

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



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

---

---

**Elaboración de bandejas biodegradables a partir de residuos  
de malta cervecera y de papa (*Solanum tuberosum*).**

---

---

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

**Autora:**

**Bach. Vásquez Bacilio, Evelyn Fabiola**  
**Código ORCID: 0009-0000-5223-0586**

**Asesora:**

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

**Nuevo Chimbote - PERÚ**  
**2026**



## CONSTANCIA DE ASESORAMIENTO

Yo, **Aguirre Vargas, Elza Berta**, mediante la presente doy constancia de mi asesoramiento de la tesis titulada: **“Elaboración de bandejas biodegradables a partir de residuos de malta cervecera y de papa (*Solanum tuberosum*)”**, que tiene como autor a la tesista **Evelyn Fabiola Vásquez Bacilio**, para obtener el grado de **Maestro en Ciencias en Gestión Ambiental**, en la Escuela de Posgrado de la Universidad Nacional del Santa.

Nuevo Chimbote, febrero del 2026

---

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



### **AVAL DE CONFORMIDAD DEL JURADO**

Tesis titulada: “Elaboración de bandejas biodegradables a partir de residuos de malta cervecera y de papa (*Solanum tuberosum*)”, elaborado por la tesista Evelyn Fabiola Vásquez Bacilio.

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

**Ms. Victor Eduardo Lecca Zavaleta**  
**Presidente**  
DNI: 42636735  
Código ORCID: 0000-0002-3759-8128

**Dr. William Esteward Castillo Martínez**  
**Secretaria**  
DNI:40169364  
Código ORCID:0000-0001-6917-1009

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



**UNS**  
ESCUELA DE  
POSGRADO

### ACTA DE EVALUACIÓN DE SUSTENTACIÓN DE TESIS

A los dos días del mes de diciembre del año 2024, siendo las 10:05 horas, en el aula P-02 de la Escuela de Posgrado de la Universidad Nacional del Santa, se reunieron los miembros del Jurado Evaluador, designados mediante Resolución Directoral N° 548-2024-EPG-UNS de fecha 30.10.2024, conformado por los docentes: Ms. Víctor Eduardo Lecca Zavaleta (Presidente), Dr. William Esteward Castillo Martínez (Secretario) y Dra. Elza Berta Aguirre Vargas (Vocal); con la finalidad de evaluar la tesis titulada "**ELABORACIÓN DE BANDEJAS BIODEGRADABLES A PARTIR DE RESIDUOS DE MALTA CERVECERA Y DE PAPA (*Solanum tuberosum*)**"; presentado por la tesista Evelyn Fabiola Vásquez Bacilio, egresada del programa de **Maestría en Gestión Ambiental**.

Sustentación autorizada mediante Resolución Directoral N° 614-2024-EPG-UNS de fecha 29 de noviembre de 2024.

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

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

Siendo las 11:09 horas del mismo día se da por finalizado el acto académico, firmando la presente acta en señal de conformidad.

  
Ms. Víctor Eduardo Lecca Zavaleta  
Presidente

  
Dr. William Esteward Castillo Martínez  
Secretario

  
Dra. Elza Berta Aguirre Vargas  
Vocal




## Recibo digital

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

La primera página de tus entregas se muestra abajo.

Autor de la entrega: Elza Aguirre  
Título del ejercicio: "ELABORACIÓN DE BANDEJAS BIODEGRADABLES A PARTIR DE ...  
Título de la entrega: TESIS MAESTRIA - EVELYN FABIOLA VÁSQUEZ BACILIO\_085249 ...  
Nombre del archivo: TESIS\_MAESTRIA\_-\_EVELYN\_FABIOLA\_VÁSQUEZ\_BACILIO\_0852...  
Tamaño del archivo: 95.63M  
Total páginas: 159  
Total de palabras: 27,941  
Total de caracteres: 160,128  
Fecha de entrega: 09-feb-2026 10:23a. m. (UTC-0500)  
Identificador de la entrega: 2874970656

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

 **UNS**  
ESCUELA DE  
POSGRADO

---

"ELABORACIÓN DE BANDEJAS BIODEGRADABLES A  
PARTIR DE RESIDUOS DE MALTA CERVECERA Y DE  
PAPA (*Solanum tuberosum*)".

---

Tesis para optar el Grado Académico de  
Maestro en Ciencias en Gestión Ambiental

Autor:  
EVELYN FABIOLA VÁSQUEZ BACILIO

Asesor:  
DRA. ELZA BERTA AGUIRRE VARGAS  
DNI N°: 19096335  
Código ORCID: 0000-0003-1659-9874

NUEVO CHIMBOTE – PERÚ  
2024

# TESIS MAESTRIA - EVELYN FABIOLA VÁSQUEZ BACILIO\_085249 (1) (1).docx

## INFORME DE ORIGINALIDAD

22%

INDICE DE SIMILITUD

22%

FUENTES DE INTERNET

4%

PUBLICACIONES

7%

TRABAJOS DEL  
ESTUDIANTE

## FUENTES PRIMARIAS

1

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

Fuente de Internet

6%

2

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

Fuente de Internet

2%

3

[core.ac.uk](https://core.ac.uk)

Fuente de Internet

1%

4

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

Fuente de Internet

1%

5

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

Fuente de Internet

1%

6

Submitted to Infile

Trabajo del estudiante

1%

7

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

Fuente de Internet

1%

8

[www.researchgate.net](https://www.researchgate.net)

Fuente de Internet

1%

[www.redunia.org](http://www.redunia.org)

## DEDICATORIA

Dedico este trabajo principalmente a mi Padre Celestial, Jehová, por concederme la Dadaiva de la vida, por brindarme sabiduría, entendimiento, inteligencia y discernimiento que me ha permitido llegar hasta este momento tan importante en mi formación profesional: ***“Pon en manos del Señor todas tus obras, y tus proyectos se cumplirán”*** (Proverbios 16:3)

A mi familia: ***A mi hijo Adrián, a mi madre Marilú, a mi Padre Vidal y mi mamita Gera porque son los pilares de mi vida, nunca me dejaron de amar y apoyar incondicionalmente a pesar de nuestras diferencias de opiniones.***

A mi asesora de Tesis: Su apoyo y orientación han sido invaluableles en el proceso de esta tesis. Su conocimiento, paciencia y compromiso han sido fundamentales para mi éxito académico.

Esta tesis es un testimonio de que Dios bendice a través de las personas y usted es una bendición en mi vida, porque supo guiarme de manera experta y amable. ***“El alma generosa será prosperada, y el que sacie a otros, también él será saciado”*** (Proverbios 11:25)

A los estudiantes quienes se encuentran en proceso de realización de su informe de tesis o diversos proyectos de vida, no pierdan el enfoque a pesar de las tempestades que se presenten en la vida: ***“luchen con determinación y coraje por sus sueños”***

## AGRADECIMIENTO

*¡Mi corazón está lleno de gratitud Oh Dios!* porque me has acompañado y guiado a lo largo de mi carrera profesional, en cada proyecto que he desempeñado de manera personal y académica haz estado ahí, eres mi Roca fuerte en tiempos de debilidad. Bendito seas Oh Jehová. *“Porque Jehová da la sabiduría, y de su boca vienen el conocimiento y el entendimiento”.* (Proverbios 2:6)

Gracias padres Marilú y Vidal por permitirme nacer, crecer en armonía, disfrutar de los gratos momentos que brinda la vida, por los valores inculcados, por el gran apoyo y dedicación constante durante mi recorrido académico, sus consejos han sido fundamental en la culminación de este informe de tesis. *¡Los amo!*

A mi hijo Adrián, por ser parte importante de mi vida y representar la unidad familiar. A mi mamita Gera por haberme apoyado en tiempos bueno y malos, sobre todo por su paciencia y amor incondicional.

Agradezco a la Dra. Elza Berta Aguirre Vargas, asesora, quien ha fungido como mi mentora y tutora académica. Su trayectoria, experiencia y dedicación han sido esencial para el éxito de esta tesis. Me ha proporcionado una guía perspicaz, una crítica constructiva y una dirección clara en todo momento.

A mis amigos y colegas: María de Fátima, Darwin, Luis y promoción, muchas gracias por su ayuda, devoción y duro trabajo. Fue muy apreciado que pudieran ayudarme a llevar a cabo las pruebas experimentales que dan credibilidad a esta tesis. Su genuina conexión conmigo es evidente en la esencial ayuda emocional y técnica que me proporcionaron durante las partes más difíciles de mi investigación. Esta nota de gratitud sirve tanto de reconocimiento de su aportación a esta tesis como el valor de amistad y cooperación durante la ejecución de la



investigación. Su apoyo ha contribuido en gran medida al progreso de los conocimientos en este campo.

A la Universidad Nacional José María Arguedas – Andahuaylas especialmente al Ingeniero Joel responsable del Laboratorio de Ingeniería Agroindustrial (Lia) quien nos ayudó en la realización de los análisis de Calorimetría de Barrido Diferencial (DSC) y Termogravimétrica (TGA).

Al CONCYTEC (Consejo Nacional de Ciencia, Tecnología e Innovación Tecnológica), a PROCENCIA (Programa Nacional de Investigación Científica y Estudios Avanzados), quienes a través del proyecto “Aplicación y análisis de automatización en el proceso de carbonatación de cerveza artesanal para el desarrollo de la calidad y seguridad alimentaria” financiaron el proyecto de Investigación titulado: "ELABORACIÓN DE BANDEJAS BIODEGRADABLES A PARTIR DE RESIDUOS DE MALTA CERVECERA Y DE PAPA (*Solanum tuberosum*)", mediante el CONTRATO N° PE501082263-2023-PROCENCIA, APROBADO CON RESOLUCIÓN N°428-2023-CU-R-UNS.

## ÍNDICE

CERTIFICACIÓN DEL ASESOR.....	ii
AVAL DEL DEL JURADO EVALUADOR.....	iii
DEDICATORIA .....	iv
AGRADECIMIENTO.....	
v RESUMEN .....	
xii ABSTRACT .....	
xiii	
<b>CAPÍTULO</b>	<b>I</b>
.....	1
INTRODUCCIÓN.....	1
1. DESCRIPCION DEL PROBLEMA .....	3
2. FORMULACIÓN DEL PROBLEMA DE INVESTIGACIÓN.....	7
3. OBJETIVOS- General.....	7
3.2. Objetivos Específicos.....	7
4. FORMULACIÓN DE LA HIPOTESIS.....	8
5. JUSTIFICACION E IMPORTANCIA.....	8
CAPÍTULO II.....	11
MARCO TEÓRICO.....	11
1. ANTECEDENTES.....	11
2. MARCO CONCEPTUAL .....	15
2.1. Características del plástico.....	15
2.2. Características de los bioplásticos .....	21
2.3. Uso de residuos agroindustriales en la fabricación de materiales .....	24
2.3.1. Residuos agroindustriales .....	24
2.3.2. Residuos de papa .....	26
2.3.3. Residuos de malta cervecera.....	34
2.4. Propiedades físicas y químicas de las bandejas biodegradables .....	37
CAPÍTULO III .....	40
METODOLOGÍA.....	40
1. ENFOQUE DE LA INVESTIGACIÓN.....	40
2. MÉTODO DE LA INVESTIGACIÓN .....	41

<b>3. DISEÑO DE INVESTIGACIÓN.....</b>	<b>41</b>
3.1. Modelo estadístico .....	42
3.2. Técnica de análisis de resultados - Análisis de Varianza (ANOVA) .....	43
<b>4. POBLACIÓN Y MUESTRA .....</b>	<b>43</b>
<b>5. OPERACIONALIZACIÓN DE LAS VARIABLES DE ESTUDIO.....</b>	<b>45</b>
5.1. Definición conceptual.....	45
5.2. Definición operacional .....	45
<b>6. TECNICA E INSTRUMENTO DE LA INVESTIGACIÓN .....</b>	<b>47</b>
6.1. Lugar de ejecución .....	47
6.2. Métodos de análisis.....	47
6.2.1. Caracterización de la materia prima .....	47
6.2.2. Determinación del almidón.....	48
6.2.3. Determinación de las propiedades físicas de las bandejas biodegradables.	48
6.2.4. Determinación de las propiedades mecánicas de las bandejas biodegradables .....	51
6.2.5. Determinación de las propiedades químicas de las bandejas biodegradables.....	51
6.3. PROCEDIMIENTO PARA LA RECOLECCION DE DATOS.....	54
6.3.1. Obtención de harina de bagazo de malta cervecera .....	54
6.3.2. Extracción de almidón de papa .....	56
6.3.3. Elaboración de las bandejas biodegradables .....	58
<b>CAPÍTULO IV.....</b>	<b>61</b>
<b>RESULTADOS Y DISCUSIÓN .....</b>	<b>61</b>
<b>1. CARACTERIZACIÓN DE LA MATERIA PRIMA .....</b>	<b>61</b>
1.1. Análisis proximal de harina de bagazo de malta cervecera y almidón de papa.	61
<b>2. ANÁLISIS FÍSICOS DE LAS BANDEJAS BIODEGRADABLES .....</b>	<b>64</b>
2.1. Análisis del color.....	64
2.2. Humedad .....	72
2.3. Espesor .....	73
2.4. Densidad.....	75
2.5. Capacidad de absorción de agua .....	77

<b>3. ANÁLISIS MECÁNICOS DE LAS BANDEJAS BIODEGRADABLES .....</b>	<b>79</b>
<b>3.1. Dureza .....</b>	<b>80</b>
<b>3.2. Fracturabilidad.....</b>	<b>82</b>
<b>3.3. Tensión .....</b>	<b>84</b>
<b>3.4. Elongación.....</b>	<b>85</b>
<b>4. ANÁLISIS QUÍMICOS DE LAS BANDEJAS BIODEGRADABLES .....</b>	<b>88</b>
<b>4.1. ANÁLISIS DE ESPECTROSCOPIA INFRARROJO CON TRANSFORMADA DE FOURIER (FTIR).....</b>	<b>88</b>
<b>4.2. ANÁLISIS TERMOGRAVIMÉTRICO (TGA).....</b>	<b>89</b>
<b>4.3. ANÁLISIS CALORIMETRICO DIFERENCIAL DE BARRIDO (DSC) .....</b>	<b>92</b>
<b>CAPÍTULO V .....</b>	<b>93</b>
<b>CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES .....</b>	<b>93</b>
<b>CAPÍTULO VI.....</b>	<b>95</b>
<b>REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS .....</b>	<b>95</b>
<b>ANEXOS .....</b>	<b>121</b>

## ÍNDICE DE TABLAS

<b>Tabla 1</b> Relación entre polímeros y productos derivados en la industria .....	18
<b>Tabla 2</b> Tiempo de descomposición de productos plásticos en el medio ambiente .....	19
<b>Tabla 3</b> Bioplásticos representativos y sus propiedades .....	223
<b>Tabla 4</b> Estimación de residuos alimenticios con respecto a la ubicación geográfica .....	25
<b>Tabla 5</b> Taxonomía de la papa.....	26
<b>Tabla 6</b> Composición nutricional en 100g de papa .....	28
<b>Tabla 7</b> Composición química del bagazo de la malta cervecera .....	286
<b>Tabla 8</b> Operacionalización de variables .....	46
<b>Tabla 9</b> Porcentajes de los diferentes tratamientos a base de almidón de papa y harina de bagazo de malta cervecera. ....	58
<b>Tabla 10</b> Parámetros de termoformado para cada tratamiento .....	59
<b>Tabla 11</b> Composición proximal de las materias primas en base seca .....	61
<b>Tabla 12</b> Valores de Amilosa y Amilopectina.....	63
<b>Tabla 13</b> Parámetros del color de los diferentes tratamientos de bandejas biodegradables .....	64
<b>Tabla 14</b> Análisis de Varianza (ANOVA) del Color de las Bandejas Biodegradables .....	66
<b>Tabla 15</b> Análisis de Varianza (ANOVA) para el Parámetro Luminosidad (L*) .....	668
<b>Tabla 16</b> Análisis de Varianza (ANOVA) para el Parámetro Cromasidad (a*).....	69
<b>Tabla 17</b> Análisis de Varianza (ANOVA) para el Parámetro Cromasidad (b*).....	71
<b>Tabla 18</b> Propiedades físicas de las bandejas, humedad, espesor, densidad y capacidad de absorción de agua. ....	71
<b>Tabla 19</b> Análisis de Varianza (ANOVA) del parámetro humedad .....	73
<b>Tabla 20</b> Análisis de Varianza (ANOVA) del parámetro Espesor .....	74
<b>Tabla 21</b> Análisis de Varianza (ANOVA) del parámetro densidad .....	76
<b>Tabla 22</b> Análisis de Varianza (ANOVA) del parámetro capacidad de absorción de agua .....	78
<b>Tabla 23</b> Valores de Dureza, Fracturabilidad, Tensión y Elongación. ....	79
<b>Tabla 24</b> Análisis de varianza (ANOVA) de las propiedades mecánicas de las bandejas biodegradables, dureza .....	81
<b>Tabla 25</b> Análisis de varianza (ANOVA)de las propiedades mecánicas de las bandejas biodegradables, fracturabilidad .....	83
<b>Tabla 26</b> Análisis de varianza (ANOVA)de las propiedades mecánicas de las bandejas biodegradables, tensión .....	855
<b>Tabla 27</b> Análisis de varianza (ANOVA)de las propiedades mecánicas de las bandejas biodegradables, elongación .....	87

## ÍNDICE DE FIGURAS

<b>Figura 1</b> Producción mundial de plástico y tendencias futuras .....	16
<b>Figura 2</b> Residuos plásticos en el océano .....	17
<b>Figura 3</b> Estructura química de Amilosa .....	¡Error! Marcador no definido.
<b>Figura 4</b> Estructura química de la Amilopectina .....	30
<b>Figura 5</b> Cambios de los gránulos de almidón durante el procesamiento hidrotérmico .....	331
<b>Figura 6</b> Diagrama de flujo de la obtención de harina de bagazo de malta .....	55
<b>Figura 7</b> Diagrama de flujo de la Extracción de Almidón de papa .....	555
<b>Figura 8</b> Diagrama de flujo de los procesos de elaboración de las Bandejas Biodegradables .....	60
<b>Figura 9</b> Gráfico de dispersión y medias del Color de las Bandejas Biodegradables .....	65
<b>Figura 10</b> Gráfico de dispersión y medias del parámetro luminosidad ( $L^*$ ) .....	67
<b>Figura 11</b> Gráfico de dispersión y medias del parámetro Cromasidad( $a^*$ ) .....	69
<b>Figura 12</b> Gráfico de dispersión y medias del Parámetro Cromasidad( $b^*$ ).....	70
<b>Figura 13</b> Gráfico de intervalos de la media de los tratamientos del parámetro humedad de las bandejas biodegradables .....	73
<b>Figura 14</b> Gráfico de intervalos de la media de los tratamientos del parámetro espesor de las bandejas biodegradable .....	75
<b>Figura 15</b> Gráfico de intervalos de la media de los tratamientos del parámetro densidad de las bandejas biodegradables .....	77
<b>Figura 16</b> Gráfico de intervalos de la media de los tratamientos del parámetro capacidad de absorción de agua de las Bandejas Biodegradable .....	78
<b>Figura 17</b> Gráfico de medias de la dureza de las Bandejas Biodegradables .....	81
<b>Figura 18</b> Gráfico de medias de la fracturabilidad de las Bandejas Biodegradables .....	83
<b>Figura 19</b> Gráfico de medias de la tensión de las bandejas biodegradables.....	85
<b>Figura 20</b> Gráfico de medias de la Elongación de las Bandejas Biodegradables.....	87
<b>Figura 21</b> Espectro de FTIR de la bandeja con 60% de Almidón y 40% de harina de bagazo de malta cervecera .....	88
<b>Figura 22</b> Termograma de la Bandeja Biodegradable Tratamiento T5 .....	89
<b>Figura 23</b> Análisis de la bandeja biodegradable.....	90
<b>Figura 24</b> Análisis de la bandeja biodegradable externa .....	90

<b>Figura 25</b> Análisis de la bandeja biodegradable interna.....	91
<b>Figura 26</b> Grafica del Análisis de Calorimetría Diferencial de Barrido (DSC) de la bandeja biodegradable T5 .....	92

## ÍNDICE DE ANEXOS

<b>Anexo 1.</b> Fórmula para la obtención del % Humedad (Quira, 2019).....	121
<b>Anexo 2.</b> Fórmula para la obtención del % Cenizas (Quira, 2019).....	121
<b>Anexo 3.</b> Fórmula para la obtención del % Grasas (Quira, 2019) .....	121
<b>Anexo 4.</b> Fórmula para la obtención de % Carbohidratos (Quira, 2019).....	121
<b>Anexo 5.</b> Parámetros de color superficial de las bandejas biodegradables: luminosidad ( $L^*$ ) y de cromaticidad $a^*$ (rojo-verde) y $b^*$ (amarillo-azul), .....	122
<b>Anexo 6.</b> Tratamientos con replicas para análisis de Dureza y Fracturabilidad .....	122
<b>Anexo 7.</b> Gráfico de la Dureza y Fracturabilidad .....	124
<b>Anexo 8.</b> Condiciones de la Prueba de Dureza y Fracturabilidad.....	124
<b>Anexo 9.</b> Tratamientos con replicas para análisis de Tensión y Elongación .....	125
<b>Anexo 10.</b> Gráfico de Tensión y Elongación .....	126
<b>Anexo 11.</b> Condiciones de la Prueba de Tensión y Elongación.....	126
<b>Anexo 12.</b> Equipo para la Prueba de Compresión (Dureza y Fracturabilidad) .....	127
<b>Anexo 13.</b> Equipo para la Prueba de Tracción (Tensión y Elongación) .....	127
<b>Anexo 14.</b> Espectro FTIR gráfico de ondas .....	128
<b>Anexo 15.</b> Resumen de termogramas (TGA) de la bandeja biodegradable T <sub>5</sub> .....	128
<b>Anexo 16.</b> Procedimientos para realizar pruebas experimentales en el analizador termogravimétrico (TGA) .....	128
<b>Anexo 17.</b> Procedimientos para realizar pruebas experimentales en el Calorímetro Diferencial de Barrido (DSC) .....	130
<b>Anexo 18.</b> Obtención de la Harina de Bagazo de Malta Cervejera .....	132
<b>Anexo 19.</b> Extracción del Almidón de Papa .....	134
<b>Anexo 20.</b> Elaboración de Bandejas Biodegradables.....	136
<b>Anexo 21.</b> Análisis de las propiedades físicas de las Materias Primas .....	139
<b>Anexo 22.</b> Análisis de las propiedades físicas de las Bandejas Biodegradables.....	142



## RESUMEN

Ante la creciente preocupación por el impacto ambiental de los productos desechables elaborados con polímeros derivados del petróleo, este estudio se enfocó en desarrollar bandejas biodegradables utilizando residuos de malta cervecera y de cosecha de papa. Los residuos de malta fueron transformados en harina de bagazo de malta cervecera (HBM) y los de papa en almidón de papa (AP). El objetivo fue evaluar las propiedades físicas y mecánicas de las bandejas obtenidas mediante cinco tratamientos de termoformado, con temperaturas de 150 °C (plato superior) y 145 °C (plato inferior) durante 5 minutos y 40 segundos. Para su evaluación, se aplicó un diseño completamente al azar (DCA) con tres repeticiones. Los resultados indicaron que una mayor concentración de HBM (0–40%) redujo la humedad de 4.056% a 3.139% y el espesor de 4.0 cm a 2.633 cm, mientras que la densidad aumentó de 0.1546 g/cm<sup>3</sup> a 0.278 g/cm<sup>3</sup> y la capacidad de absorción de agua pasó de 38.71% a 69.7%. En cuanto a las propiedades mecánicas, la fracturabilidad disminuyó de 3.683 mm a 2.687 mm, la dureza de 5.610 N a 2.867 N, la tensión de 2.9230 MPa a 0.8467 MPa y la elongación de 1.4233% a 0.5930%. Se realizaron análisis adicionales para profundizar en la caracterización del material. El análisis FTIR identificó posibles interacciones entre el AP y la HBM. El análisis termogravimétrico (TGA) mostró dos eventos térmicos: entre 20.96 °C y 172.89 °C, y entre 189.14 °C y 517.69 °C, con pérdidas de peso de 5.526% y 74.235%, respectivamente, dejando un residuo cenizo del 20.239%. El análisis de calorimetría de barrido diferencial (DSC) evidenció una transición vítrea a 152.88 °C y una fusión a 185.94 °C, con una entalpía de fusión de 74.110 J/g, confirmando la solidez estructural del material. En conclusión, todas las bandejas demostraron resistencia adecuada para su uso, destacando el tratamiento T5 (60% almidón; 40% HBM) por presentar las mejores propiedades físicas y mecánicas, lo que lo posiciona como una alternativa biodegradable viable frente a los productos desechables tradicionales.

**Palabras Clave:** Almidón de papa, bandejas biodegradables, residuos de malta, amilopectina, fibra.

## ABSTRACT

Amid growing concerns about the environmental impact of disposable products made from petroleum-derived polymers, this study focused on developing biodegradable trays using brewery spent grain residues and potato harvest waste. The brewery residues were converted into brewery spent grain flour (HBM), while the potato residues were used to extract potato starch (AP). The main objective was to evaluate the physical and mechanical properties of trays obtained through five thermoforming treatments, with specific parameters of 150 °C for the upper plate and 145 °C for the lower plate, for a duration of 5 minutes and 40 seconds. A completely randomized design (CRD) with three replications was applied for the evaluation. The results showed that higher concentrations of HBM (0–40%) reduced moisture content from 4.056% to 3.139% and thickness from 4.0 cm to 2.633 cm, while density increased from 0.1546 g/cm<sup>3</sup> to 0.278 g/cm<sup>3</sup>, and water absorption capacity rose from 38.71% to 69.7%. Regarding mechanical properties, fracturability decreased from 3.683 mm to 2.687 mm, hardness reduced from 5.610 N to 2.867 N, tensile strength dropped from 2.9230 MPa to 0.8467 MPa, and elongation decreased from 1.4233% to 0.5930%. Additional analyses were conducted to deepen the material characterization. Fourier-transform infrared spectroscopy (FTIR) identified possible interactions between AP and HBM. Thermogravimetric analysis (TGA) revealed two thermal events: the first between 20.96 °C and 172.89 °C, and the second between 189.14 °C and 517.69 °C, with weight losses of 5.526% and 74.235%, respectively, leaving an ash residue of 20.239%. Differential scanning calorimetry (DSC) showed two thermal events: a glass transition at 152.88 °C and fusion at 185.94 °C, with a fusion enthalpy (  $\Delta H_{\text{fusion}}$ ) of 74.110 J/g, confirming the material's solid structure. In conclusion, all trays demonstrated sufficient strength for practical use, with treatment T5 (60% starch; 40% HBM) standing out for exhibiting the best physical and mechanical properties, positioning it as a viable biodegradable alternative to traditional disposable products.

**Keywords:** Potato starch, biodegradable trays, malt residues, amylopectin, fiber.

# CAPÍTULO I

## INTRODUCCIÓN

El uso masivo de plásticos ha crecido exponencialmente en las últimas décadas, consolidándose como un material esencial en diversos sectores debido a su bajo costo, flexibilidad y facilidad de uso (Valero, 2013). Sin embargo, esta popularidad ha traído consigo graves consecuencias ambientales y para la salud pública. Los plásticos, en su mayoría derivados del petróleo, presentan moléculas resistentes al agua, al sol y a otros factores ambientales, lo que dificulta su degradación rápida. Esto los convierte en una de las principales fuentes de contaminación persistente en el medio ambiente (Samir *et al.*, 2021).

Una de las formas más preocupantes de contaminación plástica es la generación de microplásticos, pequeños fragmentos de menos de cinco milímetros que resultan de la erosión física y química de los plásticos más grandes. Aunque no existe una definición estandarizada, se acepta este tamaño como criterio general. Los microplásticos tienen impactos negativos directos e indirectos en los ecosistemas y los seres vivos. Pueden ser ingeridos por organismos marinos, acumulándose en la cadena alimenticia y afectando tanto a la biodiversidad como a la salud humana. Además, estos fragmentos actúan como vehículos para especies invasoras y adsorben contaminantes como BPCs, HAPs y DDT, incrementando su toxicidad debido a la presencia de plastificantes, aditivos y metales pesados en su composición (Bollaín *et al.*, 2020). La situación es crítica. Según la Organización de las Naciones Unidas (2019), 300 millones de toneladas de basura plástica se produce anualmente, siendo el 70% arrojada al medio ambiente. En los océanos, las concentraciones de microplásticos han aumentado significativamente, alcanzando valores de hasta 30 kg/km<sup>2</sup> en algunas áreas (Zhang *et al.*, 2021). Este problema ha llevado a diversas iniciativas regulatorias. En Perú, el Decreto Supremo N°006-2019-MINAM

y la Ley N°30884 establecen medidas para regular el uso de plásticos de un solo uso, buscando mitigar los riesgos que estos generan para el medio ambiente y la salud pública (MINAM, 2019). Además de los residuos plásticos, otro problema significativo es la generación de grandes volúmenes de residuos orgánicos provenientes de actividades industriales y agrícolas. En el sector cervecero, el bagazo de malta cervecera representa un subproducto altamente desaprovechado. De manera similar, en la agricultura, las papas rastrojo y las defectuosas desechadas por la industria del snack se acumulan en grandes cantidades. Estos residuos, a menudo quemados o eliminados en áreas baldías, contribuyen a la contaminación atmosférica y a la pérdida de recursos que podrían ser utilizados para la elaboración de productos sostenibles (Acevedo, 2021).

El impacto de estos residuos no se limita al medio ambiente. La falta de un manejo adecuado también implica problemas para las empresas agroindustriales, que enfrentan costos adicionales y dificultades en la gestión de desechos. Solo un pequeño porcentaje de estos residuos, aproximadamente un 5%, se destina a la alimentación animal, mientras que el resto es desechado de manera inapropiada (Acevedo, 2021).

La persistencia de los plásticos en el medio ambiente es otro aspecto alarmante. Estudios han demostrado que los plásticos sintéticos pueden tardar entre 100 y 500 años o más en degradarse completamente (Octavio *et al.*, 2017). En contraste, los materiales biodegradables, como aquellos desarrollados a partir de residuos orgánicos, tienen tiempos de degradación mucho menores, que oscilan entre seis meses y un año (Fedepapa, 2020). Esto los convierte en una alternativa viable y ambientalmente responsable para reemplazar los plásticos convencionales. La presente investigación aborda esta problemática mediante el desarrollo de bandejas biodegradables a partir de harina de bagazo de malta cervecera y almidón de papa rastrojo. Estas bandejas, diseñadas para degradarse rápidamente bajo condiciones de luz, agua y aire,

representan una solución innovadora y sostenible. Su fabricación no solo busca reducir la dependencia de los plásticos de un solo uso, sino también dar un valor agregado a los residuos orgánicos, promoviendo su reutilización en nuevos productos (Acevedo, 2021).

Este proyecto se fundamenta en la economía circular, un modelo que prioriza el aprovechamiento de los recursos y la reducción de desechos. Al transformar residuos orgánicos en materiales biodegradables, se alivia la presión sobre los ecosistemas y se fomenta un enfoque más sostenible en la gestión de residuos industriales y agrícolas. Además, se contribuye a la disminución de los efectos negativos asociados al uso de plásticos, como la liberación de dioxinas tóxicas y cancerígenas cuando estos se exponen a altas temperaturas (Del Rio, 2005).

## **1. DESCRIPCION DEL PROBLEMA**

La contaminación ambiental causada por residuos plásticos es una problemática global que afecta significativamente la salud de los ecosistemas terrestres y marinos. Este desafío ambiental, de carácter acumulativo y prolongado, ha adquirido proporciones alarmantes debido al aumento descontrolado de RP, que se han encontrado desde los polos hasta el ecuador, afectando tanto costas remotas como zonas urbanas densamente pobladas, así como las profundidades del océano (Barnes *et al.*, 2009).

Una de las manifestaciones más críticas de esta problemática se encuentra en los océanos. Ejemplo de ello es el fenómeno conocido como "la sopa de plástico" o "el parche de basura del norte", ubicado en el océano Pacífico entre Japón y California. Esta zona, caracterizada por la ausencia de vientos y corrientes, acumula grandes volúmenes de residuos, principalmente plásticos que se desintegran en microplásticos debido a la exposición a la radiación solar y las condiciones ambientales. Estos fragmentos, aunque imperceptibles a

simple vista, representan un grave riesgo para la biodiversidad marina, ya que pueden ser ingeridos por las especies y entrar en la cadena alimenticia (Téllez, 2012).

Cada año, aproximadamente 8 millones de toneladas de plástico terminan en los océanos (Parker, 2018), donde se concentran en densidades que oscilan entre 3 y 5 kg/km<sup>2</sup>, según diferentes estudios (Zhang *et al.*, 2021). Este fenómeno no solo tiene consecuencias ambientales, sino también económicas y sociales, al comprometer sectores como la pesca, el turismo y la salud pública. En Perú, investigaciones recientes han revelado concentraciones alarmantes de microplásticos en las playas de Camaná, Arequipa, donde Playa La Miel presenta una densidad de 1382 microplásticos/m<sup>2</sup>, seguida de Playa La Playuela con 599 microplásticos/m<sup>2</sup>. Estas cifras reflejan un problema creciente que exige acciones urgentes (Benavente, 2021).

En el ámbito urbano, la situación no es menos crítica. En la ciudad de Chimbote, se generan alrededor de 1000 toneladas de basura anuales, de las cuales el PET representa el 4,31%. En Trujillo, una de las ciudades más pobladas de Perú con 960 mil habitantes, se producen aproximadamente 72 mil toneladas de residuos sólidos al año, de las cuales un 12% corresponde a plásticos. Este aumento está directamente relacionado con el crecimiento poblacional y el consumo masivo de productos envasados en plásticos desechables, lo que subraya la urgencia de implementar soluciones sostenibles para gestionar los RP (Callirgos *et al.*, 2015; Quevedo, 2017).

El problema no solo se limita al descarte de residuos plásticos en áreas urbanas, sino que también abarca las prácticas industriales y agrícolas. El uso masivo de plásticos en el envasado de alimentos, cosméticos y productos de aseo ha contribuido significativamente a la proliferación de residuos plásticos. Las bandejas plásticas, por ejemplo, son ampliamente utilizadas debido a su bajo costo y funcionalidad, pero su naturaleza desechable genera

impactos ambientales graves al acumularse en ecosistemas terrestres y marinos tras un solo uso (PUCP, 2018).

En este contexto, los sectores agroindustrial y agrícola en Perú ofrecen una oportunidad única para abordar esta problemática mediante la reutilización de sus residuos orgánicos. Uno de los casos más relevantes es el de la industria cervecera, que genera aproximadamente 15 millones de kilos de residuos de malta (bagazo) cada año. Sin embargo, la mayor parte de estos residuos son desechados en terrenos baldíos, donde se descomponen de manera inapropiada, generando malos olores y liberando metano, un gas de efecto invernadero responsable del 30% del calentamiento global desde la era preindustrial (PNUD, 2021; ONU, 2021).

Por otro lado, el cultivo de papa, un producto clave en la economía peruana y en América Latina, produce aproximadamente 50 millones de toneladas de residuos anuales en el sector agrícola, principalmente debido a las papas no recolectadas que son quemadas junto con los rastrojos para preparar el terreno para la siguiente siembra. Este proceso no solo genera contaminación atmosférica, sino que también representa una pérdida de recursos que podrían ser reutilizados para fines productivos. En la industria alimentaria, los residuos de papa provenientes de la elaboración de compotas y snacks también son subutilizados, lo que resalta la necesidad de estrategias innovadoras para aprovechar este material (Acevedo, 2021).

Estudios recientes han demostrado que los almidones de papa y otros tubérculos poseen una notable habilidad de reticulación, lo que los hace adecuados para la fabricación de materiales biodegradables, como películas y bandejas. Estos materiales ofrecen propiedades físicas y mecánicas que pueden competir con los plásticos tradicionales, pero con la ventaja de ser biodegradables en menos de un año, lo que los convierte en una alternativa viable y sostenible para reducir la dependencia de los plásticos sintéticos (Gómez-Aldapa *et al.*, 2020).

El presente proyecto se enmarca en la búsqueda de soluciones sostenibles que contribuyan a mitigar la contaminación por residuos plásticos y aprovechen los recursos disponibles de manera eficiente. Proponemos la reutilización de residuos de malta cervecera y almidón de papa para la fabricación de bandejas biodegradables con propiedades físicas y mecánicas adecuadas para sustituir las bandejas plásticas tradicionales. Este enfoque tiene el potencial de generar múltiples beneficios, entre los que destacan:

- J Reducción del impacto ambiental: Las bandejas biodegradables producidas a partir de residuos orgánicos se degradan en menos de un año en condiciones naturales, evitando la acumulación de RP en ecosistemas terrestres y marinos.
- J Fomento de la economía circular: La transformación de residuos en productos de valor agregado no solo reduce los costos asociados a la disposición de desechos, sino que también crea nuevas oportunidades económicas para los sectores agrícola e industrial.
- J Contribución a la sostenibilidad industrial: La reutilización de residuos de malta cervecera y papa como materia prima para materiales biodegradables alivia la presión sobre las empresas en cuanto a la gestión de sus desechos, al tiempo que promueve prácticas sostenibles y responsables.
- J Impacto social y educativo: Este proyecto también tiene el potencial de concientizar a la población sobre la importancia de reducir, reutilizar y reciclar, promoviendo un cambio cultural hacia hábitos más sostenibles.

En conclusión, la contaminación por residuos maleables es un problema ambiental complejo que requiere soluciones integrales e innovadoras. La reutilización de residuos orgánicos del sector agrícola e industrial no solo aborda esta problemática, sino que también genera oportunidades para el desarrollo de materiales biodegradables que contribuyen al cuidado del



medio ambiente y fomentan la sostenibilidad económica y social. Este proyecto se posiciona como una respuesta efectiva a la necesidad de reemplazar los plásticos tradicionales, promoviendo un futuro más limpio y sostenible.

## **2. FORMULACIÓN DEL PROBLEMA DE INVESTIGACIÓN**

¿Qué porcentaje óptimo de almidón extraído del rastrojo de papa y de harina proveniente de residuos de malta cervecera permite mejorar las propiedades mecánicas y físicas de las bandejas biodegradables?

## **3. OBJETIVOS**

### **3.1. Objetivo General**

Determinar el porcentaje óptimo de almidón de rastrojo de papa y harina de residuos de malta cervecera que mejora las propiedades físicas y mecánicas de bandejas biodegradables.

### **3.2. Objetivos Específicos**

- Identificar la mejor combinación de harina de bagazo de malta cervecera (10%, 20%, 30%, 40%) y almidón de rastrojo de papa (100%, 90%, 80%, 70%, 60%) para la elaboración de bandejas biodegradables mediante la evaluación experimental de diferentes formulaciones.
- Analizar las propiedades físicas (capacidad de absorción de agua, espesor, densidad y humedad) y mecánicas (tensión, elongación, dureza y fracturabilidad) de las bandejas biodegradables producidas en los cinco tratamientos seleccionados.

- Examinar el comportamiento de la matriz del tratamiento óptimo mediante análisis avanzados, como termogravimetría (TGA), espectroscopia infrarroja con transformada de Fourier (FTIR) y calorimetría diferencial de barrido (DSC), para comprender su estabilidad térmica, estructura química y comportamiento térmico.

#### **4. FORMULACIÓN DE LA HIPOTESIS**

Implícita

#### **5. JUSTIFICACION E IMPORTANCIA**

La contaminación ambiental causada por los materiales plásticos es un desafío global que requiere soluciones urgentes y efectivas. Los plásticos sintéticos tardan hasta más de 100 años en degradarse, mientras que los materiales elaborados a partir de materias orgánicas tienen tiempos de descomposición significativamente más cortos. Por ejemplo, el cartón, que se produce a partir de fibras de celulosa, se degrada en aproximadamente un año, y los tejidos de algodón en tan solo 30 semanas (Red, 2020; Octavio & Denis, 2017). Este contraste resalta la necesidad de desarrollar alternativas biodegradables como respuesta a la gradual preocupación por el impacto ambiental de los polímeros sintéticos.

En el contexto agrícola y agroindustrial peruano, el cultivo de papa y la producción de cerveza generan grandes volúmenes de residuos, que representan una oportunidad para el desarrollo de materiales innovadores. El cultivo de papa, principal tubérculo sembrado y cosechado en América Latina, deja un 10% de papas no recolectadas durante la cosecha y genera rastrojos que suelen ser quemados para preparar el terreno para la siguiente siembra. Este método contribuye a la contaminación atmosférica y a la pérdida de materia prima con potencial para convertirse en insumos útiles (Agronet, 2022). Comparativamente, en países

como Colombia, estos residuos son aprovechados en procesos de compostaje, demostrando que su valorización es posible y beneficiosa (Agronet, 2022).

Por otra parte, la industria cervecera peruana produce aproximadamente 15 mil toneladas anuales de residuos de malta cervecera, de los cuales solo el 5% se utiliza como alimento para animales, mientras que el resto es desechado en terrenos baldíos, generando un impacto ambiental significativo (Acevedo, 2021; FAO, 2019). Este desperdicio representa una oportunidad desaprovechada para convertir estos subproductos en materiales con valor agregado, como bandejas biodegradables.

Desde una perspectiva ambiental, el aprovechamiento de residuos orgánicos agroindustriales y agrícolas no solo reduce la cantidad de desechos generados, sino que también contribuye al desarrollo de una economía circular, minimizando el impacto ambiental de las actividades humanas. Adicionalmente, al transformar estos residuos en bandejas biodegradables con características de rápida degradación (en un plazo no mayor a un año en condiciones de luz, agua y aire), se alivia la presión sobre los ecosistemas al reducir la acumulación de materiales no biodegradables en el medio ambiente.

A nivel industrial, la propuesta de este estudio también busca mitigar los costos asociados al manejo de residuos para las empresas agroindustriales y cerveceras. La conversión de desechos en materiales biodegradables disminuye los costos de disposición de residuos y reduce los problemas asociados a su acumulación, como la contaminación de terrenos y la ocupación de espacio útil.

Por último, este proyecto se alinea con las crecientes demandas del mercado global por productos sostenibles y amigables con el medio ambiente. Las bandejas biodegradables fabricadas a partir de residuos de papa y malta cervecera podrían posicionarse como una

solución innovadora y competitiva en la industria alimentaria, contribuyendo a la sostenibilidad ambiental, social y económica.

En este contexto, el presente proyecto no solo busca mitigar un problema ambiental urgente, sino también aprovechar de manera eficiente los recursos disponibles, promoviendo una transición hacia un desarrollo sostenible y responsable con el medio ambiente, particularmente en el territorio peruano.

## **CAPÍTULO II**

### **MARCO TEÓRICO**

#### **1. ANTECEDENTES**

Riera *et al.* (2018) reportaron avances del Centro de Sostenibilidad de Tecnologías Químicas (CSCT) de la Universidad de Bath, Reino Unido, en el desarrollo de nuevos monómeros elaborados a partir de azúcares naturales y dióxido de carbono (CO<sub>2</sub>). Estos monómeros se utilizan para sintetizar policarbonatos libres de bisfenol A (BPA), caracterizados por ser renovables, transparentes, resistentes al calor y capaces de degradarse nuevamente en CO<sub>2</sub> y azúcares mediante la acción de enzimas. Este material representa una alternativa sostenible como plástico de alto rendimiento con aplicaciones biomédicas. Actualmente, científicos e ingenieros del CSCT, en colaboración con la industria, continúan innovando en procesos para incorporar CO<sub>2</sub> en la creación de una nueva generación de plásticos renovables y sostenibles. Asimismo, en la Universidad de Otago, Nueva Zelanda, están desarrollando una envoltura flexible para alimentos a partir de subproductos del maíz y mariscos. Este bioplástico comestible, con principios activos, busca posicionarse como una alternativa viable a los plásticos petroquímicos convencionales, destacándose por su facilidad de compostaje y su enfoque en la sostenibilidad.

Castro *et al.* (2023) destacaron el alto potencial del bagazo como materia prima para la obtención de compuestos bioactivos, como proteínas y polisacáridos, que han sido aprovechados en el desarrollo de bioplásticos. En su investigación, evaluaron diferentes métodos de manufactura y consideraron factores como las temperaturas de producción. El estudio, enfocado en la estabilización y valorización del bagazo cervecero para la obtención de bioplásticos, concluyó que el bagazo contiene una elevada cantidad de agua libre que debe

ser eliminada para su estabilización. Aunque el tratamiento térmico parece ser una opción viable por su rapidez y bajo costo, no fue considerado el método más adecuado. En su lugar, el proceso de liofilización demostró ser más efectivo, permitiendo obtener un material de mayor calidad, con menor desnaturalización. En términos de su uso como materia prima para bioplásticos, todas las temperaturas evaluadas en el estudio permitieron la producción de bioplásticos completamente biodegradables. Estos materiales presentaron propiedades beneficiosas, especialmente en aplicaciones relacionadas con el almacenamiento y la liberación de agua, con gran potencial para ser utilizados en horticultura y agricultura.

Batuani (2015) informó que, en la Universidad Carlos III de Madrid, el Departamento de Ciencia, Ingeniería de Materiales e Ingeniería Química llevó a cabo un estudio en 2009 sobre la síntesis de un polímero termoplástico biodegradable a partir de almidón de papa. En este proyecto, se evaluaron cinco plastificantes diferentes, obteniéndose resultados variables según el tipo de plastificante utilizado, lo que permitió explorar el potencial del almidón de papa como base para materiales biodegradables. Asimismo, señaló que en la Universidad Particular de Loja, Ecuador, la Facultad de Ingeniería Química desarrolló en 2012 un biopolímero resistente, flexible y elástico con propiedades similares a las de los plásticos convencionales. Este material fue elaborado a partir de almidón extraído de la corteza de yuca, combinado con ácido acético, glicerina y agua. Tras diversos estudios y preparaciones, lograron obtener un plástico apto para moldear diferentes artículos, con una resistencia mejorada y características funcionales. Ambos casos reflejan el creciente interés en el desarrollo de materiales amigables con el medio ambiente, destacando los esfuerzos realizados a nivel de laboratorio con los equipos necesarios. Estas investigaciones evidencian el futuro prometedor de los biopolímeros en la vida cotidiana y su potencial para sustituir a los plásticos convencionales, contribuyendo a la sostenibilidad ambiental.

Morales (2018) destacó la viabilidad de producir biopolímeros a partir de residuos de la producción agrícola mediante un análisis basado en la matriz SWOT. Este enfoque permitió evaluar aspectos clave relacionados con la política, economía, sociedad, tecnología, ecología y legislación, ofreciendo una visión integral del potencial de estos materiales. El estudio concluyó que, a nivel político, los protocolos internacionales de gestión de plásticos brindan un marco favorable para la expansión de la industria de los biopolímeros a nivel nacional. En el ámbito económico, aunque el almidón es un insumo relativamente económico, lo que lo convierte en una opción viable para la producción de biopolímeros, la falta de información y la resistencia de la industria a adoptar este producto emergente representan desafíos significativos. Desde una perspectiva social, la comunidad mostró resistencia a la adopción de nuevas tecnologías, dado que los biopolímeros ofrecen características diferentes a las del polietileno convencional, reconocido por su resistencia y versatilidad. Sin embargo, en el ámbito tecnológico, se identificaron diversas empresas dedicadas a la elaboración de bioplásticos a partir de fécula de mandioca y papa, lo que abre oportunidades para establecer colaboraciones con organismos gubernamentales en el desarrollo de estos materiales. Ecológicamente, la producción de biopolímeros promete un impacto positivo significativo, contribuyendo a la sostenibilidad mediante la reducción de emisiones de gases de efecto invernadero, la limpieza de ríos, suelos y mares, así como la disminución del consumo energético. Legalmente, la iniciativa respalda la implementación de normativas como la Resolución 668 de 2016, que prohíbe la circulación de bolsas plásticas pequeñas y fomenta el uso de materiales más resistentes y sostenibles.

Rodriguez *et al.* (2020) realizaron un estudio utilizando ingredientes derivados del proceso de cocción al vapor de papas, cuya composición contenía un 77% de carbohidratos, 15% de fibra total, 7% de proteínas y 82% de humedad. En la fabricación de espuma biodegradable,

se empleó benzoato sódico para formar un gel, el cual fue calentado a 80 °C durante 40 minutos. Previo a este proceso, se realizaron pruebas para garantizar que la masa se estabilizara a temperatura ambiente. Posteriormente, se añadieron ingredientes como fibra de avena y goma xantana en proporciones del 10%, 15% y 20%, y la mezcla fue procesada a 24 °C durante cinco minutos antes de ser vaciada en moldes y horneada a 200 °C por 15 minutos. Las espumas resultantes fueron incubadas a 22 °C durante siete días para evaluar su biodegradabilidad y propiedades físicas mediante métodos como índice de absorción de agua, actividad acuosa, densidad, análisis mecánico, características de color, y pruebas de biodegradabilidad. Los resultados indicaron que la combinación con un 20% de fibra de avena y goma xantana fue la más eficiente, permitiendo la creación de espumas aptas para productos desechables, contenedores de alimentos secos y bandejas utilizadas en la transferencia de semillas para la agricultura.

Camacho *et al.* (2020) investigaron el uso del bagazo de malta como materia prima para biomateriales. Su estudio destacó los minerales presentes en el bagazo, como calcio, fósforo, magnesio y silicio, que demostraron ser compatibles con la naturaleza química del sistema óseo, posicionándolo como un material viable para revestimientos de implantes dentales, prótesis e injertos óseos. Además, la malta fue utilizada como material de soporte y relleno en espumas de poliuretano modificadas con caucho de neumático molido, evidenciando su versatilidad. Adicionalmente, el bagazo de malta se empleó en el desarrollo de bioplásticos como el polihidroxibutirato y en la síntesis de ácido poliláctico, además de ser utilizado en la fabricación de ladrillos, papel y tableros con mayor resistencia y porosidad. Estas investigaciones subrayan el potencial del bagazo de malta como un recurso multifuncional para aplicaciones innovadoras y sostenibles.



## **2. MARCO CONCEPTUAL**

### **2.1. Características del plástico**

Polímero simple están compuesto de pequeñas moléculas llamadas monómeros que se unen en un patrón repetitivo, tiene una gran resistencia a la corrosión, flexibilidad, durabilidad, peso ligero, transparencia y capacidad de adaptación (Buteler, 2019).

Andrady, (2011) señala que, ya sean de baja o alta densidad, el cloruro de polivinilo (PVC), el poliestireno (PS) el tereftalato de polietileno (PET) y polipropileno (PP) son solo algunos de los diversos tipos de plásticos que han surgido del aumento constante en la producción de plástico.

En los años 50, el plástico se destacó en los mercados, y comenzó a utilizarse en sustitución de otros productos más caros, como la madera o el vidrio para los embalajes, en adquiridos artículos como el acero utilizado en automóviles, madera en muebles, lana y algodón en prendas de vestir; a partir de los movimientos ambientalistas en la década de los 70 generaron la primera conciencia de los costos ambientales asociados al desarrollo económico. En los años 70 y 80, la reputación del plástico también se deterioró debido a la creencia de que el plástico no se degrada y a la inquietud por los residuos. Sin embargo, la industria petroquímica lanzó la idea del reciclaje y tranquilizó nuestras mentes recordándonos las “3R”: reducir, reutilizar y reciclar; consecuentemente el plástico permaneció entre la población bajo la frase “el plástico se recicla”; de esta forma, el plástico aún se considera un objeto maravilloso, incrementándose su uso; desde que empezó a comercializarse en el siglo pasado hasta la actualidad, se han producido 7,8 billones toneladas de plástico, lo que significa que actualmente hay una tonelada de plástico por cada persona en el planeta, en la actualidad, se está abordando, tomar conciencia y a comprender, de forma gradual, la problemática que tiene consigo.

(Buteler, 2019), a continuación se muestra en la figura 1, el incremento del plástico hasta los años 2050.

### Figura 1

*Producción mundial de plástico y tendencias futuras*



*Nota:* (Ryan, 2015)

La primera y principal dificultad, de la cual proceden todos los inconvenientes de los residuos plásticos, es que no son de materia biodegradable ya que son hechos a base de hidrocarburos, compuestos orgánicos formados por átomos de carbono e hidrógeno, la principal fuente de hidrocarburos para la fabricación de plásticos es el petróleo crudo (Vázquez, 2021).

Su composición incluye partículas como celulosa, cera y caucho, además de materiales sintéticos o naturales como poliestireno o nylon, resultantes de la utilización de resinas en polvo o esféricas (Ureta *et al.*, 2022). Con el paso del tiempo, estos plásticos

abandonados en la naturaleza se fragmentan en porciones más pequeñas, partículas de menos de 5mm, conforme pasa el tiempo haciéndose menos visible, por el accionar de la temperatura, los rayos ultravioletas, el viento, oxígeno y factores mecánicos (Ureta *et al.*, 2022), fragmentándose y convirtiéndose en micro y nano partículas plásticas (Buteler, 2019).

En la figura 2 se observa a los plásticos acumulados en los océanos, afectando a la fauna marina, por lo que el plástico con el pasar del tiempo se fragmenta en partes más pequeñas.

## **Figura 2**

*Contaminación por plásticos en los ecosistemas marinos.*



*Nota:* (Mundo, 2017)

(Ureta, 2022) menciona que “los plásticos son persistentes y fácilmente dispersables en los océanos del mundo, representa una amenaza para las especies marinas y contamina sus hábitats”, también menciona que en los océanos contienen alrededor de 50 billones de fragmentos de plástico. La mayor preocupación radica en que el plástico representa entre el 60 % y el 80 % de los residuos marinos, lo que supone un riesgo para los animales

acuáticos, ya que estos elementos interfieren en la cadena alimentaria, ya que los peces tienden a bioacumularlos en sus cuerpos”.

Buteler, (2019), menciona que la segunda dificultad en los plásticos se debe a que contienen bisfenol A (BPA) y los ftalatos, aunque también existen otras variedades que incluyen metales pesados como el plomo, los aditivos no se sujetan a la matriz del plástico, lo que les permite liberarse al ambiente y generar más aditivos a medida que este se fragmenta, al calentar un recipiente de plástico con agua a temperatura de 40°C, este elimina parte de sus aditivos en el agua, por esta razón no se debe calentar los alimentos en recipientes de plástico en hornos microondas; cabe mencionar que el ftalato ha sido prohibido en los Estados Unidos para uso en juguetes y productos para el cuidado de bebés, el uso de bisfenol A se encuentra prohibido en pañales y chupetes aunque todavía se utilizan en otras aplicaciones plásticas.

Según Geyer (2017), es posible producir plásticos a partir de la combinación de ciertos polímeros secundarios, como se muestra en la Tabla 1.

**Tabla 1**

*Relación entre polímeros y productos derivados en la industria*

<b>Polímeros</b>	<b>Productos</b>
Poliétileno de baja densidad	Redes, paquetes, anillos de seis paquetes, bolsas de plástico y pajitas
Poliétileno de alta densidad	Jarras de leche
Polipropileno	Redes, cuerda y tapas de botellas
Poliestireno	Envases de alimentos, utensilios de plástico
Poliestireno espumado	Vasos de espuma, cajas de cebo y flotadores

Nylon	Trampas y mallas
Poliéster termoplástico	Botellas de plástico (bebidas)
Poli (cloruro de vinilo)	Botellas, vasos y film plástico
Acetato de celulosa	Filtro de cigarrillos

*Nota:* (Andrady, 2011)

### **Plásticos más persistentes en el océano**

Ureta *et al.* (2022) desde el siglo XXI, la contaminación del mar ha ido en aumento ya que se han vuelto el punto de acopio de restos de plásticos y desperdicios, causando un impacto negativo en el medio ambiente, de forma directa al ecosistema acuático y su biodiversidad. La siguiente tabla 2 muestra los tiempos de descomposición de diferentes plásticos comunes:

**Tabla 2**

*Tiempo de descomposición de productos plásticos en el medio ambiente*

<b>Productos elaborados</b>	<b>Tiempo de descomposición</b>
Hilo de pesca	600 años
Botella	500 años
Cubiertos	400 años
Mechero	100 años
Vaso	65-75 años
Bolsa	55 años
Suela de zapato	10-20años
Colilla	1-5 años
Globo	6 meses

*Nota:* (Ureta *et al.*,2022)

### **Microplásticos y nanoplásticos**

Cuando los plásticos llegan a las aguas pueden partirse en fragmentos más pequeños: mesoplásticos (tamaño entre 5–25 mm), microplásticos (1–5 mm), minimicroplásticos (1 mm -1  $\mu\text{m}$ ) y/o nanoplásticos (tamaño < 1  $\mu\text{m}$ ). Dicha fragmentación es el resultado de la acción de los procesos termooxidativos, fotooxidativos, biológicos, de oxidación atmosférica y de degradación hidrolítica (Parda, 2020), estos se encuentran en mariscos, incluidos pescados, crustáceos, moluscos y harina de pescado. En menor medida, se encuentra en otros alimentos, como la cerveza, la miel y la sal de mesa, los continentes del planeta se ven afectados negativamente por los altos niveles de contaminación marina y la formación de enormes islas de plástico en el océano (Ureta *et al.*,2022).

### **Microplásticos primarios**

Hoy en día, se producen polímeros de tamaño microscópico, similares a los microplásticos, para su uso en cosméticos y limpiadores faciales. Los microplásticos primarios son partículas cuyo tamaño varía entre 2 y 5 mm. (Ureta *et al.*,2022).

### **Microplásticos secundarios**

Son elementos resultantes de la descomposición de plásticos más grandes en fragmentos más pequeños que el original, de numerosos procesos que causan fragmentación , reduciendo la estructura de los residuos plásticos primarios (Ureta *et al.*,2022).

## **2.2. Características de los bioplásticos**

Los plásticos biobasados (procedente de la biomasa renovables), biodegradables, o que poseen ambas características, están definidos como bioplásticos por la Organización Europea de Bioplásticos (Vázquez, 2021).

### **Tipos de alternativa a los plásticos tradicionales**

- Acero inoxidable. Resistentes y fáciles de limpiar, las opciones de acero inoxidable para el almacenamiento reutilizable de alimentos y bebidas se han multiplicado en los últimos años. Puede reemplazar vasos de un solo uso, artículos de almacenamiento de cocina, loncheras y más con este metal duradero.
- Frascos de vidrio. No es biodegradable, es inerte, económico e infinitamente reciclable. Y dado que muchos alimentos vienen envasados en vidrio, reciclar frascos de vidrio para almacenar alimentos es una forma gratuita de darle una nueva vida a los envases de alimentos. Los frascos de mermelada, miel, encurtidos, mantequillas de frutos secos y mucho más se pueden agregar a su kit de herramientas sin desperdicios para comprar en los contenedores a granel. También se pueden reutilizar para almacenar sobras y bebidas caseras, o decorar y convertir en regalos caseros.
- Silicona platino. Fabricada principalmente con arena, la silicona de platino apta para uso alimentario es flexible y duradera. También es resistente al calor, por lo que puede hervir, hornear y cocinar en estos productos sin peligro de desnaturalización. Busque productos de silicona sin rellenos plásticos.
- Tela recubierta de cera de abejas. La tela recubierta de cera de abejas se utiliza principalmente como reemplazo de envoltorios y bolsas de plástico; es fácil de usar y de limpiar tiene un olor agradable

- Tela de fibra natural. Pueden reemplazar las bolsas de plástico. La ropa sostenible hecha de algodón orgánico, lana, cáñamo o bambú no desprende fibras de plástico al lavarse. La lana afieltrada o reciclada es un material versátil, seguro y compostable para juguetes de niños, contenedores domésticos y más.
- Madera. Procedente de bosques gestionados de forma sostenible es un recurso renovable que puede sustituir al plástico en artículos domésticos como cepillos de limpieza, utensilios de cocina y tablas de cortar.
- Bambú. Este recurso renovable de rápido crecimiento puede reemplazar al plástico en artículos como vajillas y pajitas para beber. Es liviano, duradero y compostable.
- Cerámica y otras cerámicas. Ofrecen una alternativa estable e impermeable que resulta ideal para almacenar alimentos y para la vajilla. Busque esmaltes no tóxicos.
- Papel. En el pasado, muchas cosas se envasaban en papel normal. Y, aunque es mejor que el plástico, el papel no se puede reciclar infinitamente porque, cada vez que se reutiliza, las fibras se acortan, lo que limita su uso. Afortunadamente, todo el papel, excepto el brillante, se puede colocar en el compost casero sin problemas.
- Cartulina. Empresas envasan actualmente sus productos en cartón normal para reducir los residuos. También puedes utilizar cajas de cartón para sustituir los contenedores de almacenamiento de tu casa.

Estas alternativas resultan beneficiosas para el medio ambiente usándose una y otra vez, ya que todo lo que se compra deja huella ambiental (Cogersa, 2019)

El bioplástico ha surgido como un remedio potencial para minorizar el daño ambiental causado por plásticos convencionales, se utilizan en jarrones y artículos de corta duración, mientras que su uso ha aumentado en la industria farmacéutica, la fabricación de juguetes, la electrónica, la fabricación de herramientas y la fabricación de piezas de automóviles,



señalando que los bioplásticos tuvieron un gran avance en el mercado en 2010, el sector experimenta un crecimiento vigoroso, con tasas anuales del 30% y se espera que tanto la producción como el consumo sigan aumentando, particularmente en el área de los materiales biobasados – no biodegradables usados en amplias aplicaciones, ya que esta situación posibilitaría, mediante economías de escala, reducir gastos y aumentar la competitividad en el mercado (Vázquez, 2021), en la tabla 3 se muestra las propiedades de bioplásticos biobasados y biodegradables.

**Tabla 3**

*Bioplásticos representativos y sus propiedades*

Bioplásticos	Biobasados	Biodegradable	Propiedades	Observación
Ácido poliláctico (PLA)	✓	✓	<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Similares a las del PET, aunque con menor resistencia a la temperatura</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Generalmente se fabrica a partir de maíz</li> <li>▪ Uno de los bioplásticos que incremento su uso</li> </ul>
Bio-polietileno (BIO-PE)	✓	✗	<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Idénticas a las del polietileno convencional</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Generalmente se fabrica a partir de la caña de azúcar, con bioetanol como producto intermedio</li> </ul>

<div> <div>Policaprolactonas</div> <div>(PCL)</div> </div>	✗	✓	<div> <div>▪ Resistencia a</div> <div>aceites, agua,</div> <div>cloros y</div> <div>solventes</div> </div>	<div> <div>▪ Se emplea en la</div> <div>fabricación de</div> <div>poliuretanos</div> </div>
			<div> <div>▪ Dependientes</div> <div>del polímero</div> <div>especifico</div> </div>	<div> <div>▪ Se extraen de las</div> <div>células de plantas y</div> <div>microorganismos</div> </div>
<div> <div>Polihidroxiclcanoatos</div> <div>(PHA)</div> </div>	✓	✓	<div> <div>▪ Muy sensibles a</div> <div>las condiciones</div> <div>de</div> <div>procesamiento</div> </div>	<div> <div>▪ Su costo es hasta</div> <div>diez veces mayor al</div> <div>de los plásticos</div> <div>convencionales</div> </div>

*Nota:* El plástico biodegradable se fabrica a partir de recursos renovables o de combustibles fósiles, mientras que los plásticos biobasados requieren etapas de procesamiento químico previo a su utilización. El proceso mediante el cual las sustancias son modificadas por microorganismos o las enzimas que estos organismos producen se conoce como biodegradación. (Vázquez, 2021)

## 2.3. Uso de residuos agroindustriales en la fabricación de materiales

### 2.3.1. Residuos agroindustriales

Los residuos agroalimentarios están compuestos por complejos de polisacáridos, compuestos polifenólicos, proteínas, lípidos (vegetales y aceites) y carbohidratos (almidón, azúcar de caña) (Morales & Arrieta, 2023). La gran parte de los residuos agroindustriales se compone de tres polímeros esenciales, tales como celulosa (40% - 60%), hemicelulosa (20% - 40%) y lignina (10% - 24%), llamados también materiales lignocelulosicos, los cuales pueden variar en función del tipo de planta, edad, condiciones climáticas y cultivo. (Khatiwada *et al.*, 2021). Estas tres fracciones se encuentran estrechamente vinculadas,

conformando el complejo celular de la biomasa vegetal, y formando una estructura compleja que actúa como barrera protectora contra la destrucción celular por parte de bacterias y hongos. La celulosa, en esencia, forma un esqueleto que está compuesto por hemicelulosa y lignina. (Jurado, 2018)

Diversos alimentos son utilizados y procesados industrialmente por su rico valor nutricional, originándose así, grandes volúmenes de residuos de manera día en diferentes partes del mundo como se observa en la tabla 4.

**Tabla 4**

*Estimación de residuos alimenticios con respecto a la ubicación geográfica*

<b>Cadena de alimentos</b>	<b>Volumen disponible (toneladas / año)</b>	<b>Región</b>
<b>Orujo de oliva</b>	2881500	En todo el mundo
<b>Residuo del aceite vegetal</b>	50000-100000	Reino Unido
<b>Orujo de tomate</b>	4000000	Europa
<b>Pajuela/rastrojos de trigo</b>	57000	USA
<b>Bagazo de malta de cebada</b>	<b>30000</b>	<b>En todo el mundo</b>
<b>Cáscara de papa</b>	<b>70-140</b>	<b>En todo el mundo</b>
<b>Bagazo de caña de azúcar</b>	0,6	Brasil
<b>Orujo de uva</b>	700	France
<b>Orujo de manzana</b>	3000000-4200000	En todo el mundo
<b>Cascarilla de arroz</b>	120000	En todo el mundo
<b>Cáscara de naranja</b>	700	USA
<b>Residuo del cereal</b>	40000-45000	Europa

*Nota:* ( Jurado, 2018)

### 2.3.2. Residuos de papa

**La papa.** También conocida como patata (*Solanum tuberosum*) pertenece a la familia de las Solanáceas, incluye a la papa como especie herbácea. (Natividad *et al.*, 2022), en la tabla 5 se detalla sus categorías.

**Tabla 5**

*Taxonomía de la papa*

Categorías de la papa	
<b>Reyno</b>	<i>Plantae</i>
<b>División</b>	<i>Magnoliophita</i>
<b>Clase</b>	<i>Magnoliopsida</i>
<b>Sub clase</b>	<i>Asteridae</i>
<b>Orden</b>	<i>Solanales</i>
<b>Familia</b>	<i>Solanáceas</i>
<b>Genero</b>	<i>Solanum</i>
<b>Sub genero</b>	<i>Pachistemonum (5 secciones)</i>
<b>Sección</b>	<i>Petota (antes tuberarium) con 2 sub secciones</i>

*Nota:* (Galvez, 2023)

La papa se considera uno de los tubérculos más consumidos a nivel mundial. Su fuerte demanda ha impulsado la industrialización de diversos productos, como papas fritas, papas congeladas, puré de papas y chips, entre otros, impulsando la economía mediante el crecimiento de sectores relacionados (Jimenez *et al.*, 2023). En la papa se encuentran fuentes importantes de carbohidratos, fibra, vitaminas C y B proteínas, hidratos de carbono, minerales como el magnesio potasio y el fósforo, así como sustancias con propiedades

antioxidantes de naturaleza fenólica que respaldan su calidad funcional (Hu *et al.*, 2024). Las papas nativas, abundantes en Perú, tienen la beneficiosa característica de prevenir patologías degenerativas debido a su capacidad antioxidante. En 2019, se produjeron 400, 81 mil toneladas de papa. (Natividad *et al.*, 2022). Se estima una producción anual de 368 millones de toneladas , de las cuales aproximadamente 150 millones se procesan para obtener diversos productos, lo que genera aproximadamente 50 millones de toneladas de residuos anuales , incluyendo cáscaras, patatas incompletas o troceadas , almidón residual y otros subproductos. El problema radica en la mala gestión de estos subproductos , lo que provoca contaminación ambiental , agotamiento de los recursos naturales y pérdidas económicas para las empresas (FAO, 2018). En Perú se produce más de 6 millones de toneladas al año, de las cuales se procesan aproximadamente 3,7 millones de toneladas , incluyendo papas nativas . El procesamiento implica la creación de papas fritas , puré de papas, snacks, entre otros productos, todos los cuales producen una cantidad significativa de desechos (Midagri, 2018).

Actualmente se están realizando estudios sobre subproductos de la papa, convirtiéndola en harina y realizando extracción del almidón . Esto incluye el desarrollo de nuevos productos alimenticios , películas comestibles y la extracción de compuestos bioactivos , entre otras aplicaciones industriales (Gaudino *et al.*, 2020).

El almidón es una materia prima que tiene muchas aplicaciones, desde la fabricación de productos novedosos con buenas características en la alimentación hasta la producción de empaques biodegradables, adhesivos y papel, en la industria alimentaria, el almidón es el ingrediente espesante, estabilizante y gelificante, por lo que es necesario investigar nuevas fuentes de extracción. Por lo tanto, el almidón contiene partículas grandes y fisuradas, brillo

evidente, inodoro y debido a los beneficios que ofrece, este almidón puede ser utilizado para influir en las propiedades físicas de diversos alimentos y productos. (Vera *et al*, 2020)

**Composición de la papa.** Según Martel (2023), afirma que los siguientes componentes pueden encontrarse en 100 gramos de papa, como se muestra en la tabla 6.

**Tabla 6**

*Composición nutricional de 100g de papa*

100 gramos de papa		
Componentes	Unidades	Composición
<b>Energía</b>	Kcal	96 a 123
<b>Humedad</b>	gr.	78
<b>Almidón</b>	gr.	16 a 20
<b>Proteína</b>	gr.	1.76 a 2.95
<b>Potasio</b>	mg.	150 a 1386
<b>Fósforo</b>	mg.	42 a 120
<b>Vitamina C</b>	mg.	7.8 a 20.6

*Nota.* Análisis proximal de la papa. (Martel, 2023); Composición fisicoquímica de papa y almidón depende de la variedad cultivada, la región geográfica, las prácticas de fertilización y la etapa de desarrollo del ciclo de crecimiento de la planta (Vera *et al*, 2020)

**Cáscara.** En las empresas industriales que solo producen trabajan la pulpa de papa, la cáscara es desvalorada, sin tener en cuenta que posee un alto contenido de almidón, gran viscosidad y textura. (Cieza *et al.*, 2018).

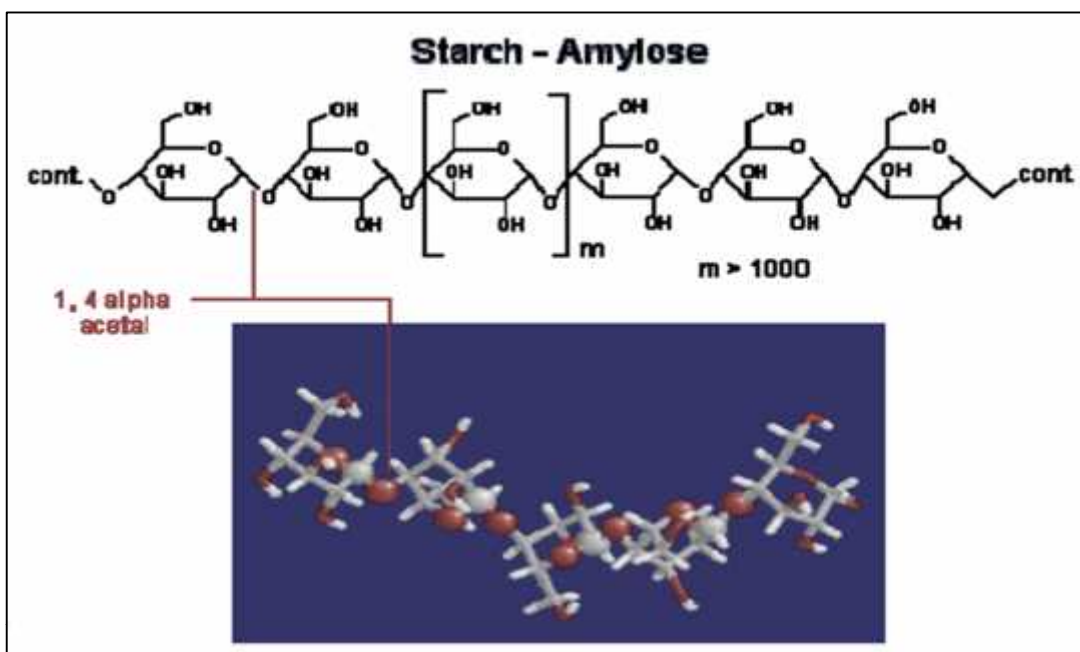
**Características del Almidón.** Formado por macromoléculas con estructuras poliméricas, el 20% de los almidones está representado por la amilosa y el 80% por la amilopectina, esta última la que provoca la cristalización de los almidones, dado que la resistencia mecánica y la flexibilidad del almidón son distintas de la región cristalina (la proporción entre amilosa y amilopectina), estas también se ven influidas por el tipo de planta (Barreiro et al., 2021).

**Amilosa.** Polímero de cadena lineal, en el cual las unidades de anhidro glucosas se encuentran presentes y unidas en mayor parte por enlaces glucosídicos (1-4) y un leve grado de ramificación en enlaces (1-6), como se muestra en la figura 4, el peso de la molécula es aproximadamente de  $10^5$  a  $10^6$  g/mol; la amilosa dispone de una estructura helicoidal, en el interior de la hélice, se encuentran átomos de hidrógeno, mientras que los grupos hidroxilos permanecen en átomos de hidrógeno en el exterior de la hélice otorga una característica hidrófoba a la amilosa y le brinda la oportunidad de elaborar complejos con ácidos grasos libres, con componentes glicéridos de ácidos grasos, yodo y algunos alcoholes. (León *et al.*, 2020). Los grupos hidroxilo de los polímeros lineales se agrupan a través de enlaces de hidrógeno con polímeros adyacentes, lo que reduce su hidrofiliidad y permite la formación de películas resilientes debido a su configuración estructural (Ponce *et al.*, 2023).

Los almidones que poseen un elevado contenido de amilosa (25-30%), generan redes tridimensionales y pueden gelificar, mientras que los almidones con un contenido bajo (15-20%) se espesan sin gelificar, debido a que las moléculas de amilopectina no forma enlaces entre sí (Jordibordas, 2022). (figura 3)

**Figura 3**

*Estructura química de amilosa*

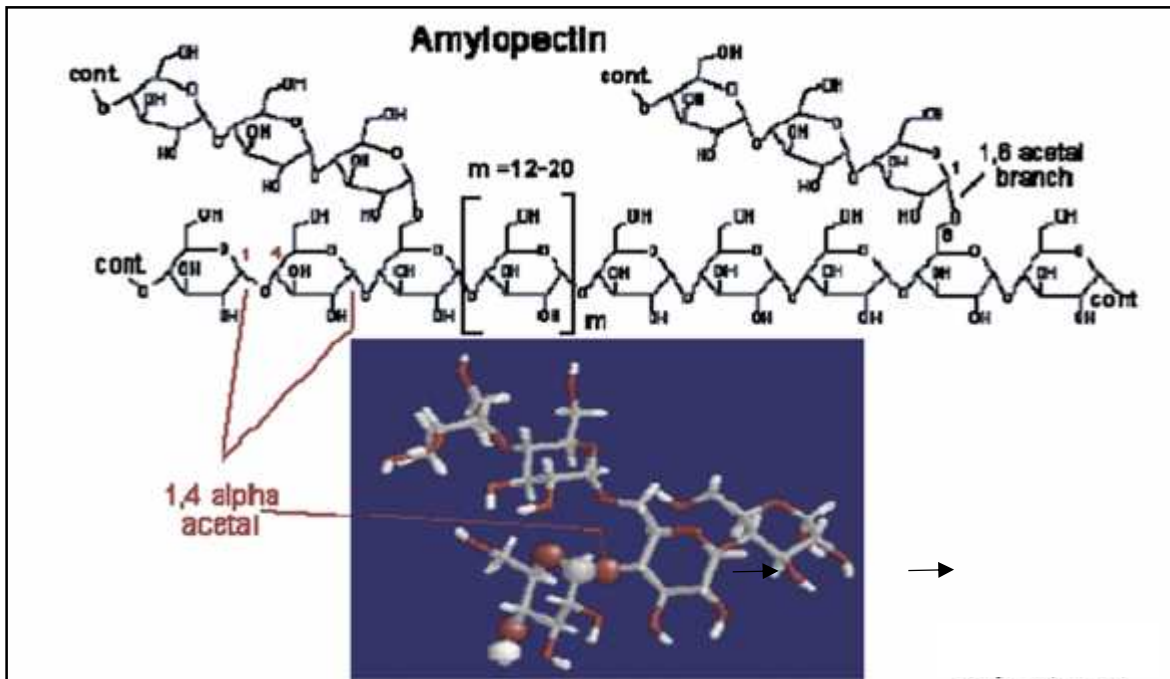


**Amilopectina.** Polímero de cadena ramificada, está compuesta por uniones lineales de 15 a 35 moléculas de glucosa enlazadas por  $-(1-4)$ . Las cadenas están adheridas por enlaces  $-(1-6)$  que establecen puntos de ramificación. Amilopectina compuesta aproximadamente por más de 100 mil moléculas de glucosa, se constituye por los enlaces  $-(1-6)$ . La estructura de la amilopectina permite la formación de importantes niveles de enlaces de hidrógeno (H) lo que permite la estabilidad durante la gelificación mientras se almacena la amilopectina en soluciones acuosas. A diferencia de la amilasa, la amilopectina no crea películas tan complejas y fuertes porque su parte lineal es corta. (Isique & Sing, 2017), como se puede observar en la figura 4.



**Figura 4**

*Estructura química de la amilopectina*



**Gránulos de almidón.** Forman estructuras discretas en la célula de cereales y tubérculos, tienen un tamaño entre 10 y 100 micras, las características fisicoquímicas y funcionales del almidón y sus productos están sujetas al vegetal (naturaleza, morfología y estructura), aunque en un mismo vegetal se puede apreciar una cierta diferencia de tamaño, estando los gránulos de almidón de papa, entre los más grandes, su forma suele ser redonda, también se encuentran gránulos de forma larga o más o menos irregular; en los gránulos de almidón, que no están sujetos a ninguna envoltura, las moléculas de amilosa y de amilopectina se encuentran en forma radial, formando una serie de capas concéntricas, estas capas tienen una estructura amorfa y una estructura parcialmente

cristalina, en que las cadenas están asociadas en forma de hélices, que a su vez están ubicadas de forma ordenada (Pardo *et al.*, 2013),

### **Propiedades fisicoquímicas del almidón.**

#### **- *Cristalinidad***

Es producida por el ordenamiento de las cadenas de amilopectina y la fase amorfa con la amilosa, esta propiedad influye en los parámetros de color humedad y dureza de la bandeja. Con una estructura cristalina y un alto nivel de amilosa ayudan en la formación de bandeja (Albujar, 2019).

#### **- *Solubilidad***

Es la capacidad de reaccion del almidon con el agua. En esta etapa la solubilidad del almidòn se incrementa debido al hinchamiento del gránulo y al incremento de la temperatura. (Araujo, 2004)

#### **- *Absorción de agua.***

Esto depende del tipo de materia que se utilice, siendo mayor en almidones extraídos de tubérculos, como papa, oca, respecto a los almidones extraídos de cereales, la capacidad de absorción es menor debido a la presencia de lípidos, también dependiendo en gran medida de la forma, tamaño y contenido de amilopectina (Contreras *et al.*, 2018)

#### **- *Capacidad de hinchamiento***

Cuando los gránulos son sometidos a temperaturas mayores de 70°C se relajan progresivamente un aumento de la capacidad de hinchamiento. (Araujo, 2004). Sucede también que los gránulos comienzan a hincharse debido al alto contenido de amilopectina en el almidón y cuando hay un alto contenido de amilosa, la capacidad de hinchamiento es menor ya que hay menor capacidad de retención (Solarte *et al.*, 2019).

- ***Viscosidad***

Se produce cuando los gránulos de almidón se calientan en presencia de agua y absorben una gran cantidad de esta. Este proceso se conoce como gelatinización y se caracteriza por la ruptura de la estructura cristalina del almidón, lo que da lugar a una solución de sus moléculas y a pastas viscosas (Espinoza, 2019). Considerando que este tipo de granulo se asocia más fácilmente con aquellos que tienen una concentración elevada de amilopectina (Luna *et al.*, 2021).

- ***Temperatura de plastificación***

Temperatura en la cual granulo alcanza su volumen máximo, si la temperatura de gelatinización es menor al calor administrado, hay un hinchamiento del gránulo, imposibilitado de retener más líquido, esto posibilita el esparcimiento de la amilosa en la mezcla o solución. (Matos *et al.*, 2022 como se citó en Mira *et al.*, 2007).

La concentración de amilopectina en el almidón nativo mejora la estabilidad térmica en la bandeja (Cruz-Tirado *et al.*, 2019)

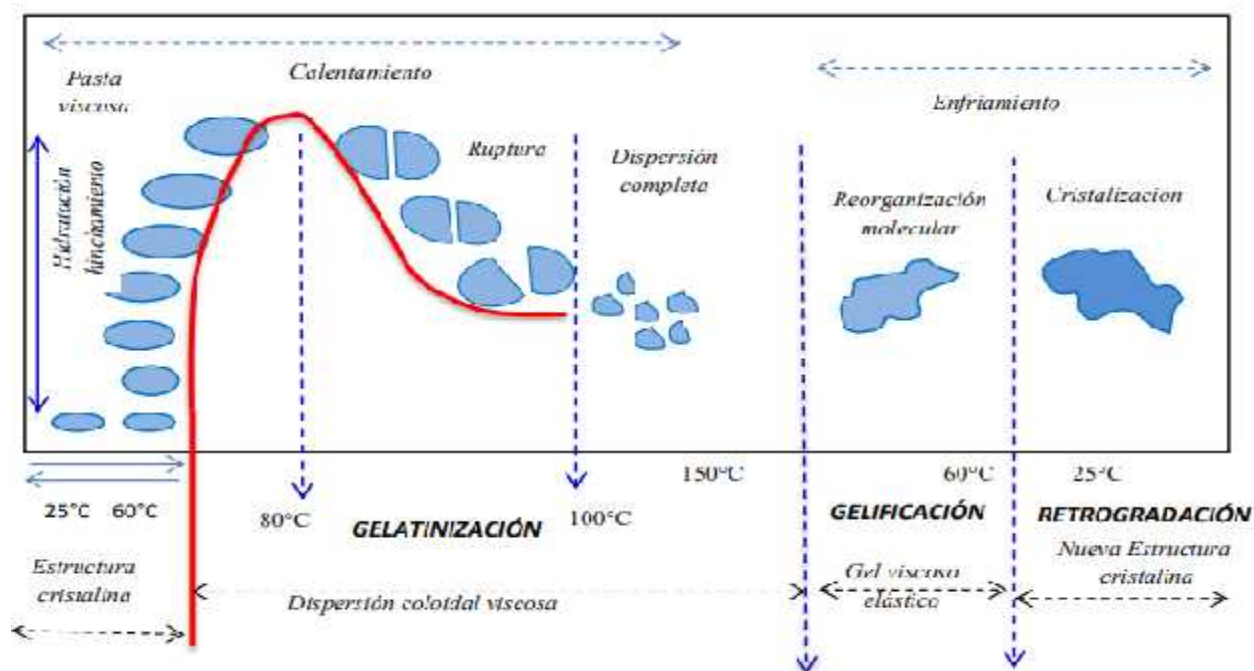
- ***Gelatinización y retrogradación***

Es un fenómeno fisicoquímico que ocurre cuando los gránulos de almidón se calientan en agua y se gelatinizan, lo que provoca la expansión de las secciones amorfas del gránulo. Si el calentamiento continúa, la amilosa se difunde en el medio acuoso y finalmente se disuelve. Temperaturas de entre 100 y 150 grados Celsius provocan la gelatinización completa (Martínez *et al.*, 2015). El almidón gelatinizado experimenta otra actividad fisicoquímica (retrogradación) debido a la disposición paralela de cadenas lineales de amilosa, que da como resultado la formación de estructuras cristalinas y genere enlaces de hidrógeno entre sus grupos hidroxilos adyacentes. (Jose, 2018).

Se mencionan las propiedades fisicoquímicas del almidón, que se presentan durante el procesamiento hidrotérmico, como se muestra en la figura 5.

**Figura 5**

*Cambios de los gránulos de almidón durante el procesamiento hidrotérmico*



*Nota:* Una vez finalizada la gelatinización, se libera calor y comienza la siguiente fase: el enfriamiento. Durante esta fase, la viscosidad aumenta espontáneamente, lo que provoca el fenómeno de retrogradación: un aumento del estado de orden, una reorganización de los puentes de hidrógeno y una reorientación de las cadenas moleculares. (Angeles, 2015)

### 2.3.3. Residuos de malta cervecera

**La cerveza.** La elaboración de cerveza es una de las industrias más destacadas del mundo. La Organización de las Naciones Unidas (FAO, 2018) señala que se produce 113.654 millones de toneladas de cerveza, siendo el ochenta y cinco % bagazo de malta (BSG), residuos altamente contaminantes que, al distribuirlos de manera inadecuada, aumentan los índices de materia orgánica, como en los vertederos y en los rellenos sanitarios. Así, integrar

esta biomasa en otros procesos productivos como alternativa para finalizar ciclos y establecer una economía circular sería sumamente beneficioso. (Camacho & Grande, 2021)

**La malta Pale o American 2 -row.** Presenta una tonalidad clara con un rango aproximado de 2 a 2.5 grados en el rango Lovibond, el cual se emplea para establecer una escala de color precisa, considerándose altamente modificable, no hay dificultad en la extracción; se considera que tiene sabores más complejos y un mayor aporte de color que la pilsen (Kawa, 2018)

**Bagazo de la malta cervecera (BSG).** En el ámbito industrial cervecero, se infiere que existen aproximadamente más de 1.500 fabricantes de cerveza artesanal en nuestro territorio nacional, cuyo consumo anual es de veinticinco millones de litros, especificándose que por cada litro de cerveza que se produce, se producen unos 600 gramos de bagazo de cerveza, deduciéndose, quince millones de kilos anualmente (FAO, 2019). El residuo de cerveza constituye el 85% del total de residuos producidos durante el proceso de elaboración de la cerveza (Alcocer, 2024).

Este subproducto genera metano a través de la descomposición anaeróbica, que es 25 veces más potente que el dióxido de carbono, un gas de efecto invernadero y puede permanecer allí durante varias décadas después de la eliminación de la basura, lo que genera un impacto negativo significativo en el ecosistema; En consecuencia, el uso del bagazo como materia prima para la fabricación de artículos de consumo humano es perfectamente aceptable en la economía circular, que, a diferencia del modelo lineal, promueve los principios de regeneración y restauración del capital natural, la disminución de la contaminación ambiental y el desarrollo de procedimientos que persiguen una producción cervecera sostenible, no aprovecharlo conduce hacia la pérdida de ingresos potenciales y también genera costos adicionales para su eliminación. Este subproducto otorga la

posibilidad de incorporar en un proceso productivo un nuevo insumo de tipo renovable en detrimento del uso de materiales de fuentes no renovables o de efecto ambiental adverso, (FAO, 2019)

Aprovechar el bagazo es una forma de medida efectiva, para consolidar una producción sostenible y las medidas de reducción de emisiones, consideradas como componentes esenciales del “Plan de Acción en Cambio Climático” establecido por la Ley de Adaptación y Mitigación al Cambio Climático. (Ley N° 3871/11).

**Composición química del BSG.** El pericarpio, (cáscara del salvado) contiene al almidón (llamado también endospermo), en el grano de malta; dependiendo de cómo se realice el proceso de molienda, es posible encontrar residuos amiláceos útiles para su uso. (Camacho *et al.*, 2020), en la tabla 7, se observa la composición química del bagazo.

**Tabla 7**

*Composición química del bagazo de la malta cervecera*

<b>Composición química</b>	<b>Bagazo de malta cervecera</b>
Humedad	5.7
Proteínas	15 - 26%
Fibra	70%
Almidón	10,1
Azúcar	16,11
Celulosa	15.5 - 25%
Hemicelulosa	28 - 35%
Lignina	28%
Lípidos	3.9 - 18%
Cenizas	2.5 - 4.5%
Energía, cal/100gr	228,6

*Nota:* (FAO, 2019)

Debido a la alta producción de bagazo de cerveza , se han realizado numerosas investigaciones para descubrir beneficios nutricionales que complementen los de la fibra específica. Según la FAO (2019), realizó una optimización del proceso de extracción en

España, lo que tuvo buenos resultados en cuanto al contenido de polifenoles totales, lo que podría convertir este residuo en aprovechable también como suplemento de antioxidantes naturales que disminuirían los radicales libres, asimismo, se ha demostrado que los arabinosilanos, también conocidos como polisacáridos no amiláceos, tienen un efecto prebiótico que protege contra diversas enfermedades intestinales, ya que pueden ser fermentados por las bacterias intestinales. Los arabinosilanos también ralentizan la absorción de glucosa pos-prandial, lo que reduce la liberación de insulina. También pueden reducir o aumentar la síntesis de colesterol y triglicéridos.

Se han hallado  $\beta$ -glucanos, compuestos formados por polisacáridos no amiláceos y glucosa, cuyo efecto hipocolesterolemizante se traduce en una disminución del colesterol en la sangre. Todos estos componentes forman parte de la fibra del bagazo de cerveza. (FAO, 2019).

La gran demanda de residuos de malta cervecera, lo convierte en un problema operacional, lo cual se le ha comenzado a dar un nuevo valor, como materia prima para elaboración de subproductos, como polímeros biodegradables y compost, etanol, dulcería entre otros.

#### **2.4. Propiedades físicas y químicas de las bandejas biodegradables**

Cuando las bandejas biodegradables entran en contacto con el medio ambiente, sus materias primas orgánicas que proceden de fuentes renovables se descomponen y se transforman en materia orgánica rica en nutrientes que beneficia a las plantas, el suelo y otros seres (Matos *et al.*, 2022)

El bagazo al convertirse en fertilizante, promovería la adición de nitrógeno al suelo mediante la fijación biológica de las leguminosas. Esto puede resultar en un ahorro

significativo de este elemento en la fertilización de cultivos comerciales , además de mejorar el balance de nitrógeno del suelo y reducir la población de malezas a través del efecto supresor y/o alelopático causado por el rápido y exuberante crecimiento inicial de la biomasa (Zea-Barahona *et al.*, 2019).

Las espumas termoplásticas de almidón se seleccionaron como alternativa a los polímeros ordinarios, para ello se requieren revestimientos y un directo contacto con los alimentos con una buena adhesión al producto espumado debido a que son poco resistentes e hidrófilos. (Shaikh *et al.*, 2021).

Las roturas de enlaces de hidrogeno provocan la espuma termoplástica, pues conserva intacta la estructura granular del almidón; el proceso de creación de espuma consta de cuatro etapas: estabilización, disolución de gas en el polímero, nucleación y crecimiento celular teniendo el producto final vacíos gaseosos esféricos en una matriz densa, donde la matriz, la composición, morfología del gas, los parámetros reológicos adicionales, la densidad, dispersión de los componentes y otros factores afectan a la formación de la espuma polimérica (Tapia-Blácido *et al.*, 2021).

**Resistencia mecánica.** Es la capacidad de los cuerpos para resistir las fuerzas aplicadas sin romperse. La resistencia mecánica de la bandeja depende de su material y de su geometría. El parámetro empleado habitualmente para valorar la resistencia mecánica de un cuerpo es el coeficiente de seguridad, los factores que influyen son la temperatura, humedad, oxígeno, tamaño.

**Comparacion con plasticos tradicionales** Los plásticos tradicionales pueden tardar entre 100 y 1.000 años en degradarse, mientras que las bandejas biodegradables suelen tardar entre 18 y 36 meses. (Octavio *et al.*, 2017)



Los plásticos tradicionales se derivan del petróleo, mientras que las bandejas biodegradables se pueden hacer a partir de materiales naturales como caña de azúcar, maíz, cáscaras de naranja, soja, almidón de arroz o patata (Vázquez *et al.*, 2021).

### **Beneficios para el medio ambiente**

Las bandejas biodegradables pueden ser una alternativa sostenible al plástico tradicional porque: reducen la contaminación plástica, reducen la dependencia de los recursos petroleros, reducen las emisiones de gases de efecto invernadero, son compatibles con el compostaje, lo que facilita su eliminación de manera sostenible, pueden reutilizarse como compost, enriqueciendo el suelo y ayudando a aumentar la producción agrícola (Vázquez *et al.*, 2021).

## **CAPÍTULO III**

### **METODOLOGÍA**

#### **1. ENFOQUE DE LA INVESTIGACIÓN**

El presente estudio adoptó un enfoque mixto, combinando métodos cuantitativos y cualitativos para abordar de manera integral la problemática planteada. Este enfoque permitió no solo analizar los datos de manera objetiva y numérica, sino también comprender las percepciones, contextos y significados asociados al uso de residuos.

Se utilizó un enfoque cuantitativo para evaluar las propiedades físicas, químicas y mecánicas de bandejas biodegradables compuestas de almidón de papa y harina de bagazo de malta cervecera. Mediante ensayos controlados, se analizaron características específicas como la densidad, el contenido de humedad, la capacidad de absorción de agua, la resistencia mecánica (tensión, elongación y dureza) y la biodegradabilidad.

Estos datos fueron obtenidos mediante experimentación en laboratorio, utilizando instrumentos de medición estandarizados que garantizaron la validez y confiabilidad de los resultados. Además, los datos cuantitativos permitieron realizar análisis estadísticos para determinar la eficacia de las proporciones de los materiales utilizados en la mejora de las propiedades de las bandejas. Este análisis ayudó a identificar la combinación óptima de ingredientes, proporcionando una base sólida para futuras aplicaciones industriales.

El enfoque cualitativo fue empleado para explorar las implicaciones sociales, ambientales y económicas del uso de residuos orgánicos en la fabricación de materiales biodegradables. También se analizó cómo esta iniciativa puede contribuir a la economía circular, reduciendo el impacto ambiental y promoviendo la sostenibilidad en los sectores agrícola e industrial.

Esta dimensión cualitativa permite interpretar los hallazgos desde una perspectiva holística, enriqueciendo el análisis y contextualizando los resultados obtenidos.

## **2. MÉTODO DE LA INVESTIGACIÓN**

El presente estudio se desarrolló bajo un diseño metodológico experimental; este diseño permitió evaluar de manera integral la posibilidad de producir bandejas biodegradables a partir de almidón de papa rastrojo y harina de bagazo de malta cervecera, considerando tanto las propiedades técnicas del material como sus implicaciones sociales y ambientales.

La investigación fue de tipo aplicada y explicativa, ya que buscó generar conocimiento útil y práctico para abordar una problemática ambiental específica. Asimismo, permitió analizar las relaciones de causa y efecto entre las proporciones de los ingredientes utilizados y las propiedades físicas, mecánicas y biodegradables de las bandejas producidas.

## **3. DISEÑO DE INVESTIGACIÓN**

La investigación se desarrolló utilizando un Diseño Completamente al Azar (DCA), con cinco tratamientos y tres repeticiones por tratamiento. Este diseño fue seleccionado por su capacidad para evaluar el efecto de distintas combinaciones de ingredientes en las cualidades finales de las bandejas biodegradables, minimizando la influencia de factores externos. Además, este enfoque ha demostrado ser eficaz en investigaciones previas relacionadas con la creación de materiales biodegradables, como vasos, bandejas y películas, lo que garantiza la fiabilidad de los resultados obtenidos.

Los tratamientos estuvieron definidos por las proporciones de harina de bagazo de malta cervecera (HBM) y almidón de papa rastrojo (AP), como se detalla a continuación:

Tratamiento	Harina de bagazo de malta	Almidón de papa	Repetición 1	Repetición 2	Repetición 3
<b>T1</b>	0%	100%	Bandeja 1	Bandeja 2	Bandeja 3
<b>T2</b>	10%	90%	Bandeja 4	Bandeja 5	Bandeja 6
<b>T3</b>	20%	80%	Bandeja 7	Bandeja 8	Bandeja 9
<b>T4</b>	30%	70%	Bandeja 10	Bandeja 11	Bandeja 12
<b>T5</b>	40%	60%	Bandeja 13	Bandeja 14	Bandeja 15

Cada tratamiento fue repetido tres veces, resultando en un total de 15 unidades experimentales.

El DCA fue elegido por su simplicidad y eficacia en experimentos donde las unidades experimentales son homogéneas y las variables independientes (proporción de HBM y AP) se distribuyen de manera aleatoria. Este diseño permitió evaluar de manera objetiva las diferencias entre los tratamientos, asegurando la validez interna de los resultados.

### 3.1. Modelo estadístico

$$Y_{ij} = \mu + \alpha_i + \beta_j$$

Donde:

i: 5 Tratamientos

j: 3 repeticiones

$Y_{ij}$ : Propiedades Mecánicas (Tracción y Compresión), propiedades físicas

(humedad, capacidad de absorción de agua CAA color, espesor, densidad) y

propiedades químicas (espectroscopia de infrarrojos con transformada de

Fourier (FTIR), análisis termogravimétrico (TGA) y calorimetría de Barrido

Diferencial (DSC)).

$\mu$ : media general

$i$ : efecto del tratamiento  $i$ ;  $i=1;2;3;4;5$

$ij$ : error experimental asociado a la  $ij$ -ésima unidad experimental

En esta prueba se asignaron las ubicaciones de las 15 muestras colectadas de los 5 tratamientos, cada una con tres repeticiones.

### **3.2. Técnica de análisis de resultados - Análisis de Varianza (ANOVA)**

Se utilizó el Software Minitab versión 22, para analizar y evaluar las propiedades físicas de las bandejas como: Capacidad de absorción de agua (%), Color, Densidad (g/cm<sup>3</sup>), Espesor (mm), Humedad (%), al igual para las propiedades mecánicas, tales como: elongación (%), tensión (MPa), fracturabilidad (mm) y resistencia a la Dureza (N), de las diferentes formulaciones elaborados a base de harina de bagazo de malta cervecera y almidón de papa. Se realizó el Análisis de varianza de un unico factor categórico, con un nivel 95.0% de confianza 95% ( $\alpha=0.05$ ).

## **4. POBLACIÓN Y MUESTRA**

La población considerada para la presente investigación estuvo compuesta por:

- ) Residuos de papa rastrojo: Provenientes de 69 agricultores organizados del distrito de Carabamba, provincia de Julcán, departamento de La Libertad, quienes, en épocas de cosecha, generan un rendimiento promedio de 13.3 toneladas por hectárea, dejando sin recolectar aproximadamente un 3%, lo que equivale a 0.4 toneladas de papa rastrojo (MIDAGRI, 2022).
- ) Residuos de malta cervecera: Generados durante el proceso de elaboración de cerveza artesanal de la variedad Pale Ale en el laboratorio de la Escuela de Ingeniería

Agroindustrial de la Universidad Nacional del Santa, con una producción de 100 kg de bagazo de malta cervecera como subproducto.

Para la ejecución del proyecto de investigación, se seleccionaron las siguientes muestras:

- ) Papa rastrojo: Se tomó una muestra de 30 kg, equivalente al 7.5% del total de papa rastrojo generada, para la obtención de almidón.
- ) Bagazo de malta cervecera: Se recolectaron 30 kg de residuos de malta cervecera provenientes del proceso de elaboración de cerveza artesanal para la obtención de harina de bagazo.

Estas cantidades fueron determinadas con base en los requerimientos del diseño experimental, considerando que la producción de bandejas biodegradables requería únicamente 5 bandejas por tratamiento, siendo suficiente la cantidad seleccionada para realizar los análisis físicos, químicos y estructurales necesarios.

La selección de la muestra estuvo alineada con los objetivos del proyecto afiliado a Prociencia, que exige que la investigación forme parte del subproyecto: *“Aplicación y análisis de automatización en el proceso de carbonatación de cerveza artesanal para el desarrollo de la calidad y seguridad alimentaria”* (Resolución, 2023). Además, la cantidad de muestra fue adecuada para el análisis estadístico requerido, determinado mediante software especializado, y fue suficiente para los ensayos preliminares y la fabricación de bandejas biodegradables.

## **5. OPERACIONALIZACIÓN DE LAS VARIABLES DE ESTUDIO**

### **5.1. Definición conceptual**

) Variable independiente: Es la composición de los materiales utilizados en la elaboración de las bandejas biodegradables, específicamente las proporciones de harina de bagazo de malta cervecera (HBM) y almidón de papa rastrojo (AP). Estas proporciones varían según los tratamientos experimentales, determinando los efectos sobre las propiedades finales de las bandejas.

) Variable dependiente: Es la calidad de las propiedades físicas, mecánicas y de biodegradabilidad de las bandejas biodegradables producidas. Estas propiedades incluyen capacidad de absorción de agua, densidad, resistencia mecánica (elongación, tensión, dureza), biodegradabilidad y otras características estructurales que reflejan la eficacia del material elaborado.

### **5.2. Definición operacional**

) Variable independiente: Se definió como las proporciones de harina de bagazo de malta cervecera (HBM) y almidón de papa rastrojo (AP) utilizadas en la fabricación de bandejas biodegradables. Estas proporciones fueron asignadas en cinco tratamientos experimentales:

- T1: 0% HBM y 100% AP
- T2: 10% HBM y 90% AP
- T3: 20% HBM y 80% AP
- T4: 30% HBM y 70% AP
- T5: 40% HBM y 60% AP

Cada tratamiento se aplicó en tres repeticiones.

Variable dependiente: Se operacionalizó como las propiedades mecánicas, físicas, de biodegradabilidad, de las bandejas biodegradables, medidas mediante técnicas experimentales específicas:

- Propiedades físicas: Densidad, capacidad de absorción de agua y espesor.
- Propiedades mecánicas: Resistencia a la tensión, elongación y dureza.
- Biodegradabilidad: Tiempo de degradación bajo condiciones controladas de luz, agua y aire.
- Estructura química: Caracterización mediante análisis termogravimétrico (TGA), espectroscopia infrarroja con transformada de Fourier (FTIR) y calorimetría diferencial de barrido (DSC).

**Tabla 4**

*Operacionalización de variables*

Variable	Definición	Subvariable	Indicador	Técnicas de recolección	Tipo de variable
Independiente	Porcentajes de harina de papa rastrojo y harina de bagazo de malta cervecera en las formulaciones de bandejas biodegradables.	Almidón de papa rastrojo	60 – 100%	Gravimetría	Cuantitativa
		Harina de bagazo de malta	0 – 40%	Gravimetría	Cuantitativa
Dependiente	Caracterización de las bandejas biodegradables.	Análisis físicos	Densidad (g/cm <sup>3</sup> )	Gravimetría	Cuantitativa
			Humedad (%)	Gravimetría	Cuantitativa
			Capacidad de absorción de agua (%)	Método COBB (ISO:535)	Cuantitativa
			Espesor (cm)	Calibrador	Cuantitativa
		Análisis mecánicos	Dureza (N)	Método estándar ASTM D828	Cuantitativa
			Fracturabilidad (mm)	Método estándar	Cuantitativa



				ASTM D828	
			Tensión (MPa)	Método estándar ASTM D828	Cuantitativa
			Elongación (%)	Método estándar ASTM D828	Cuantitativa

*Nota.* Esta tabla muestra las operaciones que se realizarán una vez elaboradas las bandejas biodegradables.

## 6. TÉCNICA E INSTRUMENTO DE LA INVESTIGACIÓN

### 6.1. Lugar de ejecución

Proyecto de investigación desarrollado en los siguientes laboratorios de la UNS - Universidad Nacional del Santa - Nuevo Chimbote, en los laboratorios de Microbiología y Toxicología de Alimentos, IITA - en el Instituto de Investigación Tecnológico Agroindustrial, en el Laboratorio de Composición y Análisis de Productos Agroindustriales; en la Universidad Nacional de Trujillo, en el Laboratorio de Procesos Agroindustriales y en la Universidad Nacional José María Arguedas – Andahuaylas en el Laboratorio de Investigación Agroindustrial (LIA)

### 6.2. Métodos de análisis

#### 6.2.1. Caracterización de la materia prima

Para la caracterización de la materia prima, harina de bagazo de malta cervecera y almidón de papa rastrojo, se emplearon diferentes métodos estandarizados tales como:

- Humedad: Método estándar 950.46 AOAC (2005)
- Proteína Método estándar 987.13 AOAC (2005)

- Grasa Método estándar 2003.05 AOAC (2005)
- Fibra: Método estándar 962.09 AOAC (2005)
- Ceniza: Método estándar 942.05 AOAC, (2005)
- Los carbohidratos se determinaron por diferencia, como indica la siguiente ecuación:

$$C_{hi} \% = (\text{Humedad}\% + \text{Proteínas}\% + \text{Grasa}\% + \text{Cenizas}\% + \text{Fibra}\%) - 100$$

### 6.2.2. Determinación del almidón

- Amilosa y amilopectina: técnica trabajada por (Ruiloba *et al.*, 2018). Se pesaron 0.10 gramos de muestra en un matraz volumétrico de 100cm<sup>3</sup> y se añadieron cuidadosamente 1cm<sup>3</sup> de etanol 99% y 9cm<sup>3</sup> de solución de hidróxido de sodio 1M. Se procedió a mezclar el contenido y calentar por 10 minutos para gelatinizar el almidón. Se enfría, la solución y se completa con agua destilada hasta la marca, agitándose vigorosamente, en otro matraz volumetrico se vació 5cm<sup>3</sup> de la solución de almidón , para luego añadir ácido acético 1M y 2 cm<sup>3</sup> de solución de yodo. Se leyó la absorvancia mediante espectrofotómetro a 620nm. El contenido de amilosa y amilopectina se determinaron utilizando las fórmulas correspondientes .

$$\text{Contenido de amilosa}(\%) = 3,06 \times \text{absorvancia} \times 20$$

$$\text{Amilopectina} (\%) = 100 - \%\text{contenido de amilosa}$$

### 6.2.3. Determinación de las propiedades físicas de las bandejas biodegradables

- Humedad

Se realizó el análisis conforme al método estándar (950.46 A.O.A.C.,2005, como se citó en Ponce *et al.*, 2023), método de secado en estufa a una temperatura de 105°C siendo cada tratamiento sometido a este proceso con 3 repeticiones por 3horas, para lo cual se tomó 5gramos de muestra de cada bandeja.

$$\text{Humedad}\% = \frac{(M_1 - M_2) \times 100}{M}$$

$M_1$  = Peso placa + muestra húmeda

$M_2$  =Peso placa + muestra seca

$M$  = Peso de la muestra

#### - Color

Para determinar el color en los diferentes tratamientos se evaluó el método CIELAB ( $L^*$ ,  $a^*$  y  $b^*$ ) (Díaz, 2017), siendo las cuantificaciones  $L^*$ (0 -100) de negro a blanco,  $a^*$ (+a-(-a)) rojizo a verde y  $b^*$  (+b-(-b)) color amarillento a azulino, utilizando un colorímetro calibrado, el área medida de la muestra fue la base por triplicado. El análisis se calculó por medio de la ecuación:

$$\text{Color} = \sqrt{(L^*)^2 + (a^*)^2 + (b^*)^2}$$

$L$ = Luminosidad, negro=0 a blanco=100

$a$ = Matiz rojo= 100 a verde=-80

$b$ = Matiz amarillo= 100 a azul=-100

$a$  y  $b$  = Cromasidad

- Espesor

Se utilizó un micrómetro manual para medir el tamaño de los distintos tratamientos, es acero inoxidable, 0-150mm, siguiendo el modelo de (Beltrán, 2017), el proceso se realizó por triplicado las dimensiones de las muestras fueron 25 x 50 mm.

- Densidad

Para este análisis las muestras de los diferentes tratamientos se cortaron con las dimensiones siguientes 25 x 50mm, se determinó el volumen (cm)<sup>3</sup> requerido y se pesaron las muestras por triplicado de cada tratamiento para obtener la masa (g), en la ecuación:

$$D \quad (g/cm^3) = \frac{m}{V_t}$$

$$V_t = b * a * e$$

- Capacidad de absorción de agua

El estudio, se trabajó de acuerdo con lo manifestado en la técnica de COBB indicado en (ABNT NBR NM ISO 535, 2014, como se citó en Barrios *et al.*, 2023) para poder realizar este análisis. Las dimensiones de cada muestra es de 25 mm x 50 mm, las cuales fueron pesadas para posterior ser introducidas en agua destilada por 60 segundos, se retiró el exceso de agua. limpiando ligeramente la superficie de la muestra con papel, para luego tomar el peso final (Callirgos, 2022) Obteniendo todos los datos requeridos por la ecuación:

$$C \quad a \quad a \quad ó \quad n \quad a \quad a \quad (C \quad \%) = \frac{P \quad f \quad - \quad P \quad i \quad n}{P \quad i \quad n} \times 100$$

#### **6.2.4. Determinación de las propiedades mecánicas de las bandejas biodegradables**

Con un analizador de textura TA.HDPlus (Stable Micro System, Surrey, Reino Unido) se determinaron las pruebas, con una celda de carga de 100kg, de acuerdo con la técnica de prueba estándar ASTM D828-97, tanto para las pruebas de Tracción y Compresión (Cabanillas *et al.*, 2019)

- Prueba de Tracción: Resistencia a la Elongación y Tensión

Para la ejecución se cortaron las bandejas de la parte de la base, pequeños cuadrados con las siguientes dimensiones de 2.5cm x 10cm, (base de la maquina con abertura de agarre inicial de 8cm, velocidad del cabezal transversal de  $2\text{mm s}^{-1}$  hasta que se dé la ruptura.

- Prueba de Compresión: Dureza y Fracturabilidad

Para su ejecución se cortaron pequeños cuadrados de cada tratamiento por triplicado, de la base de las bandejas con dimensiones de 5cm x 5cm, utilizando un accesorio HDP/CFS y una sonda esférica de acero inoxidable P/0,25S, velocidad de penetración de  $1,0\text{ mm s}^{-1}$ , se midió la resistencia de las bandejas al desgaste y a la fractura,

#### **6.2.5. Determinación de las propiedades químicas de las bandejas biodegradables**

- FTIR (Espectroscopia de Infrarrojos por Transformada de Fourier)

Técnica de análisis químico cualitativo que posibilita la identificación de los grupos funcionales de los compuestos orgánicos, polímeros, determinar la composición de copolímero, determinar las posibilidades de degradación de polímeros, entre otros, donde la muestra se somete a irradiación infrarroja

(longitud de onda  $4000 - 400\text{cm}^{-1}$ ) con la herramienta de Reflectancia Total Atenuada (ATR) que posibilita la evaluación de la muestra sin ser sometida a tratamientos previos; en consecuencia, resulta beneficioso el análisis de las muestras, ya que no se encuentra ninguna sustancia que pueda interferir en los resultados, siendo esta una técnica sencilla y de bajo costo que permite la cuantificación de la degradación o transformación de los grupos carbonilos presentes en el material mediante el índice de carbonilo. (Márquez *et al.*, 2021)

Las bandejas biodegradables se almacenaron durante 4 días a 60 % de humedad relativa y  $25^\circ\text{C}$ . Se utilizaron pequeñas muestras de bandejas con dimensiones de  $25 \times 25 \text{ mm}^2$  y se realizó un análisis de (FTIR) el análisis mediante un espectrómetro de infrarrojos de transformada de Fourier, Nicolet IS50, mediante el accesorio ATRMiracle diamante de 3 rebotes, en una gama de frecuencia de  $600 -$

$4000 \text{ cm}^{-1}$ ; resolución =  $4 \text{ cm}^{-1}$  en dieciséis escáneres (Cabanillas *et al.*, 2019).

- Análisis termogravimétrico (TGA)

Técnica exacta para examinar la cinética de los sólidos y su tratamiento térmico, al evaluar la estabilidad termodinámica, se observa que la temperatura del material comienza a descender y que los polímeros se deterioran mas intensamente hasta  $200^\circ\text{C}$ , aunque algunos pueden soportar temperaturas de hasta  $300^\circ\text{C}$ , en el ambiente y  $500^\circ\text{C}$  en condiciones inertes (Ramos, 2021). La pérdida de masa se produce debido a la pérdida de disolvente/agua y cuando se generan productos de degradación volátiles. La reducción de masa de una

sustancia se evalúa en función de la temperatura y la duración en un entorno regulado utilizando una termobalanza (Moseson *et al.*, 2020).

Se ejecutó este análisis para determinar la descomposición térmica de un material, usando una charola (Platinum), la cual se taró mediante el automuestreador, se utilizó 10mg de muestra, temperatura del horno TGA de 550°C, se tomó en cuenta metodología descrita por (Ligarda *et al.*, 2023), utilizando un analizador térmico TGA 550, con un rango de temperatura de 20 °C a 600 °C con una velocidad de calentamiento 10 °C/min bajo una atmósfera de nitrógeno (N<sub>2</sub>).

- Calorimetría de Barrido Diferencial (DSC).

Técnica termoanalítica que calcula la diferencia entre la cantidad de energía necesaria para elevar la temperatura de la muestra y la temperatura de referencia; DSC es utilizada en la industria farmacológica, los polímeros y la investigación microbiológica. Pero no se están estudiando sus usos y aplicaciones para caracterizar la biomasa y los biocombustibles sólidos. os (Paredes, 2021)

Para la ejecución de este análisis, el equipo trabajó con el programa TRIOS, se estableció una temperatura de 65°C, se utilizó 7mg de muestra (en el caso de harinas) en un eppendorf, agua destilada 60 ul, relación 1:3. se realizó la programación siguiendo la metodología descrita por (Ligarda *et al.*, 2023). Se uso un DSC2 500(calorímetro de barrido diferencia). El rango de temperatura fue de 20 a 200 °C, empleando velocidad de calentamiento de 5 °C/ min. El análisis se llevó a cabo bajo una atmósfera de nitrógeno (N<sub>2</sub>).

### **6.3. PROCEDIMIENTO PARA LA RECOLECCION DE DATOS**

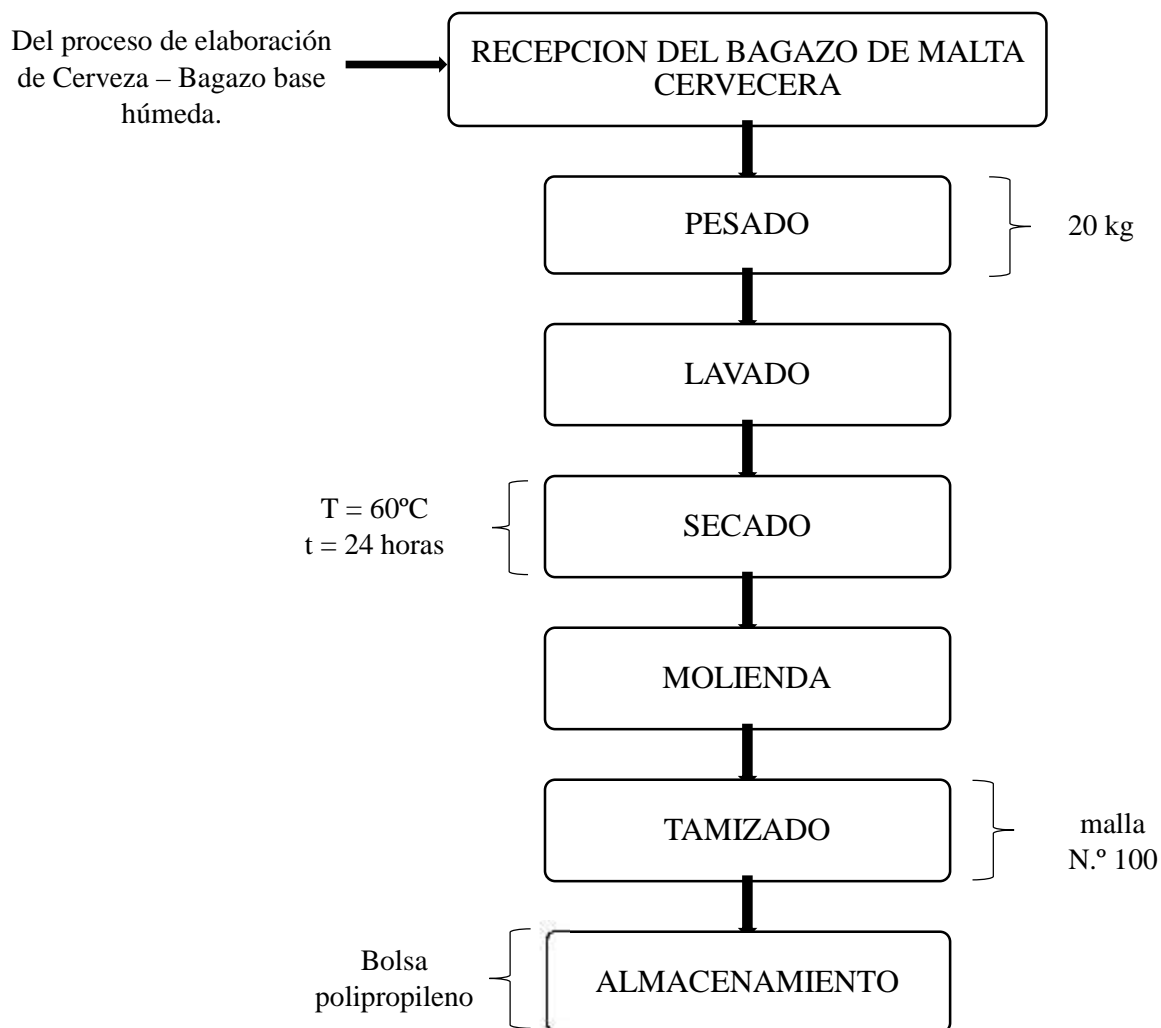
#### **6.3.1. Obtención de harina de bagazo de malta cervecera**

Los residuos (bagazo) de malta cervecera variedad pale ale, fueron adquiridos del proceso de elaboración de cerveza artesanal, realizado en el laboratorio de Microbiología y Toxicología por medio del Programa Nacional de Investigación Científica y Estudios Avanzados (PROCIENCIA), a través del proyecto “Aplicación y análisis de automatización en el proceso de carbonatación de cerveza artesanal para el desarrollo de la calidad y seguridad alimentaria” mediante el contrato N° PE501082263-2023-prociencia, aprobado con resolución N°428-2023-CU-R-UNS y fueron recepcionados y se procedió a pesar 30kg de materia prima en una balanza industrial, los residuos de malta cervecera se colocaron en rejillas de aluminio y fueron sometidos a una temperatura de secado a 60°C x 24 horas, en un horno rotativo (NOVA), después del secado de los residuos de malta cervecera, estos fueron molidos en un molino de laboratorio, 20kg en  $t = 5\text{min}$ , obtenida la harina en la molienda fue tamizada en un tamiz malla N.º 100 con un  $t = 45$  segundos por tamiz, se obtuvo 1 ½ kg la harina fina, esta fue almacenada en bolsas de polipropileno de alta densidad, hasta el momento de su uso en la elaboración de bandejas biodegradables, figura 6.



**Figura 6**

*Diagrama de flujo de la obtención de harina de bagazo de malta*



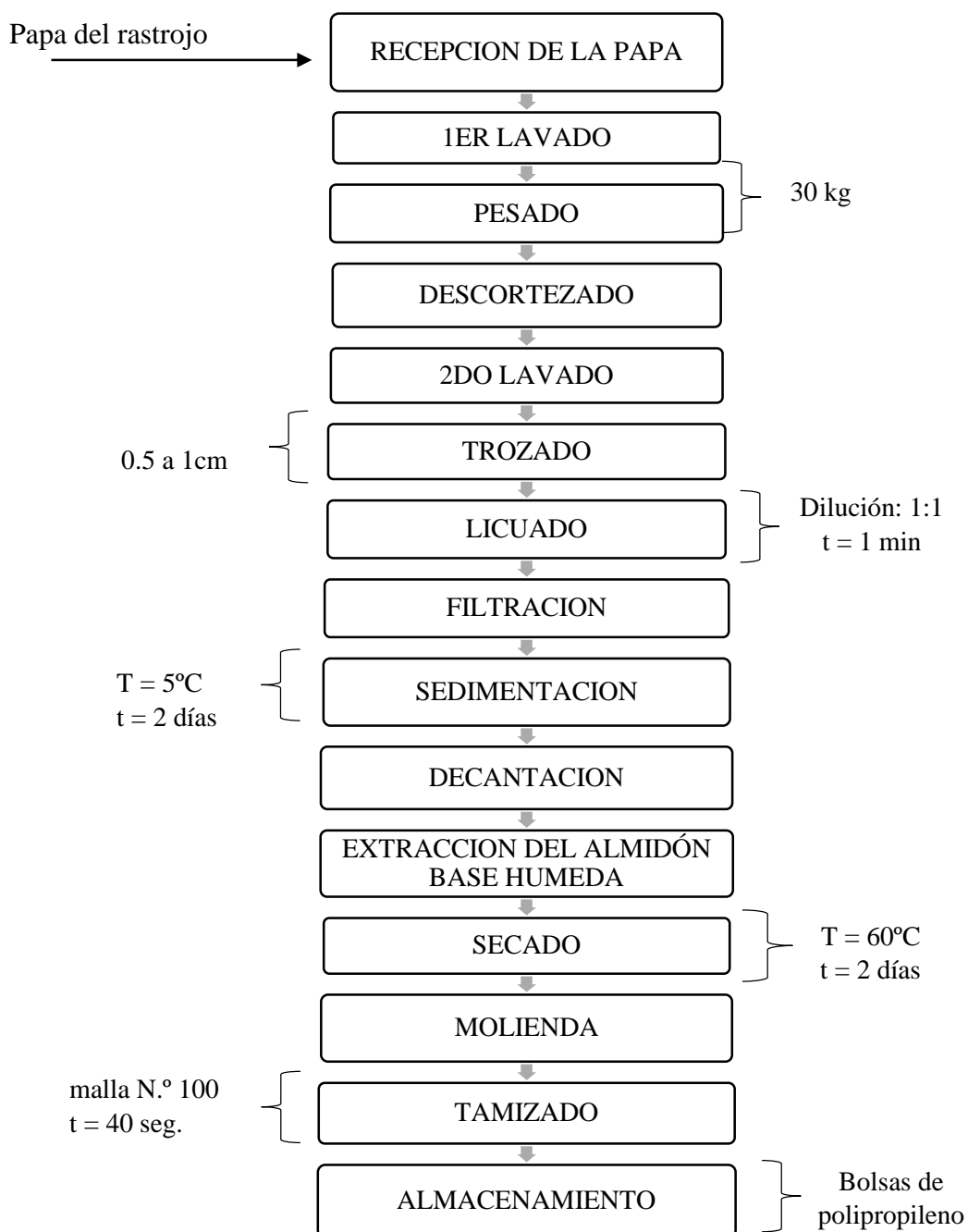
### **6.3.2. Extracción de almidón de papa**

El lote de papas variedad amarilla de rastrojo se recepcionó de los agricultores de Carabamba y fueron trasladados al laboratorio de Microbiología y Toxicología, donde se inició el proceso de extracción del Almidón, se realizó un primer lavado se retiraron las impurezas como tierra y pequeñas partículas sólidas, utilizando un aproximado de 40 litros de agua potable, se pesaron 30kg de papa, en una balanza industrial, las papas fueron desprendidas de su cascara en tiras finas y delgadas, procurando no perder la pulpa de la papa, ya que en ella se encuentra en mayor porcentaje el almidón. La cascara fue secada y convertida en harina para la realización de otros productos o consumo humano, se realizó el segundo lavado de la papa pelada, para enjuagar y prevenir posibles impureza, se cortaron las papas en rebanadas, con un espesor de 0.5 a 1cm, con la finalidad que, al momento de licuar, los gránulos queden simétricos, las rebanadas de papa fueron licuadas con una dilución de agua 1lt de agua: 1kg de papa, para liberando el almidón por medio de las células destruidas, se obtuvo un líquido lechoso, en los baldes mientras se filtra la pulpa licuada con el apoyo de la tela de organza, la solución liquida requirió un aproximado de 7 baldes de 20 litros cada uno, los cuales fueron colocados en la cámara de refrigeración a  $T = 5^{\circ}\text{C}$  por un periodo de dos días, se separó y desecho, la parte liquida turbia del almidón sedimentado, cambiando de agua de 4 a 5 veces por día, hasta obtener un almidón limpio y libre de impurezas, pasado el proceso de Decantación se procede a retirar el almidón limpio que queda asentado de los diferentes baldes, una vez que se obtuvo el almidón limpio, se procedió a secar, el almidón se colocó en bandejas de aluminio rectangulares y estas fueron llevadas al horno rotativo (NOVA) a una  $T = 60^{\circ}\text{C}$  por un periodo de tiempo de 2 días, obteniendo un rendimiento de 10% de almidón, se procedió a tamizar el almidón seco con una Malla N.º 100 cada tamizado con un  $t = 40$  segundos, obteniendo partículas uniformes,

finalmente se obtuvo 3kg de almidón y fueron almacenados en bolsas de polipropileno de alta densidad, figura 7.

**Figura 7**

*Diagrama de flujo de la Extracción de Almidón de papa*



### 6.3.3. Elaboración de las bandejas biodegradables

En esta fase se realizó la preparación de los diferentes tratamientos, iniciando con el pesado de las materias obtenidas, como la harina de bagazo de malta cervecera, almidón de papa y el pesado de los insumos goma guar 1% = 10.15gr, glicerol 7% = 1.45gr., estearato de magnesio 6% = 8.7gr. como se muestra en la tabla 9.

**Tabla 9**

*Porcentajes de los diferentes tratamientos a base de almidón de papa y harina de bagazo de malta cervecera.*

Tratamiento	En función a 145g			
	Almidón de papa		HBMC	
	(%)	gr.	(%)	gr.
<b>T1</b>	100	145	0	0
<b>T2</b>	90	130.5	10	14.5
<b>T3</b>	80	116	20	29
<b>T4</b>	70	101.5	30	43.5
<b>T5</b>	60	87.0	40	58

*Nota:* porcentajes en función a 145gr. para obtener 5 bandejas biodegradables por cada tratamiento.

La materia prima y los insumos secos, fueron pesados de acuerdo a los porcentajes establecidos en cada tratamiento, en un recipiente de plástico; en un vaso de precipitado de 50 ml se pesó glicerol, el cual se diluyó con un poco de agua destilada con ayuda de una varilla de vidrio, para luego ser añadido a la mezcla seca y a esta mezcla seca total se le añadió 160 ml de agua destilada y se realizó un mezclado con una batidora mecánica los primeros 5 minutos y con una batidora manual los 5 minutos restantes, el peso que se utilizó para la formación de cada bandeja fue de 62g de masa resultante, esta masa fue puesta sobre papel manteca, se añadió el desmoldante (engrasante) en los platillos superior que está a  $T = 150^{\circ}\text{C}$  e inferior  $T = 145^{\circ}\text{C}$ , para prevenir que se queme la masa, esto se

realizó utilizando guantes de seguridad para posteriormente colocar la mezcla amasada de acuerdo a los porcentajes de los tratamientos establecidos con un  $t = 5$  min. Y 40seg, como se muestra en la tabla 10.

**Tabla 10**

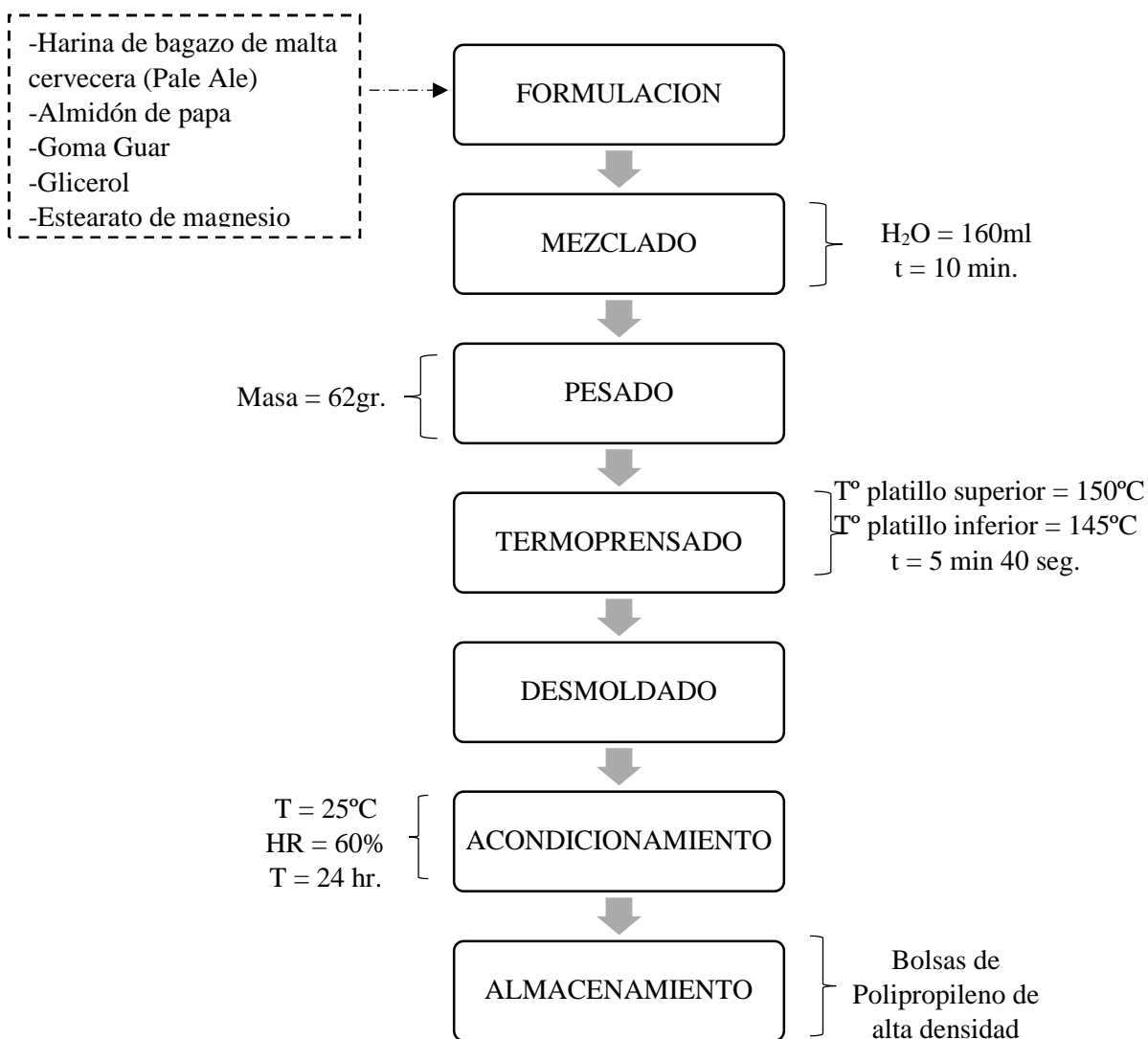
*Parámetros de termoformado para cada tratamiento*

Tratamiento	Almidón de papa (%)	HBMC (%)	H <sub>2</sub> O destilada (ml)	Peso de la masa gr.	Platillo superior T° C	Platillo inferior T°C	Tiempo (min)
<b>T1</b>	100	0	160	62	150	145	5'40''
<b>T2</b>	90	10	160	62	150	145	5'40''
<b>T3</b>	80	20	160	62	150	145	5'40''
<b>T4</b>	70	30	160	62	150	145	5'40''
<b>T5</b>	60	40	160	62	150	145	5'40''

Las bandejas se retiraron de la termoprensa utilizando guantes y pinzas, el producto final fue colocado en un ambiente limpio con una T 25°C y 60% HR por un periodo de tiempo de  $t = 5$  horas, finalmente fueron almacenadas las bandejas biodegradables en bolsas de polipropileno, hasta el momento de su uso, figura 8

**Figura 8**

*Diagrama de flujo de los procesos de elaboración de las Bandejas Biodegradables*



## CAPÍTULO IV

### RESULTADOS Y DISCUSIÓN

#### 1. CARACTERIZACIÓN DE LA MATERIA PRIMA

##### 1.1. Análisis proximal de harina de bagazo de malta cervecera y almidón de papa.

Se realizó los análisis de proximales de la materia prima, de la harina de bagazo de malta cervecera y almidón de papa, obteniendo los siguientes datos como se muestra en la tabla 11.

**Tabla 51**

*Composición proximal de las materias primas en base seca*

<b>Materia Prima</b>	<b>Humedad (%)</b>	<b>Cenizas (%)</b>	<b>Fibra (%)</b>	<b>Proteínas (%)</b>	<b>Grasas (%)</b>	<b>Carbohidratos (%)</b>
<b>Harina de Bagazo de Malta Cervequera</b>	4.481 ± 0.303	2.332 ± 0.922	30.152 ± 0.182	17.99 ± 0.034	4.078 ± 0.279	40.967 ± 0.152
<b>Almidón de papa</b>	8.305 ± 0.662	0.275 ± 0.041	0.001 ± 0.002	1.267 ± 0.0472	0.239 ± 0.314	89.914 ± 0.021

En la presente tabla se muestran los resultados obtenidos del Bagazo de Malta Cervequera (BMC), se trabajó con la variedad Pale Ale, se comparó en la investigación de Limones (2023) que los datos de ceniza es 2.16%, fibra 8.42%, grasa 3.43%, proteína 12.02% son mayores a los obtenidos en la tabla 11 y menor en carbohidratos con 75.86%. Sanna *et al.* (2011) en su investigación reportó una humedad de HBM similar a la presente investigación con 4.60%, en el caso de los investigadores Wilkinson *et al.*, (2014) y Dhillon *et al.*, (2012) también reportaron similitud en el análisis de cenizas con los datos

de 2.70% y 2.60% respectivamente. Villares (2022) en su reporte manifesto que la composición proximal, de HBM es 10.43% de humedad, 7.05% de ceniza, 27.43% fibra cruda y 55.09% carbohidrato, cuyos valores son lejanos a los mostrados en la tabla 11, estas diferencias de valores pueden corresponder a la variedad de cebada, a la zona de cultivo como la composición mineral del suelo, del cual la planta absorbe los nutrientes Corpus *et al.* (2024). Es importante tomar en cuenta que la harina de bagazo de malta cervecera se utilizó como fibra y en ella contiene celulosa, lo que aporta estabilidad y resistencia al bioplástico (Barrios *et al.*, 2023). Según (Moreno, 2017), la hemicelulosa y celulosa son polímeros interesantes ya que pueden convertirse en materiales naturales, biogás, entre otros.

Referente a la composición proximal del Almidón de papa variedad amarilla, se pudo comparar datos con diversos autores que utilizaron para sus investigaciones esta variedad de papa tales como Vargas *et al.*, (2021) manifiesta en su reporte de investigación los datos de 9.43% de Humedad, 0.36% Cenizas, 0.04% Grasa, 0.51% Proteína, 0.00 Fibra y 89.66% Carbohidratos equivalentes al informe actual, a diferencia de proteína con un valor de 0.757% y grasa con un valor de 0.199%; en el caso de Montoya *et al.*, (2023), en su investigación reporta contenido de 10% humedad, 87.79% carbohidrato, 1.18% proteínas, 0.15% lípidos, 0.26% cenizas y 24.35% amilosa, difiriendo en 1.695% de humedad, estas variaciones pueden deberse a la zona de cultivo como también al método que se emplea para la extracción del almidón; referente a los valores del almidón de papa, se puede establecer el rango que requiere el almidón para su uso en la innovación de materiales bioplásticos y afines.



Aguilar *et al.*, (2016) menciona que el almidón contiene 20% amilosa y 80% amilopectina, siendo estos digeridos de manera rápida por microorganismos, generando la posibilidad de fabricar papel compostable y otros materiales biodegradables, respecto a los datos mostrados en la tabla 11, son valores cercanos a los manifestado por el autor, encontrándose útil esta materia prima para diversos usos. Amilosa, necesaria para la síntesis de almidones resistentes, especifica las características estructurales y tecnológicas del almidón y aumenta propiedades importantes en el sector alimentario como las propiedades mecánicas y la gelatinización. Lemos *et al.* (2019).

**Tabla 12**

*Valores de Amilosa y Amilopectina*

	<b>Amilosa %</b>	<b>Amilopectina%</b>
<b>Almidón de papa</b>	33.2946972	66.7053028

En la tabla 12 se observa la cantidad de 33.29% amilosa y 66.71 % amilopectina obtenida del almidón de papa amarilla, comparando con la investigación de Aguilar *et al.*, (2016) Se demostró que en 1,2850 gramos de papa amarilla hay 85,10% de almidón; en 1,097 gramos de papa blanca hay 75,81% de almidón; en 1,241 gramos de papa ccompis hay 84,50% de almidón; en 1,107 gramos de papa peruanita hay 78% de almidón; y en 1,1023 gramos de la variedad huamantanga hay 77,86% de almidón.

## 2. ANÁLISIS FÍSICOS DE LAS BANDEJAS BIODEGRADABLES

### 2.1. Análisis del color

Se muestran los valores de los parámetros (luminosidad y Cromasidad ( $L^*$ ,  $a^*$  y  $b^*$ )), donde el color de las bandejas biodegradables tiene una variación significativa entre la media de un tratamiento y otro.

En la tabla 13, se muestra las medias de los diferentes tratamientos de las bandejas biodegradables de la parte superficial, respecto al color, habiendo una disminución de esta al adicionar harina de bagazo de malta cervecera (HBM), lo que refleja una Gama de tonos en la parte superficial de las bandejas biodegradables. (Anexo 5)

**Tabla 13**

*Parámetros del color de los diferentes tratamientos de bandejas biodegradables*

TRATAMIENTOS	$L^*$	$a^*$	$b^*$	COLOR
<b>T1</b>	$73.067 \pm 1.289^a$	$0.03 \pm 0.195^d$	$11.493 \pm 3.172^b$	$73.682 \pm 1.312^a$
<b>T2</b>	$62.633 \pm 1.022^b$	$3.517 \pm 0.190^c$	$15.077 \pm 0.224^a$	$64.520 \pm 0.943^b$
<b>T3</b>	$56.007 \pm 0.702^c$	$4.617 \pm 0.191^b$	$15.343 \pm 0.095^a$	$58.254 \pm 0.702^c$
<b>T4</b>	$53.650 \pm 1.178^c$	$5.513 \pm 0.139^a$	$15.36 \pm 0.150^a$	$56.077 \pm 1.204^c$
<b>T5</b>	$49.110 \pm 1.780^c$	$5.80 \pm 0.103^a$	$15.517 \pm 0.0971^a$	$51.540 \pm 1.703^d$

*Nota.* Valores de resultados expresados en media de 3 muestras  $\pm$  desviación estándar a -b -c -d -e. Según la Prueba de Fisher ( $p < 0,05$ ), existe diferencias significativas entre las medias aritméticas de los tratamientos en la misma columna, y se representa con diferentes letras en pequeño.

#### Parámetro color

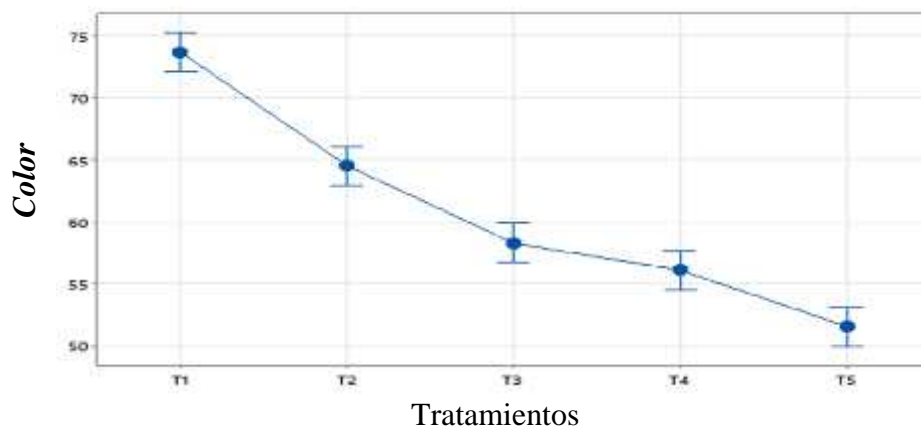
En la tabla 13 en el parámetro color, resalta para cada tratamiento un color más oscuro  $T1 < T2 < T3 < T4 < T5$ , reduciendo el parámetro  $L^*$ , lo que ocasionó un incremento de los parámetros  $a^*$  y  $b^*$  mostrando un color rojo ( $a^+$ ) / verde ( $-a$ ), muy pronunciado, el color amarillo ( $b^+$ ) / azul ( $b^-$ ), acrecentando el diferencial de color total E (Barrios *et al.*,

2023), este resultado se debe a que la lignina, se encuentra presente en la fibra y que al ser sometida a altas temperaturas, se produce una separación de las cadenas alifáticas del anillo aromático, (Cruz *et al.*, 2019) ocasionando un rompimiento de los enlaces C-C entre las unidades estructurales de lignina, lo que oscurece a las bandejas (Luna *et al.*, 2021), por reacciones de Maillard (pardeamiento no enzimático) (Romero, 2019).

Se analizó mediante un ANOVA con tres réplicas, el color de los cinco tratamientos. El estudio reveló que la variación de los porcentajes de fibra de bagazo de malta cervecera y de residuos de almidón de papa, resultó en una variación significativa del color promedio entre los niveles de tratamiento (valor  $p < 0,05$  con un nivel de 95,0 % de confianza) como se muestra en la tabla 14. De esta manera se demuestra que hay variación de tonos en las bandejas en la parte superficial. Se determinó el gráfico de dispersión y valores del parámetro color de los tratamientos, mediante la prueba de Fisher, figura 9.

### Figura 9

*Gráfico de dispersión y medias del Color de las Bandejas Biodegradables*



**Tabla 14***Análisis de Varianza (ANOVA) del Color de las Bandejas Biodegradables*

<b>Fuente</b>	<b>Grados de Libertad</b>	<b>Suma de Cuadrados</b>	<b>Cuadrado Medio</b>	<b>Valor F</b>	<b>Valor p</b>
Factor	4	882.89	220.722	148.09	0.000
Error	10	14.90	1.490		
Total	14	897.79			

Se tomó en cuenta cada parametro, para exponer el comportamiento del diferencial de color, observandose.

Parámetro luminosidad L\*

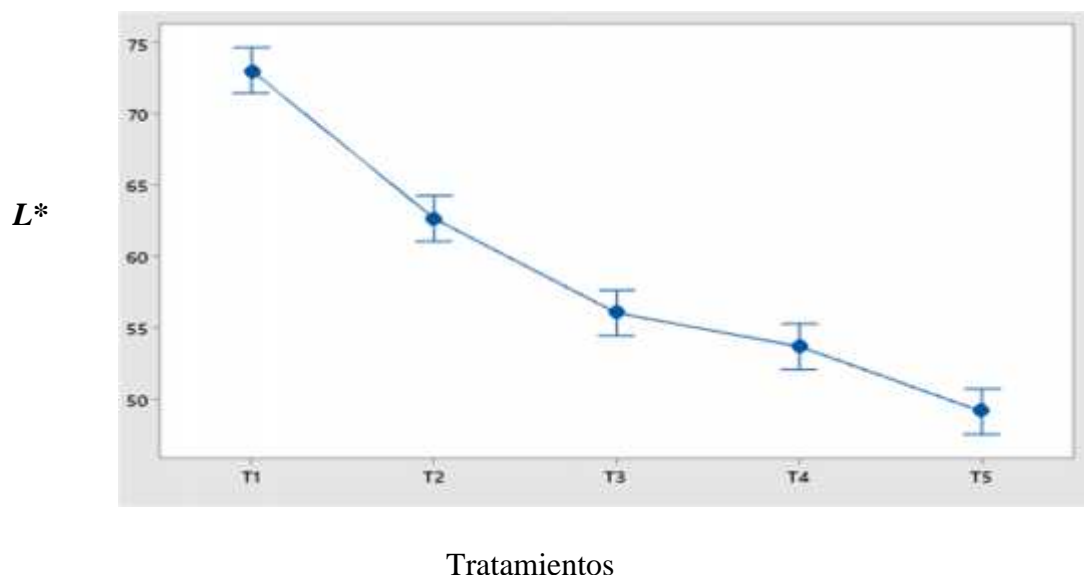
En la tabla 13, el parametro luminosidad (L\*) de las bandejas biodegradables va en descenso, debido al aumento de la concentracion de HBM, siendo el mayor valor, el tratamiento T1 (100% AP – 0% HBM) seguido por el T2 (90% AP – 10% HBM), T3 (80% AP – 20% HBM), T4 (70% AP – 30% HBM) y con menor valor de luminosidad el tratamiento T5 (60% AP – 40% HBM), mostrandose un color marron oscuro con una cifra de 49.110 siendo un valor cercano, al dato obtenido en la investigacion de Cruz et al. (2019) quien presenta bandejas elaboradas con bagazo de caña y cascara de esparrago y almidón de boniato con una valoración inferior a 50.4. El valor de luminosidad del tratamiento (T3) es igual al manifestado en la investigacion de Cruz (2021), quien elaboró bandejas biodegradables con fibra y almidón de pseudotallo de banana en proporcion A:90%/10%HPB es 56.69, respecto a los demas tratamientos del autor muestran valores cercanos a los mostrados en la tabla 13 (A: 100%/0%HPB es 68.44; A: 95%/5%HPB es 61.67 y A: y A: 80%/20%HPB es 51.52), observandose que hay una mayor luminosidad a menor proporcion de fibra. Machado *et al.* (2020) menciona que el oscurecimiento

(perdida de luminosidad) se debe a las reacciones de proteínas y carbohidratos de la materia, que se da por las altas temperaturas y presión en el proceso del termoformado, siendo el almidon el menos afectado debido a la carencia de proteina, resultando un valor  $L^*$  mayor respecto a los otros tratamientos.

Se realizó un análisis de varianza ANOVA del parámetro  $L^*$  de los cinco tratamientos , utilizando tres repeticiones. La Tabla 15 muestra que los diversos porcentajes de almidón de papa descarte y harina de bagazo de malta cervecera tienen un impacto significativo (hay diferencia estadísticas significativas) en el parametro, resultando un valor  $p < 0.05$ , con un nivel de confianza de 95%. Se determino el grafico de dispersion y medias del parametro  $L^*$  de los tratamientos, mediante la prueba de Fisher, figura 10.

### Figura 3

*Gráfico de dispersión y medias del parámetro luminosidad ( $L^*$ )*



**Tabla 15**

*Análisis de Varianza (ANOVA) para el Parámetro Luminosidad (L\*)*

<b>Fuente</b>	<b>Grados de Libertad</b>	<b>Suma de Cuadrados</b>	<b>Cuadrado Medio</b>	<b>Valor F</b>	<b>Valor p</b>
Factor	4	1039.23	259.807	167.14	0.000
Error	10	15.54	1.554		
Total	14	1054.77			

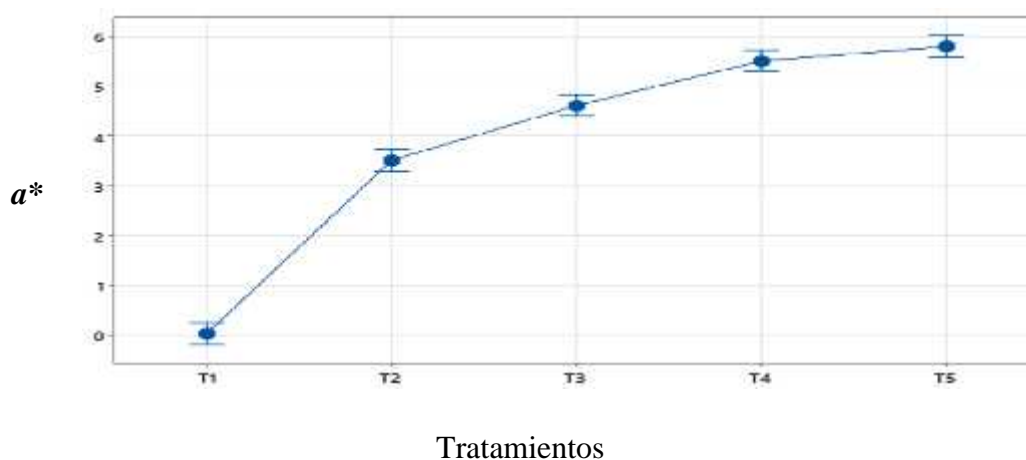
Para el parámetro a\*

En la tabla 13 se observa que los valores se encuentran en el rango de (0.03 a 5.803) donde al aumentar HBM las medias también aumentan, variando de un tono rojo claro a un color más oscuro como lo menciona Cruz-Tirado *et al.* (2019), notándose que las medias de los tratamientos T1, T2, T3 no comparten letra siendo estas significativamente diferentes, también se puede observar que los tratamientos (T2, T3, T4 y T5) al contener HBM e ir en aumento los valores en cada tratamiento, varían del tratamiento control T1: 0% HBM con un valor de 0.03, a diferencia de Ponce *et al.* (2023), quien trabajó en su investigación con almidón de *Manihota Sculenta* (Yuca) y fibra de *Cynara Scolymus* (alcachofa) que muestra un valor negativo de -0.10, mientras que Corpus *et al.* (2024) quien trabajó con almidón de semilla de mango y residuos de la industria azucarera y molinera de arroz, muestra un valor mayor de 2.513.

Se realizó un análisis de varianza sobre el parámetro a\* para los cinco tratamientos, que se llevaron a cabo por triplicado. La tabla 16 demuestra que los diversos porcentajes de almidón de papa descarte y harina de bagazo de malta cervecera influyen significativamente (hay diferencia estadísticas significativas) en el parámetro, resultando un valor  $p < 0.05$ , con un nivel de confianza de 95%. Se determinó el gráfico de dispersión y medias del parámetro a\* de los tratamientos, mediante la prueba de Fisher, figura 11.

**Figura 4**

*Gráfico de dispersión y medias del parámetro Cromasidad( $a^*$ )*



**Tabla 16**

*Análisis de Varianza (ANOVA) para el Parámetro Cromasidad ( $a^*$ )*

Fuente	Grados de Libertad	Suma de Cuadrados	Cuadrado Medio	Valor F	Valor p
Factor	4	65.5887	16.3972	583.39	0.000
Error	10	0.2811	0.0281		
Total	14	65.8698			

Para el parametro  $b^*$

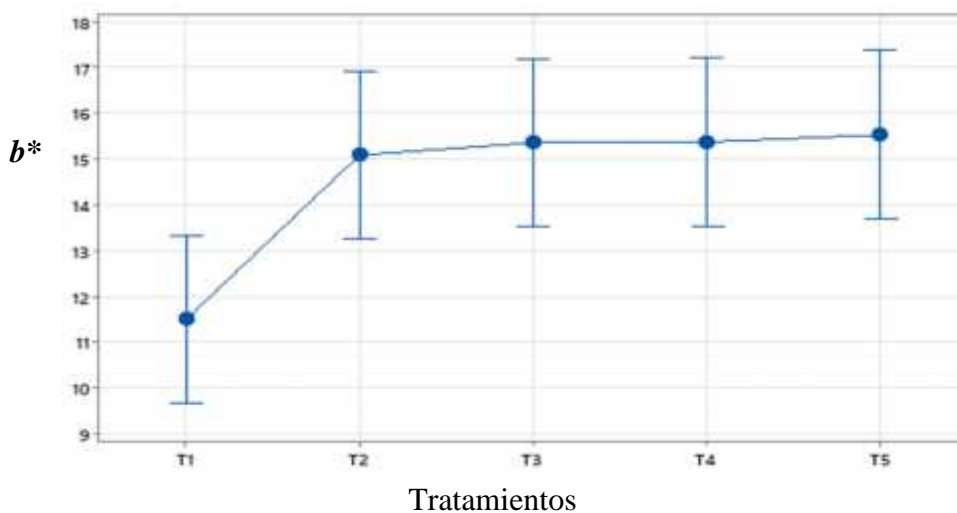
El incremento de las medias, se debe al aumento de la concentracion de HBM en cada tratamiento, se encuentra en el rango de 11.493 a 15.517 apareciendo un tono amarillento, mostrandose que los tratamientos T2, T3, T4 y T5 comparten la misma letra siendo estadisticamente homogeneas, a diferencia del T1, y esto se debe a que en este tratamiento hay 0% HBM, estos valores son semejantes a lo reportado por Matos *et al.* (2022) en los tratamientos T1, T5, T7 con valores de 15.5, 15.7 y 15.9 respectivamente, Corpus *et al.* (2024) muestra valores menores en la mayoria de los tratamientos T1, T3, T5 y T6 que va desde 13.94 a 14.72, teniendo valor similar en el T2 con 15.5 y un valor mayor lejano a

los datos mostrados en la tabla 16, T4: 16.19, a diferencia de la investigación de Barrios *et al.*, (2023) quien reporta solo valores lejanos en un rango de 17.17 a 20.32.

Se realizó un análisis de varianza ANOVA del parámetro  $b^*$  para los cinco tratamientos, realizado por triplicado. La Tabla 17 revela que los diferentes porcentajes de almidón de papa descarte y harina de bagazo de malta cervecera influyen significativamente (hay diferencia estadísticas significativas) en el parámetro, resultando un valor  $p < 0.05$ , con un nivel de confianza de 95%. Se obtuvo el grafico de dispersion y medias del parametro  $b^*$  por tratamiento, mediante la prueba de Fisher, figura 12.

### Figura 52

*Gráfico de dispersión y medias del Parámetro Cromasidad( $b^*$ )*





**Tabla 17**

*Análisis de Varianza (ANOVA) para el Parámetro Cromasidad (b\*)*

<b>Fuente</b>	<b>Grado de Libertad</b>	<b>Suma de Cuadrados</b>	<b>Cuadrado Medio</b>	<b>Valor F</b>	<b>Valor p</b>
Factor	4	35.52	8.880	4.35	0.027
Error	10	20.40	2.040		
Total	14	55.92			

En la tabla 18 se presentan los valores de las propiedades físicas de las bandejas, de cada tratamiento observándose que hay diferencia significativa entre las medias de acuerdo a los análisis de varianza ANOVA.

**Tabla 18**

*Propiedades físicas de las bandejas, humedad, espesor, densidad y capacidad de absorción de agua.*

<b>TRATAMIENTOS</b>	<b>Humedad (%)</b>	<b>Espesor (mm)</b>	<b>Densidad (g/cm<sup>3</sup>)</b>	<b>Cap. Absorción agua (%)</b>
<b>T1</b>	4.6895 ± 0.2339 <sup>a</sup>	2.6333 ± 0.1528 <sup>e</sup>	0.2803 ± 0.0296 <sup>a</sup>	38.71 ± 4.08 <sup>b</sup>
<b>T2</b>	4.0558 ± 0.1291 <sup>b</sup>	3.1000 ± 0.1000 <sup>d</sup>	0.2235 ± 0.0014 <sup>b</sup>	39.46 ± 7.45 <sup>b</sup>
<b>T3</b>	3.5141 ± 0.0244 <sup>c</sup>	3.6000 ± 0.1000 <sup>c</sup>	0.2294 ± 0.0110 <sup>b</sup>	45.39 ± 4.35 <sup>ab</sup>
<b>T4</b>	3.5127 ± 0.0711 <sup>c</sup>	4.0000 ± 0.1000 <sup>b</sup>	0.1916 ± 0.0060 <sup>c</sup>	56.7 ± 19.0 <sup>ab</sup>
<b>T5</b>	3.4200 ± 0.1249 <sup>c</sup>	4.7667 ± 0.2517 <sup>a</sup>	0.1537 ± 0.0119 <sup>d</sup>	69.7 ± 24.6 <sup>a</sup>

*Nota.* Valores de resultados expresados en medio de 3 muestras ± desviación estándar a-b-c-d-e. La Prueba de Fisher (p<0,05) muestra diferencia significativa entre las medias aritméticas de los tratamientos en la misma columna, se representaron con letras pequeñas diferentes.

## 2.2. Humedad

La humedad de las bandejas biodegradables en la tabla 18, muestran 3 grupos homogéneos, T3, T4 y T5, observando también que al añadir concentraciones de HMB, los valores de humedad en cada tratamiento empiezan a descender, siendo el mayor valor T1:  $4.6895 \pm 0.2339$  y el menor valor  $T_5 = 3.4200 \pm 0.1249\%$  resultando que la cantidad de HBM es inversamente proporcional respecto a la humedad y al aumentar las concentraciones de almidón de papa se muestra una mayor humedad como es el caso de  $T_1 = 4.6895 \pm 0.2339(100\% \text{ almidón})$  y  $T_2 = (4.056 \pm 0.129)$ , resultando que la adición de almidón de papa directamente proporcional con la humedad. Se deduce que la expansión o moldeado se dio de manera uniforme ya que a medida que aumenta la concentración de HBM, hay menor presencia de humedad. Se realizaron comparación con otros investigadores, según Cruz (2021) muestra en su informe resultados que desde el  $T_I$  al  $T_F$  hay un descenso del % de humedad con un rango de (9.60 a 10.96%) (almidón y fibra de pseudotallo de banano), siendo estos datos superiores a la presente investigación (Barrios *et al.*, 2023), también reporta datos descendentes con un rango de  $(6.48 \pm 0.19)$  (almidón de umarí y tusa de maíz amarillo duro) siendo estos, valores cercanos a los valores presentes en la tabla 18.

Se presentó el ANOVA de la humedad de los diversos tratamientos en la tabla 19, los cuales fueron analizados por triplicado, manifestando que los % de HBM y Almidón de papa, genera una diferencia estadísticamente significativa entre medias de la humedad de los tratamientos (mostrándose en la figura 13 los intervalos de las medias), con un dato de  $p < 0.05$  y un nivel de confianza de 95.0%, con un dato similar al de (Barrios *et al.*, 2023)

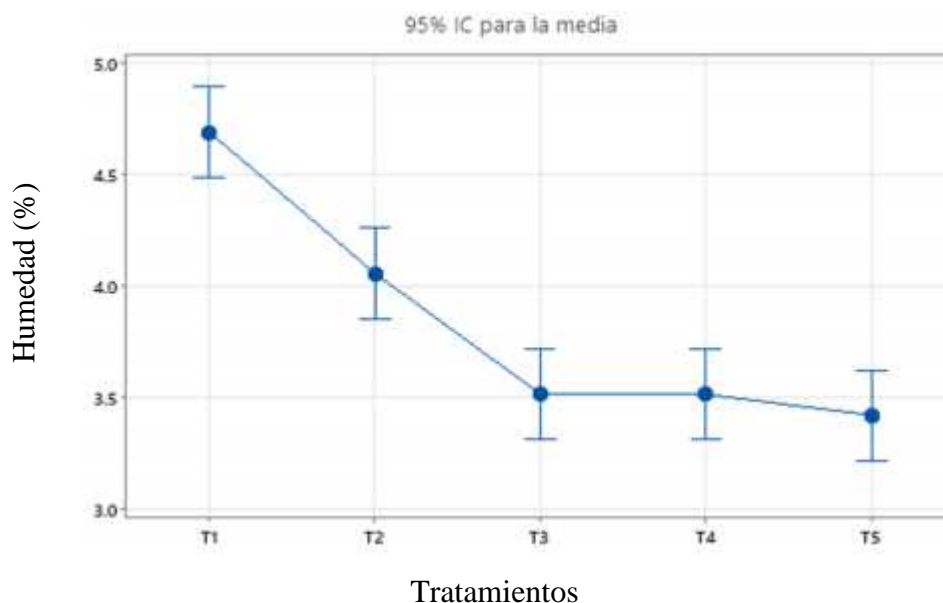
**Tabla 19**

*Análisis de Varianza (ANOVA) del parámetro humedad*

<b>Fuente</b>	<b>Grados de Libertad</b>	<b>Suma de Cuadrados</b>	<b>Cuadrado Medio</b>	<b>Valor F</b>	<b>Valor p</b>
Factor	4	3.4737	0.86842	35.07	0.000
Error	10	0.2477	0.02477		
Total	14	3.7213			

**Figura 6**

*Gráfico de intervalos de la media de los tratamientos del parámetro humedad de las bandejas biodegradables*



### 2.3. Espesor

Respecto a los espesores, obtenidos de la caracterización de las bandejas de HBM y almidón de papa rastrojo se encuentran en un rango de  $2.6333 \pm 0.1528$  a  $4.7667 \pm 0.2517$ . observándose en la tabla 18 que cada tratamiento es diferente estadísticamente uno del otro. El espesor de las bandejas biodegradables, tiende a aumentar, esto puede deberse a la adición de HBM e insumos como, goma Guar, estearato de magnesio y glicerol (Ponce *et al.*, 2023), los cuales interfirieron

con el proceso de creación de la espuma y el hinchamiento del almidón, haciendo la masa más viscosa y evitando su expansión uniforme en cada tratamiento. Los valores obtenidos en la tabla 18 fueron superiores en comparación de las investigaciones de (Barrios *et al.*, 2023) quien reporto datos de  $(2.20 \pm 0.07$  a  $3.17 \pm 0.03)$ , (Ponce *et al.*, 2023)  $(2.37 \pm 0.19$  a  $3.39 \pm 0.67)$ , (Matos *et al.*, 2022)  $(2.467 \pm 0.080$  a  $3.273 \pm 0.19)$ , con los cuales se confirma que el aumento de HBM es directamente proporcional al espesor de la bandeja e indirectamente proporcional con la humedad.

Por medio de la prueba de Fisher realizada a los diferentes tratamientos se observa una expansión uniforme en el tiempo del termoprensado, reflejando también el aumento del espesor, cuanto mayor es la adición de HBM.

Se realizó el ANOVA del espesor, tabla 20 de los diferentes tratamientos por triplicado, resultando que los espesores son superiores respecto al tratamiento control, y debido a la adición de HBM se mostraron diferencias significativas valor  $p < 0.05$ , con 95.0% de confianza. En la figura 14 se muestran los intervalos de las medias de cada tratamiento que va en aumento debido a la concentración de HMB.

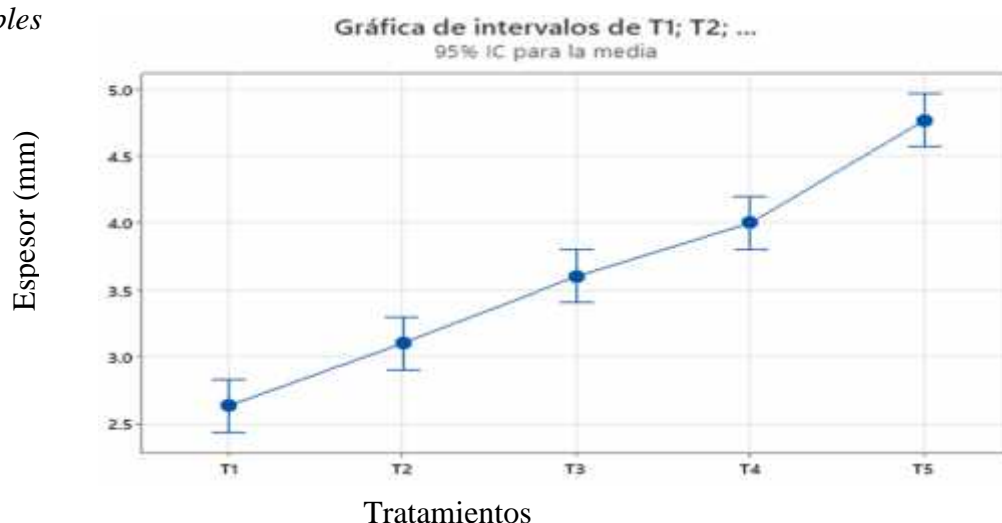
**Tabla 20**

*Análisis de Varianza (ANOVA) del parámetro Espesor*

<b>Fuente</b>	<b>Grados de Libertad</b>	<b>Suma de Cuadrados</b>	<b>Cuadrado Medio</b>	<b>Valor F</b>	<b>Valor p</b>
Factor	4	8.1107	2.02767	86.90	0.000
Error	10	0.2333	0.02333		
Total	14	8.3440			

**Figura 7**

*Gráfico de intervalos de la media de los tratamientos del parámetro espesor de las Bandejas Biodegradables*



## 2.4. Densidad

La densidad (cantidad de masa contenida en un determinado volumen), en la tabla 18 muestra que hay dos grupos estadísticamente iguales el T2 y T3; las medias de las bandejas biodegradables, se encuentran en el rango de  $0.1537 \pm 0.0119$  a  $0.2803 \pm 0.0296$  g/cm<sup>3</sup>, siendo el mayor el T1:  $0.2803 \pm 0.0296$  y el menor valor T5:  $0.1537 \pm 0.0119$ , siendo estos valores superiores a los envases de poliestireno con una densidad de 0.041 a 0.06g/cm<sup>3</sup> (Cabanillas *et al.*, 2019), siendo útil como referencia por ser estandariza, de manera general se observa que a mayor concentración de HBM en cada tratamiento, la densidad comienza a disminuir. Haciendo una comparación de los valores obtenidos en la tabla 18 con diferentes investigaciones, se manifiesta en Aguirre, (2023) valores semejantes estando en un rango de 0.17 a 0.29 g/cm<sup>3</sup>, en bandejas de almidon de yuca y fibra de panca de maíz; al igual que Matos *et al.*(2022), muestra un valor de densidad promedio de 0.26 g/cm<sup>3</sup> trabajados con (fibra de semilla de palta y almidón de persea americana - palta y mangifera indica – mango), como también, Zuñiga (2024) tambien muestra valores cercanos, con un rango que oscila de 0.196 a 0.311, en bandejas biodegradables de cascarilla de arroz y cushuro; a pero menores a los de Diaz-Diaz *et. al.* (2023) que mostro valores mas elevados de

(0,4789 a 0,7083 g/cm<sup>3</sup>) trabajados con (fibra de tacòn de esparrago y almidon de papa) y los de Aguilar, (2023) con valores de (0.70 – 0.86 g/cm<sup>3</sup>), en bandejas elaboradas con almidon de yuca y fibra de semilla de palta; se puede decir que la HBM se comporto de manera similar a la panca de maiz y a la cascarilla de arroz ya que al ser adicionadas estas fibras las bandejas biodegradables resultaron con una menor densidad al igual que en esta investigación.

Se realizó el ANOVA, como se muestra en la tabla 21 para la densidad de los diferentes tratamientos, los cuales fueron analizados por triplicado, donde se muestra que los porcentajes de Almidón de papa y Harina de Bagazo de Malta Cervejera influyen de manera significativa en medias de la densidad, resultando un  $p < 0.05$ , y 95.0% de confianza, se realizó mediante la prueba de Fisher. En la figura 15 se muestran los intervalos de las medias de cada tratamiento que van en descenso.

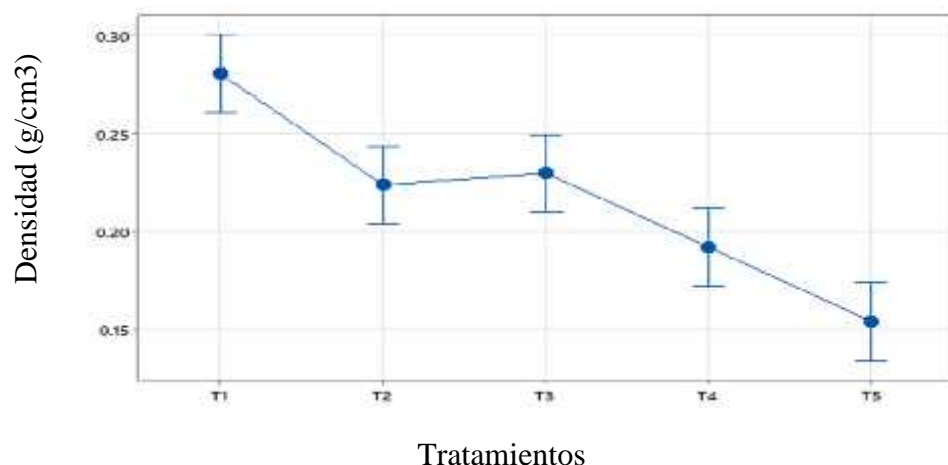
**Tabla 61**

*Análisis de Varianza (ANOVA) del parámetro densidad*

<b>Fuente</b>	<b>Grados de Libertad</b>	<b>Suma de Cuadrados</b>	<b>Cuadrado Medio</b>	<b>Valor F</b>	<b>Valor p</b>
Factor	4	0.026514	0.006628	28.11	0.000
Error	10	0.002358	0.000236		
Total	14	0.028872			

**Figura 15**

*Gráfico de intervalos de la media de los tratamientos del parámetro densidad de las bandejas biodegradables*



## 2.5. Capacidad de absorción de agua

Los valores de Capacidad de Absorción de agua, luego de la inmersión en agua por 30 segundos, oscilaron entre  $38.71 \pm 4.08$  a  $69.7 \pm 24.6$ , porcentajes muy similares fueron los valores de Arevalo, (2023) entre 2.18 a 80.76%, en bandejas biodegradables de almidón de semilla de mango y harina de cascara de mango, al igual de (Romero, 2019) manifiesta un valor promedio 55.41%, diferente de Cruz-Tirado *et al.*, (2019) quien presentó datos superiores de 72.23 a 75.57% y Barrios *et al.*, (2023), muestra valores menores tales como  $(21.863 \pm 0.93$  a  $39.050 \pm 1.07\%)$ ; Se comprende que las bandejas pueden ser usadas para materias secas y sólidas que no se derritan, la cap. de abs. de H<sub>2</sub>O aumenta debido a que esta, no contiene amilosa en elevadas concentraciones por lo que se deduce que a grandes % de amilosa hay una fuerza mayor de atracción entre los granulos de almidón, impidiendo así la entrada de H<sub>2</sub>O al granulo (Matos *et al.*, 2022). Mientras mayor sea la cantidad de fibra hay mayor absorción de agua ya que genera grandes espacios vacíos, por la alteración de la interacción de la matriz polimérica. Los altos

porcentajes de CAA es un problema que presentan en comun las bandejas biodegradables debido a la naturaleza hidrofílica de los diferentes almidones empleados (Tapia-Blácido *et al.*, 2022).

Se realizó un análisis estadístico ANOVA, tabla 22, para la Cap. Abs. de H<sub>2</sub>O (CAA), de los diferentes tratamientos, los cuales fueron analizados por triplicado, mostrándose que las proporciones de almidón de papa y HMB, no genera una diferencia estadísticamente significativa de las medias en el parámetro Cap. de Abs. de Agua, resultando un valor  $p > 0.05$ , 95.0% de confianza, realizado mediante la prueba de Fisher. En la figura 16 se muestra el comportamiento de las medias, que van en aumento.

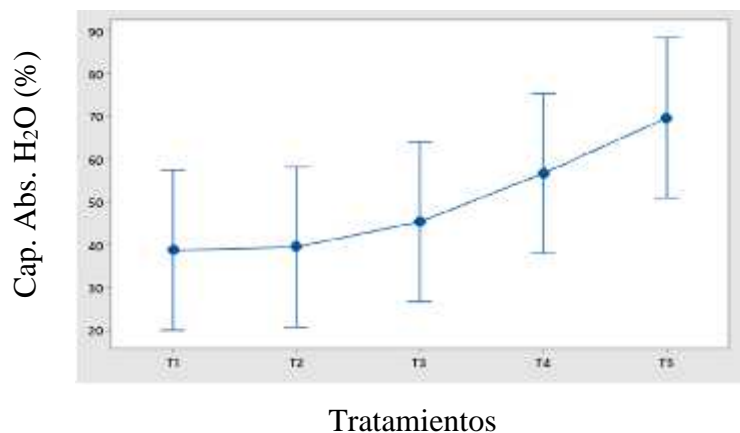
**Tabla 7**

*Análisis de Varianza (ANOVA) del parámetro capacidad de absorción de agua*

Fuente	Grados de Libertad	Suma de Cuadrados	Cuadrado Medio	Valor F	Valor p
Factor	4	2073	518.2	2.45	0.114
Error	10	2115	211.5		
Total	14	4188			

**Figura 8**

*Gráfico de intervalos de la media de los tratamientos del parámetro capacidad de absorción de agua de las Bandejas Biodegradables*





En la tabla 18 se presentaron tratamientos con valores favorables en el parametro humedad, siendo  $T_3 > T_4 > T_5$  estos muestran menor porcentaje de humedad, siendo el  $T_5$  el mas bajo, según (Ponce *et al.*, 2023) menciona que es de gran beneficio que en valores de humedad estos sean de intermedios a bajos como los mostrados en la presente investigacion, ya que a cifras altas las bandejas se torna flexible y elastica; para el parametro espesor tenemos que el mas adecuado es  $T_5$ , ya que la mayor adicion de HBM aumenta el espesor, en le parametro densidad observamos que el  $T_4$  y  $T_5$  es el mas adecuado con menor densidad. Resultando que los tratamientos mas factibles son el  $T_4$  y  $T_5$  para productos secos o solido sin derretirse, se debe tener en cuenta que para aprovechar al maximo los residuos órganicos se debe optar por una bandeja que contenga mayor porcentaje de fibra de residuos organicos, haciendo una inclinacion por el tratamiento  $T_5$  el cual contiene un porcentaje de harina de residuos de malta cervecera (HBM) de 40%.

### 3. ANÁLISIS MECÁNICOS DE LAS BANDEJAS BIODEGRADABLES

**Tabla 83**

*Valores de Dureza, Fracturabilidad, Tensión y Elongación.*

TRATAMIENTOS	Dureza (N)	Fracturabilidad (mm)	Tensión (Mpa)	Elongación (%)
<b>T1</b>	$4.440 \pm 0.320^{ab}$	$2.047 \pm 0.244^c$	$2.2730 \pm 0.558^b$	$1.6400 \pm 0.265^a$
<b>T2</b>	$5.610 \pm 0.893^a$	$3.683 \pm 0.172^a$	$2.9230 \pm 0.231^a$	$1.4233 \pm 0.110^{ab}$
<b>T3</b>	$3.720 \pm 0.477^{bc}$	$3.443 \pm 0.345^{ab}$	$2.3067 \pm 0.125^b$	$1.2000 \pm 0.017^{bc}$
<b>T4</b>	$2.987 \pm 0.931^c$	$3.080 \pm 0.622^{ab}$	$1.4200 \pm 0.148^{bc}$	$1.0067 \pm 0.136^{bc}$
<b>T5</b>	$2.867 \pm 0.491^c$	$2.687 \pm 0.732^{bc}$	$0.8467 \pm 0.141^c$	$0.5930 \pm 0.276^c$

*Nota.* Existen diferencias significativas entre las medias de los tratamientos, según la Prueba de Fisher. ( $p < 0.05$ )

Los valores de las propiedades mecánicas (dureza, fracturabilidad, tensión y elongación) se muestran en la tabla 23, siendo estos datos de gran importantes para determinar la utilidad de las bandejas.

### **3.1. Dureza**

Los valores que se presentaron en la Tabla 23 en el parámetro Dureza (N), (prueba de resistencia a la perforación, soporte de pesos sin romperse) nos muestra que adicionar en cada tratamiento mayor porcentaje de HBM, disminuye el valor de dureza, siendo el mayor valor el  $T_2 = 5.610 \pm 0.893N$  (90%almidón y 10%HBM) tratamiento que supero en valor al  $T_1 = 4.440 \pm 0.320N$  control (100%almidón) pero siendo significativamente iguales estadísticamente, y el menor valor el  $T_5 = 2.867 \pm 0.491$  (60%almidón y 40%HBM); siendo estadísticamente igual al  $T_3$  y  $T_4$  esto demuestra que la HBM tiene una relación inversamente proporcional con el parámetro dureza, ya que al añadir HBM en porcentajes cada vez mayores en cada tratamiento hay una ligera disminución en la resistencia mecánica de las bandejas biodegradables, cabe la posibilidad que este fenómeno ocurra por una disminución de concentración de celulosa en la fibra, debió a su insolubilidad en agua (Ponce *et al.*, 2023), se puede decir tambien que la fibra debilito la cohesion de las estructuras de almidón y disminuyó su expansión, generando discontinuidad en la matriz polimerica, (Cabrera-Guevara, 2023) cabe señalar en la practica, se observan bandejas con buena aceptacion para su uso, los valores en el parametro dureza necesitaron menor fuerza de perforación a diferencia una bandeja hecha con material de poliestireno expandido, ya que según (Salmerón, 2019) indica que el valor de la dureza de este material es de 43.47, tomando mas tiempo para su degradacion; por lo que el  $T_5$  es el valor mas bajo, lo que beneficia en una rapida degradacion despues de su uso. Según Rodrigues *et al.*(2020) reporta dato similar a los mostrados en la presente investigacion con una dureza de 5.88N trabajados con las materias de

almidón de subproductos de papa. En el informe de Ponce *et al*, (2023) y Matos *et al*. (2022) manifiestan datos superiores en comparación con la tabla 23 en un rango de  $(13.74 \pm 0.25$  a  $17.27 \pm 0.14\text{N})$  concentración almidón/fibra y  $(19.71$  a  $34\text{N})$  respectivamente.

Se realizó el ANOVA, parámetro Dureza (N) de las diferentes concentraciones, como se muestra en la tabla 24, realizados por triplicado, donde se muestra que las proporciones de almidón y HBM, generan diferencia significativa entre las medias del parámetro, obteniéndose un valor  $p < 0.05$  con un nivel del 95.0% de confianza (Figura 17).

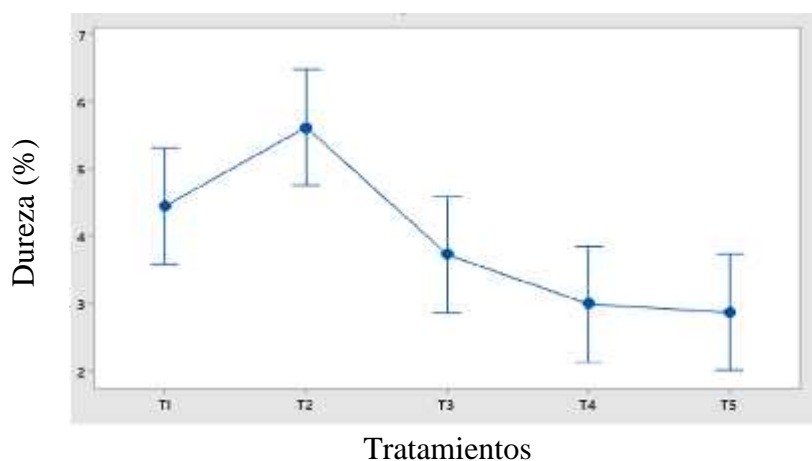
**Tabla 94**

*Análisis de varianza (ANOVA) de las propiedades mecánicas de las bandejas biodegradables, dureza*

Fuente	Grados de Libertad	Suma de Cuadrados	Cuadrado Medio	Valor F	Valor p
Factor	4	15.441	3.8603	8.64	0.003
Error	10	4.470	0.4470		
Total	14	19.911			

**Figura 9**

*Gráfico de medias de la Dureza de las Bandejas Biodegradables*



### 3.2. Fracturabilidad

Parametro de Fracturabilidad/deformación(mm) que evaluó la integridad de las bandejas biodegradables durante el desplazamiento (Aguiar *et al.*,2020). Se muestra en la tabla 23 los valores, mencionando que al adicionar HBM, las medias del parametro fracturabilidad de las bandejas disminuye, ya que se reduce la absorción de agua (Cruz, 2021), y como esta acciona como plastificante, su reduccion ayuda a que la bandejas se deformen menos (Barrios *et al.*, 2023), manifestando que la HBM con respecto al parametro de fracurabilidad tienen una relacion inversamente proporcional, siendo el menor valor que se le añadio fibra y mas adecuado  $T_5 = 2.687 \pm 0.732\text{mm}$  (60%almidon y 40% HBM) y el mayor  $T_2 = 3.683 \pm 0.172\text{mm}$  (90%almidón y 10%HBM), siendo superior al Tratamiento control  $T_1 = 2.047 \pm 0.244\text{mm}$ (100%almidón), reconociendo que estos valores son menores a diferencia de aquellas bandejas hechas con poliestireno, teniendo una distancia de fracturabilidad de 5.54mm (Cabanillas *et al.*, 2019); este fenómeno según (Ponce *et al.*, 2023) en su informe reveló que esto es causado por proteínas que intervienen con la estructura de la matriz polimérica durante la fase de gelatinización , lo que tiene un impacto en la humedad y fracturabilidad de las bandajas. Los valores obtenidos en la tabla 23 son valores similares a los manifestados por Barrios *et al.* (2023) entre (1.43 a 3.19mm) (fibra de tusa de maíz amarillo duro y almidón de umarí); según el informe de Cabanillas *et al.* (2019) reporta una fracturabilidad de 2.31mm (fibra de cascara de piña y almidón de yucha) confirmando que la disminucion de la distancia previa a la fracturacion de la bandeja se debe al aumento de fibra, por el hecho que la fibra disminuye la cap. de abs. de H<sub>2</sub>O y siendo valores menores a lo reportado por Diaz *et al.* (2023) siendo 9.509mm(fibra de tacones de esparrago y glicerina y almidon de papa).

Se realizo el ANOVA, del parámetro fracturabilidad (mm) de las diferentes concentraciones, como se muestra en la tabla 25 los cuales se realizaron por triplicado, mostrandose que los diferentes porcentajes de almidón de papa y HBM, genera una diferencia estadísticamente significativa, obteniendo un  $p < 0.05$ , con 95.0% de confianza. Se determino la diferencia de medias de Fracturabilidad de los diferentes tratamientos, por medio de la prueba de Fisher (figura 18)

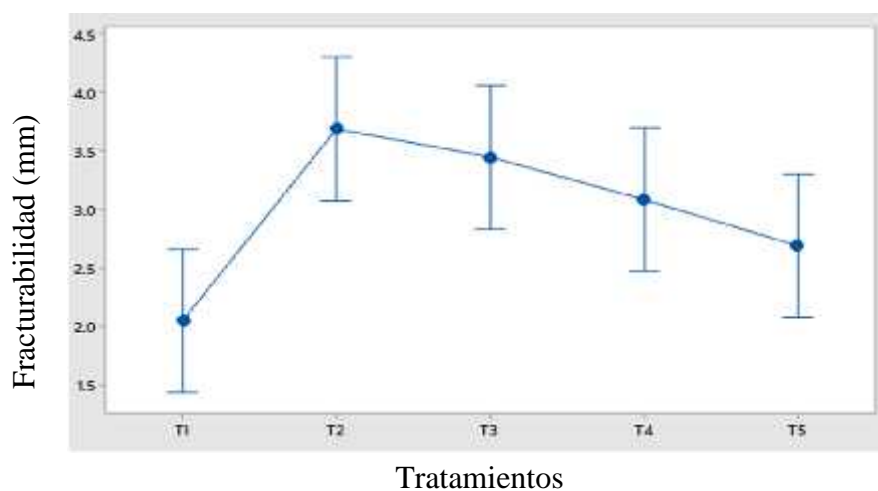
**Tabla 25**

*Análisis de varianza (ANOVA) de las propiedades mecánicas de las bandejas biodegradables, fracturabilidad*

Fuente	Grados de Libertad	Suma de Cuadrados	Cuadrado Medio	Valor F	Valor p
Factor	4	5.029	1.2571	5.55	0.013
Error	10	2.264	0.2264		
Total	14	7.293			

**Figura 10**

*Gráfico de medias de la fracturabilidad de las Bandejas Biodegradables*



### 3.3. Tensión

Los datos que se muestran en la tabla 23, en el parámetro tensión se encuentran en un rango de ( $0.8467 \pm 0.141$  a  $2.9230 \pm 0.231$ Mpa), siendo los tratamientos  $T1 = 2.2730 \pm 0.558$ Mpa,  $T2 = 2.9230 \pm 0.231$ Mpa,  $T3 = 2.3067 \pm 0.125$ Mpa,  $T4 = 1.4200 \pm 0.148$ Mpa valores superiores a la bandeja hecha a base de poliestireno, encontrándose en un rango de 0.10 a 0.58Mpa (Granados, 2021) y siendo el valor más bajo el  $T_5 = 0.8467 \pm 0.141$ Mpa., encontrándose centralmente en el rango de tensión de la bandeja de poliestireno, según (Romero, 2019) reporta una tensión con valor cercano de 0.52Mpa (almidón de arracacha) al  $T_5$  y un valor lejano respecto al  $T1 = 2.2730 \pm 0.558$ Mpa, tratamiento control (100% almidón). Podemos observar en la tabla 23 que la resistencia a la tensión disminuye, al adicionar HBM, puede deberse a la discontinuidad y amontonamiento en las cadenas de almidón, afectando la expansión de este en el proceso del termoformado, también por las altas  $T^\circ C$  en el Termoprensado, haciendo que las capsulas de aire sean más grandes y la resistencia de la bioespuma disminuya (Ponce, 2019). Siendo la HBM inversamente proporcional respecto al parámetro de Tensión. Comparando los datos de la tabla 23 con diferentes autores podemos obtener que Barrios *et al.*(2023) en su informe manifiesta que la resistencia a la tensión de sus bandejas elaboradas a base de almidón de umarí y fibra de tusa- maíz amarillo duro, tiene valores superiores al presente informe que va desde (2.84 a 3.43Mpa), mientras que Matos *et al.* (2022) reporta valores menores con respecto a informe actual que va desde (0.10 a 0.22Mpa), confirmando que el porcentaje de fibra incluido en el almidón determina las propiedades mecánicas. (Beltrán, 2017)

Mediante el análisis de varianza ANOVA, para el parámetro tensión mostró en la tabla 26 que existe una diferencia estadísticamente significativa entre las medias (figura 19) de tensión de

cada tratamiento, debido a los diferentes porcentajes de almidón de papa y HBM, resultando un valor ( $p < 0.05$ ), con 95.0%. que representa un nivel de confianza.

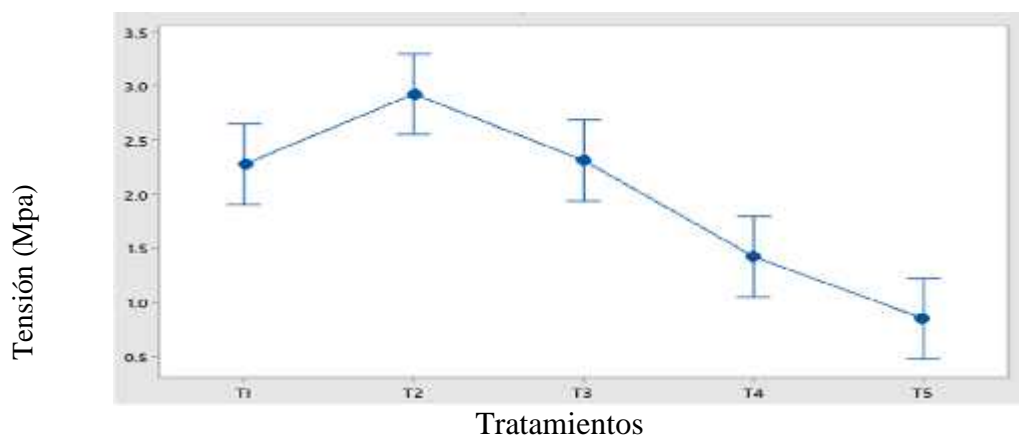
**Tabla 26**

*Análisis de varianza (ANOVA) de las propiedades mecánicas de las bandejas biodegradables, tensión*

Fuente	Grados de Libertad	Suma de Cuadrados	Cuadrado Medio	Valor F	Valor p
Factor	4	8.0319	2.00797	23.79	0.000
Error	10	0.8441	0.08441		
Total	14	8.8760			

**Figura 11**

*Gráfico de medias de la tensión de las bandejas biodegradables*



### 3.4. Elongación

Manifiesta la capacidad de estiramiento de la bandeja y la flexibilidad (Ferreira, 2020); se puede apreciar en la tabla 23 que los valores del parámetro elongación van en forma descendente en el rango ( $1.6400 \pm 0.265$  a  $0.5930 \pm 0.276\%$ ), siendo estos valores inferiores al polietileno expandido comercial con un valor de 2.82% (Cabanillas *et al.*, 2019). Según Luna *et al.* (2021) manifiesta que la presencia de hemicelulosa en la fibra hace disminuir los valores de Tension y

Elongacion, teniendo estas, una relacion inversamente proporcional; los tratamientos con mayor porcentaje de fibra muestran menor valor de Elongacion se encuentran  $T_4 = 1.0067 \pm 0.136\text{Mpa}$  y  $T_5 = 0.5930 \pm 0.276\text{Mpa}$  y aquellos con menor fibra muestran mayor valor de Elongación, tales como el  $T_1 = 1.6400 \pm 0.265\text{Mpa}$  y  $T_2 = 1.4233 \pm 0.110\text{Mpa}$ , también se pudo observar que mientras más sea la densidad (menor flexibilidad), la elongación será menor (Barrios *et al.*, 2023), según (Espinoza *et al.*, 2019) manifiesta que resulta mayor viscosidad en la masa de almidón cuando hay a mayor % de amilosa, generando bandejas biodegradables con buena resistencia mecanica aunque con baja flexibilidad (Díaz, 2021), se observo que los tratamientos T1, T2, T3, T4 y T5 guardan relacion, mostrandose que son estadisticamente iguales, resultando bandejas adecuadas para su uso, entre ellas resaltando al tratamiento T5, la cual contiene mayor porcentaje de residuos agroindustriales con un 40%. Según Cabrera *et al.* (2023) en su informe de investigación reportó datos que estuvieron entre 1.23% y 1.58% , estando estos valores dentro del rango de los valores obtenidos en la presente investigación en el parametro de Elongación. Según (Cruz, 2019) reporto valores de 1.13% fibra arracacha; 1.10% fibra oca y 1.03% fibra camote, siendo estos valores similares a los hallados en la presente investigación

Se realizo el análisis de varianza ANOVA, para la Elongación, tabla 27, de los diferentes tratamientos, los cuales fueron analizados con tres repeticiones, mostrándose que los porcentajes de Almidón de papa y HBM, influyen significativamente entre las medias de los tratamientos (figura 20) del parámetro Elongación, resultando un valor  $p < 0.05$ , con una confiabilidad de 95.0%.



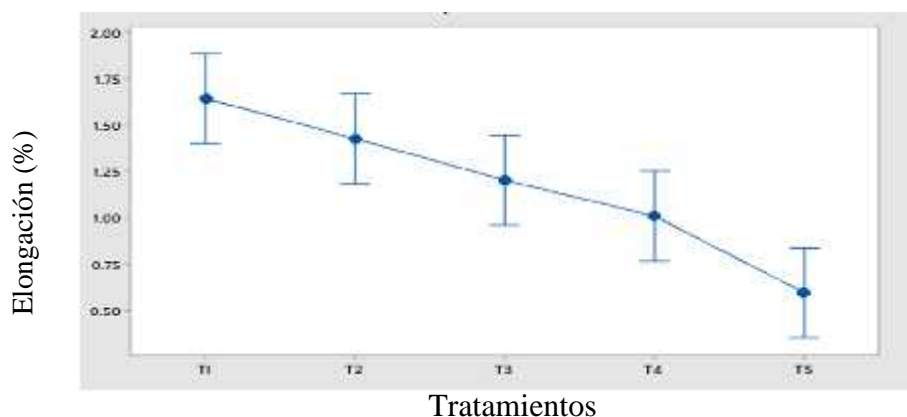
**Tabla 27**

*Análisis de varianza (ANOVA) de las propiedades mecánicas de las bandejas biodegradables, elongación*

<b>Fuente</b>	<b>Grados de Libertad</b>	<b>Suma de Cuadrados</b>	<b>Cuadrado Medio</b>	<b>Valor F</b>	<b>Valor p</b>
Factor	4	1.9355	0.48387	13.66	0.000
Error	10	0.3542	0.03542		
Total	14	2.2897			

**Figura 12**

*Gráfico de medias de la Elongación de las Bandejas Biodegradables*



Se deduce que las bandejas más adecuadas para su uso son aquellas que presentan características mecánicas con valores bajos en Dureza, siendo los tratamiento T4 y T5 los más adecuado, respecto a la fracturabilidad, el T5 tiene menor absorción de agua lo que evitó que se deforme la bandejas, siendo este tratamiento similar al T3 y T4, resultando bandejas aptas; en el parámetro tensión y elongación resultaron aptos todos los tratamientos, se hizo comparación con diferentes investigaciones, resultando que los valores de los tratamientos se encuentra en el mismo rango o cercano , de los cuales se obtuvieron bandejas aptas para su uso; sin embargo se optó por el T<sub>5</sub> =40% de HBM el cual cumple con tener valores adecuados para la elaboración de bandejas biodegradables ya que en este tratamientos, se aprovechó en mayor porcentaje los

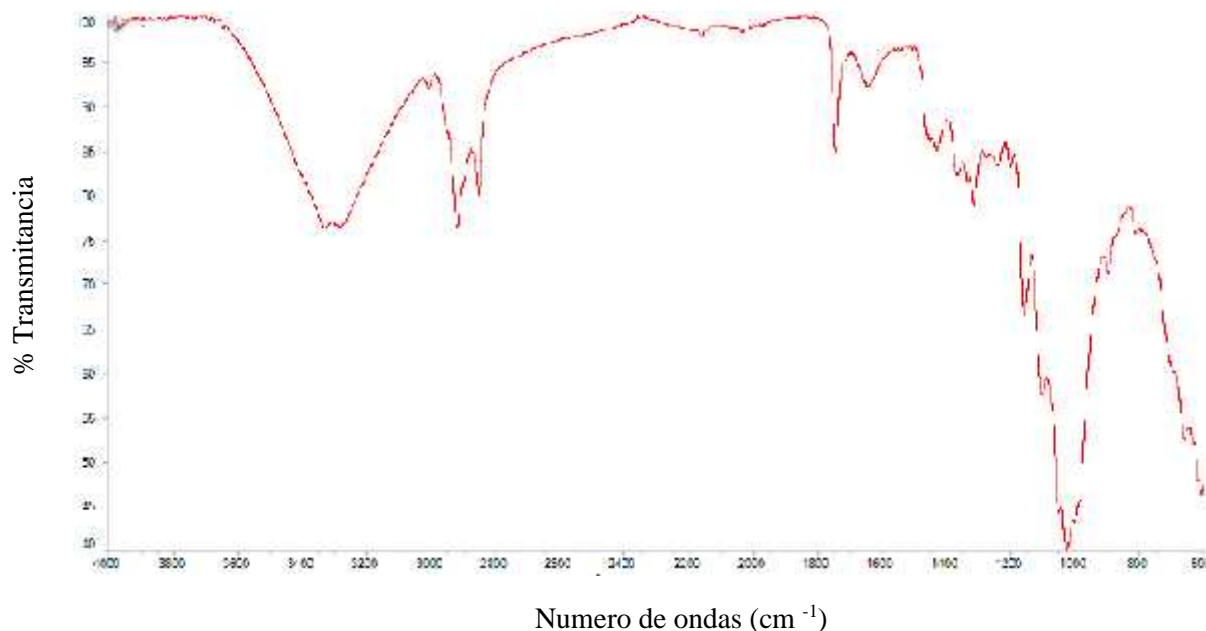
residuos orgánicos que son un problema tanto para el medio ambiente como para las empresas agroindustriales.

#### 4. ANÁLISIS QUÍMICOS DE LAS BANDEJAS BIODEGRADABLES

##### 4.1. ANÁLISIS DE ESPECTROSCOPIA INFRARROJO CON TRANSFORMADA DE FOURIER (FTIR)

**Figura 13**

*Espectro de FTIR de la bandeja con 60% de Almidón y 40% de harina de bagazo de malta cervecera*



En la figura 21, se analizó la caracterización estructural de la bandeja del T<sub>5</sub> = 60% almidón de papa y el 40% Harina de Bagazo de Malta Cervejera, mediante espectroscopia infrarrojo de transformada de Fourier, que es utilizada en la formulación de espumas, en una gama de frecuencia de 600 - 4000 cm<sup>-1</sup>; resolución = 4 cm<sup>-1</sup>, esto se realizó con la finalidad de obtener detalles de la estructura y posibles interacciones del almidón, fibra e insumos (Glicerol, Goma Guar y Estearato de magnesio). Mostrándose en la región comprendida entre 4000 y 1500 cm<sup>-1</sup>

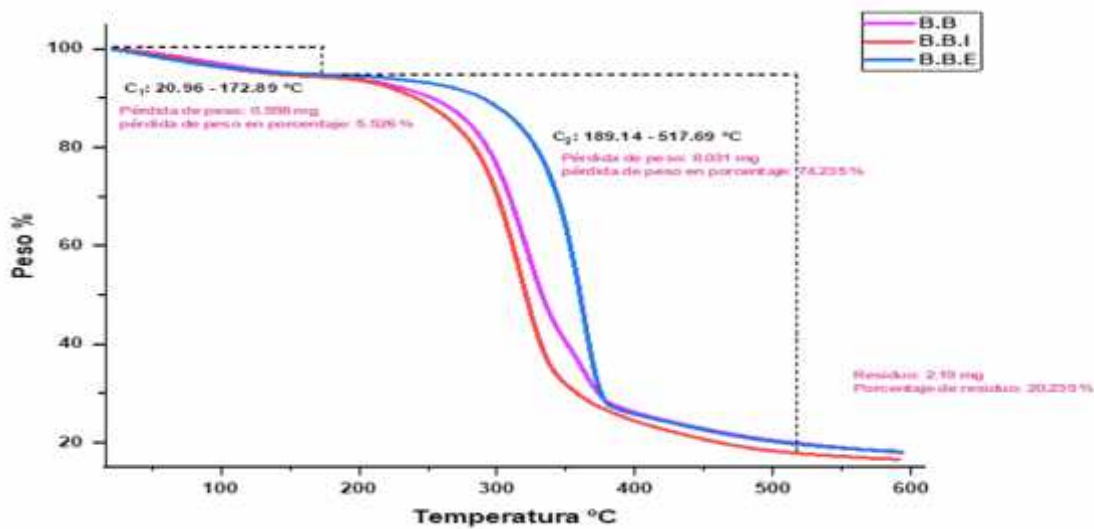
<sup>1</sup>, los grupos funcionales (presentes en las moléculas orgánicas), tales como, los alcoholes alifáticos primarios, Flúor aromático, Fosfatos Inorgánicos, compuestos de Anilina y Sulfóxidos aromáticos. En la región de  $2000 - 1500 \text{ cm}^{-1}$ , aparecen enlaces dobles, de vibración  $\text{C}=\text{C}$  y  $\text{C}=\text{O}$ , la banda asociada con el enlace  $\text{C}=\text{O}$  es intensa, esto se debe dependiendo del compuesto. Como se trabajó con residuos de malta cervecera, se presenta una banda ancha ubicada entre  $3500\text{cm}^{-1}$  y  $3000\text{cm}^{-1}$  la cual se debe a vibraciones de estiramiento del enlace  $\text{H}-\text{O}-\text{H}$ , en la zona situada entre  $1400$  y  $600\text{cm}^{-1}$ , manifiesta vibraciones de alargamiento, como flexión, (se denomina región de huella digital) (Mondragón, 2017)

#### 4.2. ANÁLISIS TERMOGRAVIMÉTRICO (TGA)

Se realizó un análisis térmico de la Bandeja Biodegradable del tratamiento  $T_5 = 60\%$  almidón de papa (AP) y  $40\%$  de Harina de Bagazo de Malta Cervejera (HBM), ya que en este tratamiento los residuos agroindustriales son aprovechados en mayor porcentaje en un  $40\%$ ; el cual se estudió mediante un Analizador Termogravimétrico.

**Figura 14**

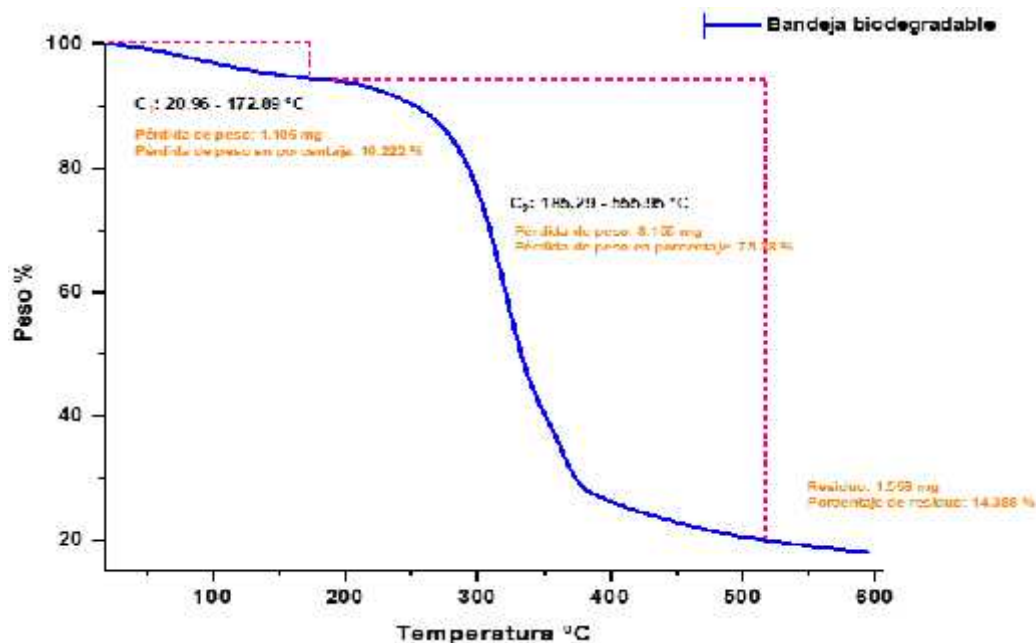
*Termograma de la Bandeja Biodegradable Tratamiento  $T_5$ .*



*Nota:* B.B: bandeja biodegradable (60% AP, 40 % HBM y papel manteca), B.B.I.: bandeja biodegradable parte interna (60% AP, 40 % HBM), B.B.E.: bandeja biodegradable parte externa (papel manteca).

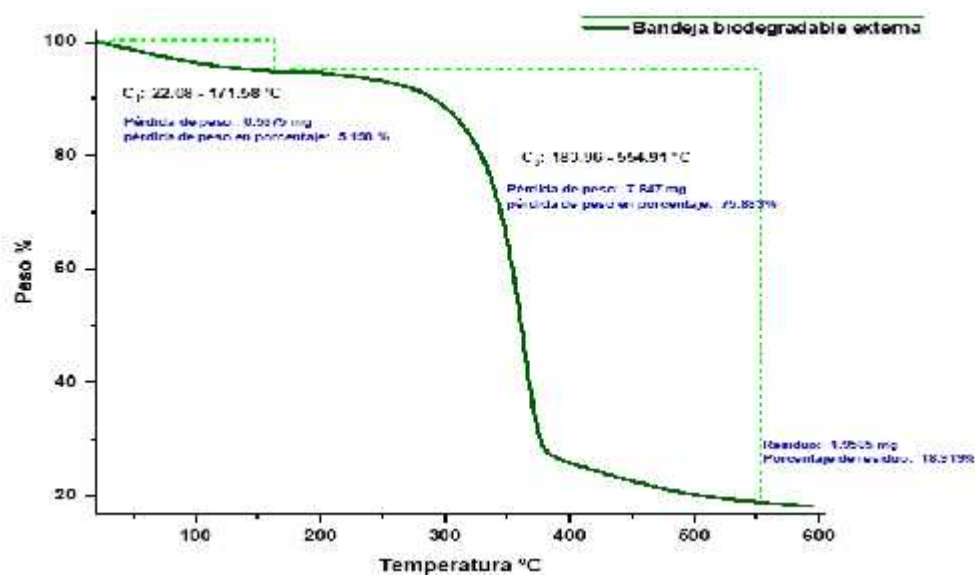
**Figura 15.**

*Análisis de la bandeja biodegradable*



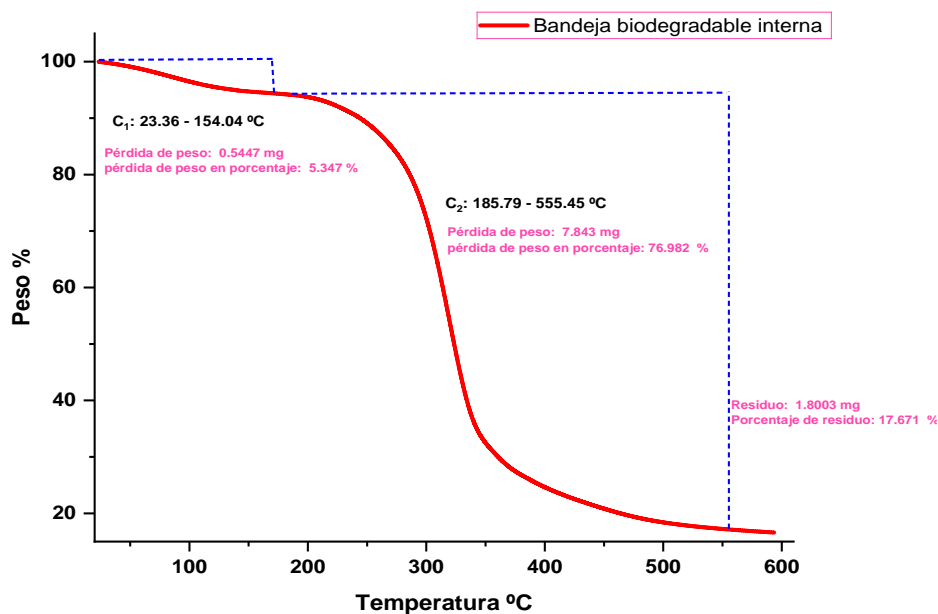
**Figura 16.**

*Análisis de la bandeja biodegradable externa*



**Figura 17.**

*Análisis de la bandeja biodegradable interna*



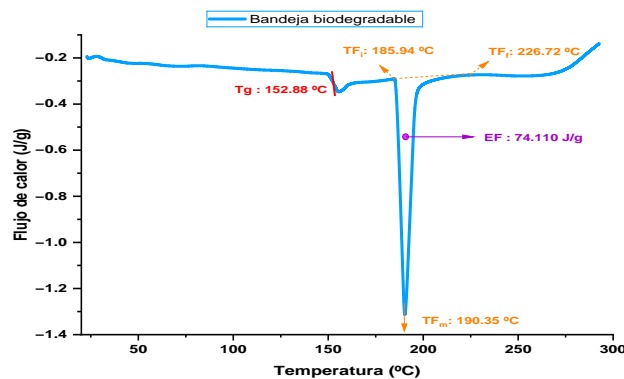
En la figura 22, se muestra el Termograma de una bandeja biodegradable compuesta por Almidón de papa, Harina de bagazo de malta cervecera y papel manteca como cubierta externa. Estos materiales presentaron dos eventos de degradación térmica, así mismo presentaron similares comportamientos térmicos. El primer evento (C<sub>1</sub>: desde los 20.96 °C a 172.89 °C), hace referencia a la ruptura de enlaces de hidrogeno y perdida de los componentes de bajo peso molecular, tal es el caso de agua, teniendo una pérdida de peso de 0.598 mg que representa el 5.526% del total del material. El segundo evento (C<sub>2</sub>: desde los 189.14 °C a 517.69 °C), el cual se asocia a la degradación del principal componente del material que es carbohidrato, teniendo una pérdida de 8.031mg que representa el 74.235% del material. Finalmente quedando 2.19 mg de residuo (ceniza) que representa el 20.239% del total del material. Cabe señalar que en el Termograma se puede apreciar que el material externo del termoformado, que es papel manteco posee una mejor estabilidad térmica, atribuyendo una ligera mejora en la estabilidad del material frente a

la temperatura. Por lo descrito, el material biodegradable posee alta estabilidad y resistencia térmica (Ligarda *et al.*, 2023) (Anexo 15).

#### 4.3. ANÁLISIS CALORIMETRICO DIFERENCIAL DE BARRIDO (DSC)

**Figura 26**

*Grafica del Análisis de Calorimetría Diferencial de Barrido (DSC) de la bandeja biodegradable T<sub>5</sub>*



La grafica de estudio de DSC, para bandejas biodegradables presenta dos eventos térmicos, teniendo picos endotérmicos como la T<sub>g</sub> (temperatura de transición vítrea) y temperatura de fusión. La transición vítrea se puede apreciar a temperatura de 152.88 °C, que está relacionado al cambio de estado vitreo (rígido) a un estado más flexible, lo que atribuye movilidad molecular en el material, siendo un influyente en la flexibilidad y propiedades mecánicas de este. En el caso de la temperatura de fusión se puede visualizar una temperatura inicial de 185.94 °C, temperatura pico de 190.35 °C y temperatura final de 226.72 °C, cuya entalpia de fusión es de 74.110 J/g, siendo el punto en el que se empieza el cambio de estructura solida del material, la entalpia representa la energía necesaria para que ocurra este proceso, finalmente se debe señalar que pasado la temperatura de fusión empieza la degradación del material. Siendo un material muy estable a temperatura ambiente y estable a temperaturas altas (Ligarda *et al.*, 2023)

## **CAPÍTULO V**

### **CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES**

#### **CONCLUSIONES**

- En relación a la combinación óptima de almidón de papa y harina de bagazo de malta cervecera (HBM), se determinó que la combinación más eficiente corresponde al tratamiento T5 (60% almidón de papa y 40% HBM). Esta formulación logró un equilibrio adecuado entre las propiedades físicas y mecánicas, presentando una estructura estable y compacta, lo que garantiza su funcionalidad como bandeja biodegradable.
- En cuanto a las propiedades físicas de las bandejas biodegradables, los resultados mostraron que un mayor contenido de HBM (40%) reduce significativamente la humedad (de 4.056% a 3.139%) y el espesor (de 4.0 cm a 2.633 cm), a la vez que incrementa la densidad (de 0.1546 g/cm<sup>3</sup> a 0.278 g/cm<sup>3</sup>) y la capacidad de absorción de agua (de 38.71% a 69.7%). Estas propiedades evidencian mejoras en la compactación y estabilidad estructural de las bandejas.
- En cuanto a las propiedades mecánicas, el tratamiento T5 mostró valores óptimos de resistencia y flexibilidad, destacándose por una dureza reducida (2.867 N), una menor fracturabilidad (2.687 mm), y valores de tensión y elongación adecuados para su uso práctico. La combinación de almidón y HBM permitió que las bandejas presenten características mecánicas comparables a productos convencionales, pero con una ventaja biodegradable.
- Respecto a la caracterización avanzada mediante FTIR, TGA y DSC, los análisis confirmaron la interacción entre los insumos (HBM y almidón de papa) y la estabilidad térmica del material. El análisis TGA mostró dos eventos de degradación térmica entre 20.96°C - 517.69°C, dejando un residuo cenizo del 20.239%. El análisis DSC identificó una transición vítrea a 152.88°C y una fusión a 185.94°C, con una entalpía de fusión de 74.110 J/g, lo que

sugiere una estructura sólida y estable. Estos resultados respaldan la viabilidad del material para aplicaciones prácticas.

## **RECOMENDACIONES**

- Optimización del proceso de fabricación. Se recomienda fabricar un molde de acero inoxidable como herramienta principal para la elaboración de las bandejas, permitiendo su uso tanto en el horno como en otros modelos de termoformado sin necesidad de la termoprensa. Esto facilitará la estandarización y mejorará la eficiencia del proceso productivo.
- Ampliación de estudios experimentales. Es fundamental realizar estudios adicionales utilizando concentraciones superiores al 40% de fibra de bagazo de malta cervecera. Esto permitirá determinar si mayores proporciones optimizan aún más las propiedades físicas y mecánicas de las bandejas biodegradables.
- Estudio de factibilidad y mercado. Se sugiere llevar a cabo estudios de factibilidad técnica, económica y ambiental, así como analizar la demanda potencial y los canales de distribución del producto. Esto facilitará su implementación a nivel industrial y permitirá identificar oportunidades en mercados interesados en soluciones sostenibles.
- Diversificación de formatos y materiales. Se recomienda expandir la gama de productos en diferentes tamaños y formas para satisfacer diversas necesidades del mercado. Además, se deben explorar nuevas materias primas agroindustriales que puedan combinarse con el almidón de papa y el bagazo de malta cervecera, potenciando la versatilidad y el valor agregado del producto final.



## CAPÍTULO VI

### REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Acevedo Sparrow, S. (2021). *Bandejas biodegradables a partir de almidón de yuca (Manihot Esculenta) y fibras de residuos agroindustriales de Maracuyá (Passiflora Edulis) y Alcachofa (Cynara Scolimus)*. TESIS MAESTRIA, UNIVERSIDAD NACIONAL DEL SANTA.
- Adame, B. (2019). *Obtención De Almidones De Papa (Solanum Tuberosum) Pregelatinizados Usando Calentamiento Óhmico*. Universidad Autónoma de Querétaro.
- Agronet, M. (julio de 2022). Residuos de papa, materia prima para generar combustibles limpios. Facatativá, Colombia-Cundinamarca. Obtenido de <https://www.agronet.gov.co/Noticias/Paginas/Residuos-de-papa,-materia-prima-para-generar-combustibles-limpios.aspx#:~:text=En%20la%20actualidad%20no%20existen,hasta%20181.614%20toneladas%20al%20a%C3%B1o.>
- Agronews Castilla, & León. (2020). *La FAO sitúa la cosecha mundial de cereales 2020*. Obtenido de <https://www.agronewscastillayleon.com/la-fao-situa-la-cosecha-mundial-de-cereales-2020-en-los-2780-millones-de-toneladas-un-28-mas-que-la>
- Aguiar Conya, S., García Veloz, M., & Vallejo Abarca, S. (2020). Diseño y elaboración de utensilios biodegradables a partir de la fibra del tallo del banano (*Musa paradisiaca*) como alternativa de uso para mitigar los impactos ambientales provocados por el plástico. *Ciencia Digital*, vol.4(no.1). doi: <https://doi.org/10.33262/cienciadigital.v4i1.1118>

- Aguilar García, D. (2016). Análisis químico del almidón de papa para la obtención de papel higiénico. *continental*, vol 1(no. 2). Obtenido de <https://journals.continental.edu.pe/index.php/ingenium/article/view/441#:~:text=Se%20concluye%20que%20el%20almid%C3%B3n,papel%20higi%C3%A9nico%20compuesto%20y%20biodegradable.>
- Aguilar, G. J.-B. (2023). Evaluating how avocado residue addition affects the properties of cassava starch-based foam trays. *International Journal of Biological Macromolecules*(124348), 240. doi:<https://doi.org/10.1016/j.ijbiomac.2023.124348>
- Aguirre, E. D.-R.-O.-C. (2023). Biodegradable trays based on Manihot esculenta Crantz starch and Zea mays husk flour. *Food Packaging and Shelf Life*, 38. doi:<https://doi.org/10.1016/j.fpsl.2023.101129>
- Albujar Zelada, M. (2019). *Aislamiento y propiedades de almidón de semillas de frutos*. Trujillo – Perú.
- Alcocer Molina, R. (2024). *APROVECHAMIENTO DEL BAGAZO DE CERVEZA OBTENIDO DE LA ELABORACIÓN DE CERVEZA EN LA PROVINCIA DE AREQUIPA COMO INSUMO PARA ELABORAR PASTA ALIMENTICIA Y SU ACEPTACIÓN POR EL CONSUMIDOR AREQUIPEÑO*. Universidad Católica San Pablo, Arequipa. Obtenido de <https://repositorio.ucsp.edu.pe/backend/api/core/bitstreams/0592aafb-9134-4b97-8b1e-57277d009ffd/content>

- Andrady, A. (2011). *Microplastic in marine enviroment*. Marine Pollution. Obtenido de <https://repository.usta.edu.co/bitstream/handle/11634/10047/Gomez2016.pdf?sequence=1>
- Angeles Chero, P. P. (2015). *DISEÑO DE UN PROCESO INDUSTRIAL PARA OBTENER PLASTICO BIODEGRADABLE (TPS) A PARTIR DE ALMIDÓN DE YUCA manihot sculenta*. LAMBAYEQUE – PERU.
- AOAC. (2005). Official methods of analysis of Association the Official Agricultural Chemists. 1-2(18thed.).
- Araneda, M. (2022). Cereales y derivados, composición y propiedades. *Educación en Alimentación y Nutrición*. Obtenido de <https://www.edualimentaria.com/cereales-y-derivados-composicion-y-propiedades>
- Araujo de Vizcarrondo, C., Rincón, A., & Padilla, F. (junio de 2004). Caracterización del almidón nativo de Dioscorea bulbifera L. *SciELO*, vol. 54(n.2).
- Arevalo, M. d. (2023). *Elaboración de envases biodegradables con cáscara y semilla de mango (Mangifera indica L.)*. Tesis Maestria, Universidad Nacional del Santa, Ancash, Nuevo chimbote -Perú. Obtenido de Repositorio Institucional - <https://repositorio.uns.edu.pe/handle/20.500.14278/4460>
- Arias-Gómez, Jesús;, Villasís-Keever,, M., & Miranda Novales, María Guadalupe. (abril-junio de 2016). El protocolo de investigación III: la población de estudio. *Revista Alergia México*, 63(2), 201-206. Obtenido de <http://www.redalyc.org/articulo.oa?id=486755023011>

- Barnes, D. G. (2009). Accumulation and fragmentation of plastic debris in global environments. *Philosophical Transactions of the Royal Society Biological Sciences*(364), 1985-1998.
- Barreiro , F., & Coronel, A. (2021). *Bagazo de caña de azúcar (Saccharum officinarum) y almidón de yuca (Mianihot esculenta) como sustituto de poliestireno en la elaboración de platos biodegradables*. [Tesis de grado] Escuela Superior Politécnica Agropecuaria de Manabí Manuel Feliz López.
- Barreiro, F., & Bolivar, A. (2021). *Bagazo de caña de azúcar (Saccharum officinarum) y almidón de yuca (Mianihot esculenta) como sustituto de poliestireno en la elaboración de platos biodegradables*. Escuela superior politécnica agropecuaria de Manabí . Ecuador: Manual Félix Lopez. Calceta.
- Barrios Muñoz, P., & Huertas Rodríguez, A. (2023). “*Bandejas biodegradables a partir de almidón de umarí (Poraqueiba Serícea T.) y tusa de maíz amarillo duro (Zea Mays)*“. Universidad Nacional del Santa, Nuevo Chimbote - Perú. Obtenido de <https://hdl.handle.net/20.500.14278/4437>
- Batuani Larrea, R. (2015). *Estudio de la obtención de plásticos biodegradables a partir del almidón de la papa por adición de agentes plastificantes*. Tesis de grado, La Paz - Bolivia. Obtenido de <https://repositorio.umsa.bo/xmlui/bitstream/handle/123456789/9295/PG-1593-Batuani%20Larrea%2cRodny%20Andree.pdf?sequence=1&isAllowed=y>
- Beltrán Ramos, P. E. (2017). *Propiedades Mecánicas, Térmicas y Físicas de bandejas hechas de Almidón de Oca (oxalis tuberosa) incorporando Fibra de Residuos*

*Agroindustriales*. Tesis de grado, Universidad Nacional de Trujillo, La Libertad, Trujillo. Obtenido de <https://hdl.handle.net/20.500.14414/10025>

Benavente Talavera, V. (2021). *DETERMINACIÓN DE LA PRESENCIA DE MICROPLÁSTICOS EN NUEVE PLAYAS DE CAMANÁ – AREQUIPA - PERÚ Y PROGRAMA DE SENSIBILIZACION*. Arequipa- Perú. Obtenido de <https://repositorio.ucsm.edu.pe/bitstream/handle/20.500.12920/10594/44.0718.II.pdf?sequence=1&isAllowed=y>

Bollaín Pastor, C., & Vicente Agulló, D. (2020). Presence of microplastics in water and the potential impact on public health. *SciELO*. Obtenido de <https://www.scielo.org/article/resp/2019.v93/e201908064/>

Buteler, M. (2019). EL PROBLEMA DEL PLÁSTICO. *LA PATAGONIA, VOL. 16*(Nº 28), Pag. 56-60.

Cabanillas, A., Núñez, J., Siche, R., Cruz Tirado, J., Vejarano, R., Tapia-Blácido, D., & Arteaga, H. (22 de mayo de 2019). Pineapple shell fiber as reinforcement in cassava starch foam trays. *SageJournals*, 27(8), 496 - 506.  
doi:<https://doi.org/10.1177/0967391119848187>

Cabral da Cruz, J., Koester,, D., Deon, , V., Biduski,, B., Gomes de Amorin, S., Quast,, L., & Pinto,, V. (2020). Expanded foams from potato starch reinforced by malt pomace. *Society and Development*, vol. 9(no.9). doi:<https://doi.org/10.33448/rsd-v9i9.7630>

Cabrera-Guevara, , C., Diaz-Hidrogo, , Y., Diaz-Diaz, , E., & Gamboa-Alarcón, , P. (20 de Enero de 2023). Characteristics of biodegradable trays of potato (*Solanum phureja*) starch reinforced with yellow corn (*Zea mays* L.) and white asparagus (*Asparagus*

officinalis) stump. *REACAE*. Obtenido de  
<https://revistas.unsm.edu.pe/index.php/reacae>

Callirgos Romero , D. (2022). *Efecto de la hidroxiapatita en las propiedades físicas, mecánicas y térmicas en bandejas biodegradables a partir de residuos de arroz*. Universidad Nacional de Trujillo. Obtenido de  
<https://repositorioslatinoamericanos.uchile.cl/handle/2250/4755520>

Callirgos, L., & Méndez, D. (2015). *Gestión integral para el tratamiento de residuos. Título de Licenciatura*. Trujillo. La Libertad: Universidad Privada Antenor Orrego. Obtenido de  
[https://repositorio.upao.edu.pe/bitstream/20.500.12759/2053/1/REP\\_ING.CIVIL\\_LUIS.CALLIRGOS\\_DIANA.MENDEZ\\_GESTI%  
c3%93N.INTEGRAL.TRATAMIENTO.RESIDUOS.S%  
c3%93LIDOS.DISTRITO.TRUJILLO.PROVINCIA.TRUJILLO.LA.LIBERTAD.pdf](https://repositorio.upao.edu.pe/bitstream/20.500.12759/2053/1/REP_ING.CIVIL_LUIS.CALLIRGOS_DIANA.MENDEZ_GESTI%c3%93N.INTEGRAL.TRATAMIENTO.RESIDUOS.S%c3%93LIDOS.DISTRITO.TRUJILLO.PROVINCIA.TRUJILLO.LA.LIBERTAD.pdf)

Camacho Villanueva, C. I., & Grande Tovar, C. D. (2021). Bagazo de malta (BSG), Biorresiduo con potencial aplicación a nivel funcional, material y energético. *Dialnet*, Vol.19(Nº. 1 ). Obtenido de <https://dialnet.unirioja.es/servlet/articulo?codigo=7999816>

Camacho Villanueva, C., & Grande Tovar, C. (2020). BAGAZO DE MALTA (BSG): BIORRESIDUO CON POTENCIAL APLICACIÓN A NIVEL FUNCIONAL, MATERIAL Y ENERGÉTICO./BREWERS' SPENT GRAIN (BSG): BIORESIDUAL WITH POTENTIAL APPLICATION AT FUNCTIONAL, MATERIAL, AND ENERGETIC. *PROSPECTIVA ISSN EN LÍNEA, VOLUMEN 19* (Nº 1,2021), 12. Obtenido de <http://doi.org/10.15665/rp.v19i1.2472>

- Castillero Mimenza, O. (9 de julio de 2019). *Variable dependiente e independiente*. Obtenido de Psicología y mente: <https://psicologiaymente.com/miscelanea/variable-dependiente-independiente>
- Castro-Criado, D. J.-R. (2023). Stabilization and Valorization of Beer Bagasse to Obtain Bioplastics. *Polymers* 15, 1877(8). doi:<https://doi.org/10.3390/polym15081877>
- Chauhan, A. I. (2023). review on waste valorization, biotechnological utilization, and management of potato. *Food Science and Nutrition*, 11(10), 5773-5785. doi:<https://doi.org/10.1002/fsn3.3546>
- Chia, W. Y., Ying Tang, D. Y., Khoo, K. S., Kay Lup, A. N., & Chew, K. W. (2020). Nature's fight against plastic pollution: Algae for plastic biodegradation and bioplastics production. *Environmental Science and Ecotechnology*, 4, 100065. Obtenido de <https://doi.org/10.1016/j.es.2020.100065>
- Cieza, R., & Diaz, G. (2018). *Obtención de azúcares reductores a partir de cáscara de papa (Solanum tuberosum) por hidrólisis química y enzimática*. [Tesis de pregrado], Universidad Señor de Sipán. Obtenido de [https://repositorio.uss.edu.pe/bitstream/handle/20.500.12802/5777/Cieza García%26 Diaz Rodriguez.pdf?sequence=1&isAllowed=y](https://repositorio.uss.edu.pe/bitstream/handle/20.500.12802/5777/Cieza%20García%20Diaz%20Rodríguez.pdf?sequence=1&isAllowed=y)
- Cogersa, C. (2019). *Las mejores alternativas ecológicas al plástico en tu vida*. Obtenido de <https://learn.eartheasy.com/guides/the-best-eco-friendly-alternatives-for-the-plastic-in-your-life/>
- Contreras, R.K., Torres, L., Gonzales, N., & Jiménez, R. (2018). Caracterización funcional de almidones de plátano cuadrado (Musa balbisiana Colla). *European Scientific Journal*,

14(30), 82-97. Obtenido de

[https://www.researchgate.net/publication/328754299\\_Caracterizacion\\_funcional\\_de\\_almidones\\_de\\_platano\\_cuadrado\\_Musa\\_balbisiana\\_Colla](https://www.researchgate.net/publication/328754299_Caracterizacion_funcional_de_almidones_de_platano_cuadrado_Musa_balbisiana_Colla)

Coronel Callisaya, A., & Chipana Mendoza, G. (1 de junio de 2022). EXTRACCIÓN DE ALMIDÓN DE PAPA (*Solanum tuberosum*), YUCA (*Manihot esculenta*), CAMOTE (*Ipomoea batatas*). *Estudiantil AGRO-VET*, 6(1), 22. Obtenido de file:///C:/Users/admin/Downloads/3-Extracci%C3%B3n+almid%C3%B3n+de+papa.pdf

Corpus Gomez, A. D., & Bocanegra Felix, R. C. (2024). “*Bandejas biodegradables a partir de semilla de mango y residuos de la industria azucarera y molinera de arroz*”. Titulo Profesional, Nuevo chimbote - Perú. Obtenido de <https://hdl.handle.net/20.500.14278/4720>

Cruz, R. (2021). *Effect of the proportion of fiber and starch obtained from the banana pseudostem (Musa acuminata) on the properties of biodegradable trays*. Tesis grado de Ingeniero, Universidad Nacional de Trujillo, Trujillo - Perú. Obtenido de <https://renati.sunedu.gob.pe/handle/sunedu/2992267>

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

DEL RÍO “RIUS”, E. (2005). Plástico . *Revista Vinculando*.

Dhillon,, G., Kaur,, S., Brar, S., & Verma, S. (2012). "Flocculation and Haze Removal from Crude Beer Using In-House Produced Laccase from *Trametes versicolor* Cultured on



Brewer's Spent Grain,". *ournal of Agriculture and Food Chemistry*,, vol. 60, pp. 7895-7904.

Díaz Alejandro,, A. (2021). *Elaboración y caracterización fisicomecánica de una película biodegradable utilizando harina de cáscara de plátano (Musa paradisiaca L.)*. Proyecto Especial de Graduación, Zamorano, Honduras. Obtenido de <https://bdigital.zamorano.edu/server/api/core/bitstreams/9106d7c1-c7e5-462a-b21e-de9caca0b56a/content>

Díaz Cárdenas, X. (2017). *Caracterización y optimización de una bandeja biodegradable a par-tir maíz, papa,soya y glicerol por el método de termoprensado*. Escuela Agrícola Panamericana., Zamorano - Honduras. Obtenido de <https://bdigital.zamorano.edu/handle/11036/6055>

Diaz-Diaz, , E., Cabrera-Guevara, , C., Diaz-Idrogo, Y., Chumacero-Acosta, , J., & Gamboa-Alarcon, , P. (2023). Bandejas biodegradables de almidón de papa con fibra de tocón de espárrago (*Asparagus officinalis* L. *Agrotecnológica Amazónica*, vol.3(no.1). doi:<https://doi.org/10.51252/raa.v3i1.429>

Espinoza , F., & Puglisevich , D. (2019). *Influencia del porcentaje de glicerol sobre la resistencia y deformación en tracción de plásticos biodegradables a base de almidón del tubérculo "Manihot esculenta crantz"*. Tesis, Universidad Nacional de Trujillo, Trujillo, Perú.

Espinoza, F., & Puglisevich , D. (2019). *Influencia del porcentaje de glicerol sobre la resistencia y deformación en tracción de plásticos biodegradables a base de almidón*

- del tubérculo "Manihot esculenta crantz". TESI, Universidad Nacional de Trujillo, Trujillo, Perú.*
- FAO. (2018). El estado mundial de la agricultura y la alimentación 2019: Progresos en la lucha contra la pérdida y el desperdicio de alimentos. *Food & Agriculture Org.*
- FAO. (2019). BAGAZO DE CERVEZA. *Ministerio de Agricultura Ganadería y Pesca Presidencia de la Nación*, Pag. 2.
- F rca , A., Tofan , M., Socaci, . S., Mudura, . E., Scrob, . S., Salan , L., & Mure an, V. (2014). *Brewers ' spent grain – A new potential ingredient for functional foods.*
- Fedepapa. (2020). Nuestros Héroes del Campo no paran frente al COVID-19. *Revista Papa*, (50). Obtenido de <https://fedepapa.com/wp-content/uploads/2020/04/REVISTA-50-completa-2.pdf>
- Fernandez Sevilla, J. (2005). *Estructura y función de los hidratos de carbono: azúcares, almidón, glucógeno, celulosa.* Hidratos de carbono y su aprovechamiento , Ingeniería Química.
- Ferreira, D., Molina, G., & Pelissari, F. (15 de Febrero de 2020). Biodegradable trays based on cassava starch blended with agroindustrial residues. *Science Direct*, vol.183(no107682). doi:<https://doi.org/10.1016/j.compositesb.2019.107682>
- Flores, L., Ruiz, A., & Oscanoa, A. (Enero - Marzo de 2021). PROTOCOL FOR DETERMINATION OF ASH ELEMENT CONTENT FOR LYOPHILIZED MICROALGAE. *Repositorio IMARPE*, 48(1).

Galvez Gastelu, Y. (10 de febrero de 2023). *Taxonomia y morfologia de la papa*. slideshare.

Obtenido de Scribd company:

<https://es.slideshare.net/slideshow/taxonomiaymorfologiadelapapapdf/255807253>

Gaspar, M. C. (2023). Edible films and coatings based on agrifood residues: a new trend in the food packaging research. *Current Opinion in Food Science*, 50, 101006.

doi:<https://doi.org/10.1016/j.cofs.2023.101006>

Gaudino, E. C. (2020). Emerging processing technologies for the recovery of valuable bioactive compounds from potato peels. *Foods*, 9(11), 1598. doi:

<https://doi.org/10.3390/foods911159>

Geyer, J. y. (2017). “*estos plásticos realizados por el humano han sobrepasado los materiales y durante mucho tiempo han estado han sobrepasado los materiales y durante mucho tiempo han estado bajo escrutinio ambiental*”. Santa Barbara- California.

Gómez-Aldapa,, C., Velazquez,, G., Gutierrez,, M., Castro-Rosas, J., Jiménez-Regalado, E., & Aguirre-Loredo,, R. (2020). *Characterization of Functional Properties of Biodegradable Films Based on Starches from Different Botanical Sources*.

Starch/Staerke. Obtenido de <https://doi.org/10.1002/star.201900282>

González, M. (2017). Principios de Elaboración de las CERVEZAS ARTESANALES. *Lulu Enterprises*.

Granados Romero, L. (2021). “*Desarrollo de un empaque postcosecha a partir de residuos de piña (Ananas comosus (L.) Merr.*”. Tesis de Maestria en Ingenieria., Universidad de Bogotá Jorge Tadeo Lozano. UTADEO, Bogotá, Colom-bia. Obtenido de

<https://expeditiorepositorio.utadeo.edu.co/bitstream/handle/20.500.12010/19705/Desarrollo%20de%20un%20empaque%20biodegradable.pdf?sequence=2&isAllowed=y>

HERNANDEZ FLORES, , N., MULATO NAVARRO,, G., & ROMERO QUINTANILLA,, B. (2020). “*DISEÑO DE UN SISTEMA DE ENVASE PARA EXPORTAR FRUTA DESHIDRATADA HACIA ALEMANIA*”. Grado de Licenciado, UNIVERSIDAD DE EL SALVADOR , SAN SALVADOR, EL SALVADOR, CENTROAMERICA.

Hohn, S., Acevedo-Trejos, E., Abrams, J. F., Fulgencio de Moura, J., Spranz, R., & Merico, A. (2020). The long-term legacy of plastic mass production. *Science of the Total Environment* 746. Obtenido de <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2020.141115>

Holguín Cardona, J. (2019). *Obtención de un bioplástico a partir de almidón de papa*. Fundación Universidad de América Facultad de Ingenierías. Programa de Ingeniería Química.

Hu, C. H. (2024). Potato proteins for technical applications: nutrition, isolation, modification and Functional properties. *Innovative Food Science and Emerging Technologies*(91), 103533. Obtenido de <https://doi.org/10.1016/j.ifset.2023.103533>

Isique M, J., & Sing J, L. (2017). *Influencia de la Hidrólisis Química en las Características Fisicoquímicas y Funcionales de los Residuos Industriales De Papa, Camote y Yuca*. [Tesis de grado], Universidad Nacional del Santa.

Jimenez Fernandez, M., & Villanueva Meyer Garfias, A. (2022). “*USO DE BIOPOLIMEROS A BASE DE ALMIDON NATURAL PARA REEMPLAZAR EL PLASTICO EN MICROEMPRESAS DEL DISTRITO DE TRUJILLO, 2020*”. Trujillo – Perú: Universidad Privada del Norte.

Jimenez-Champi, D., Romero-Oregon, F., Moran Reyes,, A., Muñoz, A., & Ramos Escudero, F. (2023). Bioactive compounds in potato peels, extraction methods, and their applications in the food industry. *21*(15), 418-432.

jordibordas. (30 de junio de 2022). *La estructura molecular de los almidones*. Obtenido de <https://jordibordas.com/blog/la-estructura-molecular-de-los-almidones/#:~:text=Los%20gr%C3%A1nulos%20de%20almid%C3%B3n%20est%C3%A1n,amilopectina%20tiene%20una%20estructura%20ramificada>.

Jose Gregorio, E. (2018). “*ELABORACIÓN Y CARACTERIZACIÓN DE PELÍCULAS ELABORADAS CON ALMIDÓN DE PLÁTANO (Musa paradisiaca) REFORZADAS CON NANOWHISKERS DE CELULOSA, ADICIONADA CON ACEITE ESENCIAL*.” Titulo grado, Tuxtepec, Oaxaca. Obtenido de <file:///C:/Users/admin/Downloads/docsity-biopelículas-de-almidón-modificado.pdf>

Jurado Poveda, S. (2018). *APROVECHAMIENTO DEL BAGAZO DE MALTA DE CEBADA COMO INSUMO EN LA ELABORACIÓN DE UNA BARRA DE CEREALES ALTA EN FIBRA*. Tesis de grado, UNIVERSIDAD TÉCNICA DEL NORTE, FACULTAD DE INGENIERÍA EN CIENCIAS AGROPECUARIAS Y AMBIENTALES, Ibarra - Ecuador. Obtenido de <https://repositorio.utn.edu.ec/bitstream/123456789/7888/1/03%20EIA%20450%20TRABAJO%20DE%20GRADO.pdf>

Kawa, K. (2018). *Understanding Base Malt*. Retrieved from *Brew your own website*. Obtenido de <https://byo.com/article/understanding-base-malt/>

Khatiwada, J., Shrestha, S., Sharma, H., & Qin, J. (2021). Bioconversion of Hemicelluloses into Hydrogen. En Inamuddin & Khan, A (Eds.). Sustainable Bioconversion of Waste to Value Added Products. *Springer Nature*, (p 268).

Labeaga, A. (2018). *Polímeros biodegradables. Importancia y potenciales aplicaciones [Trabajo de Maestría]*. Universidad Nacional de Educación a Distancia. Obtenido de [http://e-spacio.uned.es/fez/eserv/bibliuned:master-Ciencias-CyTQ-Alabeaga/Labeaga\\_Viteri\\_Aitziber\\_TFM.pdf](http://e-spacio.uned.es/fez/eserv/bibliuned:master-Ciencias-CyTQ-Alabeaga/Labeaga_Viteri_Aitziber_TFM.pdf)

Lemos, P. V., Barbosa, L. S., Ramos, I. G., & Coelho, R. E. (2019). Characterization of amylose and amylopectin fractions separated from potato, banana, corn, and cassava starches. *International Journal of Biological Macromolecules*, 132, 32- 42. Obtenido de <https://doi.org/10.1016/j.ijbiomac.2019.03.086>

León-Méndez, G., León Méndez, D., De La Espriella-Angarita, S., & Herrera- Barro, A. (09 de julio de 2020). Chemical modification of starches through esterification reactions and their potential use in the cosmetic industry. *AVFT*. doi:DOI: 10.5281/zenodo.4263410

Ligarda-Samanez, C., Choque-Quispe, D., Moscoso-Moscoso, E., Palomino-Rincón, H., Type-Marrón, F., Aguirre Landa, J., . . . Guzmán Gutiérrez, R. (24 de junio de 2023). Nanoencapsulación de extractos fenólicos de clones nativos de papa ( *Solanum tuberosum* spp. andigena ) mediante secado por aspersión. *MDPI*, 28(13). doi:<https://doi.org/10.3390/molecules28134961>

- Limones Dominguez, M. L. (2023). *CARACTERIZACIÓN DE RESIDUOS DE MALTAS: PILSEN, PALE ALE, CAMEL Y CHOCOLATE PARA SU POSTERIOR UTILIZACIÓN EN INDUSTRIAS ALIMENTARIAS*. GUAYAQUIL – ECUADOR.
- Loza, M. (2019). *Extracción y uso de almidón de papa china (Colocasia Esculenta) en la elaboración de productos cárnicos emulsionados*. Tesis de Pregrado, Universidad de Cuenca , Cuenca - Ecuador. Obtenido de <http://dspace.ucuenca.edu.ec/handle/123456789/32116>
- Luna , P., Darniadi , S., Chatzifragkou, A., & Charalampopoulos, D. (mayo de 2021). Biodegradable foams based on extracted fractions from sorghum by-products. In IOP Conference Se-ries: Earth and Environmental Science. *vol. 749*(1).
- Machado, C., Benelli, P., & Tessaro, I. (2020). Study of interactions between cassava starch and peanut skin on biodegradable foams. *International Journal of Biological Macromolecules*(147), 343-1353. doi:<https://doi.org/10.1016/j.ijbiomac.2019.10.098>
- Márquez-Riquel , M., & Zara , J. (14 de setiembre de 2021). La Espectroscopía Infrarroja (FT-IR-ATR) como herramienta para identificar la degradación del polímero Polietilentereftalato - Bagazo de Caña. *Quimica Viva*.
- Martel Tolentino, G. A. (2023). *OBTENCIÓN DE BIOPLÁSTICOS A PARTIR DE CÁSCARA DE PAPA (Solanum tuberosum) Y PLÁTANO (Musa paradisiaca) DE RESIDUOS DE POLLERÍAS Y TACACHERÍAS DE LA CIUDAD DE HUÁNUCO*. UNIVERSIDAD NACIONAL HERMILIO VALDIZÁN, HUÁNUCO – PERÚ.
- Martínez, , O., Calderón, , B., Rodríguez, , J., Cabrera,, C., & Valle, F. M. (2015). Mecanismo de gelatinización del almidón nativo de banano exportable del Ecuador. *Revista*

*Colombiana de Química*, 44(2), 16-21. Obtenido de  
<https://www.redalyc.org/pdf/3090/309044127003.pdf>

Matos Medina, I., & Díaz Milla, J. (2022). *Caracterización de bandejas biodegradables de almidón y fibra de semilla de Persea americana y almidón de Mangifera indica*. [Tesis de grado] Universidad Nacional del Santa.

Matos Medina, I., & Díaz Milla, J. (2022). *Caracterización de bandejas biodegradables de almidón y fibra de semilla de Persea americana y almidón de Mangifera indica*. Tesis de grado, Universidad Nacional del Santa.

Midagri. (2018). Anuario estadístico de la producción agrícola 2017. Sistema Integrado de Estadística Agraria. Ministerio de Agricultura y Riego del Perú. 370. Obtenido de  
[https://siea.midagri.gob.pe/portal/phocadownload/datos\\_estadisticas/anuarios/agricola/agricola\\_2018.pdf](https://siea.midagri.gob.pe/portal/phocadownload/datos_estadisticas/anuarios/agricola/agricola_2018.pdf)

MIDAGRI, R. J. (17 de junio de 2022). Ministrerio de desarrollo agrario y riego: programa Subsectorial de Irrigaciones.

MINAM. (2018). *Cifras del mundo y el Perú*. . Obtenido de  
<https://www.minam.gob.pe/menos-plastico-mas-vida/cifras-del-mundo-y-el-peru/>

MINAM, M. (31 de Julio de 2019). Ley N° 30884 regula consumo de bienes de plástico de un solo uso que generan riesgo para la salud pública y/o el ambiente. *Sistema Nacional de Información Ambiental (Sinia)*.

Mondragón Cortez, P. (2017). *ESPECTROSCOPIA DE INFRARROJO PARA TODOS Y 51 ESPECTRO DE ALIMENTOS CONSUMIDOS EN MEXICO*. Centro de Investigación



y Asistencia en Tecnología y Diseño del Estado de Jalisco, A. C, Jalisco, Mexico.

Obtenido de [https://ciatej.mx/files/divulgacion/divulgacion\\_5a43b7c09fdc1.pdf](https://ciatej.mx/files/divulgacion/divulgacion_5a43b7c09fdc1.pdf)

Montoya-Anaya, Madera-Santana, Aguirre-Mancilla, Grijalva-Verdugo, Gonzáles-García, Núñez-Colín, & Rodriguez-Núñez. (mayo - agosto de 2023). Caracterización fisicoquímica de almidón recuperado de papa (*Solanum tuberosum*) residual de la industria de papas fritas en México. *Biotecnia*, vol. 25(no. 2). Obtenido de <https://doi.org/10.18633/biotecnia.v25i2.1880>

Morales , A. (2018). Analisis , Riesgos Y Oportunidades Biopolimeros. *Journal of Chemical Information and Modeling*, 53, (9), 1–161.

Morales Escobar, D., & Arrieta Almario, Á. (2023). Utilización de residuos agroindustriales en la elaboración de materiales. Use of Agroindustrial Waste in the Manufacture of Materials. *Prácticas investigativas de jóvenes investigadores*, Vol. 2, 233. Obtenido de <https://repositorio.cecar.edu.co/xmlui/bitstream/handle/cecar/9994/Pr%C3%A1cticas%20investigativas%20de%20jóvenes%20investigadores%20en%20Sucre%2C%20Colombia%20Vol.%202.pdf?sequence=1&isAllowed=y#page=231>

Moreno Camarena, A. (2017). “*Caracterización fisicoquímica e hidrólisis del bagazo cervecero para la obtención de azúcares reductores*”. TESIS PARA OBTENER EL GRADO DE MAESTRÍA EN INGENIERÍA, UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE BAJA CALIFORNIA, Mexicali, Baja California.

Moseson, D., Jordan, M., Shah, D., Corum, I., Alvarenga Jr , B., & Taylor, L. (2020).

Application and limitations of thermogravimetric analysis to delineate the hot melt

extrusion chemical stability processing window. *International Journal of Pharmaceutics*, 590,119916.

Mundo, B. (5 de Diciembre de 2017). Una crisis planetaria: las terribles consecuencias de la “plaga de plástico” en los océanos del mundo. *News Mundo*. Obtenido de <https://www.bbc.com/mundo/noticias-42243109>

Natividad Bardales, Á., Muñoz Garay, S., Villanueva Tiburcio, J., Rojas Portal, R., Chamorro Gómez, R., Cueto Rosales, C., . . . Mendoza Aguilar, A. (2022). Physicochemical characterization of four varieties of native potatoes (*Solanum tuberosum*) suitable for frying cultivated in two zones in Huánuco. *SciELO Perú*, vol.88 (no.3 ). Obtenido de <http://dx.doi.org/10.37761/rsqp.v88i3.400>

NTP, 9. (2015). ENVASES Y EMBALAJES. Requisitos de los envases y embalajes.

Programas de ensayo y criterios de evaluación de biodegradabilidad. *INDECOPI*.

Octavio, J., & Denis, I. (2017). Tendencia del crecimiento en la cultura del reciclaje. *Revista de Ciencias Ambientales y Recursos Naturales*,, 3(10), 48–56. Obtenido de [http://www.ecorfan.org/spain/researchjournals/Ciencias\\_Ambientales\\_y\\_Recursos\\_Naturales/vol3num10/Revista\\_de\\_Ciencias\\_Ambientales\\_y\\_Recursos\\_Naturales\\_V3\\_N10\\_6.pdf](http://www.ecorfan.org/spain/researchjournals/Ciencias_Ambientales_y_Recursos_Naturales/vol3num10/Revista_de_Ciencias_Ambientales_y_Recursos_Naturales_V3_N10_6.pdf)

ONU, O. (2019). *Diez cifras de la ONU para mostrar el daño que los plásticos le hacen al planeta*. Obtenido de [https://expansion.mx/vida-arte/2019/07/03/10-cifras-de-la-onu-para-mostrar-el-dano-que-los-plasticos-le-hacen-al-planeta?\\_amp=true](https://expansion.mx/vida-arte/2019/07/03/10-cifras-de-la-onu-para-mostrar-el-dano-que-los-plasticos-le-hacen-al-planeta?_amp=true)

ONU, p. p. (20 de agosto de 2021). Despite pandemic shutdowns, carbon dioxide and methane surged in 2020. *NOAA RESEARCH*. Obtenido de

<https://research.noaa.gov/2021/04/07/despite-pandemic-shutdowns-carbon-dioxide-and-methane-surged-in-2020/>

Osorio Herrera, A., & Rubiano Hernández, K. (2019). *Desarrollo de una biopelícula partiendo de cáscara de banano y fibra natural como agente de refuerzo a nivel laboratorio*. Fundación Universidad de América.

Osorio Herrera, A., & Rubiano Hernández, K. (2019). *Desarrollo de una biopelícula partiendo de cáscara de banano y fibra natural como agente de refuerzo a nivel laboratorio*. Bachelor's thesis, Fundación Universidad de América.

Palacios Ambrocio, A. (2023). *“Efecto de los agentes coagulantes y floculantes naturales en los parámetros físicoquímicos del agua de sanguaza para harina residual en la industria pesquera”*. tesis de Grado Maestro, UNIVERSIDAD NACIONAL DEL SANTA, Ancash, Nuevo Chimbote - PERÚ.

Parada, J. (2020). *La problemática de los microplásticos en Canarias*. Tesis de grado, Universidad de La Laguna, Santa Cruz - España. Obtenido de <https://riull.ull.es/xmlui/bitstream/handle/915/19997/La%20problematica%20de%20los%20microplasticos%20en%20Canarias.pdf?sequence=1&isAllowed=y>

Pardo C, O., Castañeda, J., & Ortiz, C. (17 de 12 de 2013). Thermal and structural characterization of starches from different potato varieties. *Unal*.

Paredes Gallo, R. (2021). *CARACTERIZACIÓN DE BIOMASA MEDIANTE USO Y APLICACIÓN DE CALORIMETRÍA DIFERENCIAL DE BARRIDO*. ESCUELA TÉCNICA SUPERIOR DE INGENIEROS DE MINAS Y ENERGÍA, Madrid.

- Parker, L. (6 de junio de 2018). El plástico. *Dialnet*, 42, 2-51. Obtenido de <https://dialnet.unirioja.es/servlet/articulo?codigo=6448328>
- Pérez, L., & Agama-Acevedo, E. (2017). Starch. In *Starch-Based Materials in Food Packaging*. *Academic Press.* , (pp. 1-18).
- Pertuz, A. (2021). *Biopolímeros a base de almidón de papa (Solanum tuberosum), para uso de la industria alimentaria en Colombia*. Universidad Nacional Abierta y a Distancia Programa de Ingeniería de Alimentos, Bogotá, Colombia.
- Pinedo Taco , R., Rojas Iruri , F., & Bautista Condori , M. (2020). *CULTIVO DE CEBADA*. Universidad Nacional Agraria La Molina, La Molina. Obtenido de [https://proyeccion.lamolina.edu.pe/manuales/Manual\\_Cultivo\\_Cebada.pdf](https://proyeccion.lamolina.edu.pe/manuales/Manual_Cultivo_Cebada.pdf)
- PNUD, P. (2021). Objetivos de desarrollo sostenible. Obtenido de <https://www1.undp.org/content/undp/es/home/sustainable-development-goals/goal-12-responsible-consumption-and-production.html>
- Ponce-Molina, L., Noroña, P., Campaña, D., Garófalo, J., Coronel, J., Jiménez, C., & Cruz, E. (2019). La Cebada (*Hordeum vulgare* L.): Generalidades y Variedades Mejoradas para la Sierra Ecuatoriana. *INIAP, Ministerio de Agricultura y Ganadería, No.116*. Obtenido de <https://repositorio.iniap.gob.ec/bitstream/41000/5587/2/Manual%20116%20La%20cebada.pdf>
- Ponce Ramirez, J., & Horna Menacho, N. (2023). “*Formulación y caracterización de bandejas biodegradables con almidón de Manihota Sculenta y fibras de Cynara Scolymus*”. Nuevo Chimbote, Perú. Obtenido de

<https://repositorio.uns.edu.pe/bitstream/handle/20.500.14278/4336/52806.pdf?sequence=1&isAllowed=y>

PUCP, P. U. (21 de junio de 2018). “Los plásticos de un solo uso tienen una vida útil muy corta”. Lima. Obtenido de <https://www.pucp.edu.pe/climadecambios/noticias/los-plasticos-de-un-solo-uso-tienen-una-vida-util-muy-corta/>

Quevedo, E. (2017). *Influencia de unidades de albañilería tipo PET sobre las características técnicas y económicas de viviendas ecológicas para la zona de expansión del Distrito de Nuevo*. Tesis de Maestría, Universidad Nacional del Santa, Chimbote. Ancash.

Quira, B. (2019). *Determinacion de Cenizas, Humedad y Grasas en La Fruta*. SCRIBD. Obtenido de <https://es.scribd.com/document/402566418/Determinacion-de-Cenizas-Humedad-y-Grasas-en-La-Fruta>

Racines, M., Cuesta, X., Rivadeneira, J., & Pantoja, J. (Junio de 2021). IX Congreso ecuatoriano de la papa. *Agrobiodiversidad y nutrición*. Obtenido de <https://repositorio.iniap.gob.ec/bitstream/41000/5746/1/iniapsc407.pdf>

Rajmohan, K. S., C, R., & Varjani, S. (2019). Plastic pollutants: Waste management for pollution control and abatement. *Current Opinion in Environmental Science & Health*. Obtenido de <https://doi.org/10.1016/j.coesh.2019.08.006>

Ramos Gutiérrez, M. (2021). *Desarrollo y caracterización de materiales compuestos altamente tenaces de matriz biodegradable y refuerzos inorgánicos*. Universidad del País Vasco.

- Red, H. (28 de febrero de 2020). ¿Cuánto tardan en descomponerse los empaques de los alimentos? Obtenido de <https://www.eltiempo.com/vida/medio-ambiente/cuanto-tardan-en-descomponerse-los-empaques-de-los-alimentos-280478>
- Resolucion. (2023). *Transcripcion Resolucion Vicerrectoral N° 59-2023-UNS-VRIN*. Universidad Nacional del Santa, Ancash, Nuevo chimbote.
- Riera, M., & Palma, R. (2018). *Obtención de bioplásticos a partir de desechos agrícolas. Una revisión de las potencialidades en Ecuador*. Universidad de los Andes. Obtenido de <https://www.redalyc.org/journal/933/93368279005/html/>
- Rodrigues N, H. P., de Souza, J. T., Rodriguez, R. L., Canteri M, H. G., Tramontin S, M. K., & de Francisco , A. C. (2020). Starch-based foam packaging developed from a by-product of potato industrialization (*Solanum tuberosum* L.). *Applied Sciences*, vol. 10(no. 7), 2235. Obtenido de <https://doi.org/10.3390/app10072235>
- Romero, D. (2019). *Caracterización de bandejas biodegradables provenientes de diferentes almidones nativos peruanos*. [Tesis de Ingeniería ], Universidad Nacional de Trujillo, La Libertad, Trujillo. Obtenido de <http://dspace.unitru.edu.pe/handle/UNITRU/15662>
- Ruiloba, , I., Quintero, R., & Correa, J. (2018). Elaboración de bioplástico a partir de almidón de semillas de mango. *Revista de iniciación científica*, 4, 28-32. Obtenido de <https://revistas.utp.ac.pa/index.php/ric/article/download/1815/2625>
- Ryan, A. B., Bergmann, M., Gutow, L., Klages, M., & Anthropogenic Litter, M. (2015). *El plástico*. Obtenido de <https://www.ciel.org/wp-content/uploads/2019/03/Plastic-Health-Spanish.pdf>

- Salmerón Herrera, F. (2019). *Elaboración y caracterización de un material biodegradable utilizando desechos de lechuga de la Planta Poscosecha en la Escuela Agrícola Panamericana*. Escuela Agrícola Panamericana, Zamorano , Honduras. Obtenido de <https://bdigital.zamorano.edu/server/api/core/bitstreams/3a005418-d6b3-4a18-bb31-9b8a175aff20/content>
- Samir, S., Elsamahy, T., Koutra, E., Kornaros, M., El-sheekh, M., Abdelkarim, E. A., & ... Sun, J. (2021). Degradation of conventional plastic wastes in the environment : A review on current status of knowledge and future perspectives of disposal. *Science of the Total Environment Journal*, 771.
- Sanguineti, I. (2016). *ENVASES Y EMBALAJE PARA EXPORTACIÓN*. Lima, Perú. Obtenido de <https://repositorio.promperu.gob.pe/server/api/core/bitstreams/378fd105-18b2-42a5-ad6e-dbc071bff287/content>
- Sanna, A., Li, S., Linforth, R., Smart, K., & Andrésen, J. (2011). "Bio-oil and bio-char from low temperature pyrolysis of Spent Grains using activated alumina,". *Bioresource Technology*(no.102), pp.10695 - 10703.
- Shaikh, S., Yaqoob, M., & Aggarwal, P. (2021). An overview of biodegradable packaging in food industry. *Current Research in Food Science*, 4, 503-520.
- Singh nee' , N., Gupta, , N., & Anthwal, , A. (2009). *Pre-treatment of agroindustrial residues in Biotechnology for Agro-Industrial Residues*. Utilisation book.
- Solarte-Montúfar, J., Díaz-Murangal, A., Osorio-Mora, , O., & Mejía-España,, M. (2019). *Propiedades Reológicas y Funcionales del Almidón. Procedente de Tres Variedades de*

- Papa Criolla. *Información tecnológica*, 30(6), 34.-44. Obtenido de <https://www.scielo.cl/pdf/infotec/v30n6/0718-0764-infotec-30-06-00035.pdf>
- Soto, N. (s.f.). *El cultivo de papa*. Tesis de pregrado, Universidad Autónoma Agraria.
- Tapia-Blácido, D., Aguilar, G., De Andrade, M., Rodrigues-Júnior, M., & GuareschiMartins, F. (2022). Trends and challenges of starch-based foams for use as food packaging and food container. *Trends in Food Science & Technology*.
- Téllez Maldonado, A. (2012). *La complejidad de la problemática ambiental de los residuos plásticos: una aproximación al análisis narrativo de política pública en Bogotá*. Tesis de Maestría, Universidad Nacional de Colombia, Bogotá, Colombia. Obtenido de <https://repositorio.unal.edu.co/bitstream/handle/unal/10015/Tesis%20de%20Maestri%20cc%81a%20en%20Medio%20Ambiente%20y%20Desarrollo.pdf?sequence=5&isAllowed=y>
- UNEP, P. d. (2009). *Marine Litter: A Global Challenge*. Nairobi: UNEP.
- Ureta Santillan, S. N., & Morales Aquino, M. E. (2022). “*DETERMINACIÓN DEL NANOPLÁSTICOS Y MICROPLÁSTICOS EN CONTENIDO ESTOMACAL DE PECES AMAZÓNICOS DE CONSUMO HUMANO: CARACHAMA (Pseudorinelepis genibarbis) TOA (Hemisorubim platyrhynchos), PROCEDENTES DEL RÍO HUALLAGA EN EL KM 25 AL NORESTE DE TINGO MARIA*”. Título profesional, UNIVERSIDAD DE HUANUCO, Huanuco - Perú. Obtenido de <https://repositorio.udh.edu.pe/bitstream/handle/123456789/3548/Ureta%20Santillan%20c%20Shirley%20Nora.pdf?sequence=1&isAllowed=y>
- Valero Escandell, J. (2013). Ibi la ciudad que nació del juguete. *Dialnet*(62), 36-57.



- Vargas SEDANO, N., & FLORES NAVARRO, N. (2021). “*EVALUACIÓN FÍSICOQUÍMICA Y DE LAS PROPIEDADES FUNCIONALES DEL ALMIDÓN DEL ARAQ PAPA (Solanum tuberosum) PROCEDENTE DEL DISTRITO Y PROVINCIA DE ACOBAMBA – HUANCAMELICA*”. UNIVERSIDAD NACIONAL DE HUANCAMELICA, HUANCAMELICA, ACOBAMBA. Obtenido de <https://apirepositorio.unh.edu.pe/server/api/core/bitstreams/fe6b4556-3e94-43d0-b70d-f16cf95c3adf/content>
- Vázquez Morillas, A., Espinosa Valdemar, R., Beltrán Villavicencio, M., & Velasco Pérez, M. (2021). *Bioplásticos y plásticos degradables*. Universidad Autónoma Metropolitana. Obtenido de <https://anipac.org.mx/wp-content/uploads/2021/01/bioplasticos.pdf>
- Vera Bravo, A. F., & Chavarría Chavarría, M. A. (diciembre de 2020). EXTRACTION AND CHARACTERIZATION OF POTATO (*Solanum tuberosum*) STARCH LEONA BLANCA VARIETY. *EL HIGO - revista de Ciencia y Tecnología*, vol. 10(Nº 02), pp.26-34.
- Versino, F. (2017). *MATERIALES COMPUESTOS BIODEGRADABLES CON USOS AGRONÓMICOS A PARTIR DE RAÍCES TUBEROSAS*. Tesis Doctoral, Universidad Nacional de la Plata, La Plata. Obtenido de <https://core.ac.uk/download/pdf/301081234.pdf>
- Villares , W. (2022). *Desarrollo de un plato biodegradable a base de harinas de fibra de coco (Cocos nucifera), tusa de maíz (Zea mays) y arroz (Oryza sativa)*. Universidad Católica de Santiago de Guayaquil, Guayaquil. Obtenido de <http://201.159.223.180/handle/3317/17978>

- Wilkinson, S., Smart, K., & Cook, D. (2014). "A Comparison of Dilute Acid- and Alkali-Catalyzed Hydrothermal Pretreatments for Bioethanol Production from Brewers' Spent Grains,". *American Society of Brewer Chemists*, vol.72(no.2), pp.143-153.
- Won, C., & M., K. (2017). *Rheological, Pasting, Thermal and Retrogradation Properties of Octenyl Succinic Anhydride Modified Potato Starch*.
- Zea-Barahona, C., Soledispa-Rodríguez, X., Ayón-Ponce, G., & Toala-Zorrilla, M. (junio de 2019). The elaborated fertilizer of sugar cane bagazo as an alternative for the generation of income for the inhabitants of the San Carlos site. *Polo del Conocimiento*, 4(6), 335-351. doi:10.23857/pc.v4i6.1024
- Zhang, K., Hamidian, A. H., Tubic, A., Zhang, Y., Fang J, K. H., Wu, C., & Lam P, K. S. (2021). Understanding plastic degradation and microplastic formation in the environment:. *Environmental Pollution*, 274. Obtenido de <https://doi.org/10.1016/j.envpol.2021.116554>
- Zuñiga Vallejos, M. T. (2024). "*Bandejas biodegradables de cascarilla de arroz y cushuro, aplicadas para conservar fresas con aceite de eucalipto*". Tesis para optar el grado de Doctor en Ingeniería de alimentos, UNIVERSIDAD NACIONAL DEL SANTA, Nuevo chimbote - Peru. Obtenido de <http://168.121.236.53/bitstream/handle/20.500.14278/4758/Tesis%20Zu%c3%bliga%20Vallejos.pdf?sequence=1&isAllowed=y>

## ANEXOS

### Anexo 1. Fórmula para la obtención del % Humedad (Quira, 2019)

$$\%H = \frac{(M_1 - M_2) \times 1}{M}$$

M1 = Peso de la placa + muestra húmeda

M2 = Peso de la placa + muestra seca

M = Peso de la muestra

### Anexo 2. Fórmula para la obtención del % Cenizas (Quira, 2019)

$$\%C = \frac{(P - p) \times 1}{M}$$

P = Peso del crisol con las cenizas en gr.

p = Peso del crisol vacío en gr.

M = Peso de la muestra gr.

### Anexo 3. Fórmula para la obtención del % Grasas (Quira, 2019)

$$\%G = \frac{(P_2 - P_1) \times 1}{P}$$

P<sub>2</sub> = Peso del vasito de aluminio + residuo seco en gr.

P<sub>1</sub> = Peso del vasito de aluminio vacío

P<sub>m</sub> = Peso de la muestra gr.

### Anexo 4. Fórmula para la obtención de % Carbohidratos (Quira, 2019)

$$\%C_{hid} = 100 - (\%F + \%P + \%G + \%H + \%C)$$

F = Fibra

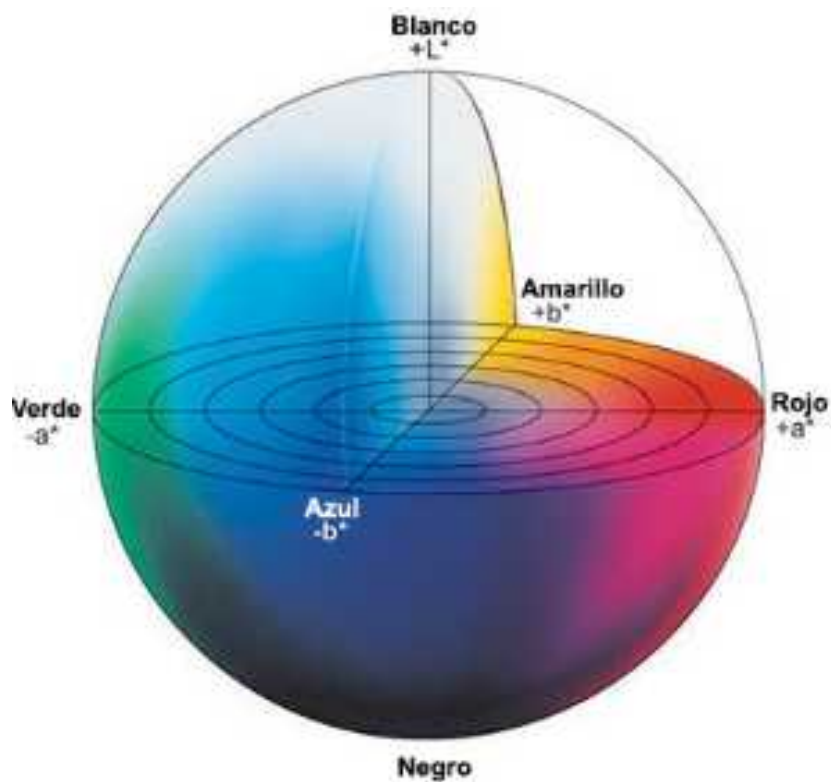
P = Proteína

G = Grasa

H = Humedad

Ce = Cenizas

**Anexo 5.** *Parámetros de color superficial de las bandejas biodegradables: luminosidad ( $L^*$ ) y de cromaticidad  $a^*$  (rojo-verde) y  $b^*$  (amarillo-azul),*

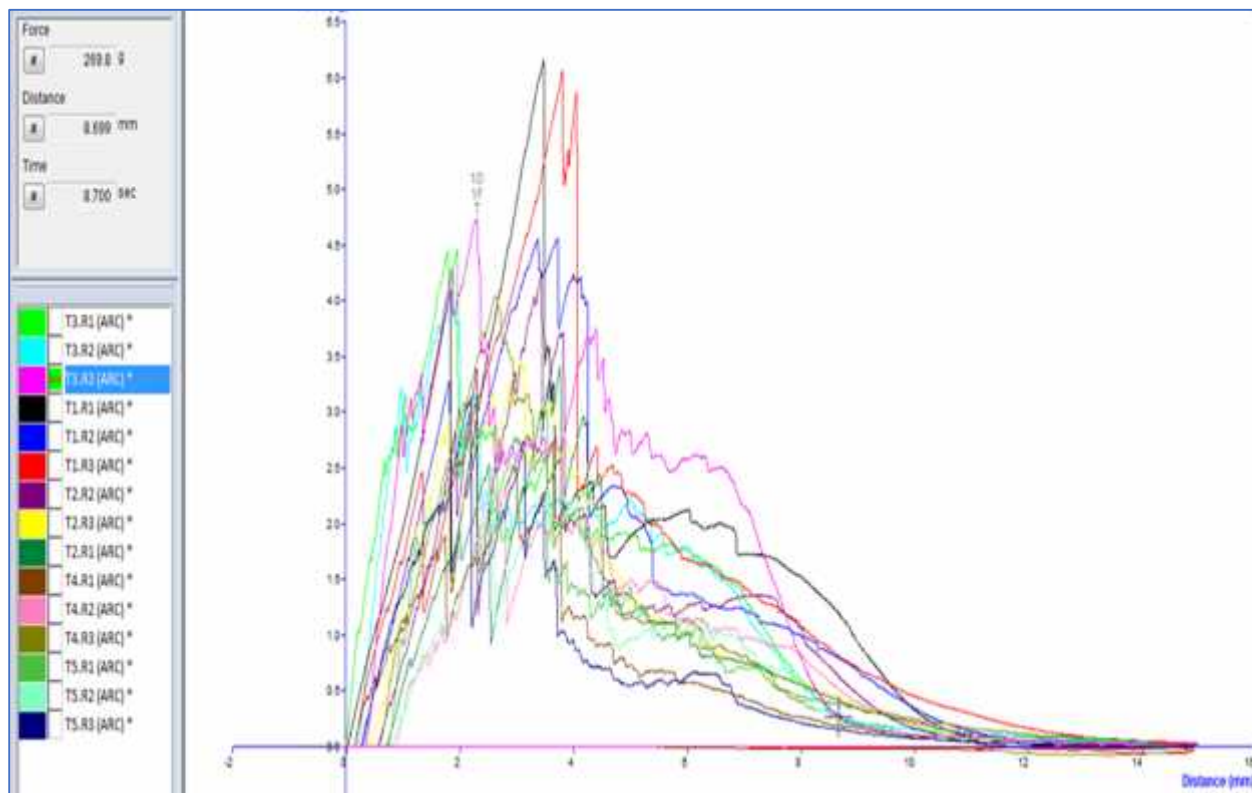


*Fuente: (Versino, 2017)*

**Anexo 6.** *Tratamientos con replicas para análisis de Dureza y Fracturabilidad*

<b>TRATAMIENTO</b>	<b>Dureza</b>	<b>Fracturabilidad</b>
	<b>kg</b>	<b>mm</b>
	<b>Fuerza</b>	<b>Distancia</b>
<b>TRATAMIENTO 1</b>		
<b>R1</b>	<b>4.46</b>	<b>1.97</b>
<b>R2</b>	<b>4.11</b>	<b>1.85</b>
<b>R3</b>	<b>4.75</b>	<b>2.32</b>
<b>Promedio</b>	4.44	2.05
<b>S.D.</b>	0.32	0.24
<b>Coefficiente de variación</b>	7.27	11.78
<b>TRATAMIENTO 2</b>		
<b>R1</b>	<b>6.17</b>	<b>3.49</b>
<b>R2</b>	<b>4.58</b>	<b>3.74</b>
<b>R3</b>	<b>6.08</b>	<b>3.82</b>
<b>Promedio</b>	5.61	3.69
<b>S.D.</b>	0.89	0.17
<b>Coefficiente de variación</b>	15.92	4.65
<b>TRATAMIENTO 3</b>		
<b>R1</b>	<b>4.27</b>	<b>3.46</b>
<b>R2</b>	<b>3.47</b>	<b>3.09</b>
<b>R3</b>	<b>3.42</b>	<b>3.78</b>
<b>Promedio</b>	3.72	3.44
<b>S.D.</b>	0.48	0.35
<b>Coefficiente de variación</b>	12.9	10.1
<b>TRATAMIENTO 4</b>		
<b>R1</b>	<b>2.59</b>	<b>3.79</b>
<b>R2</b>	<b>2.32</b>	<b>2.82</b>
<b>R3</b>	<b>4.05</b>	<b>2.63</b>
<b>Promedio</b>	2.99	3.08
<b>S.D.</b>	0.93	0.62
<b>Coefficiente de variación</b>	31.12	20.21
<b>TRATAMIENTO 5</b>		
<b>R1</b>	<b>3.16</b>	<b>2.32</b>
<b>R2</b>	<b>2.3</b>	<b>3.53</b>
<b>R3</b>	<b>3.14</b>	<b>2.21</b>
<b>Promedio</b>	2.87	2.69
<b>S.D.</b>	0.49	0.73
<b>Coefficiente de variación</b>	17.13	27.21

## Anexo 7. Gráfico de la Dureza y Fracturabilidad



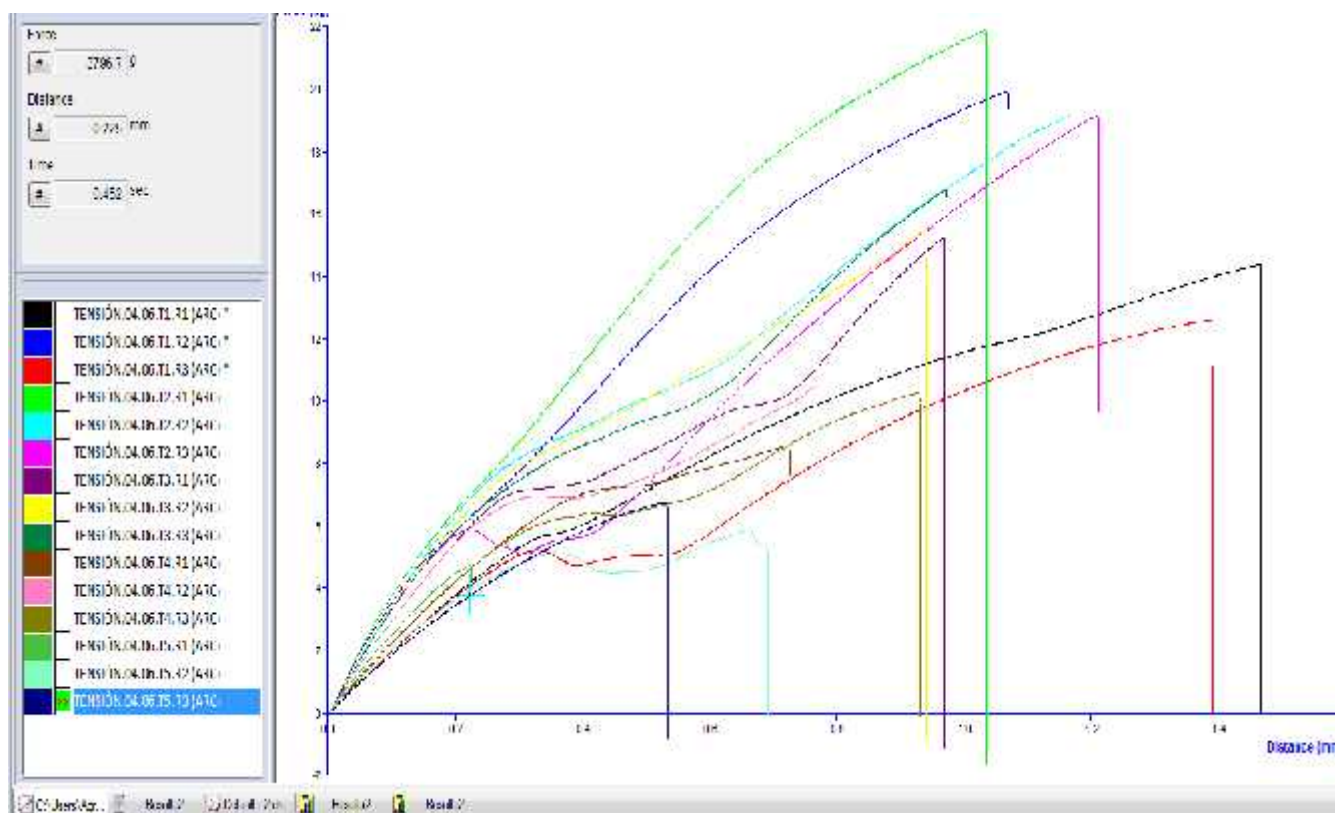
## Anexo 8. Condiciones de la Prueba de Dureza y Fracturabilidad

CONDICIONES DE LA PRUEBA	
Velocidad del pre test	1.50mm/sec
Velocidad del test	1.00mm/sec
Velocidad del post test	10.00mm/sec
Celda de carga	100kg
Distancia de deformación (target mode)	15mm
Probeta	P/0.5S

**Anexo 9. Tratamientos con replicas para análisis de Tensión y Elongación**

TRATAMIENTO	Máxima fuerza de tensión	Distancia de máxima fuerza de tensión	Resistencia a la tracción	Elongación
	kg	mm	MPa	%
TRATAMIENTO 1				
R1	14.41	1.47	2.09	1.84
R2	19.97	1.07	2.90	1.34
R3	12.63	1.39	1.83	1.74
Promedio	15.67	1.31	2.28	1.64
S.D.	3.83	0.21	0.56	0.26
Coeficiente de variación	24.44	16.03	24.43	16.16
TRATAMIENTO 2				
R1	21.95	1.04	3.19	1.30
R2	19.2	1.17	2.79	1.46
R3	19.21	1.21	2.79	1.51
Promedio	20.12	1.14	2.92	1.43
S.D.	1.58	0.09	0.23	0.11
Coeficiente de variación	7.85	8.03	7.88	7.80
TRATAMIENTO 3				
R1	15.27	0.97	2.22	1.21
R2	15.5	0.94	2.25	1.18
R3	16.83	0.97	2.45	1.21
Promedio	15.87	0.96	2.31	1.20
S.D.	0.84	0.02	0.12	0.02
Coeficiente de variación	5.3	1.91	5.31	1.80
TRATAMIENTO 4				
R1	8.61	0.72	1.25	0.90
R2	10.49	0.77	1.52	0.96
R3	10.27	0.93	1.49	1.16
Promedio	9.79	0.81	1.42	1.01
S.D.	1.03	0.11	0.15	0.14
Coeficiente de variación	10.5	13.24	10.50	13.60
TRATAMIENTO 5				
R1	4.81	0.23	0.70	0.29
R2	5.92	0.66	0.86	0.83
R3	6.75	0.53	0.98	0.66
Promedio	5.83	0.47	0.85	0.59
S.D.	0.97	0.22	0.14	0.28
Coeficiente de variación	16.64	47.42	16.71	46.59

## Anexo 10. Gráfico de Tensión y Elongación



## Anexo 11. Condiciones de la Prueba de Tensión y Elongación

CONDICIONES DE LA PRUEBA	
Velocidad del pre test	0.50mm/sec
Velocidad del test	0.50mm/sec
Velocidad del post test	10.00mm/sec
Distancia de deformación (target mode)	20mm
Celda de carga	100kg-f
Sensibilidad a la ruptura	100g
Probeta	A/HDG 100Kg
Distancia de separación entre mordazas	80mm



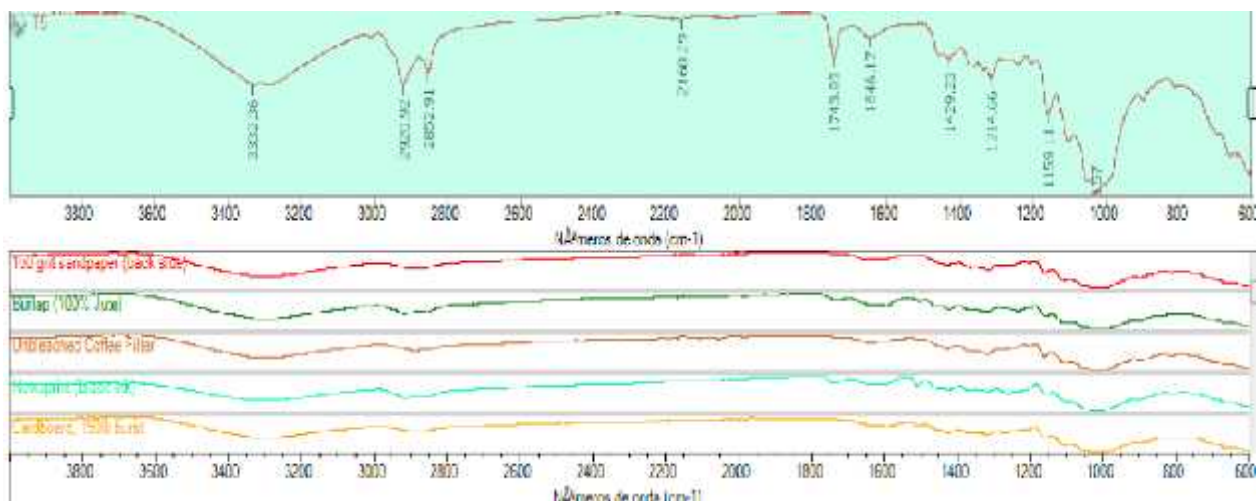
**Anexo 12. Equipo para la Prueba de Compresión (Dureza y Fracturabilidad)**



**Anexo 13. Equipo para la Prueba de Tracción (Tensión y Elongación)**



#### Anexo 14. Espectro FTIR gráfico de ondas



#### Anexo 15. Resumen de termogramas (TGA) de la bandeja biodegradable T<sub>5</sub>

Material	Caída 1				Caída 2				Residuos	
	TI (°C)	TF (°C)	Pérdida a de peso (mg)	Pérdida de peso (%)	TI (°C)	TF (°C)	Pérdida a de peso (mg)	Pérdida de peso (%)	peso (mg)	Pérdida de peso (%)
B.B.	20.96	172.89	1.106	10.222	185.29	555.95	8.155	75.38	1.558	14.398
B.B.I.	23.36	154.04	0.5447	5.347	185.79	555.45	7.843	76.982	1.8003	17.671
B.B.E.	22.08	171.58	0.5375	5.198	183.96	554.91	7.847	75.883	1.9565	18.919

#### Anexo 16. Procedimientos para realizar pruebas experimentales en el analizador termogravimétrico (TGA)



a) Encendido del equipo



b) Seguidamente se realizará el tarado de charola mediante el auto muestreador



c) Se colocó en el horno del TGA 550

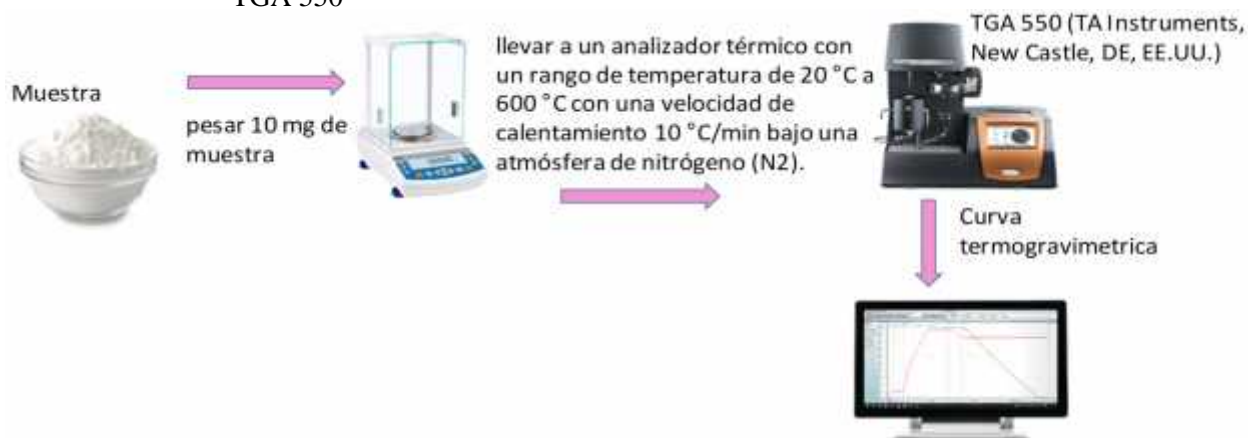


c) En una balanza analítica se pesará 10 mg de muestra en la charola (Platinum).

Estando la muestra en el horno, se programará a las condiciones de trabajo deseado. Para ello se usará la metodología descrita por Ligarda et al., (2023).

Se llevará a un analizador térmico TGA 550 (TA Instruments, New Castle, DE, EE.UU.) con un rango de temperatura de 20 °C a 600 °C con una velocidad de calentamiento 10 °C/min bajo una atmósfera de nitrógeno (N<sub>2</sub>).

Finalmente, este equipo permitirá obtener el termograma según a los objetivos propuestos.



**Anexo 17. Procedimientos para realizar pruebas experimentales en el Calorímetro Diferencial de Barrido (DSC)**



1. Se utilizará una computadora, se procedió al encendido del CPU y monitor



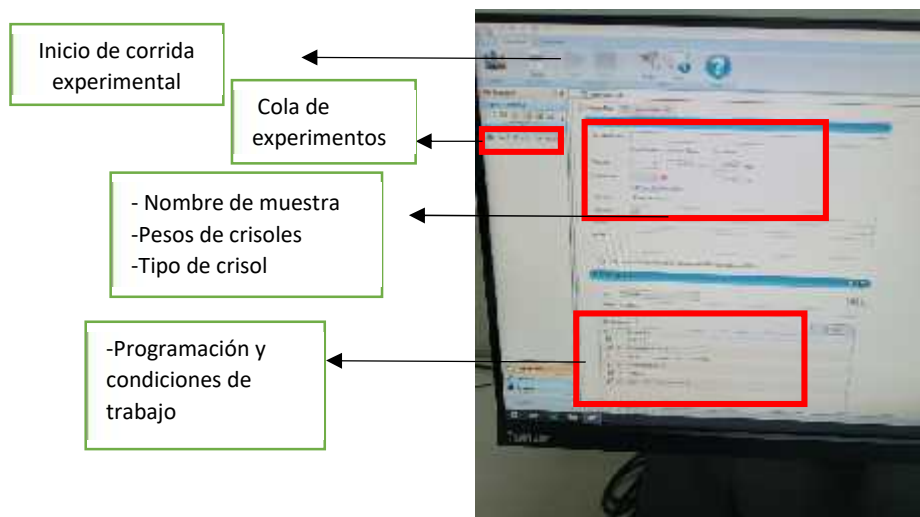
2. Encendido de equipo DSC  
encendido del CPU y monitor



3. Una vez encendido el equipo se accede al programa TRIOS

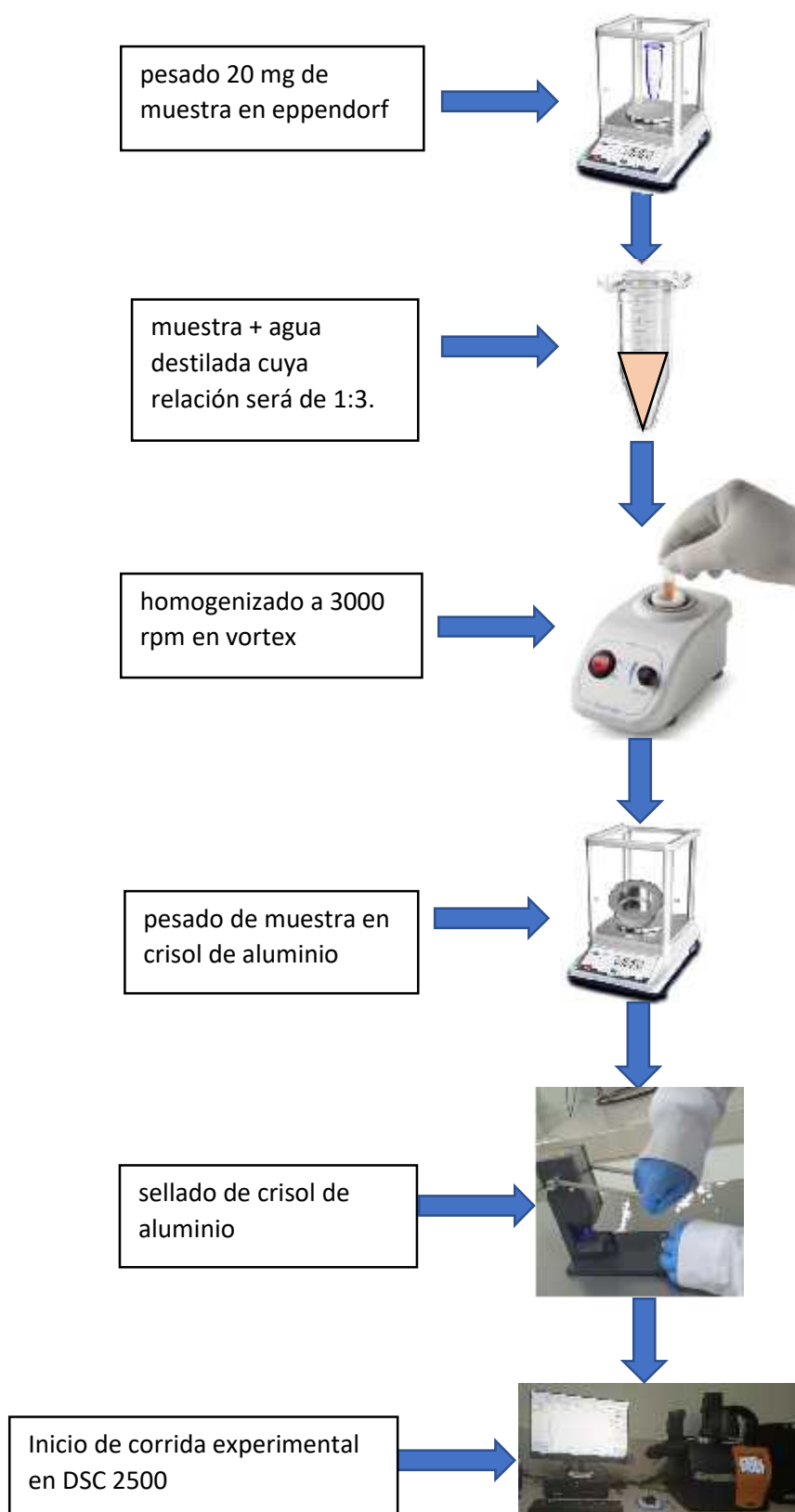


4. Se prendió el Sistema de enfriamiento refrigerado, tomará un tiempo aproximado de 15 a 20 minutos hasta llegar a los  $-65^{\circ}\text{C}$ , esto se visualizará en el panel de navegación del programa TRIOS.



5. Finalmente, el equipo está listo para programar a las condiciones de trabajo deseado.

### Preparación de la muestra hasta llegar al Analizador Termogravimétrico





**Anexo 18. Obtención de la Harina de Bagazo de Malta Cervecera**



a) Recepción del bagazo de granos de la Malta



b) Pesado del Bagazo de la Malta Cervecera



c) El Bagazo fue colocado en rejillas para luego se puestas en el horno.



d) El Bagazo seco fue molido, en un molino de Laboratorio



e) Proceso de molienda



f) Resultado de molienda, Harina de Bagazo de Malta Cervecera

g) Tamiz N°100



h) Harina antes de tamizar

i) Tamizado por 45 segundos, finalmente Harina fina de Bagazo de Malta Cervecera





j) Almacenar hasta el momento de su uso.

### Anexo 19. Extracción del Almidón de Papa



a) Lavado de la papa



b) Pesado de la papa



c) Descortezado de la papa



d) 2do Lavado



e) Trozado







f) Licuado



g) Filtrado



h) Sedimentado

i) Decantación

j) Extracción del Almidón base húmeda



k) Almidón húmedo colocado en fuentes de plástico, que fueron llevados al horno, Secado



l) Almidón seco



m) Molienda



n) Almacenamiento

## Anexo 20. Elaboración de Bandejas Biodegradables



a) Formulación



Materia seca añadida y pasada a un recipiente de aluminio      Adición glicerol      Adición H<sub>2</sub>O  
b) Mezclado



c) Pesado



d) Termoprensado





e) Desmoldado



Corte de las bandejas en sus diferentes tratamientos

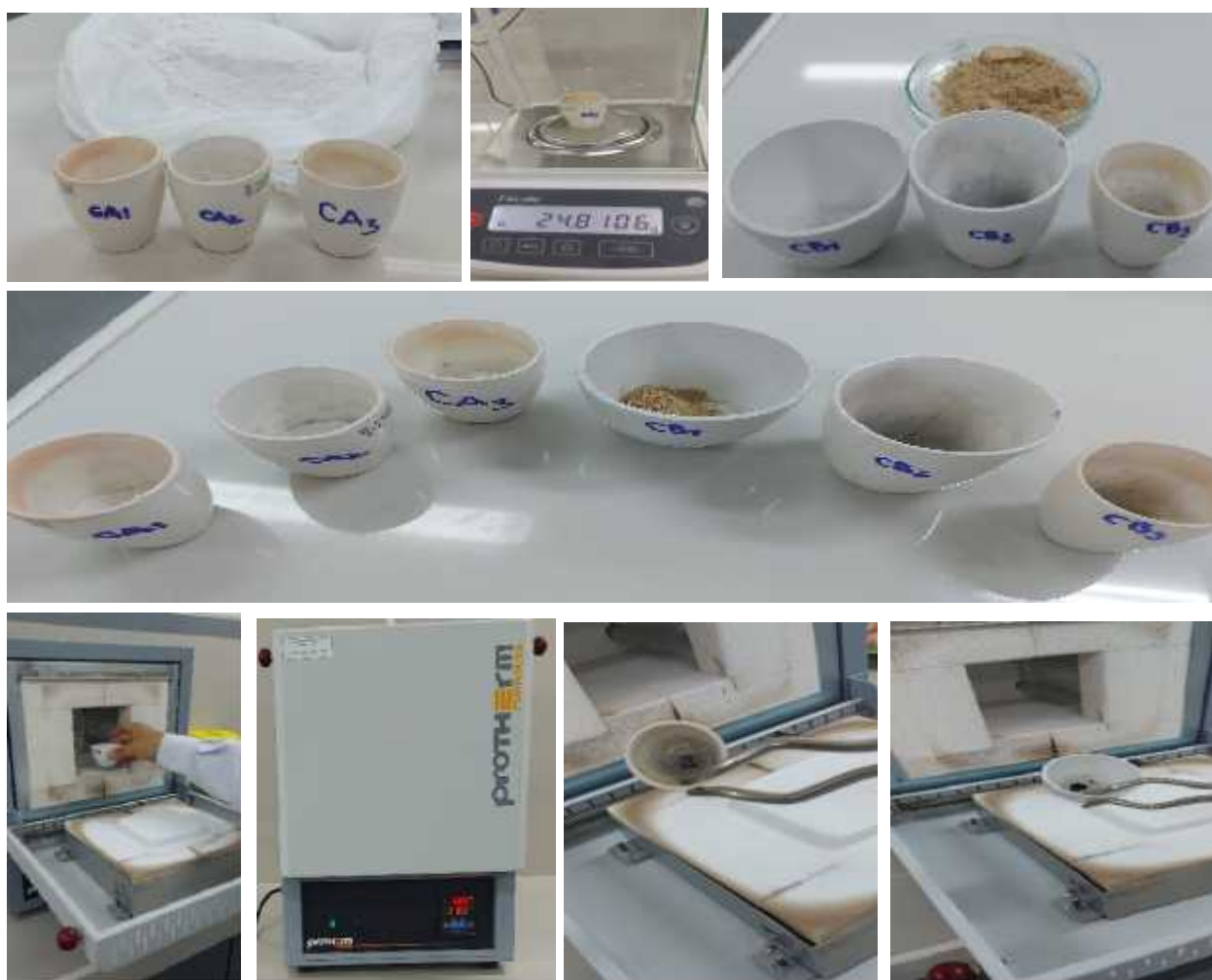


f) Acondicionamiento y Almacenamiento

## Anexo 21. Análisis de las propiedades físicas de las Materias Primas



a) Humedad



b) Cenizas





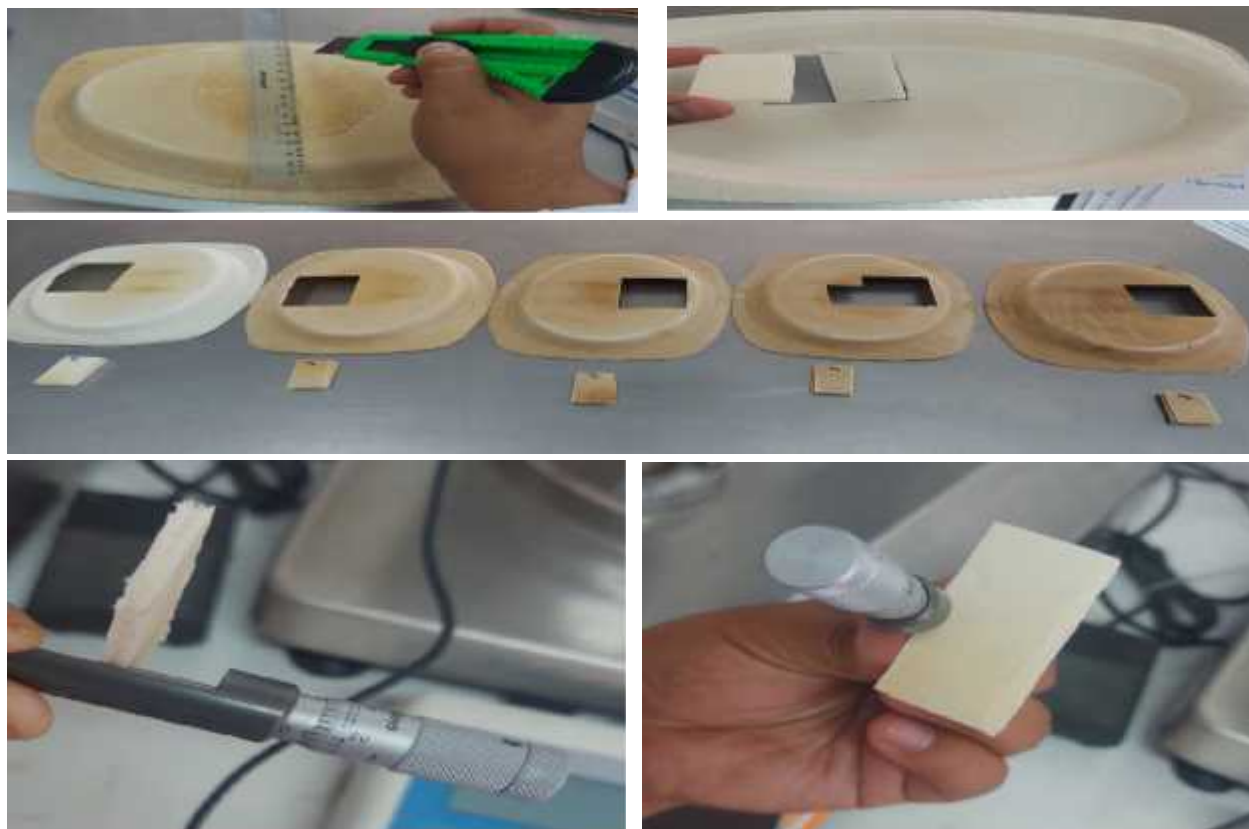


c) Grasas



d) Fibra

**Anexo 22. Análisis de las propiedades físicas de las Bandejas Biodegradables**



a) Espesor



b) Capacidad de Absorción de Agua





c) Humedad



d) Color