  
ESCUELA DE  
POSGRADO

### CONSTANCIA DE ASESORAMIENTO DE LA TESIS

Yo, Dra. Elza Berta Aguirre Vargas, mediante la presente certifico mi asesoramiento de la Tesis de maestría titulada: **“Bandejas biodegradables a partir de almidón de yuca (Manihot esculenta) y fibras de residuos agroindustriales de maracuyá (Passiflora edulis) y alcachofa (Cynara scolimus)”**, elaborado por el (la) bachiller Stephanie Acevedo Sparrow para obtener el Grado Académico de Maestro en Ciencias en Gestión Ambiental en la Escuela de Posgrado de la Universidad Nacional del Santa.

Nuevo Chimbote, 17 de diciembre del 2025

Dra. Aguirre Vargas, Elza Berta

ASESOR (A)

Código ORCID: 0000-0003-1659-9874

DNI N°. 19096335

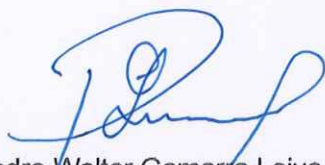


**UNS**  
ESCUELA DE  
POSGRADO

## HOJA DEL AVAL DEL JURADO EVALUADOR

**“Bandejas biodegradables a partir de almidón de yuca (*Manihot esculenta*) y fibras de residuos agroindustriales de maracuyá (*Passiflora edulis*) y alcachofa (*Cynara scolimus*)”**

TESIS PARA OPTAR EL GRADO DE MAESTRO EN CIENCIAS EN GESTION  
AMBIENTAL



Dr Pedro Walter Gamarra Leiva  
PRESIDENTE

CODIGO ORCID 0000-0002-8450-1456

DNI N°06408979



Dra. Rebeca Salvador Reyes  
SECRETARIO

CODIGO ORCID 0000-0002-7422-5742

DNI N°70175358



Dra. Aguirre Vargas, Elza Berta  
VOCAL

Código ORCID: 0000-0003-1659-9874

DNI N°. 19096335

### ACTA DE EVALUACIÓN DE SUSTENTACIÓN DE TESIS

A los once días del mes de diciembre del año 2025, siendo las 16 horas, en el aula P-02 de la Escuela de Posgrado de la Universidad Nacional del Sur, se reunieron los miembros del Jurado Evaluador, designados mediante Resolución Directoral N° 577-2022-EPG-UNS de fecha 25.10.2022, conformado por los docentes: Dr. Pedro Walter Gamarra Leiva (Presidente), Dra. Rebeca Salvador Reyes (Secretaria) y Dra. Elza Berta Aguirre Vargas (Vocal); con la finalidad de evaluar la tesis intitulada: **"BANDEJAS BIODEGRADABLES A PARTIR DE ALMIDÓN DE YUCA (*Manihot Esculenta*) Y FIBRAS DE RESIDUOS AGROINDUSTRIALES DE MARACUYÁ (*Passiflora Edulis*) Y ALCACHOFA (*Cynara Scolimus*)"**; presentado por la tesista **Stephanie Acevedo Sparrow**, egresada del programa de Maestría en Gestión Ambiental.

Sustentación autorizada mediante Resolución Directoral N° 981-2025-EPG-UNS de fecha 04 de diciembre de 2025.

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 a la 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 20 (veinte).

Siendo las 17:30 horas del mismo día se da por finalizado el acto académico, firmando la presente acta en señal de conformidad.

  
Dr. Pedro Walter Gamarra Leiva  
Presidente

  
Dra. Rebeca Salvador Reyes  
Secretaria

  
Dra. Elza Berta Aguirre Vargas  
Vocal/Asesor




## 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: STEPHANIE ACEVEDO SPARROW  
Título del ejercicio: MAESTRIA 2025  
Título de la entrega: BANDEJAS BIODEGRADABLES A PARTIR DE ALMIDÓN DE YUCA ...  
Nombre del archivo: TESIS\_2025\_POR\_PRESENTAR\_diciembre.docx  
Tamaño del archivo: 6.59M  
Total páginas: 120  
Total de palabras: 22,406  
Total de caracteres: 129,709  
Fecha de entrega: 17-dic-2025 11:37a. m. (UTC-0500)  
Identificador de la entrega: 2781917576

UNIVERSIDAD NACIONAL DEL SANTA ESCUELA DE POSGRADO PROGRAMA DE MAESTRÍA EN GESTIÓN AMBIENTAL
 <b>UNS</b> ESCUELA DE POSGRADO
"BANDEJAS BIODEGRADABLES A PARTIR DE ALMIDÓN DE YUCA (MANIHOT ESCULENTA Y FIBRAS DE RESIDUOS AGROINDUSTRIALES DE MARACUYA (PASSIFLORA EDULIS) Y ALCACHOFA (CYNARA SCOLIMUS)"
Informe de Tesis para optar el grado académico de Maestro en Ciencias en Gestión Ambiental
Autor(a): Stephanie Acevedo Sparrow Código ORCID:0009-0003-4959-4401
Asesor(a): Elsa Aguirre Vargas DNI N°19096335 Código ORCID:0000-0003-1659-9874
Línea de Investigación Economía circular y tecnologías limpias NUEVO CHIMBOTE - PERÚ 2025

# BANDEJAS BIODEGRADABLES A PARTIR DE ALMIDÓN DE YUCA (MANIHOT ESCULENTA Y FIBRAS DE RESIDUOS AGROINDUSTRIALES DE MARACUYÁ (PASSIFLORA EDULIS) Y ALCACHOFA (CYNARA SCOLIMUS)

## INFORME DE ORIGINALIDAD

11 %

INDICE DE SIMILITUD

11 %

FUENTES DE INTERNET

2 %

PUBLICACIONES

4 %

TRABAJOS DEL  
ESTUDIANTE

## FUENTES PRIMARIAS

1

[repositorio.uns.edu.pe](https://repositorio.uns.edu.pe)

Fuente de Internet

4 %

2

[hdl.handle.net](https://hdl.handle.net)

Fuente de Internet

1 %

3

[dspace.unitru.edu.pe](https://dspace.unitru.edu.pe)

Fuente de Internet

1 %

4

[www.repositoriodigital.ipn.mx](http://www.repositoriodigital.ipn.mx)

Fuente de Internet

<1 %

5

[www.thepharmajournal.com](http://www.thepharmajournal.com)

Fuente de Internet

<1 %

6

[cybertesis.unmsm.edu.pe](https://cybertesis.unmsm.edu.pe)

Fuente de Internet

<1 %

7

[es.scribd.com](https://es.scribd.com)

Fuente de Internet

<1 %

8

Submitted to Universidad Cesar Vallejo

Trabajo del estudiante

<1 %

9

[up-rid.up.ac.pa](https://up-rid.up.ac.pa)

Fuente de Internet

<1 %

10

[revistas.unsm.edu.pe](https://revistas.unsm.edu.pe)

Fuente de Internet

<1 %

11

[repositorio.unj.edu.pe](https://repositorio.unj.edu.pe)

Fuente de Internet

<1 %

12

[repositorio.upao.edu.pe](https://repositorio.upao.edu.pe)

Fuente de Internet

<1 %

13

[repositorio.usil.edu.pe](https://repositorio.usil.edu.pe)

Fuente de Internet

<1 %

14

[dspace.esPOCH.edu.ec](https://dspace.esPOCH.edu.ec)

Fuente de Internet

<1 %

## DEDICATORIA

*Porque Jehová da la sabiduría, y de su boca viene el conocimiento y la inteligencia (Proverbios 2:6). Le dedico esta tesis a mi Señor, Dios todopoderoso, que por su gracia somos salvos, y nos bendice con sabiduría para desenvolvernos en todos los ámbitos de nuestra vida.*

*A mi madre Victoria Sparrow Robles que es mi apoyo incondicional, tanto en mi vida personal como profesional. Gracias a su esfuerzo, amor y dedicación, he podido desarrollarme y formarme como hija, madre y estudiante.*

*A mis hermanos Walter y Miluska, por su apoyo constante en los momentos más difíciles de mi vida.*

*A mis hijos Miranda y Stephano que son la razón para seguir adelante, para vencer cualquier obstáculo, y desarrollarme cada día.*

*A mi esposo Enrique Higginson mi amado inmortal...*

## AGRADECIMIENTO

*A Dios, a mi Señor Jesús y su Santo Espíritu por su misericordia, su protección, y sabiduría que me ha concedido para asumir el gran reto de vida. Gracias por colocar en mi camino personas que me han ayudado en mi vida profesional.*

*A la Universidad Nacional del Santa, por ser la institución que me acogió desde pregrado, y por brindarme, mediante sus docentes las herramientas necesarias para lograr ser profesional. A la profesora Elza Aguirre Vargas por asesorarme e impulsarme a seguir adelante aún en medio de dificultades.*

*Gracias a mi madre Victoria Sparrow Robles, por ser mi apoyo incondicional en esta carrera, gracias por acompañarme, por asumir muchas veces el papel de madre de mis hijos, y sobre todo gracias por darme a mi y a mis hermanos todo su amor, tiempo, oración y recursos para lograr nuestros objetivos.*



## ÍNDICE

CONSTANCIA DE ASESORAMIENTO DE LA TESIS.....	ii
AVAL DEL JURADO EVALUADOR.....	iii
ACTA DE EVALUACIÓN DE SUSTENTACIÓN DE TESIS.....	iv
RECIBO TURNITIN.....	v
REPORTE PORCENTUAL DE TURNITIN.....	vi
DEDICATORIA .....	vii
AGRADECIMIENTO.....	viii
INDICE .....	ix
RESUMEN.....	xvi
ABSTRACT.....	xvii
INTRODUCCIÓN.....	19
1.1. Problema de investigación.....	20
1.1.1.Planteamiento del problema.....	20
1.1.2. Fundamentación del problema de Investigación.....	20
1.2. Objetivos de la investigación: general y específicos.....	23
1.2.1.Objetivo general.....	23
1.2.2.Objetivos específicos.....	23
1.3. Formulación de la hipótesis.....	23
1.4. Justificación e importancia de la investigación.....	23
II. MARCO TEÓRICO.....	24
2.1. Antecedentes.....	24
2.2. Marco conceptual.....	27
2.2.1. Platos biodegradables.....	27
2.2.2. Biopolímeros.....	27
2.2.3. Bioplástico.....	28
2.2.4. Biodegradación de biopolímeros.....	29
2.2.5. Almidón.....	29
2.2.6. Almidón de yuca.....	30

2.2.7. Amilosa .....	31
2.2.8. Amilopectina .....	31
2.2.9. Cristalinidad .....	31
2.2.10. Solubilidad del almidón .....	32
2.2.11. Absorción de agua .....	32
2.2.12. Poder de hinchamiento.....	32
2.2.13. Gelatinización .....	32
2.2.14. Viscosidad .....	33
2.2.15. Retrogradación .....	33
2.2.16. Almidones termoplásticos .....	33
2.2.17. Temperatura de plastificación .....	33
2.2.18. Plastificantes .....	34
2.2.19. Glicerina .....	34
2.2.20. Goma guar .....	35
2.2.21. Estearato de magnesio .....	35
2.2.22. Fibras vegetales .....	35
2.2.23. Harina de cáscara de maracuyá ( <i>Passiflora edulis</i> ).....	36
2.2.24. Harina de brácteas de alcachofa ( <i>Cynara scolymus</i> , L.).....	36
2.2.25. Termoformado.....	37
2.2.26. FTIR.....	37
 III. METODOLOGÍA.....	 39
3.1. Lugar de ejecución.....	39
3.2. Método.....	39
3.3. Operacionalización de variables.....	39
3.4. Materiales e instrumentos.....	41
3.4.1. Materia prima.....	41
3.4.2. Insumos.....	41
3.4.3. Reactivos.....	41

3.4.4. Equipos e instrumentos.....	42
3.4.5. Materiales de vidrio y otros.....	43
3.5. Metodología.....	44
3.5.1. Proceso de extracción de almidón de yuca.....	44
3.5.2. Proceso de elaboración de harina de cáscara de maracuyá (HCM).....	47
3.5.3. Proceso de elaboración de harina de brácteas de alcachofa (HBA).....	49
3.5.4. Proceso de elaboración de bandejas.....	51
3.6. Métodos de análisis.....	53
3.6.1. Caracterización de la materia prima.....	53
3.6.2. Caracterización de las bandejas biodegradables.....	54
3.7. Diseño de investigación.....	56
3.7.1. Diseño experimental.....	56
IV. RESULTADOS Y DISCUSIÓN.....	58
4.1. Caracterización de materia prima.....	58
4.1.1. Análisis proximal de almidón de yuca.....	58
4.1.2. Análisis proximal de harina cáscara de maracuyá.....	59
4.1.3. Análisis proximal de harina brácteas de alcachofa.....	60
4.2. Caracterización de bandejas biodegradables.....	62
4.2.1. Propiedades físicas.....	62
4.2.1.1. Evaluación de color.....	62
4.2.1.2. Humedad y capacidad de absorción de agua (CAA).....	66
4.2.1.3. Espesor y densidad.....	71
4.2.2. Propiedades mecánicas.....	74
4.2.2.1. Análisis de compresión.....	74
4.2.2.2. Análisis de tensión.....	77
4.2.3. FTIR.....	81
V. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES.....	83
16.1. Conclusiones.....	83
16.2. Recomendaciones.....	84
VI. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	85
VII ANEXOS.....	103

## INDICE DE TABLAS

<b>Tabla 1:</b> Operacionalización de Variables.....	40
<b>Tabla 2:</b> Formulaciones para la elaboración de bandejas.....	52
<b>Tabla 3:</b> Parámetros usados en el proceso de termoformado para cada tratamiento.....	52
<b>Tabla 4:</b> Diseño completamente al azar de la investigación.....	57
<b>Tabla 5:</b> Tratamientos del estudio.....	57
<b>Tabla 6:</b> Composición proximal del almidón de yuca.....	58
<b>Tabla 7:</b> Contenido de Amilosa y Amilopectina en almidón de Yuca.....	59
<b>Tabla 8:</b> Composición proximal de la harina de cáscara de Maracuyá.....	60
<b>Tabla 9:</b> Composición proximal de la harina de brácteas de alcachofa.....	61
<b>Tabla 10:</b> Parámetros L*, a*,b* de color de bandejas.....	62
<b>Tabla 11:</b> Determinación de humedad y capacidad de absorción de agua.....	67
<b>Tabla 12:</b> Determinación de espesor y densidad.....	71
<b>Tabla 13:</b> Determinación de Dureza y Fracturabilidad.....	74
<b>Tabla 14:</b> Determinación de Máxima fuerza de tensión, distancia máxima de fuerza de tensión, Esfuerzo y Elongación.....	77

## INDICE DE FIGURAS

Figura 1: Fenómenos durante el calentamiento y enfriamiento del almidón.....	30
Figura 2. Interferómetro de Michelson.....	38
Figura 3: Diagrama de flujo para la extracción de almidón de yuca.....	44
Figura 4: Diagrama de flujo para la elaboración de harina de cáscara de maracuyá.....	47
Figura 5: Diagrama de flujo para la elaboración de harina de brácteas de alcachofa.....	49
Figura 6: Diagrama de flujo para elaboración de bandejas biodegradables.....	51
Figura 7: Variables Independientes y Dependientes.....	56
Figura 8: Gráfico de cajas y bigotes para luminosidad (L).....	63
Figura 9: Gráfico de cajas y bigotes para análisis de diferencias de color en el espacio CIELab.....	64
Figura 10: Gráfico de cajas y bigotes para $a^*$ .....	65
Figura 11: Gráfico de cajas y bigotes para $b^*$ .....	65
Figura 12: Gráfico de cajas y bigotes para humedad.....	68
Figura 13: Cinética de capacidad de absorción de agua.....	69
Figura 14: Gráfico de cajas y bigotes para espesor .....	72
Figura 15: Gráfico de cajas y bigotes para densidad de bandejas.....	73
Figura 16: Gráfico de cajas y bigotes para dureza de bandejas.....	77
Figura 17: Gráfico de cajas y bigotes para fracturabilidad de bandejas.....	77
Figura 18: Gráfico de cajas y bigotes para máxima fuerza de tensión.....	78

Figura 19: Gráfico de cajas y bigotes para esfuerzo.....	79
Figura 20: Gráfico de cajas y bigotes para distancia máxima de fuerza de tensión.....	79
Figura 21: Gráfico de cajas y bigotes para elongación.....	80
Figura 22: Espectros de FTIR de bandeja T6 con 70% de almidón de yuca y 30% de harina de brácteas de alcachofa y harina de cáscara de maracuyá.....	81

## INDICE DE ANEXOS

Anexo 1: Base de datos del estudio: Resultados de análisis, determinación de promedios, desviación estándar, coeficiente de variación .....	103
Anexo 2. Pruebas y resultados del análisis estadístico.....	106
Anexo 3: Análisis de varianza para las variables dependientes.....	107
Anexo 4: Gráfico de barras agrupadas para capacidad de absorción de agua.....	109
Anexo 5: Balance de materia.....	110
Anexo 5.1: Balance de materia para la obtención de almidón de yuca .....	110
Anexo 5.2: Balance de materia para la obtención de fibra de cáscara de maracuyá.....	111
Anexo 5.3: Balance de materia para la obtención de fibra de brácteas de alcachofa.....	112
Anexo 6: Acondicionamiento de materia prima (fotos).....	113
Anexo 6.1: Elaboración de almidón de yuca.....	113
Anexo 6.2: Elaboración de harina de cáscara de maracuyá.....	114
Anexo 6.3: Elaboración de harina de brácteas de alcachofa.....	115
Anexo 7: Elaboración de bandejas biodegradables .....	116
Anexo 7.1: Elaboración de bandejas biodegradables.....	116
Anexo 7.2: Bandejas en sus diferentes tratamientos.....	117

## RESUMEN

En el presente estudio se elaboró bandejas biodegradables a partir de almidón de yuca (*Manihot esculenta*) y fibras de residuos agroindustriales de maracuyá (*Passiflora edulis*) y alcachofa (*Cynara scolimus*) usando el equipo de termoprensado a una temperatura de 145°C en el plato superior y 130°C en el plato inferior, con tiempos entre 7, 12 y 15 min. Se usaron diferentes proporciones de almidón y fibras (T1:100/0, T2:90/10, T3:85/15, T4:80/20, T5:75/25, T6:70/30 y T7: 65/35). Se evaluaron las propiedades físicas de color donde los valores de Luminosidad variaron entre 56.49 y 75.73, a\* entre 2.81 y 5.94, b\*entre 15.89 y 23.08 y E entre 0 y 20.47, identificando la tonalidad rojiza-amarillenta correspondiente al carotenoide presente en la cáscara de maracuyá y antocianinas y flavonoides en brácteas de alcachofa.

Los T4, T5, T6 mostraron la menor velocidad de absorción de agua, siendo el T5 el que absorbió la menor cantidad en 20 min de exposición al agua con 1.24 g de agua/g de materia seca. Además, se demostró que a mayor cantidad de fibra mayor densidad y menor espesor, es decir la fibra hace a la bandeja compacta, disminuyendo la expansión de la espuma formada por el almidón, determinándose el espesor de las bandejas en el rango entre 2.53 mm y 2.87mm y densidad entre 0.23 g/cm<sup>3</sup> y 0.33 gr/cm<sup>3</sup>. La bandeja con mayor nivel de dureza lo obtuvo el T3 con 44.33 N, la fracturabilidad tuvo sus mejores resultados en los tratamientos con menos cantidad de fibra, siendo el de más alto valor el T1 con 4.27 mm y el menor el T7 con 1.99 mm, los valores de máxima fuerza de tensión se encontraron entre 10kg y 13.99 Kg para los tratamientos T5 y T6 respectivamente. El esfuerzo se encontró entre los valores de 1.64 MPa y 2.66 MPa cuyo mayor valor lo obtuvo la bandeja T6 y la elongación varió entre 0.67 % y 1.67%.

En el FTIR a una resolución de 4 cm<sup>-1</sup>, en el rango de 600 a 4000 cm<sup>-1</sup> de número de onda, en la bandeja T6 con 70 % de almidón y 30% de fibra se logró identificar grupos hidroxilos y aldehídos como parte de la estructura del almidón de yuca. Además, compuestos alifáticos y grupos aromáticos (C-C), propio de la lignina presentes en la cáscara de maracuyá y brácteas de alcachofa.

El tipo de diseño experimental elegido fue el diseño completamente al azar (DCA)

Se concluyó que la bandeja T6 con 70% de almidón y 30% de fibra presentó las mejores características con relación a los otros tratamientos.

Palabras claves: Bandejas biodegradables, almidón de yuca, cáscara de maracuyá, brácteas de alcachofa



## ABSTRACT

In the present study, biodegradable trays were made from cassava starch (*Manihot esculenta*) and agro-industrial waste fibers from passion fruit (*Passiflora edulis*) and artichoke (*Cynara scolimus*) using heat pressing equipment at a temperature of 145 ° C on the upper plate and 130 ° C on the lower plate, with times between 7 and 12 min. Different proportions of starch and fibers were used (T1: 100/0, T2: 90/10, T3: 85/15, T4: 80/20, T5: 75/25, T6: 70/30 and T7: 65/35). The physical color properties were evaluated where the Luminosity values varied between 56.49 and 75.73, a \* between 2.81 and 5.94, b \* between 15.89 and 23.08 and E between 0 and 20.47, identifying the reddish-yellowish hue corresponding to the carotenoid present in the passion fruit peel and anthocyanins and flavonoids in artichoke bracts.

T4, T5, T6 showed the lowest water absorption rate, with T5 absorbing the least amount in 20 min of exposure to water with 1.24 g of water/g of dry matter. In addition, it was shown that the greater the amount of fiber, the greater the density and lesser the thickness, that is, the fiber makes the tray compact, decreasing the expansion of the foam formed by the starch, determining the thickness of the trays in the range between 2.53 mm and 2.87 mm and density between 0.23 g / cm<sup>3</sup> and 0.33 gr / cm<sup>3</sup>. The tray with the highest level of hardness was obtained by T3 with 44.33 N, the fracturability had its best results in treatments with less amount of fiber, the highest value being T1 with 4.27 mm and the lowest T7 with 1.99 mm, the maximum tensile strength values were found between 10 kg and 13.99 Kg for treatments T5 and T6 respectively. The stress between 1.64 Mpa and 2.66 Mpa, the highest value of which was obtained by the T6 tray, and the elongation varied between 0.67% and 1.67%.

Using FTIR at a resolution of 4 cm<sup>-1</sup>, in the range of 600 to 4000 cm<sup>-1</sup>, hydroxyl and aldehyde groups were identified in tray T6 with 70% starch and 30% fiber, as part of the

cassava starch structure, as well as aliphatic compounds and aromatic groups (C-C), typical of the lignin present in passion fruit peel and artichoke bracts.

The type of experimental design chosen was a completely randomized design (CRD).

It was concluded that tray T6 with 70% starch and 30% fiber presented the best characteristics compared to the other treatments.

**Keywords:** Biodegradable trays, cassava starch, passion fruit peel, artichoke bracts

## INTRODUCCIÓN

El plástico constituye uno de los residuos contaminantes más importantes en el planeta, su tiempo de descomposición es de 100 años aproximadamente. Estos son destinados por los consumidores como depósito final a los tiraderos o rellenos sanitarios que sobrepasan su capacidad, además de aumentar los fluidos contaminantes que llegan a la capa freática contaminando las aguas subterráneas. También son eliminados en las ciudades, tapando alcantarillas, canales de lluvia, que llegan hasta los ríos y océanos, afectando la fauna marina, quienes los confunden como alimentos (Gómez, 2016).

El Foro Mundial para la Naturaleza (2010) declara que el unicel cuyo componente principal es el poliestireno expandible tiene un tiempo de descomposición de mil años y por la errada cultura de “usar y tirar”, constituye el 30 % de la basura a nivel mundial (Gudiel et al., 2018).

Otra de las problemáticas ambientales lo constituyen los descartes y residuos provenientes de las actividades agrícolas y agroindustriales, siendo la cáscara de maracuyá, el residuo generado durante el proceso de extracción del jugo de maracuyá, constituyendo el 50%– 55% de la fruta fresca (Barrera et al., 2017) y los residuos del proceso agroindustrial de la alcachofa, siendo el 70% del fruto conformados por las hojas, pelos y flores destinados a la alimentación ganadera (Osuna et al., 2019).

Según la empresa de investigación de mercados Mordor Intelligence (2024), para el 2029, ha calculado que el volumen de mercado a nivel mundial será de 14.48 millones de toneladas del poliestireno expandido, con una tasa de crecimiento de 3.05% con relación al año 2024. Sin embargo, también menciona que su producción se ha visto afectada por las regulaciones ambientales establecidas para contrarrestar sus efectos. En el Perú la Ley 30884 y el Decreto Supremo 006-2019-MINAM, que entró en vigencia el 20 de diciembre del 2018 regula el uso de plásticos y envases descartables, estableciendo prohibiciones progresivas de uso, para reducir el impacto negativo que generan al medio ambiente.

Frente a esta necesidad del mercado por cubrir, se están desarrollando alternativas de producción de envases a partir de insumos biodegradables, que logren tener las propiedades estructurales, y mecánicas que cumplan con los requisitos de empaque de alimentos, necesarias para reemplazar a los envases de poliestireno.

En el presente trabajo se elaborarán envases biodegradables a partir de almidón de yuca, harina de cáscara de maracuyá y harina de brácteas de alcachofa, cuyas formulaciones tendrán como objetivo comparar a la variabilidad de los resultados a diferentes concentraciones de fibra y almidón en los análisis de humedad, capacidad de absorción de agua, densidad, Ftir; evaluar las características mecánicas (Tensión, Compresión, Fracturabilidad, dureza) obteniendo envases aceptables para su industrialización.

## **1.1. PROBLEMA DE INVESTIGACIÓN**

### **1.1.1. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA**

¿Cuál es la formulación adecuada para la elaboración de bandejas biodegradables con incorporación de almidón de yuca y fibras obtenidas a partir de residuos agroindustriales del maracuyá y alcachofa?

### **1.1.2. FUNDAMENTACIÓN DEL PROBLEMA DE INVESTIGACIÓN**

La industria de los plásticos, debido a su gran utilidad para los humanos, ha ido creciendo mundialmente, sin embargo, aquellos considerados de un solo uso o descartables, ha impactado de manera negativa en el medio ambiente.

De acuerdo reportes presentados por revistas científicas y organizaciones ambientalistas como Science y Greenpeace declaran que en el mundo son 8 millones de toneladas de plásticos que ingresan al mar cada año, y se han formado 5 islas de basura flotantes en los mares del océano Pacífico, Atlántico e Índico (Cornejo, 2017, p.20).

Estos residuos plásticos al ser degradados por el calor, erosión, agua de mar, etc se reducen a microplásticos (MPs), que según investigaciones como el de Jamieson et al., (2019), se transfieren a especies de animales marinos como crustáceos, moluscos bivalvos, equinodermos, cetáceos, y otros. A su vez estas especies al ser consumidas por los humanos viene generando diversas enfermedades.

Uno de los derivados plásticos cuya composición principal es la resina sintética o polímeros es el poliestireno (PS), usado para la elaboración de bandejas descartables, cubiertos descartables, rellenos para construcción, aislantes, vasos descartables y otros. Este es clasificado con el código Nro 6 por la sociedad de

industrias plásticas (SPI), debido a su estructura química. Entre sus características es que estos componentes son inestables al calor y quebradizos de tal modo que no lo hacen reutilizable fácilmente. (Muñoz y Parquer, 2017; Thiounn y Smith, 2020; Aruna et al., 2013).

La IARC (International Agency for Research on Cancer), estudios de la Organización Mundial de la Salud y Programa de las Naciones Unidas para el Medio Ambiente (PNUMA) señalan que las toxinas de los residuos de plásticos específicamente provenientes del estireno (PS), vienen alterando el sistema hormonal (disruptores endocrinos), presentándose enfermedades como la diabetes, hiperactividad, cáncer (mama, testículo, próstata, tiroides), autismo, problemas de fertilidad y otros. (Cornejo, 2017; Muñoz y Parquer, 2017).

En el Perú, el Ministerio de Ambiente (MINAM) evaluó en el 2018 que sólo el 1.9% del total de la basura generada se recicla. Y el 2020 fueron 7.9 millones de toneladas de residuos sólidos en las municipalidades de los cuales sólo el 0.93% se ha reutilizado y revalorizado (Comex Perú, 2022).

Por otro lado, Purca & Henostroza (2017), en su nota científica: “Presencia de microplásticos en cuatro playas arenosas de Perú”, evaluaron 4 playas arenosas en el litoral peruano, playa Vesique (Ancash), playa Albúfera, playa Costa Azul – Ventanilla (Lima); y playa El Chaco, cuantificando 40 partículas por metro cuadrado de Fragmentos de plástico duro mayores a 1 mm en playa Vesique y 463.33 partículas por metro cuadrado en la playa Costa Azul. De esta última la composición según los tipos de plásticos fueron: 89% de plástico duro, 7% de estireno y 2% pellets negros, 1% de otras espumas, 1% polímero, 1% fibra, y 1% de láminas transparentes.

Por otro lado, la tecnología ha repercutido significativamente en las actividades agrícolas, aumentando los niveles de producción de manera desmesurada. Generando residuos y descartes agrícolas que actualmente son reutilizados como alimento para ganadería. (Osuna et al., 2019). En el caso de los residuos provenientes de la agroindustria que están compuestos básicamente entre 75-80% de polímeros de celulosa y hemicelulosa (Vargas y Perez, 2018), constituyen un problema para el almacenado de las mismas ya que por su volumen no pueden ser comercializados completamente para ganadería. El Reglamento de Manejo de los Residuos Sólidos del Sector Agrario DECRETO SUPREMO 016-2012-ag, da las

pautas a tomar en cuenta por parte del Sector Agrario, sobre el tratamiento de los residuos en forma sanitaria y ambientalmente adecuada.

En el 2022 según reporte del Ministerio de Agricultura y Riego (MIDAGRI) en el Perú se sembraron 7.074 ha con una producción de 90.754 t de maracuyá, teniendo en cuenta que la relación de cáscara y fruto fresco es de 50 g/100g de muestra (Kulkarni, 2010); se calcula que se obtuvo 45.377 t de cáscara de maracuyá para dicho año. En los valles de la provincia del Santa, Casma y Huarney se encuentran los mayores productores de maracuyá en Ancash constituyendo el 10% de la producción nacional, estos abastecen a los mercados y a las fábricas agroindustriales, con frutos de primera calidad, quedando una cantidad considerable que no pueden vender, y que es utilizado como alimento para sus animales o es quemado con el resto de los residuos agrícolas. En el año 2025 la empresa Selva Industrial publicó en su página web que se obtuvo el año 2024 113.000 t de maracuyá de 6500 ha, con un cálculo aproximado de 56.500 t de cáscara.

Además, para el año 2022 el Ministerio de Agricultura y Riego registró en su página web que la superficie cosechada en el Perú fue de 6700 ha de alcachofa, con una producción de 97.582 t, teniendo en cuenta que los residuos resultantes de las actividades de industrialización constituyen el 80% aproximadamente (Martinez, 2016), se calcula 78 t de residuos generados.

Ante estas problemáticas, el presente estudio tiene como objetivo evaluar una alternativa que reemplacen los utensilios contaminantes de estireno y a la vez se incremente el valor agregado de los residuos agrícolas y agroindustriales de la alcachofa y maracuyá mediante la elaboración de prototipos de envases biodegradables.

## **1.2. OBJETIVOS DE LA INVESTIGACIÓN: GENERAL Y ESPECÍFICOS**

### **1.2.1. OBJETIVO GENERAL**

Obtener bandejas biodegradables a partir de almidón de yuca y residuos Agroindustriales de maracuyá y alcachofa.

### **1.2.2. OBJETIVOS ESPECÍFICOS**

- Determinar la composición química proximal de las materias primas
- Evaluar las distintas mezclas y proporciones que participan en la elaboración de las bandejas, identificando a la mejor formulación que podría reemplazar a las bandejas contaminantes elaboradas de EPS.
- Realizar pruebas físicas y de resistencia mecánica: Humedad, densidad, tensión, colorimetría, dureza, fracturabilidad, FTIR, absorción de agua

## **1.3. FORMULACIÓN DE LA HIPÓTESIS**

Con las formulaciones para la elaboración de bandejas biodegradables con diferentes concentraciones de almidón de yuca (65% a 100 %) y harina de residuos de maracuyá (5% a 17.5 %) y alcachofa (5% a 17.5%) se obtendrán bandejas con características aceptables para su uso.

## **1.4. JUSTIFICACIÓN E IMPORTANCIA DE LA INVESTIGACIÓN**

La importancia de investigaciones como la elaboración de bandejas biodegradables a partir de almidón de yuca y derivados de desechos agrícolas como la cáscara de maracuyá y la alcachofa, es que sus componentes pueden volver a la naturaleza sin contaminarla y constituyen el reemplazo de los plásticos contaminantes específicamente de bandejas de estireno cuyo tiempo de descomposición es de más de 100 años, y que actualmente es una las principales causas de contaminación del planeta y según estudios, generadora de enfermedades endocrinas, cáncer, diabetes, y otros .

Otra justificación para la realización de la presente investigación es el valor agregado a los residuos de cáscaras de maracuyá y brácteas de alcachofa, que, al darle un nuevo uso como parte del componente de las bandejas biodegradables, podría constituir mejoras en los ingresos económicos tanto para los agricultores

como para las empresas agroindustriales, que actualmente los comercializan como alimento balanceado a un bajo precio.

Analizar la influencia del almidón y las fibras de los residuos de maracuyá y alcachofa, en diferentes porcentajes, en la composición de las bandejas, nos permitirá determinar cuál es la mejor alternativa, evaluando sus características físicas y mecánicas y comparándolos con las bandejas de poliestireno.

## **II. MARCO TEÓRICO**

### **2.1. ANTECEDENTES**

Barreiro y Coronel (2021) formularon bandejas biodegradables a partir de bagazo de caña de azúcar y almidón de yuca, cuyos porcentajes se encontraron en 15%, 25% y 35% en ambos componentes, además cal dolomita (carbonato de calcio y carbonato de magnesio), fécula de maíz y resina y agua. Su diseño fue completamente al azar en arreglo bifactorial  $3^2$ , con 9 tratamientos de 3 repeticiones. El análisis estadístico se aplicó a las propiedades mecánicas, al tiempo de degradación, valor de deflexión, dureza y fracturabilidad. Los resultados comparativos entre las formulaciones en cuanto sus propiedades mecánicas, no presentaron diferencias significativas ( $>0.05$ ). El tratamiento con 25% de bagazo de caña y 25% de almidón de yuca presentó mejores porcentajes de degradación. En el análisis organoléptico de color tampoco presentaron diferencias entre los diferentes tratamientos.

Matos y Diaz (2022) desarrollaron bandejas a partir de almidón extraído de la semilla de palta y almendra de mango en porcentajes entre el 90% y 100%, y fibras obtenidas a partir de semillas de palta en porcentajes de 0% al 10%. Elaboradas mediante termoformado a una temperatura de 200 °C por 85 segundos. Estas se caracterizaron evaluando sus propiedades químicas, físicas (espesor, humedad, color, densidad, y capacidad de absorción de agua) y mecánicas (resistencia a la perforación, tensión, resistencia a la deformación y elongación). El diseño experimental empleado fue el completamente al azar (DCA), con 10 formulaciones de 3 repeticiones. Se logró identificar mediante el FTIR con banda de 1440  $\text{cm}^{-1}$  la presencia de carbohidratos. En el análisis de color se observaron los tonos rojizos y amarillento a mayor cantidad de almidón. Se determinaron rangos de densidad entre 0.200  $\text{g/cm}^3$  y 0.292  $\text{g/cm}^3$ , la



tensión entre 0.07 MPa y 0.22 MPa y la resistencia a la perforación entre 19.71 N y 34 N. Se demostró que, ante el incremento de fibra en sus formulaciones, la humedad y la Capacidad de Absorción de agua (CAA) disminuyeron sus porcentajes, encontrándose la humedad entre 11.59 % y 12.20% y el CAA entre 56.07% y 114.13%, del mismo modo la elongación y la distancia de deformación, disminuyeron, encontrándose en rangos entre 0.33% a 0.91% y 2.07mm a 4.39 mm. La bandeja cuya formulación tuvo 90% de almidón y 10 % de fibra, presentó mejores resultados en cuanto a resistencia mecánica y absorción de agua.

Ponce y Horna (2023) elaboraron y caracterizaron bandejas biodegradables a partir de almidón de yuca en porcentajes entre el rango de (85% al 100%) y fibras extraídas de brácteas de alcachofa (0% al 15%). Se usó la termoprensa para la elaboración de las bandejas, variando las temperaturas entre 195°C y 200°C y el tiempo entre 1.67 min y 1.75 min. El tamaño de la granulometría de las materias primas se trabajó con tamiz de 125  $\mu\text{m}$ . El diseño estadístico fue el DCA (Completamente al Azar) de un solo factor categórico. Las bandejas se evaluaron en cuanto a sus características químicas, físicas, mecánicas y degradación, de los cuales se concluyó que a mayor porcentajes de fibras de brácteas de alcachofa en sus formulaciones, mayor densidad (entre 0.16  $\text{g/cm}^3$  y 0.24  $\text{g/cm}^3$ ), mayor solubilidad (20.85% a 22.59 %), mayor humedad (entre 8.46 % y 10.43 %) y menor espesor (desde 2.37 mm hasta 2.88 mm), La capacidad de absorción de agua se encontró desde 64.16 % hasta 99.20% y los sólidos volátiles entre 71.05% y 76.69%. Además, en el análisis de color se determinaron ante la presencia de dicha fibra, las tonalidades del rojo, amarillo y verde. En cuanto a las características mecánicas la dureza se encontró entre los rangos de 13.74 N a 21.69 N, tensión entre 0.01 Mpa y 0.03 Mpa, deformación entre 6.43mm hasta 8.06 mm y elongación en rangos entre 0.48% hasta 1.90%. Los resultados de las gráficas formadas en el análisis de Espectroscopia de Infrarrojos por transformada de Fournier, determinaron la presencia de amilosa y amilopectina en el número de onda de 1014  $\text{cm}^{-1}$ , además la presencia de fibra en su composición marco diferencias en las gráficas al compararlas con la que fue elaborada con 100% almidón. Concluyendo que las bandejas con 95% de almidón y 5 % de fibra es la que presentó mejores características mecánicas y físicas.

Cruz et al., (2019), investigaron acerca de las características químicas, físicas y mecánicas de bandejas de espumas elaboradas a partir de almidones nativos (arracacha, oca y camote). Para el análisis estadístico, comparando las propiedades

entre almidones y espumas se usó análisis de varianza y diferencia mínima significativa de Fisher (LSD) a un nivel de significación de 5%. Las bandejas fueron elaboradas mediante termoprensado a temperaturas de 140°C por 18 min y 60 bares, usando en sus formulaciones una proporción de 100 g de almidón, 100gr de agua, 6.25 g de glicerol y 7.5 g de estearato de magnesio, formando masas entre 50 gr y 60 gr. El mayor contenido de amilosa de los almidones nativos lo obtuvo el almidón de camote con 42.65 %. El mayor valor de proteína se obtuvo del almidón de oca en un 0.4% y menor cantidad en un 0.30% del almidón de camote. Los espesores de las bandejas variaron entre 2.51 mm y 2.62 mm, las densidades se mostraron en el rango de 0.14 y 0.18 g cm<sup>-3</sup>, la capacidad de absorción de agua entre 55.41 % y 99.72 % siendo el valor más alto el de la espuma de arracacha. El análisis de color de las bandejas emitió en el parámetro  $a^*=1.60$ , tonos rojizos para bandejas de almidón de oca, amarillentos para almidón de arracacha ( $a=4.58$ ) y almidón de camote ( $a=3.15$ ). La luminosidad  $L^*=75.05$  más pronunciada se logró en las bandejas con almidón de camote. Los análisis mecánicos de resistencia a la tracción emitieron los valores más altos en sus resultados de 0.67 MPa en bandejas de camote y 0.65 MPa en bandejas de oca y como valor más bajo el de almidón de arracacha con 0.52 MPa, en el caso de alargamiento a la rotura o elongación para bandejas de almidón de arracacha, almidón de oca y almidón de camote se obtuvieron resultados de 1.13%, 1.10% y 1.03% respectivamente.

En la investigación realizada por Cabanillas et al., (2019), usaron fibra de cáscara de piña como componente de refuerzo para la elaboración de bandejas de almidón de yuca. Estas se moldearon y sometieron a compresión a 60 bar de presión, temperatura de 170°C por 7 min. La relación de almidón/fibra variaron entre 100/0 y 80/20, se usó 7.5% de glicerol y 3 % de estearato de magnesio; formando masas en rangos de 55g a 56 g. Fueron analizadas, evaluadas y comparadas con bandejas de poliestireno (EPS), en cuanto a sus características físicas, mecánicas y microestructurales. En el análisis estadístico se usó para comparar resultados la varianza ANOVA y la prueba significativa de Tukey con el software versión 7.0. Comparando con las bandejas de EPS con 0.83 MPa de resistencia a la tracción, las bandejas almidón/ fibra de 100/0 y 95/5 obtuvieron los valores más cercanos, entre 0.70 y 0.76 Mpa respectivamente. En cuanto al color el valor de  $L^*$  disminuyó al aumentar el porcentaje de fibra, y la coloración tomó los tonos parduzcos amarillentos. El espesor se encontró entre 2.588 mm y 2.616 mm y la densidad varió

entre 368.9 kg/m<sup>3</sup> y 410.5 kg/m<sup>3</sup>. La capacidad de absorción de agua se evaluó en diferentes tiempos 1,5,10,15,20 min y varió entre 0.75 y 0.86 g de agua/g materia seca, incrementándose a mayor tiempo de inmersión. En el análisis de espectroscopía FTIR, en la banda de 3310 cm<sup>-1</sup> se visualizaron enlaces de hidrógeno y los carbohidratos se mostraron en las bandas 1150 y 575 cm<sup>-1</sup>.

Las propiedades mecánicas como el alargamiento se encontraron entre 1.16 y 1.38% para las diferentes formulaciones, siendo valores menores al del EPS con 2.82%. La resistencia a la perforación varió entre 2.09 y 2.88 Kg y la fractuabilidad entre 2.31 a 2.96 mm menores a los 3.88 Kg y 5.54 mm de la EPS.

## **2.2. MARCO CONCEPTUAL**

### **2.2.1. PLATOS BIODEGRADABLES**

Son aquellos elaborados a partir de materiales orgánicos que pueden ser degradados de forma natural, por acción enzimática de los microbios, y que tiene efectos más amigables con el medio ambiente, principalmente por el corto periodo de descomposición con relación a los materiales de poliestireno (Luna et al., 2021; Matos y Diaz, 2022 y Mello y Mali, 2014). En el Perú, por medio de la Ley N°30884 en Art. 5 (2019) se viene promoviendo el uso de plásticos cuya degradación no genere contaminación por microplásticos o sustancias peligrosas. Las investigaciones han logrado obtener envases mediante la mezcla de almidones, fibras, agua y otros componentes, que son moldeados en termoprensas (Espina et al., 2016; Cruz et al., 2019). Sin embargo, debido a la característica hidrofílica de los almidones que lo componen, impacta en sus propiedades mecánicas, es por ello que se está investigando mediante la adición de variedades de fibras, aditivos, nanopartículas de residuos agroindustriales, y modificaciones del almidón; mejorar dicha deficiencia. (Ponce y Horna, 2023).

### **2.2.2 BIOPOLÍMEROS**

Son macromoléculas de polímeros formados por cadenas de unidades monoméricas unidas covalentemente, se obtienen de productos orgánicos como poliésteres microbianos, plantas, algas y hongos. (Fernández, 2019; Cornejo et al., 2020). Los

derivados de almidones, fibras, celulosa u otros son biodegradables. Los biopolímeros se clasifican según su biodegradabilidad en biodegradables y no biodegradables, según su base en biológica y no biológica, en función de su estructura polimérica en poliésteres, policarbonatos, polisacáridos, poliamidas y polímeros de vinilo. Y finalmente según su unidad repetitiva en polisacáridos, proteínas y ácidos nucleicos (Molina & Flores, 2020).

### **2.2.3. BIOPLÁSTICO**

Es un tipo de biopolímero, de procedencia naturalmente biológica, que, a diferencia de los plásticos derivados de petróleo, como el polipropileno y poliestireno, pueden ser biodegradados por los microorganismos (Cornejo et al., 2020). Los plásticos sintéticos también pueden ser biodegradados, mediante aditivos, pero tienen aproximadamente 200 años como tiempo de degradación, comparándolos con los bioplásticos que se biodegradan en menos de 1 año. En función a su estructura se clasifican en polinucleótidos (usados en medicina estética), polipéptidos (proteínas) y polisacáridos (almidón) (Ponce y Horna, 2023). Teniendo en cuenta que las materias primas para producir los bioplásticos podrían competir con el suelo por la producción de alimentos, se clasifican en primera, segunda y tercera generación. Los de primera generación son los que provienen de alimentos como el almidón, los de segunda son los que se producen a partir de maderas, residuos agrícolas o los municipales. Y los de tercera generación producidas por microorganismos como las bacterias, algas u hongos, como el ácido poliláctico (PLA) (Artigas, 2020). Por otro lado, el bioplástico conocido como espuma de almidón presenta cualidades de ser antiestático, aislante y amortiguador, con características similares a la espuma de poliestireno es decir útil para la fabricación de objetos como platos y charolas, siendo su degradación al 100% (Rubio y Guerrero, 2012).

#### **2.2.4. BIODEGRADACIÓN DE BIOPOLÍMEROS**

La biodegradación es la descomposición o modificación de los polímeros en cuanto a su estructura química, propiedades y funciones por parte de los microorganismos, animales, condiciones ambientales del entorno (aeróbica o anaeróbica, pH, temperatura, humedad, peso molecular del polímero, etc), transformándola en agua, CO<sub>2</sub> y biomasa. (Sarria y Gallo, 2016; Rodriguez, 2012; Aradilla, 2012). El tiempo de degradación de los biopolímeros la hacen elegible o no como un material biodegradable.

El proceso de biodegradación se inicia mediante la hidrólisis y la acción de las enzimas básicamente de las glucosidasas y amilasas que aceleran el proceso de degradación de los almidones; de tal modo que el agua al ingresar rompe los enlaces de las cadenas poliméricas convirtiéndolas en cadenas cortas aumentando su solubilidad en agua y disminuyendo el peso molecular de una manera gradual hasta ir perdiendo sus propiedades mecánicas. Como una segunda fase de degradación, el agua fragmenta el material, incrementándose la acción de las enzimas hasta deteriorarla y disminuyendo la masa (Ruiz, 2005).

Las normativas europeas EN 13432 y EN 14045 establece que para determinar si los envases son compostables, se deben someter a medios de compostaje entre 3 meses o 12 semanas, hasta máximo 6 meses, y su nivel de degradación debe ser de 90% y menor a 10% y 4 mm<sup>2</sup> de trazas o fragmentos finales (Cornejo et al., 2020). Gómez y Sedano (2019) evaluaron el nivel de degradación en compost de envases biodegradables, en el periodo de 120 días, en el que determinaron que en platos compostables la degradación obtuvo porcentajes entre 34.77% y 80.73% y en vasos de polipapel entre 52.04% y 65.70%. Por otro lado, Prado (2022) determinó en su investigación que en 74 días los platos de almidón de maíz alcanzaron un grado de degradación entre 72.70% y 85.33%, los platos de areca se degradaron en un 50% y los platos de bagazo de caña menor al 50%.

#### **2.2.5. ALMIDÓN**

Es un homopolisacárido formado por cadenas de glucosas cuya fórmula química es (C<sub>6</sub> H<sub>10</sub> O<sub>5</sub>)<sub>n</sub>, existen diferentes tamaños y tipos de la misma, que dependen de su composición y de las fuentes de las que se extrae (Arias, 2019,). Compuesta por dos estructuras semicristalinas, lineales e interconectadas por enlaces  $\alpha$ -D glucosídicos que son la amilosa (20%-30%) y la amilopectina (70%-80%) (Briones

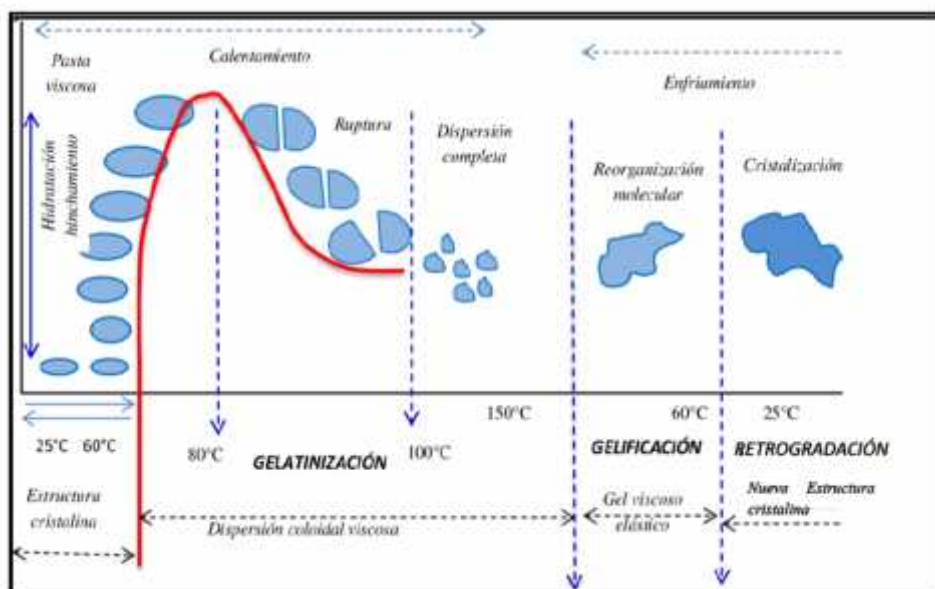
y Riera, 2020; Udeme y Lateef, 2016). El almidón que se encuentran en los cereales se clasifican cómo tipo A, los de raíces son los tipos B y leguminosas son los clasificados en el tipo C. Sus propiedades más importantes son la cristalinidad, solubilidad, absorción de agua, retrogradación, gelatinización y poder de hinchamiento (Barreiro y Coronel, 2021). La yuca alcanza un porcentaje de 18% a 23% de almidón (Cornejo et al., 2020).

## 2.2.6. ALMIDÓN DE YUCA

El almidón nativo de la yuca (*Manihot Esculenta*), es extraída por métodos mecánicos, mediante disolución con agua y filtrado. Además, tiene como característica principal que es insoluble en agua. Bajo tratamiento térmico la estructura del almidón se va modificando (hinchamiento, hidratación, fusión y rompimiento) al ir experimentando cada parte del proceso de gelatinización, gelificación y retrogradación como se observa en la figura 1. (Barreiro y Coronel, 2021). Cabanillas et al., 2019, reportaron 33.91% de contenido de amilosa, 13.62 % de humedad, 1.12 % de proteína en almidones de extraídos de la yuca. La temperatura de gelatinización es encuentra en valores cercanos a 70°C (Briones y Riera, 2020; Arias, 2019), formando geles débiles estructuralmente. (Barreiro y Coronel, 2021)

**Figura 1**

*Fenómenos durante el calentamiento y enfriamiento del almidón.*



Nota, Matos y Diaz (2022)

### **2.2.7. AMILOSA**

La amilosa es un polisacárido lineal, son poco ramificadas y son de forma helicoidal (cada vuelta es de 6 moléculas de glucosa) que está formado por la unión de glucopiranosas unidas por enlaces glucosídicos en los carbonos  $\alpha$ -D-(1 4), encontrándose aproximadamente 1000 unidades de glucosa. Está formado por un extremo reductor con hidroxilo de carbono libre y en el extremo opuesto no reductor con el hidroxilo del carbono anomérico formando parte del enlace glucosídico. Este polímero tiene afinidad al agua debido a la presencia de hidroxilos como parte de su composición, pero por tener forma lineal, sus unidades tienen a agruparse con otros polímeros con los que se encuentran unidos por puentes de hidrógeno, que los hace perder su característica hidrofílica (Aristizábal, Sánchez y Mejía, 2007; Ponce y Horna, 2023). En la mayoría de almidones se encuentran en 20%, sin embargo, Briones y Riera (2020) mencionan que al estudiar 20 genotipos de yuca, los porcentajes de amilosa variaron entre 16.90% y 29.50 %. La amilosa tiene efectos en los procesos de gelatinización y retrogradación, aspecto importante para la elaboración y almacenamiento de las películas (Briones y Riera, 2020).

### **2.2.8. AMILOPECTINA**

La amilopectina es un polisacárido también unida por enlaces glucosídicos  $\alpha$ -D-(1 4) pero que entre cada unidad de glucosa de 25 a 35 se ramifica por enlaces  $\alpha$ -D-(1 6) formando hasta 100 000 unidades de glucosa. Por su estructura ramificada y su alto peso molecular, adquiere la propiedad de tener baja osmolaridad y capacidad limitada de gelificación que la hace más resistente y por tener mayores enlaces de hidrogeno, el almidón presenta mayor claridad. (Ponce y Horna, 2023; Aristizábal, Sánchez y Mejía, 2007). Constituye el 80% en la mayoría de los almidones. Aunque según Enríquez et al. 2013 en diferentes variedades de almidón de yuca reportó entre 75.27 % y 77.83% de amilopectina.

### **2.2.9. CRISTALINIDAD**

Es la característica estructural del almidón que la hacen semicristalinas ya que presenta por un lado cadenas repetitivas, ordenadas o cristalinas de amilopectinas y por otro lado estructuras desordenadas o amorfas que son regiones ramificadas compuestas por amilosa y amilopectinas. La estructura en sí del almidón y el grado

de interacción entre la amilosa y la amilopectina, que varían según la fuente de donde procede, influye en su resistencia mecánica, flexibilidad, viscosidad, formación de geles, humedad, dureza y color de los productos que se elaboran en base al almidón. (Barreiro y Coronel, 2021; Matos, 2022; Espinoza 2019).

#### **2.2.10. SOLUBILIDAD DEL ALMIDÓN**

El almidón es insoluble en agua fría, sin embargo, al ir aumentando la temperatura se inicia con la solubilidad de la parte amorfa (amilosa) y a temperaturas más altas se fusionan las estructuras cristalinas (amilopectina). La solubilidad también se puede mejorar con la agitación mecánica. (Espinoza 2019; Matos y Diaz 2022).

#### **2.2.11. ABSORCIÓN DE AGUA**

La absorción de agua se produce a altas temperaturas, de tal modo que los gránulos de almidón se hinchan, al ingresar el agua a través de las estructuras más estrechas de la amilopectina. La capacidad de absorción de agua depende del tamaño del gránulo, de la procedencia del almidón, de los componentes hidrofílicos e hidrofóbicos (lípidos) del almidón, y la temperatura. (Ponce y Horna, 2023; Matos y Diaz, 2022).

#### **2.2.12. PODER DE HINCHAMIENTO**

El poder de hinchamiento del almidón se refiere a la capacidad de absorción de agua, y está condicionado al mayor contenido de amilopectina, la temperatura y la cantidad de agua. (Ponce y Horna, 2023), para el almidón de yuca, el poder de hinchamiento varía entre 0.79g/g y 15,45 g/g (Briones y Riera, 2020)

#### **2.2.13. GELATINIZACIÓN**

Es el proceso de transformación de los gránulos de almidón sometidos al calor y agua, de tal modo que, al lograr la temperatura crítica de gelatinización, su estructura semicristalina se va perdiendo, al absorber agua, liberando la amilosa y la amilopectina para formar geles (Ponce y Horna, 2023). A mayor temperatura



crítica de gelatinización, mayor es el nivel de ordenamiento de los gránulos, es decir mayores porcentajes de amilopectinas, variando según el tipo de almidón. (Salgado et al., 2019).

#### **2.2.14. VISCOSIDAD**

Es la resistencia de los fluidos al movimiento, deformación, o agitación. (Paredes, 2022; Ponce y Horna, 2023). Enríquez et. al., (2013), recomienda en su investigación el uso de almidones con bajo contenido de amilosa, y poca viscosidad, ya que podría beneficiar en el menor uso de energía para la elaboración de productos plastificantes como las bandejas biodegradables, reportando viscosidades para almidones nativos de yuca alrededor de 1 Pa\*s.

#### **2.2.15. RETROGRADACIÓN**

Es el proceso por el cual el almidón gelatinizado, se enfrían, reordenando la amilosa y constituyendo estructuras rígidas y estables (Barreiro y Coronel, 2021). Está influenciada por las concentraciones de almidón, tipo de enfriamiento, pH, sales, elementos lipídicos, polifenoles y proteínas (Ponce y Horna, 2023).

#### **2.2.16. ALMIDONES TERMOPLÁSTICOS**

El almidón termoplástico es un tipo de bioplástico; modificado al adicionar glicerina, sorbitol o agua sometido a energía térmica a una temperatura crítica, en cantidades menores al 20% en su formulación; de tal modo que los grupos hidroxilos forman puentes de hidrógeno, liberando las cadenas hasta perder la semicristalinidad (Cornejo et al., 2020). Los plastificantes retardan la retrogradación de los productos, aunque el agua en exceso podría recrystalizar los gránulos, al formar grupos hidroxilos, afectando las características mecánicas de los materiales (Cermeno, 2020). La velocidad de deformación y temperatura durante su procesamiento afectan los procesos de extrusión, moldeo por presión o moldeo por inyección, al obtener el material requerido. (Ruiz, 2005).

#### **2.2.17. TEMPERATURA DE PLASTIFICACIÓN**

Es la temperatura a la que está sometida la masa formada por el almidón y otros aditivos, esta es mayor a la temperatura de gelatinización, y al agregarle el plastificante, transforma los gránulos cristalinos formando estructuras termoplásticas (Ponce y Horna, 2023). La glicerina o glicerol es el plástificante que

se viene usando para la elaboración de bandejas (Cabanillas et al., 2019 ; Cruz et al., 2019)

#### **2.2.18. PLASTIFICANTES**

Es una sustancia de consistencia viscosa y bajo peso molecular que ayuda a mejorar la flexibilidad, de los materiales (Ponce y Horna, 2023). Debido a la característica propia del almidón cuya estructura están unidas por puentes de hidrógeno y grupos hidroxilos, la hacen soluble al agua, lo que afecta las propiedades mecánicas, reológicas y térmicas de los productos que forman parte (Cornejo, 2020). Es por ello necesario la incorporación de sustancias plastificantes como el glicerol, polivinil de alcohol, ácidos carboxílicos, sorbitol, propilenglicol, etilenglicol, polietilenglicol, trietil citrato, triacetina formamidas, urea, ácidos grasos, aceites esenciales, etc (Ponce y Horna, 2023).

#### **2.2.19. GLICERINA**

El glicerol cuya fórmula química es  $C_3H_8O_3$ , se conoce como glicerina y propano -1,2,3- Triol, según IUPAC, está formado por glicerol y 3 cadenas de ácidos grasos unidas al grupo hidroxilo del glicerol. Como características tenemos que es una sustancia transparente, incolora, viscosa, inodoro, semivolátil e higroscópica (Ben et al., 2022). Constituye un agente plastificante útil para mejorar las propiedades mecánicas de los biopolímeros, como los almidones, en cuanto a su flexibilidad y resistencia a la rotura. Además, a mayor cantidad de plastificante mayor elongación y deformación (Ponce y Horna, 2023; Cornejo, 2020). También interfiere en otras propiedades como las funcionales en cuanto a barrera al vapor de agua, dióxido de carbono y oxígeno; y en propiedades físicas en cuanto al color y opacidad. (Vásquez et al., 2020). Cruz et al., (2019) elaboró bandejas donde para 100 gr de almidón (arracacha, oca o camote) agregó 6.25 g de glicerol, Cabanillas et al., (2019) uso como plastificante, al glicerol en una proporción de 7.5 g en todas sus formulaciones con cantidades de almidón de yuca de 80g a 100 g., Ponce y Horna (2023) desarrollaron bandejas donde por cada 100 g de materia prima (almidón de yuca+ harina de brácteas de alcachofa), agregó 7.5 g de glicerol y Diaz (2017) en bandejas hechas a partir de almidón de papa, rastrojo de maíz y fibra de soya uso entre 3 y 10 % de glicerol.

#### **2.2.20. GOMA GUAR**

La goma guar es un biopolímero perteneciente a la familia de los galactomananos no iónicos, que se extraen de las semillas de guar. Debido a sus cualidades filmógenas, biocompatibilidad y degradabilidad viene ganando aceptación para la elaboración de diversos productos entre ellos películas para recubrimiento de alimentos. Mejorando sus propiedades mecánicas como elongación a la rotura y tracción y las propiedades de barrera como protección contra la radiación ultravioleta (Jiang et al., 2023). Diaz (2017) y Ponce y Horna (2023), desarrollaron bandejas adicionando dentro de sus formulaciones 1g/100g de goma guar.

#### **2.2.21. ESTEARATO DE MAGNESIO**

La farmacopea de EEUU (USPNF) define al estearato de magnesio como una mezcla de ácidos orgánicos y refinados, de ácido palmítico y esteárico a temperaturas elevadas (Rivera, 2021). Diaz (2017) en la elaboración de bandejas a partir de almidón de papa y rastrojo de maíz, agregó como aditivo al estearato de magnesio en una proporción de 0.5 g por cada 100 g de mezcla, Ponce y Horna (2023) y Cruz et al. (2019) agregaron en sus formulaciones 6g y 7.5g de estearato de magnesio por cada 100 g de mezcla respectivamente, para aprovechar sus propiedades desmoldantes.

#### **2.2.22. FIBRAS VEGETALES**

Son componentes de las plantas, animales y minerales. Para nuestro caso el proveniente de plantas, están compuestos de proteínas, celulosa, pectinas, ceras, sustancias hidrosolubles y aceite. Sus propiedades mecánicas están influenciadas por sus características químicas, físicas y morfológicas. Las fibras con alto contenido de celulosa (componentes cristalinos) y bajo contenido de lignina incrementan la resistencia a la tracción. Otra característica de las fibras es su capacidad de absorción de agua, afectando las matrices que forman al ser usada como elemento de refuerzo, con otros componentes. Además, los compuestos lignocelulósicos de las paredes celulares de los polímeros influyen en la degradabilidad por UV y formación de carbón de las fibras (Karimah et al., 2021). En cuanto a la fibra dietética está definida por la American Association of Cereal Chemist (2001), como las partes comestibles de las plantas que resisten las reacciones químicas que ocurren en el intestino delgado durante la digestión y

absorción, y el proceso de fermentación en el intestino grueso (Escudero y Gonzales, 2006). Dentro de las FD tenemos las solubles FDS (pectinas, gomas, mucílagos, etc) y las insolubles FDI (celulosas, hemicelulosas, ligninas, y otras sustancias vegetales). Estas constituyen una influencia importante en las propiedades funcionales durante el procesamiento de los productos alimenticios, impactando en su calidad (Martínez y Rodríguez, 2023; Matos y Díaz 2022).

#### **2.2.23. HARINA DE CÁSCARA DE MARACUYÁ (*PASSIFLORA EDULIS*)**

La cáscara o pericarpio de maracuyá que constituye la parte blanquecina (epicarpio) y parte amarilla (mesocarpio) se obtiene como un derivado de las fábricas de procesamiento de pulpa de maracuyá. Es utilizada como parte de alimento balanceado para el ganado bovino, pues es rica en fibras, aminoácidos, proteínas, carbohidratos y pectina. (Piedra, 2015; Escribano, 2020). El fruto de maracuyá tiene dos variedades que son la amarilla y el morado. De la variedad amarilla se obtiene rendimientos de 50 a 55 g de cáscara por cada 100 g de fruta fresca (Escribano, 2020). Chuqui y Paucar (2021), caracterizaron la harina de cáscara de maracuyá determinando la humedad promedio de 11.25%, proteína 5.14%, grasa 0.6%, Cenizas 4.93%, fibra bruta de 28.33%, fibra dietética total de 63.88% y obtuvo rendimientos entre 50 y 51% de cáscara con relación al fruto entero y 8.98% de cáscara de maracuyá deshidratada, molida y tamizada.

#### **2.2.24. HARINA DE BRÁCTEAS DE ALCACHOFA (*CYNARA SCOLYMUS*, L.)**

La harina de brácteas de alcachofa se obtiene de los residuos del procesamiento de la alcachofa en las empresas agroindustriales donde se aprovecha el corazón o receptáculo, siendo las demás partes de la planta como las hojas y flores conocidas como la pelusa. El cardo penquero es extraído de la planta al alcanzar su tamaño más grande, pero con cierto nivel de inmadurez ya que al superarla adquieren características inadecuadas para el aprovechamiento de la pulpa. Los residuos constituyen entre el 65 % a 70% de la alcachofa, de los cuales son utilizados actualmente como alimento para animales, productos fertilizantes y farmacéuticos. (Monge et al., 2019; Acosta, 2020). Si bien es cierto que su uso más importante está en el alimentario, en el caso de la fibra insoluble que compone la alcachofa, puede ser usada en la producción de bioenergía, polímeros y sorbentes (Colombo et. al., 2024).

#### **2.2.25. TERMOFORMADO**

Rodríguez (2012) la describe como el proceso usado para la fabricación de artículos de plástico entre ellos empaques de alimentos, y consiste en 3 etapas, calentamiento de la lámina, Pre-estirado (puede ser mecánico y/o neumático) y formado o moldeo-enfriamiento. Es una técnica de procesamiento que consiste en calentar dos placas paralelas, cuya función es el moldeo mediante presión y temperaturas mayores a la de ebullición del agua (Ponce y Horna, 2023). La masa es colocada en la placa inferior que posee 4 orificios de ventilación de aire untada con desmoldante, para luego ser presionada por la placa superior, ambas placas son moldes opuestos macho y hembra, que son las encargadas de darle la forma al producto que la contienen, y finalmente se realiza el horneado. (Matos y Diaz, 2021). Cruz et al. (2019) elaboraron bandejas en moldes de teflón de 27 cm x 20 cm x 25 mm y 3 mm de espesor, temperatura de 140°C por 18 min y 60 bares.

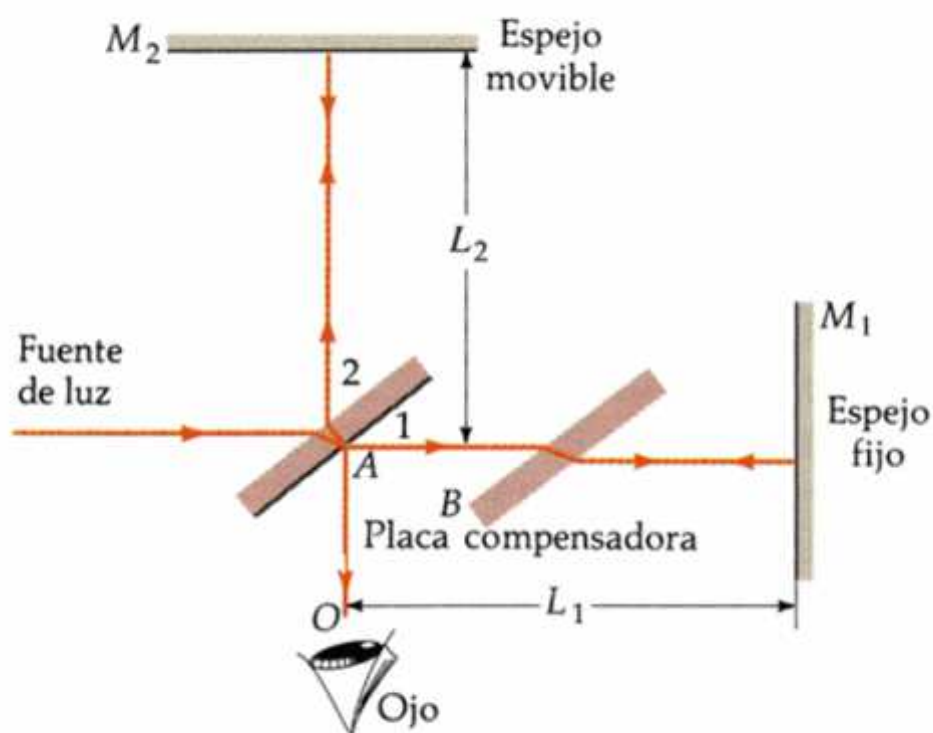
#### **2.2.26. FTIR**

La espectroscopia infrarroja por transformada de Fourier, es una técnica que usa el interferómetro de Michelson (figura 2) y está compuesta de dos espejos uno móvil y otro fijo, y un divisor de haz, este último es el encargado de la transmisión de 50% de la radiación incidente desde la fuente al espejo móvil, reflejando el otro 50% restante al espejo fijo. Al mismo tiempo los espejos reflejan ambos haces directamente hacia el divisor, recombinándose. En radiaciones infrarrojas la suma de las interacciones para cada uno de los componentes de la muestra, emiten señales complejas llamadas interferogramas, cuyos datos son interpretados mediante la aplicación de la Transformada de Fourier convirtiéndose en un espectro relacionando intensidad vs frecuencia (número de onda). Las moléculas de los grupos funcionales como carboxilos, carbonilos e hidroxilos, que componen las muestras a medir, presentan su propio espectro en la región infrarroja, que la hacen única, y la identifican (análisis cualitativo). En los gráficos del espectro, los picos representan las frecuencias de vibración de los átomos de cada muestra cuyas alturas constituyen la cantidad de una muestra (análisis cuantitativo) (Fonseca, 2019; Espinoza, 2019). En el espectro IR en los rangos de 4000 – 1600  $\text{cm}^{-1}$  encontramos las vibraciones correspondientes a los grupos funcionales, en la región entre 1500 – 500  $\text{cm}^{-1}$  son los llamados huellas digitales, debido a la variación de las señales entre los compuestos (Daza y Parra, 2021). Para muestras gruesas y

duras se usa el accesorio ATR (reflectancia total atenuada), que utiliza un cristal (diamante) denso con alto índice de refracción, donde el haz infrarrojo refleja creando una onda evanescente, que se extiende más allá de la superficie del cristal hasta la muestra. Dicha onda se atenúa en las regiones del espectro IR, donde la muestra absorbe energía, este haz regresa al cristal y se dirige al detector del espectrofotómetro IR, donde lo registra como una señal de interferograma, generando un espectro IR (Thermo Fisher Scientific, s.f).

**Figura 2.**

*Interferómetro de Michelson*



Nota, adaptado de Castaños, (2015)

### **III. METODOLOGÍA**

#### **3.1. LUGAR DE EJECUCIÓN**

La ejecución de la tesis se realizó en las siguientes instituciones:

- Universidad Nacional del Santa: Laboratorio de Análisis y Composición de Productos Agroindustriales, laboratorio de Microbiología y Toxicología de Alimentos, Planta Piloto y en el Instituto de Investigación Tecnológica Agroindustrial (IITA).
- Universidad Nacional de Trujillo: Laboratorio de Procesos Agroindustriales

#### **3.2. MÉTODO**

Teniendo en cuenta que la metodología experimental implica la manipulación de las variables independientes sobre el objeto de investigación, ésta última considerada como variable dependiente, se procedió a comprobar o validar la hipótesis, siendo las variables independientes los porcentajes de almidón de yuca, y los residuos de maracuyá y alcachofa cuya combinación de porcentajes influenciará en las características mecánicas y físicas de las bandejas biodegradables, considerada el objeto de estudio y variable dependiente. Comprobando la relación causa-efecto. Además, el presente estudio es considerada cuantitativa

#### **3.3. OPERACIONALIZACIÓN DE VARIABLES**

En el Tabla 1 se identifican las variables dependientes e independientes del presente estudio.

**Tabla 1***Operacionalización de Variables*

<b>Variables (Definición)</b>	<b>Dimensiones</b>	<b>Indicador</b>	<b>Tipo de variables</b>
<b>VARIABLE INDEPENDIENTE</b> Tratamientos con % de almidón de yuca  Porcentajes de Cáscara de maracuyá ( <i>Passiflora edulis</i> ) y % residuos de alcachofa, en las formulaciones de la elaboración de las bandejas biodegradables	FISICAS	- Porcentajes de almidón de yuca, residuos de maracuyá y alcachofa	Numérica
<b>VARIABLE INTERVINIENTE</b> Tiempo de termoprensado	FISICAS	- min	Numérica
<b>VARIABLE DEPENDIENTE</b> Caracterización de Bandejas Biodegradables	MECÁNICAS	- Humedad (%) - Capacidad de absorción de agua (g agua/g m.s) - Densidad (gr/cm <sup>3</sup> ) - Espesor (mm) - Colorimetría (L*, a*, b*, E) - Dureza (N) - Fracturabilidad (mm) - Máxima fuerza de tensión ( Kg) - Distancia de máxima fuerza de tensión (mm) - Esfuerzo (Mpa) - Elongación (%)	Numérica



### 3.4. MATERIALES E INSTRUMENTOS

#### 3.4.1. MATERIA PRIMA

- Almidón extraído de 32 Kg la yuca blanca (*Manihot sculenta*) de variedad Huayro, adquirida en el Mercado “Buenos Aires “de Nuevo Chimbote, de procedencia de los Valles de Nepeña, provincia del Santa-Ancash.
- Harina extraída de 30.0 Kg Maracuyá (*Passiflora edulis*), variedad Amarillo, cuyos frutos fueron recolectadas en los campos de cultivo de Tamborreal – Santa.
- Harina extraída de 21.0 Kg de brácteas de alcachofa (*Cynara scolymus*) (HBA) de variedad americana criolla, recolectadas en el valle de Tamborreal, distrito del Santa, provincia del Santa.

#### 3.4.2. INSUMOS

- Goma guar: Omnicem, Lima.
- Glicerina P.A 99.5% ( $C_3H_8O_3$ ): Vida Médica S.R.L.
- Estearato de magnesio ( $Mg(C_{18}H_{35}O_2)_2$ ): Omnicem-Lima.
- Desmoldante G.A: marca PURALIX-Chimbote.
- Papel de manteca

#### 3.4.3. REACTIVOS

Los reactivos para los análisis de la materia prima fueron:

- Análisis de Amilosas y Amilopectinas: éter etílico ( $(C_2H_5)_2O$ ), Hidróxido de Sodio (NaOH 1M), Etanol ( $C_6H_6O$  96%), Ácido acético ( $CH_3-COOH$  1 M), Solución de yodo 0.0001N (Yoduro de potasio, KI).
- Análisis de Fibra: buffer fosfato 0.08M pH 6.0 (fosfato di básico de sodio anhidro  $Na_2HPO_4$  y fosfato monobásico de sodio monohidratado  $NaH_2PO_4$ ), hidróxido de sodio (NaOH 36 %, 0.275 N), ácido clorhídrico (HCl 0.1 N, 0.325 N), celite ( $CNa_2O_3$ ), alcohol  $C_2H_5OH$  de 96° y 78°, enzimas: -amilasa, proteasas y amiloglucosidasa ( -1,4 glucohidrolasa).
- Agua destilada

### 3.4.4. EQUIPOS E INSTRUMENTOS

- Balanza Analítica: Marca OHAUS, modelo PIONER PX 323.
- Balanza de precisión: Marca PRECISA, modelo LX 4200C SCS.Serie:321LX 7200181
- Balanza X 500 gr x 1Kg/ 177 oz, Marca:SF-400.
- Balanza Analítica: Marca PRECISA, Modelo LX 220A.
- Balanza de plataforma Max.100 kg: Marca: VALTOX, modelo: LP100EP-607-2
- Licuadora Industrial capacidad 15 litros: Marca SKYMSSEN, modelo: LAR-08MB, serie: 706604000134, procedencia: Brasil
- Molino: Marca BRABENDER GmbH & Co, modelo: SM4, serie: 1936520
- Molino centrífugo: Marca: RETSCH, modelo: ZM200, Serie: 1216010320Q
- Molino manual: marca: CORONA
- Balanza mesa: marca: ELECTRONIC, modelo: SF-400
- Secadora de Bandejas: Marca: INOXTRON, procedencia: Perú.
- Secadora de Bandejas: Marca: CORPORACIÓN JARCON DEL PERÚ, modelo SBT-10X10.Serie: JP 001 01 13
- Tamizador: Marca MALLAS Y ACEROS DEL PERÚ S.A.C, modelo: 27CMA. procedencia: Perú
- Batidora de mano: marca: OSTER, Modelo: 4450-88, procedencia: USA.
- Estufa de secado: Marca POL-EKO, modelo SLW 115 TOP+, serie: SWITF121018
- Mufla: Marca: PROTHERM, modelo: ECO 110/3. Serie 22050159, Procedencia Americana.
- Sistema Extractor de Grasas (Soxhlet): Marca FOSS, modelo SOXTEC, serie: 204300089, procedencia: China.
- Analizador de Fibra: Marca Foss, modelo Fibertec 1023, serie: 91760484, procedencia: USA
- Colorímetro digital: Marca SPECTROPHOTOMETER. Shenzhen Kingwell Instruments Co, modelo CP100, procedencia: China.
- Pie de Rey digital: marca TRUPER IF54 de rango de 0 a 150 mm, modelo: CALDI-6MP, código: 14388, procedencia: China
- Espectrofotómetro FTIR modelo Nicolet IS50, marca Thermo Scientific, procedencia EE.UU.

- Termoprensa: marca: RELES, modelo: PHECL/010, serie:547-21
- Tamiz de ensayo estándar especificación A.S.T.M E-11, marca CORMACPERU de 150um.
- Analizador de textura Marca Stable Micro System, modelo TA. HD Plus, procedencia: Reyno Unido.
- Esterilizador: serie: SW1TF121017.
- Espectrofotómetro de Infrarrojo, marca NANODROP 2000C
- Analizador de proteínas ELEMENTAL CHN 628 – DUMAS, marca: LECCO, modelo:622-000-300, serie: 3626

### **3.4.5. MATERIALES DE VIDRIO Y OTROS**

- Vasos de precipitación de 500ml
- Vasos de precipitación de 250ml
- Desecador
- Pipetas de vidrio 1ml, 2ml, 5ml, 10ml
- Micropipetas automáticas
- Pipetas automáticas
- Matraces Erlenmeyer de 100 ml, 200ml y 250ml
- Placas petri
- Fiolas de 1000 ml, 100 ml
- Crisoles
- Bolsas herméticas de polietileno de baja densidad de 31 x 27 cm
- Cuchillos y cúter
- Bales de acero inoxidable
- Papel filtro
- Baldes plásticos de 20 L
- Coladores
- Guantes
- Pinzas, espátulas, cucharas, tijeras
- Papel toalla.

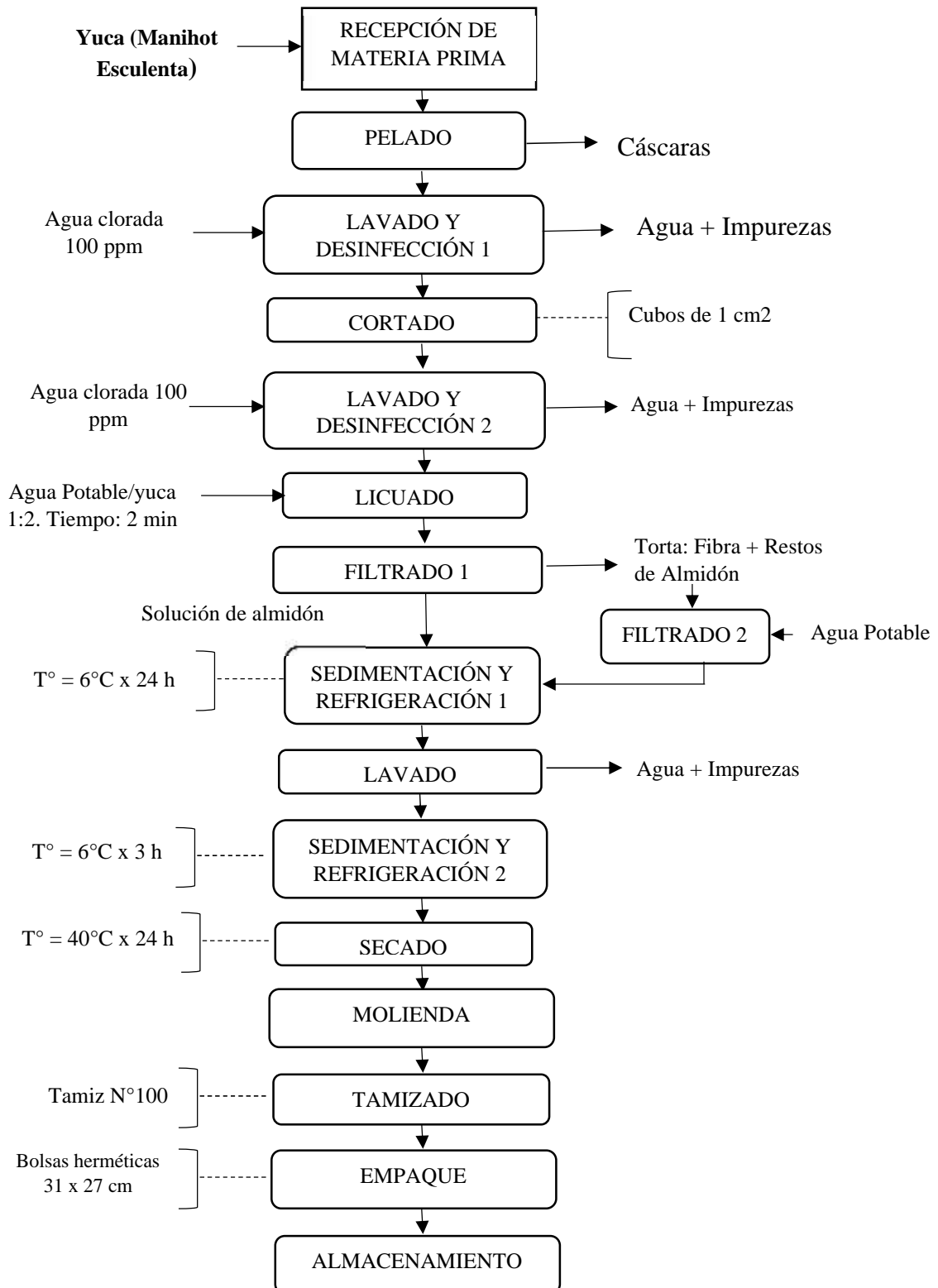
### 3.5. METODOLOGÍA

#### 3.5.1. PROCESO DE EXTRACCIÓN DE ALMIDÓN DE YUCA

**Figura 3**

*Diagrama de flujo para la extracción de almidón de yuca*

En la Figura 3 se muestran las operaciones para la extracción del almidón de yuca.



- **Recepción de Materia Prima:** Las yucas frescas de variedad blanca, fueron adquiridas en el Mercado “Buenos Aires” y se trasladaron al laboratorio de Microbiología y Toxicología de Alimentos de la UNS, donde fueron pesadas en balanza de plataforma.
- **Pelado:** La cáscara de yuca se extrajo, mediante el pelado con cuchillos, descartando la pulpa de coloración diferente al blanco. El rendimiento de pulpa fue de 82.27% y de cáscara de 17.73%
- **Lavado y desinfección 1:** Las yucas descascaradas se lavaron y desinfectaron en agua clorada con 100 ppm de cloro.
- **Cortado:** Las yucas se cortaron en cubos de 1cm<sup>2</sup>, acondicionando el producto para facilitar el licuado.
- **Lavado y desinfección 2:** Los trozos de yucas cortadas se lavaron y desinfectaron en agua clorada con 100 ppm de cloro.
- **Licuado:** Se licuaron en licuadora industrial por 2 min, agregándose agua con una relación de pulpa de yuca/agua 1:2.
- **Filtrado 1:** Para esta etapa se utilizó tela de filtrado, para la separación de la torta y la solución de almidón. Además, a la torta se le agregó agua y se realizó un segundo filtrado para recuperar la mayor cantidad de almidón, siendo el porcentaje de torta de 60.25% con relación a la pulpa de yuca.
- **Sedimentación y Refrigeración 1:** La solución de almidón se colocó en baldes de 20 Lt, para sedimentarlo por 24 horas, para ello se almacenó bajo refrigeración a 6°C.
- **Lavado:** El almidón sedimentado se lavó para eliminar impurezas precipitadas.
- **Sedimentación y Refrigeración 2:** Luego se llevó por segunda vez a sedimentar y refrigerar a 6°C por 3 horas. Obteniéndose el almidón húmedo.

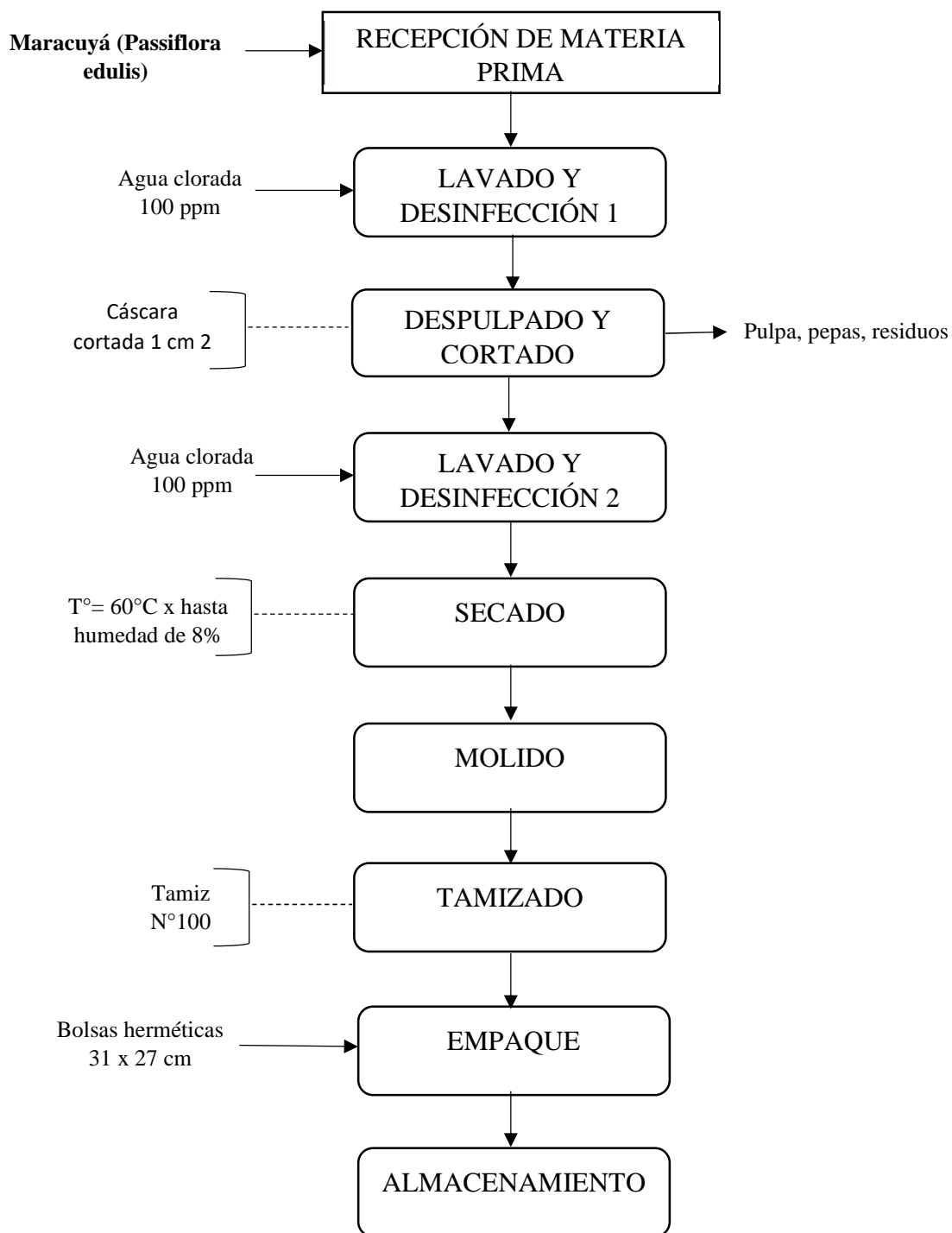
- **Secado:** El almidón húmedo se colocó en bandejas de plástico y se secaron en el secador a 40°C por 24 horas. El rendimiento en esta parte del proceso fue de 54.79% de almidón seco con relación al húmedo y de 14.83% de almidón seco con relación a la materia prima.
- **Molido:** Luego del secado, el almidón con una humedad promedio de 8 % se molió en molino, pulverizándolo.
- **Tamizado:** El tamiz usado para lograr el tamaño de partícula de 150  $\mu$ m fue el de malla Mesh 100. El equipo automático vibrador se programó para 80 seg por batch. El Rendimiento obtenido fue de 14.48% con relación a la materia prima (Tabla 1 (Anexo 5)).
- **Empaque:** El almidón se empacó en bolsas de polietileno de baja densidad, herméticas de 31 x 27 Cm.
- **Almacenamiento:** Las bolsas de almidón se almacenaron a temperatura ambiente en el laboratorio de Microbiología y Toxicología de Alimentos de la UNS.

### 3.5.2. PROCESO DE ELBORACION DE HARINA DE CÁSCARA DE MARACUYÁ (HCM)

En la figura 4 se muestran las operaciones para la elaboración de harina de cáscara de maracuyá.

**Figura 4**

*Diagrama de flujo para la elaboración de harina de cáscara de maracuyá*



- **Recepción de Materia Prima:** Las frutas de maracuyá frescas de variedad amarilla, fueron recolectadas en los campos de cultivo de Tamborreal - Santa destinada a la planta de procesamiento de pulpa de maracuyá de la empresa Danper Trujillo S.A.C. y se trasladaron al laboratorio de Microbiología y Toxicología de Alimentos de la UNS, donde fueron pesadas en balanza de plataforma.
- **Lavado y desinfección 1:** Se colocaron en baldes de 20 Lt provistas de agua clorada a 100 ppm, para su lavado y desinfección, como fruta entera.
- **Despulpado y Cortado:** Se cortaron por la mitad para extraer la pulpa y ser separada, para luego cortar la cáscara en trozos con dimensiones aproximadas de 1 x 1 cm. Se obtuvo el rendimiento de 58.37% de cáscara cortada.
- **Lavado y desinfección 2:** Los trozos de cáscara de maracuyá cortadas se lavaron y desinfectaron en agua clorada con 100 ppm de cloro.
- **Secado:** Los trozos se esparcieron en bandejas de inoxidable y se secaron en el secador marca INOXTRON a 60°C por 48 h. El rendimiento en esta parte del proceso fue de 10.6%.
- **Molido:** Luego del secado, las cáscaras con una humedad promedio de 8 % se molieron inicialmente en molino de brazo y luego en molino eléctrico pulverizador.
- **Tamizado:** El tamiz usado para lograr el tamaño de partícula de 150 µm fue el de malla Mesh N°100. El equipo automático vibrador se programó para 80 seg por batch. El Rendimiento obtenido fue de 4.7% con relación a la materia prima (Tabla 2 (Anexo 5)).
- **Empaque:** La harina de cáscara de maracuyá se empacó en bolsas de polietileno de baja densidad, herméticas de 31 x 27 Cm.
- **Almacenamiento:** Las bolsas se almacenaron a temperatura ambiente en el laboratorio de Microbiología y Toxicología de Alimentos de la UNS.

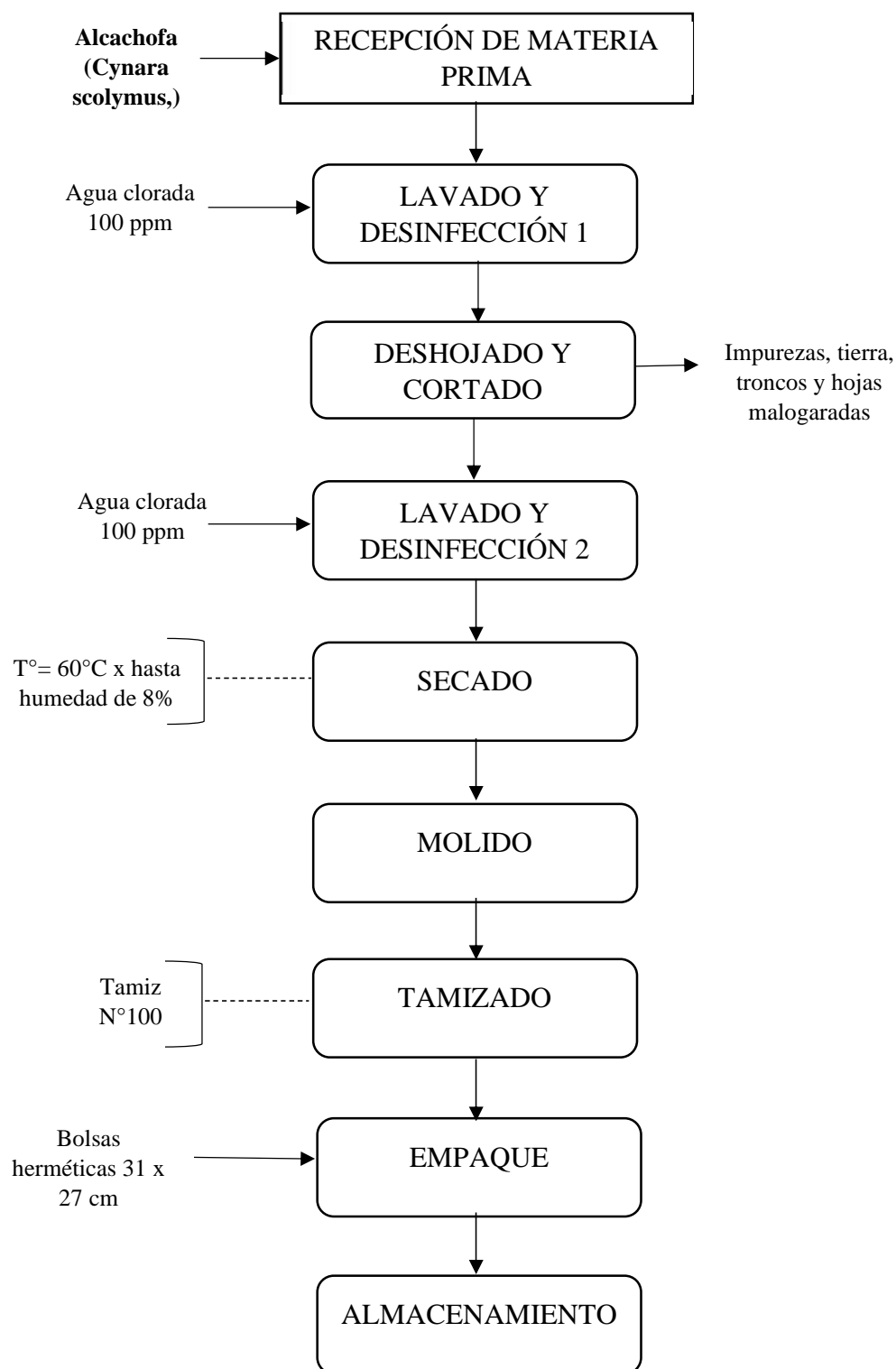


### 3.5.3. PROCESO DE ELBORACION DE HARINA DE BRÁCTEAS DE ALCACHOFA (HBA)

En la figura 5 se muestran las operaciones para la elaboración de harina de brácteas de alcachofa.

**Figura 5**

*Diagrama de flujo para la elaboración de harina de brácteas de alcachofa*



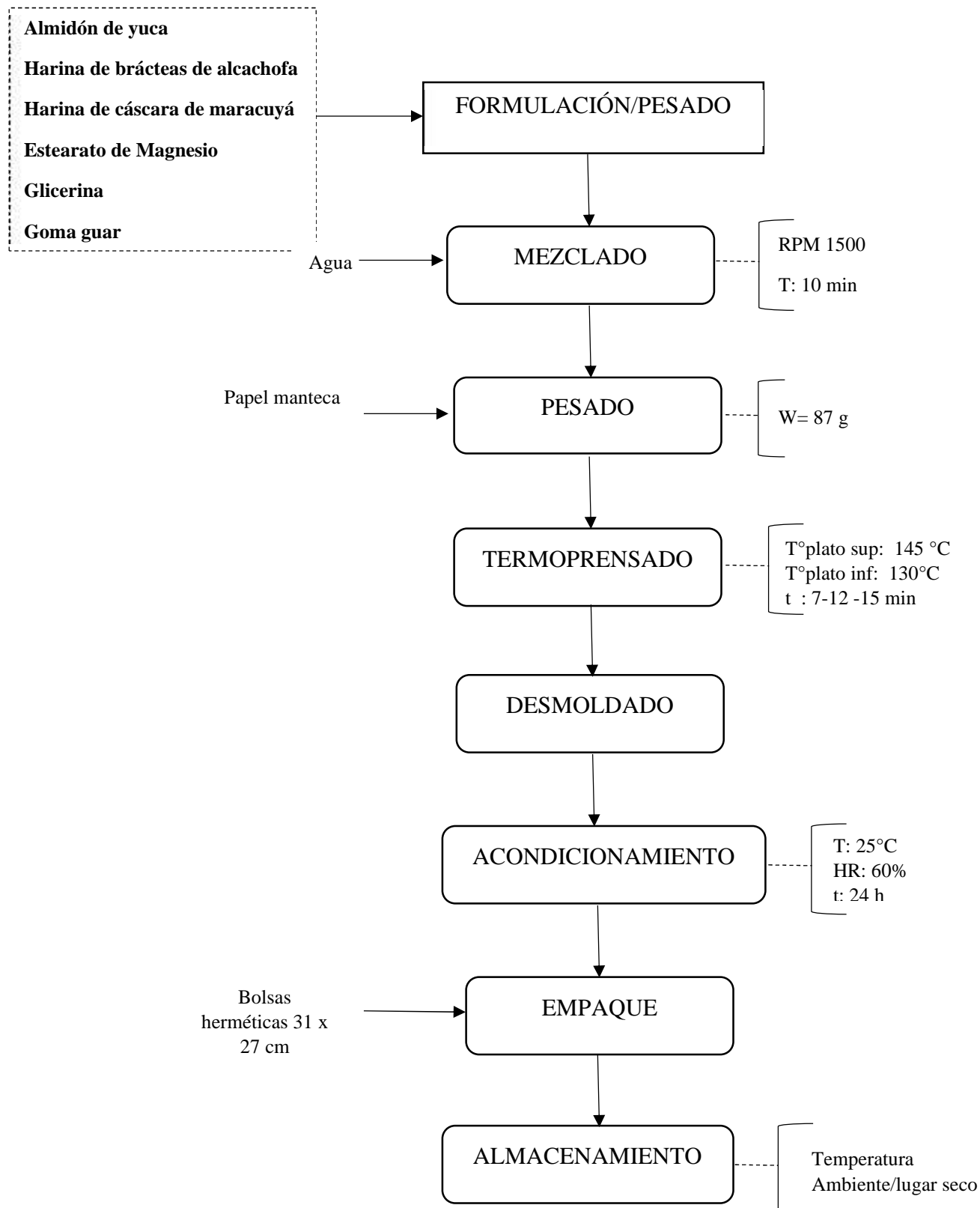
- **Recepción de Materia Prima:** Las alcachofas consideradas de descarte de variedad Green Globe, fueron adquiridas en los campos de cultivo ubicados en el distrito de Tambo Real Nuevo, cuya producción agrícola es destinada a la planta de procesamiento de conservas de alcachofa de la empresa Danper Trujillo S.A.C. Estas fueron trasladados al laboratorio de Microbiología y Toxicología de Alimentos de la UNS, donde se recepcionaron y pesaron en la balanza de plataforma.
- **Lavado y desinfección 1:** Se colocaron en baldes de 20 Lt provistas de agua clorada a 100 ppm, para su lavado y desinfección.
- **Dehojado y Cortado:** Se procedió a extraer las brácteas y corazón, a la vez se realizó la selección, separando las impurezas, hojas en mal estado y troncos. Se acondicionaron las hojas para el secado, cortándolos en trozos pequeños para mejorar la transferencia de calor.
- **Lavado y desinfección 2:** Fueron lavados y desinfectados en un balde de 20 Lt, con agua clorada a 100 ppm.
- **Secado:** Los trozos se esparcieron en bandejas de inoxidable y se secaron en el equipo secador a 60°C hasta disminuir la humedad a 8%. El rendimiento en esta parte del proceso fue de 12.54%.
- **Molido:** Luego del secado, se molieron inicialmente en molino de brazo, y se hizo una segunda molienda en molino, pulverizándolo.
- **Tamizado:** El tamiz usado para lograr el tamaño de partícula de 150  $\mu$ m fue el de malla Mesh N°100. El equipo automático vibrador se programó para 80 seg por batch. El Rendimiento obtenido fue de 4.7% con relación a la materia prima (Tabla 3 (Anexo 5)).
- **Empaque:** La harina de brácteas de alcachofa se empacó en bolsas de polietileno de baja densidad, herméticas de 31 x 27 Cm.
- **Almacenamiento:** Las bolsas se almacenaron a temperatura ambiente en el laboratorio de Microbiología y Toxicología de Alimentos de la UNS.

### 3.5.4. PROCESO DE ELABORACIÓN DE BANDEJAS

En la Figura 6 se muestran las operaciones para la elaboración de las bandejas.

**Figura 6:**

*Diagrama de flujo para elaboración de bandejas biodegradables*



- **Formulación/Pesado:** En esta etapa se pesan la materia prima y los insumos de acuerdo a las formulaciones del Tabla 2

**Tabla 2**

*Formulaciones para la elaboración de bandejas*

Tratamiento	Almidón(A) (%)	FIBRAS (%)	
		HCM (%)	HBA (%)
T1	100	0	0
T2	90	5	5
T3	85	7.5	7.5
T4	80	10	10
T5	75	12.5	12.5
T6	70	15	15
T7	65	17.5	17.5

Como se muestra en el Tabla 2 y 3 los tratamientos variaron sus parámetros con relación al blanco, T1.

**Tabla 3**

*Parámetros usados en el proceso de termoformado para cada tratamiento.*

Tratamiento	Almidón(A) (%)	Fibras (%)	Agua (ml/g m.s)	Peso Masa (g)	Tiempo (min)
T1	100	0	1.4	87	15
T2	90	10	1.4	87	15
T3	85	15	1.4	87	12
T4	80	20	1.4	87	12
T5	75	25	1.4	87	7
T6	70	30	1.4	87	7
T7	65	35	1.4	87	7

m.s: materia seca

El almidón de yuca, la fibra de maracuyá y fibra de brácteas de alcachofa se pesaron según la formulación del Tabla 3, luego los insumos que por cada 100g de mezcla (almidón + Fibra) se pesan 7.0 g de glicerina, 6.0 g de estearato de magnesio y 1.0 g de goma guar. Del total del mezclado tanto de materia prima e insumos (m.s) se agregó agua destilada como indica el Tabla 3.

- **Mezclado:** Luego de pesar la materia prima, insumos y agua, se procede a mezclarlo en un bol usando la batidora mecánica cuya velocidad estuvo programada a 1500 rpm por 8 min, formándose la masa de consistencia adecuada para proceder con el termoformado.

- **Pesado:** Habiéndose formado la masa se procedió a pesarlo según el Tabla 3, sobre el papel manteca.
- **Termoprensado:** El equipo se programó a 145°C en el plato superior y a 130°C en el plato inferior para todas las formulaciones, en este último se colocó la masa, previamente untado con desmoldante. El tiempo de termoformado varió según **Tabla 3**.
- **Desmoldado:** Las bandejas fueron retiradas del equipo usando guantes y pinzas.
- **Acondicionamiento:** Las bandejas ya formadas se trasladaron al área de ambiente controlado, siendo la temperatura de 25°C, 60% de humedad relativa por 24 horas.
- **Empaque:** Las bandejas se empacaron en bolsas de polietileno de baja densidad, herméticas de 31 x 27 Cm.
- **Almacenamiento:** Luego se almacenaron a temperatura ambiente en el laboratorio de Microbiología y Toxicología de Alimentos de la UNS.

### 3.6. MÉTODOS DE ANÁLISIS

#### 3.6.1. CARACTERIZACIÓN DE LA MATERIA PRIMA

AOAC (2005) Official methods of analysis of Association the Official Agricultural Chemists.

- Humedad: método estándar 950.46 A.O.A.C. (2005)
- Grasa: método estándar 2003.05 A.O.A.C. (2005)
- Proteína: método estándar 984.13 A.O.A.C. (2002)
- Fibra: método enzimático-gravimétrico estándar A.O.A.C. 985.29 (1995), A.O.A.C. 32.05.01, A.O.A.C. 991.43
- Ceniza: método estándar 942.05 A.O.A.C. (2005)
- Los carbohidratos se determinaron restando del 100%, las sumas de los otros componentes con la siguiente ecuación:

$$\%C = 100 - (\%Humedad + \%Grasa + \%Proteínas + \%Cenizas).$$

### 3.6.2. CARACTERIZACIÓN DE LAS BANDEJAS BIODEGRADABLES

- **Humedad:** Se aplicó el método estándar 950.46 A.O.A.C. (2005), pesándose 3 g de muestra con 3 repeticiones por cada formulación, y sometién dose a secado a 105°C en una estufa por 3 horas, luego de su enfriamiento en el desecador se procedió a pesar para obtener su peso final. Finalmente se aplicó la siguiente ecuación:

$$\% \text{ de Humedad} = \left( \frac{\text{Peso Inicial} - \text{Peso Final}}{\text{Peso Inicial}} \right) \times 100$$

- **Capacidad de Absorción de Agua:** La capacidad de absorción de agua (CAA) se evaluó al cortar la bandeja en trozos en medidas de 25mm x 50 mm, se pesaron y luego fueron sumergidos en agua destilada por 1,5,10,15,20 min. Se retiró el exceso de agua con papel, y se procedió a pesar para determinar el porcentaje de absorción mediante la siguiente fórmula (Cabanillas et al., 2019):

$$C \quad d \quad A \quad ó n \quad d \quad A \quad (CAA) = \left( \frac{P_f - P_i}{P_i} \right)$$

(gr agua/gr materia seca)

- **Color:** Se evaluó mediante la utilización del colorímetro digital tipo pistola previamente calibrado y aplicando el método CIELAB (Salgado *et al.*, 2008) cuyas escalas varían para L\* desde 0 (negro) hasta 100 (blanco), para a\* desde +a (rojo) hasta -a (verde) y para b\* desde +b (amarillo) hasta -b (azul). Colocando la muestra frente al sensor, el equipo reportó las lecturas en su pantalla y se aplicó por triplicado a cada formulación, los datos obtenidos fueron procesados mediante la siguiente fórmula:

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

L: Luminosidad

donde:

i = muestra

c = control (referencia)

a\*: coordenada rojo-verde

b\*: coordenada amarillo-azúl

- **Espesor y Densidad:** Se cortaron tiras de 100 mm x 25 mm y se midieron el espesor en cuatro puntos diferentes y en 3 repeticiones por cada formulación. Utilizando el Pie de Rey Digital de rango de 0 a 150 mm. Se calculó el volumen en mm<sup>3</sup> multiplicando el largo, el ancho y el espesor. Posteriormente se determinó la densidad en g/cm<sup>3</sup> pesando cada muestra y dividiéndolo entre el volumen. Se obtuvieron 12 muestras por formulación. (Cabanillas et al., 2019).

$$D \% = \frac{Masa}{Volumen}$$

- **Propiedades mecánicas:** Para evaluar las características mecánicas de las bandejas se usó el método de prueba estándar ASTM D828-97 utilizándose el analizador de textura TA.HDPlus (Stable Micro System, Surrey,UK), cuya celda de carga tiene 100 kg. Para el análisis de tracción se cortó las bandejas en trozos rectangulares con dimensiones de 2 cm x 10 cm, con separación de agarre inicial de 8 cm y programada con 0.5 mm/s de velocidad de test para rotura simple. En los ensayos de compresión las muestras se recortaron en forma cuadrada con dimensiones de 5 cm x 5 cm. En el caso del análisis de resistencia a la perforación y la fracturabilidad se utilizó una sonda esférica de 0.5” de diámetro para evitar bordes con filos que pudieran afectar el punto de rotura de la muestra (Cabanillas et al., 2019), cuya velocidad de desplazamiento fue de 1.0 mm/s. Este método fue descrito por Reolon & Borges (2010) y se aplicó por triplicado para cada formulación. Se registraron los valores de esfuerzo en MPa y de elongación en %.
- **Análisis de Espectroscopia de Infrarrojos por Transformada de Fourier (FTIR):** El equipo FTIR Nicolet iS50 (Thermo Scientific Alemania) está provisto del accesorio ATRMiracle diamante de 3 rebotes y utiliza la técnica de muestreo ATR (Atenuación Total Reflejada), y se encuentra en el intervalo de 600 a 4000 cm<sup>-1</sup> que permite analizar un rango amplio de enlaces moleculares con una resolución de 4cm<sup>-1</sup>(separación entre picos espectrales). Se usaron 16 escáneres para el análisis de dos repeticiones de la muestra con concentraciones de 70% de proteína y 30% de fibra.

3.7. DISEÑO DE INVESTIGACIÓN

3.7.1. DISEÑO EXPERIMENTAL

El diseño experimental consistió en el manejo de las siguientes variables:

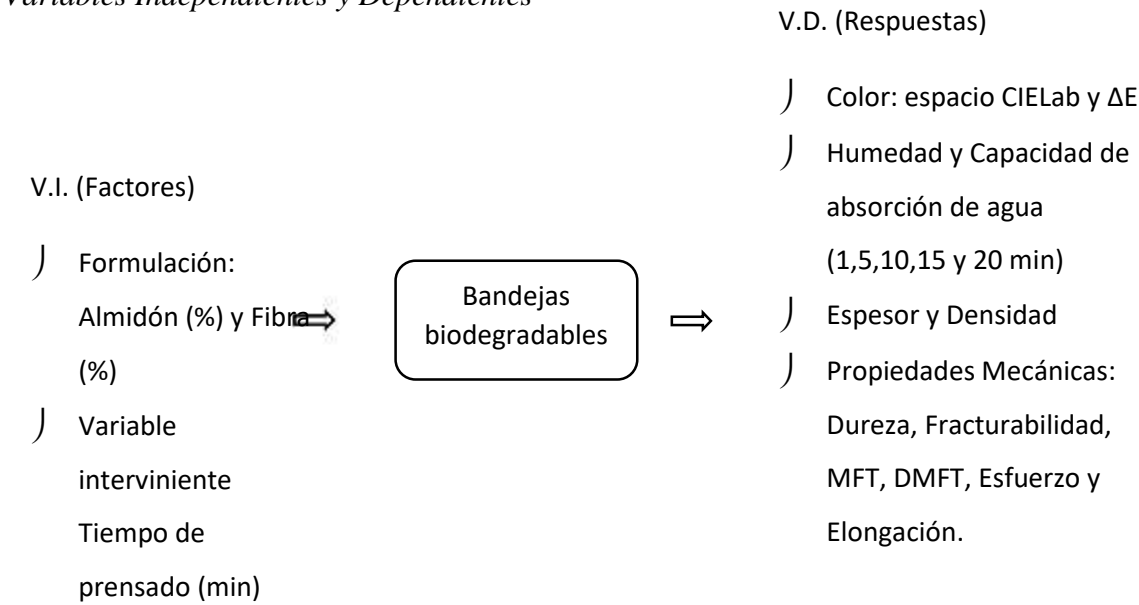
Independientes (factores): son las variables que se manipulan y son autónomas, en este caso están expresadas en siete niveles de porcentaje de almidón y siete niveles de porcentaje de fibra.

Interviniente: Es una variable no planificada, pero sus efectos están minimizados por el investigador. No es considerada como el objeto de estudio, por lo mismo no es parte del título, ni de los objetivos (Carballo y Guelmes, 2016; Espinoza et al., 2023), en el presente estudio se encuentra en tres niveles de tiempo de prensado (minutos).

Dependiente: Son las variables a medir y se cuenta con un total de 11 variables dependientes (respuestas) agrupadas según análisis de color, humedad y capacidad de absorción de agua, características de espesor y densidad y propiedades mecánicas. Seguidamente, la figura 7 presenta las variables de estudio.

Figura 7

Variables Independientes y Dependientes





El tipo de diseño experimental elegido fue el diseño completamente al azar (DCA) con un arreglo factorial, siendo los factores y niveles los que se indican en el Tabla 4:

**Tabla 4**

*Diseño completamente al azar de la investigación*

<b>Factores</b>	<b>Niveles</b>
Factor A: Almidón (%)	100, 90, 85, 80, 75, 70, 65
Factor B: Fibra (%)	0, 10, 15, 20, 25, 30, 35
Factor C: Tiempo de prensado (min)	15, 12, 7

El número total de tratamientos dado por la combinación de los factores estudiados fue de siete. Los tratamientos tuvieron 3 repeticiones cada uno, generándose en total 21 unidades experimentales, con los siguientes niveles de combinación que aparecen en la Tabla 5.

**Tabla 5**

*Tratamientos del estudio*

Tratamiento	Almidón (%)	Fibra (%)	Tiempo (min)
T1	100	0	15
T2	90	10	15
T3	85	15	12
T4	80	20	12
T5	75	25	7
T6	70	30	7
T7	65	35	7

En cuanto al análisis de datos se procedió a compilar la base de datos en el software Microsoft Excel, y esos datos fueron importados desde SPSS Versión 27, a datos de los tratamientos se les aplicaron el análisis de varianza (ANOVA), y al obtener significación estadística se decidió aplicar pruebas de comparaciones múltiples HSD Tukey y la prueba de t de Dunnett para el análisis de color. Asimismo, se realizaron gráficas descriptivas de tipo barras, gráfica de cinética de capacidad de absorción de agua y gráfica de cajas.

## IV. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

### 4.1. CARACTERIZACIÓN DE MATERIA PRIMA

#### 4.1.1. ANÁLISIS PROXIMAL DE ALMIDÓN DE YUCA

La elaboración del almidón de yuca consistió en someter la materia prima a una serie de procesos desde la recepción, pelado, cortado, lavado, licuado, filtrado, sedimentado, refrigeración, secado, molienda, tamizado, empacado y almacenamiento (Figura 3) cuyos rendimientos de cada etapa están calculados en el anexo 5.1 siendo el rendimiento final de 14.5% de almidón obtenido de 31.02 kg de yuca.

**Tabla 6**

*Composición proximal del almidón de yuca*

Análisis	Almidón de yuca
Humedad (%)	$8.29 \pm 0.03$
Ceniza (En base seca) (%)	$0.18 \pm 0.03$
Grasa (En base seca) (%)	$0.13 \pm 0.03$
Proteína (En base seca) (%)	$1.28 \pm 0.02$
Carbohidratos (%)	$90.09 \pm 0.02$
FDT (%)	$0.49 \pm 0.026$

En el Tabla 6 se presentan los resultados obtenidos del análisis de composición proximal del almidón de yuca que difiere de los obtenidos por Nugroho et. al. (2024) que con humedad de  $12.21 \pm 0.1\%$ , reportó  $0.18 \pm 0.04\%$  de grasa,  $0.52 \pm 0.03\%$  de proteína, fibra cruda  $1.13 \pm 0.06\%$  y de Cabanillas et al. (2019) que con humedad de  $13.62 \pm 0.46\%$ , obtuvo  $1.12 \pm 0.09\%$  de proteína. Ponce y Horna (2023) reportaron resultados similares en almidón de yuca, cuyos valores obtenidos fueron de  $12.19 \pm 0.07\%$  de humedad,  $0.40 \pm 0.10\%$  de proteínas,  $0.04 \pm 0.01\%$  de grasa,  $86.95 \pm 0.01\%$  de carbohidratos y  $0.42 \pm 0.02\%$  de cenizas. Estas diferencias varían según las condiciones del cultivo, variedad y proceso de cosecha de la misma.

Comparando con otras fuentes de almidón como el reportado por Morales (2022), quién determinó que, en almidón de papa, los porcentajes de proteína fueron  $0.26\%$ , grasa  $0.058\%$ , ceniza  $0.41\%$  y humedad de  $15.13\%$ . Cruz et al. 2019 obtuvo porcentajes de proteínas inferiores a los de yuca, de  $0.36 \pm 0.06\%$  para arracacha,  $0.4 \pm 0.05\%$  para oca, y  $0.3 \pm 0.07\%$  en camote. Y además considera que el contenido de proteína influye en la formación de la matriz polimérica durante la gelificación de almidones, impactando en las características finales de los biomateriales, como en la humedad, CAA y deformación.

El análisis de fibra dietaria total se elaboró con el objetivo de determinar el contenido total tanto de fibras solubles como insolubles, que influyen en las propiedades mecánicas de las bandejas. En el caso del almidón tiene bajo contenido de la misma, sin embargo, es necesario tomarlo en cuenta.

**Tabla 7**

*Contenido de Amilosa y Amilopectina en almidón de Yuca*

<b>Análisis</b>	<b>Almidón de yuca</b>
Absorbancia	0.2842±0.01
Amilosa %	17.392±0.613
Amilopectina %	82.607±0.613

Las propiedades funcionales del almidón están basadas en el contenido de amilosa y amilopectina, impactando en los procesos tecnológicos y en las propiedades mecánicas de los productos finales que la utilizan como materia prima (Corpus y Bocanegra, 2024; Cruz et al., 2019). En la presente investigación el resultado de análisis de Amilosa del almidón de yuca según el Tabla 7 coincidió con los resultados publicados por Pizarro et al. (2016), cuyo promedio se encontró en 17%, sin embargo, estuvo por debajo de los reportados por Cabanillas et al. (2019), con 33.91+ 1.10 % y los determinados por Fathoni et. al. (2020) quién evaluó 6 variedades de yuca y sus porcentajes estuvieron entre 22.31% y 27.53%. Con relación a otros recursos, los resultados obtenidos son inferiores, como en el almidón extraído de papa donde la amilosa se encuentra en 24.50% (Morales, 2022), en el almidón de semilla de mango alrededor de 13 % (Corpus y Bocanegra, 2024), en almidones extraídos de arracacha, oca y batata se obtuvo 22.77±0.88%, 31.87±0.42%, 42.65±0.85% según Cruz et al. (2019)

#### **4.1.2. ANÁLISIS PROXIMAL DE HARINA CÁSCARA DE MARACUYÁ**

En la figura 4 se presentó el diagrama de flujo para la obtención de la fibra de cáscara de maracuyá. El proceso inicia con la recepción de la materia prima, extracción de la cáscara, lavado, cortado, secado, molienda y tamizado, empacado y almacenado. Además, los rendimientos calculados en cada etapa se pueden observar en el anexo 5.2, obteniéndose 1.4 kg de harina de cáscara de maracuyá, que constituye el 4.7%

**Tabla 8***Composición proximal de la harina de cáscara de maracuyá*

<b>Análisis</b>	<b>Cáscara de maracuyá</b>
Humedad (%)	7.54 ± 0.08
Ceniza (En base seca) (%)	0.5±7.06
Grasa (En base seca) (%)	0.51±0.17
Proteína (En base seca) (%)	5.03±0.05
Carbohidratos (%)	86.42
FDT (%)	56.51±0.08

Los resultados obtenidos según Tabla 8 en la presentan similitud con los de Díaz y Flores (2018), que con humedad de 10.60±0.11%, determinó proteína 4.30±0.36%, cenizas 5.42±0.02, grasa 1.21±0.15%, carbohidratos 78.47% y fibra 57.59%. y los reportados por Chuqui y Paucar (2021), cuyos análisis de composición proximal son 11.25±0.04% de humedad, 5.14±0.01% de proteína, 0.6±0.02% de grasa, 4.93±0.02% de cenizas, 49.78% de carbohidratos y 28.33±0.29% de fibra bruta.

El contenido de fibra en las diferentes fuentes está determinado por diversos factores como la procedencia, la especie, el estado de madurez y el contenido de celulosa. (Mora y Ramón, 2017). El contenido alto de FDT en la cáscara de maracuyá con 56.51±0.08%, nos permite deducir que las propiedades físicas y mecánicas de las bandejas estarán influenciadas por esta. Por otro lado Chuqui y Paucar (2021) determinaron 4.76% de fibras solubles y 49.53% de fibras insolubles.

#### **4.1.3. ANÁLISIS PROXIMAL DE HARINA BRÁCTEAS DE ALCACHOFA**

En la figura 5 se observa el diagrama de flujo para la obtención de la harina de brácteas de alcachofa, el proceso inicia con la recepción de la materia prima, luego se procede a la extracción de las hojas, lavado, secado, empaquetado y almacenamiento. En el anexo 5.3 se puede observar los rendimientos obtenidos en cada proceso, con un rendimiento total de 4.7% de harina de brácteas de alcachofa, a partir de 21 kg de materia prima.

**Tabla 9***Composición proximal de la harina de brácteas de alcachofa*

<b>Análisis</b>	<b>Brácteas de alcachofa</b>
Humedad (%)	6.89±0.13
Ceniza (En base seca) (%)	9.21±0.12
Grasa (En base seca) (%)	1.41±0.15
Proteína (En base seca) (%)	19.41±0.19
Carbohidratos (%)	63.08
FDT (%)	47.56±0.06

Los resultados obtenidos (tabla 9) presentan similitud con los determinados por Ponce y Horna (2023), que con humedad de 7.63±0.07%, reportó contenidos de proteína de 12.87±0.12%, cenizas 7.35±0.10%, grasa 1.46±0.01%, carbohidratos 20.38±0.18% y FDT de 50.31±0.22% , sin embargo difiere de los reportados por Castro (2023), cuyos análisis de composición proximal fueron de 9.23% humedad, 10.25% de proteína, 1.45% de grasa, 5.11% de cenizas, 73.96% de carbohidratos y 13.46% de fibra y los determinados por Alza y Aurora (2019) que para la variedad de alcachofa Green Globe obtuvo 10.009±0.212% de humedad, 3.512±0.076% de cenizas, 12.107±0.316% de proteínas y 64.50% de fibra.

Las brácteas de alcachofa están constituidas por fibras solubles (celulosa, hemicelulosa y lignina) con 0.062 g/100gdm (Ansó, 2018), fibras insolubles (inulina, pectina y - glucanos) con 0.591g/100g dm (Ansó, 2018) estos valores decrecen al someterlos a tratamientos térmicos.

Estas forman parte del FDT, y en las brácteas de alcachofa la encontramos en 0.591%.

## 4.2. CARACTERIZACIÓN DE BANDEJAS BIODEGRADABLES

### 4.2.1. PROPIEDADES FÍSICAS

#### 4.2.1.1. EVALUACIÓN DE COLOR

En la tabla 10 se presentan los resultados para los parámetros de color  $L^*$ ,  $a^*$ ,  $b^*$  de 7 tratamientos, siendo sus valores significativos al agregar fibra de cáscara de maracuyá y brácteas de alcachofa (Anexo 1) y (Anexo 2).

**Tabla 10**

*Parámetros  $L^*$ ,  $a^*$ ,  $b^*$  de color de bandejas*

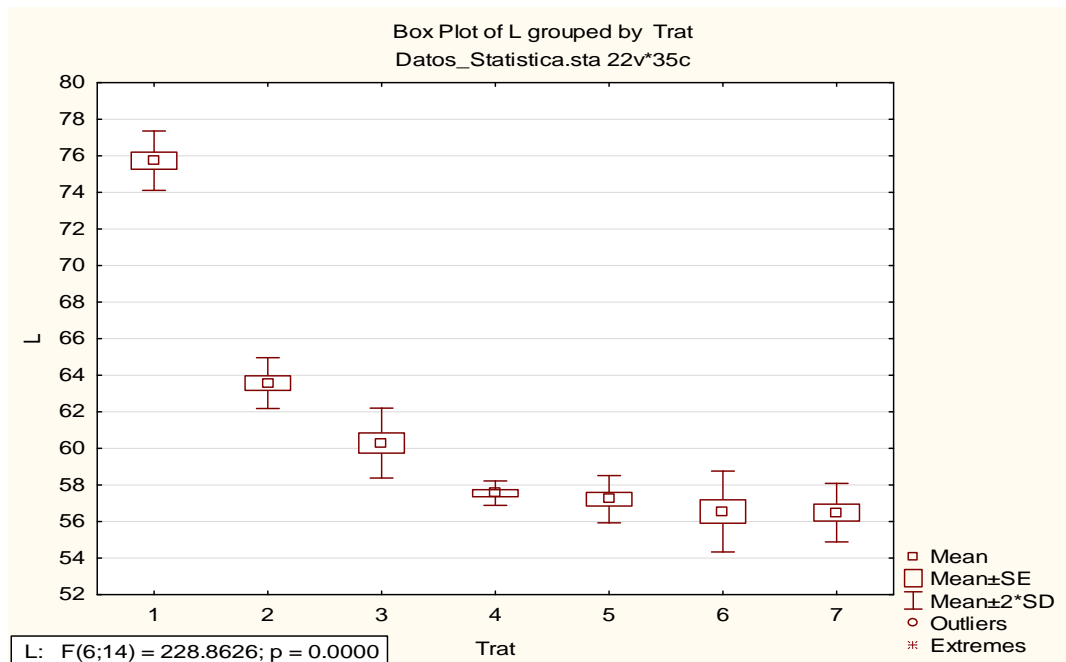
Tratamiento	$L^*$	$a^*$	$b^*$	$La^*b^*$	Color ( E)
T1 (100/0)	$75.73 \pm 0.81^d$	$2.81 \pm 0.33^a$	$15.89 \pm 0.66^a$		$0.00 \pm 0.00^+$
T2 (90/10)	$63.57 \pm 0.69^c$	$5.16 \pm 0.33^b$	$23.08 \pm 0.41^c$		$14.35 \pm 0.50$
T3 (85/15)	$60.29 \pm 0.96^b$	$5.70 \pm 0.52^b$	$22.99 \pm 0.52^c$		$17.27 \pm 0.73$
T4 (80/20)	$57.55 \pm 0.33^a$	$5.94 \pm 0.12^b$	$21.63 \pm 0.64^b$		$19.33 \pm 1.01$
T5 (75/25)	$57.22 \pm 0.64^a$	$5.60 \pm 0.06^b$	$22.21 \pm 0.46^b$		$19.76 \pm 0.70$
T6 (70/30)	$56.55 \pm 1.11^a$	$5.91 \pm 0.27^b$	$22.30 \pm 0.30^b$		$20.47 \pm 0.97$
T7 (65/35)	$56.49 \pm 0.80^a$	$5.44 \pm 0.05^b$	$22.07 \pm 0.13^b$		$20.41 \pm 1.27$

*Nota*, Se muestra las diferencias significativas entre las medias de  $L^*$ ,  $a^*$ ,  $b^*$  en cada tratamiento de acuerdo con la Prueba HSD Tukey (subconjuntos homogéneos a, b, c, d) y de E de acuerdo con la prueba T de Dunnett ( $p < 0.05$ ) con el símbolo respecto de la referencia †.

Según los resultados en tabla 10 y figura 8, el parámetro de luminosidad  $L^*$ , disminuye en función del incremento del porcentaje de fibra siendo su mayor valor T1 con  $75.73 \pm 0.81$ , para la bandeja sin fibra, y el menor valor en T7 con  $56.49 \pm 0.80$  para aquella con 65% de almidón y 35% de fibra. Mediante el análisis ANOVA se determinó diferencias significativas entre los tratamientos (Tabla 1 (anexo 2)), y se identificaron para el valor de  $L^*$  la formación del sub grupo homogéneo a entre los tratamientos T4, T5, T6, T7 diferenciándose de los T1, T2, T3 correspondientes a los grupos d, c, b respectivamente.

**Figura 8:**

*Gráfico de cajas y bigotes para luminosidad (L)*



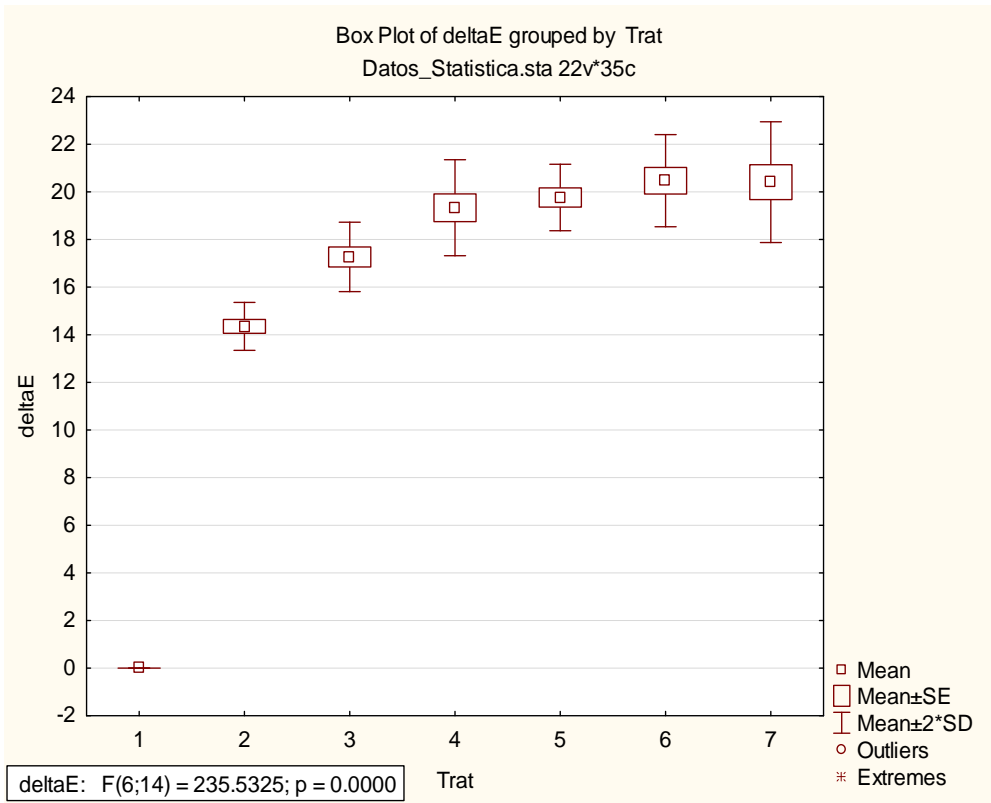
En general la tendencia de la luminosidad a disminuir a mayor cantidad de fibra se podría explicar por la reacción de Maillard (pardeamiento no enzimático), debido a la presencia de proteínas como parte de la composición química del almidón con  $1.28 \pm 0.02\%$  (tabla 6), en la fibra de cáscara de maracuyá con  $5.03 \pm 0.5\%$  (tabla 8) y principalmente en la fibra de brácteas de alcachofa con  $19.41 \pm 0.19\%$  (tabla 9); comportamiento mencionado por Cruz et al. (2019) en su artículo publicado acerca de elaboración de espumas a partir de almidones extraídos de diferentes especies. Quién obtuvo para el parámetro de luminosidad  $L^*$  72.23, 72.57 y 75.05, al analizar bandejas de almidón de arracacha, oca y camote respectivamente, deduciendo que el contenido más alto de luminosidad correspondiente al camote es debido a su bajo porcentaje de proteína.

Otro componente de las fibras que influye en la luminosidad y coloración intensa es la presencia de lignina, cuyos porcentajes en cáscara de maracuyá es de 12.6% (según Aparicio, 2019) y en fibras de residuos de alcachofa de 4.3% (Erguner y Harsa, 2023); estos compuestos reaccionan a las altas temperaturas, que al degradarse en quinonas y ácidos fenólicos provocan el pardeamiento enzimático o reacción de Maillard. (Cabanillas et. al., 2019; Corpus y Bocanegra, 2024; Ponce y Horna, 2023; Diaz, 2017).

Según los resultados en tabla 10 y figura 9, para el **E** se demostró la diferencia estadísticamente significativa entre los tratamientos con fibra T2,T3,T4,T5,T6 y T7 y el tratamiento de control con 0 % de fibra T1 de acuerdo con la prueba T de Dunnett, obteniendo  $p < 0.05$ , indicándonos claramente que ante el incremento de los porcentajes de fibras de brácteas de alcachofa y cáscara de maracuyá, el color de las bandejas se intensifican.

**Figura 9:**

*Gráfico de cajas y bigotes para análisis de diferencias de color en el espacio CIELab*

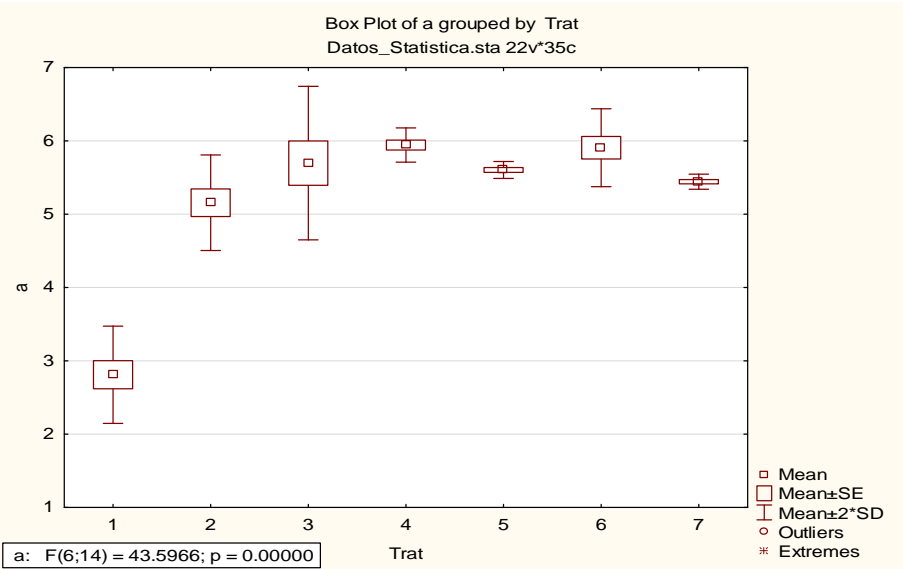




Según tabla 10 y figura 10; en el caso de  $a^*$  presenta 2 grupos homogéneos entre los tratamientos estando conformado uno de ellos por T2, T3, T4, T5, T6, T7 diferenciándose del segundo grupo conformado por T1 con 0% de fibra.

**Figura 10**

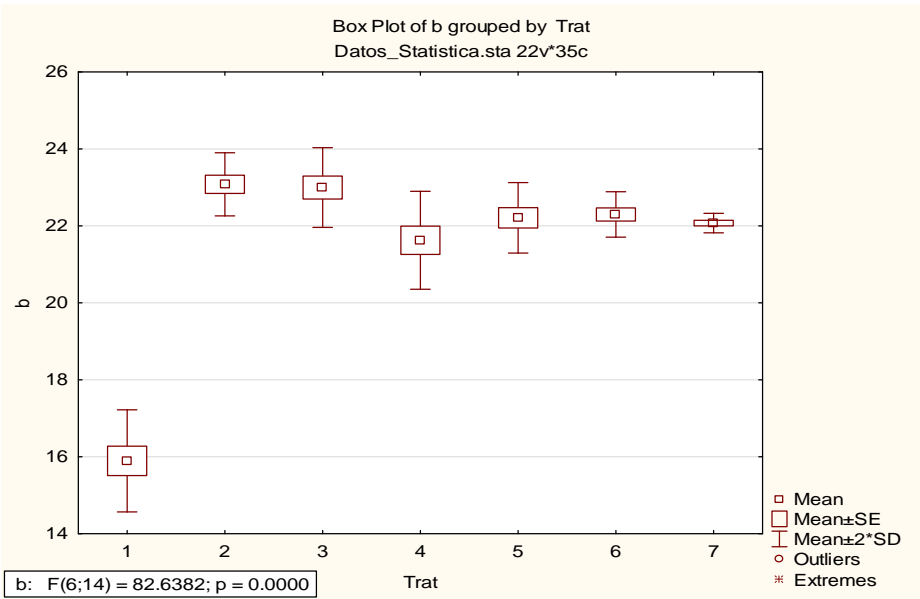
*Gráfico de cajas y bigotes para  $a^*$*



Para el parámetro  $b^*$  según tabla 10 los sub grupos homogéneos están conformados por el grupo de T4, T5, T6, T7 cuyos valores no presentaron diferencias estadísticamente significativas, sin embargo si son diferentes con el grupo conformado por T2 y T3 y diferente a T1. Observándose este comportamiento en la gráfica de la figura 11.

**Figura 11**

*Gráfico de cajas y bigotes para  $b^*$*



En la presente investigación los parámetros  $a^*$  y  $b^*$  determinan según el espacio  $L^*a^*b^*$  la tonalidad rojiza- amarillenta de las bandejas predominando la presencia del colorante natural; carotenoide; componente característico de la cáscara de maracuyá que según Campos et. al. (2023) lo podemos encontrar en  $9.18 \pm 0.37$  ug/g peso seco. Otros colorantes presentes son las antocianinas con 8.35mg% cianidina-3-glucósido y los flavonoides con 1.33g% de quercetina en brácteas de alcachofa (Cárdenas, 2016).

Los tratamientos con menor temperatura y presión aumentan los valores de  $b^*$  e inversamente los valores de  $a^*$  son más bajos a menor temperatura y presión (Navia y Bejarano, 2014). En el presente estudio todas las formulaciones estuvieron expuestas a las mismas temperaturas de secado de  $145^\circ\text{C}$  en el plato superior y  $130^\circ\text{C}$  en el inferior, durante el termoprensado;

Por otro lado, el glicerol por ser un compuesto incoloro, no influyó en el color de las bandejas.

En la investigación de Ponce y Horna (2023) con concentraciones de fibra de brácteas de alcachofa desde 0 a 35% ; los valores de  $L^*$  estuvieron entre  $78.86 \pm 0.84$  hasta  $55.33 \pm 0.35$  disminuyendo a mayor cantidad de fibra; además los parámetros de  $a^*$  cuyos valores oscilaron entre -0.1 y 4.67 y  $b^*$  entre valores de 15.51 y 23.93, son aproximados a los obtenidos en la presente investigación.

Corpus y Bocanegra (2024) para sus bandejas elaboradas a partir de almidón de semilla de mango y fibras de bagazo de caña de azúcar y cascarilla de arroz obtuvieron valores de  $L^*$  entre 49.82 y 54.97 siendo más bajos a mayor cantidad de fibra,  $a^*$  entre 2.51 y 4.04,  $b^*$  entre 13.95 y 16.19 y  $E$  entre 51.52 y 56.97, correspondiente al matiz de color rojizo y tonos amarillentos.

#### **4.2.1.2. HUMEDAD Y CAPACIDAD DE ABSORCIÓN DE AGUA (CAA)**

En la tabla 11 se muestran los resultados del análisis de humedad y capacidad de absorción de agua para diferentes tiempos de inmersión. En cada tratamiento se evidencia las diferencias significativas entre las medias, según el análisis de varianza ANOVA, con valor  $p < 0.05$  y un valor de significancia de 95% de confianza

**Tabla 11***Determinación de la humedad y capacidad de absorción de agua*

Tratamiento	Humedad %	Capacidad de absorción de agua (CAA) (gr de agua/gr de materia seca g.a/g.m.s)				
		1 min	5 min	10 min	15 min	20 min
T1 (100/0)	8.13±0.12 <sup>bc</sup>	0.51±0.06	0.55±0.06	1.15±0.13	1.32±0.08	1.72±0.26 <sup>abc</sup>
T2 (90/10)	8.24±0.02 <sup>c</sup>	0.57±0.02	0.65±0.14	1.45±0.40	1.86±0.34	2.24±0.27 <sup>c</sup>
T3 (85/15)	7.84±0.08 <sup>a</sup>	0.57±0.09	0.72±0.03	1.28±0.08	1.57±0.16	1.99±0.36 <sup>bc</sup>
T4 (80/20)	7.94±0.16 <sup>ab</sup>	0.75±0.03	0.90±0.20	1.15±0.13	1.46±0.16	1.57±0.11 <sup>ab</sup>
T5 (75/25)	8.15±0.02 <sup>bc</sup>	0.77±0.04	0.78±0.25	0.99±0.21	1.05±0.10	1.24±0.22 <sup>a</sup>
T6 (70/30)	7.73±0.05 <sup>a</sup>	0.76±0.10	0.92±0.05	1.13±0.23	1.63±0.37	1.67±0.06 <sup>abc</sup>
T7 (65/35)	7.85±0.01 <sup>a</sup>	0.74±0.02	1.04±0.02	1.25±0.08	1.68±0.15	1.75±0.11 <sup>abc</sup>

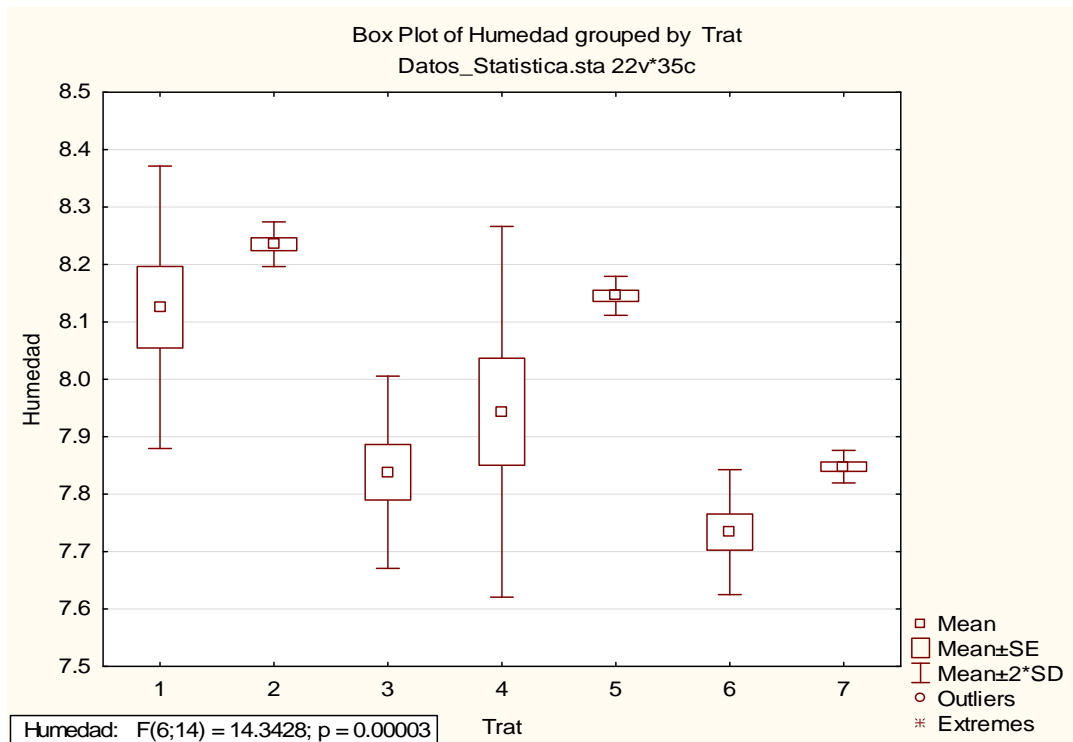
*Nota*, Se muestran las diferencias significativas entre las medias de los tratamientos de acuerdo a la Prueba HSD Tukey ( $p < 0.05$ ) con los subconjuntos homogéneos a,b,c (Anexo 1 y Anexo 2).

En la tabla 11 y figura 12 se puede observar que en las humedades de las bandejas no hubo diferencias significativas entre los tratamientos T3, T4, T6 y T7, ni entre los T1, T2 y T5, aunque sus valores son aproximados en ambos grupos, deduciendo que el incremento de fibra a las formulaciones no influye de manera importante en la humedad. Según los estudios previos, tomados como referencia se logró obtener bandejas en el rango de humedad entre 7.73±0.05% y 8.24±0.02%, al someterlas a temperaturas de secado de 145°C en el plato superior y 130°C en el plato inferior, y tiempos de 7,12 y 15 min. Este rango de humedad cumplió con el objetivo de acondicionar a las bandejas de los diferentes tratamientos para poder ser evaluadas, especialmente en sus características mecánicas. A menor % de humedad, mayor capacidad de absorción de agua, con el objetivo de alcanzar el equilibrio en el medio donde se encuentre, en el presente estudio no se pudo visualizar dicha relación, por las diferencias en los valores obtenidos en la humedad.

Ponce y Horna (2023), reportaron humedades de sus bandejas entre 8.46±0.02% y 10.43±0.15% para tratamientos con porcentajes de fibra de alcachofa de 0% hasta 15%.

**Figura 12**

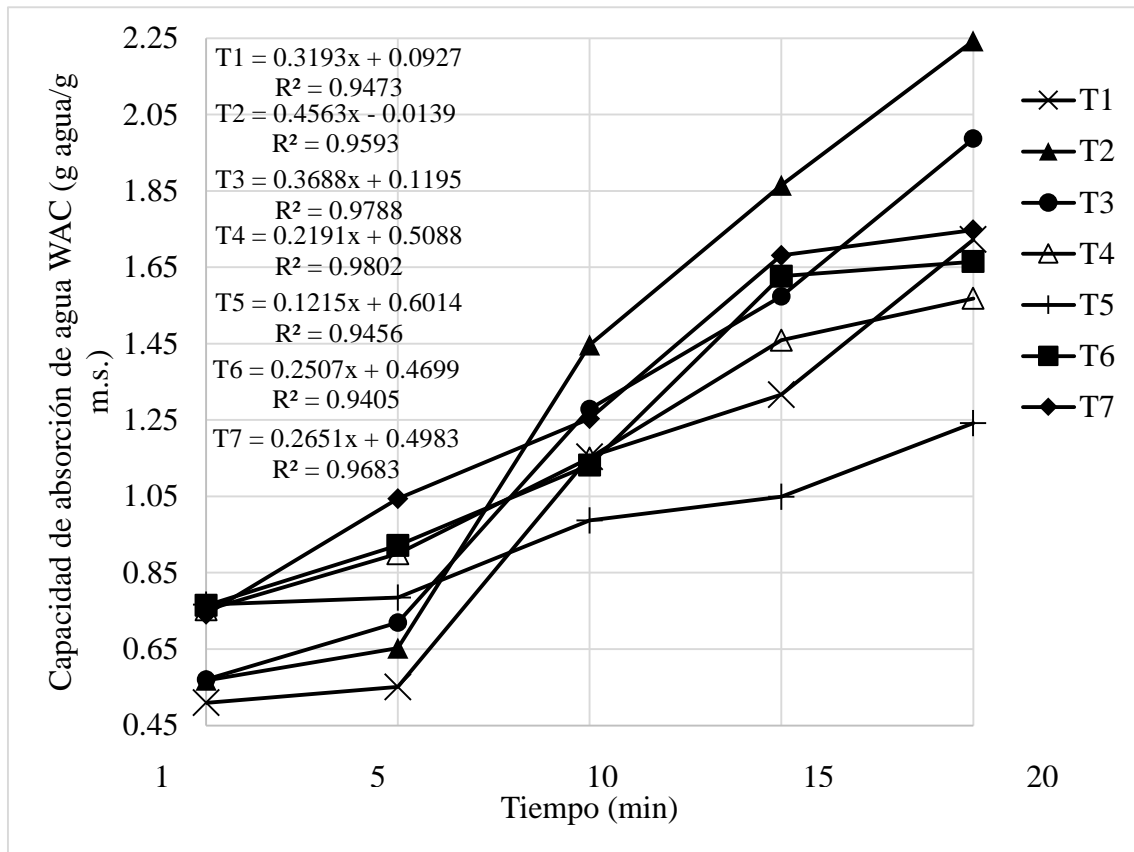
*Gráfico de cajas y bigotes para humedad*



En la figura 13 y Anexo 4 se puede apreciar la cinética de la capacidad de absorción de agua de cada tratamiento, destacando al T5 con menor velocidad de absorción  $0.1215 \text{ g}/\text{g.m.s.} \cdot \text{min}^{-1}$  que, seguidos de los tratamientos T4 y T6.

Se obtuvieron valores entre  $0.51 \pm 0.06$  y  $0.77 \pm 0.04 \text{ g.a/g.m.s}$  con 1 min de inmersión y entre  $0.55 \pm 0.06$  y  $1.04 \pm 0.02 \text{ g.a/g.m.s}$  con 5 min de inmersión, presentando los valores más altos los tratamientos con mayor porcentaje de fibra. Sin embargo, a los 20 min de inmersión alcanzaron niveles de absorción entre  $1.24 \pm 0.22$  y  $2.24 \pm 0.27 \text{ g.a/g.m.s}$ , destacando el grupo homogéneo (a) formado por T4, T5 y T6, con mayor porcentaje de fibra, quienes presentaron los menores valores de absorción.

**Figura 13:** Cinética de capacidad de absorción de agua



La presencia de fibras solubles en la harina de brácteas de alcachofa (entre  $0.062 \pm 0.082$  y  $0.104 \pm 0.002$  g/gm.s según Ansó, 2018) y en harina de cáscara de maracuyá ( $4.76 \pm 0.14$  % según Chuqui y Paucar, 2021); afectan la matriz polimérica formada por el almidón, de tal modo que la debilita al formar sectores vacíos. Por el contrario, las fibras insolubles en brácteas de alcachofa (entre  $0.591 \pm 0.009$  y  $0.676 \pm 0.002$  g/gm.s según Ansó, 2018) y en harina de cáscara de maracuyá ( $49.53 \pm 1.21$  % según Chuqui y Paucar, 2021); dificulta la absorción de agua, por tener poca afinidad con el agua (Ponce y Horna, 2023). Siendo el contenido de fibras insolubles el mayor porcentaje tanto en la harina de cáscara de maracuyá como en la alcachofa, se podría explicar la mayor absorción de agua con 20 min de inmersión, de las bandejas con menor porcentaje de fibra en la presente investigación.

Las bandejas hechas con almidones de bajo porcentaje de amilosa como la de yuca (tabla 7), tienden a ser altamente hidrofílicas, y aumenta la capacidad de hinchamiento ya que los gránulos disminuyen sus fuerzas de atracción, permitiendo el ingreso de agua, lo que explicaría la tendencia de mayor capacidad de absorción de agua en los tratamientos con mayor porcentaje de almidón. (Fathoni et. al., 2020, Luna et. al.,2021, Matos y Diaz, 2022).

Ponce y Horna (2023) alcanzaron sus valores más altos en los tratamientos con mayor cantidad de fibra de alcachofa encontrándose los valores entre  $64.16 \pm 0.78\%$  (0% de fibra) y  $91.58 \pm 0.58\%$  (15% de fibra), con 60 segundos de exposición.

Cabanillas et al. (2019) analizó el comportamiento de bandejas hechas de almidón de yuca y fibra de cáscara de piña en proporciones de 100/0, 95/5, 90/10, 85/15 y 80/20 respectivamente; al someterlas a diferentes tiempos de exposición al agua (0.5,1,5,10,15,20 min) para determinar la CAA de cada uno de los tratamientos, de tal modo que a los 0.5 min de inmersión sus resultados variaron entre 0.75 y 0.86 g.a/g.m.s, llegando hasta alrededor de 5 g.a/g.m.s de absorción con 20 min de inmersión. Estos resultados difieren principalmente con la presente investigación en dos aspectos, el primero es que, a mayor cantidad de fibra, la tendencia de sus resultados, indican aumento de absorción de agua, y la segunda es que sus valores de absorción la superan significativamente. Alegando que la característica química de la fibra de cáscara de piña, con bajo contenido de fibra insoluble como la celulosa, aumentó los valores de CAA al incrementar la porosidad de la bandeja (Luna et. al.,2021).

Finalmente, si comparamos los niveles de absorción de las bandejas biodegradables con las bandejas de EPS cuyo porcentaje de absorción es menor al 1% (EPSOLE, 2024) podemos decir que las bandejas elaboradas en el presente estudio están limitadas en su uso sólo a alimentos secos.

#### 4.2.1.3. ESPESOR Y DENSIDAD

En la tabla 12 se muestran los resultados del análisis espesor y densidad. En cada tratamiento se evidencia las diferencias significativas entre las medias, según el análisis de varianza ANOVA, con valor  $p < 0.05$  con un valor de significancia de 95% de confianza según Anexo 1 y Anexo 2.

**Tabla 12**

*Determinación de espesor y densidad*

Tratamiento	Espesor mm	Densidad g/cm <sup>3</sup>
T1 (100/0)	2.87±0.06 <sup>b</sup>	0.23±0.01 <sup>a</sup>
T2 (90/10)	2.86±0.12 <sup>b</sup>	0.24±0.02 <sup>ab</sup>
T3 (85/15)	2.82±0.06 <sup>b</sup>	0.26±0.01 <sup>b</sup>
T4 (80/20)	2.81±0.09 <sup>b</sup>	0.31±0.01 <sup>cd</sup>
T5 (75/25)	2.58±0.06 <sup>a</sup>	0.30±0.02 <sup>c</sup>
T6 (70/30)	2.54±0.06 <sup>a</sup>	0.31±0.01 <sup>cd</sup>
T7 (65/35)	2.53±0.05 <sup>a</sup>	0.33±0.01 <sup>d</sup>
EPS	2.61±0.07	0.04±0.00

*Nota,* Se muestran las diferencias significativas entre las medias de los tratamientos de acuerdo a la Prueba HSD Tukey ( $p < 0.05$ ) con los sub conjuntos homogéneos a,b,c,d.

EPS (poliestireno expandido). Datos obtenidos de Cruz et al. (2019)

El comportamiento de los valores del espesor fue de mayor a menor al aumentar la cantidad de fibra, el tratamiento T1 (100/0) con 2.87±0.06 mm fue el resultado más alto y el menor valor con 2.53±0.05mm le correspondió al T7 (65/35), en general son datos aproximados al valor de EPS. Además, en la prueba HSD de Tukey con  $p < 0.05$  se identificaron 2 grupos homogéneos conformados por a (T1, T2, T3, T4) y b (T5, T6, T7) (Tabla 12 y figura 14)

**Figura 14**

*Gráfico de cajas y bigotes para espesor*



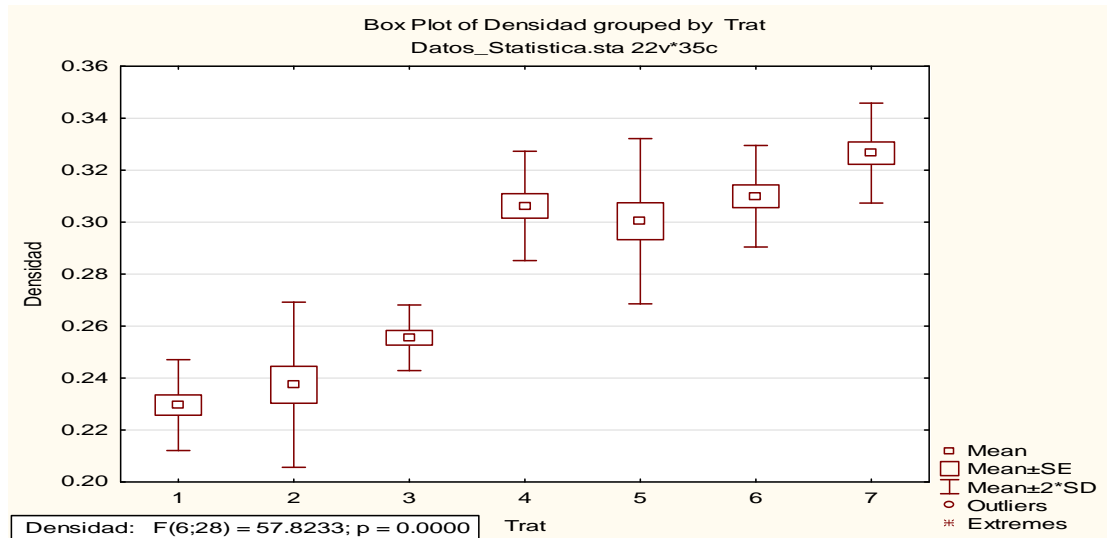
La densidad aumentó a mayor cantidad de fibra variando desde  $0.23 \pm 0.01 \text{ g/cm}^3$  hasta  $0.33 \pm 0.01 \text{ g/cm}^3$ , quedando demostrado mediante el análisis estadístico las diferencias significativas entre los resultados, por las cuales se formaron 4 grupos homogéneos a,b,c,d. (Tabla 12 y figura 15)

La adición de material celulósico a la mezcla, aumenta la viscosidad, pero reduce la capacidad de formación de espuma y expansión, incrementándose la densidad (Nugroho et al.,2024; Cruz et al.,2019), bajo este comportamiento los valores obtenidos son superiores a los de EPS.



**Figura 15**

*Gráfico de cajas y bigotes para densidad de bandejas*



Coincidiendo con Ponce y Horna (2023), el espesor disminuye al incrementar el porcentaje de fibra siendo su mayor valor  $2.88 \pm 0.09$  mm y el menor  $2.37 \pm 0.19$  mm, además los tratamientos con los mismos porcentajes de almidón/fibra T1 (100/0) y T5 (90/10), obtuvieron similares resultados, con el presente estudio, cuyos valores fueron de 2.88 mm y 2.68 mm respectivamente. En cuanto a la densidad sus valores estuvieron entre 0.19 y 0.24 g/cm<sup>3</sup>. Según el mismo autor el aumento de la densidad dificulta la expansión y moldeado, al elaborar masas más viscosas.

Castro (2023), obtuvo valores de espesor entre 0.34 cm (T1:100/0) y 0.27 cm (T8: 70/30), disminuyendo a mayor concentración de fibra. La densidad presenta el mismo comportamiento que el presente estudio, al incrementar sus valores promedios desde 0.26 g/cm<sup>3</sup> en el T1:100/0, y 0.36 g/cm<sup>3</sup> en el T8:70/30 en bandejas de almidón de camote amarillo y fibras de brácteas de alcachofa.

Cabanillas et al. (2019) logró espesores entre 2.588 y 2.616 mm, deduciendo que la fibra incorporada no afectó significativamente los resultados, siendo el mejor tratamiento elaborado de almidón de yuca/fibra de cáscara de piña, el de proporción 95/5, ya que presenta el menor valor; favoreciendo la capacidad de expansión. La densidad varió desde 368.9 hasta 410.5 kg/m<sup>3</sup>.

## 4.2.2. PROPIEDADES MECÁNICAS

### 4.2.2.1. ANÁLISIS DE COMPRESIÓN

En la tabla 13 se muestran los resultados del análisis de dureza y fracturabilidad.

**Tabla 13**

*Determinación de Dureza y Fracturabilidad*

Tratamiento	Dureza <sup>†</sup> (N)	Fracturabilidad (mm)
T1 (100/0)	42.43±7.55	4.27±0.34 <sup>b</sup>
T2 (90/10)	43.54±4.45	3.58±0.14 <sup>ab</sup>
T3 (85/15)	44.33±8.72	3.00±0.42 <sup>ab</sup>
T4 (80/20)	43.97±4.23	3.12±0.99 <sup>ab</sup>
T5 (75/25)	30.83±3.74	3.06±1.12 <sup>ab</sup>
T6 (70/30)	34.00±3.46	2.68±0.80 <sup>ab</sup>
T7 (65/35)	41.45±6.18	1.99±0.66 <sup>a</sup>
EPS	43.47±3.80	*5.54±0.30

Nota, <sup>†</sup> Solo existe un subconjunto homogéneo para Dureza.  
Para Fracturabilidad, se muestran las diferencias significativas entre las medias de los tratamientos de acuerdo a la Prueba HSD Tukey (p 0.05) con las sub conjuntos homogéneos a,b.  
\* Cabanillas et al. (2019), Salmeron (2019)  
EPS: poliestireno expandido.

La dureza es un parámetro que evalúa la resistencia de los materiales, a ser deformados, y es un aspecto importante en cuanto a la calidad de los biopolímeros (Corpus y Bocanegra, 2024; Ponce y Horna, 2023).

En la tabla 13 y figura 16 se muestran los resultados de dureza que variaron entre 30.83±3.74 N para el tratamiento T5 (75/25) y 44.33±8.72 N del tratamiento T3 (85/15), aunque no hubo diferencias significativas entre los resultados, aparentemente tuvo la tendencia a disminuir a mayor cantidad de fibra, esto debido al efecto de discontinuidad provocada por la fibra en la matriz polimérica. Este comportamiento coincide con Cabanillas (2019), cuyos valores de resistencia a la punción disminuyeron a mayor cantidad de fibra.

Los tratamientos T2 (90/10), T3(85/15) y T4(80/20), con valores de 43.54 N, 44.33N y 43.97N respectivamente, son ligeramente superiores al valor de dureza del EPS con

43.47±3.8 N reportado por Salmerón (2019). En general, teniendo en cuenta que no existen diferencias significativas entre los resultados podríamos decir que todas las bandejas se aproximan en este análisis de calidad a los reportados del EPS.

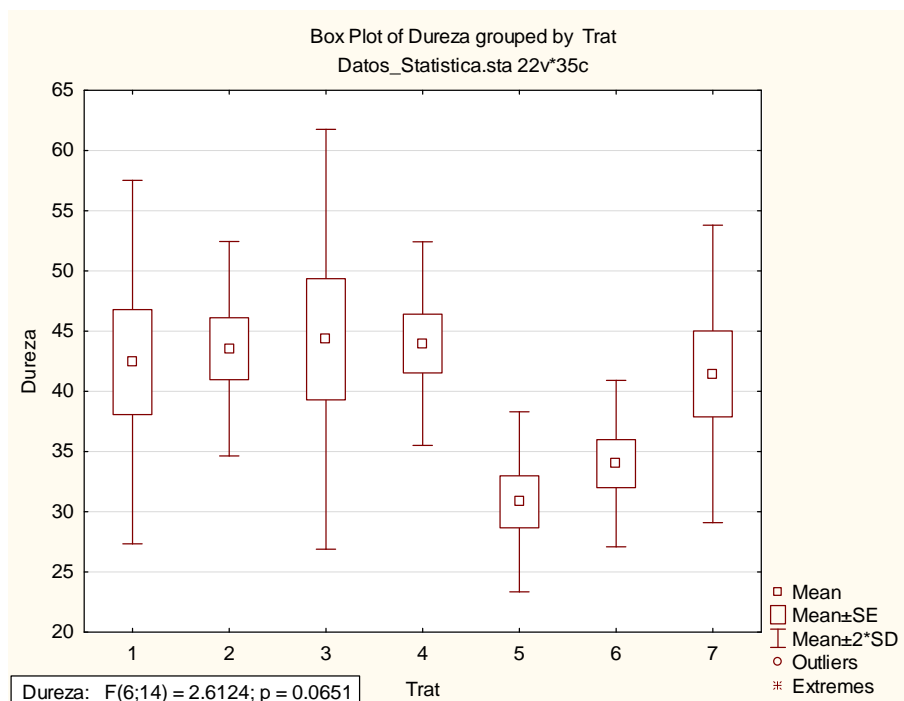
La forma de las bandejas depende del análisis de compresión, permitiéndonos examinar la resistencia a la deformación plástica y elástica. (Nugroho et al.,2024; Castro, 2023).

Por otro lado, contenido de amilosa del almidón también influye en la rigidez de los gránulos, impactando en la dureza, hecho que podría explicar el mayor valor de dureza en las bandejas con mayor porcentaje de almidón (Barreiro y Coronel,2021), en el presente estudio el porcentaje de amilosa del almidón de yuca fue de  $17.392 \pm 0.613\%$  (tabla 7).

Ponce y Horna (2023), obtuvieron valores de dureza entre  $13.74 \pm 0.25\text{N}$  para T7 (85% de almidón de yuca y 15% de fibra de brácteas de alcachofa) y  $21.69 \pm 3.91\text{N}$  para T1 (100% almidón), disminuyendo a mayor cantidad de fibra. Estos resultados son inferiores a los resultados de esta investigación y a los de EPS, deduciendo que en este aspecto la adición de fibra de cáscara de maracuyá mejoró esta característica en la bandeja.

## Figura 16

*Gráfico de cajas y bigotes para dureza de bandejas*



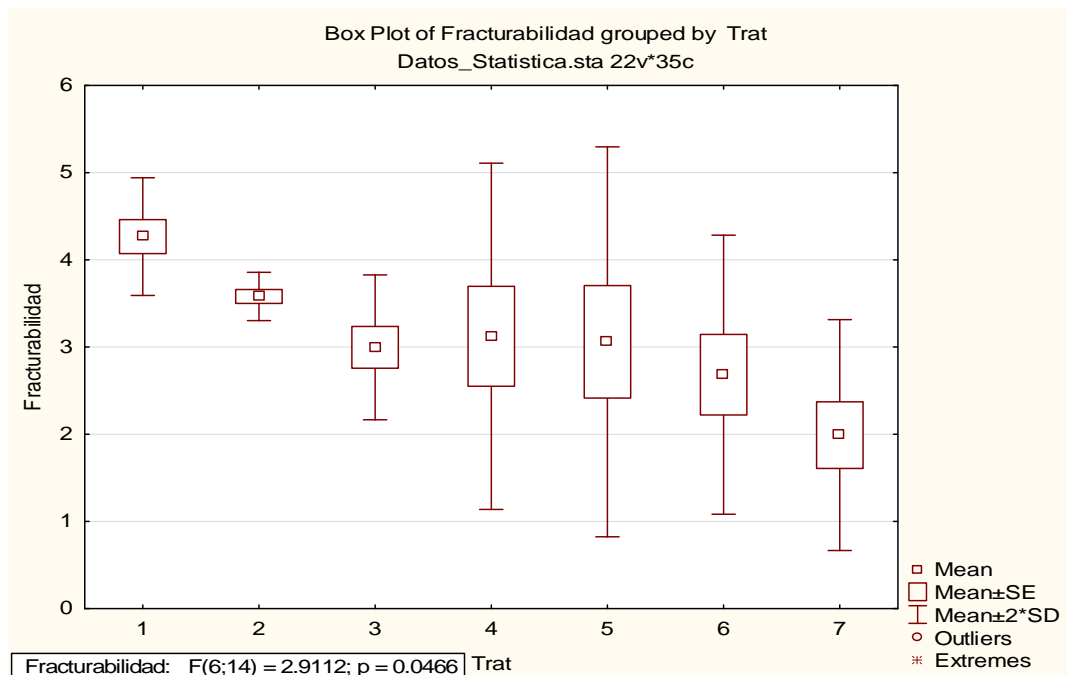
En la fracturabilidad se evidencia las diferencias significativas entre las medias, según el análisis de varianza ANOVA, con valor  $p < 0.05$  con un valor de significancia de 95% de confianza (Anexo 1 y Anexo 2).

Los valores de fracturabilidad, según tabla 13 y figura 17, variaron desde  $1.99 \pm 0.66$  mm (T7:65/35) hasta  $4.27 \pm 0.34$  mm (T1:100/0), no tienen diferencias significativas entre sí, a excepción del T1(0% de fibra), sin embargo, tendieron a disminuir a mayor cantidad de fibra. Estos valores son menores al valor obtenido por Cabanillas et al. (2019) del EPS, indicando menor resistencia a fracturarse con relación a la bandeja de material plástico. Por otro lado, este mismo autor en bandejas de almidón de yuca y fibra de piña reportó valores de fracturabilidad menores al presente estudio, de  $2.31 \pm 0.22$  mm (T80/20) hasta  $2.96 \pm 0.30$  mm (T100/0).

La incorporación de glicerina a las bandejas por encima de 7%, mejoran su integridad, impactando significativamente en la fracturabilidad (Díaz et al., 2023).

### Figura 17

*Gráfico de cajas y bigotes para fracturabilidad de bandejas*



Castro (2023) obtuvo en bandejas elaboradas de almidón de camote y fibras de brácteas de alcachofa, con valores de fracturabilidad que variaron desde  $3.68 \pm 0.34$  mm para el T8 (70/30) y  $5.02 \pm 0.42$  mm (100% almidón). Coincidiendo en que, a mayor contenido de fibra, menor fracturabilidad.

#### 4.2.2.2. ANÁLISIS DE TENSIÓN

En la tabla 14 se muestran los resultados del análisis de máxima fuerza de tensión, distancia máxima de fuerza de tensión, esfuerzo y elongación. Obteniéndose en los resultados de análisis de elongación y distancia máxima de tensión, diferencias significativas entre las medias, según el análisis de varianza ANOVA, con valor  $p < 0.05$  con un valor de significancia de 95% de confianza (Anexo 1 y Anexo 2). El peso molecular, el grado de polimerización, la concentración y tipo de fibra, y la interrelación de los componentes de la masa entre fibra y almidón, afectan las propiedades de tensión y flexión. Es decir, la sinergia y compatibilidad entre los componentes impactan en las propiedades mecánicas de las bandejas (Luna et al., 2021; Cabanillas et al., 2019).

**Tabla 14**

*Determinación de Máxima fuerza de tensión, Distancia máxima de fuerza de tensión, Esfuerzo y Elongación*

Tratamiento	Máxima Fuerza de Tensión† (Kg)	Distancia máxima de fuerza de tensión (mm)	Esfuerzo (Mpa)†	Elongación (%)
T1 (100/0)	13.94±1.07	1.34±0.03 <sup>b</sup>	2.42±0.20	1.67±0.04 <sup>b</sup>
T2 (90/10)	12.04±5.02	1.10±0.57 <sup>ab</sup>	2.30±0.96	1.37±0.71 <sup>ab</sup>
T3 (85/15)	12.66±2.16	0.77±0.13 <sup>ab</sup>	2.47±0.38	0.96±0.17 <sup>ab</sup>
T4 (80/20)	10.33±3.53	0.83±0.17 <sup>ab</sup>	1.64±0.59	1.04±0.22 <sup>ab</sup>
T5 (75/25)	10.00±2.09	0.54±0.18 <sup>a</sup>	1.70±0.42	0.68±0.22 <sup>a</sup>
T6 (70/30)	13.99±2.47	0.74±0.08 <sup>ab</sup>	2.66±0.43	0.93±0.10 <sup>ab</sup>
T7 (65/35)	11.43±1.42	0.67±0.09 <sup>ab</sup>	2.10±0.28	0.83±0.12 <sup>ab</sup>
EPS				*2.74±0.38

*Nota*, † Solo existe un subconjunto homogéneo para Máxima fuerza de tensión y Esfuerzo. Se muestran las diferencias significativas entre las medias de los tratamientos para elongación y distancia máxima de fuerza de tensión de acuerdo a la Prueba HSD Tukey ( $p < 0.05$ ) con las sub conjuntos homogéneos a,b.

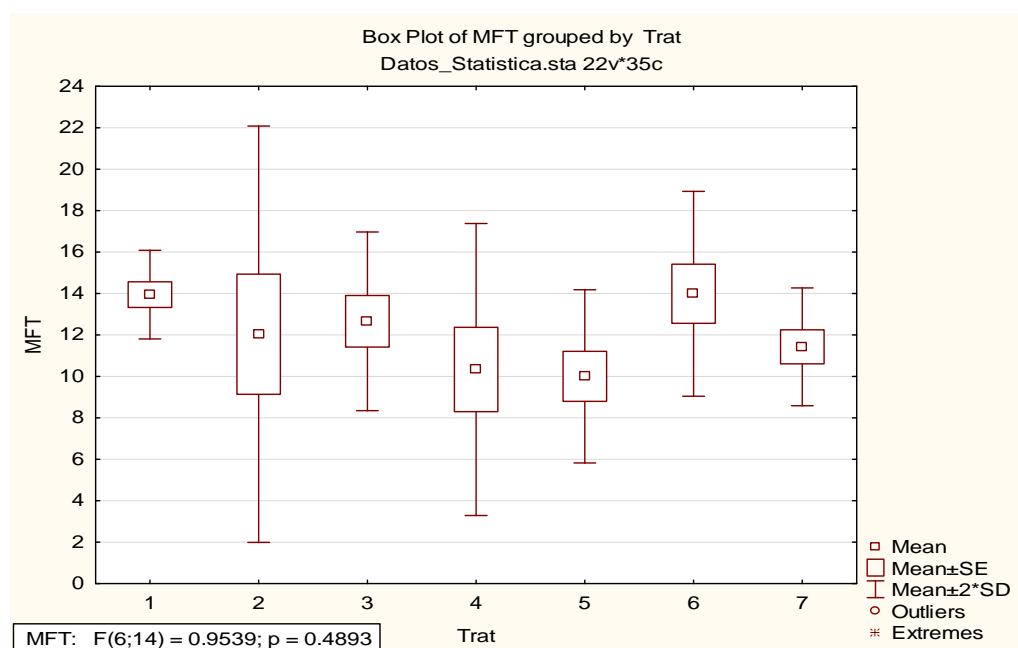
EPS: valor de elongación

\*FUENTE: Cruz et al. (2019)

En la tabla 14 y figura 18 y figura 19 se observa que los valores de máxima fuerza de tensión variaron entre  $10.00 \pm 2.09$  kg (T5) y  $13.99 \pm 2.47$  kg (T6) y los resultados de esfuerzo entre  $1.64 \pm 0.59$  Mpa (T5) y  $2.66 \pm 0.43$  Mpa (T6) ambos análisis no presentaron diferencias significativas sin embargo cabe destacar que la bandeja con máxima fuerza de tensión y esfuerzo lo obtuvo la bandeja T6 (70/30), demostrando su mayor capacidad de resistencia y soporte a las cargas, que las demás bandejas. Por el contrario, el T5 presenta los menores valores de máxima fuerza de tensión, distancia máxima de fuerza de tensión, esfuerzo y elongación, es el tratamiento que podría sufrir ruptura, es decir tiene la menor resistencia a las cargas.

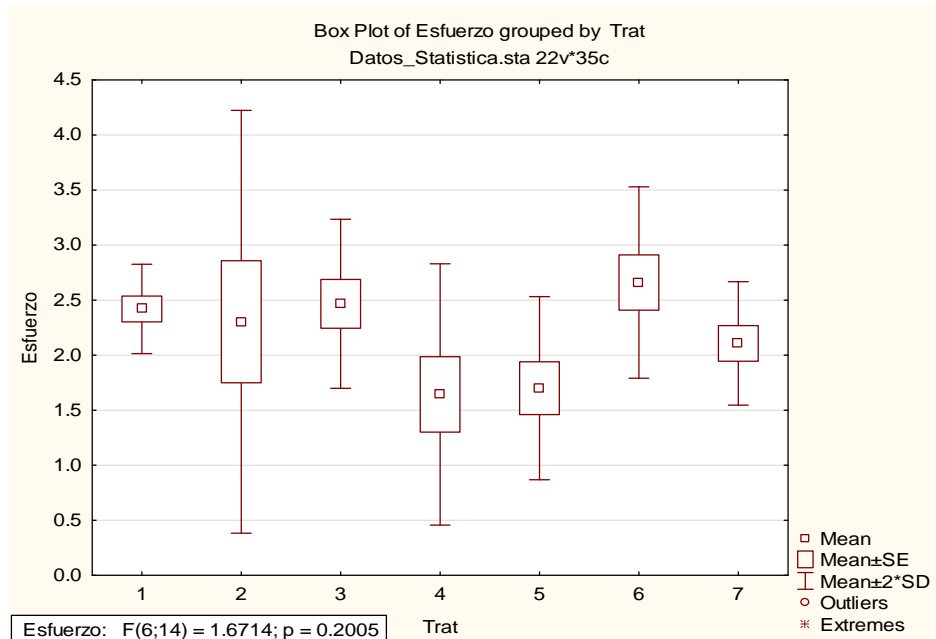
**Figura 18**

*Gráfico de cajas y bigotes para máxima fuerza de tensión*



**Figura 19**

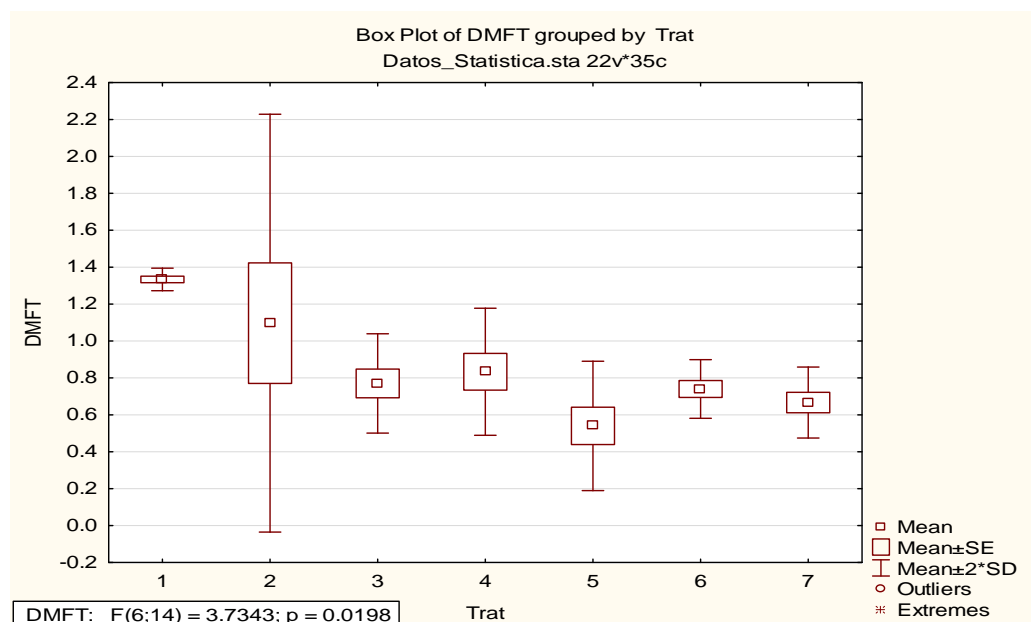
*Gráfico de cajas y bigotes para esfuerzo*



Los datos de distancia máxima de fuerza de tensión se encontraron entre  $0.54 \pm 0.18$  mm (T5) y  $1.34 \pm 0.03$  mm (T1) (según tabla 14 y figura 20) y elongación entre  $0.68 \pm 0.22$  % (T5) y  $1.67 \pm 0.04\%$  (T1) (tabla 14 y figura 21) en ambos análisis no hubieron diferencias significativas entre los tratamientos T2, T3, T4, T5, T6 y T7.

**Figura 20**

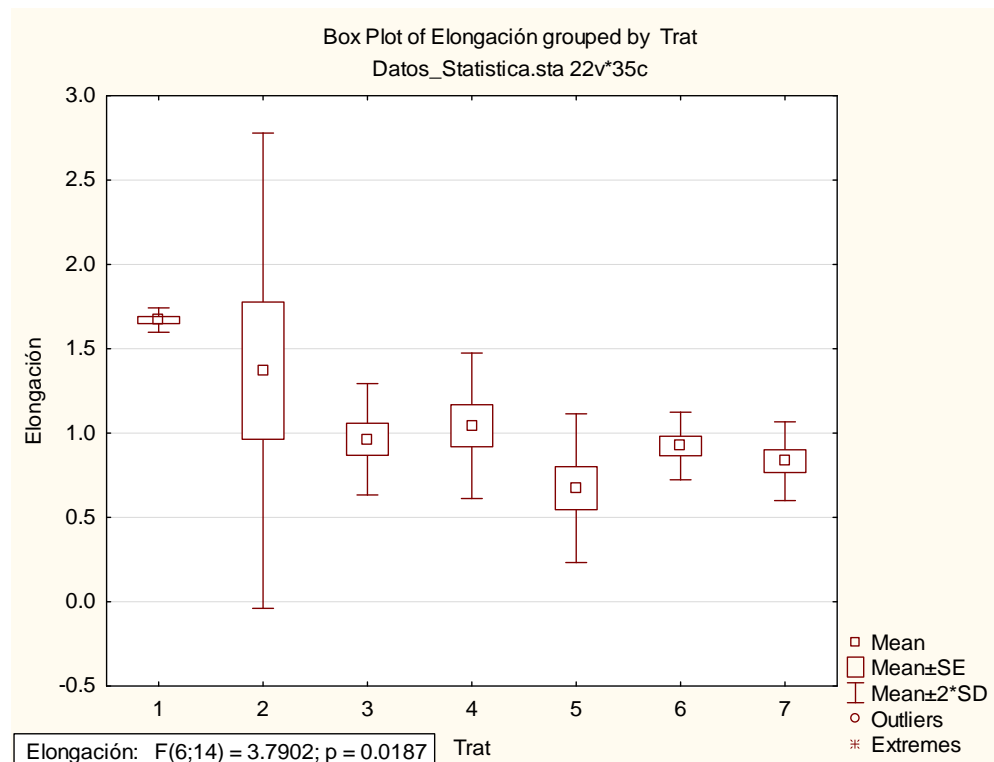
*Gráfico de cajas y bigotes para distancia máxima de fuerza de tensión*



En cuanto al porcentaje de elongación, la bandeja con el porcentaje más elevado (T1) es aquel con 0% de fibra, con la tendencia a disminuir a mayor cantidad de fibra. Comparando con la bandeja EPS, los valores de elongación se encontraron por debajo de ésta, deduciendo mayor plasticidad de parte del material de EPS.

**Figura 21**

*Gráfico de cajas y bigotes para elongación*



Ponce y Horna (2023) disminuyeron sus valores de elongación al incrementar el contenido de fibra de alcachofa a sus bandejas cuyo valor más alto fue 1.90 %. Alegando que es debido a la aglomeración y efecto en la expansibilidad de la fibra, que, al estar sometida a temperaturas altas, se incrementan el tamaño de las cápsulas de aire, disminuyendo la resistencia. .

Las fibras con mayor contenido de celulosa mejoran la resistencia a la tracción y deformación a la rotura o elongación (Díaz et al.,2023; Cabanillas et al.,2019)

Cabanillas et al. (2019) obtuvo en bandejas de almidón de yuca y fibra de cáscara de piña valores de resistencia a la tracción entre  $0.60 \pm 0.12$  MPa y  $0.83 \pm 0.07$  MPa, además evaluó y comparó con bandeja EPS ( $0.83 \pm 0.04$  MPa), cuyo resultado no tiene diferencias significativas con las obtenidas en bandejas con menos contenido de fibra. En cuanto a



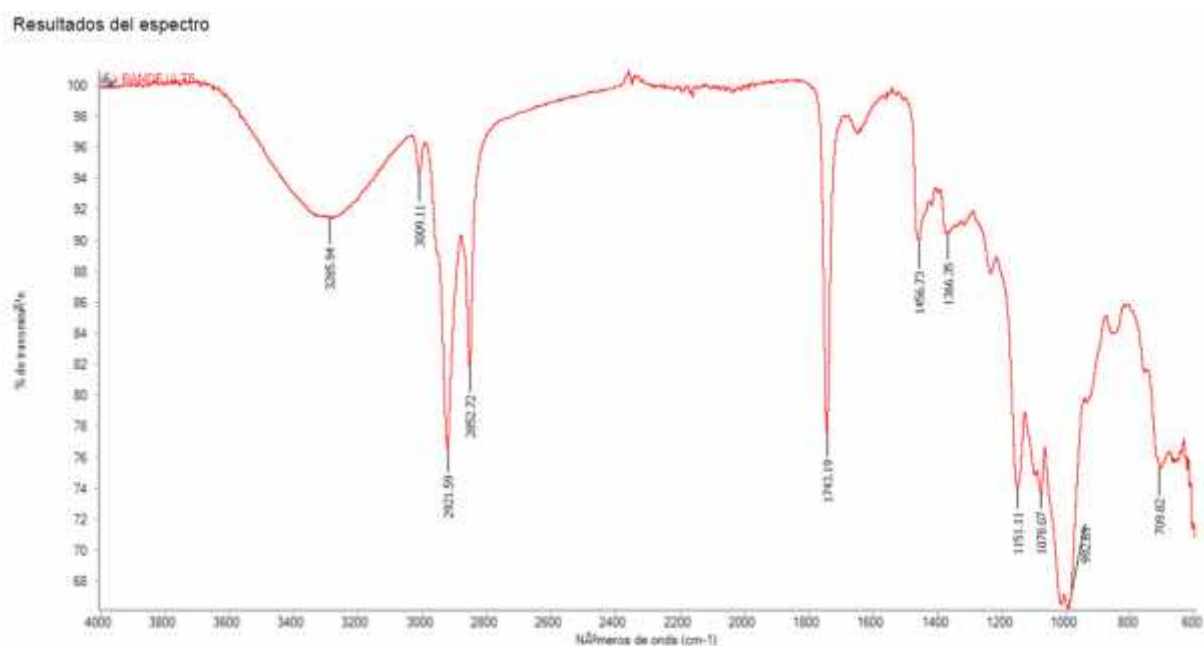
los resultados de deformación a la rotura sus datos variaron entre  $1.16\pm0.25\%$  y  $1.38\pm0.09\%$ , siendo menores a los del EPS cuyo resultado se encontró en  $2.82\pm0.38\%$ . Los valores de máxima fuerza de tensión en la investigación de Castro (2023) obtuvieron su mejor resultado en el tratamiento con 95% de almidón de camote y 5% de fibra de brácteas de alcachofa, cuyo promedio fue de  $10.81\pm0.32\text{Kg}$  y el más bajo se encontró en el tratamiento con 80% de almidón y 20% de fibra con  $5.62\pm0.21\text{Kg}$ , valores por debajo de los obtenidos en el presente estudio con los mismos porcentajes de fibra, en cuanto a la distancia máxima de fuerza de tensión sus valores se encontraron entre  $0.28\pm0.03\text{mm}$  (T8:70/30) y  $0.9\pm0.34\text{mm}$  (T4: 92.5/7.5)mm; ambos indicadores con tendencia a disminuir a mayor cantidad de fibra, coincidiendo en ese sentido con el presente estudio.

### 4.2.3. FTIR

La figura 22 de FTIR nos permite visualizar el espectro de absorción de la energía infrarroja de los diferentes componentes que interactúan para formar las bandejas, en este caso el almidón de yuca, fibras de brácteas de alcachofa, fibra de cáscara de maracuyá, glicerina, estearato de magnesio, goma guar y agua. Se determinó la amplia gama de enlaces moleculares a una resolución de  $4\text{ cm}^{-1}$ , en el rango de  $600\text{ a }4000\text{ cm}^{-1}$ . Dicha gráfica corresponde a la bandeja del tratamiento T6: 70/30 (almidón de yuca/fibra)

**Figura 22**

*Espectros de FTIR de bandeja T6 con 70% de almidón de yuca y 30% de harina de brácteas de alcachofa y harina de cáscara de maracuyá.*



Claramente se puede observar que la gráfica presenta más de 5 bandas de absorción por ser una muestra compleja, la banda ancha con pico de  $3285.94\text{ cm}^{-1}$ , indica la presencia de enlaces de hidrógenos ( $\text{H}_2\text{O}$ ). Durante el termoformado los componentes del almidón y las fibras se fusionan formando nuevas estructuras, unidas por enlaces glicosídicos y de hidrógeno (Ponce y Horna, 2023).

Los grupos hidroxilos (como parte de la estructura del almidón) se observan en el espectro entre  $1600\text{ cm}^{-1}$  y  $1300\text{ cm}^{-1}$  cuyos picos identificados son de  $1366.35\text{ cm}^{-1}$  y  $1456.73\text{ cm}^{-1}$ , que hacen que las bandejas sean hidrofílicas y favorezcan su biodegradación (Nandiyanto et al., 2019). Además, en la banda con  $1366.35\text{ cm}^{-1}$  se la relaciona con la formación del grupo aromático (C-C), propio de la lignina (presente en la composición de las fibras de brácteas de alcachofa y cáscara de maracuyá) (Corpus y Bocanegra, 2024).

En la banda con  $2921.59\text{ cm}^{-1}$ , corresponde a compuestos alifáticos (cadenas de átomos de carbono e hidrógeno), presentes en la cáscara de maracuyá y brácteas de alcachofa. La banda con  $1743.19\text{ cm}^{-1}$  están asociadas a aldehídos y carboxilos (propio de la pectina de la cáscara de maracuyá), y en  $2852.72\text{ cm}^{-1}$ , a los aldehídos, componentes característicos de los almidones.

La huella dactilar que identifica de forma única a las muestras, se encuentra en los rangos entre  $600\text{ cm}^{-1}$  y  $1500\text{ cm}^{-1}$  (Nandiyanto et al., 2019).

Ponce y Horna (2023) reportó en su investigación en la banda con  $1014\text{ cm}^{-1}$ , enlaces  $\text{C}=\text{O}$  aduciendo presencia de amilosa y amilopectina propio del almidón de yuca.

Cabanillas et al. (2019), dedujo que, al aumentar el porcentaje de fibra en las bandejas, se debilitan los enlaces iniciales del almidón, disminuyendo la intensidad de las bandas.

## **V. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES**

### **5.1. CONCLUSIONES**

- Se logró obtener bandejas biodegradables a partir de formulaciones en base de almidón, harina de brácteas de alcachofa y harina de cáscara de maracuyá que podrían reemplazar a las bandejas de poliestireno expandido.
- Las características de las materias primas usadas en diferentes proporciones influyen en los resultados finales de los análisis realizados a la bandeja.
- En temas de calidad de las bandejas, en el análisis de absorción de agua los tratamientos T5 (75/25), T4 (80/20) y T6 (70/30) son los que obtuvieron menor velocidad absorción, se logró obtener bandejas con valores de espesores y niveles de dureza aproximados a los de EPS, pero con densidades superiores a los mismos. Además, a mayor contenido de fibra se obtuvieron menores valores de dureza, fracturabilidad y elongación.
- El tratamiento T6 con 70% de almidón y 30% de fibra logró los mayores valores de fuerza de tensión y esfuerzo, considerándose el tratamiento con mayor capacidad de resistencia y soporte a las cargas con relación a los demás tratamientos. Sin embargo aún este prototipo está limitado a la retención de alimentos secos.

## **5.2. RECOMENDACIONES**

- Realizar estudios para recubrir las bandejas con films biodegradables, adheridos a las superficies de las mismas, para mejorar la impermeabilidad.
- Aplicar colorantes de grado alimenticio que mejore las características visuales de las bandejas.
- Realizar estudios en la UNS para elaborar bandejas con semillas como parte de su composición, para que, durante su degradación en tierra, sea el inicio del crecimiento de una planta.
- Realizar proyecto de prefactibilidad incluyendo los residuos agrícolas y agroindustriales obtenidos del procesamiento de conservas de alcachofa y cáscara de maracuyá, para la elaboración de bandejas.

## VI. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Acosta, E. (2020). *Efecto de la presión, temperatura y concentración de co-solvente en la extracción de polifenoles de brácteas de alcachofa (cynara scolymus l.)*. [Tesis Doctoral. Universidad Nacional del centro del Perú].  
<https://repositorio.uncp.edu.pe/server/api/core/bitstreams/61a64cc6-0adb-46a0-9ad4-7ca2f8ea6fad/content>
- Alza A. y Aurora Y. (2019). *Efecto del secado en bandeja, liofilización y secado solar en la capacidad antioxidante de la harina de brácteas de alcachofa (Cynara scolymus) var. Green Globe y var. Imperial Star*. [Tesis de licenciatura. Universidad Nacional del Santa].  
<https://repositorio.uns.edu.pe/bitstream/handle/20.500.14278/3451/49603.pdf?sequence=1&isAllowed=y>
- Ansó, R. (2018). *Caracterización de fibra de subproductos de alcachofa (Cynara scolymus)*. Universidad Pública de Navarra. España.  
<https://academica-e.unavarra.es/server/api/core/bitstreams/5c35eb99-b96b-4f5b-8d53-ca5b4eb731cc/content>
- AOAC (2005). *Official methods of análisis of Association the Officisl Agricultural Chemists*. 18th ed. Vol: 1-2
- Aparicio, M. (2019). *Obtención de papel a partir de la cáscara del maracuyá (passiflora edulis) y la evaluación de algunas propiedades físicas y químicas*. [Tesis de especialización. Universidad Nacional Abierta y a Distancia (UNAD)].  
<https://repository.unad.edu.co/bitstream/handle/10596/35090/mpapapario.pdf?sequence=3&isAllowed=y>

- Aradilla, D., Oliver, R. y Estrany F. (2012). Polímeros biodegradables: una alternativa de futuro a la sostenibilidad del medio ambiente. *Técnica Industrial*, p.p.76-80.  
<https://www.tecnicaindustrial.es/wp-content/uploads/Numeros/82/889/a889.pdf>
- Arias, J. (2019). Obtención del almidón de la alopecia macrorrhiza y cuantificación del oxalato de calcio. *Revista de Investigación Científica TSE DE*, 2(1), p.p 1-13.  
<http://tsachila.edu.ec/ojs/index.php/TSEDE/article/view/11>
- Aristizábal, J., Sánchez, T., Mejía, D. (2007). *Guía técnica para producción y análisis de almidón de yuca*. Boletín de servicios agrícolas de la FAO 163.  
<https://www.fao.org/4/a1028s/a1028s.pdf>
- Artigas, R. (2020). *Biopolímeros: ¿cuándo y cómo?* Centro Tecnológico del plástico. Montevideo Uruguay.  
<https://ctplas.com.uy/wp-content/uploads/2020/09/Biopol%C3%ADmeros.-Cu%C3%A1ndo-y-c%C3%B3mo.pdf>
- Aruna, N., Pavana, A., Murthy, N.S. (2013). A Novel Mathematical Approach for Optimization of Plastic Degradation. *International Journal of Engineering Trends and Technology (IJETT)*, 4. [https://www.researchgate.net/profile/Pavana-Kumari/publication/328601102\\_A\\_Novel\\_Mathematical\\_Approach\\_for\\_Optimization\\_of\\_Plastic\\_Degradation/links/5bd80282a6fdcc3a8db0491a/A-Novel-Mathematical-Approach-for-Optimization-of-Plastic-Degradation.pdf](https://www.researchgate.net/profile/Pavana-Kumari/publication/328601102_A_Novel_Mathematical_Approach_for_Optimization_of_Plastic_Degradation/links/5bd80282a6fdcc3a8db0491a/A-Novel-Mathematical-Approach-for-Optimization-of-Plastic-Degradation.pdf)
- Barreiro, F. y Coronel, A. (2021). *Bagazo de caña de azúcar (Saccharum officinarum) y almidón de yuca (manihot esculenta) como sustituto de poliestireno en la elaboración de platos biodegradables*. [Tesis de Licenciatura, Escuela superior politécnica agropecuaria de Manabí Manual Félix López]

- Barrera, A. E., Montenegro, L., Sanchez, A., Medina, M., Medina, M., & Espinoza, I. (2017). Degradabilidad ruminal in vitro de ensilajes de pasto saboya (*Panicum maximum* jacq) con diferentes niveles de inclusión de cáscara de maracuyá (*Passiflora edulis* sims). *Ciencia y Tecnología*, *10*, (2), p.p. 53-62.  
<https://dialnet.unirioja.es/servlet/articulo?codigo=6261814>
- Ben, Z. Y., Samsudin, H., & Yhaya, M. F. (2022). Glycerol: Its properties, polymer synthesis, and applications in starch based films. *European Polymer Journal*, *175*. <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0014305722003810>
- Briones, S., y Riera, M., (2020). Residuos de la cáscara de yuca y cera de abejas como potenciales materiales de partida para la producción de bioplásticos. *Avances en química*, *15*(1), 3-11.  
[https://www.researchgate.net/profile/Maria-Riera-3/publication/342107218\\_Residuos\\_de\\_la\\_cascara\\_de\\_yuca\\_y\\_cera\\_de\\_abeja\\_como\\_potenciales\\_materiales\\_de\\_partida\\_para\\_la\\_produccion\\_de\\_bioplasticos/links/5ee25bf7458515814a54ba17/Residuos-de-la-cascara-de-yuca-y-cera-de-abeja-como-potenciales-materiales-de-partida-para-la-produccion-de-bioplasticos.pdf](https://www.researchgate.net/profile/Maria-Riera-3/publication/342107218_Residuos_de_la_cascara_de_yuca_y_cera_de_abeja_como_potenciales_materiales_de_partida_para_la_produccion_de_bioplasticos/links/5ee25bf7458515814a54ba17/Residuos-de-la-cascara-de-yuca-y-cera-de-abeja-como-potenciales-materiales-de-partida-para-la-produccion-de-bioplasticos.pdf)
- Cabanillas, A., Nuñez, J., Cruz, J.P., Vejarano, R., Tapia, D., Arteaga, H. y Sicche, R. (2019). Fibra de cáscara de piña como refuerzo en bandejas de espuma de almidón de yuca. *Sage Journals. Polymers and Polymer Composites*. Vol.27(8). Pp. 496-506. DOI:10.1177/0967391119848187

- Campos, J., Acosta, K., Moreno, C., Paucar, L. (2023). Maracuyá (*Passiflora edulis*): Composición nutricional, compuestos bioactivos, aprovechamiento de subproductos, biocontrol y fertilización orgánica en el cultivo. *Scientia Agropecuaria* 14(4).  
<https://revistas.unitru.edu.pe/index.php/scientiaagrop/article/view/5692/5709>
- Carballo, M. & Guelmes, E.L. (2016). Algunas consideraciones acerca de las variables en las investigaciones que se desarrollan en educación. *Revista Universidad y Sociedad*, 8(1), 140-150. Recuperado en 26 de noviembre de 2025, de [http://scielo.sld.cu/scielo.php?script=sci\\_arttext&pid=S2218-36202016000100021&lng=es&tlng=es](http://scielo.sld.cu/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S2218-36202016000100021&lng=es&tlng=es).
- Cárdenas, K. (2016). *Estudio químico-bromatológico, compuestos bioactivos y evaluación de la actividad antioxidante de Cynara scolymus "alcachofa" procedente de Huaral*. [Tesis de licenciatura, Universidad Nacional Mayor de San Marcos]. <https://core.ac.uk/download/pdf/323344626.pdf>
- Castaños, E. (2015). El experimento de Michelson-Morley. *Ciencia de luz*. Recuperado en 23 de noviembre de 2025, de <https://cienciadelux.wordpress.com/2015/11/02/el-experimento-de-michelson-morley/>
- Castro, C. (2023). *Efecto de la proporción de harina de bráctea de alcachofa en propiedades mecánicas y fisicoquímicas de un envase biodegradable*. [Tesis de licenciatura, Universidad Nacional de Trujillo]. <https://dspace.unitru.edu.pe/server/api/core/bitstreams/b4ccc280-e3de-48aa-a8a9-9fc29f35b1f6/content>
- Cermeño, D. (2020). *Elaboración y caracterización de una película de almidón termoplástico de yuca (Manihot Esculenta) reforzado con microfibras de celulosa extraída de la estopa del coco (cocos nucifera) a escala laboratorio*. [Tesis de



licenciatura, Universidad de San Carlos de Guatemala].  
<http://www.repositorio.usac.edu.gt/14039/1/Diana%20Raquel%20Cerme%C3%B1o%20D%C3%A1vila.pdf>

Colombo, R., Moretto, G., Pellicorio, V. y Papetti, A. (2024). Globe Artichoke (*Cynara scolymus* L.) by-Products in food applications: Functional and Biological Properties. *Foods*. 13(10), 1427. <https://doi.org/10.3390/foods13101427>

Chuqui, S. y Paucar, L. (2021). Caracterización fisicoquímica, funcional y reológica de harina de cáscara de maracuyá (*Passiflora edulis* SIMS). *Revista de Investigación Científica Tayacaja*, 4(2).

<https://revistas.unat.edu.pe/index.php/RevTaya/article/view/177/145>

Cornejo G; Marinero E; Funes C; Toruño P. (2020). Biopolímeros para uso agro industrial: Alternativa sostenible para la elaboración de una película de almidón termo plástico biodegradable. *Iberoamericana de Bioeconomía y Cambio Climático*. 6(11), 1359-1382. <https://doi.org/10.5377/ribcc.v6i11.9824>

Cornejo, M. (2017). *Diseño de información como método para generar conciencia ambiental respecto a la alteración de la fauna marina debido a la contaminación por residuos plásticos en las playas de Lima Metropolitana, dirigido a amas de casa pertenecientes al distrito de Surquillo*. [Tesis de licenciatura, Universidad San Ignacio de Loyola]. <https://repositorio.usil.edu.pe/bitstreams/8a9a48a1-17f2-4678-82d1-f6cfa955398a/download>

Corpus, A. y Bocanegra, R. (2024). *Bandejas biodegradables a partir de semilla de mango y residuos de la industria azucarera y molinera de arroz*. [Tesis de licenciatura, Universidad Nacional del Santa].

- Cruz, J.P., Vejarano, R., Tapia, D., Barraza, G. y Siccha, R. (2019). Bandejas de espuma biodegradable a base de almidones aislados de diferentes especies peruana. *Internacional de macromoléculas biológicas*. (125). 800-805.  
<https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0141813018329866?via%3Dihub>
- Daza, S. y Parra, 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. *Revista @Limentech Ciencia y Tecnología Alimentaria*. 19 N (1), 5 – 16.  
<https://ojs.unipamplona.edu.co/index.php/alimen/article/view/1407/7443>
- Díaz, C. y Flores, E. (2018). *Influencia de la adición de harina de cáscara de maracuyá (Pasiflora Edulis), variedad Flavicarpa y ácido ascórbico sobre las características tecnológicas del pan de molde*. [Tesis de licenciatura Universidad Nacional del Santa]  
<https://repositorio.uns.edu.pe/bitstream/handle/20.500.14278/3169/48631.pdf?sequence=1&isAllowed=y>
- Díaz, E., Cabrera, C., Díaz, Y., Chumacero, J., Gamboa, P. (2023). Bandejas biodegradables de almidón de papa con fibra de tocón de espárrago (*Asparagus Officinalis* L.). *Agrotécnología Amazónica*, 3(1), e429.  
doi: 10.51252/raa.v3i1.429 Artículo
- Díaz, X. (2017). *Caracterización y optimización de una bandeja biodegradable a partir maíz, papa, soya y glicerol por el método de termoprensado*. [Tesis de Licenciatura, Escuela Agrícola Panamericana, Zamorano Honduras].  
<https://bdigital.zamorano.edu/server/api/core/bitstreams/ace03aaa-72a1-4fae-bcec-68ac432dde20/content>

Enríquez, M., Velasco, R., Fernandez, A. (2013). Caracterización de almidones de yuca nativos y modificados para la elaboración de empaques biodegradables. *Biotecnología en el Sector Agropecuario y Agroindustrial*, 11 no.spe, p.p.21-30. ISSN 1692-3561. [http://www.scielo.org.co/scielo.php?script=sci\\_arttext&pid=S1692-35612013000300003](http://www.scielo.org.co/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1692-35612013000300003)

EPSOLE (2024). *Poliestireno expandido de celda cerrada (EPS): Beneficios y Aplicaciones En la Construcción*. EPSOLE. Recuperado el 26 de noviembre de 2025. [https://epssole.com/es/poliestireno-expandido-de-c%C3%A9lulas-cerradas/#:~:text=Excelentes%20propiedades%20de%20aislamiento%20\\*%20Aislamiento%20t%C3%A9rmico%20incluso%20en%20condiciones%20h%C3%BAmedas%20o%20mojadas](https://epssole.com/es/poliestireno-expandido-de-c%C3%A9lulas-cerradas/#:~:text=Excelentes%20propiedades%20de%20aislamiento%20*%20Aislamiento%20t%C3%A9rmico%20incluso%20en%20condiciones%20h%C3%BAmedas%20o%20mojadas).

Erguner, M. y Harsa, H.S. (2023). Development of microfibrillated cellulose-based films from globe artichokes (*Cynara scolymus*). *Bioresource Technology*, 24, 101656. <https://doi.org/10.1016/j.biteb.2023.101656>

Escribano V. (2020). *Desarrollo y caracterización de un bioplástico a partir de cáscara de maracuyá (Passiflora edulis)*. [Tesis de Licenciatura, Universidad Señor de Sipán]. <https://repositorio.uss.edu.pe/bitstream/handle/20.500.12802/7450/Escribano%20Cajo%20V%c3%adctor%20Manuel.pdf?sequence=1&isAllowed=y>

Escudero, E., & González, P. (2006). La fibra dietética. *Nutrición Hospitalaria*, 21(Supl. 2), 61-72. Recuperado el 26 de noviembre de 2025, de [http://scielo.isciii.es/scielo.php?script=sci\\_arttext&pid=S0212-16112006000500007&lng=es&tlng=es](http://scielo.isciii.es/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0212-16112006000500007&lng=es&tlng=es).

Espina, M., Cruz, J. y Siche, R. (2016). Propiedades mecánicas de bandejas elaboradas con almidón de especies vegetales nativas y fibras de residuos agroindustriales.

*Scientia Agropecuaria*, 7(2), p.p. 133-143.

<https://doi.org/10.17268/sci.agropecu.2016.02.06>

Espinoza, R., Sánchez, M., Velasco, M., Gonzales, A., Romero, R., Mory, W. (2023).

*Metodología y estadística en la investigación científica*. 1era ed. Puerto Madero.

Recuperado en 26 de noviembre de 2025 de

<https://d1wqtxts1xzle7.cloudfront.net/105055304/136->

libre.pdf?1692201300=&response-content-

disposition=inline%3B+filename%3DMetodologia\_y\_Estadistica\_en\_La\_Investig.pdf&Expires=1764208496&Signature=M6Wj4Oj~R17YijSB521YCqNMbdh

Nmvc4ajhfP0E~u7qeHkGD-

pIup32RAhAhacoVTYiyBbHSEuQSgTTruPFK3amhw-

amcPDRJD6OnTVEunXl1m~z1P1bbFqmuzytdwfObJ93id0RsnhmGW07DV44

8SPontLzKymBMjXp7lb5pFFtSkAOqcHIHZDGFntCOIvFWig0FmCq9QzZiFJ-

MFUQTfZZtexnou04PEqxykaTRfWQvC6uVzq0nCZotFyAZuFxxcdnsSXgMle

AECfLkEqpecSMYMPeEp2mOZOIHfyJ8WiRPabbCh8DOmuyqf96cnZ7ZrZP

0I5x5ZJ3KHxzShk4A\_\_&Key-Pair-Id=APKAJLOHF5GGSLRBV4ZA

Espinoza G. (2019). Comportamiento Térmico de la Colocasia Esculenta (Papa China).

[Tesis de Licenciatura, Universidad del Azuay. Cuenca – Ecuador].

<https://dspace.uazuay.edu.ec/handle/datos/8698>

Fathoni, A., Hartati, N., Wahyuni, Fitriani H., Rahman, N., Harmoko, R., Perwitasari, U.

(2020). Characterization of cassava starch and its potential for fermentable sugar

production. *Earth and Environmental Science* 439, 012024. Recuperado el 08 de

Julio de 2025, de doi:10.1088/1755-1315/439/1/012024

- Fernández, A. (2019). *Identificación de nuevas tecnologías de empaques biodegradables en la industria de alimentos con mayor potencial de desarrollo en Colombia*. [Monografía para especialización, Fundación Universidad de América].  
<https://repository.uamerica.edu.co/server/api/core/bitstreams/72fd650e-cb8d-45a8-97f3-47a269dd176d/content>
- Fonseca, W (2019). *Uso de espectrofotometria FTIR (Fourier Transform Infrared) e mineração de dados para a detecção e identificação de adulterantes no leite cru*. [Tesis doctoral, Universidad Federal de Minas Gerais].  
<https://repositorio.ufmg.br/bitstream/1843/32712/1/Tese%20Final%20Wanessa%207.pdf>
- Gómez C y Sedano R (2019). *Evaluación de la degradación y toxicidad de diferentes tipos de envases biodegradables comerciales sometidos a compost maduro y húmedo, 2019*. [Tesis de licenciatura, Universidad Cesar vallejo]. Recuperado el 08 de Julio de 2025 de <https://repositorio.ucv.edu.pe/handle/20.500.12692/46363>
- Gómez, J. (2016). *Diagnóstico del impacto del plástico - botellas sobre el medio ambiente: un estado del arte*. [Tesis de licenciatura, Universidad Santo Tomás]. Recuperado el 10 de abril de 2021 de <https://repository.usta.edu.co/bitstream/handle/11634/10047/Gomez2016.pdf>
- Gudiel, A., Cruz, J., Cueva, F., García, M. y Siguenza, Y. (2018). *Diseño de planta de producción para la obtención de platos biodegradables a base de estopa de coco en la provincia de Piura*. [Monografía, Universidad de Piura]. Recuperado el 16 de mayo de 2024 de <https://es.scribd.com/document/431026393/PYT-Informe-Final-Proyecto-PLATOSBIODEGRADABLES-pdf>
- Jamieson, A.J., Brooks, L.S.R., Reid, W.D.K., Piernsey, S.B., Narayanaswamy, B.E., Linley, T.D. (2019). Microplastics and synthetic particles ingested by Deep-sea

amphipods in six of the deepest marine ecosystems on Earth. *Royal Society*, 6(2).

Recuperado el 16 de mayo de 2024 de  
<https://royalsocietypublishing.org/doi/epdf/10.1098/rsos.180667>

Jiang H, Zhang W, Chen L, Liu J, Cao J, Jiang W., (2023). Recent advances in guar gum-based films or coatings: Diverse property enhancement strategies and applications in foods. *Food Hydrocolloids*, 136, Part A. Recuperado el 18 de marzo de 2025 de  
<https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0268005X22007986>

Karimah, A., Ridho, M., Munawar, S., Adi, D., Ismadi, Damayant, R., Subiyanto, B., Patriasari, W. y Fudholi A. (2021). A review on natural fibers for development of eco-friendly bio-composite: characteristics, and utilizations. *Journal of Materials Research and Technology*, 13, p.p 2442-2458. Recuperado el 25 de marzo de 2025 de <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S223878542100569X>

Kulkarni, S.G y Vijayanand, P. (2010). Effect of extraction conditions on the quality characteristics of the Pectin from passion fruit peel (*Passiflora edulis* f. *flavicarpa* L.). *LWT Food Science and Technology*. 43 (7), pp. 1026 – 1031. Recuperado el 15 de Julio de 2025 de  
<https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0023643809003120>

Ley 30884. (2019). *Ley que regula el plástico de un solo uso y los recipientes o envases descartables*. Congreso de la República de Perú.  
<https://busquedas.elperuano.pe/normaslegales/aprueban-el-reglamento-de-la-ley-n-30884-ley-que-regula-el-decreto-supremo-n-006-2019-minam-1800497-4/>.

Luna, P., Darniadi, S., Chatzifragkou, A. y Charalampopoulos, D. (2021) Biodegradable foams based on extracted fractions from sorghum by-products. *IOP Conf. Series:*

- Earth and Environmental Science* 749 012057. Recuperado el 15 de Julio de 2025 de <https://iopscience.iop.org/article/10.1088/1755-1315/749/1/012057/pdf>
- Matos, I. y Diaz, J. (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/bitstream/handle/20.500.14278/3939/52451.pdf?sequence=1&isAllowed=y>
- Mello, L., Mali, S., (2014). Use of malt bagasse to produce biodegradable baked foams made from cassava starch. *Industrial Crops and Products*, 55.p.p.187-193. Recuperado el 18 de agosto de 2025 de <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0926669014000934>
- Martínez, M. (2016). *Residuos De Alcachofa (Cynara Scolymus L.) Variedad 'Lorca' Como Fuente De Compuestos Fenólicos Y Su Aplicación Como Antioxidantes*. [Tesis de Maestría, Universidad Nacional Agraria La Molina]. <https://repositorio.lamolina.edu.pe/server/api/core/bitstreams/1998610c-e6a7-4e28-b21b-598321ae198d/content>
- Martinez R y Rodríguez M. (2023). Obtención de fibra soluble a partir de desechos agroindustriales y su aplicación en alimentos. *Investigación y Desarrollo en Ciencia y Tecnología de alimentos*. 8, p.p 724-731.
- Decreto Supremo N° 016-2012-AG. (2012). *Por lo cual aprueban Reglamento de Manejo de los Residuos Sólidos del Sector Agrario*. Presidencia de la República [https://cdn.www.gob.pe/uploads/document/file/2373664/ds\\_16\\_2012\\_ag.pdf?v=1636579727](https://cdn.www.gob.pe/uploads/document/file/2373664/ds_16_2012_ag.pdf?v=1636579727)

- Ministerio de Agricultura y Riego. (2022). *Compendio anual de producción Agrícola*.  
<https://www.gob.pe/institucion/midagri/informes-publicaciones/2730325-compendio-anual-de-produccion-agricola>
- Ministerio de Ambiente. (2018). *En el Perú solo se recicla el 1.9% del total de residuos sólidos reaprovecharles*. <https://www.minam.gob.pe/notas-de-prensa/en-el-peru-solo-se-recicla-el-1-9-del-total-de-residuos-solidos-reaprovechables/>
- Molina, A. & Flórez, J. (2020) *Biopolímeros como sistemas de bioencapsulación*. Disponible en: [https://www.researchgate.net/profile/Jm-Florez-Castillo/publication/343452469\\_Biopolimeros\\_como\\_sistemas\\_de\\_bioencapsulacion/links/5f31a0ca299bf13404b70e7d/Biopolimeros-como-sistemas-de-bioencapsulacion.pdf](https://www.researchgate.net/profile/Jm-Florez-Castillo/publication/343452469_Biopolimeros_como_sistemas_de_bioencapsulacion/links/5f31a0ca299bf13404b70e7d/Biopolimeros-como-sistemas-de-bioencapsulacion.pdf)
- Mora, W. y Ramón, B. (2017). Caracterización térmica, mecánica y morfológica de fibras naturales colombianas con potencial como refuerzo de biocompuestos. *Revista Académica Colombiana de Ciencias*. 41(161), p.p479-489.  
<http://dx.doi.org/10.18257/raccefyn.525>
- Morales, J. (2022). *Obtención de bioplástico a partir de papa chola (solanum tuberosum) y zanahoria blanca (arracacia xanthorrhiza) para uso como envolturas farmacéuticas*. [Tesis de licenciatura, Escuela Superior Politécnica de Chimborazo].  
<https://dspace.esPOCH.edu.ec:8080/server/api/core/bitstreams/e8eb125b-6324-4bc9-b58b-7c100918f72d/content>
- Monge, C., Nuñez, N. y Velez, F. (2019). Aprovechamiento de residuos de alcachofa (Cynara scolymus L.) para la fabricación de harina utilizada en el enriquecimiento con fibra de un yogurt frutado con probiótico. [Tesis de Grado, Universidad San Ignacio de Loyola]. <https://hdl.handle.net/20.500.14005/9767>



- Mordor Intelligence. (2024). *Tamaño del mercado de poliestireno expandido y análisis de participación tendencias de crecimiento y pronósticos (2024-2029)*. Recuperado de : <https://www.mordorintelligence.com/es/industry-reports/global-expanded-polystyrene-eps-market-industry>
- Muñoz, C., Parker, J. (2017). *Disruptores endocrinos: información general, efectos en el organismo y su inclusión en contenedores plásticos reutilizables destinados al almacenaje de alimentos*. [Tesis de licenciatura, Universidad Finis Terrae]. Recuperado el 18 de julio de 2025 de <https://repositorio.uft.cl/items/e85169fa-d908-4794-9258-82d77bd7260a>
- Nandiyanto, A., Oktiani, R., Ragadhita, R.(2019). How to Read and Interpret FTIR Spectroscopy of Organic Material. *Journal of Science & Technology, Volume 4,(1), p.p. 97-118*. Recuperado el 21 de julio de 2025 <https://ejournal.upi.edu/index.php/ijost/article/view/15806/pdf>
- Navia, D. y Bejarano, N. (2014). Evaluación de propiedades físicas de bioplásticos termocomprimidos elaborados con harina de yuca. *Biotecnología en sector agropecuario y agroindustrial, 12 (2) p.p 40-48*. Recuperado el 09 de octubre de 2025 de [http://www.scielo.org.co/scielo.php?script=sci\\_arttext&pid=S1692-35612014000200005](http://www.scielo.org.co/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1692-35612014000200005)
- Nugroho, A., Bagus, S., Legowo, A.C y Wibowo A.D. (2024). Biodegradable Foam from Cassava Starch Blended with Water Hyacinth Fiber: Effects of Polyvinyl Alcohol Content. *Rev. IOP Conf. Series: Earth and Environmental Science 1354, 012021* <https://iopscience.iop.org/article/10.1088/1755-1315/1354/1/012021/pdf>

- Osuna, M., Rodriguez, J. y Amaya C.A. (2019). Aprovechamiento de los residuos del cultivo de alcachofa (*Cynara scolymus* L.) para el desarrollo de harina ricas en antioxidantes. *Investigación y Desarrollo en Ciencia y Tecnología de Alimentos*, 4. Recuperado el 08 marzo de 2024 de <http://eprints.uanl.mx/23667/1/48.pdf>
- Paredes M. (2022). *Obtención de biopelículas a partir de almidón de maíz morado (zea mays l.) acetilado para el recubrimiento de alimentos*. [Tesis de licenciatura, Escuela Superior Politécnica de Chimborazo]. <http://dspace.esPOCH.edu.ec/handle/123456789/20247>
- Piedra, M. (2015). *Evaluación de tres niveles de inclusión de subproductos a base de cáscara de maracuyá y afrecho de trigo dentro de la alimentación de cuyes criollos en etapa de recría I*. [Tesis de licenciatura, Universidad Politécnica Salesiana]. <https://dspace.ups.edu.ec/bitstream/123456789/7546/1/UPS-CT004480.pdf>
- Pizarro, M., Sánchez, T., Ceballos, H., Morante, N y Dufour, D. (2016). Diversificación de los Almidones de Yuca y sus Posibles Usos en la Industria Alimentaria. *Revista Politécnica* 37 (2). [https://revistapolitecnica.epn.edu.ec/ojs2/index.php/revista\\_politecnica2/article/view/637/pdf](https://revistapolitecnica.epn.edu.ec/ojs2/index.php/revista_politecnica2/article/view/637/pdf)
- Ponce, J. y Horna, N. (2023). *Formulación y caracterización de bandejas biodegradables con almidón de Manihota Sculentay fibras de Cynara Scolymus*. [Tesis de licenciatura, Universidad Nacional del Santa]. Recuperado el 10 marzo de 2025 de <https://repositorio.uns.edu.pe/bitstream/handle/20.500.14278/4336/52806.pdf?sequence=1&isAllowed=y>

- Prado Y. 2022. *Análisis de los tiempos de degradación de productos alternativos a los plásticos de un solo uso en medio terrestre*. [Tesis de licenciatura, Pontificia universidad Católica del Ecuador]. Recuperado el 10 octubre de 2024 de <https://repositorio.puce.edu.ec/server/api/core/bitstreams/73cef451-bfb8-4d00-84da-d3e12bd71105/content>
- Purca, S y Henostroza, A. (2017). Presencia de microplásticos en cuatro playas arenosas de Perú. *Revista Peruana de Biología. versión On-line*. 24 (1). Recuperado el 06 octubre de 2024 de [http://www.scielo.org.pe/scielo.php?script=sci\\_arttext&pid=S1727-99332017000100012](http://www.scielo.org.pe/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1727-99332017000100012)
- Reolon, V. C. & Borges, J. (2010). Characterization of foams obtained from cassava starch, cellulose fibres and dolomitic limestone by a thermopressing process. *Brazilian archives of Biology and Technology*, 53(1). p.p.185-192. Recuperado el 03 febrero de 2025 de <https://www.scielo.br/j/babt/a/4PL3HtJwXLX9h5PTCHtqH7h/?format=pdf&lang=en>
- Rivera S. (2021). Revisión monográfica de lubricantes en formas farmacéuticas sólidas orales. [Proyecto, Universidad Autónoma Metropolitana. Xochimilco-México] Recuperado el 23 abril de 2024 de <https://repositorio.xoc.uam.mx/jspui/bitstream/123456789/26259/1/cbs1973977.pdf>
- Rodríguez A. (2012). Biodegradabilidad de materiales bioplásticos. *Rev. Ciencia y Tecnología Alimentos*, 22(3), p.p. 69–72. Recuperado el 23 abril de 2024 de [https://www.researchgate.net/publication/328676031\\_Biodegradabilidad\\_de\\_materiales\\_bioplasticos](https://www.researchgate.net/publication/328676031_Biodegradabilidad_de_materiales_bioplasticos)

- Rodriguez P. (2012). *Análisis de la relación estructura macromolecular - propiedades viscoelásticas - termoformabilidad de polímeros termoplásticos semicristalinos*. [Estudio de especialización, Centro de Investigación en química Aplicada]. Recuperado el 30 abril de 2025 de <https://ciqa.repositorioinstitucional.mx/jspui/bitstream/1025/413/1/Perla%20Patricia%20Rodriguez%20Salazar.pdf>
- Rubio, M.y Guerrero, J. (2012). *Polímeros utilizados para la elaboración de películas biodegradables*. Temas Selectos de Ingeniería de alimentos 6(2), p.p. 173-181. Recuperado el 09 abril de 2024 de [https://www.researchgate.net/publication/285092312\\_Polimeros\\_utilizados\\_para\\_la\\_elaboracion\\_de\\_peliculas\\_biodegradables](https://www.researchgate.net/publication/285092312_Polimeros_utilizados_para_la_elaboracion_de_peliculas_biodegradables)
- Ruiz, G. (2005). *Polímeros biodegradables a partir de almidón de yuca*. [Tesis de Maestría. Universidad EAFIT ICIPC]. Recuperado el 07 septiembre de 2024 de <https://repository.eafit.edu.co/server/api/core/bitstreams/77cb5a84-12d4-4aca-9a5b-ecd837484b19/content>
- Salgado, R., Paternina, A., Cohen, C., Rodríguez, J., (2019). Análisis de las Curvas de Gelatinización de Almidones Nativos de tres Especies de Ñame: Criollo (*Dioscorea alata*), Espino (*Dioscorea rotundata*) y Diamante 22. *Información tecnológica*,30(4),p.p. 93-102. Recuperado el 07 enero de 2025 de <http://dx.doi.org/10.4067/S0718-07642019000400093>
- Salgado, P., Schmidt, V., Molina, E., Mauri, A. y Laurindo, J. (2008). Biodegradable foams based on cassava starch, sunflower proteins and cellulose fibers obtained by a baking process. *Journal of Food Engineering*, 85, p.p. 435-443. Recuperado el 26 marzo de 2025 de [https://www.researchgate.net/profile/Duclerc-Parra/publication/237823857\\_Biodegradable\\_foams\\_made\\_of\\_cassava\\_starch\\_and\\_fibers\\_Influence\\_in\\_the\\_mechanical\\_properties/links/5731ecce08ae9f741b234e0e/Biodegradable-foams-made-of-cassava-starch-and-fibers-Influence-in-the-mechanical-properties.pdf](https://www.researchgate.net/profile/Duclerc-Parra/publication/237823857_Biodegradable_foams_made_of_cassava_starch_and_fibers_Influence_in_the_mechanical_properties/links/5731ecce08ae9f741b234e0e/Biodegradable-foams-made-of-cassava-starch-and-fibers-Influence-in-the-mechanical-properties.pdf)

- Salmerón, F. I. (2019). *Elaboración y caracterización de un material biodegradable utilizando desechos de lechuga de la Planta Poscosecha en la Escuela Agrícola Panamericana*. [Tesis de licenciatura, Escuela Agrícola Panamericana, Zamorano]. Recuperado el 27 marzo de 2025 de <https://bdigital.zamorano.edu/server/api/core/bitstreams/3a005418-d6b3-4a18-bb31-9b8a175aff20/content>
- Sarria, R y Gallo, J. (2016). La gran problemática ambiental de los residuos plásticos: Microplásticos. *Journal de Ciencia e Ingeniería*, 8(1), pp. 21-27. Recuperado el 16 junio de 2024 de [https://www.researchgate.net/publication/323200126\\_La\\_gran\\_problematika\\_a\\_mrbiental\\_de\\_los\\_residuos\\_plasticos\\_Microplasticos](https://www.researchgate.net/publication/323200126_La_gran_problematika_a_mrbiental_de_los_residuos_plasticos_Microplasticos)
- Selva industrial (2025). *Boletín informativo Maracuyá enero 2025*. Selva Industrial. Recuperado el 03 febrero de 2025 de <https://selva.com.pe/boletin-informativo-maracuya-enero-2025/>
- Sociedad de Comercio exterior del Perú -COMEX PERU. (2022). *Solo aprovechamos el 1% de residuos orgánicos e inorgánicos que generamos*. COMEX PERU semanario 1107. Recuperado el 25 febrero de 2024 de <https://www.comexperu.org.pe/articulo/solo-aprovechamos-el-1-de-residuos-organicos-e-inorganicos-que-generamos>
- Thermo Fisher Scientific (S.F). *Spectroscopy Academy : Thermo Scientific FTIR spectrometer and microscope resources*. Thermo Fisher Scientific. Recuperado el 28 febrero de 2025 de <https://www.thermofisher.com/pe/en/home/industrial/spectroscopy-elemental-isotope-analysis/molecular-spectroscopy/fourier-transform-infrared-spectroscopy/resources/ftir-spectroscopy-academy.html#ftir-basics>

- Thiounn, T. y Smith, R. (2020). Advances and approaches for chemical recycling of plastic waste. *Journal of Polymer Science*, 58(10), p.p. i-ii, 1339-1471. Recuperado el 28 febrero de 2025 de <https://onlinelibrary.wiley.com/doi/epdf/10.1002/pol.20190261>
- Udeme, E. y Lateef S. (2016). Preparation and characterization of thermoplastic starch from sweet potato. *International Journal of Scientific & Engineering Research*, 7. (5), pp. 438-443. Recuperado el 13 de octubre de 2025, de <https://es.scribd.com/document/386305360/Preparation-and-Characterization-of-Thermoplastic-Starch-From-Sweet-Potato>
- Vargas, Y. y Pérez, L. (2018). Aprovechamiento de residuos agroindustriales en el mejoramiento de la calidad del ambiente. *Revista Facultad de Ciencias Básicas*, 14 (1), p.p 59-72. Recuperado el 10 de enero de 2025, de <https://files.core.ac.uk/download/352155766.pdf>
- Vásquez A, Ore H. y Salazar C. (2020). Evaluación de parámetros óptimos para mejorar la resistencia de biopolímero producido a partir de almidón: Revisión bibliográfica. *Revista Pakamuros*, 8(1), p.p 22-23. Recuperado el 18 de agosto de 2025 de <https://revistas.unj.edu.pe/index.php/pakamuros/article/view/91/90>

## VII ANEXOS

### Anexo 1

*Base de datos del estudio:* Resultados de análisis, determinación de promedios, desviación estándar, coeficiente de variación

	Trat	Alm	Fib	Tie	Humedad	WAC1	WAC5	WAC10	WAC15	WAC20	L*	a*	b*	Espesor	Densidad	Dureza	Fracturabilidad	MFT	DMFT	Esfuerzo	Elongación	E*
	1	100	0	15	7,98	0,55	0,48	1,01	1,27	1,56	76,48	3,12	16,45	2,88	0,23	47,27	4,50	13,54	1,34	2,24	1,68	0,00
	1	100	0	15	8,21	0,44	0,55	1,19	1,28	1,59	74,87	2,85	15,16	2,92	0,24	33,73	3,88	13,14	1,36	2,38	1,70	0,00
	1	100	0	15	8,18	0,54	0,61	1,26	1,40	2,02	75,85	2,46	16,07	2,81	0,23	46,29	4,42	15,16	1,30	2,64	1,63	0,00
	1	100	0	15										2,93	0,22							
	1	100	0	15										2,81	0,23							
	2	90	10	15	8,21	0,55	0,81	1,21	1,68	2,48	63,85	4,89	22,66	2,98	0,23	42,07	3,50	6,56	0,47	1,26	0,59	14,18
	2	90	10	15	8,25	0,57	0,53	1,91	2,26	1,95	62,78	5,52	23,48	2,95	0,22	48,54	3,50	13,12	1,25	2,50	1,56	14,92
	2	90	10	15	8,24	0,59	0,62	1,22	1,66	2,30	64,08	5,06	23,10	2,87	0,23	40,01	3,74	16,43	1,57	3,15	1,96	13,95
	2	90	10	15										2,72	0,25							
	2	90	10	15										2,76	0,26							
	3	85	15	12	7,75	0,67	0,71	1,23	1,39	1,79	61,03	5,30	22,54	2,85	0,25	54,03	3,40	11,16	0,62	2,25	0,78	16,75
	3	85	15	12	7,85	0,51	0,75	1,24	1,69	1,77	59,21	6,29	23,56	2,89	0,26	41,78	2,57	11,69	0,81	2,24	1,01	18,10
	3	85	15	12	7,91	0,53	0,70	1,37	1,64	2,40	60,63	5,50	22,89	2,73	0,26	37,17	3,02	15,13	0,88	2,91	1,10	16,95
	3	85	15	12										2,83	0,26							
	3	85	15	12										2,82	0,25							
	4	80	20	12	8,12	0,74	0,86	1,02	1,49	1,55	57,42	5,84	21,67	2,77	0,31	48,74	3,84	11,76	1,03	1,87	1,29	19,95
	4	80	20	12	7,81	0,78	1,12	1,29	1,28	1,47	57,93	5,92	20,97	2,93	0,30	42,46	1,99	6,32	0,71	0,97	0,89	18,17
	4	80	20	12	7,89	0,73	0,72	1,15	1,60	1,69	57,30	6,07	22,24	2,77	0,29	40,70	3,54	12,92	0,76	2,09	0,95	19,88
	4	80	20	12										2,72	0,32							
	4	80	20	12										2,88	0,30							
	5	75	25	7	8,15	0,76	0,51	0,85	1,04	1,44	57,09	5,67	22,71	2,61	0,31	34,72	1,77	7,72	0,37	1,30	0,46	20,53
	5	75	25	7	8,13	0,81	0,98	0,88	0,95	1,28	56,65	5,57	21,81	2,60	0,29	27,26	3,74	10,47	0,53	1,67	0,66	19,59

	5	75	25	7	8,16	0,72	0,86	1,23	1,15	1,00	57,92	5,57	22,11	2,60	0,28	30,50	3,67	11,82	0,72	2,13	0,90	19,17
	5	75	25	7										2,47	0,32							
	5	75	25	7										2,62	0,30							
	6	70	30	7	7,79	0,79	0,94	1,34	1,99	1,69	56,25	6,06	22,51	2,56	0,30	36,09	1,88	16,84	0,80	3,16	1,00	21,32
	6	70	30	7	7,68	0,85	0,96	1,18	1,63	1,70	55,62	6,06	21,96	2,48	0,30	35,89	3,48	12,54	0,65	2,45	0,81	20,67
	6	70	30	7	7,73	0,65	0,86	0,88	1,26	1,60	57,77	5,60	22,42	2,48	0,30	30,01	2,69	12,58	0,77	2,37	0,96	19,42
	6	70	30	7										2,55	0,32							
	6	70	30	7										2,63	0,32							
	7	65	35	7	7,84	0,76	1,03	1,24	1,83	1,82	56,04	5,50	22,17	2,60	0,33	48,54	2,75	11,22	0,58	2,12	0,73	21,36
	7	65	35	7	7,86	0,73	1,03	1,34	1,69	1,81	57,41	5,40	22,12	2,57	0,31	38,54	1,68	10,12	0,65	1,82	0,81	18,97
	7	65	35	7	7,84	0,73	1,07	1,18	1,53	1,62	56,01	5,43	21,93	2,50	0,34	37,27	1,54	12,94	0,77	2,38	0,96	20,90
	7	65	35	7										2,49	0,32							
	7	65	35	7										2,48	0,33							
PROM	T1	100	0	15	8,13	0,51	0,55	1,15	1,32	1,72	75,73	2,81	15,89	2,87	0,23	42,43	4,27	13,95	1,33	2,42	1,67	0,00
PROM	T2	90	10	15	8,24	0,57	0,65	1,45	1,86	2,24	63,57	5,16	23,08	2,86	0,24	43,54	3,58	12,04	1,10	2,30	1,37	14,35
PROM	T3	85	15	12	7,84	0,57	0,72	1,28	1,57	1,99	60,29	5,70	23,00	2,82	0,26	44,33	3,00	12,66	0,77	2,47	0,96	17,27
PROM	T4	80	20	12	7,94	0,75	0,90	1,15	1,46	1,57	57,55	5,94	21,63	2,81	0,31	43,97	3,12	10,33	0,83	1,64	1,04	19,33
PROM	T5	75	25	7	8,15	0,77	0,78	0,99	1,05	1,24	57,22	5,60	22,21	2,58	0,30	30,83	3,06	10,00	0,54	1,70	0,67	19,76
PROM	T6	70	30	7	7,73	0,76	0,92	1,13	1,63	1,67	56,55	5,91	22,30	2,54	0,31	34,00	2,68	13,99	0,74	2,66	0,92	20,47
PROM	T7	65	35	7	7,85	0,74	1,04	1,25	1,68	1,75	56,49	5,44	22,07	2,53	0,33	41,45	1,99	11,43	0,67	2,11	0,83	20,41
D. E.	T1	100	0	15	0,12	0,06	0,06	0,13	0,08	0,26	0,81	0,33	0,66	0,06	0,01	7,55	0,34	1,07	0,03	0,20	0,04	0,00
D. E.	T2	90	10	15	0,02	0,02	0,14	0,40	0,34	0,27	0,69	0,33	0,41	0,12	0,02	4,45	0,14	5,02	0,57	0,96	0,70	0,50
D. E.	T3	85	15	12	0,08	0,09	0,03	0,08	0,16	0,36	0,96	0,52	0,52	0,06	0,01	8,72	0,42	2,16	0,13	0,38	0,17	0,73
D. E.	T4	80	20	12	0,16	0,03	0,20	0,13	0,16	0,11	0,33	0,12	0,64	0,09	0,01	4,23	0,99	3,52	0,17	0,59	0,22	1,01
D. E.	T5	75	25	7	0,02	0,04	0,25	0,21	0,10	0,22	0,64	0,06	0,46	0,06	0,02	3,74	1,12	2,09	0,18	0,42	0,22	0,70
D. E.	T6	70	30	7	0,05	0,10	0,05	0,23	0,37	0,06	1,11	0,27	0,30	0,06	0,01	3,46	0,80	2,47	0,08	0,43	0,10	0,97
D. E.	T7	65	35	7	0,01	0,02	0,02	0,08	0,15	0,11	0,80	0,05	0,13	0,05	0,01	6,18	0,66	1,42	0,10	0,28	0,12	1,27
CV	T1	100	0	15	1,51%	12,54%	11,79%	11,24%	5,80%	15,18%	1,07%	11,81%	4,17%	2,00%	3,81%	17,79%	7,90%	7,67%	2,29%	8,39%	2,16%	0,00%
CV	T2	90	10	15	0,24%	2,90%	21,39%	27,44%	18,23%	12,06%	1,09%	6,32%	1,78%	4,03%	6,69%	10,22%	3,87%	41,73%	51,59%	41,69%	51,42%	3,50%



CV	T3	85	15	12	1,07%	14,98%	3,54%	6,07%	10,46%	18,00%	1,59%	9,19%	2,25%	2,17%	2,47%	19,67%	13,87%	17,03%	17,47%	15,57%	17,13%	4,22%
CV	T4	80	20	12	2,03%	3,54%	22,35%	11,68%	11,09%	6,87%	0,58%	1,96%	2,94%	3,08%	3,43%	9,61%	31,79%	34,10%	20,66%	36,11%	20,68%	5,21%
CV	T5	75	25	7	0,21%	5,65%	31,35%	21,59%	9,74%	17,86%	1,13%	1,03%	2,06%	2,44%	5,29%	12,12%	36,53%	20,89%	32,45%	24,46%	32,72%	3,53%
CV	T6	70	30	7	0,70%	13,31%	5,68%	20,37%	22,55%	3,45%	1,95%	4,50%	1,32%	2,48%	3,15%	10,16%	29,81%	17,67%	10,73%	16,35%	10,85%	4,72%
CV	T7	65	35	7	0,18%	2,70%	2,35%	6,63%	9,04%	6,48%	1,42%	0,94%	0,57%	2,09%	2,95%	14,90%	33,26%	12,44%	14,41%	13,30%	14,01%	6,21%

## **Anexo 2**

### *Pruebas y resultados del análisis estadístico*

Para las variables dependientes o de respuesta, se ha realizado el análisis de varianza (ANOVA) con pruebas de comparación múltiple HSD Tukey, a excepción de la variable diferencia de color  $E$ , por haber tomado un control (Tratamiento 1,  $E = 0$ ).

Un total de 11 de las 14 respuestas analizadas (78.6%) mostraron significancia estadística, es decir el nivel de significación de la prueba fue menor a 0.05. La dureza, máxima fuerza tensión y el esfuerzo no mostraron diferencias entre los tratamientos.

#### Parámetros de las pruebas estadísticas:

$H_0$ : No existe diferencia significativa entre los grupos comparados ( $\mu_1 = \mu_2 = \mu_3 = \dots = \mu_7$ )

$H_1$ : Existe diferencia significativa entre al menos dos grupos comparados ( $\mu_i \neq \mu_j$ )

Nivel de confiabilidad: 95%

Nivel de significancia: 0.05.

### Anexo 3

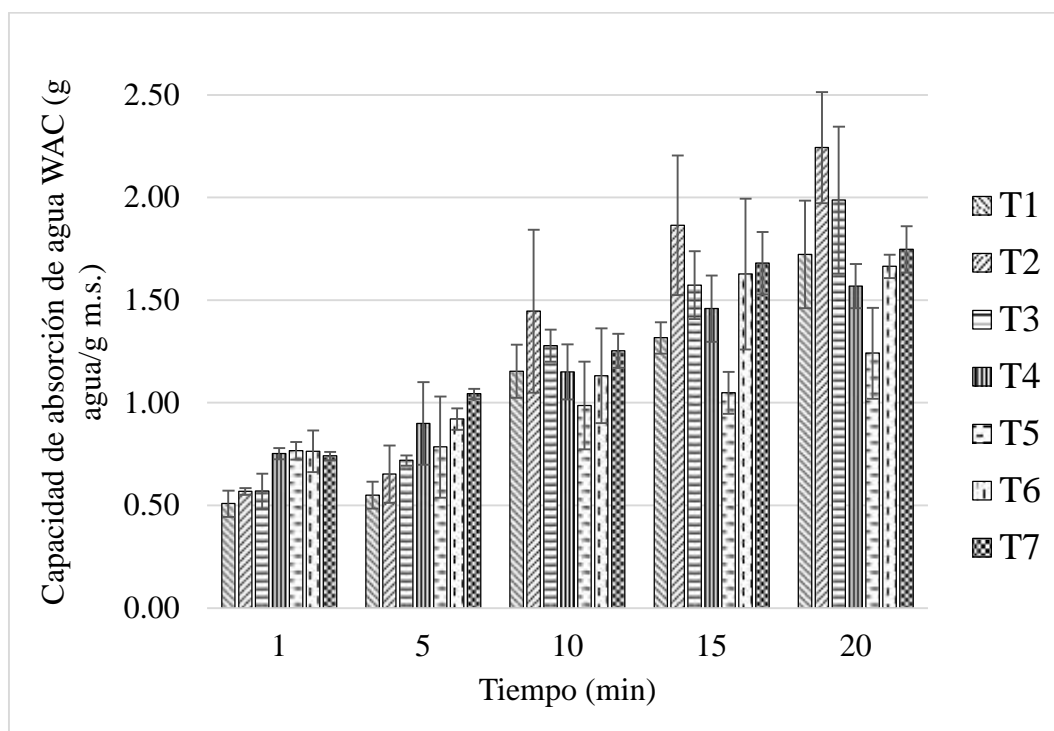
#### *Análisis de varianza para las variables dependientes*

<b>V. Dependientes</b>	<b>Grupos</b>	<b>SC</b>	<b>gl</b>	<b>CM</b>	<b>F</b>	<b>p</b>
<b>Humedad (%)</b>	Entre grupos	0,640	6	0,107	14,343	0,000
	Dentro de grupos	0,104	14	0,007		
	Total	0,744	20			
<b>Capacidad de absorción de agua (g agua/g m.s.)</b>	Entre grupos	1,794	6	0,299	6,039	0,003
	Dentro de grupos	0,693	14	0,050		
	Total	2,487	20			
<b>Dureza (N)</b>	Entre grupos	525,507	6	87,585	2,612	0,065
	Dentro de grupos	469,363	14	33,526		
	Total	994,870	20			
<b>Fracturabilidad (mm)</b>	Entre grupos	9,030	6	1,505	2,911	0,047
	Dentro de grupos	7,238	14	0,517		
	Total	16,268	20			
<b>Máxima fuerza de tensión (kg)</b>	Entre grupos	45,733	6	7,622	0,954	0,489
	Dentro de grupos	111,867	14	7,991		
	Total	157,600	20			
<b>Distancia máxima fuerza de tensión (mm)</b>	Entre grupos	1,328	6	0,221	3,734	0,020
	Dentro de grupos	0,830	14	0,059		
	Total	2,159	20			
<b>Esfuerzo (MPa)</b>	Entre grupos	2,727	6	0,454	1,671	0,201
	Dentro de grupos	3,807	14	0,272		
	Total	6,534	20			
<b>Elongación (%)</b>	Entre grupos	2,091	6	0,348	3,790	0,019
	Dentro de grupos	1,287	14	0,092		

	Total	3,378	20			
<b>E*</b>	Entre grupos	975,018	6	162,503	235,536	0,000
	Dentro de grupos	9,659	14	0,690		
	Total	984,677	20			
<b>Espesor (mm)</b>	Entre grupos	0,748	6	0,125	22,618	0,000
	Dentro de grupos	0,154	28	0,006		
	Total	0,902	34			
<b>Densidad (g/cm3)</b>	Entre grupos	0,046	6	0,008	57,823	0,000
	Dentro de grupos	0,004	28	0,000		
	Total	0,049	34			
<b>Luminosidad</b>	Entre grupos	871,653	6	145,275	228,863	0,000
	Dentro de grupos	8,887	14	0,635		
	Total	880,539	20			
<b>a verde-rojo</b>	Entre grupos	21,692	6	3,615	43,597	0,000
	Dentro de grupos	1,161	14	0,083		
	Total	22,853	20			
<b>b azul-amarillo</b>	Entre grupos	112,919	6	18,820	82,638	0,000
	Dentro de grupos	3,188	14	0,228		
	Total	116,107	20			

#### Anexo 4.

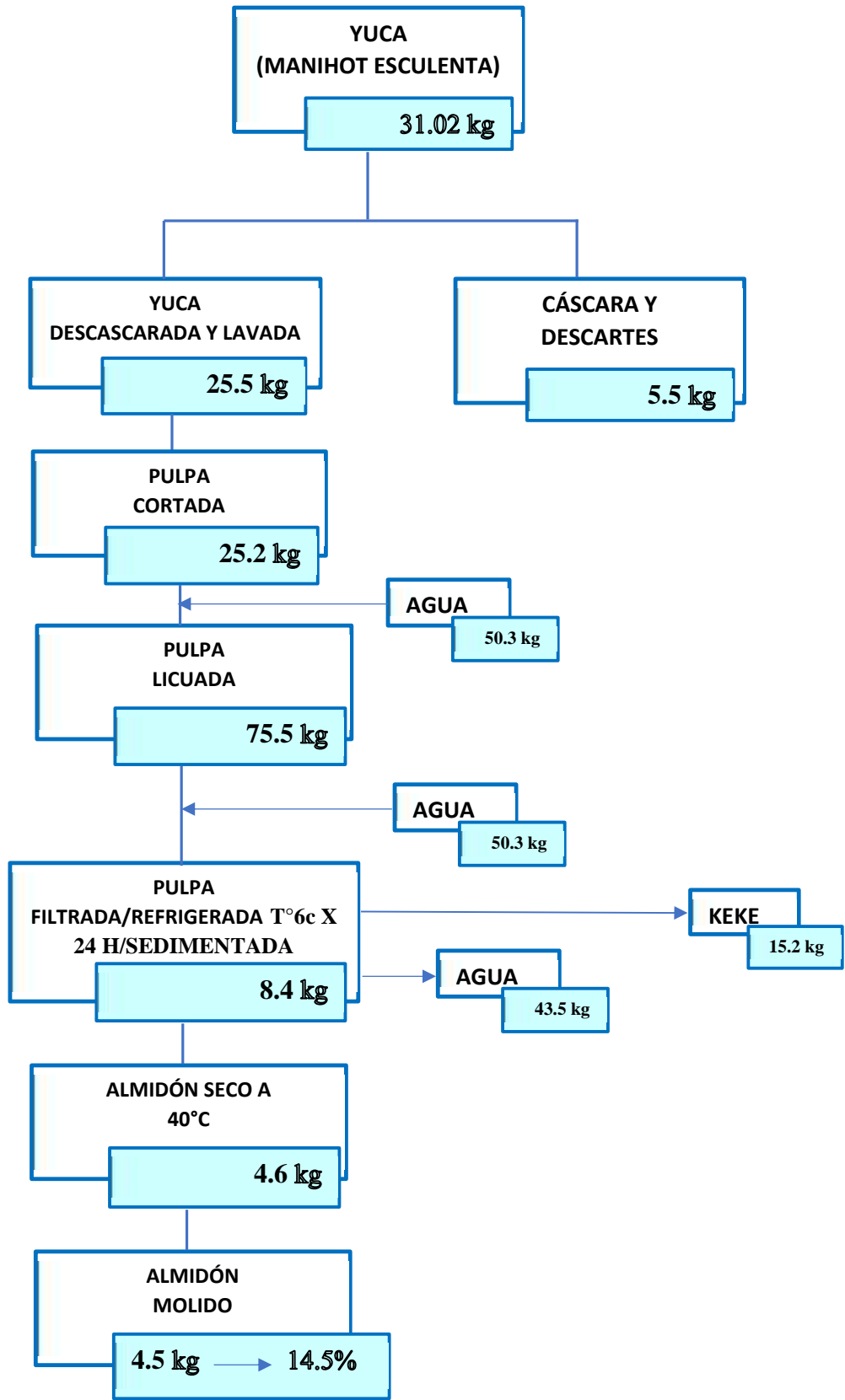
Gráfico de barras agrupadas para capacidad de absorción de agua



**Anexo 5: Balance de materia**

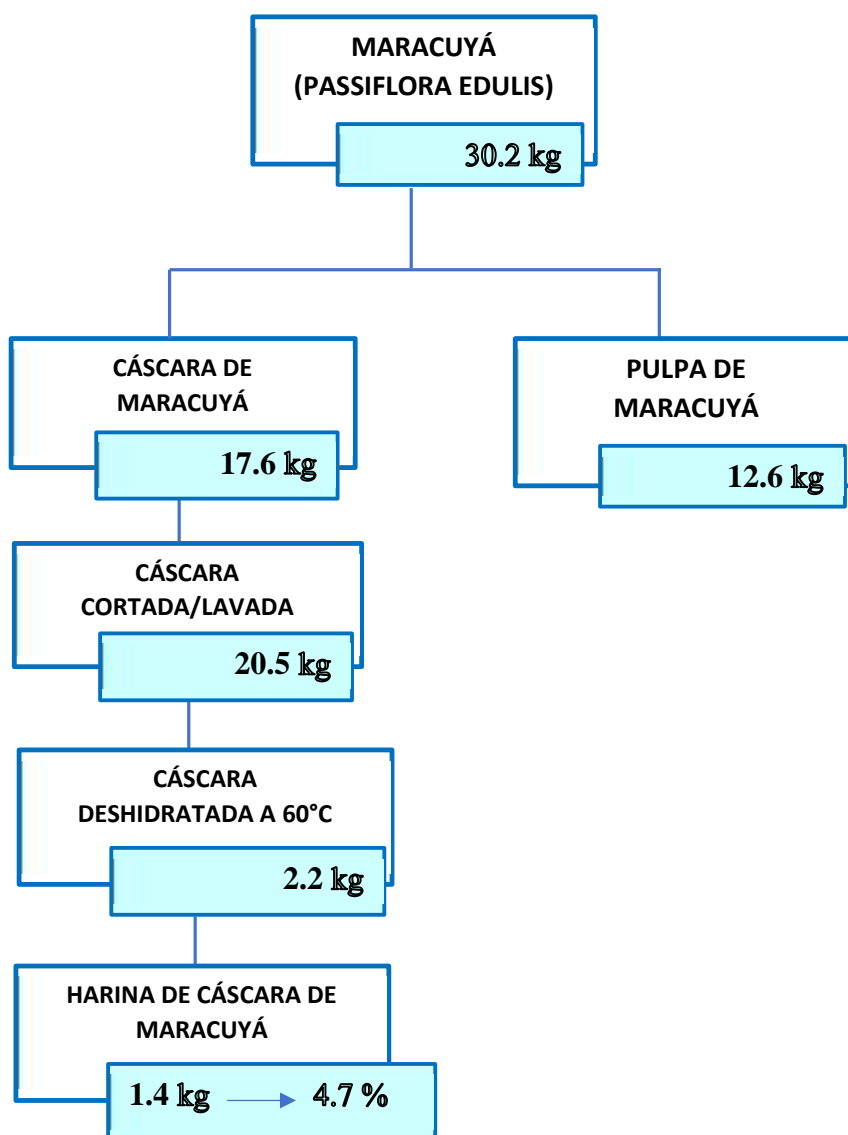
**Anexo 5.1**

*Balance de materia para la obtención de almidón de yuca*



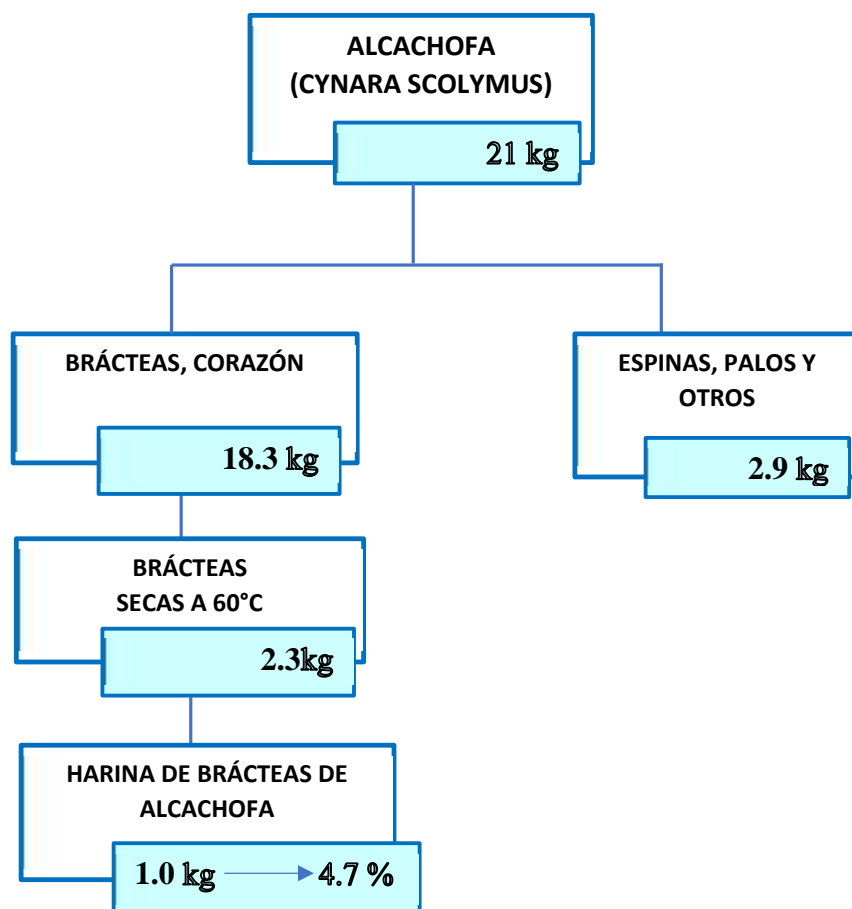
## Anexo 5.2

*Balance de materia para la obtención de fibra de cáscara de maracuyá*



### Anexo 5.3

*Balance de materia para la obtención de fibra de brácteas de alcachofa*





## Anexo 6: Acondicionamiento de materia prima (fotos)

### Anexo 6.1

#### *Elaboración de almidón de yuca*



## Anexo 6.2

### *Elaboración de harina de cáscara de maracuyá*





## Anexo 6.3

### *Elaboración de harina de brácteas de alcachofa*



## Anexo 7: Elaboración de bandejas biodegradables

### Anexo 7.1

#### *Elaboración de bandejas biodegradables*



## Anexo 7.2

### *Bandejas en sus diferentes tratamientos*

