

UNIVERSIDAD NACIONAL DEL SANTA
FACULTAD DE INGENIERÍA
ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA AGROINDUSTRIAL



UNS
UNIVERSIDAD
NACIONAL DEL SANTA

**Formulación y caracterización de un vaso comestible y
biodegradable elaborado con harinas de cáscara de naranja y avena**

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

Autora:

Bach. Alfaro Acuña, Xiomira Judith

Código ORCID: 0009-0000-2095-5312

Asesora:

Mg. Córdova Chang, Any Berenice

DNI: 43775869

Código ORCID: 0000-0002-2179-0641

Co-asesora:

Mg. Arévalo Oliva, María de Fátima

DNI: 70917248

Código ORCID: 0000-0003-3432-9843

NUEVO CHIMBOTE-PERÚ

2025

UNIVERSIDAD NACIONAL DEL SANTA
FACULTAD DE INGENIERIA
ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERIA AGROINDUSTRIAL



CARTA DE CONFORMIDAD DEL ASESOR

El presente Informe para Título profesional ha sido revisado y desarrollado en cumplimiento del objetivo propuesto y reúne las condiciones formales y metodológicas, estando dentro de las áreas y líneas de investigación conforme al reglamento general para obtener el Título Profesional en la Universidad Nacional del Santa (R.D. N° 337-2024-CU-R-UNS) de acuerdo a la denominación siguiente:

TESIS PARA OBTENER EL TITULO PROFESIONAL DE INGENIERO
AGROINDUSTRIAL

“FORMULACIÓN Y CARACTERIZACIÓN DE UN VASO COMESTIBLE Y
BIODEGRADABLE ELABORADO CON HARINAS DE CÁSCARA DE
NARANJA Y AVENA”

AUTOR: Br. ALFARO ACUÑA XIOMIRA JUDITH

Ms. Any Berenice Córdova Chang

ASESORA

DNI: 43775869

Código ORCID: 0000-0002-2179-0641

UNIVERSIDAD NACIONAL DEL SANTA
FACULTAD DE INGENIERIA
ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERIA AGROINDUSTRIAL



ACTA DE CONFORMIDAD DEL JURADO

El presente trabajo de tesis titulado: “FORMULACIÓN Y CARACTERIZACIÓN DE UN VASO COMESTIBLE Y BIODEGRADABLE ELABORADO CON HARINAS DE CÁSCARA DE NARANJA Y AVENA”, para obtener el título profesional de Ingeniero Agroindustrial, presentado por la bachiller: Alfaro Acuña Xiomira Judith, con código de matrícula 0202012018, que tiene como asesora a la Ms. Any Berenice Córdova Chang, según R.D. N° 244-2024-UNS-FI. Ha sido revisado y aprobado por el siguiente jurado evaluador, designado mediante la resolución N° 632-2025-UNS-CFI.

Dr. Augusto Castillo Calderón

Presidente

DNI: 32931123

Código ORCID: 0000-0001-9237-8542

Dra. Elza Berta Aguirre Vargas

Secretario

DNI: 19096335

Código ORCID: 0000-0003-1659-9874

Ms. Any Berenice Córdova Chang

Integrante

DNI: 43775869

Código ORCID: 0000-0002-2179-0641

ACTA DE SUSTENTACIÓN DE TESIS

Siendo las 16:00 horas del día veintiséis de noviembre del dos mil veinticinco, se instalaron en el Pabellón de la EP de Ingeniería Agroindustrial – Aula Multimedia, el Jurado Evaluador, designado mediante T/Resolución N° 632-2025-UNS-CFI integrado por los docentes:

- **Dr. Augusto Castillo Calderón** (Presidente)
- **Dra. Elza Berta Aguirre Vargas** (Secretario)
- **Ms. Any Berenice Córdova Chang** (Integrante)

Para dar inicio a la Sustentación del Informe Final de Tesis:

“FORMULACIÓN Y CARACTERIZACIÓN DE UN VASO COMESTIBLE Y BIODEGRADABLE ELABORADO CON HARINAS DE CÁSCARA DE NARANJA Y AVENA” elaborado por la bachiller en Ingeniería Agroindustrial.

- **ALFARO ACUÑA XIOMIRA JUDITH**

Asimismo, tiene como Asesor a la docente: **Ms. Any Berenice Córdova Chang** y como Coasesora a la **Ing. María de Fátima Arévalo**

Finalizada la sustentación, la Tesista respondió las preguntas formuladas por los miembros del Jurado Evaluador.

El Jurado después de deliberar sobre aspecto relacionados con el trabajo, contenido y sustentación del mismo, y con las sugerencias pertinentes en concordancia con el Artículo 103° del Reglamento de Grados y títulos de la Universidad Nacional del Santa, declaran:

| NOMBRES Y APELLIDOS | NOTA VIGESIMAL | CONDICIÓN |
|-----------------------------|----------------|-----------|
| ALFARO ACUÑA XIOMIRA JUDITH | 18 | Bueno |

Siendo las 17:30 horas del mismo día, se dio por terminada dicha sustentación, firmando en señal de conformidad el Jurado Evaluador.

Nuevo Chimbote, 26 de noviembre del 2025.



Dr. Augusto Castillo Calderón
Presidente



Dra. Elza Berta Aguirre Vargas
Secretario



Ms. Any Berenice Córdova Chang
Integrante




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: **Xiomira Alfaro**
Título del ejercicio: **Informe de tesis de Ingeniería Agroindustrial**
Título de la entrega: **INFORME FINAL DE TESIS_.docx**
Nombre del archivo: **INFORME_FINAL_DE_TESIS_.docx**
Tamaño del archivo: **25.93M**
Total páginas: **151**
Total de palabras: **26,975**
Total de caracteres: **148,988**
Fecha de entrega: **27-nov-2025 08:22p. m. (UTC-0500)**
Identificador de la entrega: **2810335147**

UNIVERSIDAD NACIONAL DEL SANTA
FACULTAD DE INGENIERÍA
ESCUELA ACADÉMICA PROFESIONAL DE
INGENIERÍA AGROINDUSTRIAL

 **UNS**
UNIVERSIDAD
NACIONAL DEL SANTA

Formulación y caracterización de un vaso comestible y
biodegradable elaborado con harinas de cáscara de naranja y avena
Tesis para optar el Título Profesional de Ingeniero Agroindustrial

Autora:
Bach. Alfaro Acuña, Xiomira Judith
DNI: 73576779
Código ORCID: 0009-0000-2095-5312

Asesora:
Mg. Córdova Chang, Any Berenice
DNI: 43775869
Código ORCID: 0000-0002-2179-0641

Coasesor:
Mg. Arévalo Oliva, María de Fátima
DNI: 70917248
Código ORCID: 0000-0003-3432-9843
Nuevo Chimbote-Perú
2025

1

INFORME FINAL DE TESIS_.docx

INFORME DE ORIGINALIDAD

14%

INDICE DE SIMILITUD

14%

FUENTES DE INTERNET

4%

PUBLICACIONES

4%

TRABAJOS DEL
ESTUDIANTE

FUENTES PRIMARIAS

1

repositorio.uns.edu.pe

Fuente de Internet

5%

2

hdl.handle.net

Fuente de Internet

1%

3

repositorio.unapiquitos.edu.pe

Fuente de Internet

1%

4

dspace.unitru.edu.pe

Fuente de Internet

<1%

5

eprints.uanl.mx

Fuente de Internet

<1%

6

repositorio.uncp.edu.pe

Fuente de Internet

<1%

7

repositorio.unsch.edu.pe

Fuente de Internet

<1%

8

es.scribd.com

Fuente de Internet

<1%

9

Submitted to Universidad Cesar Vallejo

Trabajo del estudiante

<1%

10

repositorio.unal.edu.co

Fuente de Internet

<1%

11

Submitted to Universidad Nacional del Centro
del Peru

Trabajo del estudiante

<1%

DEDICATORIA

A mis queridas hermanas, *Tirsa y Zoe*. A ti, Tirsa, te agradezco por ser mi ejemplo de fortaleza y por enseñarme la importancia de priorizarme. Gracias por mostrarme que el verdadero bienestar comienza con uno mismo, y por darme siempre ese recordatorio de cuidar mi mente y mi alma. A ti, Zoe, te agradezco por ser la luz que ilumina mi camino. Gracias por enseñarme que hay que disfrutar de cada momento.

A todas esas personas que me han dado su apoyo. A veces no somos conscientes del gran impacto que un pequeño gesto de amabilidad puede tener. Gracias por estar ahí, por creer en mí cuando yo misma no lo hacía, por ofrecerme tu ayuda en momentos difíciles. La generosidad de cada uno de ustedes ha sido una cadena invisible que me ha permitido superar muchas barreras y seguir adelante.

A mis padres, *Juan y Karen*, mi eterna gratitud por ser el pilar de mi vida. Papá, gracias por ser mi guía y enseñarme que el estudio es la llave del éxito, que el aprendizaje nunca termina y que la pasión en lo que hacemos marca la diferencia. Mamá, gracias por ser la fuente de mi fuerza y enseñarme que el amor, la responsabilidad y la dedicación son los cimientos de todo lo que hacemos. Gracias por ser el reflejo de la bondad y el esfuerzo que siempre nos animan a avanzar, sin importar los obstáculos. Ambos me enseñaron que el esfuerzo trae recompensas.

AGRADECIMIENTOS

Primero, quiero expresar mi más sincero agradecimiento a Dios. Gracias por tu apoyo incondicional y por darme la fuerza para seguir adelante, aun cuando todo parecía oscuro. Soy muy afortunada de tener tu amor en mi vida, me has mostrado caminos maravillosos y a través de tu fe en mí, pude encontrar el propósito y la dirección.

A mi asesora, *Berenice Córdova* y a mi coasesora, *María de Fátima Arévalo*, por su dedicación y orientación constante. Su apoyo académico y humano ha sido fundamental para mi crecimiento personal y profesional. Gracias por estar dispuestas a compartir sus conocimientos.

A mi familia en general, especialmente a mis hermanas, padres, tío *Juan* y abuelita *Luti*, por su amor, apoyo incondicional y por ser la base de todo lo que soy. Gracias por estar a mi lado en cada paso, por enseñarme a ser fuerte y por darme el amor que necesito para seguir adelante.

La generosidad de cada uno de ustedes ha sido una bendición que ha marcado mi vida de manera profunda.

INDICE

| | |
|--|------|
| RESUMEN | xvi |
| ABSTRACT | xvii |
| I. INTRODUCCIÓN | 18 |
| II. MARCO TEÓRICO | 21 |
| 2.1. Antecedentes | 21 |
| 2.2. Marco conceptual | 28 |
| 2.2.1. Biopolímeros | 28 |
| 2.2.2. Envases comestibles | 29 |
| 2.2.3. Envases biodegradables | 31 |
| 2.2.4. Normativa de biodegradabilidad | 32 |
| 2.2.5. Cáscara de naranja | 33 |
| 2.2.6. Avena | 34 |
| 2.2.7. Agente plastificante | 37 |
| 2.2.8. Masa de galleta | 38 |
| 2.2.9. Propiedades mecánicas | 39 |
| 2.2.10. Espectroscopia de infrarrojos por transformada de Fourier (FTIR) | 39 |
| 2.2.11. Análisis termogravimétrico (TGA) | 40 |
| 2.2.12. Diseño de experimentos con mezclas | 40 |
| III. METODOLOGIA | 42 |
| 3.1. Lugar de ejecución | 42 |
| 3.2. Materiales e instrumentos | 42 |

| | | |
|--------|---|----|
| 3.2.1. | Materia prima | 42 |
| 3.2.2. | Insumos..... | 43 |
| 3.2.3. | Reactivos..... | 43 |
| 3.2.4. | Equipos e instrumentos | 43 |
| 3.2.5. | Materiales de laboratorio..... | 45 |
| 3.2.6. | Otros materiales..... | 45 |
| 3.3. | Diagrama de flujo experimental | 45 |
| 3.3.1. | Obtención de la harina de cáscara de naranja | 45 |
| 3.3.2. | Obtención de la harina de avena | 48 |
| 3.3.3. | Obtención de los vasos comestibles y biodegradables | 49 |
| 3.4. | Métodos de análisis | 52 |
| 3.4.1. | Caracterización de la materia prima..... | 52 |
| 3.4.2. | Caracterización de los vasos biodegradables y comestibles..... | 53 |
| 3.5. | Propuesta experimental | 57 |
| 3.5.3. | Diseño estadístico | 59 |
| 3.5.4. | Análisis estadístico | 62 |
| IV. | RESULTADOS Y DISCUSIÓN | 64 |
| 4.1. | Rendimiento de materia prima | 64 |
| 4.2. | Caracterización de la composición química proximal..... | 66 |
| 4.2.1. | Análisis proximal de la harina de cáscara de naranja y avena..... | 66 |
| 4.2.2. | Análisis proximal del vaso comestible y biodegradable | 70 |
| 4.3. | Análisis de las propiedades físicas | 73 |

| | | |
|--------|---|-----|
| 4.3.1. | Análisis de los parámetros de color de los vasos | 73 |
| 4.3.2. | Análisis del espesor, densidad, solubilidad, capacidad de absorción de agua y sólidos volátiles de los vasos..... | 76 |
| 4.4. | Análisis de las propiedades mecánicas | 84 |
| 4.4.1. | Análisis de las mecánicas de los vasos comestibles y biodegradables..... | 84 |
| 4.5. | Análisis de las propiedades estructurales | 88 |
| 4.5.1. | FTIR | 88 |
| 4.5.2. | Análisis termogravimétrico..... | 92 |
| V. | CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES..... | 97 |
| 5.1. | Conclusiones | 97 |
| 5.2. | Recomendaciones | 98 |
| VI. | REFERENCIAS BIBLOGRÁFICAS | 99 |
| | ANEXOS..... | 119 |

INDICE DE TABLAS

| | |
|--|----|
| Tabla 1. Composición nutricional por cada 100 gramos de avena | 36 |
| Tabla 2. Variables dependientes | 58 |
| Tabla 3. Restricciones mínimas y máximas de los componentes de harinas..... | 60 |
| Tabla 4. Tratamientos | 60 |
| Tabla 5. Formulación de cada tratamiento | 61 |
| Tabla 6. Matriz experimental..... | 62 |
| Tabla 7. Diseño experimental aleatorización..... | 63 |
| Tabla 8. Rendimiento de la obtención de las harinas de cáscara de naranja y de avena | 64 |
| Tabla 9. Composición química proximal de las harinas de cáscara de naranja y avena | 66 |
| Tabla 10. Composición química proximal de los vasos comestibles y biodegradables | 70 |
| Tabla 11. Parámetros de color promedio L^* , a^* , b^* y diferencia de color (ΔE^*) de los vasos comestibles y biodegradables..... | 74 |
| Tabla 12. Valores de espesor, densidad, solubilidad y sólidos volátiles (SV)de los vasos los comestibles y biodegradables | 77 |
| Tabla 13. Valores de capacidad de absorción de agua (%) de los vasos los comestibles y biodegradables | 82 |
| Tabla 14. Valores de dureza, deformación, tensión y elongación de los vasos comestibles y biodegradables | 85 |

INDICE DE FIGURA

| | |
|--|----|
| Figura 1. Partes y componentes de la estructura interna de la naranja de la variedad Citrus Sinensis | 33 |
| Figura 2. Composición del grano de avena | 34 |
| Figura 3. Diagrama de flujo de la harina de cáscara de naranja..... | 45 |
| Figura 4. Diagrama de flujo de la harina de avena..... | 48 |
| Figura 5. Diagrama de flujo de los vasos comestibles y biodegradables | 50 |
| Figura 6. Etapas del diseño de investigación..... | 59 |
| Figura 7. Espectros de FTIR de los vasos comestibles y biodegradables a)Tratamiento T1 de 25% de harina de cáscara de naranja y 5% de harina avena,b) Tratamiento T3 de 15% de harina de cáscara de naranja y 15% de harina avena, y c)Tratamiento de T5 de 5% de harina de cáscara de naranja y 25% de avena. | 89 |
| Figura 8. Termograma TGA del a) tratamiento 1, b) tratamiento 3 y c) tratamiento 5 de los vasos comestibles y biodegradables | 93 |

INDICE DE ANEXOS

| | |
|---|-----|
| Anexo I. Análisis de Varianza (ANOVA) de la composición proximal de la harina de cáscara de naranja y avena | 119 |
| Anexo II. Análisis de Varianza (ANOVA) de parámetros color: L*, a*, b* y color. . | 122 |
| Anexo III. Análisis de Varianza (ANOVA) de la composición proximal de cada tratamiento de los vasos comestibles y biodegradables. | 125 |
| Anexo IV. Análisis de Varianza (ANOVA) de las propiedades físicas de las bandejas (Espesor, densidad, solubilidad, capacidad de absorción de agua y sólidos volátiles). | 129 |
| Anexo V. Análisis de Varianza (ANOVA) de las propiedades mecánicas: dureza (N), deformación (mm), Tensión (MPa) y Elongación (mm)..... | 135 |
| Anexo VI. Obtención de la harina de cáscara de naranja | 137 |
| Anexo VII. Obtención de la harina de avena..... | 138 |
| Anexo VIII. Rendimiento de la harina de cáscara de naranja | 139 |
| Anexo IX. Rendimiento de la harina de avena | 140 |
| Anexo X. Análisis proximal de las harinas de cáscara de naranja y avena..... | 141 |
| Anexo XI. Formulación de tratamientos de los vasos comestibles y biodegradables . | 142 |
| Anexo XII. Diseño del molde de madera | 143 |
| Anexo XIII. Materiales para el moldeado de los vasos | 143 |
| Anexo XIV. Análisis proximal de cada tratamiento de los vasos comestibles y biodegradables..... | 144 |
| Anexo XV. Análisis de las propiedades físicas como la absorción de agua y solubilidad de los vasos comestibles y biodegradables..... | 145 |
| Anexo XVI. Análisis de las propiedades físicas como color, espesor, densidad y sólidos volátiles de los vasos comestibles y biodegradables. | 146 |

| | |
|--|-----|
| Anexo XVII. Molienda del vaso comestible y biodegradables a harina para los análisis proximales y sólidos volátiles | 147 |
| Anexo XVIII. Conservación en bolsa polietileno de ziploc de las vasos comestibles y biodegradables de cada tratamiento para el análisis proximal y propiedades físicas..... | 148 |
| Anexo XIX. Conservación por sellado al vacío de las muestras de cada tratamiento para el análisis de las propiedades físicas, mecánicas y estructurales | 148 |
| Anexo XX. Análisis proximal de los tratamientos de los vasos comestibles y biodegradables..... | 149 |
| Anexo XXI. Dimensiones de la muestra de cada tratamiento para el análisis de las propiedades mecánicas | 150 |
| Anexo XXII. Dimensiones de la muestra de cada tratamiento para el análisis de las propiedades estructurales | 150 |
| Anexo XXIII. <i>Composición proximal de los tratamientos</i> | 151 |
| Anexo XXIV. Solubilidad (%) de cada tratamiento | 154 |
| Anexo XXV. Densidad (g/ cm ³) de cada tratamiento | 154 |
| Anexo XXVI. Espesor (mm) de cada tratamiento | 154 |
| Anexo XXVII. Sólidos Volátiles (%) de cada tratamiento..... | 155 |
| Anexo XXVIII. Capacidad de absorción (%) de cada tratamiento | 155 |
| Anexo XXIX. Propiedades mecánicas de cada tratamiento..... | 156 |

RESUMEN

La contaminación por plásticos genera impactos ambientales y en la salud humana significativos, lo que ha impulsado el desarrollo de alternativas sostenibles. En este contexto, la presente investigación tuvo como objetivo formular y caracterizar vasos comestibles y biodegradables elaborados con harina de cáscara de naranja y harina de avena, evaluando su composición proximal, propiedades físicas, mecánicas y estructurales, con el fin de determinar la mejor formulación para su uso como envase alimentario. Se aplicó un Diseño de Mezclas con cinco tratamientos (T1–T5), variando las proporciones de cáscara de naranja y avena (25:5, 20:10, 15:15, 10:20 y 5:25).

Se obtuvieron espesores homogéneos de 6.1–6.8 mm en todos los tratamientos, con densidades que disminuyeron de 0.64 a 0.15 g/cm³ al aumentar la avena, evidenciando una estructura más ligera y porosa. La solubilidad se mantuvo entre 22.58–24.78%, y la capacidad de absorción de agua aumentó de 5.13 % a 26.82 % entre 1 y 20 minutos, asociada al carácter hidrofílico de la avena y a la fibra insoluble de la cáscara de naranja. En las propiedades mecánicas, las formulaciones con mayor avena mostraron mayor elongación, mientras que las de mayor cáscara presentaron mayor dureza y resistencia estructural, atribuida a la pectina y celulosa. El análisis FTIR confirmó la formación de una matriz biopolimérica estable. El TGA mostró tres etapas de degradación térmica correspondientes a la pérdida de humedad, descomposición de polisacáridos y formación de residuos carbonosos, con pérdidas totales del 82–83 % y residuos finales del 16.8–18 %, evidenciando su estabilidad térmica y biodegradabilidad. En conjunto, el tratamiento T5 (5 % cáscara de naranja y 25 % avena) validando su potencial como envase comestible y sostenible.

Palabras claves: vasos comestibles, envases biodegradables, cáscara de naranja, avena.

ABSTRACT

Plastic pollution generates significant environmental and human health impacts, which has driven the development of sustainable alternatives. In this context, the present research aimed to formulate and characterize edible and biodegradable cups made from orange peel flour and oat flour, evaluating their proximate composition, physical, mechanical, and structural properties in order to determine the best formulation for use as a food container. A Mixture Design with five treatments (T1–T5) was applied, varying the proportions of orange peel and oat flours (25:5, 20:10, 15:15, 10:20, and 5:25).

Homogeneous thicknesses of 6.1–6.8 mm were obtained in all treatments, with densities decreasing from 0.64 to 0.15 g/cm³ as the oat content increased, indicating a lighter and more porous structure. Solubility ranged from 22.58–24.78%, and water absorption capacity increased from 5.13% to 26.82% between 1 and 20 minutes, associated with the hydrophilic nature of oats and the insoluble fiber of orange peel. In mechanical properties, formulations with higher oat content showed greater elongation, while those with higher orange peel content presented greater hardness and structural resistance, attributed to pectin and cellulose. FTIR analysis confirmed the formation of a stable biopolymeric matrix. TGA showed three stages of thermal degradation corresponding to moisture loss, polysaccharide decomposition, and formation of carbonaceous residues, with total losses of 82–83% and final residues of 16.8–18%, demonstrating their thermal stability and biodegradability. Overall, treatment T5 (5% orange peel and 25% oat) validated its potential as an edible and sustainable container.

Keywords: edible cups, biodegradable packaging, orange peel, oats.

I. INTRODUCCIÓN

La contaminación por plástico causa un grave impacto ambiental, afectando no solo a los ecosistemas terrestres y marinos, sino a la salud de los seres humanos (Deville *et al.*, 2023; Tejaswini *et al.*, 2022). La contaminación por plástico en el mar peruano ha aumentado significativamente, con más 450 fragmentos/m², lo que amenaza tanto al ecosistema marino y afecta la salud del ser humano (Díaz-Santibañez *et al.*, 2023). Los plásticos desechados al mar no desaparecen, sino que se fragmentan en microplásticos que ingresan a la cadena alimentaria consumidos por el plancton, dispersándose por el hábitat marino siendo consumidos por especies marinas de mayor tamaño y, finalmente, terminan en nuestro plato ingiriendo los microplásticos (De la Torre *et al.*, 2023).

Los envases descartables, como los vasos descartables de plástico y tecnopor, están diseñados para contener alimentos líquidos, sin embargo, están compuestos por aditivos dañinos para la salud como el Bisfenol A (BPA) y estireno, principalmente (Zhu *et al.*, 2024). El estireno se usa para la elaboración de plásticos transparentes, y la ingesta de sus nanopartículas migratorias genera efectos tóxicos a nivel celular afectando los glóbulos rojos provocando leucemia (Wang *et al.*, 2023). De igual modo el bisfenol A, puede migrar del recipiente plástico al líquido contenido, intensificándose a altas temperaturas, ocasionando problemas reproductivos, enfermedades cardiovasculares y neurodegenerativas (Palšania *et al.*, 2024).

En el Perú, el calentamiento global se ve intensificado en un 66% debido a las emisiones de gases de efecto invernadero generado por los desechos agrícolas, entre ellos las cáscaras de naranja (Instituto de Ingenieros de Minas del Perú, 2023). A nivel mundial, la producción de naranja alcanzó aproximadamente 84,8 Mt y se estima que

más del 40% de esta fruta genera grandes cantidades de residuos de cáscara, equivalente a 6,8 Mt considerando que la cáscara representa el 20% del peso total del fruto (Córdova *et al.*, 2020). Aunque las formulaciones con mayores cantidades de cáscara de naranja presentan un aprovechamiento más evidente del subproducto, incluso el uso de cantidades mínimas contribuye significativamente a la economía circular. La reutilización de la cáscara de naranja, minimizando la liberación de CO₂ y otros gases de efecto invernadero durante su descomposición (Córdova *et al.*, 2020). Así, pequeños porcentajes de cáscara de naranja en las formulaciones, siguen siendo valiosos para promover la sostenibilidad al evitar que esos residuos terminen como desechos orgánicos que contribuyen a la contaminación. Este enfoque contribuye a la economía circular al aprovechar recursos disponibles de manera eficiente y al generar productos con menor impacto ambiental (Oiao *et al.*, 2024).

El desarrollo de vasos biodegradables y comestibles enfrenta desafíos técnicos y científicos, como la combinación adecuada de ingredientes para garantizar su comestibilidad, biodegradabilidad e integridad estructural al entrar en contacto con alimentos líquidos. Es por ello que se plantea el siguiente problema de investigación: ¿Cuál será la mejor formulación de un vaso comestible y biodegradable elaborado con harinas de cáscara de naranja y avena con valores de caracterización físicas, mecánicas y estructurales adecuadas para su uso como envase alimentario?

La investigación tiene como objetivos: obtener las harinas de cáscara de naranja y avena; determinar la composición proximal de las harinas de cáscara de naranja y de avena; elaborar el vaso comestible y biodegradable con harinas de cáscara de naranja y avena según la matriz experimental, determinar la composición proximal de los vasos comestibles y biodegradables obtenidos, determinar las propiedades físicas como el espesor, densidad, color, sólidos volátiles, solubilidad y capacidad de

absorción de agua de los vasos comestible y biodegradable obtenidos; determinar las propiedades mecánica de dureza, deformación, tensión y elongación de los vasos comestibles y biodegradables obtenidos, y determinar las propiedades estructurales mediante el análisis de transformada de fourier (F-TIR) y análisis termogravimétrico (TGA) de los vasos comestibles y biodegradables obtenidos.

En el Perú se promulgo de la Ley N°30884 que prohíbe el uso de envases plásticos respaldando la necesidad de encontrar soluciones más sostenibles que beneficien al consumidor y al medio ambiente (Ministerio del Ambiente, 2019). El 75% de la población peruana utiliza envases plásticos desechables diariamente, destacando la necesidad de alternativas (INEI, 2022). En 2020, el Perú generó 7.9 millones de toneladas de residuos sólidos municipales, con un 55.7 % de residuos orgánicos con potencial de valorización (Comex Perú, 2022). Los envases de subproductos agroindustriales se promueven la economía circular reduciendo desechos y la disminución de la extracción de recursos naturales (Aranda *et al.* 2023). La importancia de este estudio recae en la creación de un vaso comestible y biodegradable como alternativa a los vasos descartables derivados del petróleo, reduciendo la contaminación en los ecosistemas y afectaciones a la salud del ser humano. Además de ser un recipiente, puede ser un vehículo de nutrientes, brindando beneficios adicionales al consumidor al ser ingerido junto con las bebidas. La avena destaca por su contenido de fibra, su capacidad antioxidante y cantidad significativa de proteínas, lo que en conjunto mejora el perfil nutricional del producto. La producción de estos vasos fomenta la economía circular al reutilizar la cáscara de naranja, promoviendo un uso más un uso sostenible y eficiente de recursos disponibles. Además, al ser un envase comestible, reducen la carga final de residuos al puede ser consumidos.

II. MARCO TEÓRICO

2.1. Antecedentes

Cordero *et al.* (2020), tuvieron como objetivo evaluar el efecto de la sustitución de harina de trigo con harina de avena de diferente tamaño de partícula (250-177 μm) sobre las propiedades texturales y de panificación de la masa de un pan. Los porcentajes de sustitución fueron del 10, 20 y 30 %. Los resultados mostraron un incremento favoreció la extensibilidad de la masa. El volumen específico del pan aumentó cuando se utilizó una sustitución parcial superior al 10 %. En el perfil de textura se observó un mayor ablandamiento del producto final (harina de trigo al 100 %: 7.48 N) al incorporar fibra de avena, obteniéndose valores de 4.58, 4.71 y 7.05 N para los diferentes niveles de sustitución. Además, se registró un incremento del contenido proteico con el aumento de avena, asociado con una mayor retención de agua durante el amasado. En cuanto al color, la luminosidad (L^*) disminuyó con la sustitución parcial, indicando un oscurecimiento. En conclusión, la incorporación de harina de avena, especialmente con partículas finas (177 μm) y en niveles de sustitución de hasta 20 %, mejoró la extensibilidad y suavidad del pan, obteniéndose un producto de mejor textura.

Mohd *et al.* (2020), desarrollaron una investigación con el objetivo de optimizar la formulación y los factores de procesamiento de una masa de galletas a base de avena, analizando el efecto del contenido de harina (50–70%) y el tiempo de reposo (10–50 min) sobre las propiedades de morfología y contenido de humedad de la masa. Respecto al contenido de humedad, las formulaciones con 55% de harina y 10–15 min de reposo mostraron los valores más altos ($\approx 12\%$), mientras que con 70% de harina y 50 min se registró el valor más bajo (10.69%). Este patrón indicó que la humedad

disminuye con el tiempo de reposo, debido a evaporación, y que un mayor contenido de harina favorece la absorción inicial de agua por el almidón y las proteínas. El análisis microscópico (SEM) reveló que las masas con mayor humedad (10 min de reposo) presentaron una fase proteica agregada y discontinua, mientras que las de menor humedad mostraron una red proteica más compacta e interconectada, coherente con una mejor estabilidad y menor adhesión.

Milićević *et al.* (2020), su trabajo de investigación tuvo como objetivo evaluar el efecto del reemplazo parcial de grasa (30% y 50%) mediante hidrogeles elaborados a partir de salvado de avena y trigo sobre las propiedades de la masa, las características físicas y texturales de las galletas. El hidrogel de avena se preparó con una concentración de 22 g/100 g de materia seca y un contenido de agua del 18%. El uso del hidrogel de avena aumentó la viscosidad y elasticidad de la masa, generando una estructura más firme por la acción de los β -glucanos, que retienen agua y estabilizan la red interna. A mayor sustitución, la masa fue más densa y menos fluida. En las propiedades físicas, el hidrogel redujo el diámetro y aumentó ligeramente el espesor y la densidad, debido a la menor expansión durante el horneado por la alta retención de agua. El contenido de humedad fue superior en las formulaciones con avena, lo que proporcionó una textura más suave. En la textura, el reemplazo del 30% incrementó la dureza y cohesión, mientras que al 50% el exceso de agua redujo la firmeza. El hidrogel de avena ofreció una textura más uniforme y estable que el de trigo. No se observaron cambios relevantes en el color.

Fan *et al.* (2021), se tuvo como objetivo desarrollar una película comestible compuesta por pectina y goma xantana y evaluar su efecto en las propiedades mecánicas y permeabilidad del agua. Las interacciones entre la pectina y goma xantana, dieron como resultado aumento en el estiramiento y flexión de las moléculas

de pectina. Sin embargo, el TS disminuye a medida que se aumentó la goma xantana debido a la alta viscosidad que se formó en la mezcla. De igual forma con la cantidad de glicerol, ya que puede destruir las interacciones entre cadenas moleculares. El alargamiento de rotura de la combinación de pectina y goma xantana correspondiente fue del 19.02% y fue la más resistente al agua, debido a su baja permeabilidad de $18,12 \times 10^{-11} \text{ g}/(\text{m}^2 \cdot \text{s} \cdot \text{pa})$.

Chhatariya *et al* (2022), su objetivo fue incorporar polvo seco de cáscara de naranja (OPP) con almidón de maíz (CS) para mejorar las propiedades mecánicas, absorción de agua, contenido de humedad de una película. Se realizó sustituciones de polvo fue cáscara de naranja de 20%, 30%, 40%, 50%. Los análisis FTIR confirmaron interacciones moleculares entre el almidón y los componentes de la cáscara. El contenido de humedad, la película control (0% OPP) presentó el valor más alto (35.4%), mientras que con 20% de sustitución disminuyó a 13%, debido a una menor interacción almidón-almidón. Sin embargo, a medida que aumentó la concentración de OPP, la humedad se incrementó nuevamente (25.06% con 50%), atribuida a la mayor porosidad e hidrofilia del material. En cuanto a la solubilidad, la adición de 20% de OPP redujo levemente la solubilidad en agua (30.7%) respecto al control (33.6%), pero aumentó con mayores concentraciones, alcanzando 37% con 50% de OPP, debido a la presencia de compuestos solubles del polvo de cáscara. La película con 40 % de polvo presentó la mayor resistencia a la tracción (1.41 MPa) y el menor alargamiento (11.12 %), indicando una película más rígida y estable, mientras que las formulaciones con más OPP mostraron mayor absorción de agua. En conclusión, la adición moderada de cáscara de naranja mejoró la estabilidad mecánica evidenciando su potencial como material biobasado para aplicaciones sostenibles.

Sood y Saini (2022), tuvo por finalidad determinar el efecto de la adición de pectina de cáscara de pomelo rojo (100%, 50% y 25%), en diferentes concentraciones, sobre las propiedades mecánicas, estructurales, morfológicas y térmicas de una película compuestas. La pectina se obtuvo a partir de cáscaras escaldadas (90 °C por 10 min) y secadas a 45 °C. Los resultados evidenciaron que las formulaciones con 50% de pectina presentaron las mejores propiedades, al mejorar la resistencia mecánica (ensayos de tracción, ASTM D882), la estabilidad térmica (TGA) y la compactación estructural (FT-IR y XRD), además de disminuir la solubilidad de agua, generando superficies homogéneas y sin grietas (SEM). En conclusión, la adición moderada de pectina fortaleció las películas comestibles y demostró su potencial como material biodegradable.

Ahmed *et al.* (2023), analizaron las propiedades mecánicas, térmicas, reológicas y de barrera de películas comestibles formuladas con goma xantana, con el fin de evaluar su desempeño como material biodegradable para empaques alimentarios. Las películas mostraron un comportamiento pseudoplástico y buena viscoelasticidad, pero su elevada afinidad por el agua redujo la resistencia mecánica y la barrera al vapor de agua. La incorporación de plastificantes (glicerol y sorbitol) aumentó la flexibilidad y elongación, mientras que la adición de refuerzos poliméricos o nanopartículas mejoró la tensión mecánica (TS) y la estabilidad térmica. Los análisis TGA y DSC confirmaron una mayor temperatura de degradación, y los estudios SEM evidenciaron superficies más uniformes y compactas. En conclusión, la goma xantana es un biopolímero con excelente capacidad formadora de película y comportamiento mecánico estable, aunque requiere combinaciones con otros polímeros o aditivos para mejorar su resistencia y reducir su sensibilidad a la humedad.

Vilas *et al.* (2023), tuvo como objetivo optimizar la incorporación de polvo de cáscara de naranja (OPP) y polvo de hojas de moringa (MLP) en galletas, sustituyendo parcialmente la harina de trigo, evaluando sus efectos sobre las propiedades físicas, mecánicas, de humedad y sensoriales. La masa se horneó (160°C-25 min). Para la optimización, se probaron distintas concentraciones de OPP (0.5 a 4 g/100 g de harina) y MLP (0.5 a 4 g/100 g), manteniendo constantes el contenido de grasa (70%) y azúcar (50%). En las propiedades físicas, el incremento del OPP redujo progresivamente el diámetro y la relación de expansión, debido a la mayor absorción de agua de la cáscara y su contenido en fibra insoluble, lo que limitó la extensibilidad de la masa. A su vez, se observó un aumento leve en el espesor, relacionado con la menor fusión de la grasa y la retención de humedad durante el horneado. incrementó su humedad por la naturaleza higroscópica de la fibra y elevó la dureza hasta una concentración del 3%, punto en el que se obtuvo el mejor equilibrio entre firmeza y retención de agua. En conclusión, la adición moderada de cáscara de naranja (3%) mejoró la resistencia mecánica y la estabilidad estructural, sin afectar negativamente las propiedades físicas del producto.

Karakus *et al.* (2023), se desarrollaron películas biológicas comestibles a partir de harina de cáscara de naranja y granada, con el objetivo de evaluar el efecto del tamaño de partícula y las concentraciones de ácido y plastificante sobre sus propiedades físicas y mecánicas. Las harinas se obtuvieron tras remojo, secado a 60 °C por 24 h, molienda y tamizado (150 – 53 μ m). Se utilizó glicerol (7% y 10%) y ácido cítrico (3% y 5%) como agente formador de red. Las propiedades mecánicas (resistencia a la tracción (TS) y elongación a la rotura(EB)) se determinaron mediante ensayos de tracción, mientras que la morfología se analizó por microscopía electrónica de barrido (SEM) y la estabilidad térmica por TGA-DSC. Los resultados mostraron que la

reducción del tamaño de la partícula mejoró significativamente la TS y EB ($p \leq 0.05$), generando superficies homogéneas, lisas y sin grietas, sin embargo para las partículas de mayor tamaño, la interacción con glicerol hizo que la superficie estuviera más intacta. El aumento de glicerol disminuyó la resistencia mecánica. La película con partículas más finas presentó mayor estabilidad térmica, con una degradación principal entre 160 y 300 °C. En conclusión, las películas con partículas pequeñas y 7% de glicerol mostraron las mejores propiedades mecánicas y térmicas.

Pagliarini *et al.* (2024), con objetivo de elaborar compuestos biopoliméricos mediante la incorporación de harina de cáscara de naranja (10–20% en peso) como relleno activo en una matriz, para evaluar su efecto sobre las propiedades mecánicas, térmicas y estructurales. La harina se obtuvo tras un tratamiento térmico (6 h a 60 °C), molienda y tamizado (<160 μm). Los análisis de tracción, TGA, DSC, FT-IR y SEM evidenciaron un aumento del módulo elástico, elongación estable y una ligera variación en la estabilidad térmica, atribuida a la interacción entre el polímero y la harina de cáscara de naranja. En el rango de 220–400 °C se observó la degradación de la pectina. En conclusión, la adición de este residuo permitió obtener materiales con potencial aplicación en empaques ecológicos dentro de una economía circular.

Gasparre *et al.* (2024), tuvo como objetivo optimizar la formulación de panes planos sin gluten mediante la incorporación de cáscara de naranja en polvo y evaluar su efecto en las propiedades mecánicas, retención de agua y propiedades nutricionales. Se probaron cantidades de polvo de cáscara de naranja que variaron de 0 a 9g/100 g de la mezcla. El secado se realizó en una estufa eléctrica a (45°C - 18 h), se molió y se almacenó a –20°C en recipientes herméticos. El polvo de cáscara de naranja mostró notables propiedades de retención de agua atribuidas a su contenido de fibra dietética.

A mayor cantidad de sustitución de harina de cáscara de naranja, la masa aumentó su dureza. Además, la modificación más alta de los niveles de hidratación (125g/100g) mitigó la dureza resultante de la sustitución del polvo de cáscara de naranja, lo que mejoró las propiedades de plegado y permitió la gelatinización lo cual aumentó la consistencia de la masa. En las propiedades físicas se observó una relación directa entre la cantidad de harina de cascara de naranja y un aumento en el tono amarillo. Se obtuvo un mayor contenido de fibras mejorando el perfil nutricional del producto final.

Gu *et al.*, (2022), tuvieron como objetivo estudiar los componentes nutricionales, la hidratación y las propiedades térmicas de las fracciones de diferentes tamizados de harina de avena (74-180 μm) y la relación entre la composición y sus características. Las partículas más pequeñas (<132 μm) presentaron mayor contenido de almidón y amilosa, mientras que las más grandes (>150 μm) concentraron proteínas, fibra dietaria y lípidos, lo que influyó directamente en su comportamiento funcional. En las propiedades de hidratación, las fracciones grandes mostraron mayor índice de solubilidad en agua (9.9%), mientras que las medianas (100–132 μm) presentaron la mayor capacidad de hinchamiento.

Shulga *et al.* (2023), evaluaron las propiedades de humedad de tazas comestibles biodegradables elaboradas a base de masa de galleta como alternativa sostenible a los vasos plásticos. Las formulaciones incluyeron harina de trigo (40–60%), almidón de papa o maíz (10–25%), azúcar (5–20%) y margarina (5–20%), recubiertas con pectina o alcohol polivinílico (PVA) para mejorar su impermeabilidad. Aplicada por spray, glaseado o brocha y secada 10 ± 2 h. La impermeabilidad se evaluó colocando papel filtro por fuera del vaso y llenándolo con agua/delimitando la duración mínima aceptable en 40 ± 5 min (criterio asociado al tiempo de consumo de un café); además.

La impermeabilidad se probó llenando la taza con agua a 85–90 °C y midieron el tiempo hasta que se observó reblandecimiento o fuga. Se reportan que el vaso cargado con bebida se mantuvo 2 h sin detectar fugas. El mejor desempeño fue una duración mínima aceptable de 40 min logrando una absorción superficial mínima (<15%).

2.2.Marco conceptual

2.2.1. Biopolímeros

El uso de biopolímeros en materiales de embalaje presenta ventajas ecológicas ya que no son tóxicos, son biocompatibles y biodegradables; ya que son macromoléculas formadas por monómeros de origen natural a través de procesos biológicos o sintéticos. De acuerdo con su estructura química se clasifican principalmente en polinucleótidos o ácidos nucleicos (ARN o ADN), polipéptidos o proteínas y polisacáridos (pectina, celulosa, quitosano, almidón), los cuales han cobrado interés en el desarrollo de envases comestibles y biodegradables (Perera *et al.*, 2023).

Según Nešić *et al.* (2020), los polisacáridos se caracterizan por su abundancia, biodegradabilidad y excelentes propiedades de barrera frente al dióxido de carbono y al oxígeno. Sin embargo, presentan baja resistencia mecánica y alta sensibilidad a la humedad. La baja resistencia se debe a la cantidad de grupos hidroxilos que forman puentes de hidrógeno con el agua del ambiente, se hincha y pierden rigidez, por ello que se adiciona agentes reforzantes plastificantes, como el glicerol, y compatibilizadores, como aceites esenciales (Babaremu *et al.*, 2023).

El almidón destaca por su biodegradabilidad, abundancia, insípido en sabor, naturaleza hidrófila, excelentes propiedades de barrera al oxígeno y comestibilidad, pero presenta baja resistencia mecánicas y propiedades térmicas (Gamage *et al.*, 2022). La celulosa es la más abundante de la naturaleza y se distingue por su alta

capacidad de gelificación y carácter hidrofílico (Abolore *et al.*, 2024). La pectina es un polímero ácido abundante en las paredes celulares y se utiliza como agente estabilizante, espesante, encapsulante y gelificante, mejorando la cohesión de la matriz pero también presenta bajas propiedades mecánicas y baja estabilidad térmica (Assifaoui *et al.*, 2024).

Los biopolímeros proteicos, formados por cadenas de aminoácidos destacan por sus propiedades mecánicas y valor nutricional. Sin embargo, son hidrofílicas y tienen bajas propiedades de barrera (Bhaskar *et al.*, 2023).

Los biopolímeros lipídicos (como ceras, ácidos grasos y aceites) se utilizan principalmente para reducir la permeabilidad al vapor de agua y mejorar las propiedades de barrera cuando se combina con polisacridos o proteínas (Benalaya *et al.*, 2024).

2.2.2. Envases comestibles

El envase comestible es un contenedor de alimentos elaborado a partir de materiales aptos para el consumo humano y biodegradables que contribuyen a reducir la carga final del envase al ingerirse como alimento o degradarse de manera natural (Xingyi Zhang *et al.*, 2024). Los materiales utilizados para su fabricación se dividen en cuatro categorías principales: los polisacáridos, como el almidón, celulosa, gomas y pectinas; proteínas como el colágeno, caseína y cerco de maíz; lípidos, como la cera de parafina, cera de abeja y aceites esenciales; y los compuestos, que incluyen bicapas, pilas múltiples y conglomerados (Petkoska *et al.*, 2021). Según Sumit y Charam (2024), se debe garantizar la biocompatibilidad, la no toxicidad, características no contaminantes y provenir de fuentes naturales. Asimismo, debe evitar el crecimiento de mircoorganismos, y que no degraden los nutrientes intrínsecos durante su elaboración (Subramaniyan *et al.*, 2023). Sin embargo, según

Susmita *et al.* (2024), los envases comestibles también pueden mejorar las propiedades organolépticas como aroma, olor y sabor del alimento que contiene. El envase comestible se desarrolla para mejorar las propiedades funcionales de los materiales, combinando al menos dos biopolímeros con características complementarias generando una sinergia para compensar las debilidades individuales (Abbas, *et al.* 2024). La naturaleza hidrofílica de los polisacáridos y las proteínas contribuye a una menor resistencia a la humedad y propiedades de barrera a comparación de los lípidos, sin embargo, las proteínas muestran una resistencia mecánica buena y evita daños mecánicos en su estructura, por el contrario, los lípidos presentan propiedades contra la humedad relativamente buenas e incluso puede ajustar la transferencia de masa general en el material comestibles, pero son fácilmente no presentan propiedades mecánicas óptimas y son frágiles (Yaashikaa, *et al.*, 2023). Cuando se incorpora los lípidos en matrices de polisacáridos, mejoran la hidrofobicidad, la barrera al vapor de agua, las propiedades mecánicas, antimicrobianas, esto se debe a que interactúan con enlaces hidrógeno y alteran la cristalinidad y plasticidad de las matrices de biopolímeros (Chandra *et al.*, 2023).

Los envases comestibles ofrecen un valor agregado a los alimentos, ya que en su formulación pueden contener compuestos bioactivos, antimicrobianos, vitaminas, antioxidantes y nutrientes que pueden aumentar potencialmente su funcionalidad como envase activo, ya que pueden aumentar la vida útil de los productos, pero también pueden servir como un medio para transportar componentes funcionales y nutritivos beneficios para la salud del consumidor, contribuyendo al perfil nutritivo del alimento (Gaspar y Braga, 2023). Para su elaboración se pueden utilizar aceites esenciales por su efecto antibacteriano y antifúngico, y las cáscaras de naranja cuentan

con alto poder antioxidantes que ayudan a neutralizar radicales libres (Rangaraj, *et al.*, 2021).

2.2.3. Envases biodegradables

El material biodegradable tiene como característica la descomposición de 6 meses, por microorganismos en presencia de oxígeno, hongos y algas, en donde su grado de hidrofiliidad y compostaje con condiciones controladas puede facilitar su descomposición (Cheng *et al.*, 2024).

Estos materiales pueden producirse a partir de fuentes renovables y presentan propiedades (resistencia a la tracción, propiedades térmicas, alargamiento a la rotura, tasa de transmisión de vapor de agua y tasa de transmisión de oxígeno) comparables a las de plásticos convencionales (Shaikh *et al.*, 2021).

Los envases de alimentos biodegradables en su mayoría están elaborados de biopolímeros, lo que provee de la capacidad de biodegradarse, sin embargo, tienen limitaciones, como bajas propiedades de barrera contra la humedad y los gases, baja resistencia al calor y resistencia mecánica, sin embargo, estrategias como la plastificación y la mezcla para formar estructuras compuestas han ampliado su aplicabilidad (Saeeda *et al.*, 2024).

El almidón y la pectina se usan comúnmente en la formación de envases biodegradables, ya que el almidón tiene una buena barrera al oxígeno debido a su extensa red de hidrógeno, pero es sensible a la humedad y quebradizo, mientras que la pectina, presenta una buena capacidad de gelificación, es compatible con otros biopolímeros, pero absorbe humedad fácilmente; y las proteínas vegetales, como el gluten, aumentando su capacidad de biodegradabilidad, resistencia mecánica y

flexibilidad satisfactoria, pero las proteínas presentan una naturaleza hidrófila y una estrategia es mezclar polisacáridos como la pectina o con lípidos (Ahmad, *et al*, 2024).

Los envases biodegradables con un contenido de sólidos volátiles superior al 95% se consideran altamente biodegradables, ya que presentan un bajo residuo mineral inorgánico tras la incineración o digestión, lo que implica que la mayor parte de la masa puede transformarse en CO₂, CH₄, y biomasa microbiana durante la descomposición biológica (Anand *et al.*, 2024).

2.2.4. Normativa de biodegradabilidad

De acuerdo con la NTP 900.080, se establecen los requisitos y procedimientos para determinar la biodegradabilidad de los envases, tomando como base los ensayos de compostabilidad (tratabilidad aeróbica). Para ello, se requiere caracterizar las muestras la determinación de los sólidos volátiles con un mínimo de 50% y alcanzar un porcentaje mínimo de biodegradación del 90 % en un periodo máximo de ensayo de 180 días (compostaje), a fin de ser designado como material orgánicamente recuperable. Asimismo, los materiales no modificados químicamente y de origen natural, como las fibras o el almidón, se consideran biodegradables y no requieren pruebas adicionales de biodegradación. Finalmente, se debe verificar la presencia de sustancias peligrosas, en especial la cantidad de metales pesados (expresados en mg/kg sobre la sustancia seca) (INDECOPI, 2015).

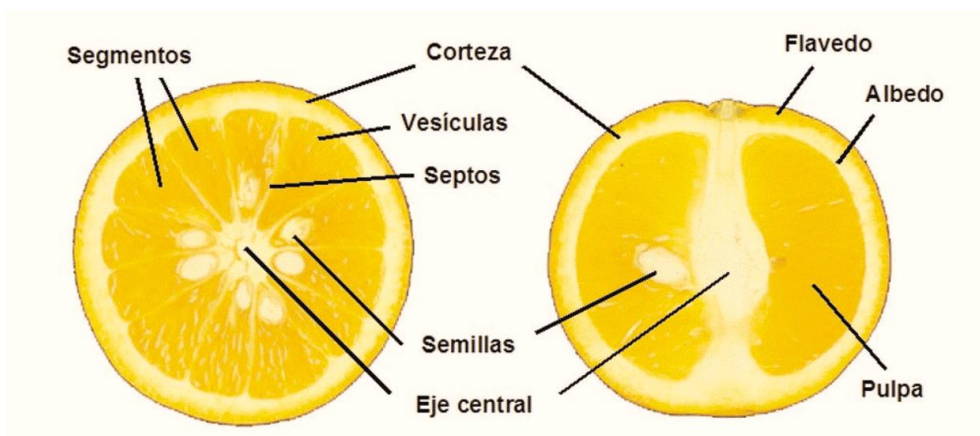
El agua, el dióxido de carbono, metano, compuestos inorgánicos o la biomasa son los principales productos formados por la descomposición de los plásticos biodegradables (NTP 900.080, 2015). No hay acumulación de residuos que sea beneficioso para el medio ambiente, sin embargo, contribuye a una menor producción de gases invernaderos (Cheng *et al.*, 2021).

2.2.5. Cáscara de naranja

La naranja es un fruto cítrico perteneciente a la familia de las Rutáceas, de textura carnososo liso y sabor agri-dulce que consta de tres partes: exocarpo, epicarpio o flavedo (parte exterior llamada cáscara que presenta vesículas que contienen aceites esenciales), mesocarpo o albedo (parte media de textura pomposa y color blanco), y endocarpo o pulpa (Jimenez, 2019).

Figura 1.

Partes y componentes de la estructura interna de la naranja de la variedad Citrus Sinensis



Nota. La imagen representa las partes externas y internas de naranja. Fuente: Perón *et al.*, (2024).

La cáscara de naranja constituye el 20% del peso total de la fruta y contiene entre el 57 % de fibra dietaria total del peso seco, mayoritariamente la fibra insoluble que representa aproximadamente el 49.31%, mientras que la fracción soluble es de 21.64% (Admasu *et al.*, 2024). Su composición presenta un 73% de humedad, 1% de cenizas, 7% de proteínas, 16% de carbohidratos (azúcar, fibra y pectina principalmente) y 2% de lípidos (Ayala *et al.*, 2021).

Según Iñiguez-Moreno *et al.* (2024), las cáscaras de naranja contienen biopolímeros como la hemicelulosa, carotenoides, celulosa, lignina y pectina, resaltando la pectina por su función estructural. La composición de la cáscara de naranja incluye 16.9% de azúcares solubles, 9.21% de celulosa, 10.5% de hemicelulosa y 42.5% de pectina, su principal componente estructural, y aproximadamente entre el 0.5-2% de aceites esenciales o fracción volátil (d-limoneno ocupa más del 90%) (Grado *et al.*, 2024).

Las cáscaras de naranja tienen un alto de pectina, el cual que posee un gran potencial para formar superficies plásticas con altas propiedades de barrera y una resistencia mecánica razonable, ya que proporciona adhesión entre las células (Yaradoddi *et al.*, 2022).

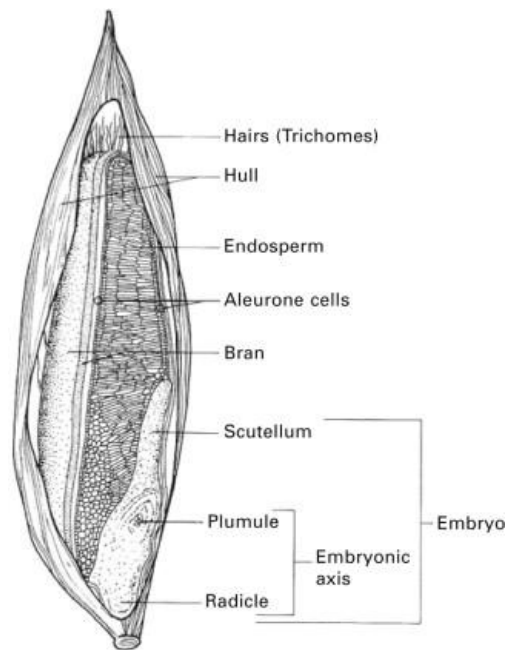
La harina de cáscara de naranja conserva la reserva de fibra presenta una humedad entre 8.73 ± 0.1 secada a 55°C , cenizas $3.33 \pm 0.74\%$, proteína cruda $5.63 \pm 0.14\%$, extracto libre de nitrógeno de $79.18 \pm 0.22\%$, fibra cruda de $11.27 \pm 0.10\%$, una capacidad de absorción de agua de $5.72 \pm 0.12\%$ (Guerra, 2020).

2.2.6. Avena

El género avena, *Avena* L. (Poacea), pertenece a la tribu Aveneae de la familia Graminea siendo la especie *Avena Sativa* la más cultivada y se diferencian de otros cereales por utilizar el grano entero o la grañorera, después de retirar la cáscara, se observa el grano largo y estrecho con pelos tricomas (Firew, *et al.*, 2023).

Figura 2.

Composición del grano de avena



Nota. Hairs (trichomes) traducido al español es pelos (tricomas), para Hull es cáscara, para Endosperm es endosperma y Embryo hace referencia al embrión. Fuente: Poonia *et al*, (2022).

La avena es una excelente de fuente de fibra soluble, aminoácidos esenciales y ácidos grasos insaturados, y sus efectos sobre la salud se han atribuido principalmente a la fracción de β –glucano que tiene la capacidad de reducir el colesterol en sangre y la absorción intestinal de la glucosa. Sin embargo, presenta compuestos antinutricionales como inhibidores enzimáticos (amilasa) y ácido fítico, los cuales pueden disminuir su biodisponibilidad pero su efecto sobre el valor nutritivo es mínimo porque se degradan durante proceso térmicos, como el tostado (Paudel *et al*, 2021; Ahmed *et al.*, 2021).

Tabla 1.

Composición nutricional por cada 100 gramos de avena

| Componente | Cantidad |
|--------------------------|----------|
| Agua (g) | 8.22 |
| Energía (Kcal) | 389 |
| Proteína (g) | 16.9 |
| Lípidos Totales (g) | 6.9 |
| Cenizas (g) | 1.72 |
| Carbohidratos (g) | 66.3 |
| Fibra dietaria total (g) | 10.6 |

Nota. La tabla muestra los siete componentes principales de la avena. Elaboración propia a partir de los datos de U.S. Department Of Agriculture, 2019)

La avena tiene una notable capacidad antioxidante, un alto contenido de proteínas (70-80% de globulina) y fibra soluble (betaglucanos), que contribuye a reducir la glucosa y colesterol, y a prevenir enfermedades cardiovasculares (Ahmed *et al.*, 2021). Debido a la presencia de polisacáridos (celulosa y betaglucanos) y proteínas (globulinas) en su estructura, la avena aporta una alta capacidad de absorción de agua y baja solubilidad, lo que confiere buena estabilidad térmica y propiedades mecánicas favorables en matrices alimentarias (McLauchlan *et al.*, 2024).

La proteína en la avena oscila entre el 6 y el 18% y tiene un equilibrio superior de aminoácidos en comparación con otros cereales (Zhang *et al.*, 2021). La harina de avena presenta propiedades de gelatinización en el cual el almidón absorbe el agua proporcionada y se hincha cuando se calienta, formando una estructura gelificada y se requiere una cantidad específica de energía para pasar por este proceso,

generalmente las partículas de menor tamaño tienen mayor capacidad de absorber agua y forman un gel más cohesivo durante el calentamiento e influye en la textura final (Ma *et al.*, 2022).

De acuerdo a Firew *et al* (2021), los valores obtenidos de la composición proximal y mineral de la harina de avena fueron: 8.5-9.8% de humedad, 11.9-15.8 g/100g MS de proteína cruda, 6.7-10.3 g/100g MS grasa cruda, 2.1-3.5 g/100g MS fibra cruda, 1.2-1.3 g/100g MS para cenizas y 72.6-74.3 g/100 g MS para carbohidratos totales.

En productos de panificación la harina de avena carece de proteínas formadoras de gluten, lo cuales son esenciales para el desarrollo de una red tridimensional responsable de las propiedades viscoelásticas de la masa de y de la retención de gases durante la fermentación. Por ello, se sugiere una sustitución baja entre el 5-15%, y en cuanto a su rendimiento después del horneado se demostró que es crucial la proporción de harina-agua para conseguir la textura necesaria (Y. Zhang *et al.*, 2024).

2.2.7. Agente plastificante

La goma xantana presenta una estructura altamente ramificada de la red polimérica, con capacidad plastificante, espesante y emulsionante, lo que permite una distribución uniforme en la mezcla, puede aumentar sus propiedades de barrera al vapor y reducir su sensibilidad al agua, sin embargo, presentan propiedades térmicas y mecánicas limitadas (Juric *et al.* 2024). Su uso en matrices alimentarias es seguro en bajas dosis (<1%), mejora la retención de gas, cohesión y la estructura de galletas sin harina de trigo, pero superar el límite permitido disminuye la expansión y endurece la textura, retiene la expansión durante el horneado y puede causar efectos gastrointestinales (hinchazón y gases) (Fan *et al.*, 2021).

El glicerol actúa como plastificante y humectante en matrices biopoliméricas, reduce la interacción entre las cadenas de almidón, mejora la flexibilidad, reduce la fragilidad y aumenta la resistencia del material, su punto de ebullición es a 290°C y es semivolátil (Ben *et al.*, 2022). Su adición como insumo en galletas con alto contenido de fibra tiene un rango permitido entre 3 a 5% como máximo, superar el límite vuelve a la masa demasiado húmeda, pegajosa y el producto final pierde la crocancia, parece gomoso o húmedo por dentro (Fan *et al.*, 2021).

La adición de diferentes componentes, como ácidos grasos, aceites esenciales, agentes reticulantes como las cáscaras y glicerol reduce la permeabilidad al agua, en donde resalta la intervención del lípido ya que dispersa uniformemente las gotas de aceite hidrofóbico (Kumar *et al.*, 2024).

2.2.8. Masa de galleta

Según la Resolución Ministerial N°1020-2010/MINSA las galletas deben con los siguientes requisitos: tener una humedad máxima de 12%, proteína como mínimo de 8.5 %, un espesor máximo de 4 mm y una textura suave y crocante; también el valor máximo de cenizas debe ser 3%, y la acidez (expresada en ácido láctico) debe ser mínimo del 0.1% (Ministerio de Desarrollo e inclusión Social, 2022). Además, las galletas deben tener menos de 22.5 g/100g de azúcares totales, menos de 6 g/100g de grasas saturadas y menos de 800mg/100g de sodio (Ministerio de Salud, 2021).

La NTP 206.001 dice que las galletas son productos obtenidos mediante el horneado de una masa, de figuras formadas durante el amasado derivados de harinas de trigo y sucedáneas, y la dureza de la galleta se mide en términos de fuerza de compresión y suele oscilar entre 20 N y 100N, dependiendo del tipo de tipo de galletas e ingredientes, por ejemplo, las galletas más crujientes requieren menos fuerzas.

2.2.9. Propiedades mecánicas

La resistencia o tensión mide la capacidad del material para soportar fuerzas externas sin romperse, ni deformarse, y se realiza aplicando una fuerza gradual creciente sobre la superficie del envase hasta romperse, y se expresa típicamente en unidades como MPa o N/mm^2 . (Singha *et al.*, 2024). La elongación se refiere a la capacidad del material de estirarse o deformarse antes de romperse y se calcula como el cambio porcentual de la longitud del material (Laksanawati *et al.*, 2024). La dureza es la resistencia del material a ser penetrado por un material por un indentador que se presiona sobre la superficie con una fuerza constante y se expresa en unidades de *Newton* (Firdaus *et al.*, 2024). La fracturabilidad evalúa la facilidad con la que la superficie se rompe o fractura bajo condiciones específicas y puede medirse con un patrón de fractura después de aplicar una fuerza determinada, la fracturabilidad alta indica que el material es propenso a romperse mientras que una fractura baja representa lo contrario (Santhosh *et al.*, 2024).

2.2.10. Espectroscopia de infrarrojos por transformada de Fourier (FTIR)

Es una técnica analítica utilizada para identificar grupos funciones presentes en un material y analizar interacciones químicas entre sus componentes (Fan *et al.*, 2021). Esta técnica se basa en la absorción de radiación infrarroja por las moléculas, la cual produce vibraciones características (de estiramiento, flexión o torsión) en los enlaces químicos (C–O, C=O, O–H, N–H, C–H, etc.), permitiendo obtener un espectro molecular que actúa como una “huella digital” del compuesto (Gasparre *et al.*, 2024).

La interpretación del espectro se realiza identificando picos de absorción específicos: por ejemplo, bandas entre $3600\text{--}3200\text{ cm}^{-1}$ se asocian a estiramientos del grupo hidroxilo (–OH), entre $1740\text{--}1730\text{ cm}^{-1}$ al grupo carbonilo (C=O) de pectinas o

ésteres, y entre 1200–900 cm^{-1} a las vibraciones del esqueleto de polisacáridos (celulosa, almidón) (Pagliarini *et al.*, 2024). La intensidad y desplazamiento de estas bandas permiten evaluar interacciones moleculares, enlaces de hidrógeno y compatibilidad entre componentes del biopolímero (Karakus *et al.*, 2023).

2.2.11. Análisis termogravimétrico (TGA)

Es una técnica que mide la cantidad de energía térmica absorbida o liberada por un material cuando se somete a un programa de temperatura controlado, permitiendo identificar transiciones térmicas como la gelatinización, fusión, cristalización o descomposición (Moseson *et al.*, 2020). En esta técnica la muestra se calienta generalmente entre 25 °C y 700 °C a una velocidad constante de 5–20 °C/min registrándose de forma continua la masa perdida por el instrumento, el resultado se presenta en una curva TGA que representa la masa frente a la temperatura y en su derivada DTG que muestra la tasa de pérdida de masa en función de la temperatura, donde cada etapa corresponde a un proceso térmico específico, en los biopolímeros las primeras pérdidas inferiores a 150 °C suelen corresponder a la eliminación de humedad, las etapas siguientes entre 200 y 400 °C reflejan la degradación de pectina, almidón o celulosa y la etapa final por encima de 500 °C está asociada a la oxidación del carbón residual (Xin Zhang, *et al.*, 2024).

2.2.12. Diseño de experimentos con mezclas

Es una metodología estadística utilizada para la optimización de formulaciones de alimentos que consiste en mantener constante la cantidad total de la mezcla, pero realizando cambios en las proporciones de los componentes que la conforman y de esta forma evaluar como las diferentes proporciones de los ingredientes afectan las propiedades finales del producto (Maguire *et al.*, 2022).

De acuerdo con (Li *et al.*, 2021) diseño de experimentos con mezclas que tienen q componentes o ingredientes, consiste en un conjunto de experimentos en los que se prueban combinaciones particulares o mezclas de dichos ingredientes, por ello se denotan por x_1, x_2, \dots, x_a las proporciones en las que participan los componentes de la mezcla, se deben satisfacer dos restricciones: $0 \leq X_i \leq 1$ para cada componente, de esta forma las restricciones indican que la suma de todos los componentes que integran la mezcla debe ser 100%, esto significa que los componentes no pueden ser manipulados independientemente unos de otros, y que sus proporciones deben variar entre 0 y 1.

III. METODOLOGIA

3.1.Lugar de ejecución

La investigación se realizó en los ambientes de la Escuela de Ingeniería Agroindustrial de la Universidad Nacional del Santa.

- Instituto de Investigación Tecnológico Agroindustrial (IITA).
- Laboratorio de Microbiología y Toxicología de Alimentos
- Laboratorio de Análisis y Composición de Productos Agroindustriales.
- Planta Piloto Agroindustrial

En la Universidad Nacional de Trujillo:

- Laboratorio de Ingeniería de Procesos Agroindustriales.

En la Universidad Nacional José María Arguedas (UNJMA):

- Laboratorio de Investigación Agroindustrial

3.2.Materiales e instrumentos

3.2.1. Materia prima

En la elaboración de los vasos comestibles y biodegradables se usaron dos tipos de materia prima:

- Cáscara de naranja de (*Citrus Sinensis*): variedad Washington, adquiridas del Mercado Mayorista “La Perla”-Chimbote, de procedencia del Valle de Mantaro, en la Región de Junín.
- Avena en hojuelas (*Avena Sativa L.*): variedad blanca. Obtenida del mercado Mayorista “La Perla”-Chimbote, de procedencia de la sierra central, en el departamento de Huancavelica, Huachi.

3.2.2. Insumos

- Harina de trigo pastelera comercial obtenida del Mercado Mayorista “La Perla” – Chimbote. Cantidad: 30 kg
- Azúcar de mesa obtenida de La Comercial “Piramide” – Nuevo Chimbote.
- Agua de mesa obtenida del Mercado Mayorista “La Perla” - Chimbote
- Manteca vegetal obtenida de La Comercial “Piramide” – Nuevo Chimbote.
- Sal de mesa obtenida de La Comercial “Piramide” – Nuevo Chimbote.
- Esencia de vainilla comercial marca Negrita obtenida de La Comercial “Piramide” – Nuevo Chimbote.
- Maicena comercial obtenida de La Comercial “Piramide” – Nuevo Chimbote.
- Glicerol ($C_3H_8O_3$) de grado alimentario marca Fratelo obtenida de La Comercial “Piramide” – Nuevo Chimbote.
- Goma Xantana de grado alimentario marca Kera Superfoods obtenida de La Comercial “Piramide” – Nuevo Chimbote.

3.2.3. Reactivos

- Los reactivos para los análisis de la materia prima fueron: éter de petróleo, hidróxido de sodio ($NaOH$ 36 %, 0.275 N), ácido clorhídrico (HCl 0.1 N, 0.325 N), carbonato sódico (Na_2CO_3), alcohol etílico de (C_2H_6O 96°), celite (CNa 2 O 3).

3.2.4. Equipos e instrumentos

- Analizador de textura: Marca Micro System, modelo TA. HD Plus, procedencia: Reino Unido.
- Batidora modelo Arisan de acero inoxidable con dimensiones de 27.3 cm x 35.8 cm x 41,2 cm una capacidad de 4.28 litros y una potencia de 220 V marca KitchenAid hecho en Alemania.

- Balanza de precisión marca PRECISA modelo EP 4200C de acero inoxidable con un rango de pesaje de entre 0.5 g y 4200 g, una lectura de 0,01 g, marca Precisa hecho en Suiza.
- Estufa de secado: Marca POL-EKO-APARATURA, modelo SLW 115STD
- Determinador Elemental de Proteínas por Combustión-DUMAS marca LECO modelo 622-00-300, procedencia Perú.
- Horno rotativo modelo MAX-1000 de acero inoxidable de 12 mm rígido, dimensiones de 1.21 m (ancho) x 1.94 m (alto)x 1.75 m (largo) con una capacidad de 18 bandejas (0.45 x 0.65 m) de marca NOVA.
- Refrigeradora modelo RT46K6631BS de 452 litros de capacidad marca Samsung.
- Secador de bandejas modelo SBT-10X10 con una capacidad máxima de 50 kilos y temperatura máxima de 90°C marca TORRH
- Microscopio Electrónico de Barrido marca Tescan, modelo Vega 3 LMU.
- Molino de martillo modelo MDMT-60 XL marca TORRH con una capacidad de producción de 180 kilos de harina por hora.
- Mufla: Marca THERMOLYNE, Serie 347034984, Procedencia Americana.
- Sistema Extractor de Grasas (Soxhlet): Marca FOSS, modelo SOXTEC, procedencia China.
- Tamizador: Marca TYLER, modelo RX-30-16.
- Colorímetro: Marca Shenzhen Kingwell Instruments Co, modelo JZ-300, procedencia China
- Termogravimétrico: TGA-Q500 thermogravimetric analyzer, TA 165 Instruments, procedencia USA.

3.2.5. Materiales de laboratorio

- Vasos precipitados (1000 ml; 500 ml; 250 ml)
- Pipetas (1ml; 2 ml; 5 ml y 10 ml)
- Placas Petri
- Crisoles (50 ml)
- Agua destilada

3.2.6. Otros materiales

- Recipientes de acero inoxidable
- Bolsas herméticas de polietileno de alta densidad
- Jarra de medida de 1 litro
- Molde de acero inoxidable
- Mascarilla, guantes, toca, coladores y papel toalla

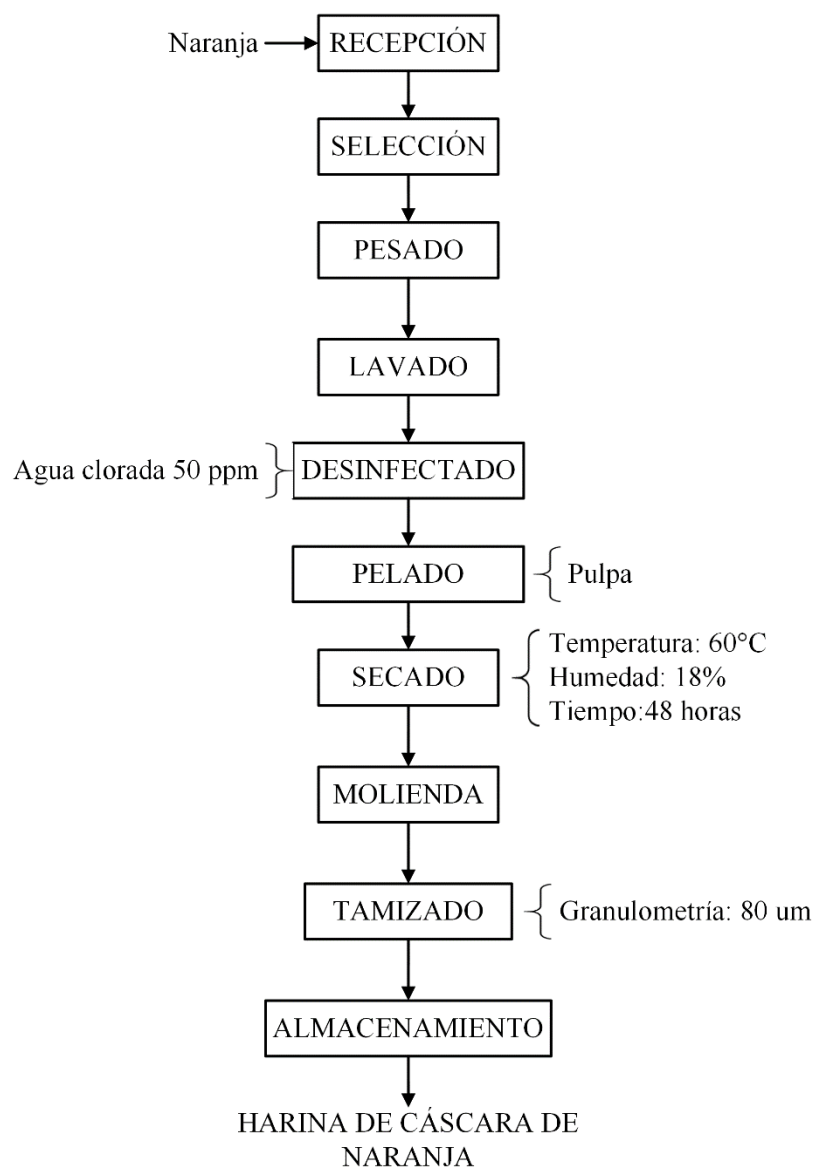
3.3. Diagrama de flujo experimental

3.3.1. Obtención de la harina de cáscara de naranja

A continuación, se describe la obtención de la harina de cáscara de naranja partir del fruto de la naranja.

Figura 3.

Diagrama de flujo de la harina de cáscara de naranja



A continuación, se presentan se describen los procesos:

- **Recepción:** Las naranjas se adquirieron del mercado “La Perla” ubicado en Chimbote y fueron transportadas a la planta piloto de la Universidad del Santa para su procesamiento y se verificó que la superficie de las naranjas no presente podredumbre, daños mecánicos o presencia de insectos.
- **Selección:** Se realizó una inspección visual para eliminar las naranjas con superficies afectadas por hongos (*Penicillium*) o insectos.

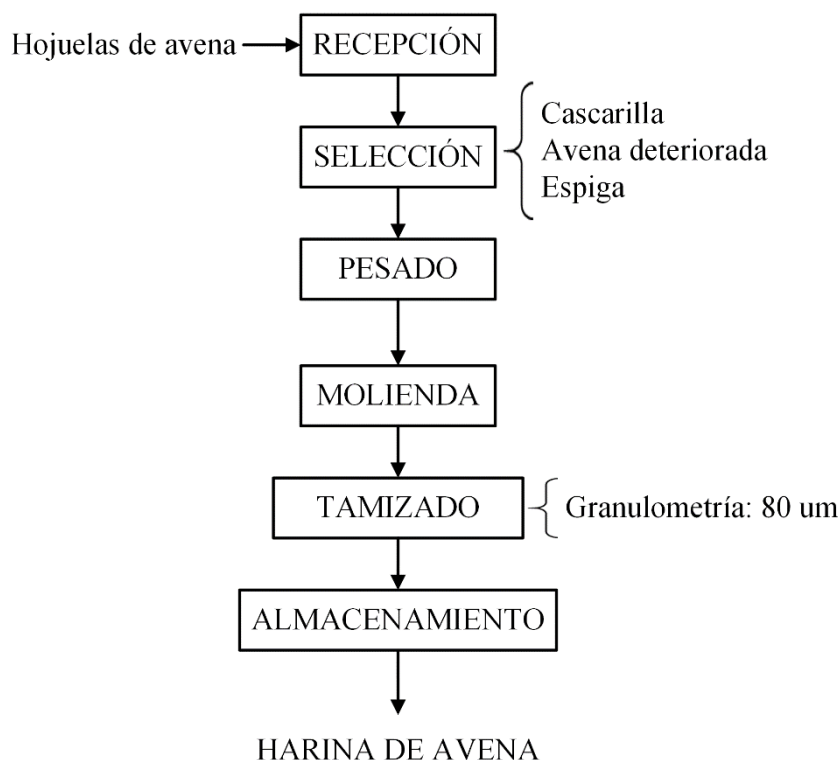
- **Pesado:** Se pesó las naranjas en una balanza para hallar el rendimiento de la materia prima.
- **Lavado:** Las naranjas fueron lavadas con agua potable para eliminar residuos superficiales de contaminantes y pesticidas, de esta forma se reduce la carga microbiana.
- **Desinfectado:** Las naranjas se sumergieron en una solución de agua potable clorada con una concentración de 50 ppm para eliminar patógenos potenciales como Salmonella y E. coli.
- **Pelado:** Se extrajo la cáscara (flavedo y albedo), descartando la pulpa, se conservaron ya que según el flavedo contiene aceites esenciales y compuestos bioactivos, mientras que el albedo aporta fibra, ambos valiosos en la harina final.
- **Secado:** Se distribuyó de forma uniformemente las cáscaras de naranja en las bandejas y se realizó el secado a una temperatura de 60°C por 48 horas hasta obtener una humedad de 18%.
- **Molienda:** Las cáscaras secas fueron molidas, convirtiéndose en harina.
- **Tamizado:** La harina de cáscaras de naranja fueron tamizadas por la malla Mesh de 80 um para obtener una granulometría uniforme.
- **Almacenamiento:** La harina de cáscara de naranja fue almacenada en bolsas herméticas de polietileno de alta densidad de HDPE, protegiéndola de la luz y humedad.

3.3.2. Obtención de la harina de avena

A continuación, se describe la obtención de la harina de avena a partir de la avena.

Figura 4.

Diagrama de flujo de la harina de avena



A continuación, se presentan se describen los procesos:

- **Recepción:** Las hojuelas de avena fueron recibidas en la planta piloto de la Universidad Nacional del Santa, provenientes del Mercado Mayorista “La Perla”.
- **Selección:** Se realizó una inspección visual y manual, donde se identificaron y separaron las partículas no deseadas, como avena deteriorada, espiga, cascarilla y residuos sólidos (piedritas y otros contaminantes).
- **Pesado:** Las hojuelas de avena seleccionadas fueron pesadas utilizando una balanza para obtener una medición exacta del rendimiento exacto de la materia prima.

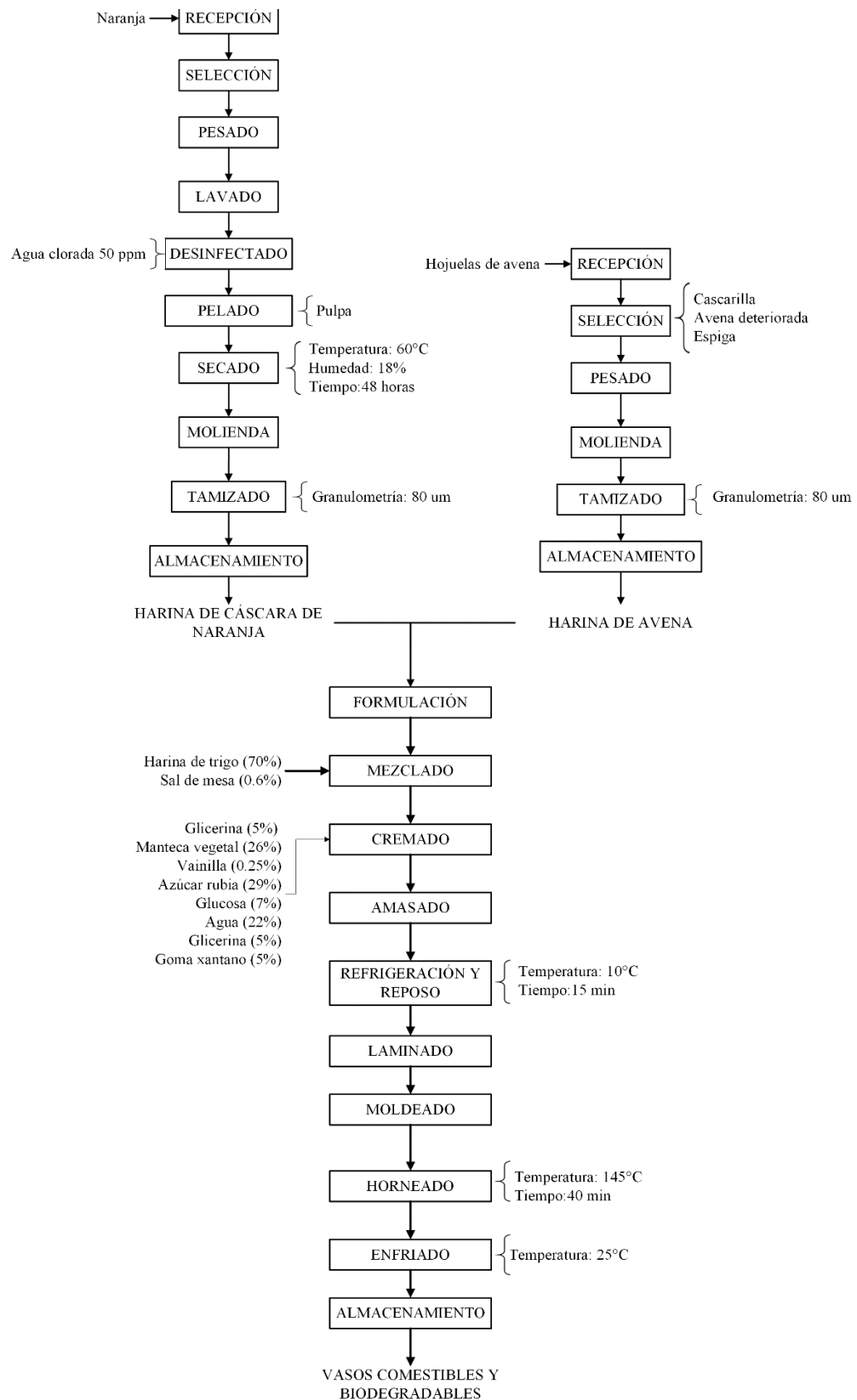
- **Molienda:** Las hojuelas de avena fueron procesadas mediante un molino de tornillas, diseñado para reducir el tamaño de las partículas y obtener la harina de avena.
- **Tamizado:** La harina de avena pasó a través de una malla de tamizado para obtener una granulometría de 80 μm .
- **Almacenamiento:** La harina de avena fue almacenada en bolsas herméticas de polietileno de alta densidad de HDPE para evitar el deterioro de la humedad y luz.

3.3.3. Obtención de los vasos comestibles y biodegradables

A continuación, se presenta los procesos para elaborar los vasos comestibles y biodegradables integrando como materia prima a la harina de cáscaras de naranja y avena.

Figura 5.

Diagrama de flujo de los vasos comestibles y biodegradables



A continuación, se describen los procesos de la obtención del envase:

- **Formulación:** Se prepararon y pesaron las materias primas e insumos de acuerdo con las proporciones definidas en la matriz experimental. Los ingredientes utilizados incluyeron harinas de trigo, avena, cáscara de naranja, maicena, sal, manteca vegetal, azúcar, glucosa, glicerina, esencia de vainilla, goma xantana y agua.
- **Mezclado:** Se realizó la mezcla entre los insumos secos (harinas de trigo, cáscara de naranja, avena, maicena y la sal), asegurando que todos los componentes secos estuvieran bien distribuidos y asegurar una masa uniforme.
- **Cremado:** La manteca vegetal, azúcar, glucosa, glicerina y goma xantana, esencia de vainilla, se batieron con el fin de formar una emulsión para integrar la fase líquida y grasa mejorando la textura y la cohesión de la masa. El agua se incorporó gradualmente por chorros, obteniendo finalmente una crema.
- **Amasado:** Consistió en la integración de crema y la mezcla de ingredientes secos mediante el amasado manual obteniendo una “bola”, de esta forma se formó una masa homogénea y elástica.
- **Refrigeración y reposo:** Se dejó la masa en la refrigerado a 3°C por un tiempo de 15 min.
- **Laminado:** Se estira la masa mediante el uso de un rodillo con el fin de obtener una lámina uniforme con un grosor específico de 6 mm. Se realizaron cortes a la lámina para obtener rectángulo con un largo de 7 cm y un ancho de 16 cm largo. Además, se realizaron cortes para formar un círculo de 5 cm de radio para formar la base del vaso.
- **Moldeado:** Las formas cortadas de la lámina se colocaron en dentro del molde de acero inoxidable en forma de vaso, donde se aplicó presión interna con el mazo con la forma del exterior de un vaso, de esta forma se consiguió la geometría adecuada y garantizó la consistencia de la pared del vaso (Anexo X).

- **Horneado:** La masa moldeada dentro del molde de acero inoxidable en forma de vaso se introdujo al horno y se horneó a una temperatura de 145°C por 40 minutos.
- **Enfriamiento:** Se retiraron los moldes de acero inoxidable del horno, se sacó la masa horneada del molde y se dejó enfriar por 30 min a temperatura ambiente.
- **Almacenamiento:** Los vasos fueron almacenados en bolsas de polietileno de alta densidad con ziploc.

3.4.Métodos de análisis

3.4.1. Caracterización de la materia prima

- Humedad: Método estándar 925.46 A.O.A.C. (AOAC, 2005).
- Cenizas: Método estándar 942.05 A.O.A.C. (AOAC, 2005).
- Proteína: Método estándar-DUMAS 992.23 A.O.A.C. (AOAC, 1992)
- Grasa: Método estándar 2003.05 A.O.A.C (AOAC, 2005).
- Fibra Dietaria Total: De acuerdo con los métodos oficiales AOAC 991.43, AOAC 32-05.01 y AOAC 985.29, la determinación de fibra dietaria total comienza agregando 1 g de muestra desgrasada en frascos con 50 ml de buffer fosfato pH 6.0 y 50 µl de α -amilasa, incubando a 80 °C por 30 minutos. Luego, se ajusta el pH a 7.5 con NaOH 0.275 N, se adicionan 100 µl de proteasa e incuban a 60 °C por 30 minutos. Tras enfriar, el pH se ajusta a 4.0–4.6 con HCl 0.325 N, se incorporan 200 µl de amiloglucosidasa y se incuba nuevamente a 60 °C por 30 minutos. Posteriormente, se añaden 280 ml de alcohol al 96 % a 60 °C, dejando reposar los frascos durante 1 hora. El precipitado se transfiere mediante filtración con succión a crisoles previamente preparados con celite humedecido en alcohol al 78 %, asegurando una transferencia cuantitativa. Los residuos retenidos se lavan en serie con alcohol al 78 %, alcohol al 96 % y finalmente con acetona,

siempre aplicando succión para eliminar el exceso de solvente y facilitar el secado. Finalmente, los crisoles se llevan a estufa a 105 °C por 12 horas, se enfrían en campana de desecación y se determinan cenizas (placa 1) y proteínas (placa 2), con lo cual se obtiene la fibra dietaria total.

- Carbohidratos: La cantidad de carbohidratos se determinaron al restar del 100% la suma de los demás componentes, utilizando la siguiente ecuación:

$$\% \text{Carbohidratos} = 100 - (\% \text{Humedad} + \% \text{Proteínas} + \% \text{Grasa} + \% \text{Ceniza} + \% \text{FDT})$$

3.4.2. Caracterización de los vasos biodegradables y comestibles

a. Composición proximal

- Humedad: Método estándar 925.46 A.O.A.C. (AOAC, 2005).
- Cenizas: Método estándar 942.05 A.O.A.C. (AOAC, 2005).
- Proteína: Método estándar-DUMAS 992.23 A.O.A.C. (AOAC, 1992)
- Grasa: Método estándar 2003.05 A.O.A.C (AOAC, 2005).
- Fibra: De acuerdo con los métodos oficiales AOAC 991.43, AOAC 32-05.01 y AOAC 985.29, la determinación de fibra dietaria total comienza agregando 1 g de muestra desgrasada en frascos con 50 ml de buffer fosfato pH 6.0 y 50 µl de α-amilasa, incubando a 80 °C por 30 minutos. Luego, se ajusta el pH a 7.5 con NaOH 0.275 N, se adicionan 100 µl de proteasa e incuban a 60 °C por 30 minutos. Tras enfriar, el pH se ajusta a 4.0–4.6 con HCl 0.325 N, se incorporan 200 µl de amiloglucosidasa y se incuba nuevamente a 60 °C por 30 minutos. Posteriormente, se añaden 280 ml de alcohol al 96 % a 60 °C, dejando reposar los frascos durante 1 hora. El precipitado se transfiere mediante filtración con succión a crisoles previamente preparados con celite humedecido en alcohol al 78 %, asegurando una transferencia cuantitativa. Los residuos retenidos se lavan en serie con alcohol al 78 %, alcohol al 96 % y finalmente con acetona, siempre aplicando

succión para eliminar el exceso de solvente y facilitar el secado. Finalmente, los crisoles se llevan a estufa a 105 °C por 12 horas, se enfrían en campana de desecación y se determinan cenizas (placa 1) y proteínas (placa 2), con lo cual se obtiene la fibra dietaria total.

- Carbohidratos: La cantidad de carbohidratos se determinaron al restar del 100% la suma de los demás componentes, utilizando la siguiente ecuación:

$$\% \text{Carbohidratos} = 100 - (\% \text{Humedad} + \% \text{Proteínas} + \% \text{Grasa} + \% \text{Ceniza} + \% \text{FDT})$$

b. Propiedades físicas

- Color

Se determinó con el método de CIE-Lab siguiendo el método descrito por Maniglia *et al.* (2017), donde L^* indica el grado luminosidad que trabaja en un rango de 0 a 100, $(+a^*)$ indica un tono rojizo o $(-a^*)$ verdor, y $(+b^*)$ indica un tono amarillento o $(-b^*)$. El parámetro estándar es ($L^*=93.49$, $a^*=-0.77$ y $b^*=1.40$).

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

- Espesor

Se realizó en la metodología aplicada por Melo & Mali (2014), en donde el espesor de la muestra se midió con un micrómetro a las muestras cortadas en dimensiones de 50 x 50 mm para cada formulación.

- Densidad

En la metodología aplicada por Melo y Mali (2014), el cálculo se realizó a partir de la masa y el volumen de cada muestra. Para ello, se utilizaron muestras cortadas con dimensiones de 100 x 25 mm. Se determinó la masa mediante pesaje, mientras que el

volumen se obtuvo multiplicando el largo, el ancho y el espesor. Para garantizar precisión, se realizaron tres mediciones arbitrariamente por muestra y se promediaron los valores obtenidos. La densidad se halló con la siguiente ecuación (Montoya *et al.*, 2022)

$$Densidad \left(\frac{g}{cm^3} \right) = \frac{masa}{volumen}$$

- Solubilidad

De acuerdo a Gontard *et al.*, (1992), se adoptó la metodología y se tomó una muestra del material con dimensiones de 12.5 mmx 50 mm y se sumergió en un matraz con 50 ml de agua destilada. Los matraces se agitaron a una temperatura de 25°C, con 50 rpm durante 24 horas. Posteriormente, las muestras se filtraron con papel filtro y la materia no solubilizada se secó en la estufa de circulación forzada a 70°C durante 24 horas y se pesó.

$$Solubilidad (\%) = \frac{Masa\ inicial - Masa\ final}{Masa\ inicial} * 100$$

- Capacidad de Absorción de Agua

Se llevó a cabo el procedimiento del Método de Cobb (ISO, 1999) y se cortó las muestras en dimensiones de 25 mm x 50 mm y se registró su peso inicial. Posteriormente, la muestra se sumergió en agua destilada durante diferentes intervalos de tiempo: 1, 5, 10, 15 y 20 minutos. Transcurrido el tiempo de inmersión correspondiente, se retiró el exceso de agua con papel absorbente y se registró el peso final. Finalmente, la absorción de agua se calculó a partir de la diferencia entre el peso final y el peso inicial.

$$\text{Capacidad de Absorción de Agua (WACC, \%)} = \frac{\text{Peso final} - \text{Peso inicial}}{\text{Peso Inicial}} * 100$$

- **Sólidos Volátiles**

Se realizó el procedimiento del método 2540G (Standard Method, 1989) que consistió en pesar 1g de muestra en un crisol y secarlo en una estufa (103-105°C) hasta un peso constante, luego se enfrió en un desecador y registró su peso. El crisol se colocó en un horno mufla a 550-50°C por 20 minutos aproximadamente y después se enfrió en un desecador antes de medir nuevamente su peso.

$$\% \text{Sólidos volátiles} = \frac{\text{Peso de muestra seca} - \text{Peso de muestra calcinada}}{\text{Peso de muestra seca}} * 100$$

Donde el peso de la muestra seca estuvo a una temperatura de 105°C y el peso de la muestra calcinada estuvo a una temperatura de 505°C.

c. **Propiedades mecánicas**

- **Tracción**

Para obtener la resistencia a la tensión y elongación máxima a la rotura se aplicó el método de ASTM D828 descrito por Mello y Mali (2014), y se cortó las muestras en dimensiones de 80 x 25 mm y se colocaron en el texturometro (TA. HD Plus; Stable Micro System, Surrey, Reino Unido), y se situó una celda con una carga de 100 kg para determinar la curva de resistencia y elongación, a una separación de agarre de 80 mm y una velocidad de cruce de 1 mm/s.

- **Perforación**

Los ensayos de perforación se utilizaron para determinar la dureza y deformación el texturometro (TA. HD Plus; Stable Micro System, Surrey, Reino Unido), y de acuerdo al procedimiento descrito por Mello y Mali (2014), las muestras se cortaron en

dimensiones de 50 x 50 mm y se usó una sonda esférica P/5S, de 15 mm de distancia de deformación y el soporte HDP/FSR con una velocidad de penetración de 1 m/s.

d. Propiedades estructurales

- Espectroscopia Infrarroja de Transformada de Fourier (F-TIR)

Las muestras fueron cortadas de forma transversal (50 × 50 mm) y fueron conservadas por sellado al vacío. Se extrajo un peso específico (5 g), se secó a 40°C por 2 horas y fueron pulverizadas. Se analizaron 200 mg en un espectrómetro FTIR Nicolet iS50 (Thermo Scientific, Alemania) mediante el accesorio ATRMiracle diamante de 3 rebotes, en un intervalo de 600 a 4000 cm⁻¹ con una resolución de 4 cm⁻¹ y empleando 16 barridos.

- Análisis termogravimétrico (TGA)

Se realizará siguiendo la norma ASTM 1131-08 utilizando el analizador térmico simultáneo de TGA-Q500 donde se tomará 10 mg de la muestra, se fijará un rango de temperatura de trabajo desde 10°C hasta los 700°C con una velocidad de calentamiento de 10°C/min bajo una atmósfera nitrogenada y se registró la pérdida de masa expresada gráficamente.

3.5.Propuesta experimental

3.5.1. Variables estadísticas

3.5.1.1.Variable independiente

Las variables independientes son los porcentajes de mezcla de harina de cáscara de naranja (X1) y harina de avena (X2).

3.5.1.2. Variable dependiente

Tabla 2.

Variables dependientes

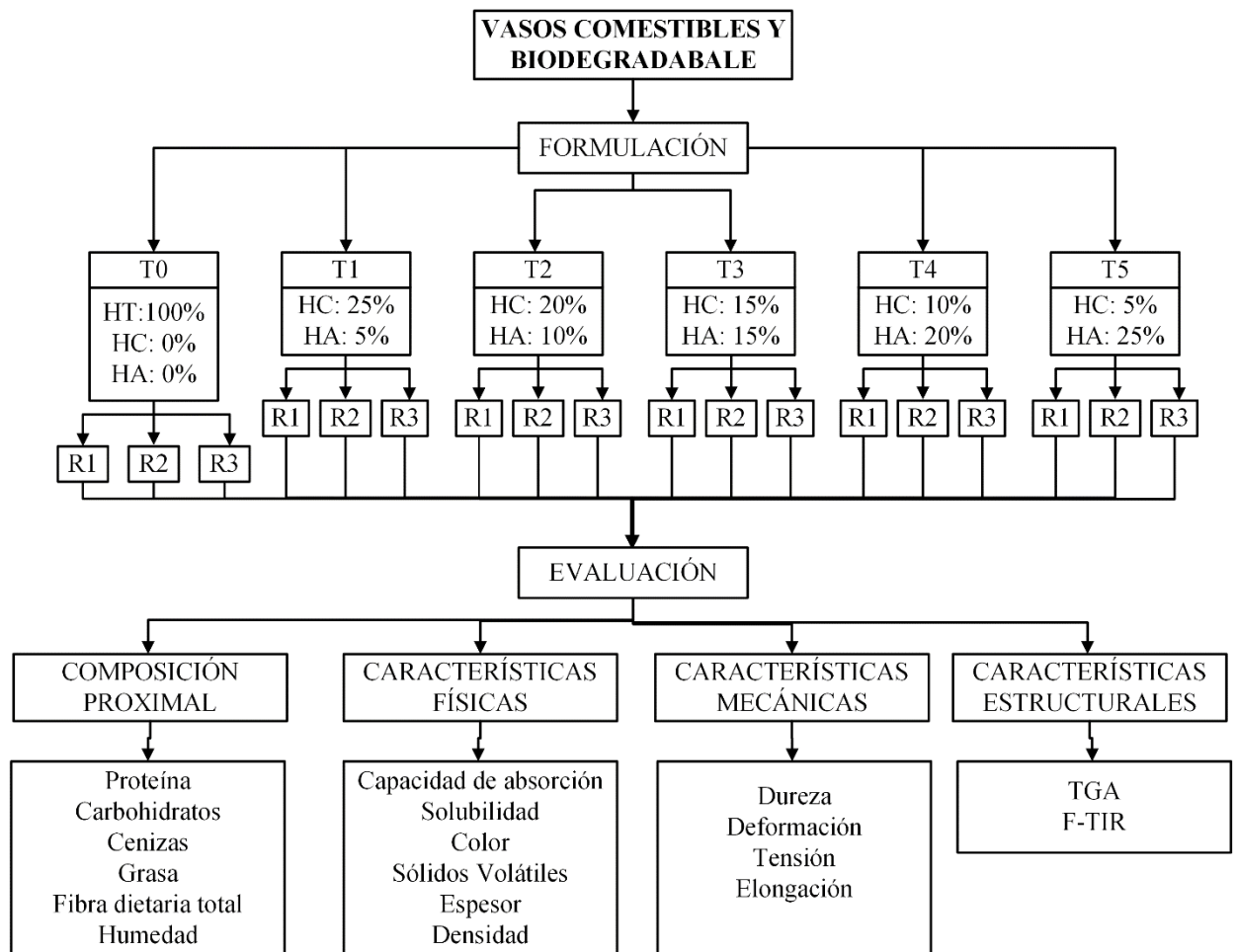
| Propiedades | Variable dependientes |
|-------------------------------|---|
| Composición proximal | Proteína (%), carbohidratos (%), cenizas (%), grasa (%), fibra dietaria total (%), humedad (%) |
| Características físicas | Capacidad de absorción (%), solubilidad (%), color, sólidos volátiles (%), espesor (mm), densidad (g/cm^3) |
| Características mecánicas | Dureza (N), Deformación (mm), Tensión (MPa), Elongación (%) |
| Características estructurales | TGA |
| | F-TIR |

3.5.2. Diseño Experimental

El diseño experimental evaluó la influencia de las variables independientes sobre las variables dependientes, expresadas como composición proximal, propiedades mecánicas, físicas y estructurales.

Figura 6.

Etapas del diseño de investigación



Nota. HT: Harina de trigo, HC: harina de cáscara de naranja, HA: harina de avena,

R1: Repetición 1, R2: Repetición 2, R3: Repetición 3

3.5.3. Diseño estadístico

Se empleó un Diseño de Mezclas de Vértices Extremos, con restricciones mínimas y máximas establecidas para cada componente (Tabla 3). Las formulaciones resultantes se evaluaron bajo un Diseño Completamente al Azar, con tres repeticiones por tratamiento, a fin de minimizar el error experimental.

Tabla 3.*Restricciones mínimas y máximas de los componentes de harinas*

| Componentes | Restricción mínima | Restricción máxima |
|-------------------------------------|--------------------|--------------------|
| Harina de Cáscara de Naranja | 5% | 25% |
| Harina de Avena | 5% | 25% |

Nota. Se detalla que las mezclas totales de harinas representan un 30% del producto final, del cual las harinas de cáscara de naranja y avena pueden variar entre un mínimo del 5% y un máximo del 25%, el 70% restante corresponde a la harina de trigo el cual se mantiene constante en todas las formulaciones.

Tabla 4.*Tratamientos*

| Insumos | Harina de cáscara de naranja (%) | Harina de avena (%) |
|---------|----------------------------------|---------------------|
| T1 | 25% | 5% |
| T2 | 20% | 10% |
| T3 | 15% | 15% |
| T4 | 10% | 20% |
| T5 | 5% | 25% |

Nota. La harina de cáscara de naranja y la harina de avena representan un 30% del producto final.

En la Tabla 4 comenzó con una mayor proporción de cáscara de naranja (25% en T1) y se fue reduciendo gradualmente hasta llegar a un 5% (T5), mientras que la avena aumentó proporcionalmente de 5% a 25%. A pesar de que el tratamiento T5 utiliza

solo un 5% de cáscara de naranja, sigue siendo un aprovechamiento significativo de un subproducto que, de otro modo, podría haberse desechado, contribuyendo a la reducción de residuos, ya que no se limita a maximizar la cantidad de subproducto en cada fórmula, sino también a incorporar el principio de reutilización, incluso en cantidades menores.

Tabla 5.

Formulación de cada tratamiento

| Insumos (%) | T0 | T1 | T2 | T3 | T4 | T5 |
|------------------------------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|
| Harina de trigo | 45.49 | 31.84 | 31.84 | 31.84 | 31.84 | 31.84 |
| Harina de cáscara de naranja | 0 | 11.37 | 9.1 | 6.82 | 4.55 | 2.27 |
| Harina de avena | 0 | 2.27 | 4.55 | 6.82 | 9.1 | 11.37 |
| Maicena | 13.19 | 13.19 | 13.19 | 13.19 | 13.19 | 13.19 |
| Manteca vegetal | 11.83 | 11.83 | 11.83 | 11.83 | 11.83 | 11.83 |
| Azúcar rubia | 13.19 | 13.19 | 13.19 | 13.19 | 13.19 | 13.19 |
| Agua | 10.01 | 10.01 | 10.01 | 10.01 | 10.01 | 10.01 |
| Glucosa | 3.18 | 3.18 | 3.18 | 3.18 | 3.18 | 3.18 |
| Glicerina | 2.27 | 2.27 | 2.27 | 2.27 | 2.27 | 2.27 |
| Goma xantana | 0.45 | 0.45 | 0.45 | 0.45 | 0.45 | 0.45 |
| Esencia vainilla | 0.11 | 0.11 | 0.11 | 0.11 | 0.11 | 0.11 |
| Sal de mesa | 0.27 | 0.27 | 0.27 | 0.27 | 0.27 | 0.27 |
| Total | 100 | 100 | 100 | 100 | 100 | 100 |

Nota. Se añadió un tratamiento control (T0) el cual el 100% es harina de trigo. Para los demás tratamientos (T1 a T5), los insumos se emplearon manteniendo las mismas proporciones base: harina de trigo 70%, maicena 29%, manteca vegetal 26%, azúcar rubia 29%, agua 22%, glucosa 7%, glicerina 5%, goma xantana 1%, esencia de vainilla 0.25% y sal de mesa 0.6%. Posteriormente, estas proporciones fueron normalizadas para que cada formulación sume el 100% del tratamiento.

3.5.4. Análisis estadístico

Se utilizó el software MINITAB WORKSPACE versión 1.4.4 para la evaluación de los resultados de las propiedades físicas, mecánicas y estructurales de los vasos comestibles y biodegradables: espesor (mm), densidad (g/cm^3), parámetros de color, solubilidad (%), capacidad de absorción de agua (%) y sólidos volátiles (%), así también las propiedades mecánicas: tensión (MPa), elongación (%), resistencia a la dureza (N), deformación (mm). Se aplicó ANOVA con un nivel de confianza del 95% ($\rho < 0.05$) evaluar la existencia de diferencias significativas entre los tratamientos. Además, se realizó el análisis de Tukey, prueba post hoc, para identificar y comparar todas las medias de los grupos si existen diferencias significativas.

Tabla 6.

Matriz experimental

| T1 | T2 | T3 | T4 | T5 |
|----------|----------|----------|----------|----------|
| Y_{11} | Y_{21} | Y_{31} | Y_{41} | Y_{51} |
| Y_{12} | Y_{22} | Y_{32} | Y_{42} | Y_{52} |
| Y_{13} | Y_{23} | Y_{33} | Y_{43} | Y_{53} |

Base del Diseño:

- Número de factores experimentales: 1
- Número de bloques: 1
- Número de respuestas: 1
- Número de tratamientos: 5
- Grado de libertad: 10

- Aleatorizado: Sí.

Tabla 7.

Diseño experimental aleatorización

| | | | | |
|------------------|------------------|-----------------|------------------|------------------|
| ¹³ T4 | ⁹ T5 | ² T2 | ¹² T2 | ¹⁵ T3 |
| ⁴ T5 | ⁷ T2 | ⁵ T3 | ¹⁰ T3 | ⁸ T4 |
| ³ T4 | ¹¹ T1 | ¹ T1 | ⁶ T1 | ¹⁴ T5 |

IV. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

4.1. Rendimiento de materia prima

En la tabla 8 se muestra el rendimiento de la producción de las harinas de cáscara de (56.58%) y avena (70%). En general, se considera que un rendimiento superior al 50% en la obtención de harinas a partir de materias primas vegetales puede considerarse un eficiente (Torres *et al.*, 2024; Xingyi Zhang *et al.*, 2024).

Tabla 8.

Rendimiento de la obtención de las harinas de cáscara de naranja y de avena

| Materia prima | Cantidad Ingresada (Kg) | Cantidad de Salida (g) | Rendimiento (%) |
|----------------------|--------------------------------|-------------------------------|------------------------|
| Cáscara de naranja | 15.20 | 8.6 | 56.58 |
| Hojuelas de avena | 20 | 14 | 70 |

Nota. En la tabla se describe los rendimientos entre la materia prima pesada en relación al peso final de cada harina.

El rendimiento de la harina de cáscara de naranja es relativamente menor (56.58%) en comparación con la harina de avena, esto puede explicarse por la presencia de aceites esenciales que no fueron extraídos durante su procesamiento, observándose mermas en las paredes del molino. Según Chhatariya, *et al.* (2022), la liberación de aceites esenciales durante la molienda puede resultar en una masa pegajosa, lo que reduce el rendimiento. Este fenómeno ocurre porque los aceites atrapados en las partículas del material interfieren con la capacidad de la maquinaria para fragmentar el material eficientemente. Este efecto sobre el rendimiento se ve atenuando cuando se desengrasan las cáscaras de naranja, como lo realizado por Karakus *et al.* (2023) donde se desengrasó las cáscaras de naranja, se secó a 60°C y se molió, obteniendo

un rendimiento de 60%-70%, con un tamizado entre 50-160 μm , lo que se aproxima al resultado obtenido.

En el presente estudio, se optó por no desengrasar la cáscara de naranja, con el objetivo de preservar los aceites esenciales, lo que contribuye a que la masa resultante para la fabricación del vaso sea más hidrofóbica, mejorando la resistencia al agua. Un enfoque similar reportado por Vilas *et al.* (2023), quienes utilizaron polvo de cáscara de naranja sin desengrasar para desarrollar galletas con mayor retención de humedad y propiedades hidrofóbicas en la masa, evidenciando que los aceites esenciales mejoran las propiedades de barrera contra la humedad.

En cuanto a la avena el rendimiento obtenido (70%) es superior al de la cáscara de naranja, lo que puede explicarse por su perfil homogéneo de almidón y fibra, lo cual favorece su conversión eficiente en harina mediante proceso de molienda (Ahmed *et al.*, 2021). De acuerdo con Firew *et al.* (2021), quienes reportaron rendimientos de hasta 75% en la obtención de la harina de avena y un tamizado de 80 μm , lo que se aproxima al resultado obtenido. La estructura homogénea de la avena influye en la forma en que el almidón se libere de forma manera más eficiente ya que la fibra evita la aglomeración o la formación de grumos de almidón durante la molienda, lo que facilita un procesamiento más eficiente y reducción de mermas (Yang *et al.*, 2023).

4.2. Caracterización de la composición química proximal

4.2.1. Análisis proximal de la harina de cáscara de naranja y avena

En la Tabla 9, se comparan los valores de humedad, proteínas, grasa, FDT, carbohidratos y cenizas, ambas harinas muestran diferencias significativas en todos los parámetros ($p < 0.05$). La harina avena presentó un valor significativamente mayor, en la humedad, proteínas, grasa. En contraste, la cáscara de naranja destacó por su alto contenido de fibra dietaria total y cenizas.

Tabla 9.

Composición química proximal de las harinas de cáscara de naranja y avena

| | Harina de cáscara de naranja | Harina de avena |
|---------------|-------------------------------|-------------------------------|
| | (% $\pm\sigma$) | (% $\pm\sigma$) |
| Humedad | 0.18 \pm 0.02 ^a | 1.77 \pm 0.01 ^b |
| Proteínas | 6.51 \pm 0.00 ^a | 13.35 \pm 0.00 ^b |
| Grasa | 2.25 \pm 0.05 ^a | 7.34 \pm 0.04 ^b |
| FDT | 49.97 \pm 0.01 ^a | 15.95 \pm 0.01 ^b |
| Carbohidratos | 37.13 \pm 0.23 ^a | 59.90 \pm 0.39 ^b |
| Cenizas | 3.97 \pm 0.15 ^a | 1.68 \pm 0.00 ^b |

Nota. Se muestran las diferencias significativas entre las medias de los tratamientos de acuerdo a la Prueba de Tukey ($p < 0.05$) con las letras^a(a-b-c-d-e-f), FDT: fibra dietaria total; σ : desviación estándar.

Se presenta la composición proximal de la harina de cáscara de naranja, con humedad de 0.18 \pm 0.02%, proteínas 6.51 \pm 0.00%, grasa 2.25 \pm 0.05%, fibra dietaria total 49.97 \pm 0.01%, carbohidratos 37.13 \pm 0.23% y cenizas 3.97 \pm 0.15%. Estos resultados evidencian que la harina es una fuente significativa de fibra dietaria y carbohidratos,

componentes esenciales en la fabricación de biopolímeros (Karakuş *et al.*, 2023; Ayala *et al.*, 2021). El contenido de humedad fue notablemente menor ($0.18 \pm 0.02\%$) a lo de Guerra (2020), que reporta $8.73 \pm 0.1 \%$ secado a 55°C . Este contraste podría explicarse por los métodos de secado utilizados, ya que, en este estudio, se empleó un secado en bandeja a 60°C por 48 horas, lo que resultó en una harina con un contenido de humedad más bajo. Esta condición es favorable, ya que la baja humedad contribuye a una mejor conservación del producto y previene el crecimiento de microorganismos, crucial para la vida útil.

El contenido de proteínas obtenido fue $6.51 \pm 0.00\%$, valor similar a lo reportado por Guerra (2020), que fue de $5.63 \pm 0.14\%$ en harina de cáscara de naranja, de igual forma guarda una similitud con lo reportado por Atala *et al.* (2019), que fue un valor proteico de $7.20\% \pm 0.00\%$ en la harina de cáscara de naranja (*Citrus Sinensis* var. *Valenciaga*) utilizando un procedimiento previo de extracción de su aceite esencial por arrastre de vapor, lo que sugiere que las variaciones pueden atribuirse a las condiciones de secado y métodos de extracción.

En cuanto al contenido de grasa, este estudio reportó 2.25% , similar al valor encontrado por Ayala *et al.* (2021) que fue de 2% . Además, Revathi *et al.* (2025), reportaron un contenido de grasa de $2.9 \pm 0.30\%$, resultados que se encuentran en el mismo rango y confirman la consistencia de composición lipídica de la harina de cáscara de naranja.

El contenido de fibra dietaria total de la harina de cáscara de naranja fue de $49.97\% \pm 0.01\%$, lo que evidencia su alto contenido de fibra. La cáscara de naranja es reconocida por su predominio de fibra insoluble (Chhatariya *et al.*, 2022). Este valor es superior al reportado por Revathi *et al.* (2025), que indicaron una fibra dietaria de aproximadamente 42.50% . El elevado contenido de FDT destaca a la cáscara de

naranja como una excelente fuente de fibra insoluble, la cual mejora las propiedades mecánicas de los biocompuestos, como la rigidez y la resistencia a la humedad, elementos esenciales para la producción de envases ecológicos (Ayala *et al.*, 2021).

El contenido de carbohidratos de la harina de cáscara de naranja de este estudio fue $37.13 \pm 0.23\%$, lo cual es consistente con el estudio de Zhu *et al.* (2021), donde reporta un contenido de carbohidratos entre 37%. Este alto contenido refleja la abundancia polisacáridos (sobre todo la pectina) en la cáscara de naranja, lo cual es útil para la formación de matrices poliméricas (Cheng *et al.*, 2021).

Finalmente, el contenido de cenizas obtenido fue de $3.97 \pm 0.15\%$ que es similar con los valores reportados por Guerra (2022) y Revathi *et al.* (2023), quienes encontraron $3.33 \pm 0.74\%$ y $3.35 \pm 0.00\%$ de cenizas en la harina de cáscara de naranja. El bajo contenido de cenizas, sugiere que la cáscara de naranja no está sobrecargada de minerales inorgánicos, lo que es positivo para la producción de bioplásticos, ya que una mayor cantidad de cenizas podría interferir con la flexibilidad y la textura del producto final (Gamage *et al.*, 2022).

Con respecto a la composición proximal de la harina de avena, los resultados obtenidos muestran una humedad de $1.77 \pm 0.01\%$, proteínas de $13.35 \pm 0.00\%$, grasa de $7.34 \pm 0.04\%$, FDT de $15.95 \pm 0.01\%$, carbohidratos de $59.90 \pm 0.39\%$ y cenizas de $1.68 \pm 0.00\%$. El contenido de humedad obtenido en este estudio es de $1.77 \pm 0.01\%$, es considerablemente más bajo que el reportado por Firew *et al.* (2021) que fue de 8.5-9.8%, lo que puede atribuirse a un secado más eficiente y mejores condiciones de almacenamiento. La avena es un cereal higroscópico, lo que significa que tiende a absorber la humedad del aire durante su almacenamiento (Paudel *et al.*, 2021).

En este estudio, el contenido de proteínas fue de $13.35 \pm 0.01\%$, lo que es consistente con los valores reportados por Firew *et al.* (2021), quienes encontraron un rango de 11.9-15.8 g/100g MS de proteína cruda. Además, también guarda relación con los valores obtenidos por Zhang *et al.* (2021), que reportan 13.5-15.2 g/100g MS. La coincidencia entre los contenidos proteicos reafirma lo expuesto por Paudel *et al.*, (2021), que nos dice que la avena es una excelente fuente de proteínas vegetales, debido a su perfil aminoacídico, que incluye la lisina, que es limitada en otros cereales, o también por su contenido de globulina.

El contenido de grasa obtenido en el estudio ($7.34 \pm 0.04\%$) es consistente con los reportados por Firew *et al.* (2021), que indicaron un rango de 6.7-10.3 g/100g MS, y por Zhang *et al.* (2021), que reportaron 7.8-9.2 g/100g MS. Esto es esperado, ya que la avena contiene principalmente grasas insaturadas, especialmente ácidos grasos esenciales, como el linoleico, que contribuyen a la reducción de los niveles de colesterol LDL (McLauchlan *et al.*, 2024).

El contenido de carbohidratos en este estudio ($59.90 \pm 0.39\%$), es menor a lo reportado por Firew *et al.* (2021), el cual fue de 72.6-74.3 g/100 g MS y por Zhang *et al.* (2021), que fue de 63-65 g/100 g MS, este resultado respalda lo mencionado por Paudel *et al.* (2021), que el contenido de carbohidratos en la avena puede variar dependiendo de su origen geográfico, condiciones de cultivo y tipo de avena.

El contenido de FDT es más alto ($15.95 \pm 0.01\%$) en comparación con los rango reportado por Firew *et al.* (2021), para qué fue de 2.1-3.5 g/100g MS, por Yang *et al.* (2023), que fue de 9-10 g/100g MS, por Gmage *et al.* (2022), que fue de 10-12 g/100g MS y el de Paudel *et al.* (2021) que fue de 7-10 g/100g MS. Este valor elevado que podría estar relacionado con el método de extracción utilizado, ya que en este estudio

se determinó utilizando AOAC 991.43 y AOAC 985.29, el cual favorece la extracción de la fibra total (fibra soluble e insoluble). Reafirmando lo expuesto por Paudel *et al.* (2021), que dice que algunos métodos favorecen la extracción soluble (como el betaglucano), mientras que otros más se centran en la fibra insoluble (celulosa y hemicelulosa).

Finalmente, el contenido de cenizas ($1.68 \pm 0.01\%$) presenta similitudes entre el contenido reportado por Firew *et al.* (2021), que fue de 1.2-1.3 g/100g MS, de igual forma con la cantidad de cenizas reportadas por Zhang *et al.* (2021), que fue de 1.5-1.7 g/100g MS. Se afirma que la avena tiene un contenido mineral relativamente bajo, lo que constituye una fracción pequeña en comparación como la fibra dietética y proteínas.

4.2.2. Análisis proximal del vaso comestible y biodegradable

En la Tabla 10 se visualizan los valores de la composición proximal, en donde para cada uno de ellos, existen diferencias significativas entre los tratamientos evaluados ($p < 0.05$), por lo tanto, el tipo de tratamiento si influye en la humedad, cenizas, grasas, proteínas, FDT, carbohidratos. Los tratamientos T2 y T1 tienen mayor humedad, y T5 es el más seco. El T3 tiene mayor cantidad de cenizas lo que puede relacionarse con una mayor concentración de minerales; T0, T1 y T2 tienen las cantidades más bajas. El T4 tiene más grasas y T0 tiene el contenido más bajo de grasas. El T0, T4 y T5 tienen más proteínas y T2 tiene niveles más bajos de proteínas. El T1 tiene mayor cantidad de FDT y T0 fue el más bajo. El T0 tiene mayor cantidad de carbohidratos; T1 fue el más bajo.

Tabla 10.

Composición química proximal de los vasos comestibles y biodegradables

| Tratamiento | Humedad (%±σ) | Cenizas (%±σ) | Grasas (%±σ) | Proteínas (%±σ) | FDT (%±σ) | Carbohidratos (%±σ) |
|-------------|------------------------|------------------------|-------------------------|------------------------|-------------------------|-------------------------|
| T0 | 2.52±0.10 ^b | 0.59±0.02 ^d | 13.67±0.20 ^f | 7.07±0.01 ^a | 5.30±0.01 ^e | 70.85±0.14 ^a |
| T1 | 3.08±0.09 ^a | 0.60±0.01 ^d | 14.52±0.07 ^e | 6.05±0.09 ^c | 11.66±0.01 ^a | 64.09±0.25 ^e |
| T2 | 3.18±0.03 ^a | 0.59±0.02 ^d | 15.48±0.12 ^c | 5.98±0.07 ^c | 9.82±0.01 ^b | 64.94±0.13 ^d |
| T3 | 2.94±0.02 ^b | 1.08±0.03 ^a | 15.07±0.01 ^d | 6.61±0.07 ^b | 6.99±0.01 ^c | 67.32±0.10 ^b |
| T4 | 2.59±0.12 ^b | 0.94±0.01 ^b | 16.36±0.02 ^a | 7.09±0.03 ^a | 6.98±0.01 ^c | 66.05±0.11 ^c |
| T5 | 2.13±0.12 ^c | 0.85±0.05 ^c | 16.08±0.00 ^b | 7.06±0.06 ^a | 6.67±0.01 ^d | 67.21±0.07 ^b |

Nota. Se muestran las diferencias significativas entre las medias de los tratamientos de acuerdo a la Prueba de Tukey ($p < 0.05$) con las letras^{a-b-c-d-e-f}; σ: desviación estándar.

Los resultados de humedad obtenidos en T1 (3.08%±0.09%) y T2 (3.18%±0.03%) son inferiores con los expuestos por Karakus *et al.*(2021) en películas comestibles de harina de cáscara de naranja y Vilas *et al.*(2021) en galletas de cáscara de naranja, quienes encontraron una humedad de 5.74-9.90% y 4.5-5.5% respectivamente. El T1 y T2 presentan mayor humedad, porque la fibra en la cáscara produce mayor retención de agua ligada, es decir hay más humedad, pero menos agua libre. Por otro lado, Chhatariya *et al.* (2021) nos dice que a medida que aumentó la cascara de naranja aumentó la humedad, debido a alta cantidad de agua libre en la fibra insoluble de la cáscara.

En cuanto al contenido de cenizas, todos los tratamientos, se encuentran dentro de rango descrito por Pagliarini *et al.* (2024), entre 0.5% y 1.5% para películas elaborados con cáscara de naranja. El T3 presentó el valor más alto, lo que podría atribuirse a una óptima relación entre harinas, que favorece la retención o liberación de minerales durante su procesamiento. De acuerdo a Chhtariya *et al.* (2022), la

cáscara aporta más minerales, el incremento de la avena podría haber mejorado su retención de al reducir la pérdida de estos compuestos. De acuerdo a Karakus *et al.* (2023), la presencia de minerales contribuye a la rigidez final del material.

Los valores de grasas en T4 ($16.36\% \pm 0.02\%$) y T5 ($16.08\% \pm 0.00\%$) son significativamente más altos a los de Milićević *et al.* (2020), con 9.53-9.51% en hidrogeles con grasa de avena. El incremento de grasas en los tratamientos está influenciado por el contenido de aceites esenciales en la cáscara y lípidos en la avena. El contenido de grasas es favorecer en la elaboración de biocompuestos porque actúan como plastificantes (Pagliriani *et al.*, 2024). De acuerdo con Chhatariya *et al.* (2022), la cáscara de naranja posee compuestos fenólicos y limonoides capaces de modificar el perfil sensorial del alimento, intensificando notas amargas a medida que se eleva su concentración. De forma similar, Vilas *et al.* (2023) reportaron que niveles más altos de polvo de cáscara de naranja aumentan la intensidad sensorial asociada a tonos cítricos y amargos, relacionándose directamente con la fracción bioactiva de la cáscara. Asimismo, Karakus *et al.* (2023) describen que la harina de cáscara de naranja contiene componentes terpénicos responsables de sabores más intensos y persistentes, los cuales se vuelven más notorios conforme se incrementa la cantidad de cáscara en las mezclas. En conjunto, estos autores coinciden en que una mayor inclusión de harina de cáscara de naranja conduce a un sabor más astringente y amargo, atribuible principalmente a la limonina y otros limonoides característicos de los cítricos.

El T5 ($7.06\% \pm 0.06\%$) y T4 ($7.09\% \pm 0.03\%$) son similares a lo obtenido por T0, lo que significa que el aumento de la harina de avena no reduce el contenido de proteínas. El T0 (100% harina de trigo) mantuvo un valor elevado debido a la mayor presencia de gluten que retiene agua y confiere elasticidad. El T4 y T5 son

consistentes reportados por Milićević *et al.* (2020), quienes indicaron que los productos con avena tienen un contenido de proteínas entre un 5% a 7%, aunque inferiores a los de Zhang *et al.* (2021), que observaron 10-15% en biocompuestos de avena, donde las proteínas ayudan a la formación de redes estructurales.

El valor más alto de FDT aumentó con la harina de cáscara de naranja, siendo mayor en T1 ($11.66 \pm 0.01\%$), siendo notablemente superior el rango de Gamage *et al.* (2022) que observó mayor contenido de fibra al aumentar la HCN obteniendo como máximo 6-10% en sus biocompuestos, lo cual es similar a lo obtenido en T4 ($6.99\% \pm 0.01\%$). La fibra de ambas harinas contribuye a la fracción fibrosa del biocompuestos.

El T0 (70.85%) presentó mayor contenido de carbohidratos, debido a que está elaborada con harina de trigo, rica en almidón. Mientras que T1 (64.09%) y T2 (64.94%) tienen los valores más bajos, lo que se asocia a la menor proporción de almidón en la cáscara de naranja (Pagliarini *et al.*, 2024; Chhatariya *et al.*, 2022). Cordero *et al.* (2020), reportaron que la harina de avena aumentó el contenido entre un 50-60% en carbohidratos, mientras que Puadel *et al.* (2021), encontraron entre 60% y 70%, rangos que contienen mayor cantidad de avena.

4.3. Análisis de las propiedades físicas

4.3.1. Análisis de los parámetros de color de los vasos

En la Tabla 11 se visualiza el componente L*, a* (Rojo-verde) y color donde existe diferencias significativas entre los tratamientos, por lo tanto, el tipo de tratamiento influye. Mientras que para el componente b* (amarillo- azul) indica que no existen diferencias significativas, por lo tanto, no hay un efecto notable de los diferentes tratamientos. Los tratamientos T5, T0 y T4 tiene valores más altos de luminosidad. El T1 indica que es el más rojizo, seguido por el T3 y T2 y el T0, T5 y T4 muestran

valores menos rojos. Todos los tratamientos tienen valores más altos (alrededor de 31) lo que indican que son más amarillos que azules.

Tabla 11.

Parámetros de color promedio L^ , a^* , b^* y diferencia de color (ΔE^*) de los vasos comestibles y biodegradables*

| Tratamiento | $L^* \pm \sigma$ | $a^* \pm \sigma$ | $b^* \pm \sigma$ | $\text{COLOR} \pm \sigma$ |
|-------------|-----------------------|----------------------|--------------------|---------------------------|
| T0 | 62.17 ± 0.89^a | 8.03 ± 0.29^b | 31.29 ± 0.23^a | 70.06 ± 0.77^{ab} |
| T1 | 55.39 ± 1.74^c | 10.13 ± 0.16^a | 31.52 ± 0.96^a | 64.53 ± 1.94^b |
| T2 | 55.68 ± 2.98^{bc} | 9.74 ± 0.71^{ab} | 31.94 ± 1.39^a | 64.93 ± 3.22^{ab} |
| T3 | 55.89 ± 2.88^{bc} | 9.79 ± 0.66^{ab} | 31.18 ± 1.46^a | 64.75 ± 3.09^b |
| T4 | 61.10 ± 1.91^{ab} | 9.18 ± 0.96^{ab} | 32.28 ± 0.25^a | 69.72 ± 1.44^{ab} |
| T5 | 62.34 ± 0.90^a | 8.48 ± 0.88^{ab} | 32.04 ± 1.27^a | 70.62 ± 0.31^a |

Nota. Se muestran las diferencias significativas entre las medias de los tratamientos de acuerdo a la Prueba de Tukey ($p < 0.05$) con las letras^{a-b-c-d-e-f}; σ : desviación estándar.

Como se puede observar (Anexo XVII), los valores de luminosidad reportados para los tratamientos varían entre 55.39 para el T1 y 62.34 para T5, destacando el T0 (62.169) que presenta el valor más alto de luminosidad, indicando que la harina de trigo influyó en un color más claro en comparación con los otros. A medida que aumenta la proporción de la harina de cáscara de naranja T1 la luminosidad disminuye reflejando un tono más oscuro en los vasos. Según Fan *et al.* (2021), en la elaboración de películas comestibles de pectina y goma xantana, los valores de luminosidad L^* fueron reportados en un rango de 56.70 a 63.50, lo que resulta comparable a los valores obtenidos en este estudio, destacando una disminución del L^* al aumento de

pectina. Por otro lado, Chhatariya *et al.* (2022), reportaron un L^* promedio de 57.5 para películas con polvo de cáscara de naranja, lo cual es coherente con los resultados del T2 (55.68) y T3 (55.89). En cambio, al incrementar a harina de avena (T4 y T5), se observa un tono más claro, aunque por debajo del T0.

En cuanto al parámetro a^* , T1 presenta el valor más alto (10.13), indicando un tono rojizo, mientras que T0 muestra un valor más bajo (8.03), sugiriendo una tonalidad más verde. Comparado con Gasparre *et al.* (2024), se observaron valores de a^* cercanos a 9.5 para las películas con mayor cantidad de cáscara de naranja, lo que se asemeja los valores de los tratamientos T1 (10.13) y T2 (9.74); Karakus *et al.* (2023), reportaron valores de aumento de a^* hasta un 8.8 para películas a base de cáscara de naranja y granada; Vila *et al.* (2023) reportaron un valor de a^* de 9.1 en sus galletas saludables con polvo de cáscara de naranja, lo que es similar a los resultados para tratamientos T2 (9.74) y T3 (9.79). Esto indica que la presencia de cáscara de naranja influye en la intensificación de los tonos rojizos en los productos, independientemente de la matriz alimentaria. Este aumento de la tonalidad rojiza se puede atribuir a la alta concentración de flavonoides y carotenoides presentes en la cáscara de naranja, los cuales tienen una fuerte influencia sobre la coloración de los biopolímeros.

En cuanto, el parámetro b^* , todos los tratamientos presentan valores cercanos a 31, sugiriendo que la tonalidad amarilla es bastante constante a través de todos los tratamientos, sin grandes diferencias. En el estudio de Sood y Saini (2022), donde se incorporó pectina de cáscara de pomelo rojo en películas, se observó un valor de b^* de 30.0, lo que es comparable con los valores de este estudio. Además, Fan *et al.* (2021) encontraron que las películas de pectina tenían un valor b^* similar a los tratamientos, lo que respalda la estabilidad de la tonalidad amarilla en productos a base de cáscara de frutas cítricas. En la cáscara de naranja, la hesperidina, un

flavonoide contribuye al color amarillo en los biopolímeros (Iñiguez-Moreno *et al.*, 2024). Además, los carotenoides, como el β -caroteno y la xantofila, también presentes en la cáscara de naranja, son pigmentos naturales que incrementan la coloración amarilla debido a su capacidad para absorber y reflejar luz en el espectro amarillo (Ayala *et al.*, 2021). Por otro lado, en la avena, los compuestos fenólicos como los ácidos ferúlico y caféico, que tienen propiedades antioxidantes, pueden contribuir a la intensificación de los tonos amarillos debido a sus interacciones con los polisacáridos y proteínas presentes en la harina de avena.

El ΔE^* de los tratamientos varía entre 64.53 y 70.62, siendo T5 el valor más alto (70.62), que indica una diferencia de color significativa comparado con otros tratamientos. El menor valor de ΔE^* se encontró en T1 (64.53), reflejando menos variación en el color. Según Pagliarini *et al.* (2024), la diferencia de color en las películas de cáscara de naranja reforzadas con celulosa bacteriana osciló entre 60 y 70, lo que concuerda con los valores encontrados. Chhatariya *et al.* (2022) también reportaron ΔE^* entre 65 y 75. Es importante resaltar que el tratamiento con mayor cantidad de avena (T5) mostró un valor de ΔE^* significativamente más alto, lo que sugiere que la avena puede contribuir a una mayor variación en la tonalidad y color del material, especialmente en su interacción con los otros ingredientes y la humedad residual. Estas variaciones son coherentes con la literatura, donde la composición de biopolímeros y la proporción de refuerzos vegetales influyen en el color final (Pagliarini *et al.*, 2024; Gasparre *et al.*, 2024).

4.3.2. Análisis del espesor, densidad, solubilidad, capacidad de absorción de agua y sólidos volátiles de los vasos

En la Tabla 12 se visualizan las propiedades físicas, donde para la densidad si existen diferencias significativas entre los tratamientos evaluados, por lo tanto, el tipo de

tratamiento si influye. Para el espesor, solubilidad y sólidos volátiles indican que no existen diferencias significativas, por lo tanto, no hay un efecto notable de los diferentes tratamientos. Los tratamientos con mayor proporción de harina de avena (T4 y T5) presenta una menor densidad; los tratamientos con mayor cantidad de harina de cáscara de naranja (T1 y T2) presenta mayor densidad. Los espesores varían con diferencias mínimas entre los tratamientos, aunque el T0 tuvo un valor ligeramente alto y hubo una disminución a medida que aumentó la harina de cáscara de naranja. La solubilidad varió con diferencias mínimas, siendo T3 el más alto. Los sólidos volátiles fueron más altos en tratamientos con mayor cantidad de harina de cáscara de naranja (T1 y T2), con valores cercanos al 98% y T3 el más bajo.

Tabla 12.

Valores de espesor, densidad, solubilidad y sólidos volátiles (SV) de los vasos los comestibles y biodegradables

| Tratamiento | Espesor (mm $\pm\sigma$) | Densidad (g/ cm ³ $\pm \sigma$) | Solubilidad (% $\pm\sigma$) | Sólidos Volátiles (% $\pm\sigma$) |
|-------------|------------------------------|---|-------------------------------|------------------------------------|
| T0 | 6.85 \pm 1.38 ^a | 0.59 \pm 0.01 ^b | 22.58 \pm 0.21 ^a | 98.17 \pm 0.47 ^{ab} |
| T1 | 6.11 \pm 0.47 ^a | 0.64 \pm 0.01 ^a | 24.16 \pm 1.03 ^a | 98.67 \pm 0.32 ^a |
| T2 | 6.23 \pm 0.22 ^a | 0.38 \pm 0.01 ^c | 22.81 \pm 0.88 ^a | 98.30 \pm 0.08 ^{ab} |
| T3 | 6.20 \pm 0.22 ^a | 0.36 \pm 0.01 ^c | 24.78 \pm 1.48 ^a | 97.76 \pm 0.10 ^b |
| T4 | 6.57 \pm 0.52 ^a | 0.15 \pm 0.01 ^d | 23.01 \pm 0.65 ^a | 98.26 \pm 0.32 ^{ab} |
| T5 | 6.69 \pm 0.30 ^a | 0.17 \pm 0.01 ^d | 23.78 \pm 1.63 ^a | 98.10 \pm 0.28 ^{ab} |

Nota. Se muestran las diferencias significativas entre las medias de los tratamientos de acuerdo a la Prueba de Tukey (p<0.05) con las letras^{a-b-c-d-e-f} ; σ : desviación estándar.

Los valores de espesor para los tratamientos oscilaron entre entre 6.11 mm y y 6.85 mm, siendo T0 el tratamiento con el espesor más alto, seguido del T5. Estos valores se encuentran dentro del rango reportado por Vilas *et al.* (2021), para galletas a base

de cáscara de naranja que variaron entre 6 y 7 mm, destacando una tendencia similar en la formulación con mayor cantidad de harina de trigo; de igual forma con Cordero *et al.* (2020), que al evaluar el espesor en productos de avena se encontró entre 5.5 mm y 6.5 mm, lo que se asemeja con este estudio. El aumento del espesor en T0 con mayor contenido de harina de trigo, puede explicarse por la mayor capacidad de retención de agua y la densidad del almidón de trigo, que favorece la formación de una estructura más gruesa. Además, el gluten presente en la harina de trigo y el proceso de amasado influyen en la cohesión de la masa, lo que incrementa el espesor, ya que el gluten contribuye a una mayor elasticidad y retención de agua durante el proceso de horneado. Se observa una tendencia de aumento del espesor conforme aumenta la harina de avena, atribuido a la capacidad de absorción de agua y al contenido de fibra soluble, principalmente los beta-glucanos que generan masas más viscosas y mayor retención de agua, como se observa en trabajos de Fan *et al.* (2021).

En cuanto a la densidad, se observa que los valores varían significativamente entre los tratamientos, con T0 (0.59 g/cm³) siendo el más denso, mientras que T5 (0.17 g/cm³) y T4 (0.15 g/cm³) son los más bajos, reflejando una menor compactación de la masa por el aumento de la avena. Mohd *et al.* (2020), reportaron que la densidad de productos elaborados con avena disminuye al aumentar su contenido, lo que coincide con T5. Por otro lado, Gasparre *et al.* (2024), encontraron que la densidad de las biopelículas a base de cáscara de naranja fue de aproximadamente 0.6 g/cm³, similar a los resultados de T1 (0.64 g/cm³), lo que sugiere que la incorporación de cáscara de naranja contribuye a una mayor compactación de la masa. El incremento de la harina de avena (T5) redujo la densidad del material, probablemente debido a la alta absorción de agua, que genera una estructura porosa y menos compacta durante el horneado.

En cuanto a la solubilidad, los valores oscilaron entre 22.58% (T0) y 24.78% (T3), aunque las diferencias no son significativas entre tratamiento y es coherente con los resultados de Chhatariya *et al.* (2022), reportaron solubilidades de aproximadamente 23-25% para biopolímeros a base de cáscara de naranja y almidón, sugiriendo una similitud entre los comportamientos de la matriz. El T2 fue el segundo menos soluble (22.82) % indicando mayor conservación de masa, por lo tanto, mayor resistencia al agua. Esto puede atribuirse a la presencia de fibra insoluble proveniente de la cáscara de naranja, que forma una red estructural más compacta y menos permeable. Concuerda con lo observado por Karakus *et al.* (2023), que reportaron mayor compactación estructural y cohesión de las fibras reduciendo su solubilidad al aumento del polvo de cáscara de naranja y granada. Los tratamientos con mayor avena, presentaron un ligero aumento de la solubilidad, posiblemente debido a los polisacáridos solubles y beta-glucanos, que incrementan su afinidad por el agua, en concordancia con lo reportado por Chhatariya *et al.* (2022).

Finalmente, los sólidos volátiles de los tratamientos varían entre 97.76% (T3) y 98.67% (T1), todos los tratamientos presentan valores elevados de fracción orgánica. De acuerdo a Fan *et al.* (2021), sus películas comestibles de pectina y goma xantana, reportaron sólidos volátiles de alrededor del 98%, lo que es consistente con los resultados obtenidos en este estudio. En mayor valor observado en T1, puede relacionarse con la mayor presencia de polisacárido, tanto en la HCN y HA, que tienen una mayor capacidad de retención y liberación de humedad, que lleva los SV. Por otro lado, Pagliarini *et al.* (2024) observaron sólidos volátiles en el rango del 97.5% al 98.5% para películas de cáscara de naranja, confirmando que el proceso de secado y las formulaciones no afectan significativamente la volatilización de los sólidos en los biopolímeros.

En cuanto a la biodegradabilidad, el valor máximo (98.67%) y mínimo (97.76%) reportados indican que los materiales están compuestos casi en su totalidad por materia orgánica volátil, lo que refleja un alto potencial de biodegradabilidad. En este sentido, los valores registrados en los tratamientos T1, T2, T4 y T5 (98.1–98.6%) se alinean con los reportados por Anand *et al.* (2024), quienes evaluaron la degradación de vasos comestibles de harina de trigo y cacao en procesos de compostaje y digestión anaerobia, observando una conversión de sólidos volátiles de $98.3 \pm 0.2\%$. De forma complementaria, Cheng *et al.* (2024) estudiaron biopolímeros a base de almidón y proteínas y concluyeron que materiales con contenidos de sólidos volátiles superiores al 95% se degradan completamente en menos de seis meses bajo condiciones aeróbicas, debido a la alta hidrofiliidad y accesibilidad de los grupos funcionales a la acción microbiana. En concordancia, los vasos elaborados con harina de cáscara de naranja (HCN) y harina de avena (HA) presentaron una red polisacáridica rica en pectina, celulosa y almidón que facilita la hidrólisis y la biodegradación, aunque el tratamiento T3 (97.76%), mostró un leve descenso, probablemente debido a la presencia de almidón retrogradado y β -glucanos, estructuras menos accesibles a la degradación enzimática. Asimismo, Ahmad *et al.* (2024) trabajaron con películas biodegradables de pectina combinadas con proteínas vegetales y reportaron 96.8–98.5% de SV y hasta 99% de pérdida de masa tras 90 días, destacando que la pectina y la glicerina facilitan la despolimerización y la colonización bacteriana. Por su parte, Chhatariya *et al.* (2022) analizaron mezclas de almidón y pectina y registraron biodegradabilidades superiores al 97% en 60 días de compostaje, atribuidas a la presencia de grupos hidroxilo y carboxilo activos. En conjunto, estos antecedentes y los altos valores de SV de los vasos desarrollados confirman que sus componentes naturales (almidón, pectina, celulosa y plastificantes biodegradables) garantizan una

biodegradabilidad equivalente a materiales compostables certificados, reforzando su potencial como envases sostenibles y totalmente desintegrables en ambientes controlados.

En este estudio, aunque el tratamiento T5 utilice solo un 5% de cáscara de naranja, este porcentaje sigue representando un avance importante en la reutilización de materiales residuales y contribuye a reducir los residuos, evitando que estos terminen como desechos tóxicos que emiten CO₂ al medio ambiente. Según Chhatariya et al. (2022), la cáscara de naranja, rica en pectina, celulosa y hemicelulosa, es un material que se puede valorizar, incluso cuando su proporción en la mezcla es baja. De hecho, la reutilización de estos residuos es esencial para minimizar los impactos ambientales derivados de su disposición y contribuir a una economía circular más eficiente. A pesar de que la cantidad utilizada en T5 es pequeña (5%), el material sigue ofreciendo propiedades útiles en la creación de biopolímeros, como rigidez y resistencia a la humedad (Gamage et al., 2022).

El hecho de que el 5% de cáscara de naranja en el tratamiento T5 no cumpla con los objetivos de una mayor proporción de subproducto no descalifica su impacto positivo en la reutilización de residuos. Karakuş et al. (2023) también han reportado que la incorporación de residuos de cáscara de naranja en cantidades pequeñas puede tener un efecto significativo en las propiedades mecánicas de los materiales biocompuestos, especialmente cuando se considera su contribución al desarrollo de materiales sostenibles. Además, la incorporación de avena, como Gamage et al. (2022) lo sugieren, puede mejorar las propiedades de la mezcla sin que se comprometa la biodegradabilidad del producto final. En este sentido, el uso de un 5% de cáscara de naranja aún puede alinearse con los principios de la economía circular, ya que implica

la transformación de un residuo agroindustrial en un producto útil, reduciendo su impacto ambiental.

En la tabla 13 se muestra la absorción de agua en tiempos determinados, en el minuto 1, existen diferencias significativas entre los tratamientos. Mientras que el minuto 5, minuto 10, minuto 15, minuto 20 indican que no hay diferencias significativas, en este caso los tratamientos no tienen un efecto notable sobre la capacidad de absorción a los 5 y 10 minutos. Las diferencias significativas se observan en el minuto 1, y los tratamientos T1 y T2 muestran mayor absorción en comparación con los otros en el primer minuto, lo cual se sugiere un impacto inicial rápido de absorción de agua.

Tabla 13.

Valores de capacidad de absorción de agua (%) de los vasos los comestibles y biodegradables

| Tratamientos | 1 min (%) $\pm \sigma$ | 5 min (%) $\pm \sigma$ | 10 min (%) $\pm \sigma$ | 15 min (%) $\pm \sigma$ | 20 min (%) $\pm \sigma$ |
|--------------|--------------------------------|-------------------------------|-------------------------------|-------------------------------|-------------------------------|
| T0 | 5.13 \pm 0.71 ^c | 11.49 \pm 2.07 ^a | 16.86 \pm 2.11 ^a | 20.75 \pm 3.09 ^a | 23.76 \pm 3.35 ^a |
| T1 | 6.84 \pm 0.03 ^a | 12.73 \pm 0.84 ^a | 17.82 \pm 1.22 ^a | 20.88 \pm 1.51 ^a | 24.57 \pm 1.06 ^a |
| T2 | 6.24 \pm 0.05 ^{ab} | 12.74 \pm 1.09 ^a | 16.04 \pm 2.39 ^a | 18.97 \pm 3.23 ^a | 21.17 \pm 3.60 ^a |
| T3 | 5.99 \pm 0.08 ^{abc} | 12.10 \pm 1.29 ^a | 17.68 \pm 0.41 ^a | 21.32 \pm 1.81 ^a | 25.57 \pm 0.88 ^a |
| T4 | 5.60 \pm 0.36 ^{bc} | 11.16 \pm 0.37 ^a | 15.74 \pm 0.92 ^a | 19.62 \pm 1.79 ^a | 22.06 \pm 1.88 ^a |
| T5 | 6.08 \pm 0.41 ^{abc} | 12.25 \pm 0.21 ^a | 18.19 \pm 0.58 ^a | 23.60 \pm 1.08 ^a | 26.82 \pm 0.24 ^a |

Nota. Se muestran las diferencias significativas entre las medias de los tratamientos

de acuerdo a la Prueba de Tukey ($p < 0.05$) con las letras^{a-b-c-d-e-f} ; σ : desviación estándar.

Se observa que la capacidad de absorción de agua para los diferentes tratamientos (T0-T5) aumenta con el tiempo de inmersión, con valores que oscilan entre 5.13%-6.84% en el primer minuto (T0 y T1 respectivamente), y alcanzando un máximo de 21.17%-26.82% para el tratamiento (T2 y T5 respectivamente) en el minuto 20.

En comparación con Gasparre *et al.* (2024), observaron que la adición de harina de cáscara de naranja, con la mayor cantidad (9g/100 g de la mezcla, al pan incrementó la capacidad de absorción de agua entre 30% a 45% hasta los 20 minutos, ; de manera similar, Karakus *et al.* (2023) reportaron que el aumento harina de cáscara de naranja hasta un máximo de 20% en películas comestibles aumentó la capacidad de absorción de agua hasta un 36.7%, los valores obtenidos en los tratamientos de T1 a T5 indican menor capacidad de retención.

Por otro lado, Chhatariya *et al.* (2022) estudiaron la influencia de la adición de polvo de cáscara de naranja en películas a base de almidón de maíz y encontraron que al añadir hasta un 30% de cáscara de naranja, aumentaba la absorción de agua significativamente, alcanzando valores de 40%. Este comportamiento se compara con los resultados obtenidos en este estudio, donde incluso los tratamientos con mayor cantidad de cáscara de naranja (como el T1, con 25% de cáscara de naranja) mostraron una absorción de agua de 23,76%, y el tratamiento con mayor proporción de avena (T5) alcanzó 26,82%. Este comportamiento puede explicarse por el contenido de fibra y la capacidad higroscópica de la cáscara de naranja, la cual retiene agua debido a la naturaleza de los polisacáridos presentes, especialmente la pectina (Ayala *et al.*, 2021).

En cuanto al efecto de la avena, se observa que, al incrementar su proporción en la mezcla, como en los tratamientos T4 y T5, también se incrementa la capacidad de absorción de agua. Esto puede estar relacionado con los compuestos bioactivos de la avena, como los beta-glucanos, que son conocidos por su capacidad para formar geles y mejorar la retención de agua en matrices alimentarias. De hecho, Cordero *et al.* (2020), observaron un aumento de la capacidad de absorción de agua en masas con mayor contenido de avena, con valores que oscilaron entre el 24% y 35%,

dependiendo del tamaño de partícula y el contenido de avena, lo que se ajusta al comportamiento de los tratamientos.

Es importante destacar que el tratamiento control (T0), compuesto 100% por harina de trigo, mostró una capacidad de absorción de agua más baja, especialmente en los primeros minutos, con un valor de 5.13% al primer minuto, lo que concuerda con los hallazgos de Pagliarini *et al.* (2024), quienes informaron que los productos con mayor contenido de harina de trigo presentan una menor capacidad de absorción de agua debido a su baja interacción de la harina de trigo con el agua.

Adicionalmente, en el estudio de Shulga *et al.* (2023), se desarrollaron tazas comestibles tipo galleta con una capa de pectina aplicada con spray. Aquí no se reporta el % de incremento de capacidad de agua, sino la resistencia al agua y el tiempo que el vaso puede retener el líquido sin degradarse o presentar fugas. Los valores reportados en este estudio fueron entre 21 % y 27 % de agua en 20 min, mientras que las tazas de Shulga mantienen absorción <15 % después de 40 min y resisten hasta 120 min sin fugas gracias al recubrimiento impermeable de pectina o PVA.

4.4. Análisis de las propiedades mecánicas

4.4.1. Análisis de las mecánicas de los vasos comestibles y biodegradables

En la tabla 14 se muestra el análisis de las propiedades mecánicas, en donde la dureza, deformación, tensión y elongación indican que hay diferencias significativas entre los tratamientos, es decir las combinaciones de cáscara de naranja y avena afectan las propiedades mecánicas del vaso. En cuanto a la dureza, el T1 muestra mayor dureza, mientras que el T5 presenta la menor. En cuanto a la deformación, los valores aumentaron progresivamente desde T1 hasta T5, lo que indica mayor flexibilidad en

los tratamientos con mayor contenido de avena. En cuanto a la tensión, T5 mostró el valor más alto, seguido de T4, sugiriendo mayor resistencia a la ruptura en los tratamientos. En cuanto la elongación, T5 registró el mayor valor, indicando que posee una mayor capacidad de estiramiento antes de romperse, mientras T1 fue el más frágil.

Tabla 14.

Valores de dureza, deformación, tensión y elongación de los vasos comestibles y biodegradables

| Tratamientos | Dureza ($N \pm \sigma$) | Deformación ($mm \pm \sigma$) | Tensión ($MPa \pm \sigma$) | Elongación ($\% \pm \sigma$) |
|--------------|---------------------------|---------------------------------|------------------------------|--------------------------------|
| T1 | 81.76 ± 0.58^a | 1.06 ± 0.01^e | 0.10 ± 0.01^e | 0.03 ± 0.01^e |
| T2 | 75.89 ± 0.05^b | 1.33 ± 0.00^d | 0.13 ± 0.01^d | 0.32 ± 0.01^d |
| T3 | 75.35 ± 0.01^b | 1.78 ± 0.01^c | 0.16 ± 0.00^c | 0.52 ± 0.00^c |
| T4 | 67.65 ± 0.04^c | 1.92 ± 0.01^b | 0.20 ± 0.01^b | 0.86 ± 0.01^b |
| T5 | 57.96 ± 0.01^d | 2.01 ± 0.01^a | 0.23 ± 0.01^a | 0.96 ± 0.01^a |

Nota. Se muestran las diferencias significativas entre las medias de los tratamientos de acuerdo a la Prueba de Tukey ($p < 0.05$) con las letras^{a-b-c-d-e-f} ; σ : desviación estándar.

En cuanto a los valores de dureza hubo una disminución progresiva siendo el tratamiento T1 (81.76 N) el que presentó la mayor dureza y T5 (57.96 N) presentó la más baja. La dureza, indica la capacidad del vaso para mantener su estructura bajo carga o compresión. Los resultados son similares con los reportados por Gasparre *et al.* (2024), quienes observaron que el aumento de la proporción de la harina de cáscara de naranja en panes incrementó la dureza, atribuida al contenido de celulosa, hemicelulosa y pectina, que actúan como refuerzos naturales. La mayor dureza en T1 confirma la correlación positiva entre el contenido de cáscara y la rigidez estructural. Dicho efecto se explica por la formación de una matriz más densa y menos plástica, donde las fibras de la cáscara limitan la movilidad de las cadenas poliméricas y

reducen la deformación elástica del material. Por el contrario, el tratamiento T5 (57.96 N), con mayor proporción de harina de avena, mostró una dureza significativamente menor, reflejando el efecto suavizante y plastificante de la avena. Este comportamiento es similar al descrito por Mohd *et al.* (2024), quienes reportaron que a medida que aumentaba la harina de avena ocurría una disminución de dureza cercana a 60 N en galletas de avena, debido a la presencia de β -glucanos y almidón, que aumentan la capacidad de retención de agua y disminuyen la rigidez de la red polimérica. De igual forma, los valores obtenidos en este estudio para el tratamiento T5 y T4 se sitúan dentro del rango descrito por Milićević *et al.* (2020) para galletas con sustitución de hidromel de avena como grasa (70–80 N), consideradas mecánicamente suaves por el efecto elástico que producía a la masa.

En cuanto a la deformación, se observó un aumento progresivo desde el tratamiento T1 (1.06 mm) hasta el T5 (2.01 mm), lo que indica una mayor flexibilidad en los tratamientos con mayor contenido de avena. Este efecto se asocia a la contribución de la avena y de los plastificantes (glicerina y goma xantana), que favorecen la movilidad molecular y la formación de una red más elástica. De acuerdo con Fan *et al.* (2021), las películas elaboradas con pectina y goma xantana mostraron deformaciones entre 1.5 y 2.5 mm, rango comparable a los obtenidos en estos tratamientos. En contraste, el tratamiento T1 (1.06 mm) presentó la menor deformación, consistente con su mayor rigidez y menor capacidad de absorción de energía elástica, efecto que puede atribuirse a una proporción más alta de cáscara de naranja y una estructura más compacta.

Respecto a la tensión (MPa), se presentaron valores de disminución progresiva siendo T5 (0.23 MPa) el valor más alto y T1 (0.10 MPa) la más baja. Lo que sugiere que T1 a pesar de la mayor dureza es más susceptible a la ruptura bajo un esfuerzo de tracción.

Estos resultados se encuentran dentro del rango reportado por Cordero *et al.* (2020), quienes observaron tensiones entre 0.12 y 0.14 MPa en pan de avena. El aumento de tensión en los tratamientos con mayor avena sugiere que este ingrediente contribuye a la flexibilidad contribuyendo a deformarse sin fractura. En cambio, la cáscara de naranja, rica en polisacáridos estructurales (celulosa y pectina), promueve una mayor cohesión intermolecular y resistencia al esfuerzo, lo que explica los valores bajos en tensión. De manera similar, Chhatariya *et al.* (2022) reportaron que biopelículas de almidón reforzadas con 40 % de cáscara de naranja alcanzaron una resistencia máxima de 1.41 MPa, confirmando rigidez de este aditivo natural. Aunque los valores obtenidos en esta investigación son menores, esto se debe a la combinación con avena, que equilibra la rigidez con una mejor flexibilidad, esencial para evitar fracturas prematuras durante el uso.

En cuanto a la elongación (%), los tratamientos T5 (0.96 %) y T4 (0.86 %) mostraron la mayor capacidad de estiramiento antes de la fractura, evidenciando una buena elasticidad y cohesión interna, mientras que T1 (0.03 %) presentó la elongación más baja, coherente con su mayor dureza y menor deformación. Estos resultados se alinean con los hallazgos de Karakus *et al.* (2023), quienes indicaron que los biopolímeros reforzados con cáscara de naranja presentan elongaciones entre 0.2 y 0.5 %, debido a la rigidez aportada por la celulosa. En cambio, Fan *et al.* (2021) demostraron que el uso de goma xantana y glicerol puede aumentar la elongación hasta 1.2 %, valor próximo al obtenido en el tratamiento T5. Por tanto, el comportamiento observado sugiere una interacción balanceada entre los componentes: la cáscara de naranja aporta resistencia mecánica y rigidez, mientras que la avena y los plastificantes incrementan la flexibilidad y deformabilidad del material.

Con respecto a la compatibilidad de los tratamientos con el uso “masticable”, se reporta por Vilas *et al.*, (2023), quienes alcanzaron hasta 85 N en galletas con 9% de cáscara de naranja, considerándose de una textura crujiente-masticable, lo cual reporta valores superiores a diferencia del T1 (81.76 N), con 25% de HCN y 5% HA. Esta diferencia podría atribuirse a varios factores de formulación donde se empleó una matriz principalmente farinácea (harina de trigo), con menor contenido de plastificantes. De igual forma en el trabajo de Dekeba, Satheesh, & Abera (2023), se desarrollaron películas comestibles de almidón y se observaron resistencias de hasta 24 MPa y elongaciones del 1.2-2.0%, valores que demuestran la viabilidad de aplicaciones comestibles estructuralmente estables. En este sentido, el tratamiento T5, con dureza moderada (57.96N), tensión de 0.23 MPa y elongación de 0.96 %, parece ofrecer un equilibrio adecuado: es suficientemente rígido para mantener la forma del vaso, pero lo bastante flexible para permitir una mordida ligera sin fracturarse de inmediato.

En conjunto, los resultados de dureza, deformación, tensión y elongación demuestran que el tratamiento T5 presenta mejores propiedades mecánicas, aportando flexibilidad suficiente para garantizar integridad durante su manipulación. De esta forma el T1 se posiciona como un vaso estable y crujiente, masticable, pero con mordida firme, para T3, se presenta con menor rigidez, más fácil de morder, pero aún con esqueleto cítrico suficiente para sostener forma.

4.5. Análisis de las propiedades estructurales

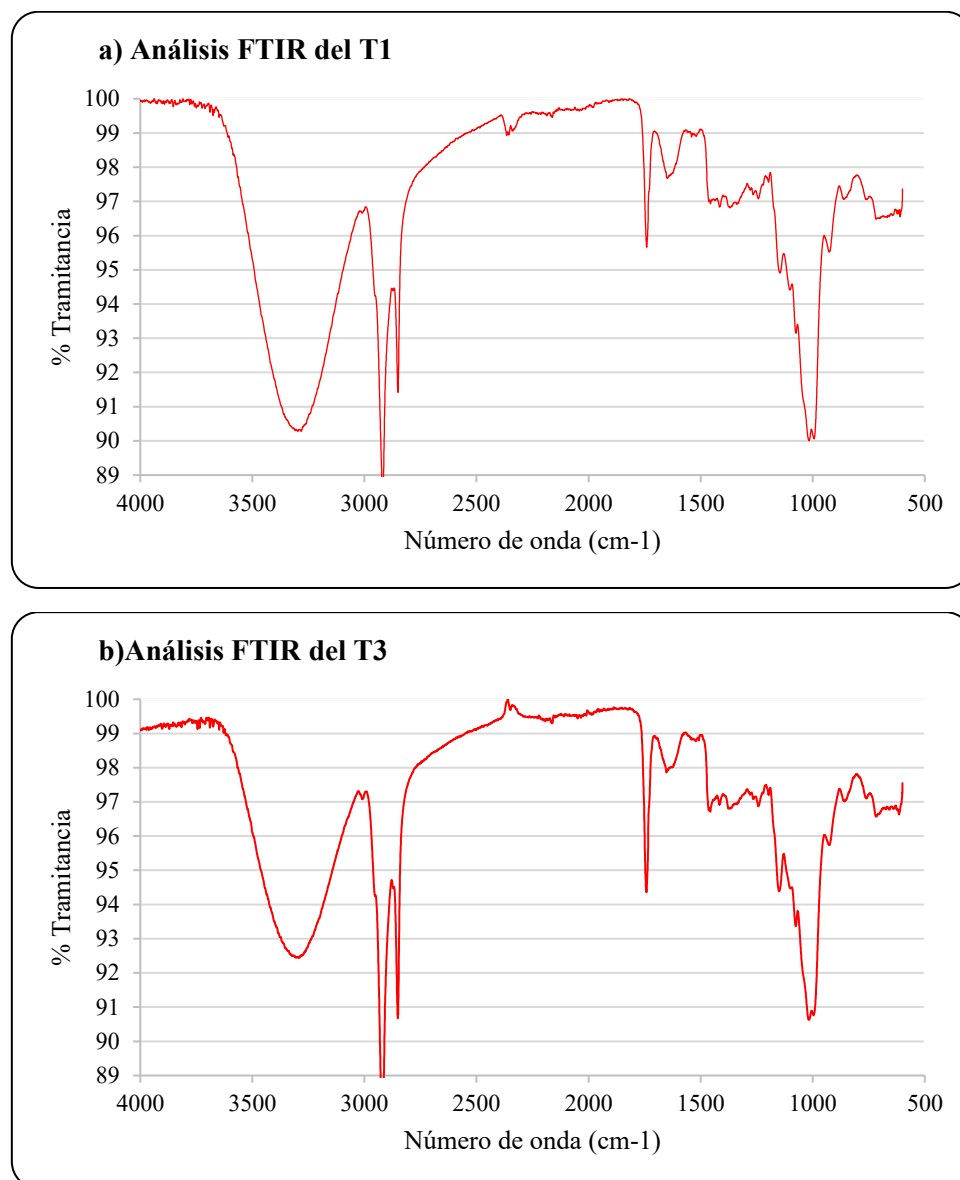
4.5.1. FTIR

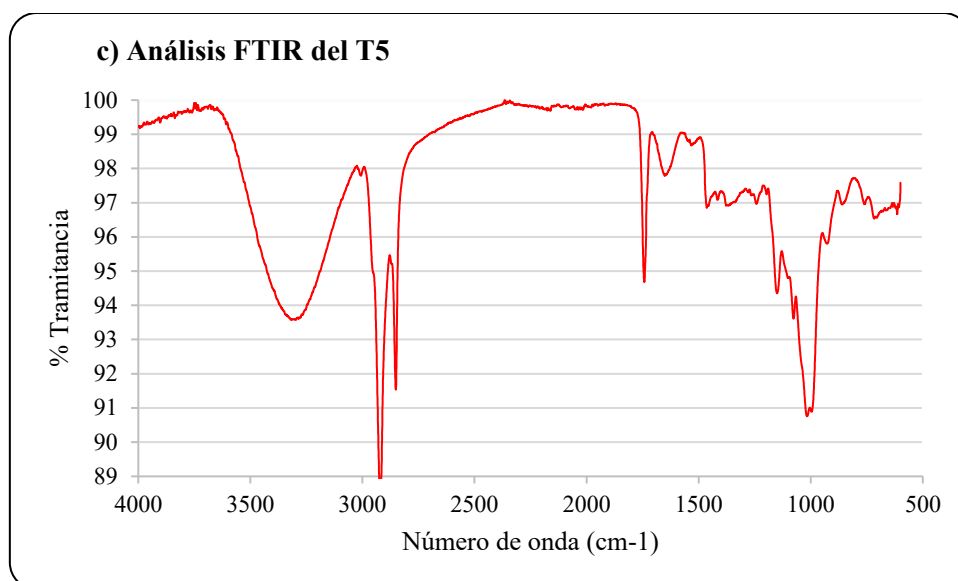
Los análisis de los tratamientos ayudaron a identificar las interacciones entre harina de cáscara de naranja (HCA) y avena (HA) e insumos como la goma guar y la

glicerina. En la Figura 7 se muestran las bandas espectrales de T1 (25% HCA y 5% HA), T3 (15% HCA y 15% HA) y T5 (5% HCA y 25% HA).

Figura 7.

Espectros de FTIR de los vasos comestibles y biodegradables a) Tratamiento T1 de 25% de harina de cáscara de naranja y 5% de harina avena ,b) Tratamiento T3 de 15% de harina de cáscara de naranja y 15% de harina avena, y c) Tratamiento de T5 de 5% de harina de cáscara de naranja y 25% de avena.





Durante el análisis FT-IR se confirmó la presencia de polisacáridos y fibras estructurales (pectina, celulosa, hemicelulosa, β -glucanos y almidón), así como plastificantes (glicerina y goma xantana). Además, se confirmó la evolución de la red polisacárida en función de la proporción de las harinas de cáscara de naranja (HCN) y avena (HA).

En el tratamiento T1 (25% HCN y 5% HA) se observaron señales más intensas, que en T3 y T5 en $\nu(\text{C}=\text{O})$ (vibración de estiramiento del enlace carbono-oxígeno), de la pectina metil-esterificada ($\sim 1730\text{--}1740\text{ cm}^{-1}$). Este valor se encuentra dentro del rango reportado por Revathi *et al.* (2025), quienes observaron picos entre 1733 y 1734 cm^{-1} en biopelículas derivadas de cáscara de naranja, atribuyéndolos a la presencia de ésteres metílicos propios de la pectina cítrica. De manera similar, Chhatariya *et al.* (2022), registraron señales en 1731 cm^{-1} en biopelícula de almidón reforzados con polvo de cáscara de naranja, indicando un alto grado de esterificación y una red más rígida, lo que coincide con la mayor dureza observada en el tratamiento T1 (81.76 N). En contraste, Karakuş *et al.* (2023), reportaron valores de 1718–1725 cm^{-1} en películas comestibles elaboradas con extractos de cáscara de granada y naranja, donde

el menor desplazamiento del carbonilo evidenció una estructura parcialmente desesterificada y, por tanto, mayor flexibilidad. Esta diferencia puede atribuirse a la composición polimérica de las matrices, ya que la formulación de T1 incluye una fracción elevada de fibra insoluble de la cáscara, mientras que los autores mencionados trabajaron con extractos pectínicos parcialmente purificados.

Además, se observó en T1 una banda $\nu(\text{O-H})$ ($3600\text{--}3000\text{ cm}^{-1}$) que indica una red más rígida y con menor movilidad molecular. Además, se registraron señales fuertes en 1600 y 1410 cm^{-1} , correspondientes a los grupos carboxilato (COO^-) de la pectina (propios de la cáscara de naranja), junto con un conjunto de picos bien definidos entre 1200 y 900 cm^{-1} , característicos de los polisacáridos estructurales (celulosa y almidón). Este patrón es similar al encontrado por Gasparre *et al.* (2024), quienes registraron picos de 1608 y 1412 cm^{-1} en panes planos sin gluten con 9% de harina de piel de naranja, destacando la contribución de los carboxilatos a la formación de enlaces iónicos y a la estabilidad térmica del producto. Todo esto sugiere que el material presenta una red más rígida y estable, con una matriz cítrica más compacta.

En T3 (15% HCN y 15% HA) se detectaron señales de pectina, aunque con $\nu(\text{C=O})$ ($\sim 1730\text{ cm}^{-1}$) y COO^- ($\sim 1600\text{--}1410\text{ cm}^{-1}$) de menor intensidad respecto a T1, y una banda $\nu(\text{O-H})$ más ancha, lo que indica mayor cantidad de puentes de hidrógeno y, por tanto, más movilidad molecular que en T1. Este comportamiento se asemeja al reportado por Guerra *et al.* (2020), quienes observaron una disminución en la intensidad de estas bandas cuando la cáscara de naranja se mezcló con almidones durante la formación de compuestos, atribuyendo el fenómeno a la dilución de grupos carbonílicos activos y al aumento de las interacciones con el almidón. Además, se observó un aumento de las señales en 1047 y 1022 cm^{-1} , propias del almidón, lo que evidencia una reducción de la rigidez y una mayor influencia de la fracción de avena

en la matriz. En consecuencia, T3 presenta una red menos compacta, aunque aún conserva cierta estructura rígida proveniente de la pectina.

Por el contrario, en T5 (25% HA y 5% HCN) se registró un ensanchamiento y ligero corrimiento de la banda $\nu(\text{O-H})$ hacia menores números de onda, junto con una intensificación de las bandas $1047/1022\text{ cm}^{-1}$ (almidón/ β -glucanos). Esto indica una mayor densidad de puentes de hidrógeno y, por tanto, mayor plasticidad y flexibilidad, mientras que la banda $\nu(\text{C=O})$ de la pectina permaneció visible, pero más tenue. Asimismo, las bandas correspondientes al almidón ($1047/1022\text{ cm}^{-1}$) se intensificaron respecto a T1, coincide con Gu *et al.* (2022), que reportaron intensidades máximas en 1045 y 1020 cm^{-1} en fracciones finas de harina de avena ($<132\text{ }\mu\text{m}$), asociadas a una mayor proporción de almidón gelatinizado y a una estructura menos ordenada. Este comportamiento espectral demuestra que el T5 forma una matriz más dúctil, capaz de mantener su forma y, al mismo tiempo, permitir una mordida ligera sin fracturarse inmediatamente.

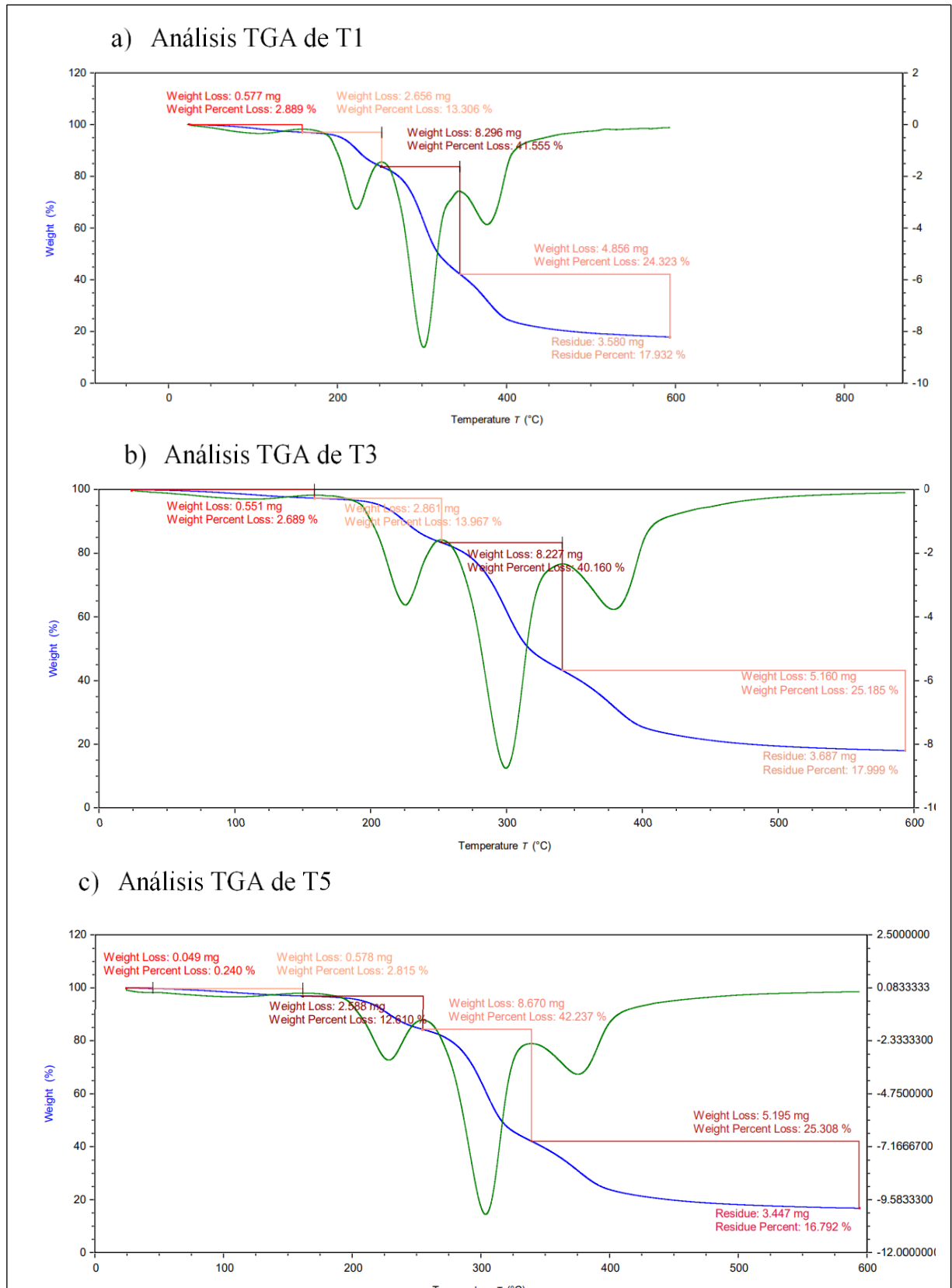
La transición espectral de T1 a T5 respalda que la cáscara de naranja (pectina y celulosa) aporta rigidez estructural, mientras que la avena y los plastificantes (glicerina y goma xantana) aumentan la movilidad de las cadenas moleculares y, por ende, la masticabilidad del material, validando así el ajuste de la comestibilidad a través del diseño de la matriz.

4.5.2. Análisis termogravimétrico

Los análisis de TGA de tratamientos ayudaron a medir la variación de la masa en función del tiempo entre harina de cáscara de naranja (HCA) y avena (HA) e insumos como la goma guar y la glicerina. En la Figura se muestran las bandas espectrales de T1 (25% HCA y 5% HA), T3 (15% HCA y 15% HA) y T5 (5% HCA y 25% HA).

Figura 8.

Termograma TGA del a) tratamiento 1, b) tratamiento 3 y c) tratamiento 5 de los vasos comestibles y biodegradables



En el análisis TGA de los vasos comestibles, el tratamiento T1 mostró cuatro etapas de pérdida de masa con valores de 2.889%, 41.555%, 24.323% y 13.306%, cerrando con un residuo del 17.932% (pérdida total acumulada $\approx 82.07\%$); T3 presentó 2.689%, 13.967%, 40.160% y 25.185%, con residuo 17.999% (pérdida total $\approx 82.00\%$); y T5 evidenció 0.240%, 12.610%, 42.237%, 25.308% y 2.815%, con residuo 16.792% (pérdida total $\approx 83.21\%$). Estos residuos finales, en el orden de 16.8–18.0%, son consistentes con la formación de carbón y fracción mineral estable asociada a matrices polisacáridicas con pectina/celulosa y relleno vegetal, y se ubican en el rango esperado para biopolímeros lignocelulósicos con plastificante. En términos de patrón térmico, la primera etapa de todos los tratamientos es minoritaria ($\leq 3\%$ en T1 y T3; $< 0.24\%$ en T5) y se asocia a humedad libre/ligeramente adsorbida; los eventos principales de degradación se concentran en las etapas intermedias (sumando aproximadamente 79–82% en T1 y T3; aproximadamente 80–83% en T5), atribuibles a despolimerización térmica de pectina/celulosa/hemicelulosa y volatilización de glicerol, en concordancia con la naturaleza mixta de la matriz. De manera concordante, Revathi *et al.* (2025) reportaron que los biopolímeros derivados de cáscara de naranja presentan degradaciones principales entre 200 y 400 °C y residuos de 15 a 20%, debido a la alta proporción de lignina y cenizas propias del material cítrico, lo que explica la estabilidad térmica observada en nuestros tratamientos con mayor HCN (T1 y T3). Según Sood y Saini (2022), en películas compuestas con pectina la pérdida de masa ocurre típicamente en dos etapas: evaporación de agua entre 112–146 °C y degradación principal por ruptura de enlaces y despolimerización entre 286–354 °C, con degradación avanzada de los carbonizados entre 430–472 °C; la multietapa con pérdidas muy dominantes en el tramo medio concuerda con este mecanismo escalonado, aunque la presencia de almidón de avena y goma xantana refuerza el carácter multicomponente (mezcla de polisacáridos) que suele

fraccionar el DTG en más de dos picos de degradación. En sistemas de bandejas almidón-residuo vegetal, Aguirre *et al.* (2023) describieron que la pérdida máxima ocurre entre 200–330 °C y que dentro de 200–450 °C puede acumularse hasta 65.29% de pérdida de masa por degradación del almidón y anillos sacarídicos, con un tercer tramo (450–800 °C) asignado a oxidación de carbonizados y formación de cenizas; nuestros perfiles, cuya pérdida total se sitúa en ~82–83% y dejan ~17–18% de residuo, son coherentes con el mayor contenido de cenizas/carbono fijo que cabe esperar cuando se incorpora harina de cáscara (con minerales y fracciones insolubles) y avena con fibra y lípidos estructurales, a diferencia de matrices muy ricas en almidón nativo que pueden llegar a casi completa descomposición cerca de 450 °C. La localización de eventos principales en el tramo medio también se alinea con Sood y Saini (2022), la cáscara de naranja (primera etapa por debajo de ~180 °C por humedad y un dominio péctico que degrada entre ~220–400 °C), lo que refuerza que la fracción cítrica gobierna la segunda zona de pérdida en mezclas reforzadas con HCN. El glicerol donde su ebullición cercana a 290 °C y naturaleza higroscópica anticipan señales solapadas con la degradación de polisacáridos; esto explica partes de las pérdidas de nuestras etapas intermedias y la ampliación del DTG, fenómeno ya previsto para biopelículas con pectina/cáscara/glicerol. Según Fan *et al.* (2021), el glicerol ebulle a 290 °C y aporta elasticidad, pero también volatilidad en ese entorno térmico. En conjunto, los residuos del 16.8–18.0% se sitúan ligeramente por encima de algunos sistemas ricos en almidón reportados por Aguirre *et al.* (2023), lo que es razonable por el mayor contenido de sólidos inorgánicos y fenólicos aportados por la harina de cáscara de naranja (frente a extractos pectínicos purificados), y las pérdidas acumuladas en el tramo 200–400 °C concuerdan con la despolimerización de pectina/celulosa descrita por Sood y Saini (2022), para matrices con pectina.

En el trabajo se emplea harina de cáscara de naranja, mientras que en varias referencias sobre pectina se utilizan extractos o fracciones purificadas, con menor carga mineral y distinta reactividad térmica; esto tiende a aumentar el residuo del TGA respecto a biopelículas muy amiláceas, y a ensanchar los eventos térmicos por el solapamiento de subpoblaciones poliméricas. En síntesis, cuantitativa, el TGA exhiben pérdidas totales ~82–83% y residuos ~16.8–18.0% (T1–T5), coherentes con biocompuestos polisacáridos-plastificante y con el patrón de tres-cuatro etapas descrito en matrices pectina/almidón de la literatura; la zona de degradación dominante se ubica donde Sood y Saini (2022), sitúan la despolimerización principal (286–354 °C) y donde Aguirre *et al.* (2023), concentraron ~65% de pérdida (200–450 °C), mientras que el residuo es mayor por la fracción integral de cáscara.

V. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

5.1. Conclusiones

- La harina de cáscara de naranja, alta en fibra dietaria total (49.97%) aportó rigidez; la de avena, alta en proteínas (13.35%), carbohidratos (37.13%) y grasas (7.34%), brindó plasticidad y cohesión, formando matrices biopoliméricas estables.
- La harina de cáscara de naranja incrementó la FDT (6.67% -11.66%) y la humedad (~3.1%), por su capacidad de retención de agua de la fibra. La harina de avena elevó las proteínas, carbohidratos y grasas, estabilizándose a partir del 20%. Ambas aumentaron lípidos ausentes en T0.
- La harina de cáscara intensificó el tono rojizo (a^*), la de avena aumentó la luminosidad (L^*); ambas estabilizaron el b^* .
- El espesor fue constante (6.11–6.85 mm), y la densidad disminuyó con más avena (mínimos en T4 y T5: 0.15-0.17 g/cm³), con estructuras ligeras frente a T1 (0.64 cm³). La solubilidad (~23%) y los sólidos volátiles (>97%), confirmaron resistencia al agua y alta biodegradabilidad. La absorción de agua aumentó (21.17 %-26.82 %), mayor en T5 por la avena y menor en T2 fibra insoluble de la cáscara.
- La cáscara de naranja aumentó la dureza (T1: 81.76 N) y redujo la deformación, generando estructuras más rígidas y compactas, como evidenció el FTIR por las bandas asociadas a pectina; la harina de avena favoreció la flexibilidad y deformación, corroborado por las señales de almidón en el FTIR, reflejando plasticidad y movilidad molecular. T5 destacó con tensión (0.23 MPa), dureza (57.96 N) y elongación (0.96%) indicando buena masticabilidad.
- El TGA mostró una matriz polisacárida, con pérdida entre 200–400 °C por despolimerización de pectina, celulosa y almidón; T1 y T3, con más cáscara, mostraron mayor estabilidad térmica (≈18 %), y T5 presentó una matriz más amilácea por la avena. En conjunto, T5 (5 % cáscara de naranja y 25 % avena) fue el mejor, asegurando funcionalidad, masticabilidad y sostenibilidad ambiental.

5.2.Recomendaciones

- Realizar pruebas de Microscopia Electrónica de Barrido sobre la superficie de los vasos comestibles y biodegradables para obtener una visualización detallada de la microestructura del material.
- Adquirir un equipo con molde termoformado que, además ejercer la presión necesaria a la masa con el fin de darle la forma de un vaso, también pueda calentarla durante el proceso de formación, de esta forma se podrá obtener un envase sin deformaciones, uniformidad en el color y una mejor integración de la masa, lo cual favorecerá a una producción consistente.
- Realizar pruebas de digestibilidad para complementar que los vasos comestibles y biodegradables sean aptos para el consumo humano.
- Aplicar un análisis para evaluar materiales y métodos de conservación adecuados para las vasos comestibles y biodegradables, asegurando que mantengan sus propiedades durante el almacenamiento, lo cual es esencial para determinar su viabilidad como envase alimentario.
- Se recomienda realizar pruebas de tiempo de biodegradación bajo condiciones de compostaje controlado, según la NTP 9000.080, con el fin de determinar si el material alcanza al menos el 90% de biodegradación dentro de 180 días.

VI. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Abolore, R., Jaiswal, S., & Jaiswal, A. (June de 2024). Green and sustainable pretreatment methods for cellulose extraction from lignocellulosic biomass and its applications: A review. *Carbohydrate Polymer Technologies and Applications*, 7. doi:<https://doi.org/10.1016/j.carpta.2023.100396>
- Anand, K., Martinez, A., Bishop, G., Styles, D., & Fitzpatrick, C. (2024). ¿Una solución sabrosa para los desechos de empaque? Evaluación del ciclo de vida de tazas de café comestibles. *Resources, Conservation & Recycling*(201). doi:<https://doi.org/10.1016/j.resconrec.2023.107320>
- Assifaoui, A., Hayrapetyan, G., Gallery, C., & Agoda-Tandjawa, G. (June de 2024). Exploring techno-functional properties, synergies, and challenges of pectins: A review. *Exploring techno-functional properties, synergies, and challenges of pectins: A review*, 7. doi:<https://doi.org/10.1016/j.carpta.2024.100496>
- Ayala, J., Montero, G., Coronado, M., García, C., Curiel-Alvaréz, M., León, J., . . . Montes, D. (2021). Characterization of orange peel waste and recovery to obtain reducing sugars. *Moléculas*, 26(5). doi:[10.3390/molecules26051348](https://doi.org/10.3390/molecules26051348)
- Babaremu, K., Oladijo, O., & Akinlabi, E. (October de 2023). Biopolymers: A suitable replacement for plastics in product packaging. *Advanced Industrial and Engineering Polymer Research*, 6(4), 333-340. doi:<https://doi.org/10.1016/j.aiepr.2023.01.001>
- Benalaya, I., Alves, G., Lopes, J., & Silva, L. (22 de January de 2024). A Review of Natural Polysaccharides: Sources, Characteristics, Properties, Food, and Pharmaceutical Applications. *Int J Mol Sci*, 25(2). doi:[10.3390/ijms25021322](https://doi.org/10.3390/ijms25021322)

- Bhaskar, R., Mi, S., Badri, K., Dutt, S., Kumar, M., & Soo, S. (Julio de 2023). Recent development of protein-based biopolymers in food packaging applications: A review. *Polymer Testing*, 124. doi:<https://doi.org/10.1016/j.polymertesting.2023.108097>
- Firew, G., Fikreyesus, S., B. Tola, Y., Adimas, M., Alemayehu, A., & Amare, E. (2021). Proximal, mineral and antinutrient compositions of oat grains (*Avena sativa*) grown in Ethiopia: implications for nutrition and mineral bioavailability. *Heliyon*, 7(8). doi: 10.1016/j.heliyon.2021.e07722
- Firew, G., Fikreyesus, S., Tola, Y., & Amare, E. (2023). Nutritional and Phytochemical Composition and Associated Health Benefits of Oat (*Avena sativa*) Grains and Oat-Based Fermented Food Products. *Scientific World Journal*(2730175). doi:doi: 10.1155/2023/2730175
- Gamage, A., Thiviya, P., Mani, S., Graceraj, P., Manamperi, A., Evon, P., . . . Madhujith, T. (2022). Environmental Properties and Applications of Biodegradable Starch-Based Nanocomposites. *Polymers (Basel)*, 14(21). doi:10.3390/polym14214578
- INDECOPI. (2015). *Requirements for packing. Testing scheme and evaluation criteria for biodegradability*. Obtenido de https://www.biodegradable.com.pe/documentos/Doc-2020/06-INDECOPI-NTP_900_080_2015_ENVASES_Y_EMBALAJE.pdf
- Li, Z., Lu, D., & Gao, X. (2021). Optimization of mixture proportions by statistical experimental design using response surface method - A review. *Journal of Building Engineering*, 36(102101). doi:<https://doi.org/10.1016/j.jobbe.2020.102101>

- Ma, H., Liu, M., Liang, Y., Zheng, X., Sun, L., Dang, W., . . . Liu, C. (June de 2022). Research progress on properties of pre-gelatinized starch and its application in wheat flour products. *Grain & Oil Science and Technology*, 5(2), 87-97. doi:<https://doi.org/10.1016/j.gaost.2022.01.001>
- Maguire, N., Kuhmann, T., Gerlach, D., Fan, R., & Czermak, P. (2022). Statistical mixture designs for media development with agro-industrial residues – Supporting the circular bioeconomy. *EFB Bioeconomy Journal*, 2(100023). doi:<http://dx.doi.org/10.23850/24220582.166>
- Mohd, M., Mohd, N., Sulaiman, A., Mohd, M., Karim, N., & Hajar, S. (May de 2020). Optimizing the Processing Factor and Formulation of Oat-Based Cookie Dough for Enhancement in Stickiness and Moisture Content Using Response Surface Methodology and Superimposition. *Processes*, 8(7). doi:<https://doi.org/10.3390/pr8070797>
- Nešić, A., Cabrera-Barjas, G., Dimitrijević-Branković, S., Davidović, S., Radovanović, N., & Delattre, C. (29 de December de 2020). Prospect of Polysaccharide-Based Materials as Advanced Food Packaging. *Molecules*, 25(1). doi:[10.3390/molecules25010135](https://doi.org/10.3390/molecules25010135)
- Paudel, D., Dhungana, B., Caffè, M., & Krishnan, P. (November de 2021). A Review of Health-Beneficial Properties of Oats. *Foods*, 10(11). doi:<https://doi.org/10.3390%2Ffoods10112591>
- Perera, K., Jaiswal, A., & Jaiswal, S. (2023). Biopolymer-Based Sustainable Food Packaging Materials: Challenges, Solutions, and Applications. *Foods*. doi:<https://doi.org/10.3390/foods12122422>

Poonia, A., Phogat, D., Versha, Narga, S., Sharma, P., & Kumar, V. (May de 2022).

Biochemical assessment of oat genotypes revealed variability in grain quality with nutrition and crop improvement implications. *Food Chemistry*, 377(131982). doi:<https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2021.131982>

U.S. Departament Of Agriculture. (4 de Enero de 2019). *Oats (Includes foods for*

USDA's Food Distribution Program). Obtenido de <https://fdc.nal.usda.gov/fdc-app.html#/food-details/169705/nutrients>

Gu, Y., Qian, X., Sun, B., Ma, S., Tian, X., Wang, X. (15 de January de 2022).

Nutritional composition and physicochemical properties of sieved oat flour fractions with different particle size. *LWT*, 154(112757). doi:<https://doi.org/10.1016/j.lwt.2021.112757>

Admasu, F., Getachew, E., Admasu, H., & Shin, J. (2024). Funcionalización del pan

de trigo con fibra dietética insoluble prebiótica procedente de cáscara de batata de pulpa de naranja y harinas de judías. *LWT*, 200(116182). doi:<https://doi.org/10.1016/j.lwt.2024.116182>

Abbas, Y., Bhatia, S., Al-Harrasi, A., Tarahi, M., Almasi, H., Chawla, R., &

Muhammed, A. (2024). Información sobre innovaciones recientes en resistencia de barrera de películas comestibles para aplicaciones de envasado de alimentos. *Revista internacional de macromoléculas biológicas*, 271(132354). doi:<https://doi.org/10.1016/j.ijbiomac.2024.132354>

Aguirre, E., Domínguez, J., Villanueva, E., Ponce-Ramírez, J., Arevalo-Oliva, M.,

Siche, R., González-Cabeza, J., Rodríguez, G. (2023). Bandejas biodegradables a base de almidón de *Manihot esculenta* Crantz y harina de cáscara de *Zea mays*.

- Food Packaging and Shelf Life*, 38, 101129. Doi: <https://doi.org/10.1016/j.fpsl.2023.101129>.
- Ahmad, S., Rahman, Z., & Akram, W. (2024). Aplicación de envases biodegradables a diferentes materiales alimentarios. doi:<https://doi.org/10.1016/B978-0-323-95624-6.00016-3>
- Ahmed, A., Zakya, E., Mahmoud, H., Abdulmajeed, A., Hameed, A., Hussain, A., . . . Kadasah, S. (2021). El impacto de la adición de avena (*Avena sativa*) y canela en las galletas y sus efectos biológicos en ratas tratadas con cirrosis por CCL4. *Revista Saudita de Ciencias Biológicas*, 28(12), 7142-7151. doi:<https://doi.org/10.1016/j.sjbs.2021.08.010>
- Ahmed, J., Santhosh, R., Thakur, R., Mulla, M., & Sarkar, P. (2023). Propiedades termomecánicas, reológicas, microestructurales y de barrera de los envases comestibles a base de goma: una revisión. *Envasado d aliemntos y vida útil*, 38(101117). doi:<https://doi.org/10.1016/j.fpsl.2023.101117>
- Alata, E., Cuadros, Y., Miranda, L., & Medina, E. (2019). Biopelículas producidas con cáscara de naranja y reforzadas con celulosa bacteriana. *Revista Sociedad Química del Perú*, 85(2), 231-239.
- Aranda, F., Zúñiga, M., & Rivas, B. (2023). Polymers in Circular Economy: A Comprehensive Approach to Sustainability. An overview. *Journal of the Chilean Chemical Society*, 68(3). doi:<http://dx.doi.org/10.4067/s0717-97072023000305950>
- AOAC. (2005a). AOAC Official Method 925.10, Official Methods of analysis of Association the Official Agricultural Chemists, Gaithersburg, MD, 18th ed.

- AOAC. (2005b). AOAC Official Method 942.05, Official Methods of analysis of Association the Official Agricultural Chemists, Gaithersburg, MD, 18th ed.
- AOAC. (1992). AOAC 992.23, Crude Protein in Cereal Grains and Oilseeds. N/Protein Determination in cereals according to the Dumas combustion method.
- AOAC. (1995). AOAC Official Method 985.29, Total Dietary Fiber in Foods Enzymatic-Gavimetric Method.
- Ben, Z. Y., Samsudin, H., & Yhaya, M. F. (2022). Glycerol: Its properties, polymer synthesis, and applications in starch based films. *European Polymer Journal*, 111377.
- Chandra, P., Sharma, R., Debnath, S., Sharma, M., Stephen, B., Kumar, P., . . . Sridhar, K. (2023). Tendencias recientes en polímeros biodegradables a base de polisacáridos para la industria del envasado inteligente de alimentos. *Revista internacional de macromoléculas biológicas*, 253(8). doi:<https://doi.org/10.1016/j.ijbiomac.2023.127524>
- Cheng, H., Chen, L., McClements, D., Yang, T., Zhang, Z., Ren, F., . . . Jin, Z. (2021). Materiales de embalaje biodegradables a base de almidón: una revisión de su preparación, caracterización y diversas aplicaciones en la industria alimentaria. *Tendencias en ciencia y tecnologia de los alimentos*, 114, 70-82. doi:<https://doi.org/10.1016/j.tifs.2021.05.017>
- Cheng, J., Gao, R., Zhu, Y., & Lin, Q. (2024). Aplicaciones de materiales biodegradables en envases de alimentos: una revisión. *Revista de ingeniería de Alejandría*, 91, 70-83. doi:<https://doi.org/10.1016/j.aej.2024.01.080>

- Chhatariya, H., Srinivasan, S., Choudhary, P., & Shamshath, S. (2022). Biopelícula de almidón de maíz reforzada con polvo de cáscara de naranja: Caracterización de propiedades fisicoquímicas y mecánicas. *MaterialsToday:Proceedings*, 59(1), 884-892. doi:<https://doi.org/10.1016/j.matpr.2022.01.339>
- ComexPerú. (2023). Solo aprovechamos el 1% de residuos orgánicos e inorgánicos que generamos. ComexPerú. <https://www.comexperu.org.pe/articulo/solo-aprovechamos-el-1-de-residuos-organicos-e-inorganicos-que-generamos>
- Cordero, D., Granados, M., Islas, A., Verdú, S., Ramirez-Wong, B., & Vásquez, F. (2020). Utilización de fibra de avena con diferente tamaño de partícula en panificación:efecto reológico y textural. *Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas*, 11(1).
- Córdova, C., Guillén, J., & Tuesta, T. (Diciembre de 2020). Extracción por microondas libre de solvente del aceite esencial de naranja (*Citrus sinensis*), y el efecto de las condiciones de proceso en su rendimiento, composición y actividad antimicrobiana. *Revista Chile Nutrición*, 47(6), 965-974. doi:<http://dx.doi.org/10.4067/S0717-75182020000600965>
- De la Torre, G., Dioses-Salinas, D., Pizarro-Ortega, C., Forero, A., Fernández, M., Rimondino, G., Ayala, F. (2023). Restos de plástico y pintura en áreas marinas protegidas del Perú. *Ciencia del medio ambiente total*, 901. doi:<https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2023.165788>
- Deville, A., Vasquez-Rowe, I., Ita-Nagy, D., & Kahhat, R. (2023). Ocean-based sources of plastic pollution: An overview of the main marine activities in the

Peruvian EEZ. *Marine Pollution Bulletin*, 189.
doi:<https://doi.org/10.1016/j.marpolbul.2023.114785>

Dekeba, K., Satheesh, N., & Abera, W. (2023). Propiedades mecánicas de las películas comestibles basadas en el almidón TEF: desarrollo y optimización de procesos. *Heliyon*, 9(13160). doi:<https://doi.org/10.1016/j.heliyon.2023.e13160>

Diaz-Santibañez, I., Clark, B., & Zavalaga, C. (2023). Pellets de cormorán Guanay (*Leucocarbo bougainvilliorum*) como indicador de contaminación plástico marina en la costa peruana. *Boletín de contaminación marina*, 192.
doi:<https://doi.org/10.1016/j.marpolbul.2023.115104>

Fan, Y., Yang, J., Duan, A., & Li, X. (2021). Películas compuestas comestibles de pectina/alginato de sodio/goma xantana como paquete recién cortado. *Revista internacional de macromoléculas biológicas*, 181, 1003-1009.
doi:<https://doi.org/10.1016/j.ijbiomac.2021.04.111>

Firdaus, S., Ahmed, F., & Zaidi, S. (2024). Preparación y caracterización de películas biodegradables para empaque de alimentos utilizando pectina de cáscara de limón y quitosano incorporados con extracto de hoja de neem y su aplicación sobre frutos de albaricoque. *Revista internacional de macromoléculas biológicas*, 263(2). doi:<https://doi.org/10.1016/j.ijbiomac.2024.130358>

Gaspar, M., & Braga, M. (2023). Películas y recubrimientos comestibles basados en residuos agroalimentarios: una nueva tendencia en la investigación del packaging alimentario. *Opinión actual en ciencia de los alimentos*, 50(101006).
doi:<https://doi.org/10.1016/j.cofs.2023.101006>

- Gasparre, N., Garzán, R., Marín, K., & Rosell, C. (2024). Explorando la integración de la piel de naranja para la elaboración sostenible de pan plano sin gluten. *LWT*, 198(115969). doi:<https://doi.org/10.1016/j.lwt.2024.115969>
- Gontard, N.; Guilbert, S. ; Cuq, J. L. (1992). Edible wheat gluten films: influence of the main process variables on film properties using response surface methodology. *Journal of Food Science*. 57, 190-195.
- Grado, O., Hembafan, N., Amokaha, R., Jeremiah, O., & Inalegwu, B. (2024). Caracterización y actividad antioxidante de extractos de cáscara de tres variedades de Citrus sinensis. *Heliyon*, 10(7). doi:<https://doi.org/10.1016/j.heliyon.2024.e28456>
- Guerra, E. (Febrero de 2020). Caracterización de Harina de Naranja (Citrus x sinensis) para Uso Alimentario. *European Scientific Journal*, 16(6). doi:[10.19044/esj.2020.v16n6p12](https://doi.org/10.19044/esj.2020.v16n6p12)
- Han, Y., Yu, M., & Wang, L. (20 de Junio de 2018). Películas de base biológica preparadas con subproductos de soja y extracto de corteza de pino (Pinus densiflora). *Revista de producción Más Limpia*, 187, 1-8. doi:<https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2018.03.115>
- Instituto de Ingenieros de Minas del Perú. (2023, septiembre 5). Del total de emisiones de gases de efecto invernadero en Perú, el 3% provino del sector minería y metales. IIMP. <https://iimp.org.pe/noticias/del-total-de-emisiones-de-gases-de-efecto-invernadero-en-peru-el-3-provino-del-sector-mineria-y-metales>
- ISO. (1999). Papel y cartón. Determinación de la absorción de agua. Método Cobb (ISO 535:1991, IDT). International Organization for Standardization.

INEI. (2021). Costos de producción para actividad: Agricultura, ganadería, caza y silvicultura en base a la Encuesta Nacional Agraria (ENA-2018). Instituto Nacional de Estadística e Informática. Obtenido de <https://www.inei.gob.pe/media/MenuRecursivo/investigaciones/costos-de-produccion-v7.pdf>

INEI. (2022). Industria del Plástico en el Perú. Instituto Nacional de Estadística e Informática. Obtenido de <https://www.inei.gob.pe/media/MenuRecursivo/boletines/industria-plastico-peru.pdf>

Iñiguez-Moreno, M., Pizaña-Aranda, J., Ramírez-Gamboa, D., Ramírez-Herrera, C., Araújo, R., Flores-Contreras, E., . . . Melchor-Martínez, E. (2024). Mejora de la extracción de pectina de la cáscara de naranja mediante optimización asistida por ácido cítrico basada en una respuesta dual. *Revista internacional de macromoléculas biológicas*, 263(1). doi:<https://doi.org/10.1016/j.ijbiomac.2024.130230>

Jimenez, M. (2019). Fraccionamiento al vacío de aceites esenciales: Separación de limoneno. Tesis para optar grado de Magíster en Ingeniería Química. Unidad de Posgrado, Facultad de Química e Ingeniería Química, Universidad Nacional Mayor de San Marcos, Lima, Perú.

Juric, M., Maslov, L., Carullo, D., & Juric, S. (2024). Avances tecnológicos en recubrimientos comestibles: tendencias y aplicaciones emergentes en la conservación sostenible de alimentos. *Biociencia de los Alimentos*, 58(103835). doi:<https://doi.org/10.1016/j.fbio.2024.103835>

Karakus, E., Ayhan, Z., & Haskaraca, G. (2023). Desarrollo y caracterización de películas biológicas, comestibles, activas y sostenibles a partir de residuos de cáscaras de naranja y granada para envases de alimentos: efectos del tamaño de las partículas y las concentraciones de ácido/plastificante. *Envasado de alimentos y vida útil*, 37(101092). doi:<https://doi.org/10.1016/j.fpsl.2023.101092>

Kumar, N., Azmat, A., Pyngrope, D., Alanazib, A., Upadhyay, A., & Shuklac, S. (2024). Desarrollo y caracterización de nuevos recubrimientos y películas comestibles activos a base de almidón (semilla de mango y semilla de litchi) mediante ultrasonidos: efectos sobre la vida útil poscosecha de las mandarinas Khasi. *Química y Farmacia Sostenibles*, 39. Obtenido de <https://doi.org/10.1016/j.scp.2024.101610>

Laksanawati, T. A., Khirzin, M. H., Meidayantia, K., Kusherawati, P. A., Kusuma, H. S., Darmokoesoemo, H., & Iqbal, M. (2024). Predicción de la vida útil y cualidades sensoriales de albóndigas de res con envases biodegradables de gelatina de hueso de pato y almidón de taro a diferentes temperaturas de almacenamiento. *Investigación alimentaria aplicada*, 4(1). doi:<https://doi.org/10.1016/j.afres.2024.100402>

Maniglia, B., Tessaro, L., Lucas, A., Tapia-Blácido, D. (2017). Películas bioactivas a base de harina y almidón de mesocarpio de babasú, 70, 383-391. doi: <https://doi.org/10.1016/j.foodhyd.2017.04.022>

Martínez-Moreno, M., Buitrago, E., Yñiguez, R., Puig-Cabrera, M. (2024). Economía circular y agricultura: Mapeo de prácticas circulares, impulsoras y barrera para

el olivar de mesa tradicional. *Producción y consume sostenible*, 46, 430-441.
doi:<https://doi.org/10.1016/j.spc.2024.02.036>

Mello, L. R., & Mali, S. (2014). Use of malt bagasse to produce biodegradable baked foams made from cassava starch. *Industrial Crops and Products*, 55, 187-193.

McLauchlan, J., Tyler, A., Chakrabarti, B., Orfila, C., & Sarkar, A. (2024). Proteína de avena: revisión de sinergias estructura-función con otras proteínas vegetales. *Hidrocoloides alimentarios*, 154(110139).
doi:<https://doi.org/10.1016/j.foodhyd.2024.110139>

Ministerio del Ambiente. (Diciembre de 2019). Gobierno promulga Ley N° 30884 que regula el plástico de un solo uso y envases descartables a nivel nacional. Obtenido de <https://www.gob.pe/institucion/minam/noticias/23826-gobierno-promulga-ley-n-30884-que-regula-el-plastico-de-un-solo-uso-y-envases-descartables-a-nivel-nacional>

Ministerio de Salud. (07 de Junio de 2021). Lactantes y niños pequeños estarán menos expuestos al Bisfenol A al prohibirse su uso en revestimientos de envases destinados a los alimentos. Obtenido de <http://www.digesa.minsa.gob.pe/noticias/Junio2021/nota51.asp>

Ministerio de Desarrollo e inclusión Social. (2022). *Especificaciones técnicas de alimentos que forman parte de la prestación de servicio alimentario del programa nacional de alimentación escolar Qali Warma*. Obtenido de <https://info.qaliwarma.gob.pe/datpub/uop/catalogo/2023/27-GALLETASFF.pdf?v=2.0>

Ministerio de Salud. (2021). *Marco establecido de la Ley N°30021 de promoción de alimentación saludable para niños, niñas y adolescentes, y su reglamento aprobado por decreto supremo N°017-2017-SA*. Obtenido de https://www.google.com/url?sa=t&rct=j&q=&esrc=s&source=web&cd=&cad=rja&uact=8&ved=2ahUKEwj54oW1-auGAxV_JrkGHV2Be4QFnoECDIQAQ&url=https%3A%2F%2Fcdn.www.gob.pe%2Fuploads%2Fdocument%2Ffile%2F1990917%2FDecreto%2520Supremo%2520N%25C2%25B0018-2021-SA.pdf&usg=A

Milićević, N., Sakač, M., Hadnađev, M., Škrobot, D., Šarić, B., Dapčević, T., . . . Pezo, L. (2020). Propiedades físico-químicas de las galletas bajas en grasa que contienen geles de salvado de trigo y avena como sustitutos de grasas. *Revista de ciencia de los cereales*, 95. doi:<https://doi.org/10.1016/j.jcs.2020.103056>

Moseson, D. E., Jordan, M. A., Shah, D. D., Corum, I. D., Alvarenga Jr, B. R., & Taylor, L. S. (2020). Application and limitations of thermogravimetric analysis to delineate the hot melt extrusion chemical stability processing window. *International Journal of Pharmaceutics*, 590, 119916.

NTP 900.080 (2015). Envases y embalajes. Requisitos de los envases y embalajes. Programas de ensayo y criterios de evaluación de biodegradabilidad. INDECOPI

Perón, G., Bernabéb, G., Marcheluzzo, S., Zengin, G., Ibrahime, K., Hošek, J., . . . Dall'Acqua, S. (2024). Cáscaras de naranja de variedades DOP de Ribera (Sicilia, Italia): una visión de la química y bioactividad de los metabolitos secundarios volátiles y no volátiles extraídos mediante un método asistido por microondas. *Revista de alimentos funcionales*, 116(106147). doi:<https://doi.org/10.1016/j.jff.2024.106147>

- Saeeda, F., Muhammad, R., Ahmad, I., & Sadiga, M. (2024). Avances recientes en envases de alimentos biodegradables a base de almidón modificado: una revisión. *Heliyon*, 10(6). doi:<https://doi.org/10.1016/j.heliyon.2024.e27453>
- Singha, P., Pandey, V. K., Singh, R., Singh, K., Dash, K. K., & Malik, S. (2024). Revelando el potencial de los polímeros biodegradables mezclados con almidón para sustanciar las innovaciones ecológicas. *Revista de investigación agrícola y alimentaria*, 15(101065). doi:<https://doi.org/10.1016/j.jafr.2024.101065>
- ONU. (2023). Todo lo que necesitas saber sobre la contaminación por plásticos. Obtenido de <https://www.unep.org/es/noticias-y-reportajes/reportajes/todo-lo-que-necesitas-saber-sobre-la-contaminacion-por-plasticos>
- Oiao, D., Luo, Y., Chua, Y., Zhang, H., & Zhao, F. (2024). Descomposición de las emisiones de gases de efecto invernadero distintos del CO₂ relacionadas con la agricultura en Chengdu: 1995-2020. *Revista de la producción mas limpia*, 431. doi:<https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2023.140125>
- Pagliarini, E., Minichiello, C., Sisti, L., Totaro, G., Baffoni, L., Di Gloria, D., & Saccani, A. (2024). Del desperdicio de alimentos a los compuestos poliméricos funcionalizados ecológicos: investigación de las cáscaras de naranja como relleno activo. *Nueva Biotecnología*, 80. Obtenido de <https://doi.org/10.1016/j.nbt.2024.01.001>
- Palšania, P., Singhal, K., Ashaf, M., & Kaushik, G. (2024). Plásticos de calidad alimentaria y bisfenol A: riesgos asociados, toxicidad y enfoques de

- biorremediación. Diario de materiales peligrosos, 466.
doi:<https://doi.org/10.1016/j.jhazmat.2024.133474>
- Perón, G., Bernabéb, G., Marcheluzzo, S., Zengin, G., Ibrahime, K., Hošek, J., . . . Dall'Acqua, S. (Mayo de 2024). Cáscaras de naranja de variedades DOP de Ribera (Sicilia, Italia): una visión de la química y bioactividad de los metabolitos secundarios volátiles y no volátiles extraídos mediante un método asistido por microondas. Revista de alimentos funcionales, 116(106147).
doi:<https://doi.org/10.1016/j.jff.2024.106147>
- Petkoska, A., Daniloski, D., D'Cunha N., Naumovski, N., Asador, A. (2021). Envases comestibles: soluciones sostenibles y nuevas tendencias en el envasado de alimentos. Food Research International, 140 (109981). doi:<https://doi.org/10.1016/j.foodres.2020.109981>
- Prosky, L., Asp, N. G., Schweizer, T. F., Devries, J. W., & Furda, I. (1988). Determination of insoluble, soluble, and total dietary fiber in foods and food products: interlaboratory study. Journal of the Association of Official Analytical Chemists, 71(5), 1017-1023.
- Pöysä, M., Pihlava, J., Fedotov, A., Lampi, A., Hietaniemi, V., & Piironen, V. (Mayo de 2024). Variaciones en el contenido de tocoferol, tocotrienol, avenantramida y saponina en la avena y la influencia de los procesos de molienda y horneado. Revista de ciencias de los cereales, 117(103902).
doi:<https://doi.org/10.1016/j.jcs.2024.103902>
- Rangaraj, V., Rambabu, K., Banat, F., & Mittal, V. (2021). Envases de alimentos activos comestibles a base de antioxidantes naturales: una descripción general

- de los avances actuales. *Biociencia de los alimentos*, 43(101251). doi:<https://doi.org/10.1016/j.fbio.2021.101251>
- Revathi, V., Bora, S., Afnia, N., & Ghosh, T. (Febrero de 2025). Composición de cáscara de naranja, extracción de biopolímeros y aplicaciones en el sector de papel y empaque: una revisión. *Sustainable Chemistry and Pharmacy*, 43(101908). doi:<https://doi.org/10.1016/j.scp.2025.101908>
- Revantino, Mangkuto, R., Suprijanto, & Nugroho, F. (Octubre de 2022). El impacto de la variación correlacionada de la temperatura de color de una lámpara LED sintonizable en el cambio de apariencia de la muestra de color en el espacio de color CIELAB. *Óptica*, 267. doi:<https://doi.org/10.1016/j.ijleo.2022.169707>
- Santhosh, R., Ahmed, J., Thakur, R., & Sarkar, P. (21 de Marzo de 2024). Envases comestibles a base de almidón: propiedades reológicas, térmicas, mecánicas, microestructurales y de barrera: una revisión. *Tecnología alimentaria sostenible*, 2(2). doi:<https://doi.org/10.1039/d3fb00211j>
- Standard Methods. (1989). *Standard Methods for the Examination of Water and Waste Water*. New York: American Public Health Association.
- Shaikh, S., Yaqoob, M., & Aggarwal, P. (2021). Una visión general de los envases biodegradables en la industria alimentaria. *Investigación actual en ciencia de los alimentos*, 4, 503-520. doi:<https://doi.org/10.1016/j.crfs.2021.07.005>
- Shulga, O., Koretska, I., Chorna, A., Shulga, S., & Lin, Y. (2023). Propiedades del consumidor de tazas comestibles biodegradables para bebidas calientes. *Ukrainian Food Technology*, 12(3), 336-349. doi:10.24263/2304-974X-2023-12-3-3

- Singha, P., Pandey, V. K., Singh, R., Singh, K., Dash, K. K., & Malik, S. (Marzo de 2024). Revelando el potencial de los polímeros biodegradables mezclados con almidón para sustanciar las innovaciones ecológicas. *Revista de investigación agrícola y alimentaria*, 15(101065). doi:<https://doi.org/10.1016/j.jafr.2024.101065>
- Sood, A., & Saini, C. (2022). Películas compuestas comestibles a base de pectina de cáscara de pomelo rojo: efecto de la incorporación de pectina sobre las propiedades mecánicas, estructurales, morfológicas y térmicas de las películas compuestas. *Hidrocoloides alimentarios*, 123. doi:<https://doi.org/10.1016/j.foodhyd.2021.107135>
- Subramaniyan, V., Mercy, D., Selvam, P., & Rotimi, S. (2023). Incorporación de probióticos en envases comestibles: Una tendencia reciente en el envasado de alimentos. *Biocatálisis y Biotecnología Agrícola*, 51(102803). doi:<https://doi.org/10.1016/j.bcab.2023.102803>
- Sumit, S., y Charan, K. (2024). Una revisión sobre envases comestibles antimicrobianos de base nanométrica: aplicaciones sostenibles y tendencias emergentes en la industria alimentaria. *Control de alimentos*, 163 (110470). doi:<https://doi.org/10.1016/j.foodcont.2024.110470>
- Susmita, L., Jaiswal, A., & Jaiswal, S. (2024). Películas y recubrimientos comestibles a base de biopolímeros incorporados en lípidos en envases de alimentos: una revisión. *Investigación actual en ciencia de los alimentos*, 8(100720). doi:<https://doi.org/10.1016/j.crfs.2024.100720>

- Tejaswini, M., Pathak, P., Ramkrishna, S., & Ganesh, P. (2022). A comprehensive review on integrative approach for sustainable management of plastic waste and its associated externalities. *Science of The Total Environment*, 825. doi:<https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2022.153973>
- Teigiserova, D., Hamelin, L., Tiruta-Barna, L., Ahmadi, A., y Thomsen, M. (2022). Bioeconomía circular: evaluación del ciclo de vida de la producción en cascada ampliada a partir de residuos de cáscara de naranja en el marco de las combinaciones eléctricas actuales y futuras. *Ciencia del medio ambiente total*. 812 (152574). doi:<https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2021.152574>
- Vilas, N., Wasudeo, K., & Jayram, H. (2023). Formulación de galletas saludables incorporadas con polvo de cáscara de naranja y polvo de hojas de Moringa oleifera. *Materials Today: Proceedings*, 733, 515-521. doi:<https://doi.org/10.1016/j.matpr.2022.11.376>
- Wang, J., Lee, J., Kwon, E., & Jeong, S. (Mayo de 2023). Quantitative analysis of polystyrene microplastic and styrene monomer released from plastic food containers. *Heliyon*, 9(5). doi:<https://doi.org/10.1016/j.heliyon.2023.e15787>
- Yaashikaa, P., Kamalesh, R., Senthil, P., Saravanan, A., Vijayasri, K., & Rangasamy, G. (2023). Avances recientes en recubrimientos comestibles y su aplicación en envases de alimentos. *Investigación alimentaria internacional*, 173(2). doi:<https://doi.org/10.1016/j.foodres.2023.113366>
- Yang, Z., Xie, C., Bao, Y., Liu, F., Wang, H., & Wang, Y. (2023). Avena: estado actual y desafíos en aplicaciones de alimentos a base de plantas. *Trends in Food*

Science & Technology(134), 56-71.
doi:<https://doi.org/10.1016/j.tifs.2023.02.017>

Yaradoddi, J., Banapurmath, N., Ganachari, S., Soudagar, M., Sajjan, A., Kamat, S., . . . Ashraf, M. (2022). Material biológico a partir de residuos de fruta de cáscara de naranja para aplicaciones industriales. *Revista de investigación y tecnología de materiales*, 17, 3186-3197.

Zhang, K., Dong, R., Hu, X., Ren, C., & Li, Y. (2021). Oat-Based Foods: Chemical Constituents, Glycemic Index, and the Effect of Processing. *Foods*, 10(1304).
Obtenido de <https://doi.org/10.3390/foods10061304>

Zhang, X., Changqing, C., Cheng, Y., Lia, M., & Liu, J. (2024). Extracción fina de celulosa de paja de maíz y aplicación de películas de embalaje ecológicas mejoradas con alcohol polivinílico. *Revista internacional de macromoléculas biológicas*, 268(131984). doi:<https://doi.org/10.1016/j.ijbiomac.2024.131984>

Zhang, X., Wen, H., & Shao, X. (2024). Comprender la aceptación de los consumidores de los envases de alimentos comestibles: el papel de la innovación del consumidor. *Revista de Venta al por menor y servicios al consumidor*, 80(103903). Doi:<https://doi.org/10.1016/j.jretconser.2024.103903>

Zhang, Y., Zhang, M., Huo, R., Bai, X., Wang, P., & Gu, Q. (2024). Efectos de la fritura sobre las características de procesamiento y digestión in vitro de harina de avena durante el almacenamiento. *LWT*, 199(116006).
doi:<https://doi.org/10.1016/j.lwt.2024.116006>

Zhao, W., Xu, Y., Dorado, C., Baia, J., Chau, H., Hotchkiss, A., . . . Cameron, R. (Abril de 2024). Modificación de pectina con tratamiento de procesamiento a

alta presión de cáscara de naranja fresca antes de la extracción de pectina: Parte II. Los efectos sobre la capacidad gelificante y las propiedades emulsionantes de la pectina. *Hidrocolides Alimentarios*, 149(109536). doi:<https://doi.org/10.1016/j.foodhyd.2023.109536>

Zhu, M., Zeng, R., Wua, D., Ting, C., & Wang, A. (2024). Avances de la investigación sobre los efectos de los análogos del bisfenol en el intestino y sus mecanismos subyacentes: una revisión. *Investigación Ambiental*, 243. doi:<https://doi.org/10.1016/j.envres.2023.117891>

ANEXOS

Anexo I. Análisis de Varianza (ANOVA) de la composición proximal de la harina de cáscara de naranja y avena

Tabla 1 (Anexo I). ANOVA de un solo factor: Humedad vs. Muestras

| Fuente | GL | SC Ajust. | MC Ajust. | Valor F | Valor p |
|----------|----|-----------|-----------|----------|---------|
| Muestras | 1 | 3.79171 | 3.79171 | 15481.85 | 0.000 |
| Error | 4 | 0.00098 | 0.00024 | | |
| Total | 5 | 3.79269 | | | |

Figura 1 (Anexo I). Gráfico de medias de humedad de las harinas de cáscara de naranja y avena

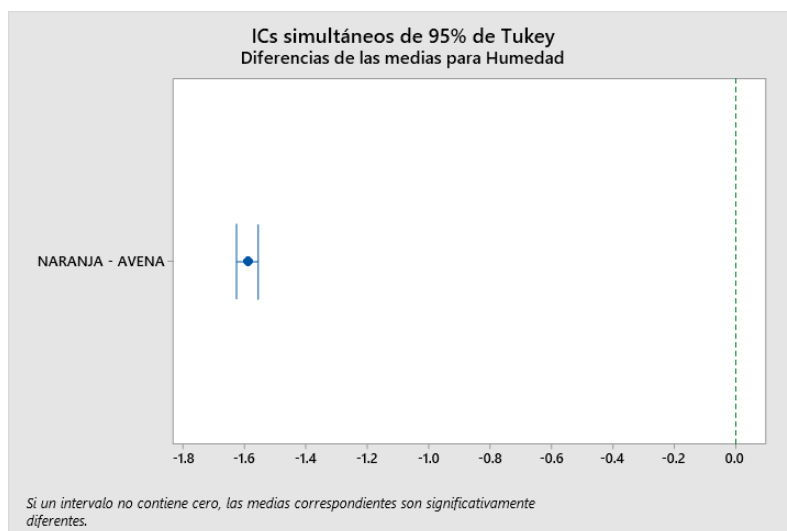


Tabla 2 (Anexo I). ANOVA de un solo factor: Cenizas vs. Muestras

| Fuente | GL | SC Ajust. | MC Ajust. | Valor F | Valor p |
|----------|----|-----------|-----------|---------|---------|
| Muestras | 1 | 14.693 | 14.693 | 9.19 | 0.039 |
| Error | 4 | 6.396 | 1.599 | | |
| Total | 5 | 21.090 | | | |

Figura 2 (Anexo I). Gráfico de medias de cenizas de las harinas de cáscara de naranja y avena

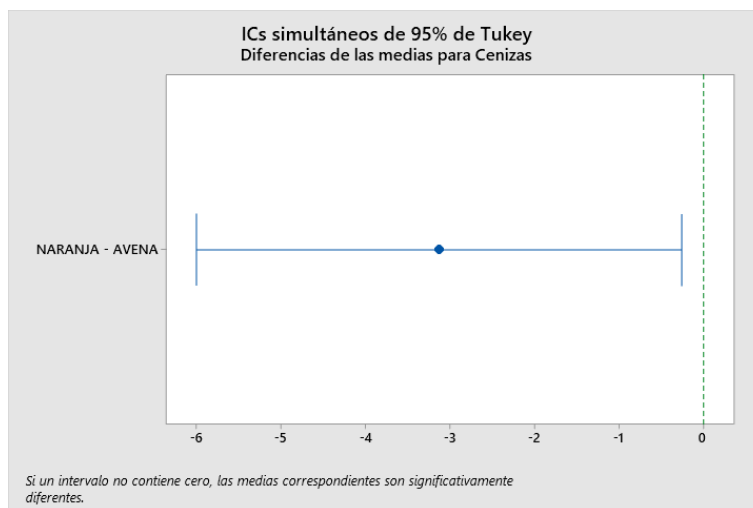


Tabla 3 (Anexo I). ANOVA de un solo factor: grasas vs. Muestras

| Fuente | GL | SC Ajust. | MC Ajust. | Valor F | Valor p |
|----------|----|-----------|-----------|----------|---------|
| Muestras | 1 | 38.8090 | 38.8090 | 22267.20 | 0.000 |
| Error | 4 | 0.0070 | 0.0017 | | |
| Total | 5 | 38.8160 | | | |

Figura 3 (Anexo I). Gráfico de medias de grasas de las harinas de cáscara de naranja y avenas

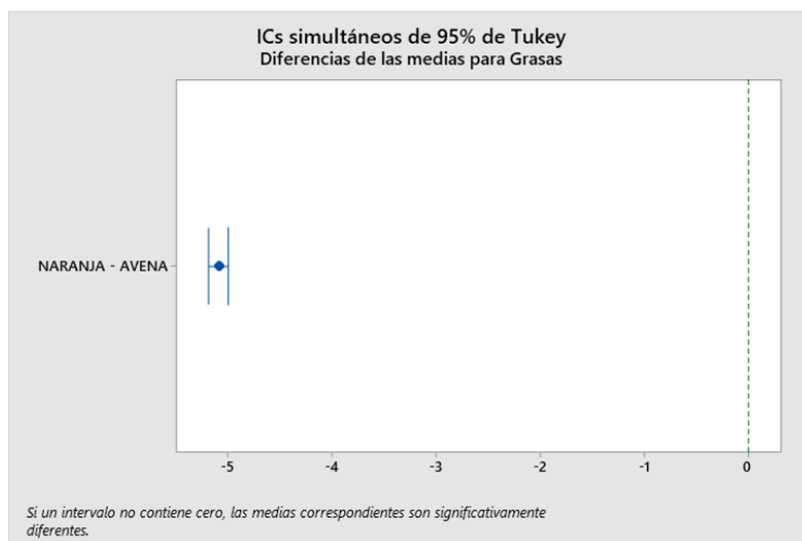


Tabla 4 (Anexo I). ANOVA de un solo factor: proteínas vs. Muestras

| Fuente | GL | SC Ajust. | MC Ajust. | Valor F | Valor p |
|----------|----|-----------|-----------|---------|---------|
| Muestras | 1 | 70.2434 | 70.2434 | 1149.40 | 0.000 |
| Error | 4 | 0.2445 | 0.0611 | | |
| Total | 5 | 70.4878 | | | |

Figura 4 (Anexo I). Gráfico de medias de proteínas de las harinas de cáscara de naranja y avena

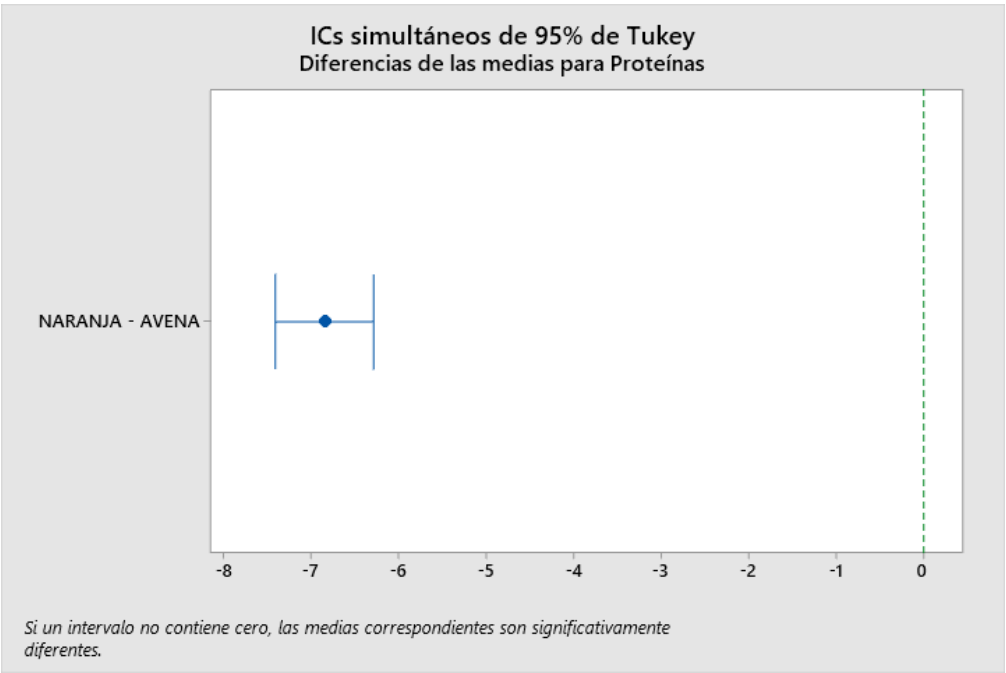


Tabla 5 (Anexo I). ANOVA de un solo factor: FDT vs. Muestras

| Fuente | GL | SC Ajust. | MC Ajust. | Valor F | Valor p |
|----------|----|-----------|-----------|-------------|---------|
| Muestras | 1 | 1735.02 | 1735.02 | 20820241.80 | 0.000 |
| Error | 4 | 0.00 | 0.00 | | |
| Total | 5 | 1735.02 | | | |

Figura 5 (Anexo I). Gráfico de medias de FDT de las harinas de cáscara de naranja y avena

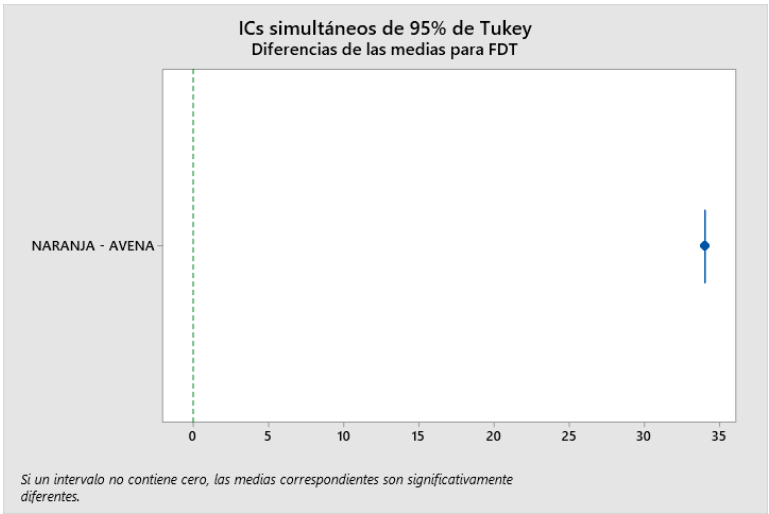
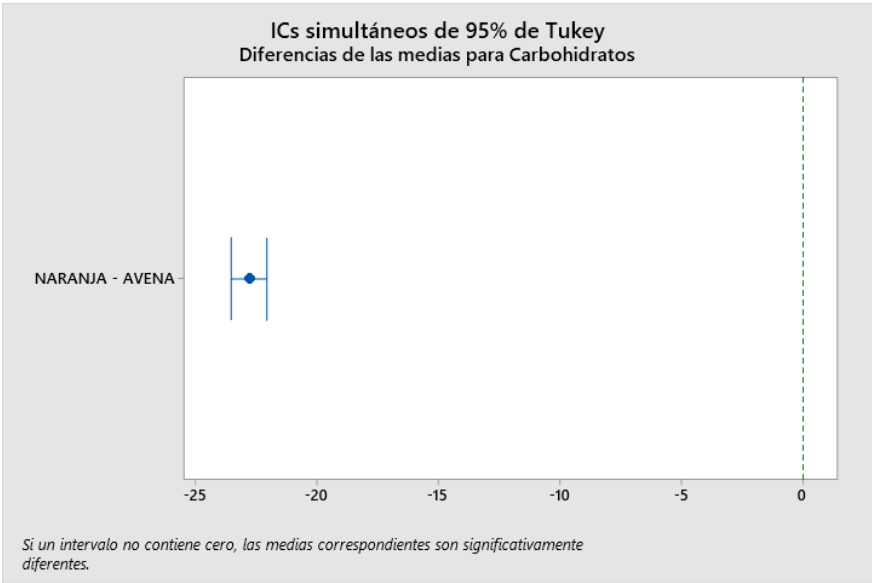


Tabla 6 (Anexo I). ANOVA de un solo factor: carbohidratos vs. Muestras

| Fuente | GL | SC Ajust. | MC Ajust. | Valor F | Valor p |
|----------|----|-----------|-----------|---------|---------|
| Muestras | 1 | 778.553 | 778.553 | 7420.31 | 0.000 |
| Error | 4 | 0.420 | 0.105 | | |
| Total | 5 | 778.972 | | | |

Figura 6 (Anexo I). Gráfico de medias de carbohidratos de las harinas de cáscara de naranja y avena



Anexo II. Análisis de Varianza (ANOVA) de los parámetros de color: L*, a*, b* y color.

Tabla 1 (Anexo II). ANOVA de un solo factor: L vs. Tratamientos

| Fuente | GL | SC Ajust. | MC Ajust. | Valor F | Valor p |
|--------------|----|-----------|-----------|---------|---------|
| Tratamientos | 5 | 177.02 | 35.403 | 8.35 | 0.001 |
| Error | 12 | 50.89 | 4.241 | | |
| Total | 17 | 227.91 | | | |

Figura 1 (Anexo II). Gráfico de medias del parámetro L* de los vasos comestibles y biodegradables

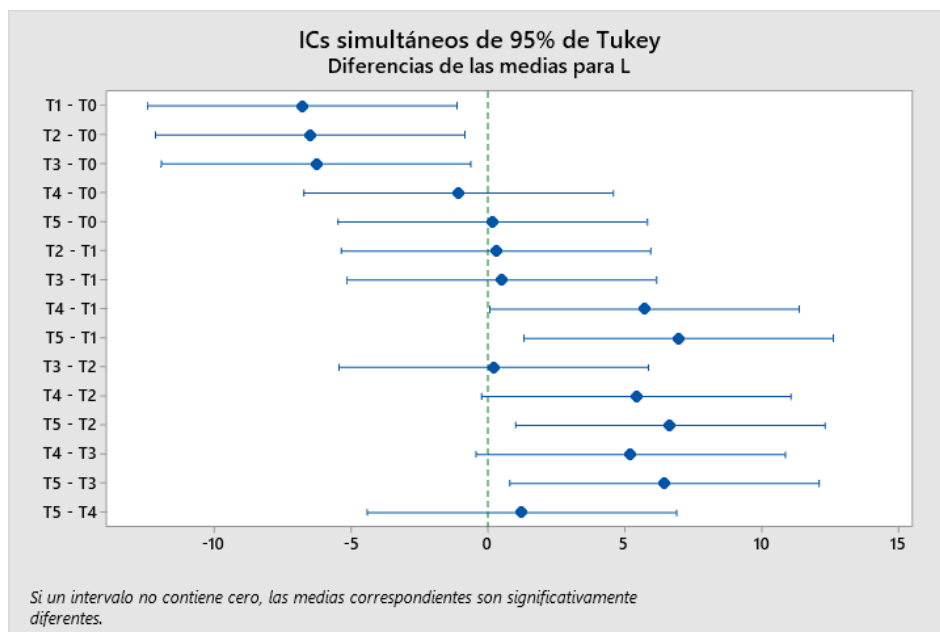


Tabla 2 (Anexo II). ANOVA para el parámetro a*

| Fuente | GL | SC Ajust. | MC Ajust. | Valor F | Valor p |
|--------------|----|-----------|-----------|---------|---------|
| Tratamientos | 5 | 10.184 | 2.0367 | 4.45 | 0.016 |
| Error | 12 | 5.486 | 0.4572 | | |
| Total | 17 | 15.670 | | | |

Figura 2 (Anexo II). Gráfico de medias del parámetro a* de los vasos comestibles y biodegradables

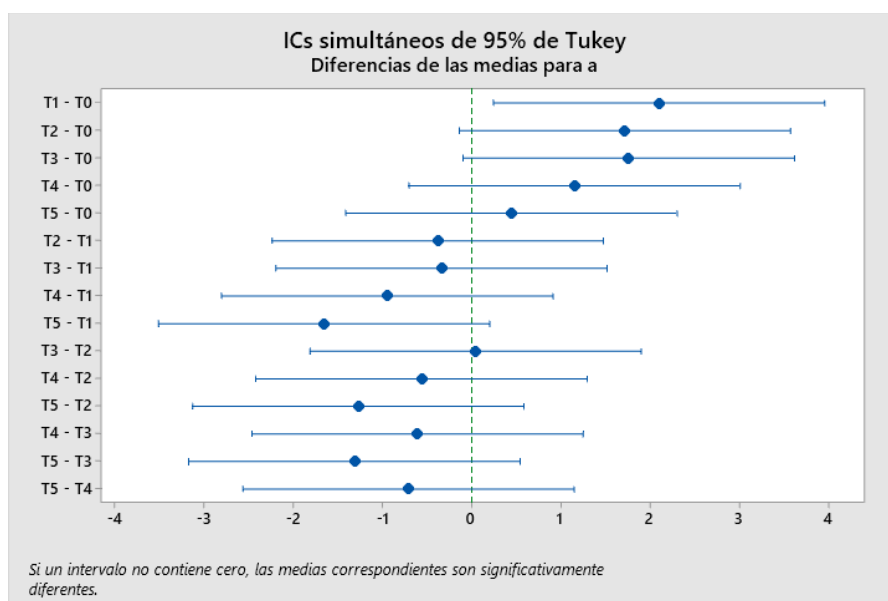


Tabla 3 (Anexo II). ANOVA para el parámetro b*

| Fuente | GL | SC Ajust. | MC Ajust. | Valor F | Valor p |
|--------------|----|-----------|-----------|---------|---------|
| Tratamientos | 5 | 2.949 | 0.5898 | 0.53 | 0.753 |
| Error | 12 | 13.459 | 1.1216 | | |
| Total | 17 | 16.408 | | | |

Figura 3 (Anexo II). Gráfico de medias del parámetro b* de los vasos comestibles y biodegradables

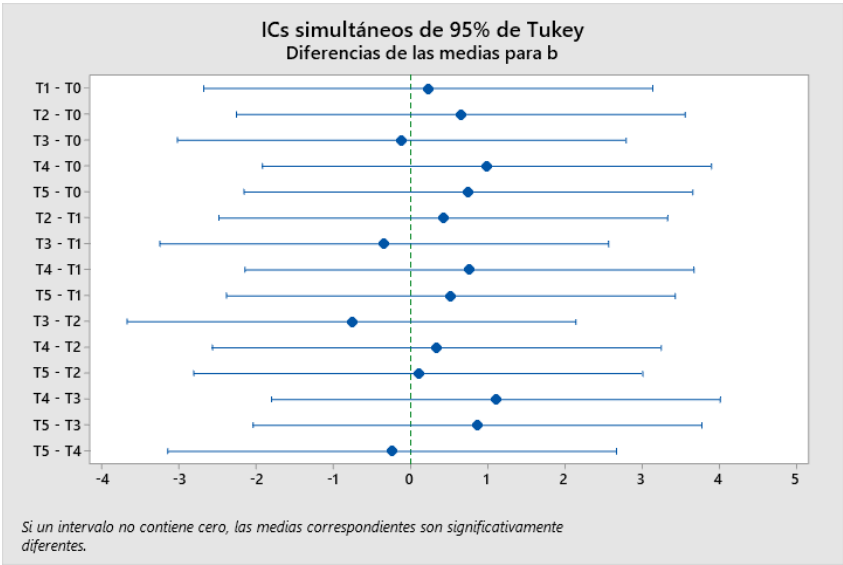
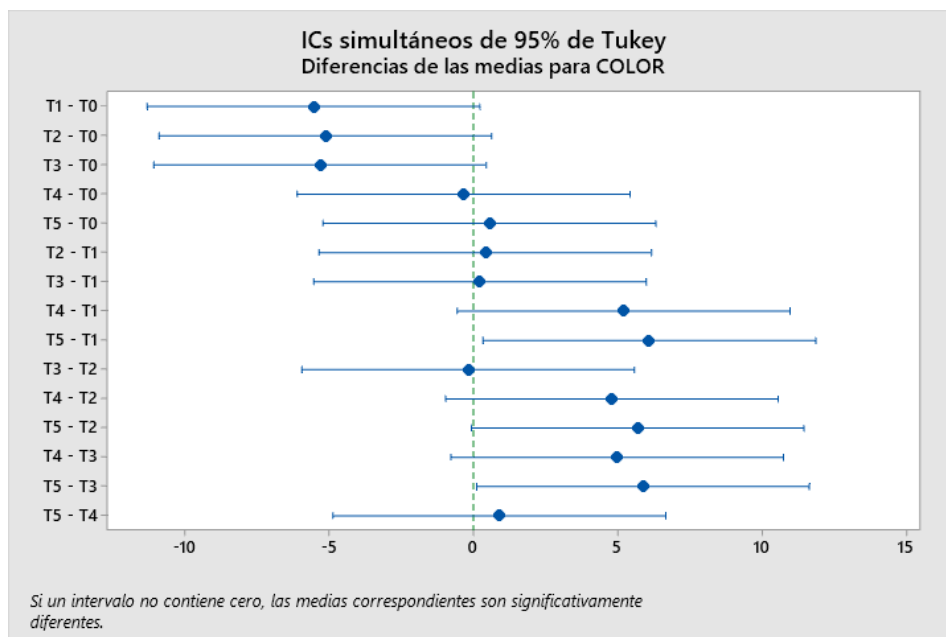


Tabla 4 (Anexo II). ANOVA de un solo factor: COLOR vs. Tratamientos

| Fuente | GL | SC Ajust. | MC Ajust. | Valor F | Valor p |
|--------------|----|-----------|-----------|---------|---------|
| Tratamientos | 5 | 132.58 | 26.515 | 6.02 | 0.005 |
| Error | 12 | 52.86 | 4.405 | | |
| Total | 17 | 185.43 | | | |

Figura 4 (Anexo II). Gráfico de medias del color de los vasos comestibles y biodegradables



Anexo III. Análisis de Varianza (ANOVA) de la composición proximal de cada tratamiento de los vasos comestibles y biodegradables.

Tabla 1 (Anexo III). ANOVA para la humedad

| Fuente | GL | SC Ajust. | MC Ajust. | Valor F | Valor p |
|--------------|----|-----------|-----------|---------|---------|
| Tratamientos | 5 | 2.39033 | 0.478067 | 59.37 | 0.000 |
| Error | 12 | 0.09663 | 0.008052 | | |
| Total | 17 | 2.48696 | | | |

Figura 1 (Anexo III). Gráfico de medias de la humedad de cada tratamiento

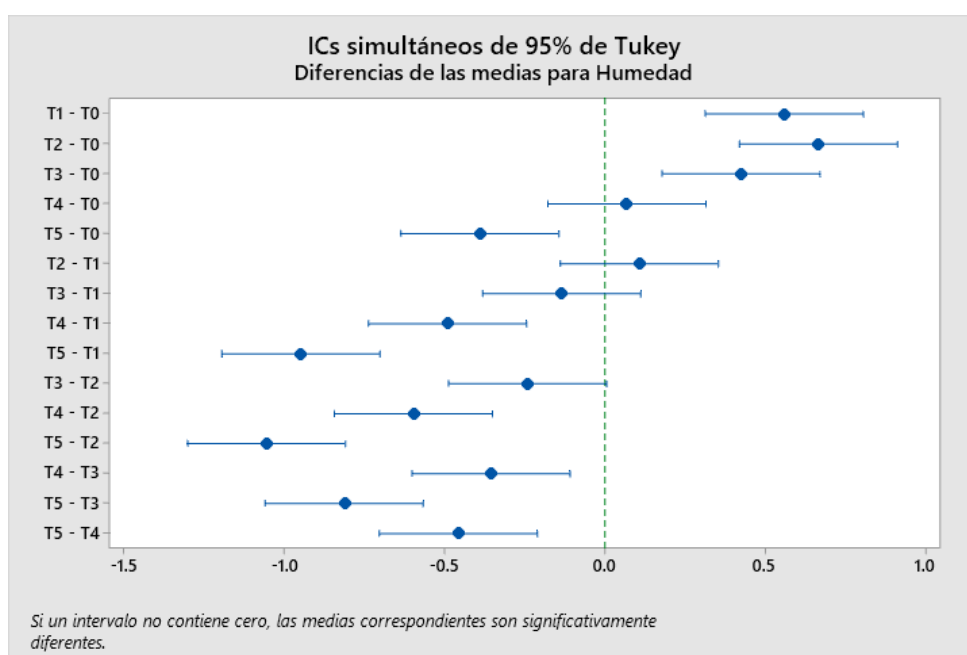


Tabla 2 (Anexo III). ANOVA para cenizas

| Fuente | GL | SC Ajust. | MC Ajust. | Valor F | Valor p |
|--------------|----|-----------|-----------|---------|---------|
| Tratamientos | 5 | 0.663260 | 0.132652 | 176.66 | 0.000 |
| Error | 12 | 0.009011 | 0.000751 | | |
| Total | 17 | 0.672270 | | | |

Figura 2 (Anexo III). Gráfico de medias de cenizas de cada tratamiento

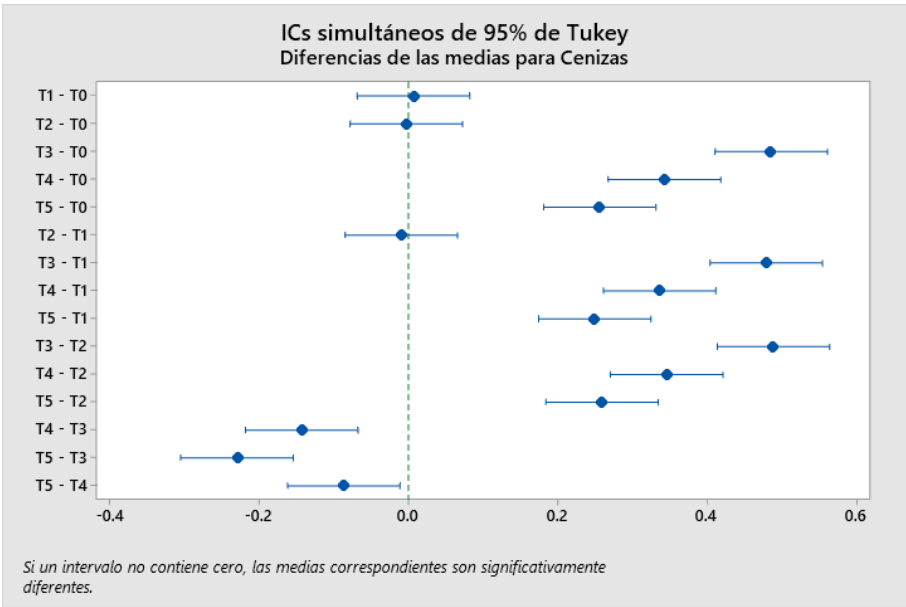


Tabla 3 (Anexo III). ANOVA para grasas

| Fuente | GL | SC Ajust. | MC Ajust. | Valor F | Valor p |
|--------------|----|-----------|-----------|---------|---------|
| Tratamientos | 5 | 15.0948 | 3.01896 | 301.56 | 0.000 |
| Error | 12 | 0.1201 | 0.01001 | | |
| Total | 17 | 15.2149 | | | |

Figura 3 (Anexo III). Gráfico de medias de grasas de cada tratamiento

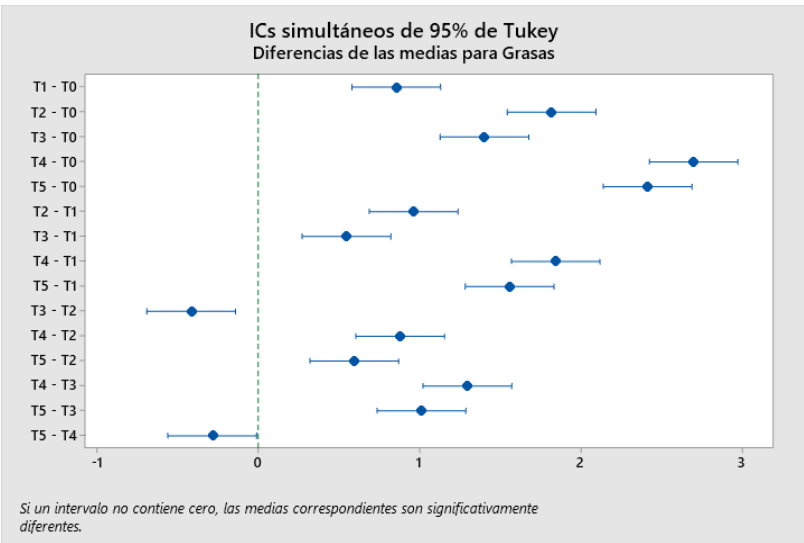


Tabla 4 (Anexo III). ANOVA para proteínas

| Fuente | GL | SC Ajust. | MC Ajust. | Valor F | Valor p |
|--------------|----|-----------|-----------|---------|---------|
| Tratamientos | 5 | 4.06086 | 0.812173 | 218.14 | 0.000 |
| Error | 12 | 0.04468 | 0.003723 | | |
| Total | 17 | 4.10554 | | | |

Figura 4 (Anexo III). Gráfico de medias de proteínas de cada tratamiento

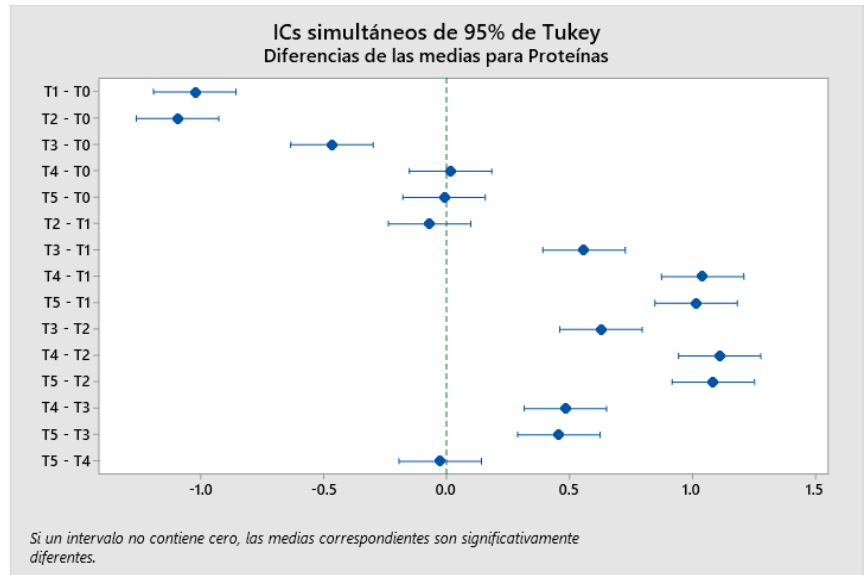


Tabla 5 (Anexo III). ANOVA para Fibra Dietaria Total

| Fuente | GL | SC Ajust. | MC Ajust. | Valor F | Valor p |
|--------------|----|-----------|-----------|-----------|---------|
| Tratamientos | 5 | 83.1869 | 16.6374 | 176160.42 | 0.000 |
| Error | 12 | 0.0011 | 0.0001 | | |
| Total | 17 | 83.1880 | | | |

Figura 5 (Anexo III). Gráfico de medias de Fibra Dietaria Total de cada tratamiento

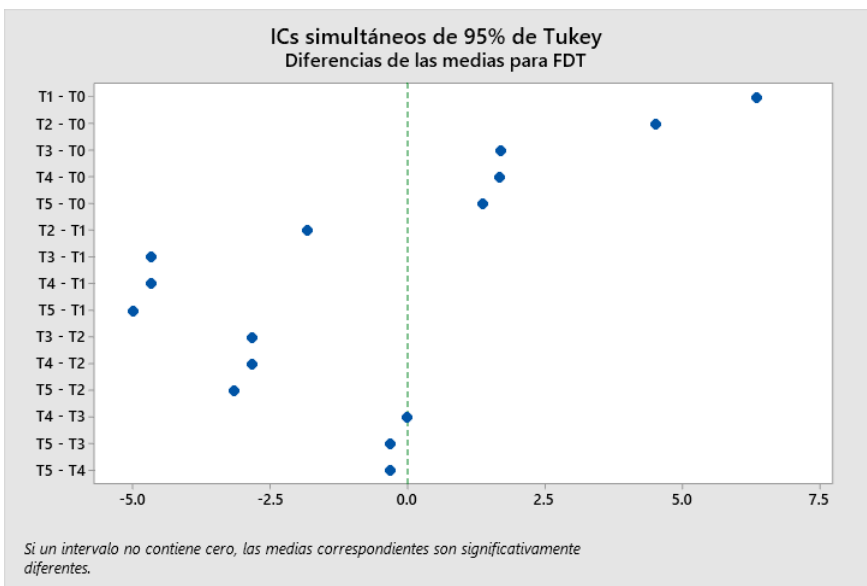
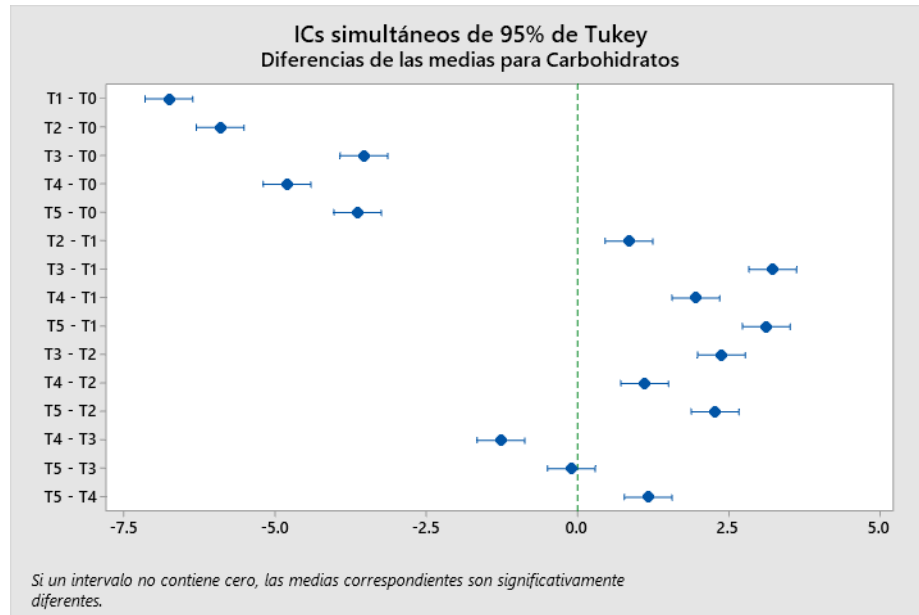


Tabla 6 (Anexo III). ANOVA para carbohidratos

| Fuente | GL | SC Ajust. | MC Ajust. | Valor F | Valor p |
|--------------|----|-----------|-----------|---------|---------|
| Tratamientos | 5 | 84.3154 | 16.8631 | 819.18 | 0.000 |
| Error | 12 | 0.2470 | 0.0206 | | |
| Total | 17 | 84.5624 | | | |

Figura 6 (Anexo III). Gráfico de medias de carbohidratos de cada tratamiento



Anexo IV. Análisis de Varianza (ANOVA) de las propiedades físicas de las bandejas (Espesor, densidad, solubilidad, capacidad de absorción de agua y sólidos volátiles).

Tabla 1 (Anexo IV). ANOVA de un solo factor: Solubilidad vs. Tratamientos

| Fuente | GL | SC Ajust. | MC Ajust. | Valor F | Valor p |
|--------------|----|-----------|-----------|---------|---------|
| Tratamientos | 5 | 11.02 | 2.204 | 1.85 | 0.177 |
| Error | 12 | 14.27 | 1.189 | | |
| Total | 17 | 25.29 | | | |

Figura 1 (Anexo IV). Gráfico de medias de solubilidad de cada tratamiento

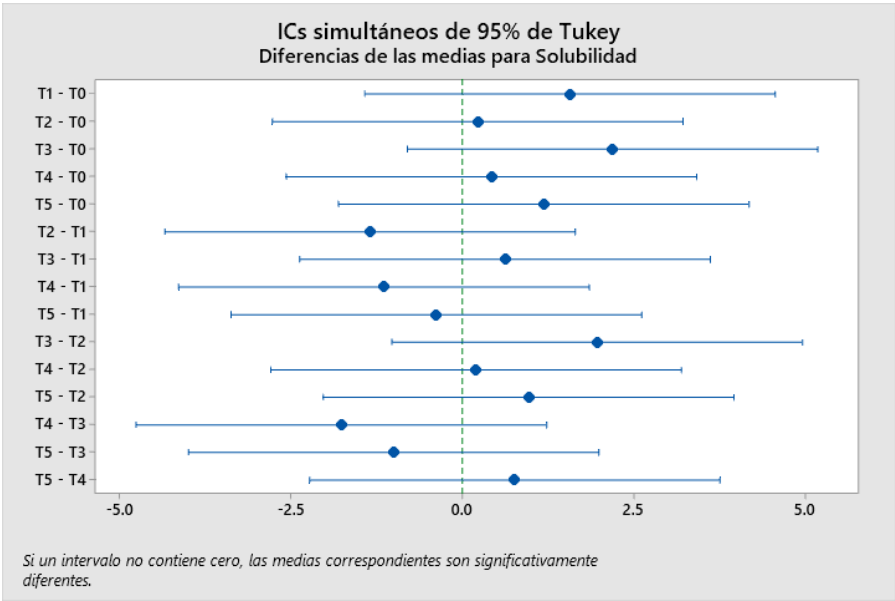


Tabla 2 (Anexo IV). ANOVA de un solo factor: Densidad vs. Tratamientos

| Fuente | GL | SC Ajust. | MC Ajust. | Valor F | Valor p |
|--------------|----|-----------|-----------|---------|---------|
| Tratamientos | 5 | 0.631444 | 0.126289 | 1196.42 | 0.000 |
| Error | 12 | 0.001267 | 0.000106 | | |
| Total | 17 | 0.632711 | | | |

Figura 2 (Anexo IV). Gráfico de medias de densidad de cada tratamiento

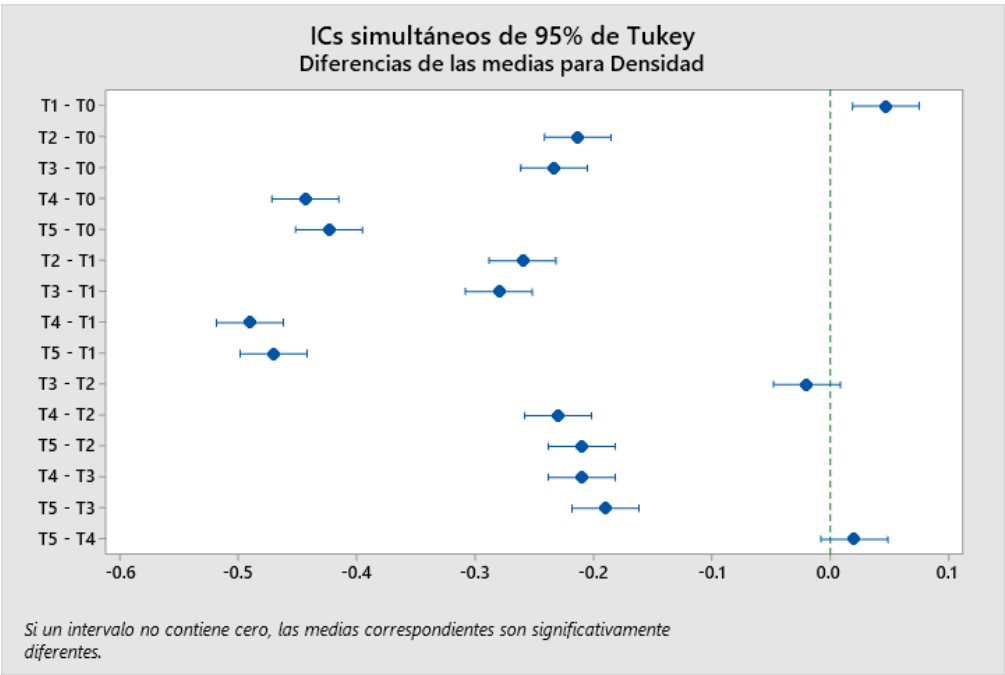


Tabla 3 (Anexo IV). ANOVA de un solo factor: Espesor vs. Tratamientos

| Fuente | GL | SC Ajust. | MC Ajust. | Valor F | Valor p |
|--------------|----|-----------|-----------|---------|---------|
| Tratamientos | 5 | 1.376 | 0.2752 | 0.64 | 0.673 |
| Error | 12 | 5.145 | 0.4287 | | |
| Total | 17 | 6.521 | | | |

Figura 3 (Anexo IV). Gráfico de medias de espesor de cada tratamiento

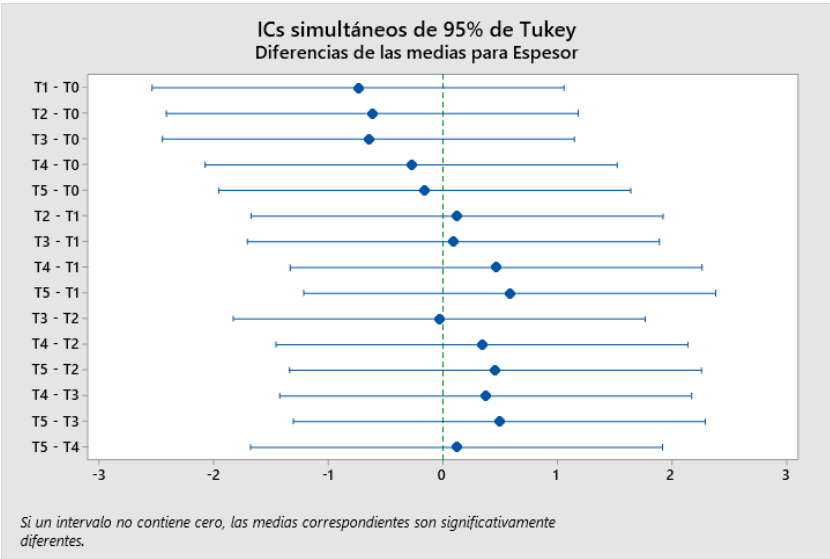


Tabla 4 (Anexo IV). ANOVA de un solo factor: 1 minuto de absorción de agua vs. Tratamientos

| Fuente | GL | SC Ajust. | MC Ajust. | Valor F | Valor p |
|--------------|----|-----------|-----------|---------|---------|
| Tratamientos | 5 | 5.050 | 1.0099 | 7.55 | 0.002 |
| Error | 12 | 1.606 | 0.1338 | | |
| Total | 17 | 6.656 | | | |

Figura 4 (Anexo IV). Gráfico de medias 1 minuto de absorción de agua de cada tratamiento

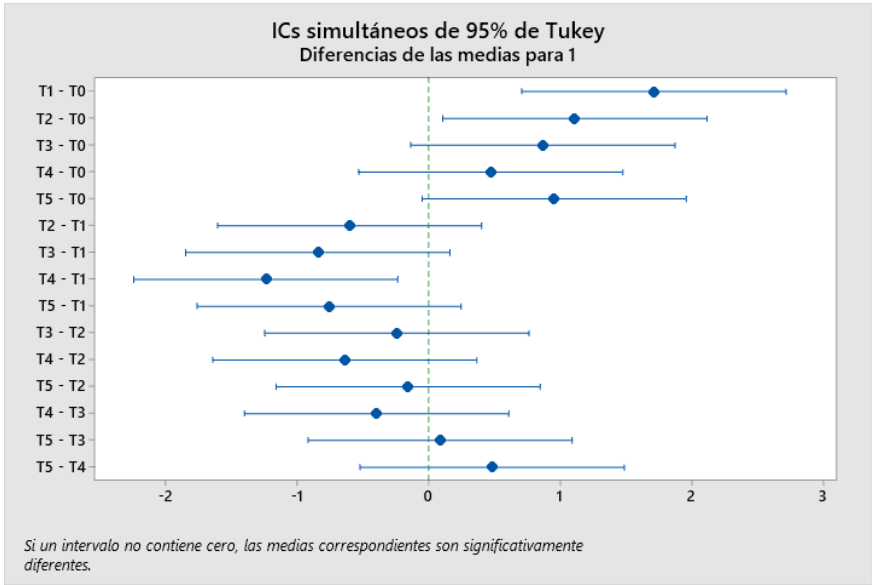


Tabla 5 (Anexo IV). ANOVA de un solo factor: 5 minutos de absorción de agua vs. Tratamientos

| Fuente | GL | SC Ajust. | MC Ajust. | Valor F | Valor p |
|--------------|-----------|---------------|-----------|---------|---------|
| Tratamientos | 5 | 6.251 | 1.250 | 0.94 | 0.491 |
| Error | 12 | 15.993 | 1.333 | | |
| Total | 17 | 22.244 | | | |

Figura 5 (Anexo IV). Gráfico de medias 5 minutos de absorción de agua de cada tratamiento

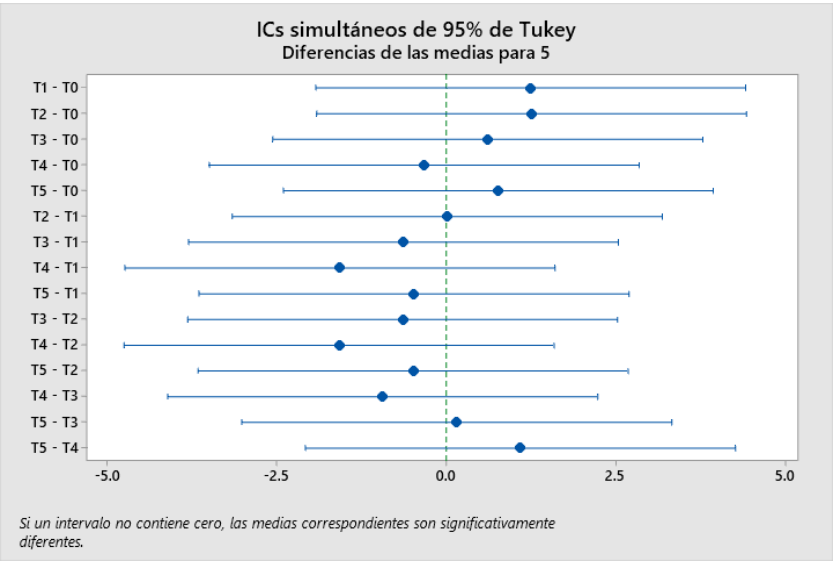


Tabla 6 (Anexo IV). ANOVA de un solo factor: 10 minutos de absorción de agua vs. Tratamientos

| Fuente | GL | SC Ajust. | MC Ajust. | Valor F | Valor p |
|--------------|----|-----------|-----------|---------|---------|
| Tratamientos | 5 | 15.22 | 3.044 | 1.40 | 0.291 |
| Error | 12 | 26.03 | 2.169 | | |
| Total | 17 | 41.24 | | | |

Figura 6 (Anexo IV). Gráfico de medias 10 minutos de absorción de agua de cada tratamiento

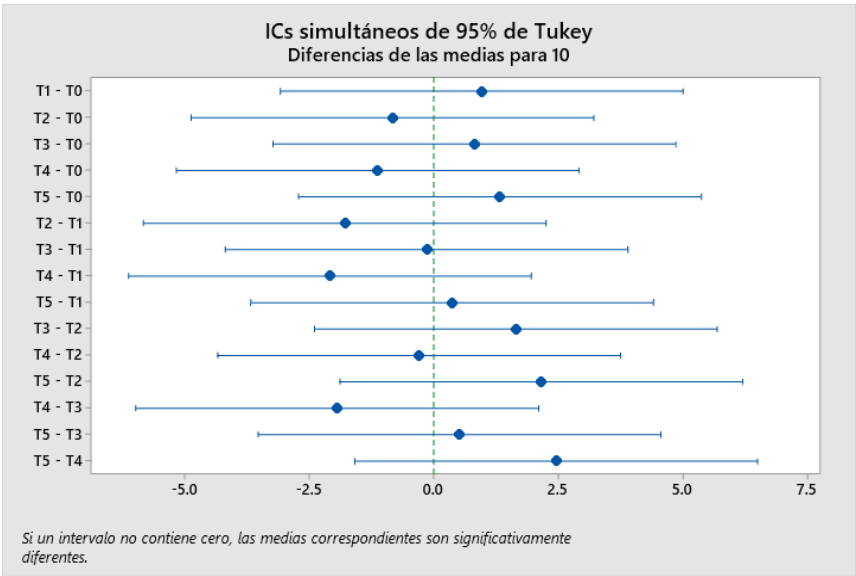


Tabla 7 (Anexo IV). ANOVA de un solo factor: 15 minutos de absorción de agua vs. Tratamientos

| Fuente | GL | SC Ajust. | MC Ajust. | Valor F | Valor p |
|--------------|----|-----------|-----------|---------|---------|
| Tratamientos | 5 | 38.35 | 7.671 | 1.54 | 0.250 |
| Error | 12 | 59.78 | 4.981 | | |
| Total | 17 | 98.13 | | | |

Figura 7 (Anexo IV). Gráfico de medias 15 minutos de absorción de agua de cada tratamiento

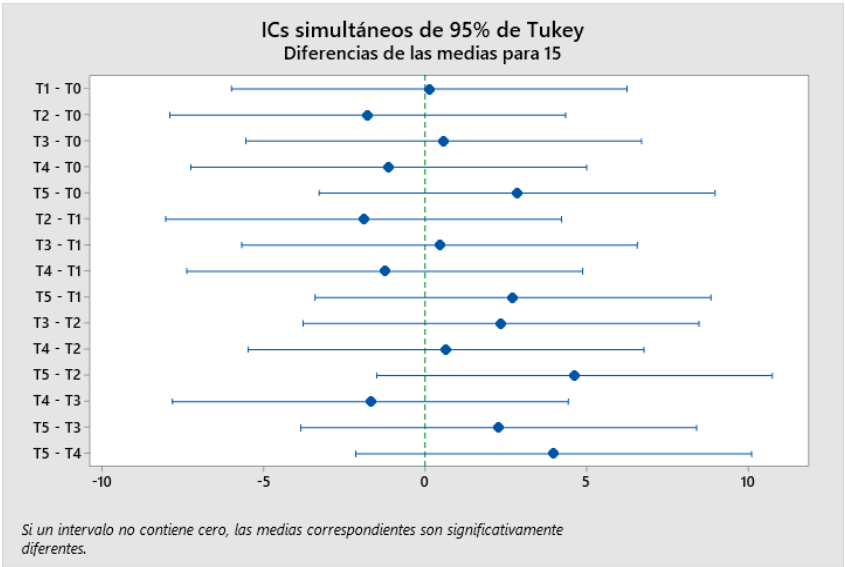


Tabla 8 (Anexo IV). ANOVA de un solo factor: 20 minutos de absorción de agua vs. Tratamientos

| Fuente | GL | SC Ajust. | MC Ajust. | Valor F | Valor p |
|--------------|----|-----------|-----------|---------|---------|
| Tratamientos | 5 | 67.78 | 13.557 | 2.74 | 0.071 |
| Error | 12 | 59.35 | 4.946 | | |
| Total | 17 | 127.13 | | | |

Figura 8 (Anexo IV). Gráfico de medias 20 minutos de absorción de agua de cada tratamiento

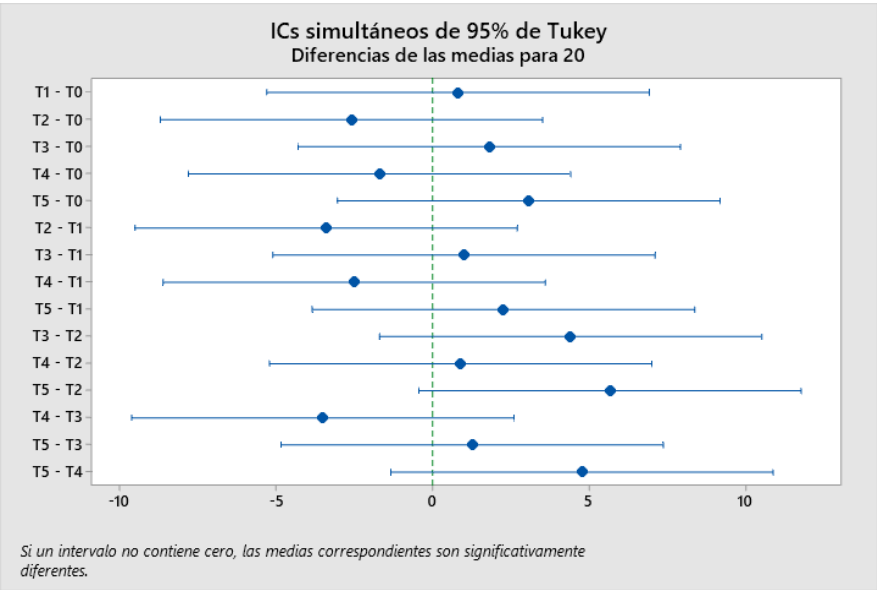
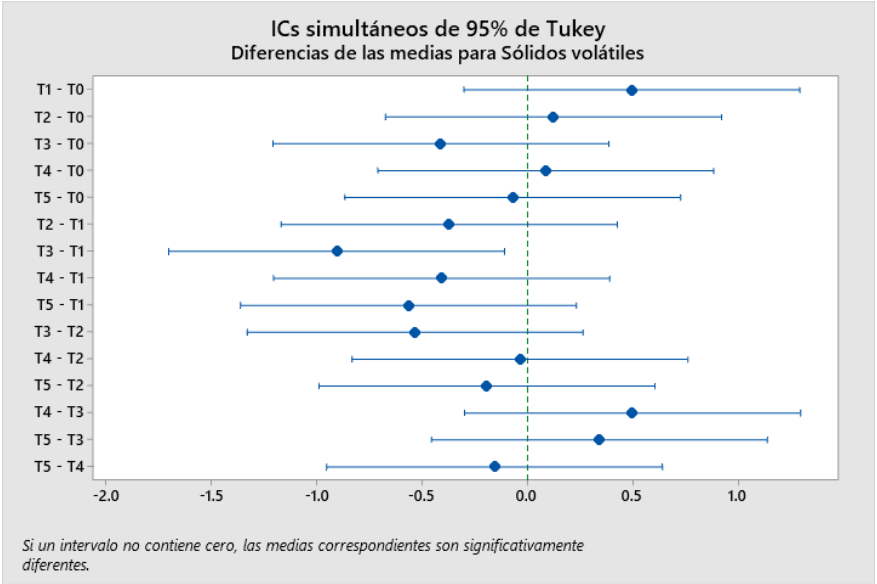


Tabla 9 (Anexo IV). ANOVA de un solo factor: Sólidos volátiles vs. Tratamientos

| Fuente | GL | SC Ajust. | MC Ajust. | Valor F | Valor p |
|--------------|----|-----------|-----------|---------|---------|
| Tratamientos | 5 | 1.298 | 0.25952 | 3.08 | 0.051 |
| Error | 12 | 1.011 | 0.08424 | | |
| Total | 17 | 2.308 | | | |

Figura 9 (Anexo IV). Gráfico de medias sólidos volátiles de cada tratamiento



Anexo V. Análisis de Varianza (ANOVA) de las propiedades mecánicas: dureza (N), deformación (mm), Tensión (MPa) y Elongación (mm)

Tabla 1 (Anexo V). ANOVA de un solo factor: Dureza vs. TRATAMIENTOS

| Fuente | GL | SC Ajust. | MC Ajust. | Valor F | Valor p |
|--------------|----|-----------|-----------|---------|---------|
| TRATAMIENTOS | 4 | 1011.98 | 252.994 | 3750.65 | 0.000 |
| Error | 10 | 0.67 | 0.067 | | |
| Total | 14 | 1012.65 | | | |

Figura 1 (Anexo V). Gráfico de medias de dureza de cada tratamiento

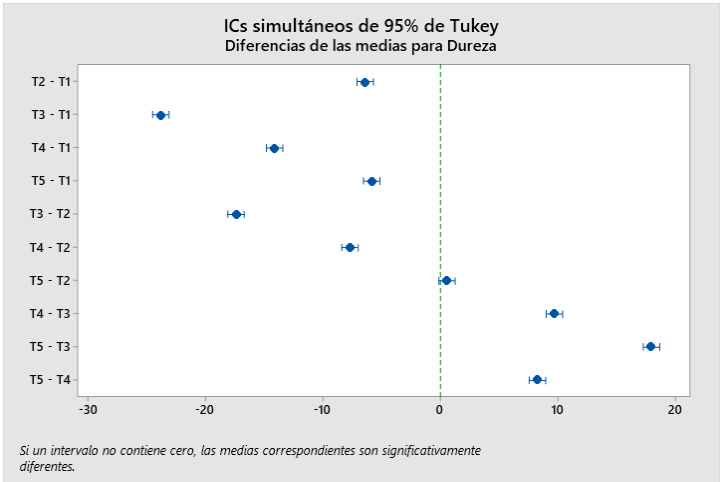


Tabla 2 (Anexo V). ANOVA de un solo factor: Deformación (mm) vs. TRATAMIENTOS

| Fuente | GL | SC Ajust. | MC Ajust. | Valor F | Valor p |
|--------------|----|-----------|-----------|----------|---------|
| TRATAMIENTOS | 4 | 2.01253 | 0.503133 | 10781.43 | 0.000 |
| Error | 10 | 0.00047 | 0.000047 | | |
| Total | 14 | 2.01300 | | | |

Figura 2 (Anexo V). Gráfico de medias de deformación de cada tratamiento

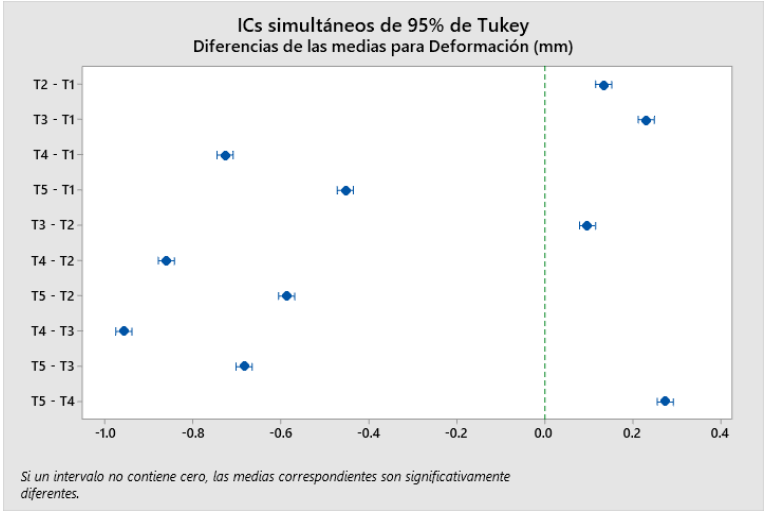


Tabla 3 (Anexo V). ANOVA de un solo factor: Tensión (MPa) vs. TRATAMIENTOS

| Fuente | GL | SC Ajust. | MC Ajust. | Valor F | Valor p |
|--------------|----|-----------|-----------|----------|---------|
| TRATAMIENTOS | 4 | 4.19007 | 1.04752 | 39281.88 | 0.000 |
| Error | 10 | 0.00027 | 0.00003 | | |
| Total | 14 | 4.19033 | | | |

Figura 3 (Anexo V). Gráfico de medias de tensión de cada tratamiento

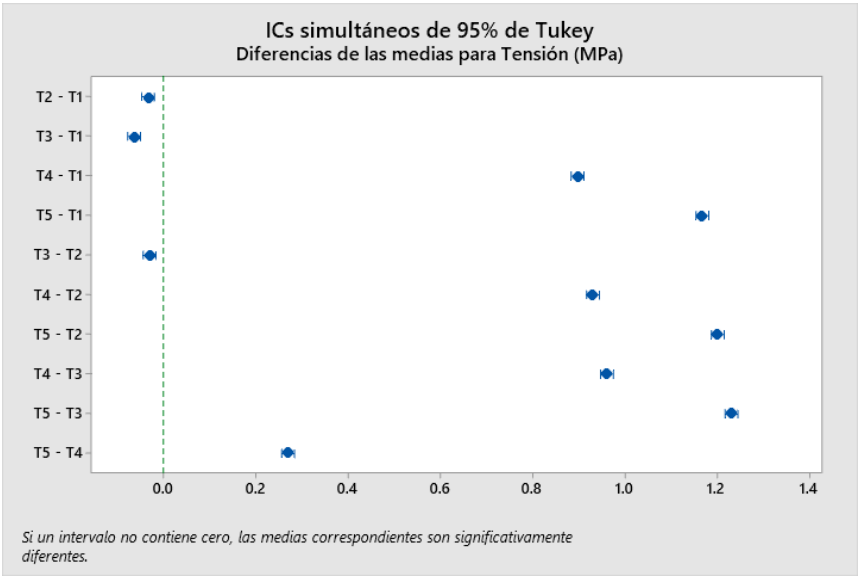
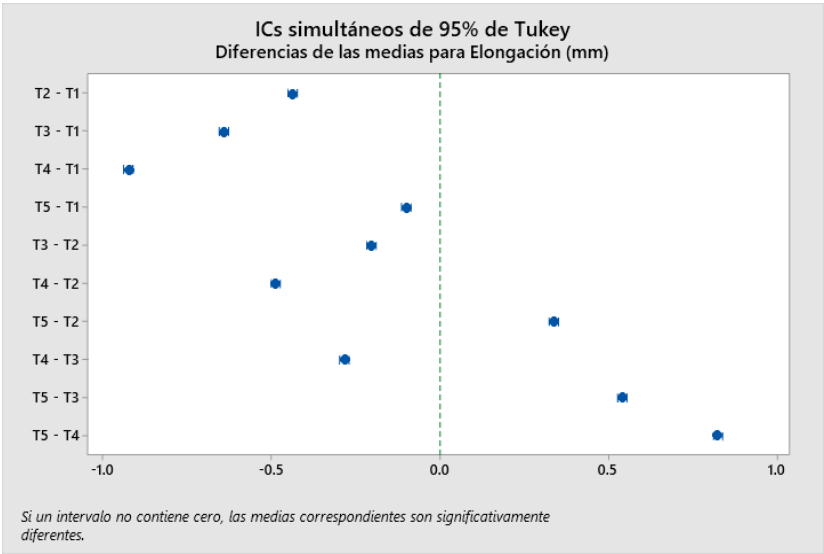


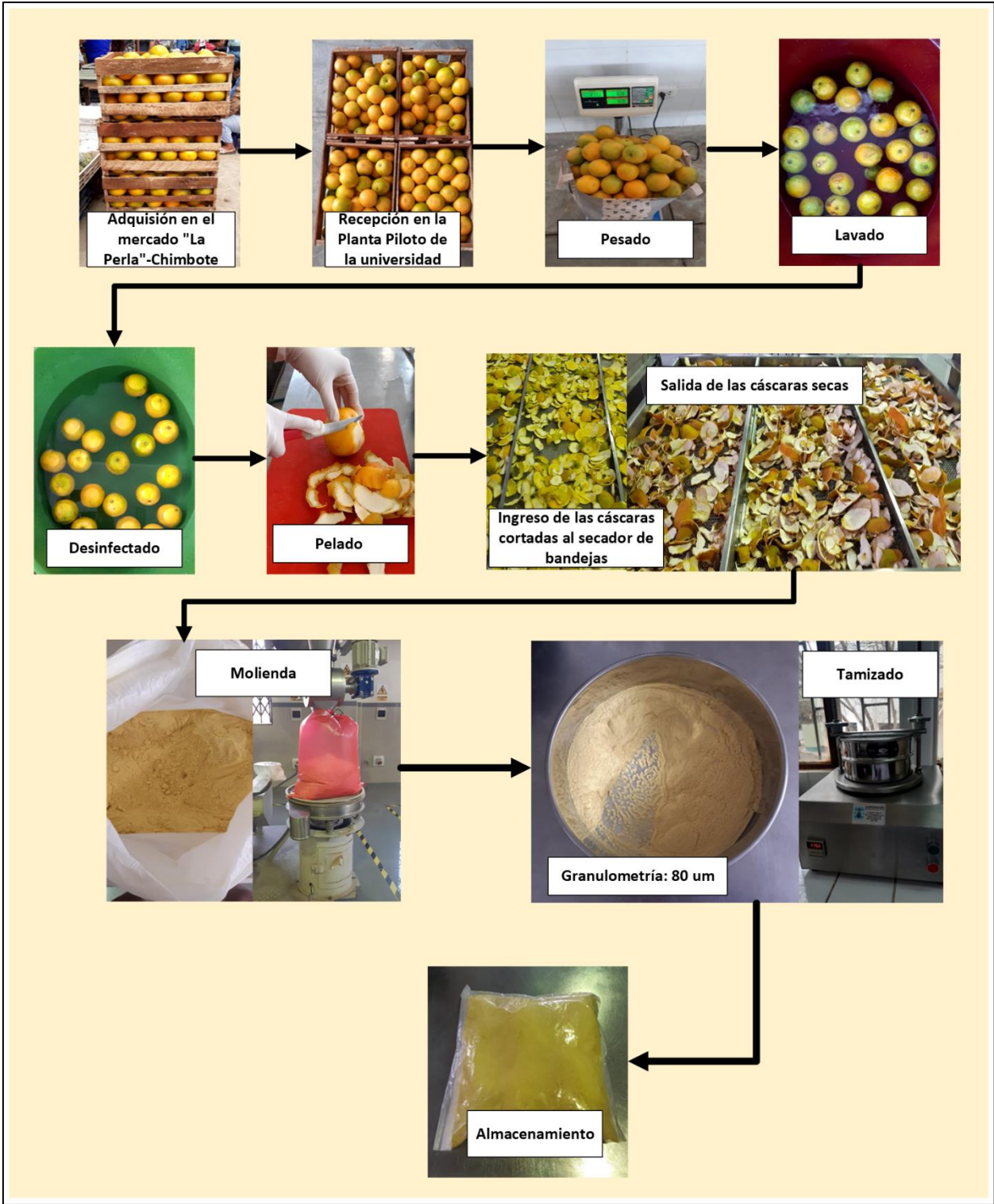
Tabla 4 (Anexo V). ANOVA de un solo factor: Elongación (mm) vs. TRATAMIENTOS

| Fuente | GL | SC Ajust. | MC Ajust. | Valor F | Valor p |
|--------------|----|-----------|-----------|----------|---------|
| TRATAMIENTOS | 4 | 1.74247 | 0.435617 | 16335.63 | 0.000 |
| Error | 10 | 0.00027 | 0.000027 | | |
| Total | 14 | 1.74273 | | | |

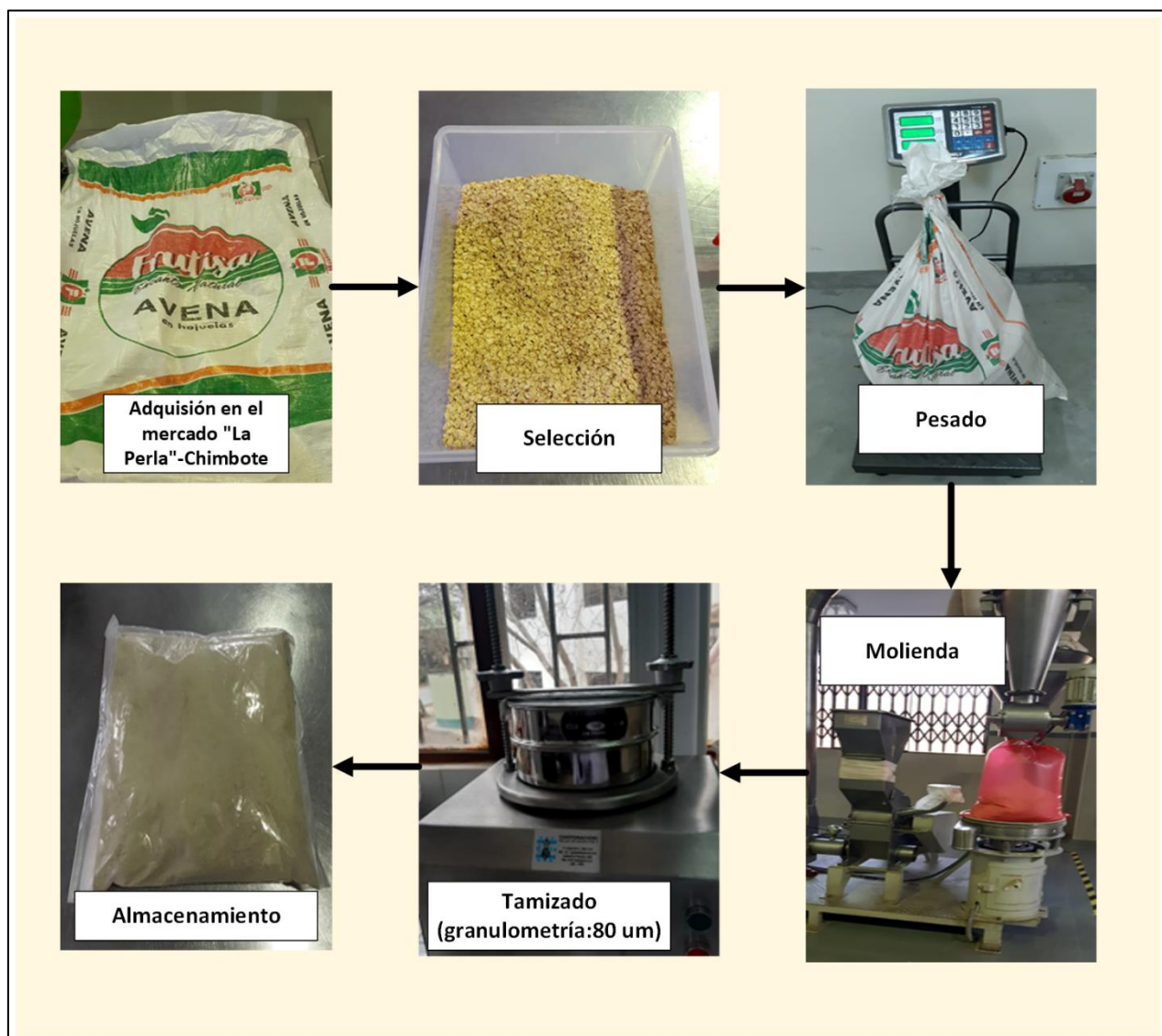
Figura 4 (Anexo V). Gráfico de medias de elongación de cada tratamiento



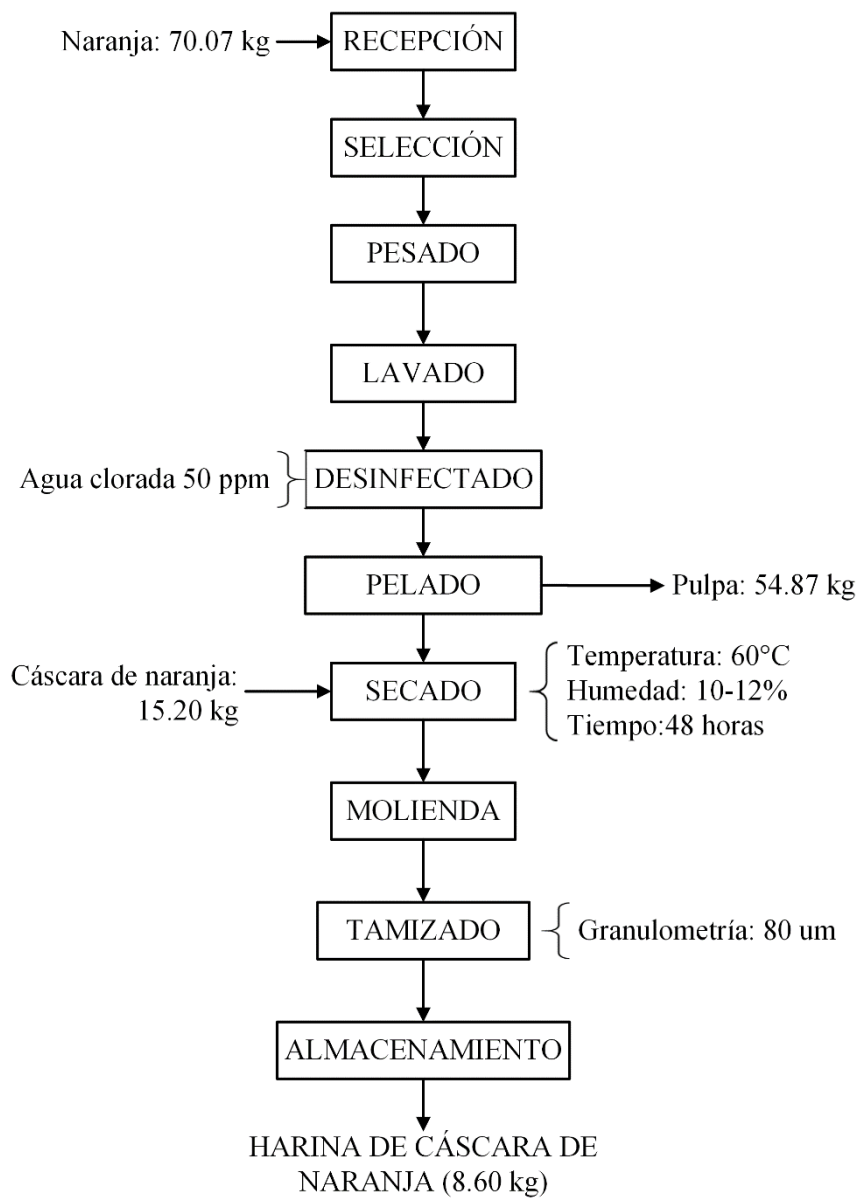
Anexo VI. Obtención de la harina de cáscara de naranja



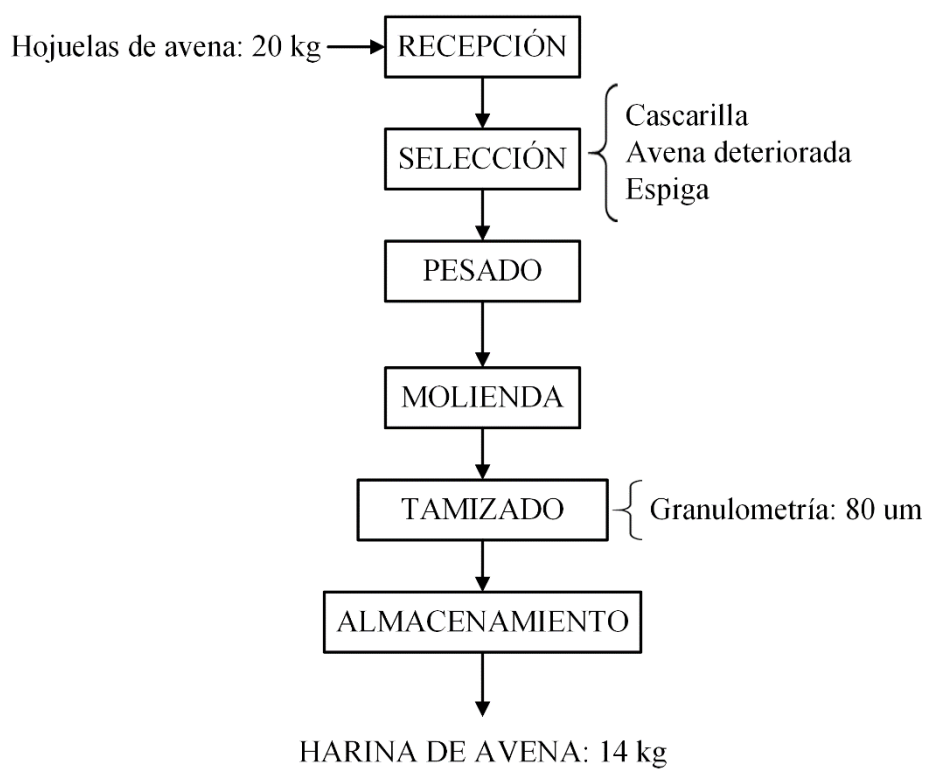
Anexo VII. Obtención de la harina de avena



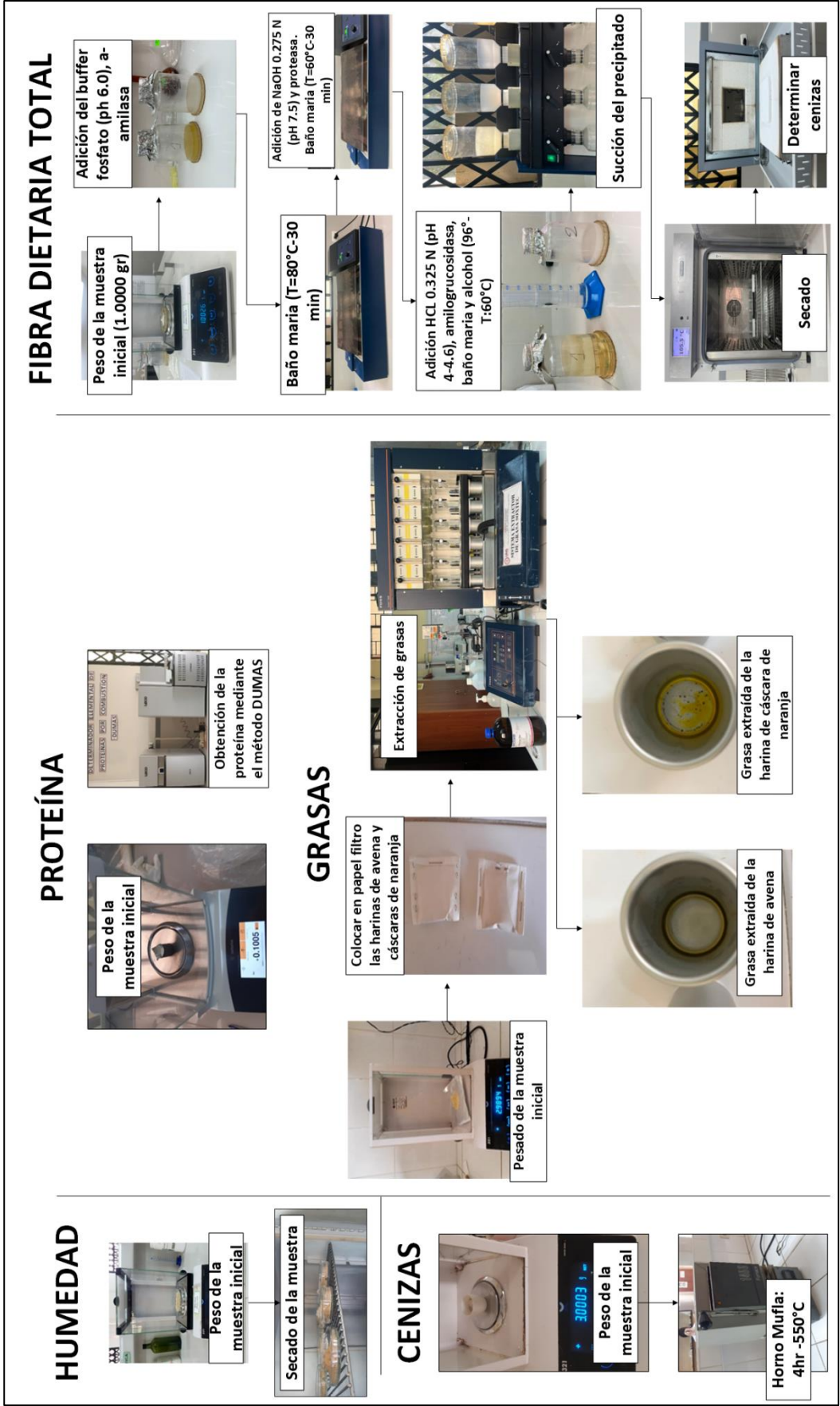
Anexo VIII. Rendimiento de la harina de cáscara de naranja



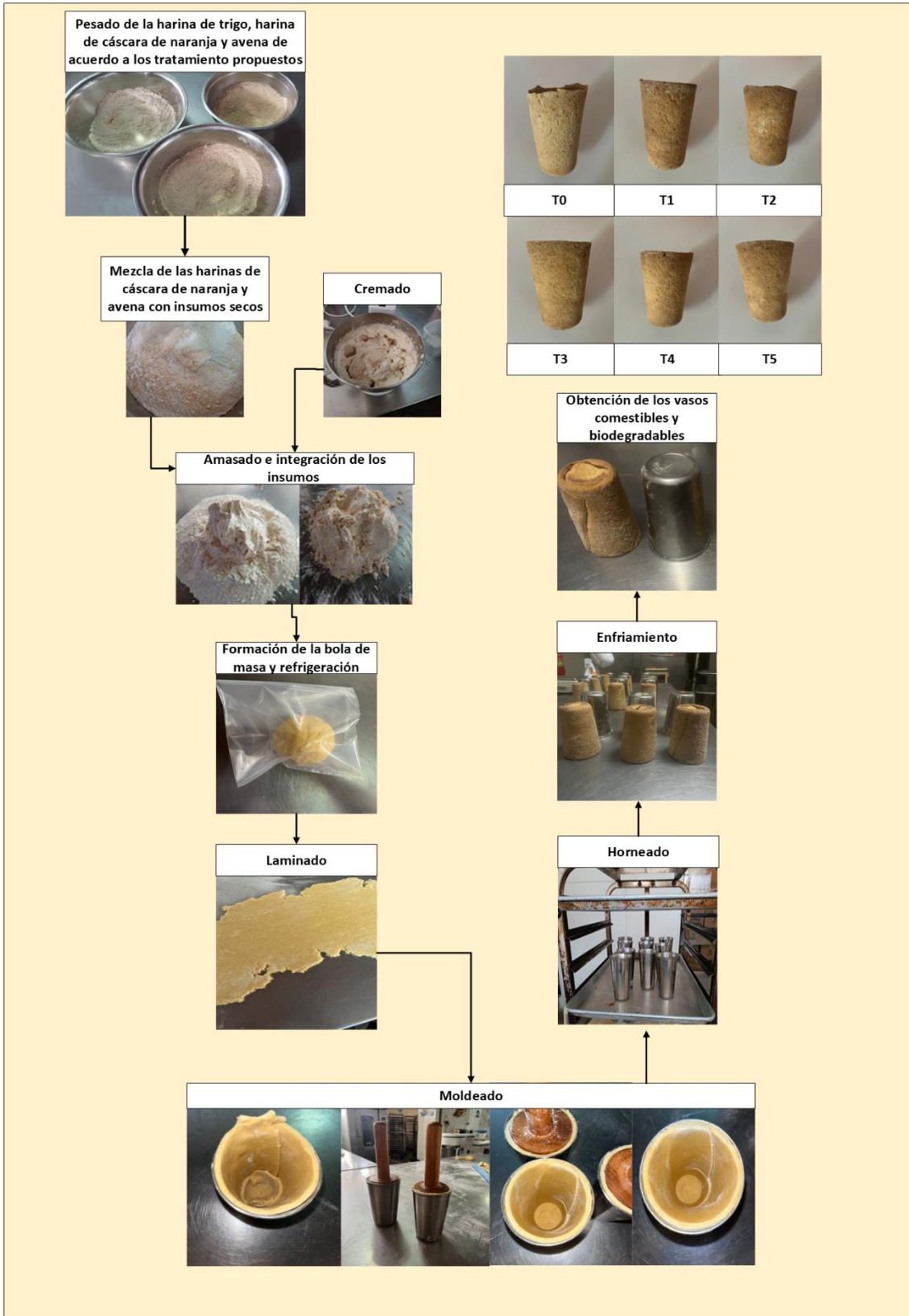
Anexo IX. Rendimiento de la harina de avena



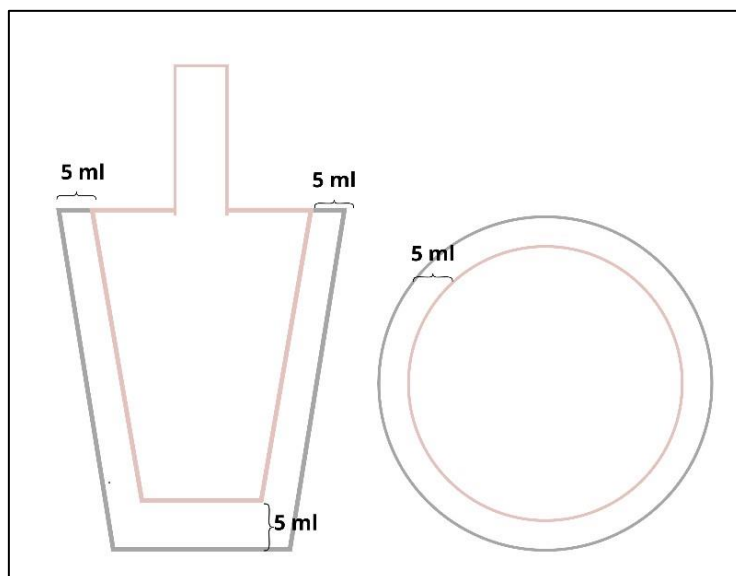
Anexo X. Análisis proximal de las harinas de cáscara de naranja y avena



Anexo XI. Formulación de los tratamientos de los vasos comestibles y biodegradables



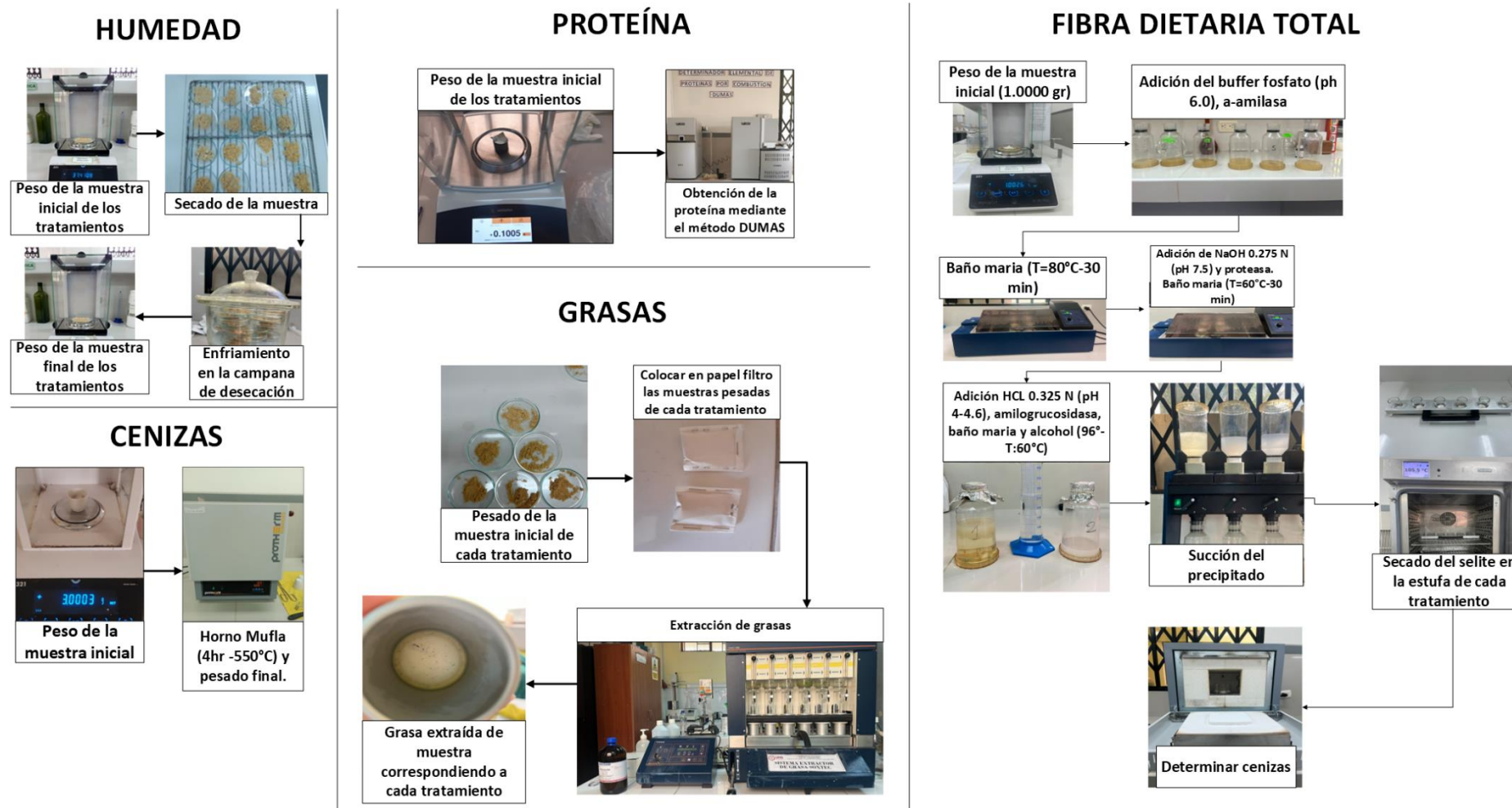
Anexo XII. Diseño del molde de madera



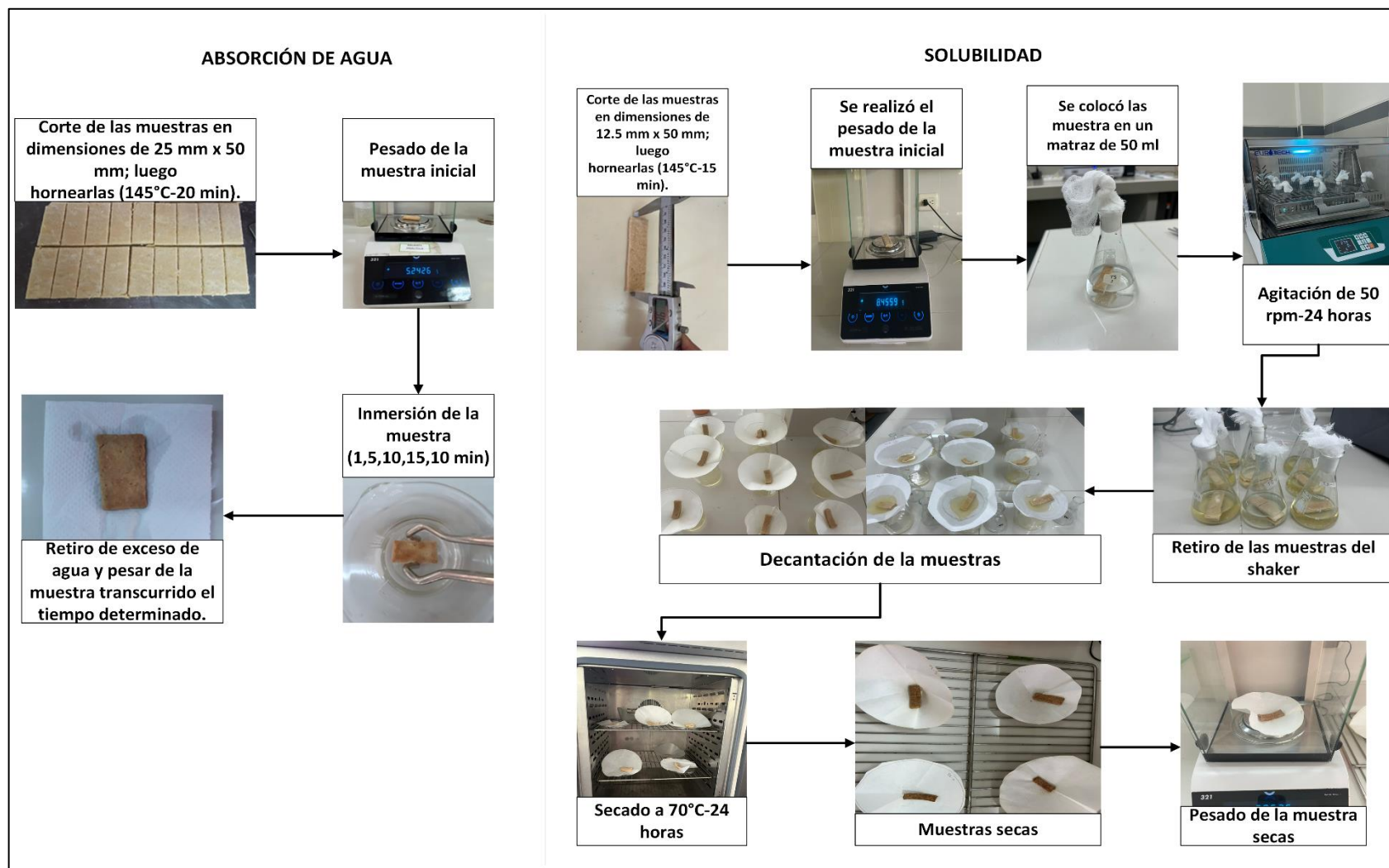
Anexo XIII. Materiales para el moldeado de los vasos



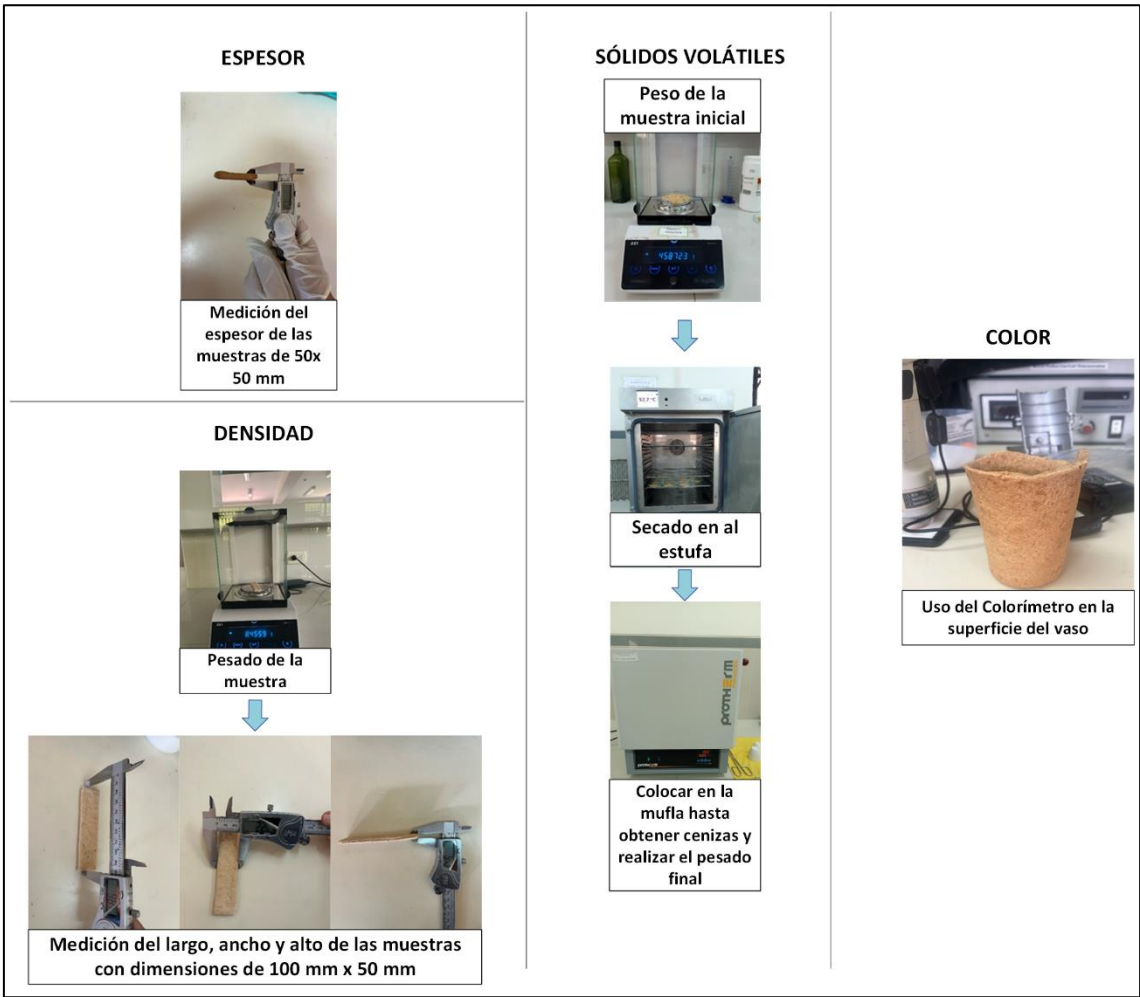
Anexo XIV. Análisis proximal de cada tratamiento de los vasos comestibles y biodegradables.



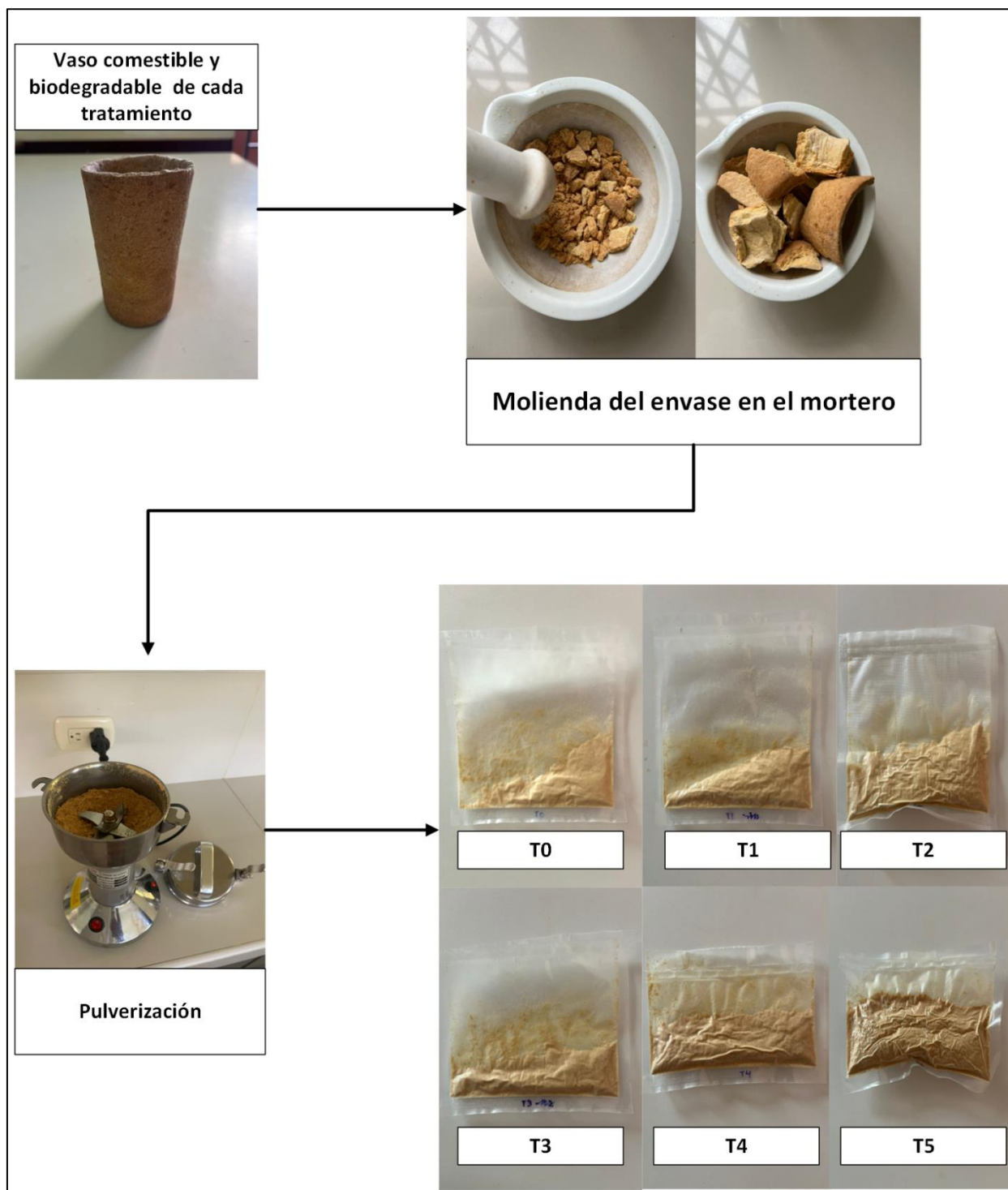
Anexo XV. *Análisis de las propiedades físicas como la absorción de agua y solubilidad de los vasos comestibles y biodegradables.*



Anexo XVI. *Análisis de las propiedades físicas como color, espesor, densidad y sólidos volátiles de los vasos comestibles y biodegradables.*



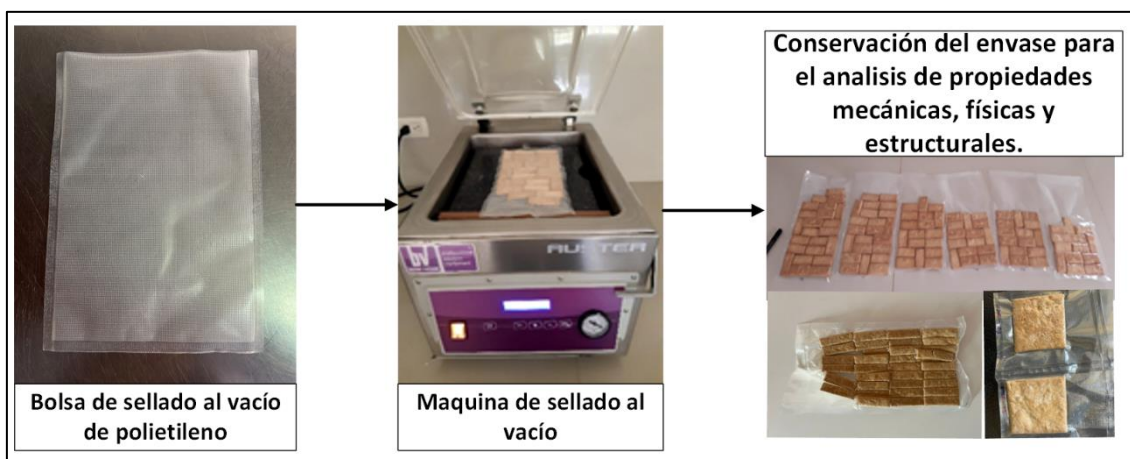
Anexo XVII. *Molienda del vaso comestible y biodegradables a harina para los análisis proximales y sólidos volátiles*



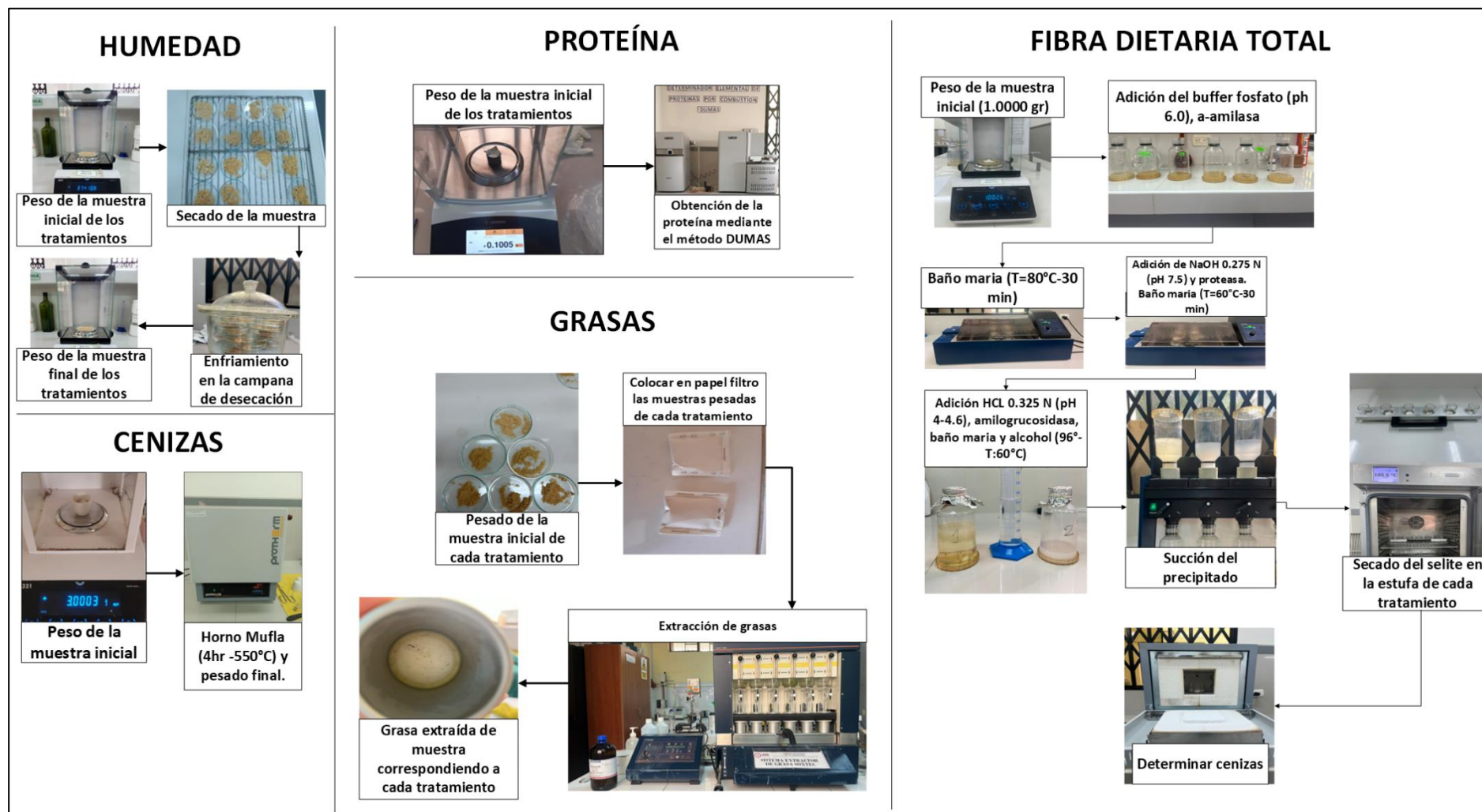
Anexo XVIII. Conservación en bolsa polietileno de ziploc de las vasos comestibles y biodegradables de cada tratamiento para el análisis proximal y propiedades físicas.



Anexo XIX. Conservación por sellado al vacío de las muestras de cada tratamiento para el análisis de las propiedades físicas, mecánicas y estructurales



Anexo XX. Análisis proximal de los tratamientos de los vasos comestibles y biodegradables



Anexo XXI. *Dimensiones de la muestra de cada tratamiento para el análisis de las propiedades mecánicas*



Muestras para determinar las propiedades mecánicas de tracción (80 mm x 25 mm)



Muestras para determinar las propiedades mecánicas de perforación (50 mm x 50 mm)

Anexo XXII. *Dimensiones de la muestra de cada tratamiento para el análisis de las propiedades estructurales*



Muestras para el análisis de F-TIR (50 mm x 50 mm)



Muestras para el análisis de TGA (10 mg)

Anexo XXIII. Composición proximal de los tratamientos

Figura 1 (Anexo XX). Humedad (%) de los tratamientos

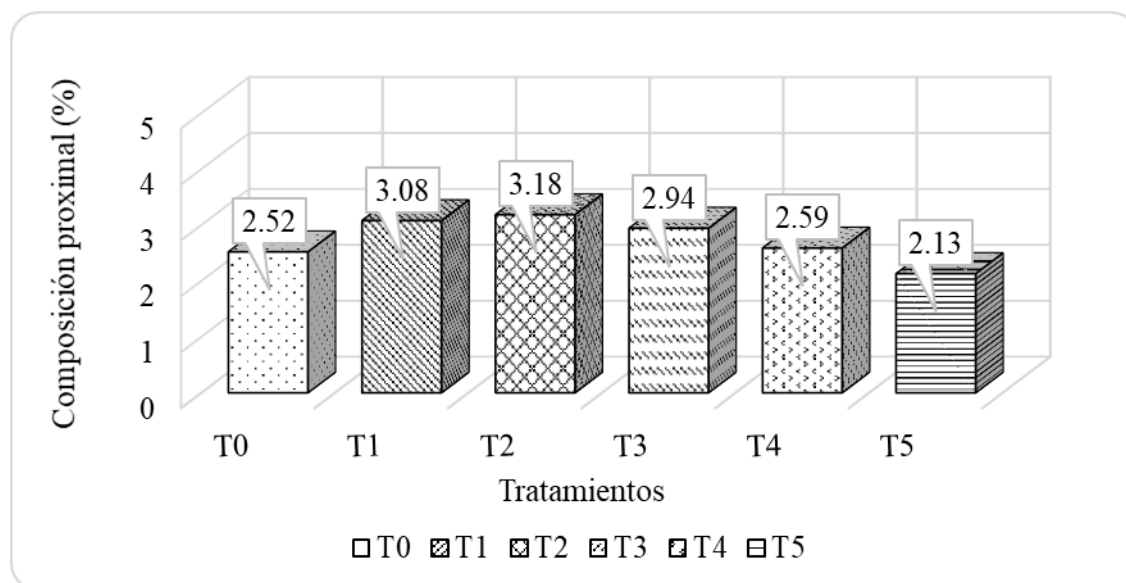


Figura 2 (Anexo XX). Cenizas (%) de los tratamientos

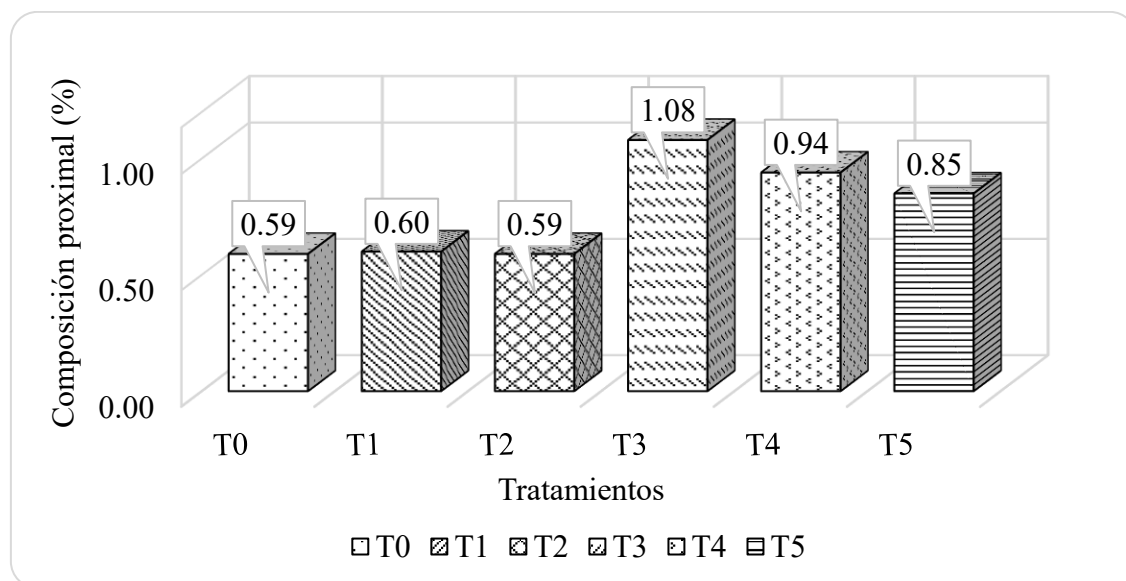


Figura 3 (Anexo XX). Grasas (%) de los tratamientos

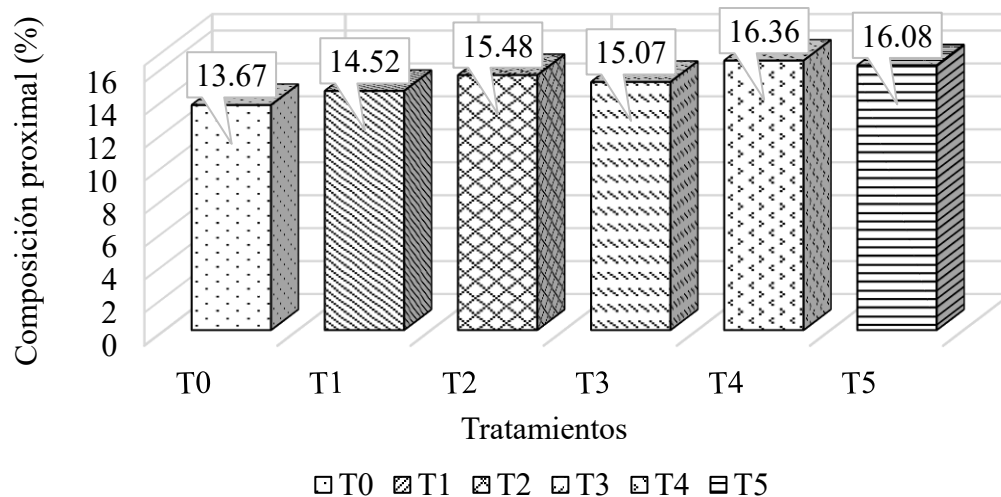


Figura 4 (Anexo XX). Proteínas (%) de los tratamientos

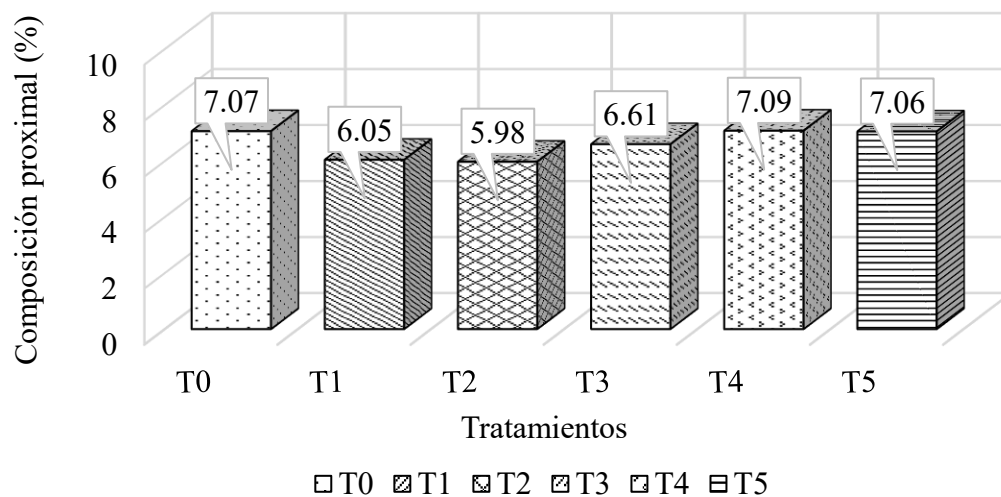


Figura 5 (Anexo XX). FDT (%) de los tratamientos

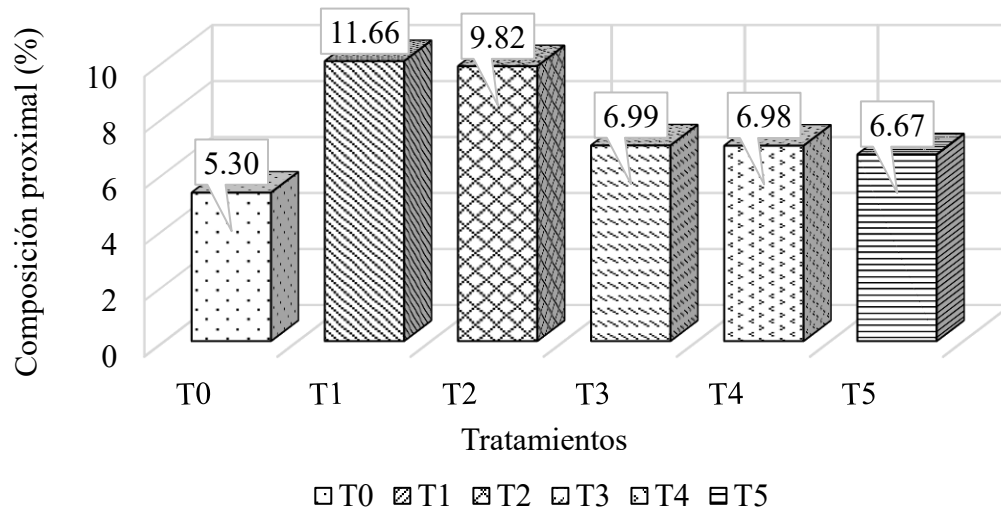
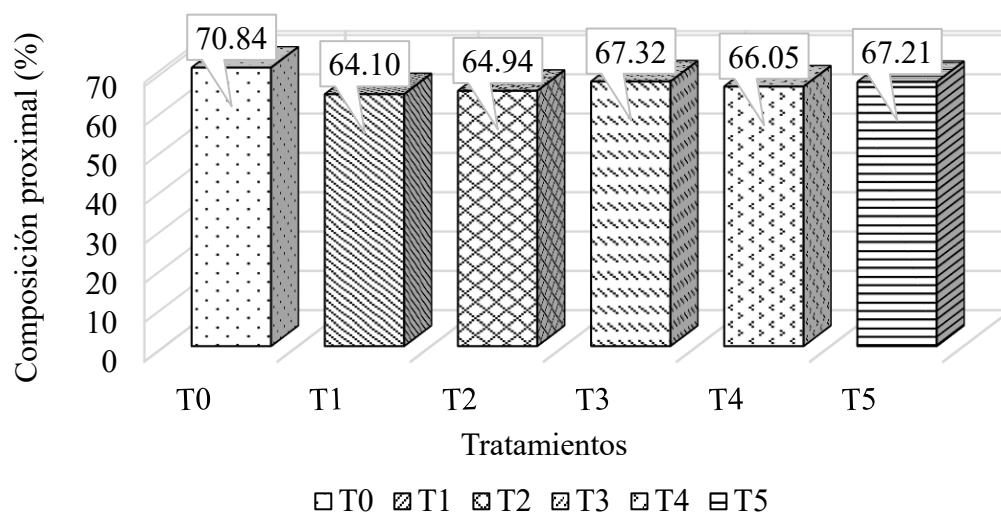
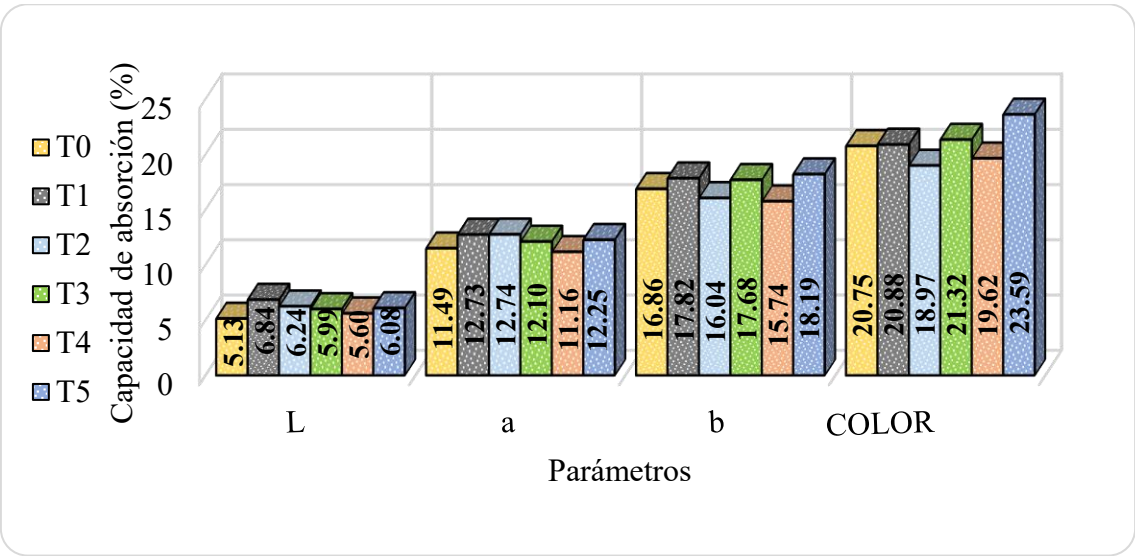


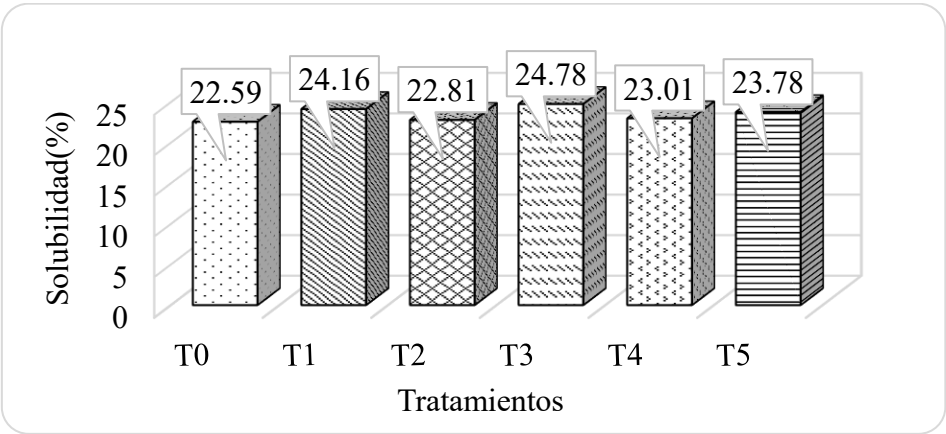
Figura 6 (Anexo XX). Carbohidratos (%) de los tratamientos



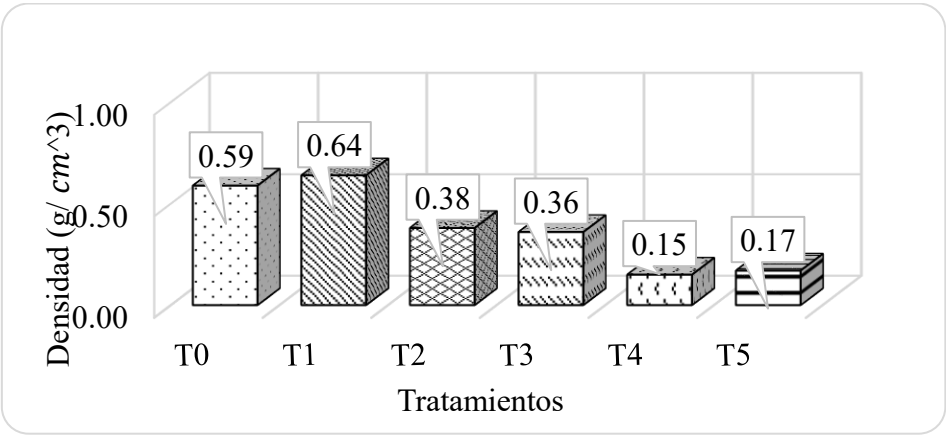
Anexo XXI. Parámetros de color L*, a*, b* y diferencia de color (ΔE^*) de cada tratamiento.



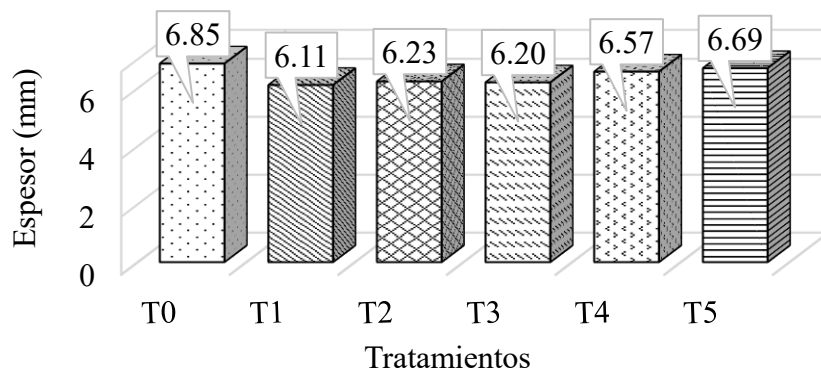
Anexo XXIV. Solubilidad (%) de cada tratamiento



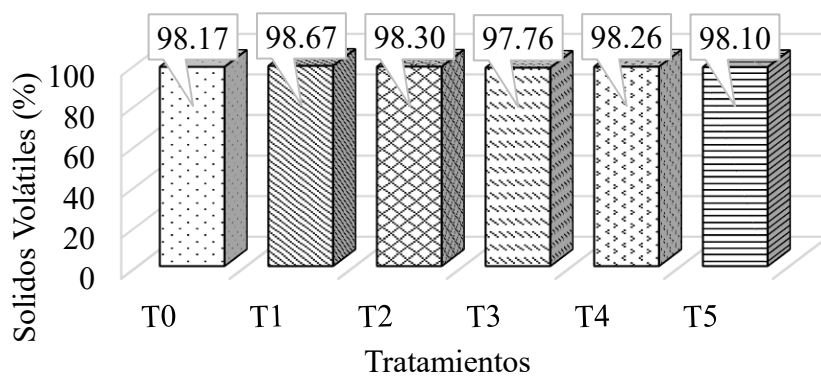
Anexo XXV. Densidad (g/cm^3) de cada tratamiento



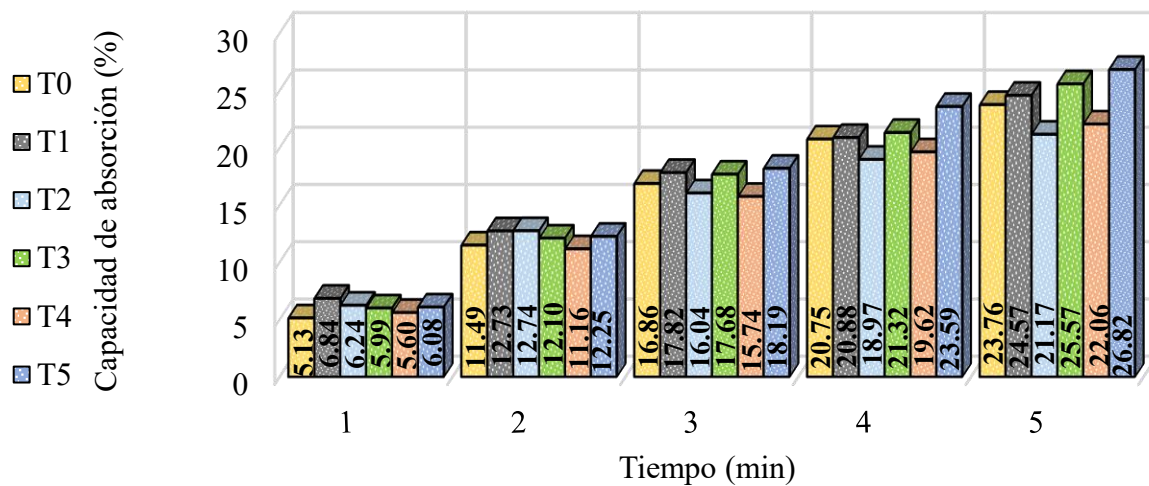
Anexo XXVI. Espesor (mm) de cada tratamiento



Anexo XXVII. Solidos Volátiles (%) de cada tratamiento



Anexo XXVIII. Capacidad de absorción (%) de cada tratamiento



Anexo XXIX. Propiedades mecánicas de cada tratamiento

Figura 1 (Anexo XXVI). Dureza (N) de cada tratamiento

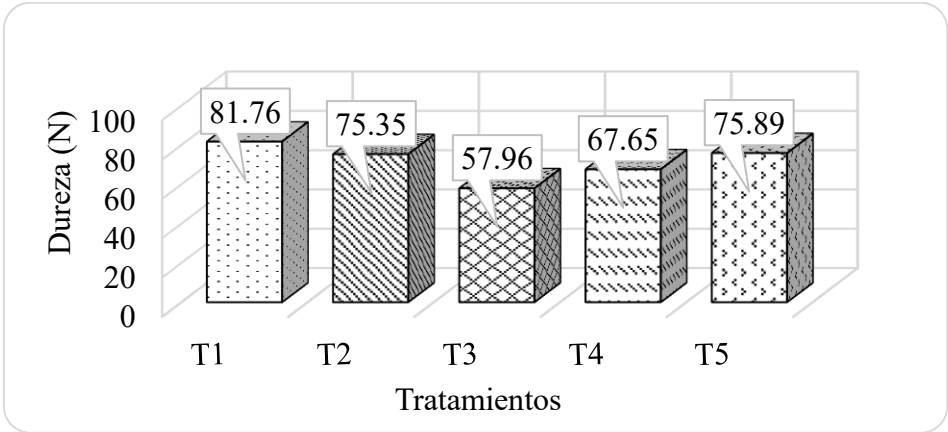


Figura 2 (Anexo XXVI). Deformación (mm) de cada tratamiento

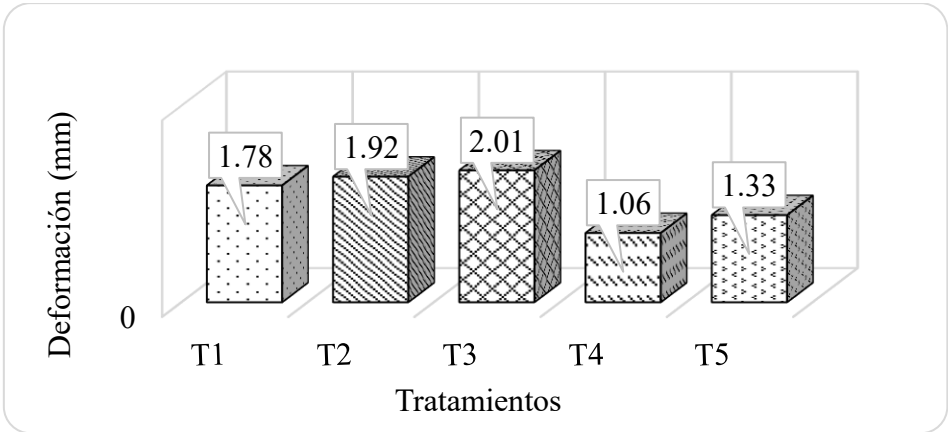


Figura 3 (Anexo XXVI). Tensión (MPa) de cada tratamiento

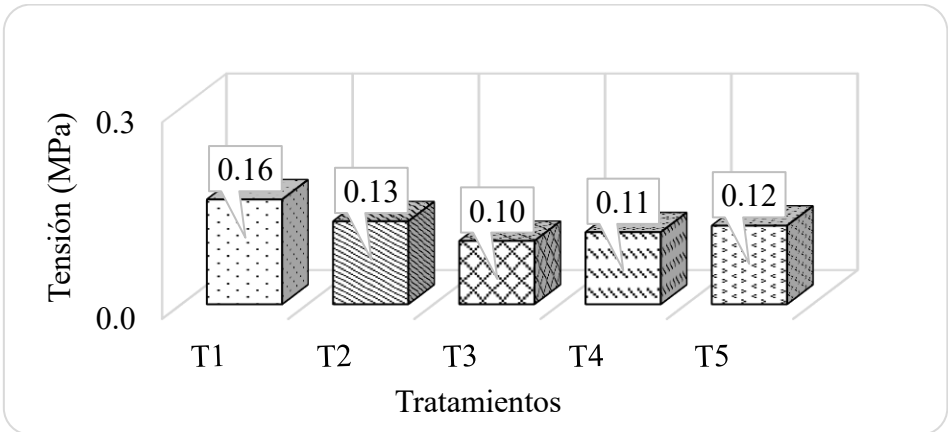


Figura 4 (Anexo XXVI). Elongación (%) de cada tratamiento

