

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



---

---

**Elaboración de envases biodegradables con cáscara y semilla  
de mango (*Mangifera indica L.*)**

---

---

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

**Autora:**

**Bach. Arevalo Oliva, María de Fátima**

**Asesora:**

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

**Nuevo Chimbote - PERÚ  
2023**



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

## **CONSTANCIA DE ASESORAMIENTO DE LA TESIS DE MAESTRÍA**

Yo, Elza Berta Aguirre Vargas, mediante la presente certifico mi asesoramiento de la Tesis de Maestría titulada: “**ELABORACIÓN DE ENVASES BIODEGRADABLES CON CÁSCARA Y SEMILLA DE MANGO (*Mangifera indica L.*)**”, elaborada por la Bach. María de Fátima Arevalo Oliva, para obtener el grado académico de Maestro en Ciencias en Gestión Ambiental en la Escuela de Posgrado de la Universidad Nacional del Santa.

Nuevo Chimbote, 24 de noviembre del 2023

---

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



**UNS**  
ESCUELA DE  
POSGRADO

**CONFORMIDAD DEL JURADO EVALUADOR**

“ELABORACIÓN DE ENVASES BIODEGRADABLES CON CÁSCARA  
Y SEMILLA DE MANGO (*Mangifera indica L.*)”,

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

Revisado y aprobado por el Jurado Evaluador:

Dr. Jorge Marino Domínguez Castañeda  
PRESIDENTE

Código ORCID: 0000-0003-0488-5726  
DNI N°32975182

Dr. Williams Esteward Castillo Martínez  
SECRETARIO  
Código ORCID: 0000-0001-6917-1009  
DNI N°40169364

Dr. Elza Berta Aguirre Vargas  
VOCAL  
Código ORCID: 0000-0003-1659-9874  
DNI N°19096335



### ACTA DE EVALUACIÓN DE SUSTENTACIÓN DE TESIS

A los veinticuatro días del mes de noviembre del año 2023, siendo las 16:00 horas, en el aula AG-01 de la Escuela Profesional de Ingeniería Agroindustrial de la Universidad Nacional del Santa, se reunieron los miembros del Jurado Evaluador, designados mediante Resolución Directoral N° 302-2023-EPG-UNS de fecha 07.11.2023, conformado por los docentes: Dr. Jorge Marino Domínguez Castañeda (Presidente), Dr. Williams Esteward Castillo Martínez (Secretario), Dra. Elza Berta Aguirre Vargas (Vocal), Mg. Any Berenice Córdova Chang (Accesitario), con la finalidad de evaluar la tesis titulada: **ELABORACIÓN DE ENVASES BIODEGRADABLES CON CÁSCARA Y SEMILLA DE MANGO (MANGIFERA INDICA L)**; presentado por el tesista **Br. María de Fátima Arevalo Oliva**, egresada del programa de Maestría en Gestión Ambiental.

Sustentación autorizada mediante Resolución Directoral N° 321-2023-EPG-UNS de fecha 21 de noviembre de 2023.

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

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

Siendo las 17:54 horas del mismo día se da por finalizado el acto académico, firmando la presente acta en señal de conformidad.

Dr. Jorge Marino Domínguez Castañeda  
Presidente

Dr. Williams Esteward Castillo Martínez  
Secretario

Dra. Elza Berta Aguirre Vargas  
Vocal - Asesor

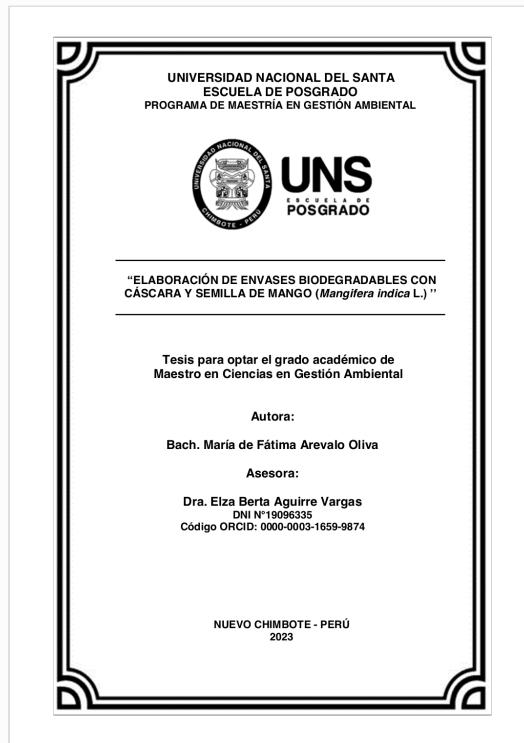


## Recibo digital

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

La primera página de tus entregas se muestra abajo.

Autor de la entrega: Maria De Fatima AREVALO OLIVA  
Título del ejercicio: FINAL  
Título de la entrega: ELABORACIÓN DE ENVASES BIODEGRADABLES CON CÁSCAR...  
Nombre del archivo: INFORME\_DE\_TESIS\_MAESTRIA\_BANDEJAS\_MANGO-ok.pdf  
Tamaño del archivo: 8.17M  
Total páginas: 116  
Total de palabras: 22,426  
Total de caracteres: 116,985  
Fecha de entrega: 27-nov.-2023 05:04p. m. (UTC-0500)  
Identificador de la entrega: 2240103422



# ELABORACIÓN DE ENVASES BIODEGRADABLES CON CÁSCARA Y SEMILLA DE MANGO (Mangifera indica L.)

INFORME DE ORIGINALIDAD



FUENTES PRIMARIAS

1	<b>repositorio.uns.edu.pe</b> Fuente de Internet	6%
2	<b>hdl.handle.net</b> Fuente de Internet	1 %
3	<b>dspace.unitru.edu.pe</b> Fuente de Internet	1 %
4	<b>repositorio.unp.edu.pe</b> Fuente de Internet	1 %
5	<b>scielo.sld.cu</b> Fuente de Internet	1 %
6	<b>repositorio.unbosque.edu.co</b> Fuente de Internet	1 %
7	<b>mriuc.bc.uc.edu.ve</b> Fuente de Internet	1 %
8	<b>Submitted to Universidad Cesar Vallejo</b> Trabajo del estudiante	<1 %
9	<b>uvadoc.uva.es</b> Fuente de Internet	

## **DEDICATORIA**

Dedico el presente trabajo de investigación primeramente a Dios, por bendecirme a diario con su infinito amor, y por haberme permitido lograr culminar este trabajo de investigación.

A mi familia quienes son mi pilar y soporte en mi vida, gracias por estar siempre ahí, y apoyarme en todas mis metas personales y profesionales.

*Atte..*

*Maria de Fátima Arevalo Oliva*

## **AGRADECIMIENTO**

Agradezco a mi asesora de tesis la Dra. Elza Aguirre Vargas por su apoyo, consejos y motivación, y por haber estado al pendiente desde el inicio hasta el término de este trabajo de investigación.

También agradezco al Ingeniero Norbil a cargo de la empresa agroindustrial que brindo la materia prima para la realización de este trabajo, gracias por su amabilidad.

Agradezco a los ingenieros del IITA por haberme apoyado en el desarrollo del presente trabajo desde la recepción de la materia prima hasta en los análisis que se realizaron.

Así mismo a los técnicos e ingenieros a cargo de los equipos donde se realizaron los análisis de caracterización de las bandejas biodegradables en la UNT, UPAO y UNJMA.

Así mismo agradezco a mis amigos, amigas, y a todas las personas que me brindaron su apoyo de manera gentil y desinteresada para la realización y culminación de este trabajo.

*Atte..*

*Maria de Fátima Arevalo Oliva*

# ÍNDICE

<b>RESUMEN .....</b>	ix
<b>ABSTRACT .....</b>	x
<b>I. INTRODUCCIÓN .....</b>	10
1.1. Descripción y formulación del problema de investigación .....	11
1.2. Objetivos .....	12
1.2.1. Objetivo general .....	12
1.2.2. Objetivos específicos.....	12
1.3. Hipótesis de la investigación .....	13
1.4. Justificación e importancia de la investigación.....	13
<b>II. MARCO TEÓRICO .....</b>	14
2.1. Antecedentes .....	14
2.2. Fundamentos teóricos de la investigación .....	17
2.2.1. Mango .....	17
2.2.2. Cáscara de mango .....	18
2.2.3. Semilla de mango.....	19
2.2.4. Aprovechamiento industrial del mango.....	19
2.2.5. Almidón .....	20
2.2.5.1. Estructura del almidón.....	20
2.2.5.2. Composición del almidón .....	21
2.2.5.3. Limitaciones del almidón .....	22
2.2.6. Biopolímeros .....	23
2.2.6.1. Biodegradabilidad de biopolímeros .....	23
2.2.6.2. Polímeros no biodegradables.....	23
2.2.7. Agentes plastificantes.....	23
2.2.8. Tipos de moldeo.....	24
2.3. Marco conceptual.....	25
<b>III. MATERIALES Y MÉTODOS .....</b>	28
3.1. Variables e indicadores de la investigación.....	28
3.2. Métodos de la investigación .....	28

3.3.	Población y muestra.....	28
3.4.	Lugar de ejecución.....	29
3.5.	Diseño o esquema de la investigación .....	30
3.6.	Técnicas e instrumentos de la investigación .....	45
3.7.	Técnicas de procesamiento y análisis de datos .....	47
<b>IV.</b>	<b>RESULTADOS Y DISCUSIONES .....</b>	<b>49</b>
4.1.	Composición química proximal de la harina y almidón de mango ( <i>Mangifera indica L.</i> ) ....	49
4.2.	Características físicas de las bandejas biodegradables.....	51
4.3.	Características mecánicas de las bandejas biodegradables.....	67
4.4.	Características estructurales en las bandejas biodegradables .....	78
<b>V.</b>	<b>CONCLUSIONES.....</b>	<b>87</b>
<b>VI.</b>	<b>RECOMENDACIONES .....</b>	<b>88</b>
<b>VII.</b>	<b>REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS Y VIRTUALES .....</b>	<b>89</b>
<b>VIII.</b>	<b>ANEXOS .....</b>	<b>98</b>

## RESUMEN

La búsqueda de la prevención y mitigación de los impactos ambientales generados por agroindustrias conlleva a que la gestión ambiental de las organizaciones se enfoque en nuevas políticas de manejo de residuos para evitar daños en el ambiente. En base a ello, esta investigación se enfocó en aprovechar los residuos agroindustriales de la transformación del mango para obtener envases biodegradables tipo bandejas en reemplazo de los envases de tecnopor de un solo uso. Las bandejas fueron elaboradas a partir de almidón de semilla de mango y harina de cáscara de mango mediante el método del termoprensado. Se caracterizaron las propiedades físicas, mecánicas, y microestructurales a través de difracción de rayos X (DRX), Microscopia Electrónica de Barrido (MEB), Espectroscopía Infrarroja por transformada de Fourier (FTIR), y termogravimétrico (TGA) del tratamiento con mejores propiedades. Los resultados mostraron que el aumento de la concentración de harina de cáscara de mango tornó a las bandejas de un color más oscuro, densidad de 0.33 a 0.49 g/cm<sup>3</sup>, humedad de 3.89 a 1.63%, capacidad de absorción de agua de 80.76 a 28.17 %, y sólidos volátiles entre 96.04 a 99.27%. Así como valores de dureza de 44.39 a 92.18 N, fracturabilidad de 1.88 a 2.43 mm, resistencia de 2.26 a 3.03 MPa y elongación de 1.11 a 1.85 %. El análisis DRX señaló dos picos de difracción a 17° y 23°, con intensidad de 1400 y 2300 mA; el análisis TGA determinó un pico de degradación a 300°C y masa residual del 10%. El análisis FTIR resultó bandas anchas 4000 a 500 cm<sup>-1</sup> y pico de 1027.98cm<sup>-1</sup>. El análisis MEB mostró porosidades promedio de 970.59 um. Concluyendo que es posible elaborar bandejas biodegradables a partir de almidón y harina de mango con alta biodegrabilidad y propiedades físicas y mecánicas más convenientes.

**Palabras claves:** Cáscara de mango, semilla de mango, envases biodegradables, termoprensado.

## ABSTRACT

The search for the prevention and mitigation of environmental impacts generated by agroindustries leads the environmental management of organizations to focus on new waste management policies to avoid damage to the environment. Based on this, this research focused on taking advantage of agroindustrial waste from mango processing to obtain biodegradable tray-type containers to replace single-use technopor containers. The trays were made from mango seed starch and mango peel flour using the thermo-pressing method. The physical, mechanical, and microstructural properties were characterized through X-ray diffraction (XRD), Scanning Electron Microscopy (SEM), Fourier Transform Infrared Spectroscopy (FTIR), and thermogravimetric (TGA) of the treatment with the best properties. The results showed that increasing the concentration of mango peel flour turned the trays darker in color, density from 0.33 to 0.49 g/cm<sup>3</sup>, moisture from 3.89 to 1.63%, water absorption capacity from 80.76 to 28.17%, and volatile solids between 96.04 to 99.27%. As well as hardness values from 44.39 to 92.18 N, fracturability from 1.88 to 2.43 mm, strength from 2.26 to 3.03 MPa and elongation from 1.11 to 1.85 %. XRD analysis indicated two diffraction peaks at 17° and 23°, with intensities of 1400 and 2300 mA; TGA analysis determined a degradation peak at 300°C and residual mass of 10%. FTIR analysis resulted in broad bands 4000 to 500 cm<sup>-1</sup> and peak at 1027.98cm<sup>-1</sup>. SEM analysis showed average porosities of 970.59 um. In conclusion, it is possible to produce biodegradable trays from starch and mango flour with high biodegradability and more convenient physical and mechanical properties.

**Key words:** Mango peel, mango seed, biodegradable packaging, thermo-pressing.

## I. INTRODUCCIÓN

Los plásticos de un solo uso (bolsas, botellas, envases, cubiertos, etc.) son los que principalmente se acumulan en el medio ambiente debido a que su tiempo de degradación es mayor a 100 años. De estos plásticos de un solo uso, esta investigación se enfoca en los producidos a partir de espuma de poliestireno, que son los envases diseñados para servir y transportar alimentos, ya que por sus características no son adecuados para la reutilización, y a pesar de que existan iniciativas como la ley que regula el plástico de un solo uso y los recipientes o envases descartables, ley N° 30884, no es suficiente para el nivel de consumo que existe en el país, por lo que se deben plantear otras alternativas.

Por otro lado, miles de toneladas de residuos orgánicos son generados por empresas agroindustriales en la transformación de mango congelado, principalmente la cáscara y la semilla de mango. Según reportes brindados por Jahurul et al. (2014) se comercializan 14,000 toneladas de mango congelado IQF por año, en base a ello podríamos estimar una cantidad de cuantos miles de toneladas de residuos de mango desechan las empresas agroindustriales. Todo ello incrementa la contaminación dejando secuelas en los entornos terrestres y marinos. Riera y Palma (2018) establecen que se puede generar valor agregado de subproductos orgánicos, como por ejemplo usar la semilla y cáscara de mango para crear bioespumas que puedan reemplazar a la espuma de poliestireno en la elaboración de envases, por unos biodegradables. Para la elaboración de envases biodegradables se usan polímeros de origen natural, como el almidón, celulosa, polisacáridos, entre otros. En el caso del almidón, La estructura ramificada de la amilopectina y la presencia de amilosa para la formación de geles hacen que el almidón sea una excelente materia prima para la producción de bioplásticos (Cuevas, 2017). El almidón del mango está almacenado en la semilla, y en la cáscara se encuentra la fibra en mayor porcentaje, ambos tienen alto potencial para la formulación de envases. Es por ello que esta investigación tiene como objetivo establecer una economía circular con desechos orgánicos dando valor agregado a subproductos de la transformación del mango, para obtener envases biodegradables a partir de

estos, convirtiéndose esta investigación en uno de los caminos hacia la sostenibilidad ambiental. Siendo el objetivo general elaborar envases biodegradables a partir de cáscaras y semillas de mango (*Mangifera indica L.*).

### **1.1. Descripción y formulación del problema de investigación**

La problemática se plantea a partir del elevado volumen de residuos orgánicos que origina el procesamiento industrial del mango congelado o pulpa de mango, en donde se aprovecha solo la pulpa del mango, y se descarta en grandes toneladas la cáscara y semilla de mango sin generar ningún valor agregado a la línea de producción, sino que por el contrario las empresas deben contratar servicios externos para que dispongan de sus desechos, los cuales generalmente son enterrados o quemados; tal y como lo afirma Saavedra (2020) en nuestro país los residuos orgánicos a gran escala representan un problema ya que no se cuentan con políticas adecuadas para su manejo, la mayoría de veces terminan en basureros o rellenos municipales. Según Nazario et al. (2020), en el año 2018 se exportaron 48370 toneladas de mango congelado, 10643 toneladas de mango en conserva, y 1253 toneladas en jugo de mango. De estos grandes volúmenes de producción donde se aprovecha la pulpa del mango, el porcentaje más alto se encuentra en la industria de mango congelado IQF, en base a esto se podría hacer una idea de cuánto es el porcentaje de descarte que se genera anualmente, considerando que la pulpa y la cáscara representan entre el 40 y 50% de peso total del mango, es decir que, de 48370 toneladas de mango congelado exportado, se descartó entre 40 a 50% más veces en residuos orgánicos (Espinoza et al., 2019). Sumaya et al. (2012), establece propiedades nutricionales y funcionales a los subproductos del mango otorgándoles un gran potencial de valorización, ya que la semilla es fuente de almidón, y la cáscara fuente de celulosa.

Otro problema en la actualidad que afecta de manera masiva al medio ambiente es el uso de envases de poliestireno de consumo inmediato que son desechados después del uso, debido a que son elaborados a partir del derivado de petróleo cuyo tiempo de degradación en el medio ambiente es de más de 100 años, inclusive luego de ese tiempo siguen existiendo en forma de microplásticos. Este problema se incrementó en situación de pandemia ya que

surgió la modalidad delivery, y aumento el consumo de estos envases. Ante estas dos realidades y problemáticas ambientales, esta investigación plantea dar un nuevo aporte o enfoque a la utilización de subproductos derivados de la industrialización de mango como son la cáscara y la semilla, para ser usados como materia prima en reemplazo de los plásticos derivados del petróleo para la fabricación de envases biodegradables a partir de bioespumas. Así al aprovechar estos residuos agroindustriales se contribuye en fomentar una economía circular enfocada en crear nuevas cadenas productivas a partir de fuentes naturales. Donde no solo se beneficia la empresa y el medio ambiente, sino también los consumidores, debido a que el poliestireno al contacto con el calor libera sustancias tóxicas que se pegan en los alimentos, lo que originan enfermedades gastrointestinales o cáncer con el pasar de los años.

Este trabajo de investigación busca dar un valor agregado a desechos agroindustriales que puedan usarse para la producción de envases biodegradables, en este caso en forma de bandeja, sustituyendo al plástico en envases de un solo uso, en base a ello se plantea el siguiente problema de investigación: **¿Es posible elaborar envases biodegradables tipo bandejas a partir de la cáscara y semilla de *Mangifera indica* L.?**

## 1.2. Objetivos

### 1.2.1. Objetivo general

Elaborar envases biodegradables a partir de cáscaras y semillas de mango (*Mangifera indica* L.).

### 1.2.2. Objetivos específicos

1. Determinar la composición química proximal de la harina y el almidón de mango (*Mangifera indica* L.).
2. Evaluar las características físicas como color, espesor, densidad, humedad, sólidos volátiles y capacidad de absorción de agua de las bandejas biodegradables obtenidas.
3. Evaluar las características mecánicas como elongación, resistencia, dureza y fracturabilidad de las bandejas biodegradables obtenidas.

4. Evaluar las características estructurales mediante análisis DRX, TGA, FTIR, y MEB de la bandeja biodegradable con mejores propiedades.

### **1.3. Hipótesis de la investigación**

1. Es posible elaborar envases biodegradables tipo bandejas mediante el proceso de termoprensado a partir de cáscara y semilla de *Mangifera indica L.*
2. No es posible elaborar envases biodegradables tipo bandejas mediante el proceso de termoprensado a partir de cáscara y semilla de *Mangifera indica L.*

### **1.4. Justificación e importancia de la investigación**

La importancia ambiental de esta investigación radica en que se brinda una alternativa para establecer una economía circular en las empresas agroexportadoras de mango congelado. Evitando que siga incrementando la contaminación al suelo, aire y tierra, y reduciendo las emisiones de CO<sub>2</sub>, originados los residuos orgánicos productos de la transformación del mango, y por plásticos de espuma de poliestireno (envases para alimentos). Los estudios sugieren que los contenedores hechos de espuma de poliestireno pueden tomar hasta miles de años en descomponerse y contaminan suelo y agua, por el contrario, los envases biodegradables se descomponen entre 3 a 6 meses en condiciones adecuadas de compostaje.

La importancia económica se justifica a través de brindar una alternativa económica de mejora en la gestión de los residuos orgánicos de mango, generando una cadena de valor, y así mejorar la imagen corporativa de la empresa, y disminuir costos como el contrato de servis externas para el tratado de los residuos orgánicos.

La importancia social radica en el beneficio en la salud humana, se justifica en base a que el uso de envases para alimentos elaborados con espuma de poliestireno es peligroso al contacto con el calor. El poliestireno son moléculas de estireno, que se descomponen cuando entran en contacto con alimentos o

bebidas calientes o grasosas, y origina que se contamine el alimento, lo cual puede ser cancerígeno para los seres humanos, y ocasionar otros problemas de salud como renales, problemas en el esófago, dolores de cabeza y problemas respiratorios (Delgado, 2018).

Son por estas razones que la investigación consiste desarrollar envases biodegradables con residuos agroindustriales de la transformación del mango, esta alternativa innovadora y sostenible es con el fin de sustituir el uso de plásticos sintéticos que contaminan el ambiente de una manera acelerada.

## II. MARCO TEÓRICO

### 2.1. Antecedentes

Ramírez (2021), realizó el estudio “Desarrollo de un envase térmico biodegradable a base de harinas de cascarilla de (*Oryza sativa*), cáscara de mango (*Mangifera indica*) y almidón de yuca (*Manihot esculenta*)”, en la Universidad Católica de Santiago de Guayaquil, Ecuador. El objetivo fue elaborar envases térmicos biodegradables usando cáscara de mango, cascarilla de arroz y almidón de yuca. Cambiando las concentraciones de las harinas, con la finalidad de evaluar su efecto en las propiedades físicas como el coeficiente de conductividad térmica y su tiempo de degradación. Iniciando el proceso con la limpieza de las materias primas, seguidamente el secado, pasando por el molido y el tamizado. Luego se procedieron a hacer los mezclados de las materias primas con la glicerina y el agua destilada. Seguidamente pasa al proceso de moldeado a 200°C por 2 minutos. Concluyeron que “los envases biodegradables serán un sustituto en auge del plástico proveniente del petróleo. Se estableció el costo/beneficio del envase biodegradable y demostró ser rentable y con un precio óptimo para el mercado”.

Francisco et al. (2020), investigaron sobre “Efecto de la adición de subproductos agroindustriales en las propiedades físicas de un bioplástico almidón-gelatina” en la Revista de Ciencias Biológicas y de la Salud, México. El objetivo fue de evaluar el comportamiento de la adición de mango variedad Jamaica, y variedad Café, en una formulación de almidón - gelatina para

elaborar cucharas biodegradables. Encontrándose que las condiciones de máxima estabilidad de bioplásticos obtenidos a partir del modelado es a 35°C. Las distintas formulaciones exhibieron un evento endotérmico a una temperatura de 180°C, asociado a un proceso de fusión, así como una elevada tasa de degradación en suelo después de 120 h.

Ortiz (2019), llevo a cabo el trabajo titulado “Evaluación de un bioplástico a partir de almidón de semillas de mango (*Mangifera indica L.*) con aplicación potencial en envases” realizado en la Universidad El Bosque en Bogotá, Colombia. Cuyo centro de la investigación fue proponer la evaluación de un bioplástico hecho a partir del almidón residual de las semillas de mango (*Mangifera Indica*). A partir de la recepción de 1kg de semillas de una empresa pulpeadora, para posterior extraer almidón de dichas semillas, realizando formulaciones con fibra de celulosa, para finalmente realizar pruebas físicas y químicas. Concluyendo que en el contenido de amilosa y amilopectina del almidón se obtuvo porcentajes entre 14,09% y 85,91%. Los porcentajes de absorción de agua oscilaron entre 39,8% y 71,5%, y los porcentajes de solubilidad fueron de 56,9% y 64,6%, sin embargo, la adición de fibra de celulosa natural permitía que estos valores se redujeran levemente.

Díaz (2017), en su investigación “Caracterización y optimización de una bandeja biodegradable a partir maíz, papa, soya y glicerol por el método de termoprensado” realizada en la Escuela Agrícola Panamericana, Zamorano, Honduras. Se enfocó en desarrollar y caracterizar bandejas biodegradables hechas de residuos de maíz, almidón de la papa, y como aditivo el glicerol. Debido a la problemática actual del gran volumen de desechos plásticos. El método usado fue por el termoprensado. Concluyendo que la mejor formulación de sus 12 tratamientos fue de 6% del maíz, 84.58% del almidón de papa, y 94.1% del aditivo glicerol. Siendo el tiempo de degradación de 40 días. Además, concluyeron que la adición de fibra en la formulación mejora las propiedades mecánicas en las bandejas, como dureza.

Sernaqué et al. (2020), desarrollaron un estudio sobre “Biodegradabilidad de los bioplásticos elaborados a partir de cáscaras de *Mangifera indica* y *Musa*

paradisiaca” en la Universidad César Vallejo en la sede Lima, Perú. Centrándose en analizar la biodegradabilidad de los bioplásticos elaborados a partir de cáscaras de mango y plátano. En la primera etapa de la investigación se utilizó una metodología basada en la adición de plastificantes como el agua y glicerol, es aquí en donde se elaboraron bioplásticos con distintos volúmenes de glicerol, para obtener características físicas desiguales. En la última etapa, usaron humus de lombriz como medio de degradación, el rango de tiempo utilizado para estimar la biodegradabilidad de las láminas fue de 1 a 4 semanas. Finalmente se determinó que el bioplástico elaborado con cáscara de mango tuvo una reducción del 93,06 % en su peso inicial y el bioplástico elaborado con cáscara de plátano un 73,16 % de reducción en su peso inicial al finalizar el estudio. Con base a los diferentes volúmenes en la adición de glicerol para la preparación del bioplástico se determinó que tiene una relación directa con la biodegradabilidad de la lámina ya que, al aumentar la cantidad de glicerol, aumenta la biodegradabilidad de las láminas.

Anticona y Torres (2020), desarrollaron un estudio sobre el “Efecto de la concentración de almidón de almendra de mango criollo (*Mangifera indica L.*) en la obtención de películas”, en la Universidad Nacional Pedro Ruiz Gallo, Chiclayo, Perú. El objetivo fue evaluar el efecto de la concentración de almidón de mango variedad criollo en la obtención de películas. Debido al problema de descarte de la semilla de mango en forma masiva. El método usado para la obtención de almidón fue el establecido en la AOAC-2016. Como conclusión en la extracción el almidón de la almendra de mango criollo maduro de la región Lambayeque, tiene un rendimiento de 69.50 %; siendo su contenido de amilosa del  $29.7 \pm 0.2$  % y amilopectina del  $70.3 \pm 0.2$ %, además las propiedades físicas y mecánicas optimas de la película corresponden a un espesor de  $246.667 \mu\text{m}$ , solubilidad de 42.584%, resistencia a la tracción de 0.376MPa y elongación de rotura de 33.045%.

## **2.2. Fundamentos teóricos de la investigación**

### **2.2.1. Mango**

El mango (*Mangifera indica L.*) es una fruta originaria de la zona sur del continente asiático, que pertenece al género *Mangifera* y familia Anacardiaceae. Hay más de mil variedades de mango en el mundo, pero son algunas las que se producen a gran escala destinadas para fines comerciales como la agroexportación (Barbosa, 2012).

**Figura 1.** Planta de mango.



Fuente: Siddiq et al., 2017.

Las características del mango cambian según la variedad, como la pulpa que varía del amarillo al anaranjado según su estado de madurez del fruto, y puede o no tener fibras. El fruto, en general, tiene en su interior una semilla plana con un endocarpio leñoso, y adentro de esa semilla se almacena un embrión, el cual se usa para cosechar nuevas plantaciones de mango (Culebro, 2017).

Es el quinto cultivo tropical de mayor producción, y con mayor relevancia económica a nivel global, solo superado por el banano. La producción de mango en Perú ha experimentado un aumento exponencial y se encuentra entre las

frutas de exportación más importantes del país (Barbosa, 2012). Según Andina (2022) la producción nacional de mango alcanzó las 474.000 toneladas en el año 2022. Esta fruta tropical de forma ovalada contiene una gran cantidad de antioxidantes, incluidos galato de metilo, gálico, isoqueritrina, quercetina, fisetina y astragalina. El consumo regular de mango o su consumo en jugo puede ayudar a prevenir varios tipos de cáncer, como el cáncer de seno, el cáncer de sangre o leucemia, el cáncer de próstata y el cáncer de colon.

**Tabla 1. Composición nutricional promedio por 100g de pulpa de mango.**

Componente	Composición nutricional (100g)	Contenido
Agua		83.5g
Energía		60 kcal
Grasa		0.4g
Proteína		0.8g
Fibra		1.6g
Ceniza		1g
Azúcares		13.7g
Mineral Ca		11g
Mineral K		168g
Vitamina VB6		0.12mg
Vitamina Niacina		0.67mg

Fuente: Wall et al., 2014.

### **2.2.2. Cáscara de mango**

En la fruta del mango se encuentran 3 partes: cáscara, semillas, y pulpa. En peso la cáscara equivale al 15-20% de la fruta entera, en cambio las semillas equivalen al 10-50% del peso (Culebro, 2017).

Actualmente se conoce que, debido a la presencia de compuestos bioactivos como los polifenoles, cuyo tipo y cantidad dependen de la variedad de mango, el estado de madurez y las condiciones ambientales, entre otros factores, la cáscara de mango aporta sustancias con alta actividad antioxidante. Debido a su composición rica en celulosa, que es un polisacárido estructural de las plantas, tienen resistencia a la degradación. (Lizárraga y Hernández, 2018).

Las cáscaras de mango contienen compuestos bioactivos como polifenoles, carotenoides, vitaminas y fibra dietética, así como lignina, celulosa y hemicelulosa. Debido a que la celulosa es un polisacárido estructural de las plantas, su composición rica en celulosa le da propiedades de sostén (Llerena y Monzón, 2017).

#### **2.2.3. Semilla de mango**

Según Barbosa (2012), de acuerdo con la variedad, tienen forma alargada, oblonga, o ovoide, y tiene un endocarpio fibroso en su exterior. Contiene un embrión en su interior, tiene una testa y tegumento delgados y está principalmente compuesta por cotiledones. El embrión almacena almidón, y otros componentes como aceites en su interior.

#### **2.2.4. Transformación industrializada del mango**

Industrialmente solo se aprovecha la pulpa del mango, lo que significa que la pulpa se transforma en una variedad de presentaciones, como cubos congelados, deshidratados, jugos, néctares, jaleas, y otras presentaciones más (Guerrero et al., 2012). El alto desperdicio generado durante el proceso de transformación de mango es un problema teniendo en cuenta que se comercializan aproximadamente 1.2 millones de toneladas de mango al año en todo el mundo, estos desperdicios solo se usan para compostaje y lombricultura (Rodríguez, 2014).

En el proceso industrial a gran escala, la semilla y la cáscara del mango se desechan, lo que aumenta la contaminación ambiental causada por las altas concentraciones de compuestos fenólicos residuales presentes en estos subproductos, así como por los elevados costos asociados con su tratamiento. Además, no se les da una disposición adecuada y por lo tanto pueden tener efectos negativos en el medio ambiente, principalmente debido a que estos compuestos tienen la capacidad de detener la germinación del mango (Culebro, 2017).

La semilla y la piel se han estudiado extensamente debido a sus componentes de interés científico, como su contenido de proteínas, fibra,

minerales, vitaminas, aceite, y carbohidratos. La cáscara o piel del mango se pueden usar para extraer pectinas, producir biogás o hacer harinas para galletería y panificación; la semilla puede ser utilizada para extraer el aceite utilizado en la confitería y para obtener antioxidantes naturales, y para la extracción de almidón. (Rodríguez, 2014).

### **2.2.5. Almidón**

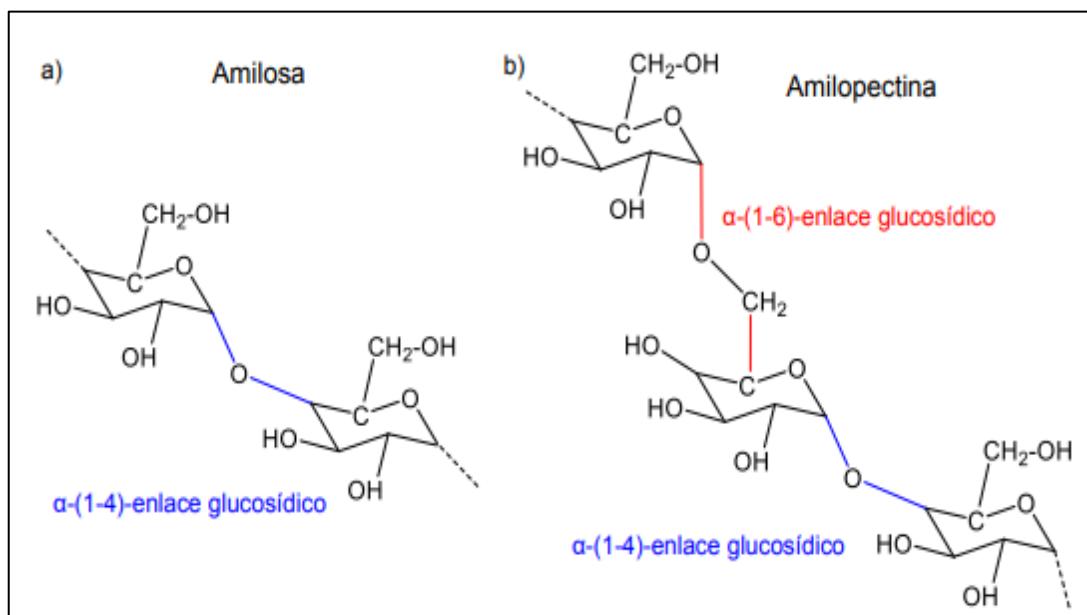
Se encuentra en planta en forma de gránulos, y en forma de partículas sólidas. Dependiendo de la planta de la cual se extrae el almidón, varía el tamaño de los gránulos, y también la forma. La constitución del almidón viene de la mezcla de dos polisacáridos, la amilosa y la amilopectina (Sánchez, 2017).

#### **2.2.5.1. Estructura del almidón**

El almidón es un polisacárido de forma granular y se utiliza como reserva energética de las plantas. Se puede encontrar en varias fuentes botánicas como el maíz, la papa, el trigo y la yuca, y otras materias primas. Este material es de origen natural por lo que presenta características de biodegradabilidad, es renovable, de bajo costo y se puede aplicar en diversas industrias, como la papelera, la textil, alimentos, farmacéutica, empaques y embalajes, entre otros, para ser usados principalmente como espesante y estabilizador. El almidón varía en forma y tamaño dependiendo de la fuente botánica con formas ovaladas, elípticas, y tamaños que van desde 1 um hasta 100 um, las características del almidón varían según su forma, tamaño, transparencia y opacidad. (Gutiérrez, 2020).

El tamaño de la molécula la amilosa es menor que el de la molécula de amilopectina. Esta última se compone por enlaces glucosídicos  $\alpha$ -1,6 y  $\alpha$ -1,4. Estos enlaces se combinan con las moléculas de glucosa, lo que hace que tenga una amplia ramificación a comparación de la amilosa. La longitud de cadena media que contienen va de 20-25 unidades de glucosa, y un peso medio molecular promedio de 107 a 108 g/mol (Meré, 2009).

**Figura 2.** Estructura química de la amilosa y amilopectina.



Fuente: Gutiérrez, 2020.

#### 2.2.5.2. Composición del almidón

Los polisacáridos amilopectina y amilosa son los componentes más comunes de los gránulos de almidón. Estos polímeros son muy diferentes estructuralmente; las cadenas de amilopectina y amilosa suelen ser lineales y extremadamente ramificadas; cada estructura es esencial para la funcionalidad final del almidón natural y sus derivados. El tamaño del gránulo tiene un impacto en la composición de los almidones, la pegajosidad y la gelatinización, así como en las propiedades tecnológicas como la solubilidad, el hinchamiento, la absorción de agua, la sinéresis y el comportamiento reológico de sus pastas y geles. (Gonzalez et al., 2022).

La estructura del almidón está compuesta por el 20% de amilosa, y 80% de amilopectina. La amilosa es un polisacárido con estructura lineal, mientras que la amilopectina presenta una estructura ramificada (Machaca, 2022).

La amilosa es una molécula lineal formada por muchos anillos de glucosa unidos entre sí bajo el enlace  $\alpha$ -1,4 glucosídico, para formar moléculas que no tienen ramificaciones, es decir lineales. La amilosa puede formar una cuarta parte del granulo de almidón. Cuando se moldean los almidones ricos en amilosa mantienen su forma y gelifican mientras que los almidones sin amilosa espesan, pero no gelifican. Mientras que la amilopectina es una molécula que tiene ramificaciones y está constituida por los enlaces de glucosa  $\alpha$ -1,4 y  $\alpha$ -1,6. Los enlaces glucosídicos  $\alpha$ -1,6 se forman con otras moléculas de glucosa, lo que les da una estructura más ramificada que la amilosa, y la hace insoluble en agua caliente. (Machaca, 2022).

#### **2.2.5.3. Limitaciones del almidón**

La primera limitación es el porcentaje de amilosa que debe ser superior al 70% en el almidón termoplástico proveniente del almidón natural, eso para que en la fabricación se obtengan buenas características del producto final. Si en caso se presenta déficit en las propiedades mecánicas del almidón termoplástico, se tiene que hacer modificaciones químicas o físicas. Ya que un almidón que contenga solo amilopectina, tendrá bajos valores de torque al ser procesado en el equipo de extrusión. Por el contrario, un alto contenido de amilosa, hará que tenga mayor fuerza de atracción en los granos del almidón, lo que origina la penetración de agua dentro de los gránulos, y que en el proceso de extrusión hará que se retrase la gelatinización, lo que conduce a elevar los parámetros en el formado. Un almidón con alto valor de amilosa, tendrá valores elevados en el par de torsión, ya que la masa tendrá una viscosidad elevada por el elevado contenido de amilosa. Para combatirlas, se requiere la incorporación de varios plastificantes que aumentan su resistencia y facilidad de procesamiento. Los plastificantes utilizados para producir almidón termoplástico, teniendo en cuenta el proceso de biodegradación (Meré, 2009).

## **2.2.6. Biopolímeros**

### **2.2.6.1. Biodegradabilidad de biopolímeros**

Ruiz (2014) define a la biodegradabilidad como la capacidad de un material para descomponerse en dióxido de carbono, metano, agua y componentes orgánicos, o biomasa, en la que el mecanismo principal es la acción enzimática de los microorganismos. La biodegradabilidad también puede medirse mediante ensayos estándares en un período de tiempo determinado reflejado en condiciones de almacenamiento disponibles.

### **2.2.6.2. Polímeros no biodegradables**

Las poliolefinas, como el polietileno (PE), el polietileno de baja densidad (LDPE), el polietileno lineal de baja densidad (LLDPE), el polietileno de alta densidad (HDPE), el polipropileno (PP), el poliestireno (PS), el policloruro de vinilo (PVC) y el polietileno tereftalato (PET), entre otras, son las más comunes en el sector de los empaques porque son hechos por humanos o sintéticos. Debido a que los microorganismos no pueden actuar sobre estos polímeros, no son biodegradables. La degradación de este tipo de materiales solo puede ocurrir por oxodegradación, que es cuando el oxígeno rompe sus enlaces fragmentando el material, y estos fragmentos son la etapa final del proceso que conducen a una degradación incompleta.

## **2.2.7. Agentes plastificantes**

Los plastificantes son aditivos que se agregan al polímero para mejorar sus propiedades mecánicas y características como la flexibilidad. Los plastificantes se colocan entre las estructuras moleculares del polímero, lo que crea volumen libre entre las cadenas. La temperatura de transición vítrea disminuye como resultado del aumento del volumen libre, lo que hace que un material duro y quebradizo se vuelva más blando (Osswald et al., 2012).

Durante el proceso de termo plastificación del polímero, es importante el agua, así como los agentes plastificantes que se agreguen ya que en conjunto forman puentes de hidrógeno junto con los gránulos de almidón, ya que se forma una unión de los grupos hidroxilo y las moléculas de almidón, lo que permite que al someter a temperatura ocurra la plastificación del almidón, finalmente logrando que se forme un almidón termoplástico, o una harina termoplástica. También se usan en la elaboración de envases biodegradables polialcoholes, por ejemplo, el glicerol con el fin de que se genera la plastificación de almidones. Es por ello que la importancia en la elaboración y desarrollo de materiales bioplásticos radica en usar un plastificante adecuado, así al obtener el producto se tendrás características físicas como la flexibilidad adecuada, y también beneficiaría en la etapa de almacenamiento al disminuir la retrogradación (Navia, 2011).

#### **2.2.8. Tipos de moldeo**

Osswald et al. (2012) menciona los siguientes tipos de moldeo:

- **Tipo 1 – La Extrusión.** “Consiste en bombear una masa de polímero fundido por un troquel dentro de un perfil, cuya forma puede ser una placa, película o tubo, o cualquier forma de la sección transversal del extrusor”.
- **Tipo 2 - Moldeo por inyección.** “Se trata de inyectar a presión un polímero fundido en un molde cerrado y frío. Es cuando el material se solidifica y por ello toma la forma del molde”.
- **Tipo 3 - Moldeo por compresión.** “En este proceso se ubica el polímero en la cavidad del molde (hembra) y se aplica presión (molde macho) y temperatura, para solidificar o curar el polímero, el cual adopta la forma al interior de la cavidad”.
- **Tipo 4 - Moldeo por soplado.** “Es un proceso por medio del cual se producen objetos de plástico huecos, como botellas. Para el proceso de soplado el polímero ingresa fundido (extruido) y se sopla en un molde del cual toma la forma final”.

- **Tipo 5 - Calandrado.** “Proceso en el cual el polímero fundido ingresa a una línea de calandrado formada por pares de rodillos que rotan unidos simultáneamente, para obtener el envase”.

### 2.3. Marco conceptual

- **Aditivos:** “Son sustancias que se añaden con el fin de mejorar características o propiedades en las mezclas, pueden ser estabilizantes, preservantes, entre otros. Las dosis generalmente van desde 0.05 a 5% del peso de la composición” (Enríquez et al., 2012).
- **Agente acoplante:** “Sustancias que son usadas como mediadores de fases en una mezcla donde el almidón se encuentra en fase dispersa, es decir, tiene poca adhesión interfacial, por lo que se le agrega el acoplante para mejorar las propiedades mecánicas” (Enríquez et al., 2012).
- **Agente plastificante:** “Sustancias normalmente líquidas que se adicionan a la mezcla con el fin de mejorar la flexibilidad del material mediante la reducción de las fuerzas intermoleculares. Los más comunes son los polioles, como glicerol y glicerina” (Enríquez et al., 2012).
- **Almidón termoplástico:** “El almidón termoplástico (TPS) puede ser procesado empleando plastificantes y convertido en plástico natural.” (Chinchayhuara y Quispe, 2018).
- **Biodegradable:** “Son materiales capaces de desarrollar una descomposición aeróbica o anaeróbica por acción de microorganismos tales como bacterias, hongos y algas bajo condiciones que naturalmente ocurren en la biosfera. Son degradados por acción enzimática de los microorganismos bajo condiciones normales del medio ambiente.” (Rubiano et al., 2019).
- **Biopolímero:** “Son polímeros basados en recursos renovables o biodegradables que cumplen todos los criterios de las normas científicamente reconocidas para biodegradabilidad y compostaje de plásticos y productos plásticos” (Valero et al., 2013).

- **Degradación:** “Proceso de deterioro que es influenciado por condiciones climáticas, como temperatura, humedad relativa y precipitación, además de las características intrínsecas del producto como humedad, textura, pH, entre otros.” (Nazario et al., 2020)
- **Envases biodegradables:** “Son producidos con biopolímeros que son moléculas que a menudo se encuentran en los organismos vivos, como la celulosa y proteínas. Su composición es variada, La principal característica es la rápida degradación, y que a menudo están hechos de algún desecho o residuo orgánico” (Moreno, 2021).
- **Propiedades físicas:** “Particularmente para envases biodegradables, se consideran la permeabilidad, la resistencia a la punción, el soporte a flexiones, la tolerancia a las tensiones, estas propiedades sumadas a las propiedades de tipo mecánicas como dilatabilidad, adherencia, elasticidad, resistencia a roturas, entre otras, establecen el conjunto de propiedades que podría tener el envase, y cómo afectaría la calidad del producto” (Ruiloba et al., 2018).
- **Pruebas mecánicas:** “Para los envases biodegradables, son evaluaciones de tensión, flexión e impacto que se realizan para determinar la capacidad de soporte del envase en condiciones variables de manipulación o proceso de comercialización, ya sean humedad, almacenamiento, temperatura, apilamiento, transporte, etc.” (Carvajal, 2019).
- **Termoformado:** “Es un proceso de moldeo de preformas termoplásticas que generalmente se encuentran en forma de lámina o plancha” (Calderón y Calisaya, 2014).
- **Tensión y deformación en envases:** “Si una fuerza o carga es estática o bien cambia de forma relativamente lenta con el tiempo y es aplicada uniformemente sobre una sección o superficie de una pieza, el comportamiento mecánico del material puede ser estimado mediante un simple ensayo tensión- deformación” (Llerena y Monzón, 2017).
- **Difracción de Rayos X (DRX):** La difracción de rayos X o XRD es un fenómeno físico producido al interaccionar un haz de rayos X de una cierta longitud de onda con una sustancia cristalina. Se basa en la

dispersión coherente del haz por la materia y en la interferencia constructiva de ondas en fase dispersadas en distintas direcciones del espacio. Esto es posible dado que la longitud de onda de la radiación-X es del orden de las distancias interplanares en los sólidos cristalinos.

- **Análisis Termogravimétrico (TGA):** En un análisis termogravimétrico se registra continuamente la masa de una muestra colocada en una atmósfera controlada en función de la temperatura o del tiempo en que aumenta su temperatura (por lo general, en forma lineal con el tiempo). La representación de la masa o del porcentaje de masa en función del tiempo se denomina termograma o curva de descomposición térmica.
- **Espectroscopia Infrarroja por transformada de Fourier (FTIR):** Esta técnica se fundamenta en la interacción de un haz de infrarrojo con la sustancia alimenticia a medir permitiendo obtener un interferograma, el cual mediante un algoritmo llamado transformada de Fourier se convierte en un espectro que va a estar representado por bandas y picos los cuales variarán en su forma de acuerdo a la naturaleza del alimento.
- **Microscopía Electrónica de Barrido (MEB):** O también conocido como SEM por sus siglas en inglés, es una técnica instrumental que proporciona imágenes de superficies. Este tipo de microscopio no usa lentes, sino imanes que concentran los haces de electrones emitidos por un filamento. Estos imanes electromagnéticos sirven para concentrar más o menos los haces de electrones. Los electrones no atraviesan la muestra sino que interactúan con su superficie y rebotan.

### III. MATERIALES Y MÉTODOS

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

A continuación, en la siguiente tabla se muestran las variables e indicadores del presente estudio de investigación:

**Tabla 2. Operacionalización de variables.**

VARIABLES	DEFINICIÓN CONCEPTUAL	DEFINICIÓN OPERACIONAL DIMENSIONES	INDICADORES
Variable independiente (Vi) Cáscara y semillas de Mango ( <i>Mangifera indica</i> L.)	La cáscara de mango es rica en fibra dietaria (pectina, celulosa y hemicelulosa), que en conjunto con el almidón de la semilla de <i>Mangifera indica</i> tienen gran potencial para el desarrollo de envases biodegradables.	Diferentes concentraciones de fibra de semillas de <i>Mangifera indica</i> L..	T1: 100% Semilla T2: 5% Cáscara - 95% Semilla T3: 10% Cáscara- 90% Semilla T4: 15% Cáscara- cáscaras y almidón 85% Semilla T5: 20% Cáscara - 80% Semilla T6: 25% Cáscara- 75% Semilla T7: 30% Cáscara- 70% Semilla
Variable dependiente (Vd) Envases biodegradables	Los envases biodegradables obtenidos a partir de residuos orgánicos deben cumplir con ciertas características o propiedades mecánicas, físicas y microestructurales que aseguren su calidad.	Pruebas físicas Pruebas mecánicas Pruebas estructurales	Color, humedad, densidad, espesor, capacidad de absorción de agua, y sólidos volátiles. Resistencia, elongación, dureza, y fracturabilidad. DRX, TGA, FTIR, MEB

#### 3.2. Métodos de la investigación

Descriptivo ( ), Experimental (X), Histórico ( ), Bibliográfico ( )

### **3.3. Población y muestra**

La población en este trabajo de investigación son las cáscaras y semillas descartadas en el proceso de transformación del mango por las empresas agroexportadoras de mango congelado IQF ubicadas en la región de Ancash, Perú.

La muestra son 25 kg tanto de cáscaras como de semillas provenientes de la empresa Inversiones Frigoríficas PRC, ubicada en la ciudad de Santa, Ancash, Perú. De cuya muestra obtendremos el objeto de estudio que vendrían a ser la harina de las cáscaras y el almidón de las semillas de mango.

### **3.4. Lugar de ejecución**

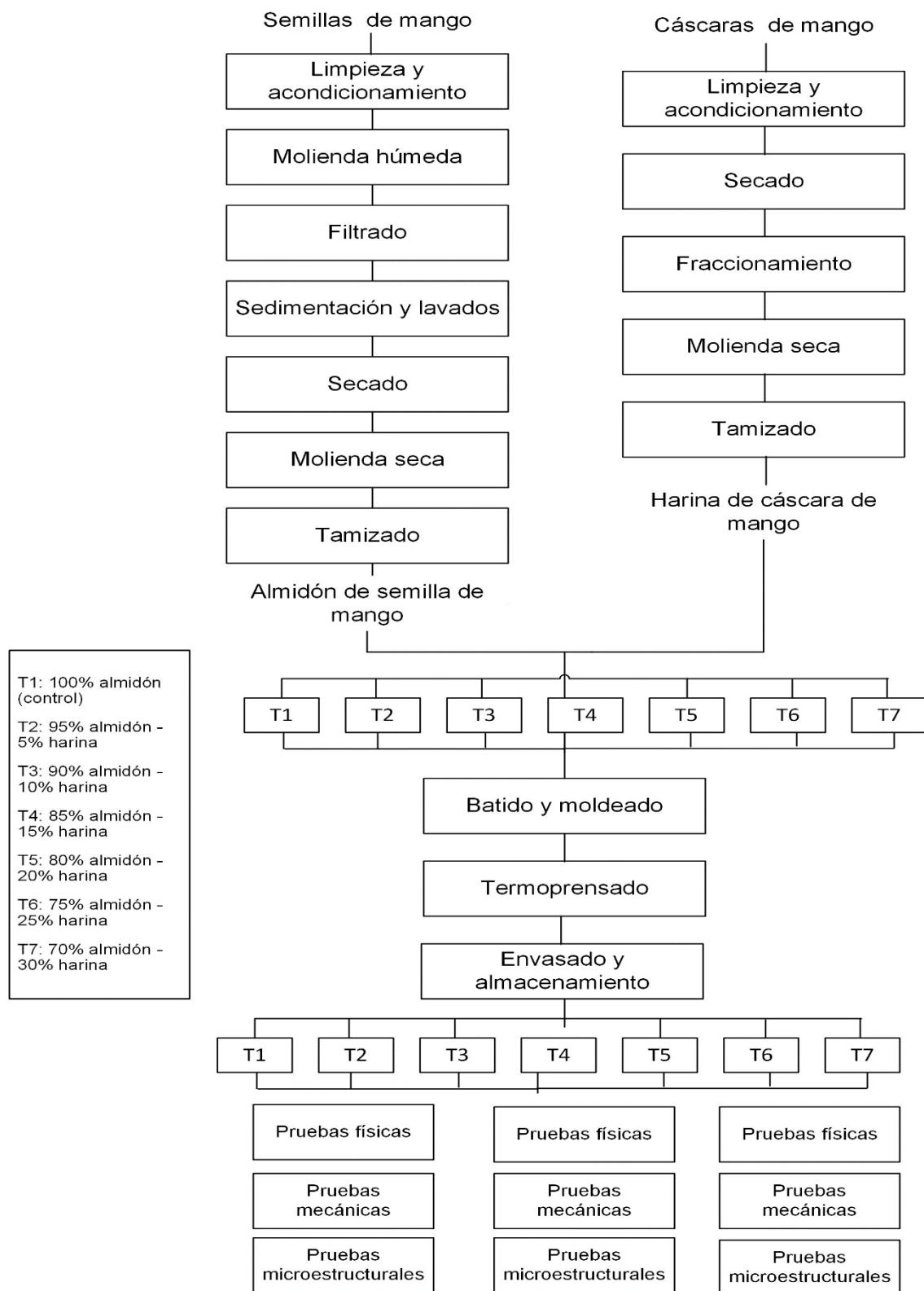
Este trabajo de investigación se ejecutó en laboratorios de la Universidad Nacional del Santa, la Universidad Nacional de Trujillo y la Universidad Privada Antenor Orrego.

- Laboratorios del Instituto de Investigación Tecnológica Agroindustrial de la UNS.
- Laboratorio de Microbiología y Toxicología de la EPIA de la UNS.
- Laboratorio Análisis y Composición de Productos Agroindustriales de la EPIA de la UNS.
- Laboratorio de Operaciones Unitarias de la EPIA de la UNS.
- Planta piloto de la Universidad Nacional del Santa.
- Laboratorios de Ingeniería de Procesos Agroindustriales de la Universidad Nacional de Trujillo (UNT).
- Laboratorio de Biopolímeros Agroindustriales de la Escuela de Química de la Universidad Privada Antenor Orrego (UPAO).
- Laboratorio de Investigación agroindustrial de la Universidad Nacional José María Arguedas (UNJMA).

### 3.5. Diseño o esquema de la investigación

El diseño de la investigación consiste en lo siguiente:

**Figura 3.** Diseño experimental.



## 2.6. Actividades del proceso investigativo

### 3.5.1. Métodos

#### OBTENCIÓN DE HARINA DE CÁSCARA DE MANGO

##### 1. Limpieza y desinfección

Las cáscaras de mango acopiadas se almacenaron a 4°C hasta su proceso. El primer paso en el proceso fue el de lavar y retirar todo resto de pulpa de las cáscaras de mango, para luego sumergirlas una solución de 20ppm de hipoclorito de sodio.

##### 2. Secado

Las cáscaras de mango limpias y desinfectadas fueron distribuidas en las bandejas del secador de bandejas por un tiempo de 30 horas a 60°C, hasta que las cáscaras alcancen una humedad del 8%.

##### 3. Fraccionamiento

Se realizó una pre molienda, fraccionando las cáscaras en pequeños trozos solo con el fin de facilitar el proceso de molienda en el equipo.

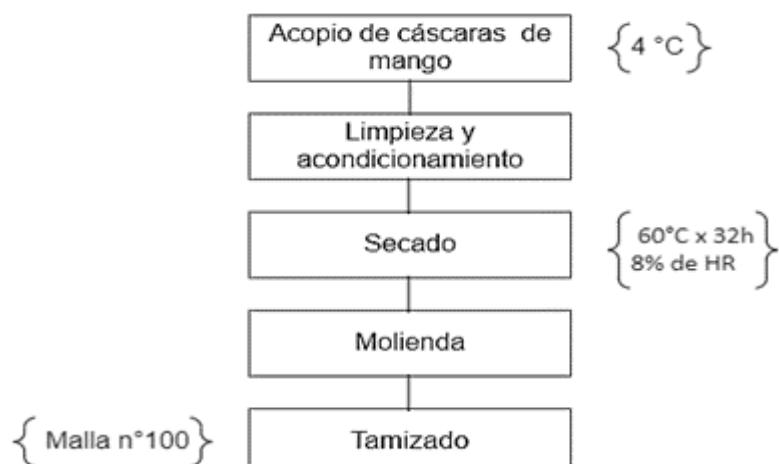
##### 4. Molienda

La molienda de las cáscaras secas y fraccionadas se realizó en el molino de martillos con malla fina para obtener la harina.

##### 5. Tamizado

Seguidamente la harina fue tamizada en un tamiz manual número 100. Después la harina obtenida fue empaquetada en bolsas herméticas, y almacenada hasta su uso.

**Figura 4.** Diagrama de flujo de la obtención de harina de cáscara de mango.



## **OBTENCIÓN DE ALMIDÓN DE SEMILLA DE MANGO**

### **1. Limpieza y acondicionamiento**

Se recepcionaron las semillas de mango y se almacenaron a 4°C hasta su proceso. El primer paso en el proceso fue el de limpieza de la semilla, y extracción de los embriones al interior de las semillas. Una vez extraídos estos embriones fueron acondicionados sumergiéndolos en una solución de agua: ácido cítrico al 5% por un tiempo de 30 minutos, para evitar el pardeamiento enzimático.

### **2. Molienda húmeda**

Seguidamente se fraccionaron manualmente los embriones de las semillas de mango, para poder licuarlas con agua destilada en un volumen 1:1 por un tiempo de 1 minuto.

### **3. Filtrado**

La solución obtenida en el licuado fue filtrada en telas de tocuyo o tul, separando las partículas grandes del contenido líquido.

### **4. Sedimentación y lavados**

El líquido se dejó sedimentar por 24 horas a temperatura ambiente en envases de vidrio transparente, y al día siguiente se separó el almidón sedimentado del sobrenadante. Seguidamente se realizaron 4 lavados más al almidón con agua destilada cada 2 o 3 horas, para obtener un almidón puro.

### **5. Secado**

El almidón obtenido se secó en bandejas en estufa a 40°C por 48 horas aproximadamente.

### **6. Molienda seca**

El almidón seco fue molido en un molino automático para lograr obtener una pasta homogénea.

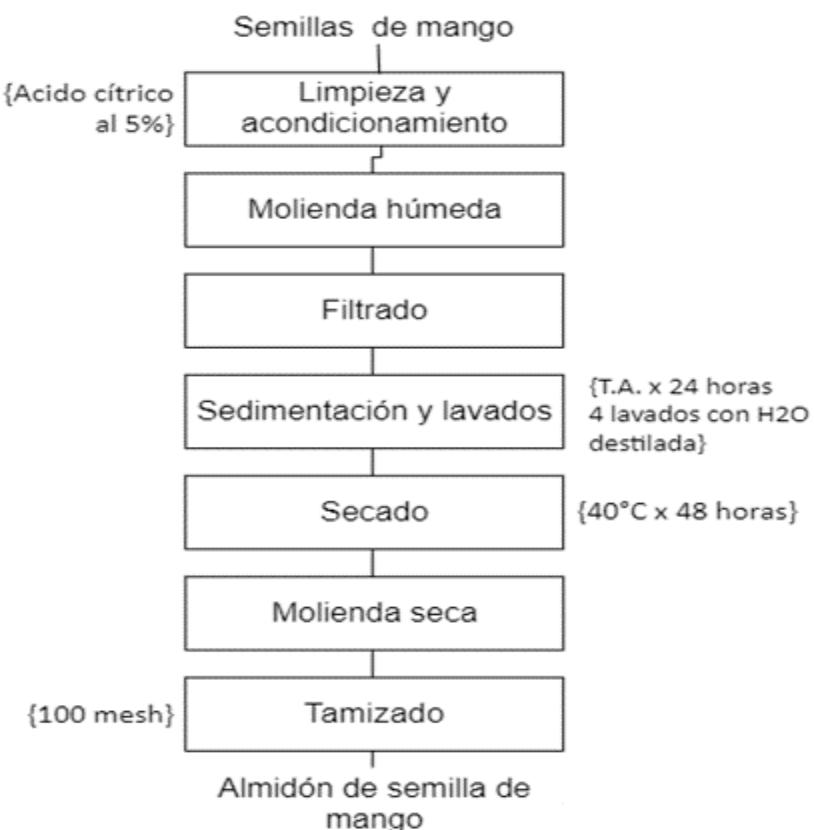
### **7. Tamizado**

Se tamizó el almidón fraccionado en un tamiz de 100 mesh.

### **8. Almacenamiento**

Se almacenó el almidón en bolsas zipper hasta su proceso.

**Figura 5.** Diagrama de flujo de la obtención de almidón de semilla de mango.



### Análisis a la harina de cáscara de mango, y almidón de semilla de mango

- **Determinación de humedad**

De acuerdo al método A.O.A.C. 32.1.03. (2006), por estufa.

- **Determinación de grasas**

De acuerdo al método A.O.A.C. 920.39C (1990), por Soxhlet.

- **Determinación de fibra**

De acuerdo al método A.O.A.C. 985.29 (1995), método enzimático-gravimétrico adaptado de (Proskey et al., 1988).

- **Determinación de cenizas**

De acuerdo al método A.O.A.C. 923.03 (1990), por gravimetría en mufla.

- **Determinación de proteínas**

De acuerdo al método NTP 205.05.2018, método Kjeldahl.

- **Carbohidratos:** Se determinó por diferencia del total (100%).

## **OBTENCIÓN DE ENVASES TIPO BANDEJAS BIODEGRADABLES POR EL MÉTODO DEL TERMOFORMADO**

### **1. Pesado**

Una vez obtenidos el almidón de la semilla del mango, y la harina de la cáscara de mango, se proceden a realizar el pesado en un recipiente de plástico según las formulaciones de cada uno de los 7 tratamientos que se plantearon estadísticamente.

### **2. Primera adición y mezcla**

En el mismo recipiente donde están pesados el alimón de la semilla del mango, y la harina de la cáscara de mango, se pesan los insumos secos, la goma guar al 1%, y el estearato de magnesio al 6% de la mezcla total, se proceden a mezclar con un utensilio hasta que este uniforme la mezcla.

### **3. Segunda adición**

En la segunda adición se agrega la glicerina al 7% del peso total de la mezcla, y el agua destilada que varía según el tratamiento y la cantidad de mezcla, pero generalmente va entre 80 a 120ml.

**Tabla 3. Formulaciones: materia prima, insumos y parámetros del proceso de termoformado.**

	MATERIA PRIMA (%)		INSUMOS (%)				PARÁMETROS DEL EQUIPO TERMOPRENSA			
	Almidón de semilla de mango	Harina de cascara de mango	Agua dest. (ml)	Glicerina	Goma Guar	Esterato de magnesio	Peso de la masa (g)	Ts (°C)	Ti (°C)	Tiempo (min)
T1	100	-	70	7%	1%	6%	75	145	140	5
T2	95	5	72	7%	1%	6%	75	145	140	5
T3	90	10	80	7%	1%	6%	80	145	140	5
T4	85	15	80	7%	1%	6%	80	145	140	5
T5	80	20	82	7%	1%	6%	80	145	140	5
T6	75	25	84	7%	1%	6%	84	145	140	5
T7	70	30	84	7%	1%	6%	85	145	140	5

#### **4. Batido y amasado**

Se procede a batir la mezcla en una batidora semindustrial con el mango de gancho de alambre, por un tiempo de 3 minutos hasta lograr una masa homogénea.

#### **5. Pesado y boleado**

La masa obtenida se separa en pequeños trozos, y se pesan en placas petri entre 70 a 85g, dependiendo del tratamiento. Cada trozo se amasa en forma ovalada para ser colocado entre los platos del equipo termoprensa.

#### **6. Termoprensado**

La masa en forma ovalada se coloca entre los platos del equipo termoprensa que están previamente engrasados y se coloca un molde de papel manteca entre los platos del equipo. Los parámetros de termoprensado que se manejaron fueron temperatura del plato inferior ( $T_i$ ) a 140°C, y temperatura del plato superior ( $T_s$ ) a 145°C, por un tiempo de 5 minutos por bandeja. Terminado el proceso de formación se procede a retirar la bandeja entre los platos y se cortan los bordes con el excedente de masa que haya salido para darle un mejor aspecto a la bandeja obtenida.

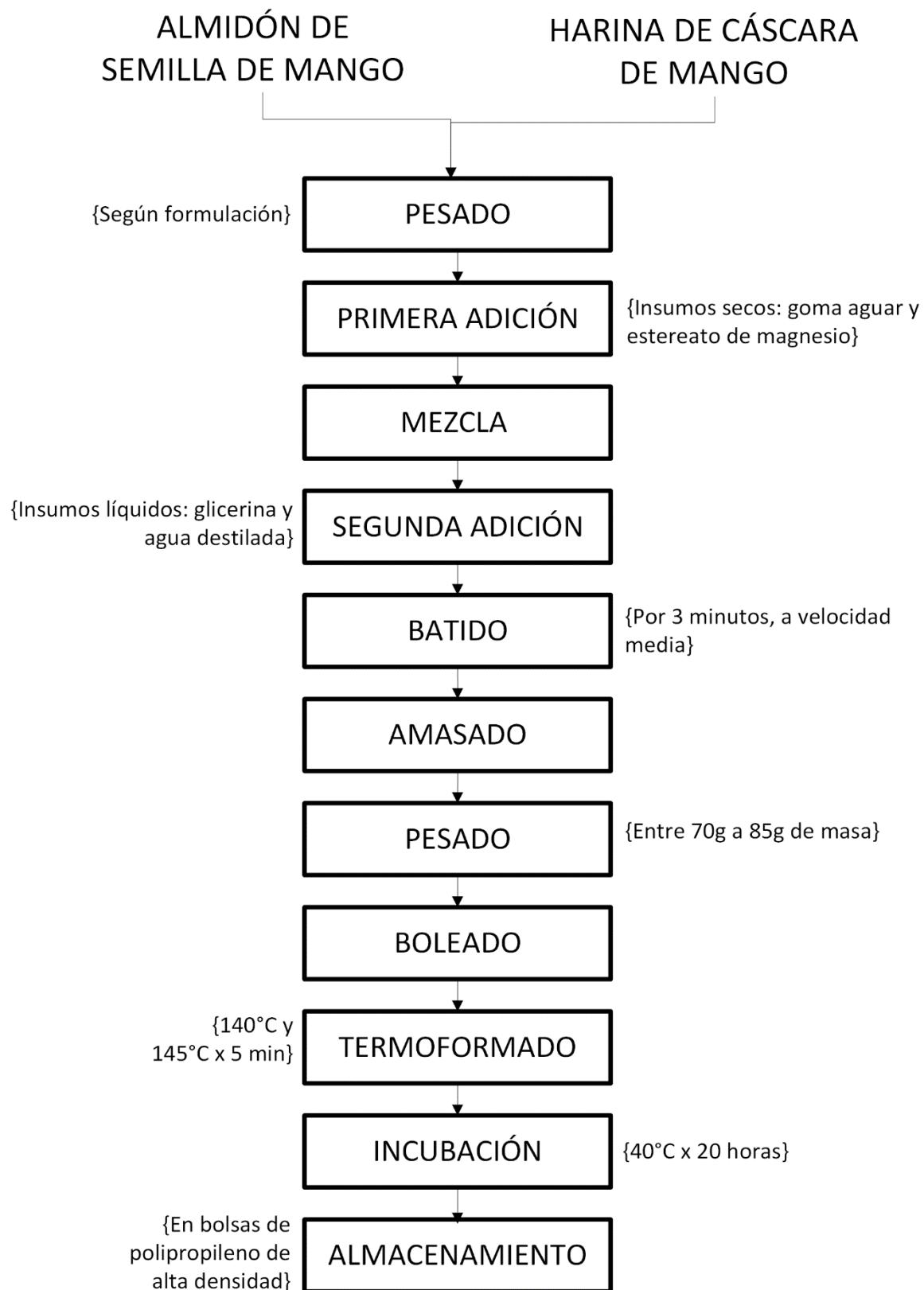
#### **7. Incubación**

Se colocan las bandejas obtenidas en una estufa o incubadora a 40°C por 20 horas.

#### **8. Almacenamiento**

Transcurrido el tiempo se almacenaron las bandejas obtenidas en bolsas de polipropileno de alta densidad, y fueron selladas con calor hasta su análisis.

**Figura 6.** Diagrama de flujo para la formación de bandejas biodegradables mediante el termoformado.



## **Pruebas físicas para las bandejas biodegradables**

### **- Determinación de densidad**

Siguiendo la metodología planteada por Amaya (2017), las muestras de bandejas fueron cortadas en pequeñas partes con dimensiones de 100mm x 25mm, para posteriormente determinar el volumen (cm<sup>3</sup>) multiplicando sus dimensiones, y se pesó para hallar su masa (g). La densidad se halló con la siguiente ecuación:

$$\text{Densidad (g/cm}^3) = \frac{\text{masa}}{\text{volumen}}$$

### **- Determinación de color**

Se midió con el equipo colorímetro, y se reemplazaron los valores de L\*, a\* y b\*, en la siguiente ecuación siguiendo la metodología de Salgado et al. (2008) para determinar el valor del color de cada muestra, el análisis se realizó por triplicado.

$$\Delta E^* = [\Delta L^*2 + \Delta a^*2 + \Delta b^*2]^{1/2}$$

### **- Determinación de espesor**

Se determinó el espesor con un micrómetro manual con sensibilidad de 0.001mm, para esto primero se cortaron tiras de las bandejas biodegradables en medidas de 50 x 50 mm y se tomaron 4 puntos de cada lado de las tiras obtenidas, siguiendo así la metodología de Mello & Mali (2014).

### **- Análisis de humedad**

El procedimiento para determinar humedad se realizó según el método A.O.A.C 950.46. (2005), que consiste en pesar 5g de cada muestra y colocarlo en la estufa por un tiempo de 3 horas a 105°C., en este caso se fraccionó una parte de la bandeja, haciéndola trozos casi polvo.

$$\text{Humedad (\%)} = \frac{Pm - (Pf - Pi)}{Pm} \times 100$$

**Dónde:** Pm es peso de la muestra, Pf es peso final, y Pi peso inicial.

- **Determinación de capacidad de absorción de agua**

Para determinar esta propiedad física se siguió lo planteado en el método COBB (NBRNM-ISO 535, 1999). Primero se procedió a cortar tres tiras de cada bandeja en medidas de 25x50mm, para seguidamente pesar cada tira, y luego sumergirla en un vaso de precipitado con agua destilada durante 1 minuto, retirarla y secar el exceso de agua con papel toalla, para finalmente pesar la tira. Los valores de peso se reemplazan en la siguiente fórmula:

$$\text{Capacidad de Absorción de Agua (\%)} = \frac{\text{Peso final} - \text{Peso inicial}}{\text{Peso inicial}} \times 100$$

**Dónde:**

**Peso inicial:** Peso de la tira seca en gramos.

**Peso final:** Peso de la tira luego de la inmersión en gramos.

- **Análisis de sólidos volátiles**

Se realizó mediante el método 1684 “Total, Fixed, and Volatile Solids in Water, Solids, and Biosolids”, sección 2540G (Standard Methods, 2001). Se pesó 1g de la muestra en una placa y se llevó a secar en una estufa a 105°C hasta tener un peso constante (3 horas aproximadamente). Después, se llevaron las muestras a una mufla a una temperatura de 550°C durante alrededor de 20 minutos, y luego se enfrió en unas campanas de desecación para registrar su peso de nuevo. El análisis se realizó por triplicado y se aplicó la siguiente fórmula:

$$\text{Sólidos volátiles (\%)} = \frac{W_s - W_c}{W_s} \times 100$$

**Dónde:**

**Ws:** Peso seco de la muestra a 105°C, y

**Wc:** El peso de la muestra que se calcina a 505°C.

## **Pruebas mecánicas a las bandejas biodegradables**

Se determinaron las propiedades mecánicas por triplicado de resistencia (MPa) y elongación (%), con el equipo texturometro TA. HD Plus, cortando tiras de las bandejas en medidas de largo de 10cm x 2.5cm de largo y ancho respectivamente, con las siguientes condiciones de prueba: Distancia de separación entre mordazas de 80mm, probeta A/HDG 100Kg, sensibilidad a la ruptura de 100g, celda de carga de 100kg-f, distancia de deformación (target mode) de 20mm, velocidad del post test de 10.00mm/sec, y velocidad del pre test y del test de 0.50mm/sec.

Las propiedades de dureza (N), y fracturabilidad (mm) se determinaron también por triplicado con el equipo texturometro TA. HD Plus en muestras de 5x5cm de cada bandeja biodegradable, con condiciones de prueba: probeta P/0.5S, distancia de deformación (target mode) de 15mm, celda de carga 100kg, velocidad del post test de 10.00mm/sec, velocidad del test 1.00mm/sec, velocidad del pre test de 1.50mm/sec.

## **Pruebas estructurales de las bandejas biodegradables**

### **- Espectroscopia de Infrarrojos por Transformada de Fourier (FTIR)**

La preparación de la muestra para el análisis inicia con el secado a 40°C por 2 horas, y la pulverización de 5g de la muestra, en este caso de la bandeja biodegradable. Seguidamente se realiza la lectura en el equipo FT-IR-ATR (Nicolet IS 50, Thermo Scientific, EE. UU), se colocaron aproximadamente 200mg de la bandeja seca y pulverizada. La lectura para evaluar los grupos funcionales de las bandejas biodegradables se hizo a temperatura ambiente y humedad relativa inferior a 60%, con reflectancia total atenuada (ATR) y con un rango de onda de 400-4000 cm<sup>-1</sup>.

### **- Microscopía Electrónica de Barrido ( MEB)**

La preparación de muestra se realizó haciendo un corte transversal a la bandeja biodegradable, seguidamente fue puesta en una unidad de vacío con fibra de carbón, equipo de recubrimiento oro-carbón (SPI-

MODULE Carbón Coater), con parámetros de presión de vacío entre 2 a 10 atmósferas, corriente de 3 amperios, tiempo de calentamiento de 15 segundos. Transcurrido el tiempo se ventila la cámara y se pasa la muestra al Microscopio Electrónico de Barrido (TESCAN, modelo Vega 3 LMU) con aceleración de voltaje de 10KV y un nivel de aumento de 33x, y WD de 20.00 mm, y campo de vista de 6.29mm.

- **Análisis Termogravimétrico (TGA)**

El análisis termogravimétrico se realizó de acuerdo a la norma ASTM (2017) E1131-08 tga, con el equipo TA Instruments DSC25 Serie con software Trios V5.4.0.300, para determinar la cantidad de materia altamente volátil, materia medianamente volátil, material combustible y contenido de cenizas de los compuestos de las bandejas biodegradables. La preparación de la muestra consistió en pesar 100mg de la bandeja biodegradable pulverizada sobre el portamuestra de platino para someterlo a calor hasta una temperatura de 800°C, con intervalo de 25°C y una celeridad de 10°C por minuto, los datos fueron registrados por el software del equipo.

- **Difracción de Rayos X (DRX)**

Las muestras de la bandeja fueron pulverizadas y tamizadas (partículas <300 µm), y el análisis de difracción se realizó en un modelo de difractor de rayos X D8 ADVANCE eco - Bruker, con software DIFFRAC.SUITE EVA V4.1.1. Usando una radiación ka de cobre ( $\lambda = 1.54060 \text{ \AA}$ ) y una tensión de 30 kV y una corriente de operación de 10 mA, potencia de 300 watts. Los análisis se realizaron con una rampa de 0.02° / segundo entre  $2\theta = 5^\circ$  y  $2\theta = 60^\circ$ . Se usó la siguiente fórmula para determinar el Índice de Cristalinidad (IC), según el método de Nara y Komiya (1993):

$$IC (\%) = (1 - I_2 / I_1) \times 100$$

**Dónde:**  $I_1$  es la máxima intensidad del pico cristalino, y  $I_2$  es la intensidad del pico amorfo

### **3.5.2. Materiales y equipos**

#### **Materias primas e insumos**

- 25 kg de semillas de mango variedad Kent
- 25 kg de cáscaras de mango variedad Kent
- Glicerina ( $C_3H_8O_3$ ) P.A. 99.5%
- Goma guar USP (grado alimentario)
- Estearato de magnesio P.A. ( $Mg(C_{18}H_{35}O_2)_2$ )
- Agua destilada

#### **Reactivos**

Todos los reactivos necesarios para la determinación de la composición química proximal y características fisicoquímicas de las materias primas y las bandejas biodegradables: éter de petróleo, ácido clorhídrico (HCl), hidróxido de sodio (NaOH), buffer fosfato 0.08M, enzima  $\alpha$  – amilasa, amiloglucosidasa, proteasas, celite ( $CNa_2O_3$ ), acetona, alcohol etílico de 96° y 70°, entre otros.

#### **Materiales de vidrio, metal y plástico**

- Vasos de precipitado de 50, 250, 500, y 1000 ml.
- Matraces 250 ml.
- Probetas de 50 y 100 ml.
- Crisoles de 15 ml y 25ml
- Placas petri
- Varillas de agitación
- Baldes y depósitos de plástico de 20L
- Coladores de plástico y de acero.
- Recipientes de plástico de capacidad de 20kg

- Jarras medidoras de plástico
- Espátulas de metal
- Pinzas de metal y madera

### **Otros materiales**

- Papel manteca
- Papel filtro
- Papel toalla
- Guantes descartables y tocas
- Brochas pequeñas
- Papel aluminio
- Regla y tijeras
- Telas de tul u organza
- Cuchillos y cucharas de acero inoxidable
- Bolsas zipper
- Bolsas de polipropileno de alta densidad

### **Equipos**

- **Equipo: Balanza analítica**

Marca: OHAUS - USA

Modelo: PX323

Serie: CO33852589

- **Equipo: Balanza analítica**

Marca: PRECISA

Modelo: LX 220A

- **Equipo: Balanza de gran capacidad**

Marca: VALTOX

Modelo: LP100EP-607-2

- **Equipo: Batidora de mano**

Marca: IMACO

Modelo: HM505

- **Equipo: Batidora semiindustrial**

Marca: Ilumi

Modelo: B-10L

Serie: B-10L-2205060002

- **Equipo: Termoprensa**

Marca: RELES

Modelo: PHECL / D 10

Serie: 547 - 21

- **Equipo: Secador de bandejas**

Marca: INOX-TRON

Procedencia: AALINAT – Lima, Perú

- **Equipo: Juego de tamices**

Marca: CORMAC PERÚ

Especificación: A.S.T.M. E - 11

- **Equipo: Módulo de molienda y tamizado**

Marca: TORRH

Modelo: MDMT – 60XL

Serie: JP 001 11 12

- **Equipo: Estufa**

Marca: POLEKO APARATURA

Modelo: SLN 115 STD INOX-G

- **Equipo: Incubadora**

Marca: MEMMERT  
Modelo: BE-400  
Serie: E-497-0716
- **Equipo: Mufla**

Marca: THERMOLYNE  
Modelo: 347034984
- **Equipo: Soxhlet**

Marca: FOSS  
Modelo: SOXTEC
- **Equipo: Determinador de fibra**

Marca: FOSS  
Modelo: Fibertec TME
- **Equipo: Congeladora eléctrica**

Marca: VENTUS  
Modelo: CTV – 320 Q
- **Equipo: Licuadora industrial**

Marca: INOXTRON
- **Equipo: Colorímetro**

Marca: Shenzhen Kingwell Instruments Co  
Modelo: JZ-300
- **Equipo: Micrómetro**

Marca: Mitutoyo  
Modelo: 1402
- **Equipo: Texturómetro**

**Marca:** Micro System

**Modelo:** TA. HD Plus

- **Equipo: Microscopio Electrónico de Barrido**

Marca: Tescan

Modelo: Vega 3 LMU

- **Equipo: Termogravimétrico**

**Marca:** TA 165 Instruments thermogravimetric analyze

**Modelo:** TGA-Q500

- **Equipo: Espectrómetro FTIR**

**Marca:** Thermo Scientific

**Modelo:** Nicolet IS50

- **Equipo: Difractómetro de rayos X**

Marca: DS ADVANCE

Modelo: Eco-brunker

### **3.6. Técnicas e instrumentos de la investigación**

Las técnicas de recolección de datos que se aplicaron a este trabajo de investigación son las siguientes:

- Técnica de documentación
- Técnica de observación

Los instrumentos de recolección de datos que se usarán son:

- Fichas de registro de información
- Tablas de datos experimentales
- Internet para acceder a base de datos de revistas científicas y de páginas Web.

En la parte estadística se utilizará el diseño de mezclas mediante el programa Statgraphic para 7 tratamientos con 3 repeticiones, los que representan los tratamientos T1, T2, T3, T4, T5, T6, y T7. Los resultados obtenidos en la formulación de los envases biodegradables se muestran a continuación:

**Tabla 4. Intervalos y unidades de las variables independientes.**

VARIABLES INDEPENDIENTES	MÍNIMO	MÁXIMO	UNIDADES
Almidón de semilla de mango	70	100	%
Harina de cáscara de mango	5	30	%

Las formulaciones obtenidas estadísticamente se detallan a continuación, para el diseño de mezclas se tuvo en cuenta un número de factores experimentales de 1, número de bloques de 1, cantidad de tratamientos de 7, grados libertad de 14, y de manera aleatoria, obteniendo los siguientes tratamientos para la elaboración de bandejas biodegradables a partir de almidón de la semilla de mango y harina de la cáscara de mango:

**Tabla 5. Formulaciones en la elaboración de envases biodegradables a partir de cáscara y semilla de mango.**

TRATAMIENTO	ALMIDÓN DE SEMILLA DE MANGO (%)	HARINA DE CÁSCARA DE MANGO (%)
T1	100	-
T2	95	5
T3	90	10
T4	85	15
T5	80	20
T6	75	25
T7	70	30

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

Las técnicas de procesamiento y análisis de datos que se emplearán son las siguientes:

- Hoja de cálculo “EXCEL”
- Software de diseño estadístico STATGRAPHIC con el diseño de mezclas.
- Análisis ANOVA, para determinar su nivel de significancia al 95%.
- Análisis comparativo entre medias para evaluar la significancia entre cada tratamiento.

#### **Modelo del diseño experimental**

**Tabla 6. Modelo del experimento para la evaluación de las propiedades físicas de las bandejas biodegradables.**

	Almidón de semilla de mango (% ± σ)	Harina de cáscara de mango (% ± σ)
Humedad		
Proteínas		
Grasa		
Cenizas		
Fibra Dietética		
Total		
Carbohidratos		

**Tabla 7. Modelo del experimento para la evaluación del color en las bandejas biodegradables.**

Tratamiento	L*	a*	b*	COLOR
T1				
T2				
T3				
T4				
T5				
T6				
T7				

**Tabla 8. Modelo del experimento para la evaluación de las propiedades físicas de las bandejas biodegradables.**

Tratamientos	Humedad (%)	Densidad (g/cm <sup>3</sup> )	Espesor (mm)	Cap. absorción de agua (%)	Sólidos Volátiles (%)
T1					
T2					
T3					
T4					
T5					
T6					
T7					

**Tabla 9. Modelo del experimento para la evaluación de las propiedades mecánicas de las bandejas biodegradables.**

Tratamiento	Resistencia (MPa)	Elongación (%)	Dureza (N)	Fracturabilidad (mm)
T1				
T2				
T3				
T4				
T5				
T6				
T7				

## IV. RESULTADOS Y DISCUSIONES

### 4.1. Composición química proximal de la harina y almidón de mango (*Mangifera indica L.*)

Se realizó la composición química proximal de la harina de cáscara de mango como del almidón de la semilla de mango variedad Kent, proveniente de Tambogrande, Piura, Perú. Los que se expresan en base seca en la siguiente tabla 10:

**Tabla 10. Composición química proximal de la harina de la cáscara de mango y almidón de la semilla de mango.**

	Almidón de semilla de mango (% ± σ)	Harina de cáscara de mango (% ± σ)
<b>Humedad</b>	6.29 ± 0.13	8.03 ± 0.16
<b>Proteínas</b>	0.75 ± 0.01	4.10 ± 0.01
<b>Grasa</b>	0.05 ± 0.06	6.97 ± 0.18
<b>Cenizas</b>	0.36 ± 0.02	5.28 ± 0.02
<b>Fibra Dietética total</b>	6.27 ± 0.01	39.82 ± 0.43
<b>Carbohidratos</b>	86.28 ± 0.01	35.8 ± 0.01

En la tabla 10 se detalla la composición química proximal del almidón de semilla de mango en base seca, estos resultados difieren de los resultados reportados por Ruiloba et al. (2018) que obtuvieron humedad de 3.87%, y el valor de proteína en 3.9%, la diferencia puede deberse a la variedad de mango, a factores agronómicos o al proceso de extracción u obtención del almidón. Medina et al. (2010) afirma que el proceso de extracción del almidón influye directamente en la composición química proximal del almidón obtenido y por ende en la calidad de este. Pero, por el contrario, estos valores están dentro del rango de valores que establece Molina (2019) para humedad del 4.51% al 7.60%, cenizas de 0.04% a 0.30%, lípidos de 0.05% al 2.12%, y proteína de 1.10% a 3.46%. Anticona y Torres (2020), reportan valores de humedad de 8.25%,

proteínas de 2.39%, grasas de 0.70%, cenizas 0.75%, fibra cruda de 2%, y carbohidratos de 85.9%, siendo algunos valores diferentes a los que encontramos en esta investigación. La diferencia con otros autores puede ser debido a factores como el clima, tiempo de cosecha, grado de maduración del fruto, por lo que se deduce que tiene gran influencia el manejo agronómico sobre la semilla de mango. Arce & Hernández (2022) reportan valores de humedad para el almidón de mango en un rango del 7%, por lo que el resultado obtenido se encuentra dentro del rango aceptable en todos los valores proximales. El almidón obtenido presentó alto contenido de carbohidratos 86.28%, seguido de la humedad 6.29%, fibra de 6.27%, proteínas de 0.75%, y grasa de 0.05%. El alto contenido de fibra en el almidón pudo haberse debido al contenido residual de cotiledones en la extracción del almidón, ya que los cotiledones son una capa que rodea al embrión de la semilla de mango y que muchas veces se encuentra muy pegado al embrión lo que hace que no se desprenda por completo, por lo que pudo haber sido una probable causa.

En cuanto a la composición química proximal de la harina de la cáscara de mango se obtuvo valores de humedad de 8.03%, proteínas de 4.10%, grasa de 6.97%, cenizas de 5.28%, fibra de 39.82%, y carbohidratos de 35.8%, estos valores son muy cercanos a los reportados por Medina et al. (2017) humedad de 7.99%, cenizas de 1.74%, proteínas 2.88%, las diferencias entre los valores pueden ser por la naturaleza del fruto, el estado de madurez, el proceso de obtención de la harina, entre otros factores. En cuanto a los valores de Fibra Dietética Total se encontró un alto porcentaje en la harina de mango del 39.682% lo que representa un alto contenido en celulosa, hemicelulosa, pectinas, entre otros polisacáridos que cumplen la función de retención de agua, formar soluciones más viscosas, y la capacidad de formar redes o estructuras más resistentes, como lo relata Cedeño y Zambrano (2014), por lo que se concluye que la harina de mango aporta una gran funcionalidad en la elaboración de bandejas biodegradables.

## 4.2. Características físicas de las bandejas biodegradables

- **Determinación de color**

Se obtuvieron los siguientes resultados mostrados en la tabla 11 para la prueba colorimétrica en las bandejas biodegradables en los 7 tratamientos por el método CIELAB, con un valor  $p<0.05$ , con un nivel del 95.0% de confianza. En el anexo 7, en la prueba de color, se puede apreciar las tonalidades de las bandejas que varían de un color marrón light a un color marrón más intenso.

**Tabla 11. Promedio de los parámetros L\*, a\*, b\*; de las bandejas biodegradables.**

Tratamiento	L*	a*	b*	COLOR
T1	52.97 ± 0.33	3.65 ± 0.10	11.58 ± 0.21	54.34 ± 0.22
C T2	49.61 ± 0.42	3.73 ± 0.09	11.20 ± 0.14	50.99 ± 0.36
C T3	46.57 ± 0.14	3.99 ± 0.30	11.64 ± 0.43	48.17 ± 0.29
O T4	45.37 ± 0.56	3.94 ± 0.39	11.15 ± 0.13	46.88 ± 0.42
m T5	43.22 ± 0.32	3.66 ± 0.06	11.30 ± 0.24	44.82 ± 0.13
o T6	42.54 ± 0.39	3.47 ± 0.06	10.62 ± 0.1	43.98 ± 0.25
T7	39.81 ± 1.04	3.08 ± 0.11	10.1 ± 0.30	41.19 ± 0.37

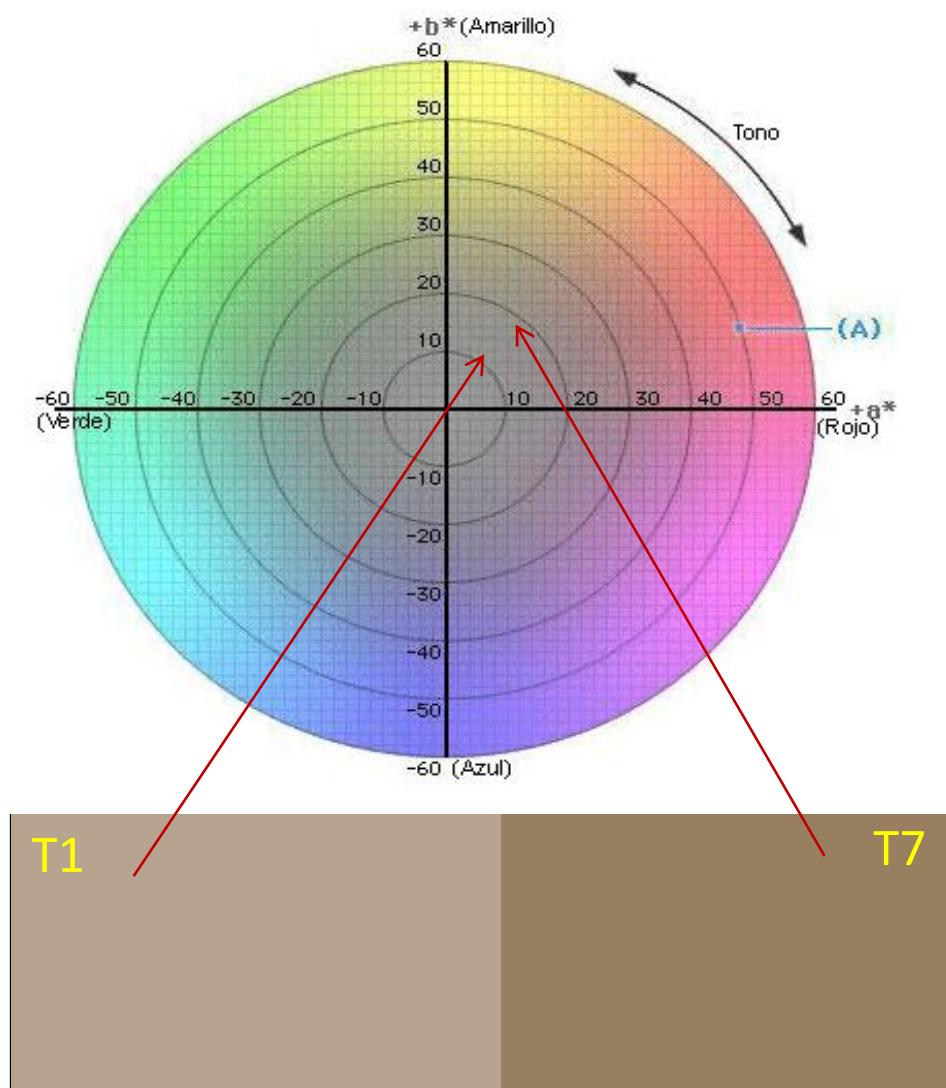
En la tabla 11 se aprecian como los valores de color van disminuyendo desde el tratamiento T1 al T7, eso es debido a que conforme se aumentó la concentración de harina de cáscara de mango la bandeja se tornó un color más oscuro, esto es debido al efecto de los pigmentos propios de la harina de cáscara de mango que con efecto del calor en el proceso de termoformado (temperaturas mayores a 120°C) originan tonalidades más oscuras en las bandejas biodegradables.

Para los tratamientos se obtuvieron valores de **luminosidad (L\*)** entre 52.97 y 39.81, siendo tonalidades medias de luminosidad en un rango máximo de 100 que representa el color blanco, y de 0 que representa el color negro. En cuanto a la **coordenada a\*** se obtuvieron valores positivos en un rango de 3.99 a 3.08, con tendencia a disminuir conforme el aumento de harina de cáscara de mango, por lo que se

encuentran dentro de la zona de tonos rojizos; y con respecto a la **coordenada b\*** se encontraron valores comprendidos entre 10.1 y 11.64, que disminuyeron también conforme aumentaba la concentración de harina de cáscara de mango, encontrándose estos valores en la zona de los tonos amarillos.

En esta investigación se calculó el color RGB con el portal Nix color sensor, mediante los parámetros L\* (luminosidad), a\* y b\* (coordenadas cromáticas), obteniendo las siguientes tonalidades mostradas en la figura 7 para los tratamientos T1 y T7 de las bandejas biodegradables, para comprobar cómo afecta notoriamente el aumento de concentración de harina de cáscara de mango.

**Figura 7.** Tonalidades de color para el tratamiento T1 y para el tratamiento T7 de bandejas biodegradables.



En la tabla 11 también se aprecia que los tratamientos T5 y T6 son homogéneos y tienen valores similares a los reportados por Matos y Díaz (2022) en bandejas elaboradas con almidón y harina de semilla de palta y semilla de mango, y son mucho más altos que los reportados por Cruz (2021) en las bandejas elaboradas de almidón y fibra de pseudotallo de banano 80% y 20% respectivamente, que obtuvo un valor de 9.55 en color, también son valores más altos que los reportados por Espina et al. (2016) que obtuvo un valor de 18.48 en bandejas de almidón de origen andino. El color en los envases biodegradables como las bandejas es considerado uno de los atributos de calidad más predominantes para el consumidor, dado que influye en la decisión de compra del cliente, tal y como lo menciona García et al. (2019). Este color está directamente relacionado a las materias primas e insumos que se usen en la elaboración de las bandejas biodegradables, ya que al aumentar las concentraciones provocan cambios en el color (Malambo et al., 2022).

A continuación, se muestran en la tabla 12 un resumen de los resultados obtenidos en la evaluación de las propiedades físicas de las bandejas biodegradables de almidón de semilla de mango y harina de cáscara de mango.

**Tabla 12. Valores de las propiedades físicas de las bandejas biodegradables de almidón de semilla de mango y harina de cáscara de mango.**

Tratamientos	Humedad (%)	Densidad (g/cm <sup>3</sup> )	Espesor (mm)	Cap. absorción de agua (%)	Sólidos Volátiles (%)
T1	3.84 ± 0.38 <sup>a</sup>	0.32 ± 0.08 <sup>c</sup>	2.48 ± 0.37 <sup>b</sup>	80.76 ± 0.51 <sup>a</sup>	99.27 ± 0.26 <sup>a</sup>
T2	3.89 ± 0.15 <sup>a</sup>	0.34 ± 0.01 <sup>bc</sup>	2.76 ± 0.18 <sup>ab</sup>	72.64 ± 2.05 <sup>b</sup>	97.97 ± 0.70 <sup>b</sup>
T3	3.85 ± 0.09 <sup>a</sup>	0.41 ± 0.01 <sup>abc</sup>	2.90 ± 0.09 <sup>a</sup>	70.33 ± 3.86 <sup>b</sup>	97.21 ± 0.66 <sup>bc</sup>
T4	2.98 ± 0.46 <sup>b</sup>	0.49 ± 0.03 <sup>a</sup>	1.47 ± 0.17 <sup>d</sup>	56.61 ± 2.42 <sup>c</sup>	96.53 ± 0.33 <sup>d</sup>
T5	2.47 ± 0.32 <sup>c</sup>	0.44 ± 0.1 <sup>ab</sup>	1.81 ± 0.15 <sup>c</sup>	52.51 ± 1.10 <sup>c</sup>	96.82 ± 0.04 <sup>d</sup>
T6	2.34 ± 0.30 <sup>c</sup>	0.33 ± 0.06 <sup>c</sup>	1.88 ± 0.18 <sup>c</sup>	28.17 ± 3.15 <sup>d</sup>	96.04 ± 0.16 <sup>d</sup>
T7	1.63 ± 0.01 <sup>d</sup>	0.38 ± 0.03 <sup>bc</sup>	2.88 ± 0.19 <sup>a</sup>	32.12 ± 1.51 <sup>d</sup>	97.09 ± 0.90 <sup>d</sup>

Valores de resultados expresados en media de 3 muestras ± desviación estándar a-b-c-d: La prueba Fisher ( $p<0.05$ ) muestra diferencia significativa entre las medias aritméticas de los tratamientos en la misma columna, se representan con letras pequeñas diferentes.

- **Determinación de humedad (%)**

La tabla 13 se presenta el análisis de varianza (ANOVA) para la humedad de las bandejas biodegradables donde se aprecia que Existe una notable disparidad entre los tratamientos promedio, dado que el valor  $p<0.05$ , con un valor de significancia del 95.0% de confianza. Esto quiere decir que existe variación en la humedad de todas las bandejas biodegradables elaboradas.

**Tabla 13. Análisis de varianza para los valores de humedad (%) para los 7 tratamientos de bandejas biodegradables.**

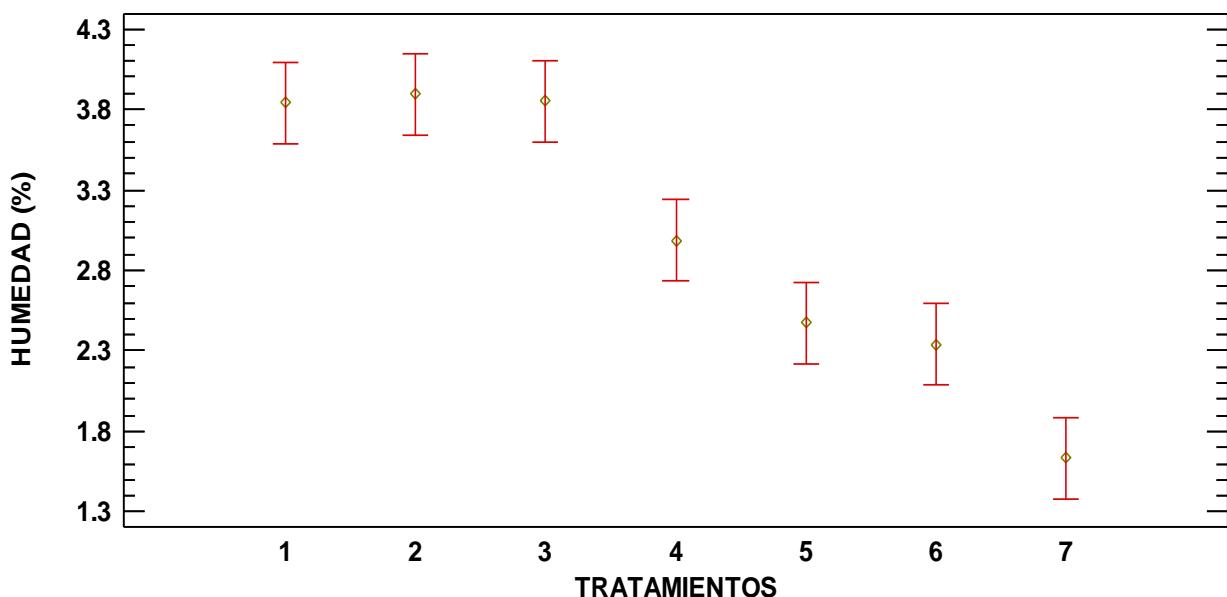
Fuente	Suma de Cuadrados	GI	Cuadrado Medio	Razón-F	Valor-P
Entre grupos	14.4225	6	2.40375	28.53	0.0000
Intra grupos	1.17943	14	0.0842449		
Total (Corr.)	15.6019	20			

Los valores de humedad tienen una tendencia a la baja según va aumentando la concentración de fibra, siendo el valor máximo de 3.89% y el valor mínimo de 1.63%. Esto ocurre debido a que la fibra es poco hidrofílica (Cruz, 2021), por ello el tratamiento con más contenido de harina de cáscara de mango, que contiene un alto valor de fibra, tuvo un menor valor de humedad. Los valores de humedad son menores a los reportados por Romero (2019) en bandejas biodegradables de almidón de origen andino que muestran valores de 11.79% a 11.97%. Estas diferencias pueden ser por el tipo de almidón, ya que su composición y su estructura influyen en la cantidad de humedad absorbida, como su peso molecular o el contenido de amilosa. La cantidad de humedad en la masa elaborada también influye directamente en el contenido de humedad de las bandejas biodegradables (Ruiz, 2005).

En la figura 8 se muestran las medias obtenidas en los 7 tratamientos de bandejas biodegradables, se hallan similitudes entre los tratamientos T1, T2 Y 73, esto puede haber sido debido a que el contenido de harina de cáscara de mango en estos 3 tratamientos es mínimo, del 5 al 10%,

a comparación de los siguientes tratamientos que contiene entre 15 al 30% de harina de cáscara de mango.

**Figura 8.** Medias y 95.0% de Fisher para los resultados del análisis de humedad (%) en los 7 tratamientos de bandejas biodegradables.



**Prueba de comparación múltiple entre tratamientos para el análisis de humedad**

A continuación, en la tabla 14, se muestra la prueba de comparación múltiple para el análisis de humedad para determinar las diferencias significativas entre cada tratamiento, obteniendo que existen diferencias significativas entre el tratamiento T1 y los tratamientos con mayor concentración de harina de cáscara de mango como son los tratamientos T4, T5, T6 y T7. También se observa que el tratamiento T7 obtuvo diferencias significativas con todos los tratamientos, eso se debe a que la fibra de la harina de cáscara de mango influye en la estructura de la matriz polimérica de la bandeja biodegradable y actúa como una barrera de retención de agua, lo que determina directamente la cantidad de humedad en la bandeja. Por lo que el tratamiento T7 presentó mejor resultado en este análisis.

**Tabla 14. Comparación múltiple entre las medias de cada tratamiento para el análisis de humedad.**

Contraste	Sig.	Diferencia	+/- Límites
1 - 2		-0,052835	0,50829
1 - 3		-0,0125618	0,50829
1 - 4	*	0,853516	0,50829
1 - 5	*	1,36589	0,50829
1 - 6	*	1,49951	0,50829
1 - 7	*	2,20611	0,50829
2 - 3		0,0402732	0,50829
2 - 4	*	0,906351	0,50829
2 - 5	*	1,41872	0,50829
2 - 6	*	1,55235	0,50829
2 - 7	*	2,25894	0,50829
3 - 4	*	0,866078	0,50829
3 - 5	*	1,37845	0,50829
3 - 6	*	1,51208	0,50829
3 - 7	*	2,21867	0,50829
4 - 5	*	0,512372	0,50829
4 - 6	*	0,645998	0,50829
4 - 7	*	1,35259	0,50829
5 - 6		0,133625	0,50829
5 - 7	*	0,840217	0,50829
6 - 7	*	0,706592	0,50829

\* indica una diferencia significativa.

- **Determinación de densidad (g/cm<sup>3</sup>)**

La densidad de las bandejas varió de acuerdo a la concentración de harina de cáscara de mango, desde 0.32 g/cm<sup>3</sup> a 0.49 g/cm<sup>3</sup>, sin embargo, estos valores son comparativamente altos a diferencia del poliestireno expandido que es un material sumamente ligero y tiene una densidad entre 0.010 y 0.05 g/cm<sup>3</sup> (Anape, 2012). Los valores de densidad obtenidos en las bandejas biodegradables son similares a los reportados Bergel et al. (2018) en bandejas de almidón de semilla de mango de 0.3 g/cm<sup>3</sup>, y mayores a los valores reportados por Machado et al. (2020) de 0.21 g/cm<sup>3</sup>. Las diferencias pueden ser debido a la distribución de la masa del almidón y la viscosidad de la masa, ya que afecta la estructura de la bioespuma, esto se relaciona con la concentración de fibra en cada tratamiento, ya que la fibra interacciona con el almidón y aumenta su densidad (Cruz et al., 2020).

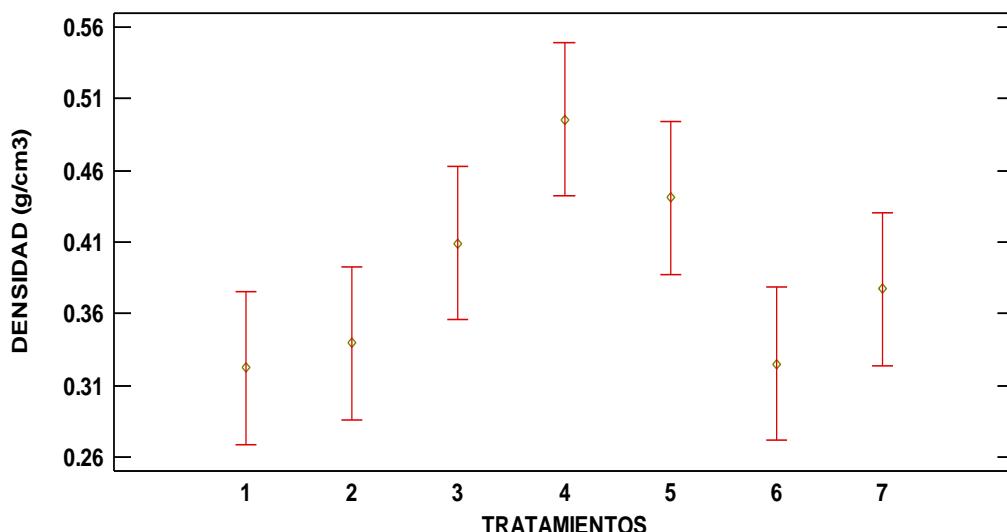
En la tabla 15 se presenta el análisis de varianza (ANOVA) para la densidad de las bandejas biodegradables donde se aprecia que hay una notable disparidad entre los tratamientos promedio, dado que el valor  $p<0.05$ , con un valor de significancia del 95.0% de confianza. Esto quiere decir que existe variación en la densidad de las bandejas elaboradas.

**Tabla 15. Análisis de varianza para los valores de densidad de los 7 tratamientos.**

Fuente	Suma de Cuadrados	GI	Cuadrado Medio	Razón-F	Valor-P
Entre grupos	0.0763503	6	0.012725	3.43	0.0269
Intra grupos	0.0519661	14	0.00371187		
Total (Corr.)	0.128316	20			

Las medias de los valores de densidad obtenidos se reflejan en la figura 9 donde se visualiza como el tratamiento 4 y 5, obtuvieron mayores valores de densidad a comparación de a comparación de los otros tratamientos, pudo haberse debido a la interacción de la masa con la fibra de la harina de cáscara de mango, o a las características de la masa.

**Figura 9.** Medias y 95.0% de Fisher para los resultados del análisis de densidad ( $\text{g/cm}^3$ ) en los 7 tratamientos de bandejas biodegradables.



### **Prueba de comparación múltiple entre tratamientos para el análisis de densidad**

En la tabla 16, se observa que existen diferencias significativas entre los tratamientos T1 y T2, con respecto a los tratamientos con mayor concentración de harina de cáscara de mango como son los tratamientos T4, T5, T6 y T7. También se observa que el tratamiento T7 obtuvo diferencias significativas con todos los tratamientos, esa diferencia significativa se debe a la estructura intensa de la bandeja biodegradable, y a factores como la viscosidad de la masa, donde a mayor concentración de harina de cáscara de mango se observó que la masa se tornaba menos elástica, sino más espesa y densa, por lo que existe una relación directa entre la densidad y la cantidad de harina de cáscara de mango en la elaboración de bandejas. Por lo que el tratamiento T7 presentó mejor resultado en este análisis.

**Tabla 16. Comparación múltiple entre las medias de cada tratamiento para el análisis de densidad.**

<b>Contraste</b>	<b>Sig.</b>	<b>Diferencia</b>	<b>+/- Límites</b>
1 – 2		-0,052835	0,50829
1 – 3		-0,0125618	0,50829
1 – 4	*	0,853516	0,50829
1 – 5	*	1,36589	0,50829
1 – 6	*	1,49951	0,50829
1 – 7	*	2,20611	0,50829
2 – 3		0,0402732	0,50829
2 – 4	*	0,906351	0,50829
2 – 5	*	1,41872	0,50829
2 – 6	*	1,55235	0,50829
2 – 7	*	2,25894	0,50829
3 – 4	*	0,866078	0,50829
3 – 5	*	1,37845	0,50829
3 – 6	*	1,51208	0,50829
3 – 7	*	2,21867	0,50829
4 – 5	*	0,512372	0,50829
4 – 6	*	0,645998	0,50829
4 – 7	*	1,35259	0,50829
5 – 6		0,133625	0,50829
5 – 7	*	0,840217	0,50829
6 - 7	*	0,706592	0,50829

\* indica una diferencia significativa.

- **Determinación de espesor (mm)**

Los valores de espesor obtenidos fueron de 1.47 a 2.90mm, se pudo determinar que la expansión de termoformado no fue uniforme como se ve en la figura 10 donde las medias de los resultados obtenidos son dispersos en todos los tratamientos, eso puede ser debido a la expansión de la masa en el proceso de termoformado, y a la cantidad de fibra que contenga la masa, ya que mientras más fibra la masa se vuelve más densa y espesa, lo que influye directamente en la forma de la bandeja, y por ende altera la medida de espesor en el envase (Matos y Díaz, 2022).

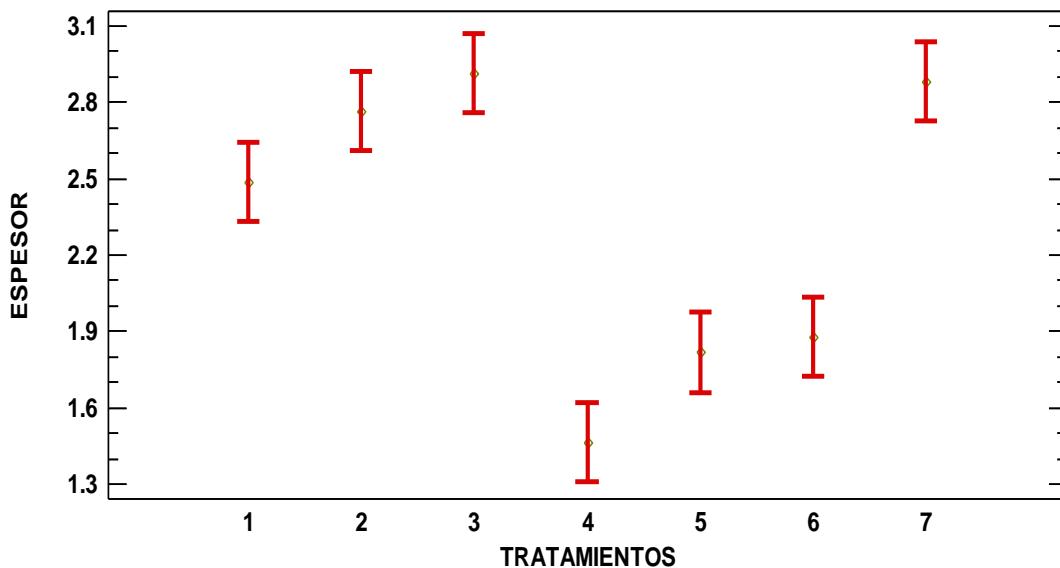
La tabla 17 se presenta el análisis de varianza (ANOVA) para el espesor de las bandejas biodegradables donde se aprecia que hay diferencias notables entre los tratamientos de las bandejas, dado que el valor  $p<0.05$ , con un valor de significancia del 95.0% de confianza. Esto quiere decir que existe variación en espesor de las bandejas elaboradas.

**Tabla 17. Análisis de varianza para los valores de espesor de los 7 tratamientos de bandejas biodegradables.**

Fuente	Suma de Cuadrados	GI	Cuadrado Medio	Razón-F	Valor-P
Entre grupos	8.21344	6	1.36891	30.62	0.0000
Intra grupos	0.938708	14	0.0447004		
Total (Corr.)	9.15215	20			

Como se muestra en la figura 10, la variabilidad de esta característica física que es obtenida de la medida del cuerpo de la bandeja biodegradable, se debe a la variación de la estructura interna de la bandeja, y está directamente relacionada a la masa que se coloca para la formación de la bandeja, tanto a las características de peso, humedad, densidad y viscosidad de la masa. Además, la dispersión de la masa dentro del molde de la termoprensa también es otra variable que influye en la variabilidad del espesor.

**Figura 10.** Medias y 95.0% de Fisher para los resultados del análisis de espesor (mm) en los 7 tratamientos de bandejas biodegradables.



**Prueba de comparación múltiple entre tratamientos para el análisis de espesor**

En la tabla 18 se observa que existen diferencias significativas del tratamiento T7 con respecto a todos los tratamientos, también el tratamiento T4 difiere con los demás tratamientos. A diferencia del tratamiento T3 que no difiere de los tratamientos T1 y T2, pero sí de los demás tratamientos. El asterisco que se encuentra al lado de los 11 pares indica que estos pares muestran diferencias estadísticamente significativas con un nivel del 95,0% de confianza. La diferencia entre las medias de cada tratamiento se puede explicar debido a la expansión de la masa en el proceso de termoformado que no fue uniforme, por lo que existe mucha variación en cuanto a esta característica. Por lo que se deduce que la masa que se coloca en los platos de la termo prensa influye de manera directa en este análisis.

**Tabla 18. Comparación múltiple entre las medias de cada tratamiento para el análisis de espesor**

<b>Contraste</b>	<b>Sig.</b>	<b>Diferencia</b>	<b>+/- Límites</b>
1 – 2		-0,052835	0,50829
1 – 3		-0,0125618	0,50829
1 – 4	*	0,853516	0,50829
1 – 5	*	1,36589	0,50829
1 – 6	*	1,49951	0,50829
1 – 7	*	2,20611	0,50829
2 – 3		0,0402732	0,50829
2 – 4	*	0,906351	0,50829
2 – 5	*	1,41872	0,50829
2 – 6	*	1,55235	0,50829
2 – 7	*	2,25894	0,50829
3 – 4	*	0,866078	0,50829
3 – 5	*	1,37845	0,50829
3 – 6	*	1,51208	0,50829
3 – 7	*	2,21867	0,50829
4 – 5	*	0,512372	0,50829
4 – 6	*	0,645998	0,50829
4 – 7	*	1,35259	0,50829
5 – 6		0,133625	0,50829
5 – 7	*	0,840217	0,50829
6 – 7	*	0,706592	0,50829

\* indica una diferencia significativa.

- Capacidad de Absorción de Agua (%)**

La tabla 19 se presenta el análisis de varianza (ANOVA) para capacidad de absorción de agua de las bandejas biodegradables donde se aprecia que existe una notable disparidad entre los tratamientos promedio, dado que el valor  $p<0.05$ , con un valor de significancia del 95.0% de confianza. Esto quiere decir que existe variación en la capacidad de absorción de agua de las bandejas elaboradas. La variabilidad de los resultados en este análisis puede ser debido a la cantidad de harina de cáscara de mango añadida en la masa, dado que la cantidad de fibra en la masa actúa como una barrera para la absorción de agua en la bandeja biodegradable, reduciendo los poros internos de la bandeja y bloqueando la entrada de agua.

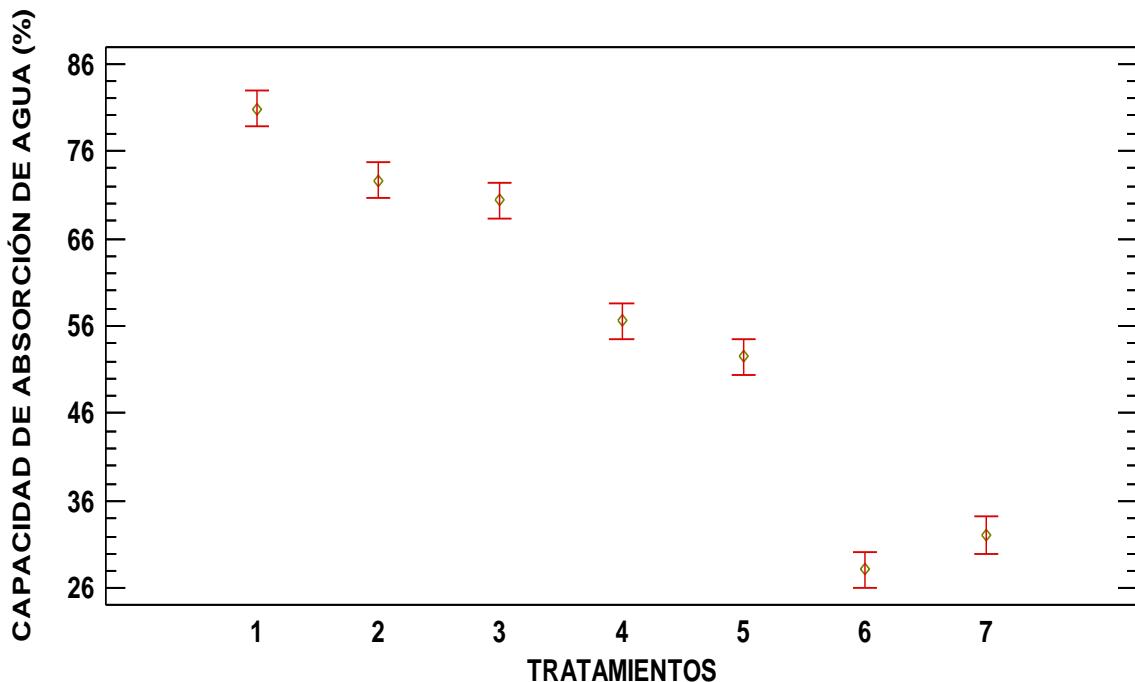
De acuerdo a la figura 11 y la tabla 19 el tratamiento con menor capacidad de absorción de agua es el T7 (15% de fibra) con la mayor concentración de harina de cáscara de mango con un valor del 32.12% este dato es menor al valor reportado por Matos y Díaz (2022) en las bandejas de almidón de semilla de mango (90%) y fibra de semilla de palta (10%) con un valor de 56.07%, la absorción de agua se relaciona con las proteínas y la cantidad de aminoácidos presentes en la materia prima (Díaz, 2017).

**Tabla 19. Análisis de varianza para los valores obtenidos del análisis de capacidad de absorción de agua de los 7 tratamientos de bandejas biodegradables.**

Fuente	Suma de Cuadrados	GI	Cuadrado Medio	Razón-F	Valor-P
Entre grupos	7356.56	6	1226.09	221.53	0.0000
Intra grupos	77.4855	14	5.53468		
Total (Corr.)	7434.05	20			

La importancia de determinar la capacidad absorción de agua en los materiales o envases hechos a partir de materias primas orgánicas, es que a menor absorción de agua retienen el desarrollo de enzimas hidrolíticas que degradan a los biopolímeros y afectan el tiempo de vida útil del envase final (Zhong, Hanafi, & Yi, 2018). Otro punto importante, radica en la adición de reactivos que se utilicen para la elaboración de estos biomateriales, la glicerina es una barrera en la capacidad de absorción de agua ya que actúa como un plastificante, sellando los poros (Escribano, 2020).

**Figura 11.** Medias y 95.0% de Fisher para los resultados del análisis de capacidad de absorción de agua (%) en los 7 tratamientos de bandejas biodegradables.



**Prueba de comparación múltiple entre tratamientos para el análisis de capacidad de absorción de agua**

En la tabla 20, se observa que existen diferencias significativas entre las medias del tratamiento T1 con respecto a los demás tratamientos. También se observa que el tratamiento T7 obtuvo diferencias significativas con todos los otros tratamientos, a excepción de tratamiento T6, cuyos valores fueron cercanos. Estas diferencias se deben al contenido de harina de cáscara de mango ya que la red interna que se forma la celulosa, hemicelulosa y lignina de las fibras en combinación con el almidón bloquean la entrada de agua, disminuyendo la capacidad de absorción de las bandejas biodegradables, por lo el tratamiento T6 y T7 son los que presentaron mejores valores en este análisis.

**Tabla 20. Comparación múltiple entre las medias de cada tratamiento para el análisis de capacidad de absorción de agua.**

Contraste	Sig.	Diferencia	+/- Límites
1 – 2	*	8,12523	4,08571
1 – 3	*	10,436	4,08571
1 – 4	*	24,1543	4,08571
1 – 5	*	28,5808	4,08571
1 – 6	*	52,5888	4,08571
1 – 7	*	48,643	4,08571
2 – 3		2,31078	4,08571
2 – 4	*	16,0291	4,08571
2 – 5	*	20,4556	4,08571
2 – 6	*	44,4635	4,08571
2 – 7	*	40,5178	4,08571
3 – 4	*	13,7183	4,08571
3 – 5	*	18,1448	4,08571
3 – 6	*	42,1528	4,08571
3 – 7	*	38,207	4,08571
4 – 5	*	4,42649	4,08571
4 – 6	*	28,4344	4,08571
4 – 7	*	24,4887	4,08571
5 – 6	*	24,0079	4,08571
5 – 7	*	20,0622	4,08571
6 – 7		-3,94577	4,08571

\* indica una diferencia significativa.

- **Determinación de Sólidos Volátiles (SV)**

En la tabla 21 se presenta el análisis de varianza (ANOVA) para los sólidos totales de las bandejas biodegradables donde se aprecia que las medias promedio de los siete tratamientos difieren estadísticamente, dado que el valor  $p<0.05$ , con un valor de significancia del 95.0% de confianza. Esto quiere decir que existe variación en los sólidos totales de las bandejas elaboradas. Esta variación es debido al contenido de materia orgánica que existe en el envase, es decir que está directamente relacionado con los porcentajes de cáscara y almidón en la masa, ya que estas materias primas son orgánicas. La cantidad de sólidos volátiles es la materia prima residual resultante luego de la evaporación de los compuestos volátiles, y la calcinación de los minerales volátiles.

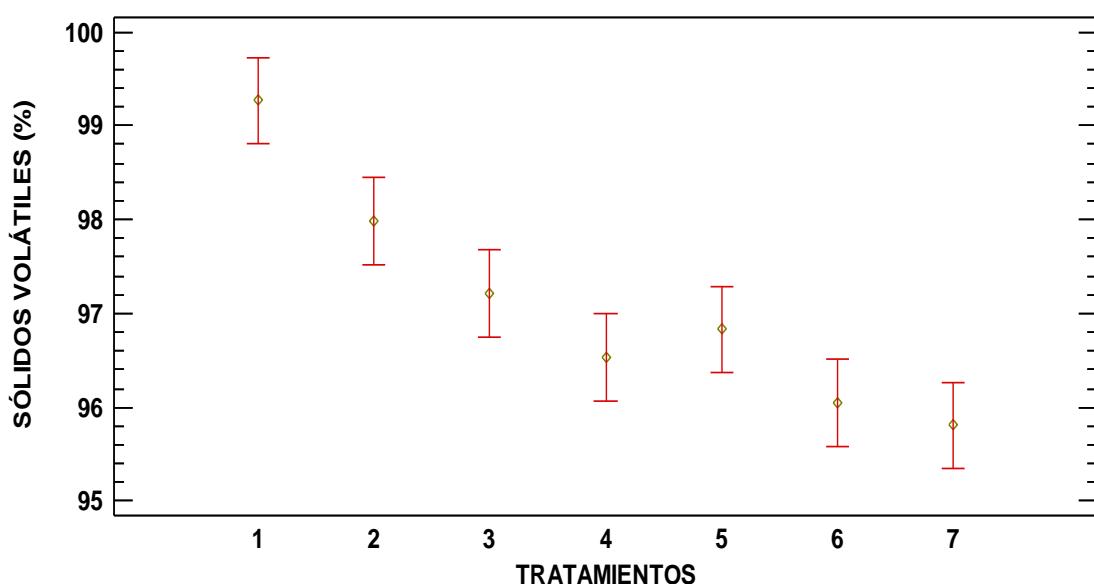
**Tabla 21.** Análisis de varianza para el análisis de sólidos volátiles de los 7 tratamientos de bandejas biodegradables.

Fuente	Suma de Cuadrados	Gl	Cuadrado Medio	Razón-F	Valor-P
Entre grupos	25.9635	6	4.32725	15.44	0.0000
Intra grupos	3.92364	14	0.28026		
Total (Corr.)	29.8872	20			

Los sólidos volátiles deben tener como mínimo un valor del 50% para que la bandeja o envase se considere como biodegradable según la NTP 900.080 2015, de acuerdo a ello todos los tratamientos cumplen con la normativa, por lo que se consideran biodegradables.

Sin embargo, se aprecia en la figura 12 una variación en los tratamientos por efecto de la concentración de la fibra siendo así el valor mínimo de 96.04% en T6 y el valor máximo del 99.27% en el T1. Estos valores son mayores a los reportados por Matos y Díaz (2022) de 67.1% en las bandejas de almidón de semilla de mango y fibra de semilla de palta, debido a que puede que las materias primas usadas en este trabajo de investigación tengan mayor cantidad de compuestos volátiles.

**Figura 12.** Medias y 95.0% de Fisher para los resultados del análisis de sólidos volátiles (%) en los 7 tratamientos de bandejas biodegradables.



### **Prueba de comparación múltiple entre tratamientos para el análisis de sólidos volátiles**

En la tabla 22, se observa que existen diferencias significativas entre las medias del tratamiento T1 con respecto a todos los demás tratamientos. También se observa que el tratamiento T7 obtuvo diferencias significativas con todos los otros tratamientos, a excepción de tratamiento T4 y T6, cuyos valores fueron cercanos. De esto se puede deducir que el contenido de materia orgánica que existe en el envase es similar en los tratamientos T4, T6 y T7. Además, el tratamiento T3 solo obtuvo diferencias significativas con el tratamiento T1.

**Tabla 22. Comparación múltiple entre las medias de cada tratamiento para el análisis de sólidos volátiles.**

<b>Contraste</b>	<b>Sig.</b>	<b>Diferencia</b>	<b>+/- Límites</b>
1 - 2	*	1,28685	0,927086
1 - 3	*	2,05851	0,927086
1 - 4	*	2,73429	0,927086
1 - 5	*	2,43774	0,927086
1 - 6	*	3,22017	0,927086
1 - 7	*	3,4585	0,927086
2 - 3		0,771665	0,927086
2 - 4	*	1,44744	0,927086
2 - 5	*	1,1509	0,927086
2 - 6	*	1,93333	0,927086
2 - 7	*	2,17166	0,927086
3 - 4		0,675777	0,927086
3 - 5		0,379232	0,927086
3 - 6	*	1,16166	0,927086
3 - 7	*	1,39999	0,927086
4 - 5		-0,296546	0,927086
4 - 6		0,485887	0,927086
4 - 7		0,724217	0,927086
5 - 6		0,782433	0,927086
5 - 7	*	1,02076	0,927086
6 - 7		0,23833	0,927086

\* indica una diferencia significativa.

### 4.3. Características mecánicas de las bandejas biodegradables

En la siguiente tabla 23, se muestran en resumen los promedios de las propiedades mecánicas de las bandejas dureza (N), fracturabilidad (mm), tensión (MPa) y elongación (%) de 7 tratamientos de distintos porcentajes de almidón de semilla de mango y harina de cáscara de mango.

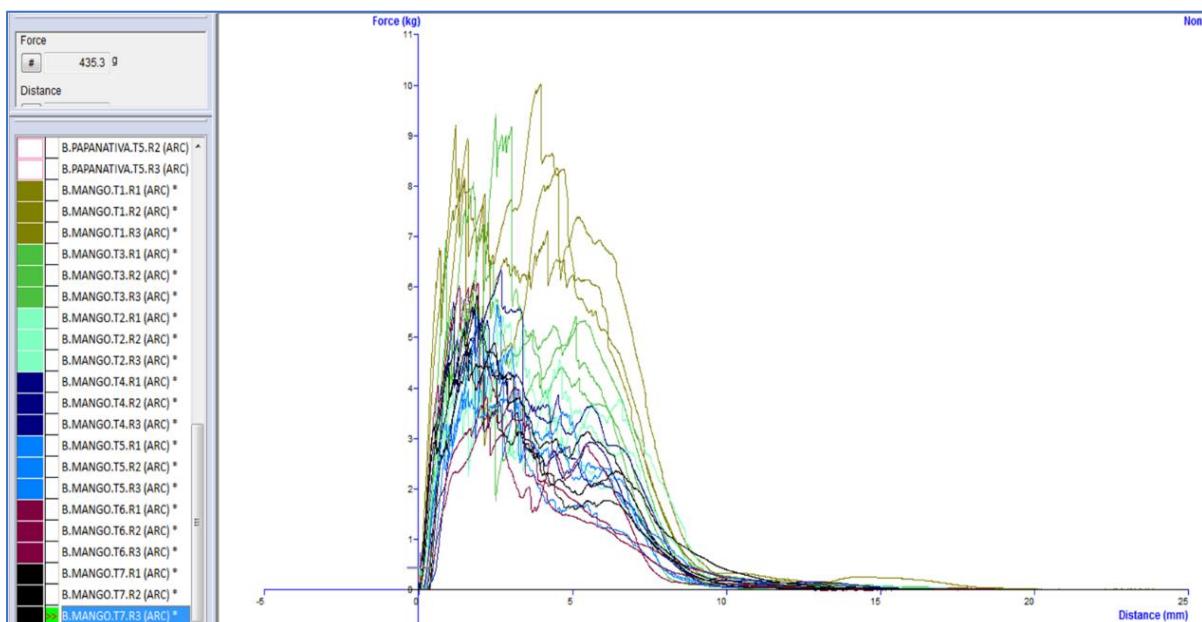
Las figuras 13 y 14, fueron obtenidas por el equipo Texturometro en donde se realizaron la evaluación de las propiedades mecánicas, y relatan la fuerza y distancia aplicadas a cada uno de los tratamientos de las bandejas biodegradables.

**Tabla 23. Valores de las propiedades mecánicas de las bandejas.**

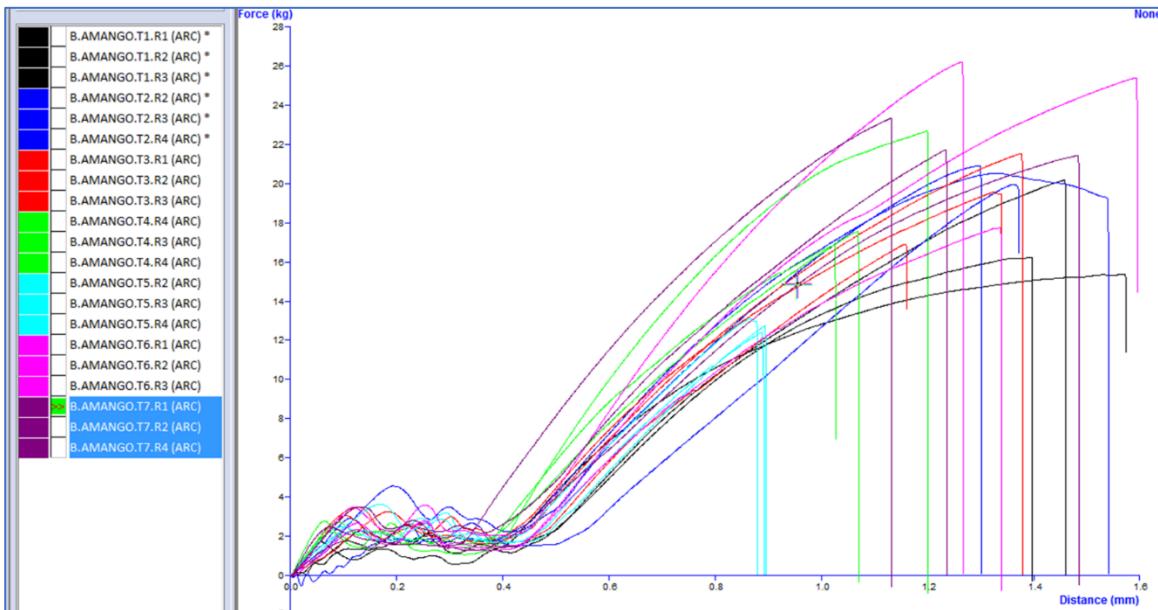
Tratamiento	Resistencia (MPa)	Elongación (%)	Dureza (N)	Fracturabilidad (mm)
T1	2.26 ± 0.34 <sup>b</sup>	1.85 ± 0.11 <sup>a</sup>	51.91 ± 4.72 <sup>c</sup>	2.28 ± 1.49 <sup>a</sup>
T2	2.68 ± 0.06 <sup>ab</sup>	1.66 ± 0.04 <sup>a</sup>	52.04 ± 5.46 <sup>c</sup>	2.33 ± 0.1 <sup>a</sup>
T3	2.53 ± 0.30 <sup>ab</sup>	1.61 ± 0.14 <sup>ab</sup>	74.40 ± 16.54 <sup>b</sup>	2.16 ± 0.38 <sup>a</sup>
T4	2.48 ± 0.43 <sup>ab</sup>	1.37 ± 0.11 <sup>b</sup>	57.73 ± 3.97 <sup>c</sup>	1.88 ± 0.78 <sup>a</sup>
T5	2.51 ± 0.07 <sup>ab</sup>	1.11 ± 0.02 <sup>c</sup>	47.59 ± 8.25 <sup>c</sup>	2.02 ± 0.5 <sup>a</sup>
T6	3.03 ± 0.61 <sup>a</sup>	1.75 ± 0.21 <sup>a</sup>	44.39 ± 13.46 <sup>c</sup>	2.43 ± 0.69 <sup>a</sup>
T7	2.90 ± 0.13 <sup>a</sup>	1.61 ± 0.23 <sup>ab</sup>	92.18 ± 5.42 <sup>a</sup>	1.99 ± 0.48 <sup>a</sup>

Valores de resultados expresados en media de 3 muestras ± desviación estándar a-b-c: La prueba Fisher ( $p<0.05$ ) muestra diferencia significativa entre las medias aritméticas de los Tratamientos en la misma columna, se representan con letras pequeñas diferentes.

**Figura 13. Gráficas de fuerza y distancia aplicada a las bandejas biodegradables en los análisis de dureza y fracturabilidad.**



**Figura 14.** Gráficas de fuerza y distancia aplicada a las bandejas biodegradables en los análisis de resistencia y elongación.



Tanto la figura 13 y 14, son gráficas otorgadas por el programa del equipo Texturometro donde se reflejan los diversos tratamientos con sus 3 repeticiones en diferentes colores en el lado izquierdo de las figuras, y en el centro se muestran las gráficas donde se visualizan el punto máximo de quiebre para la figura 13, y el punto de estiramiento para la figura 14.

- **Resistencia a la tracción (Mpa)**

El análisis ANOVA de la propiedad mecánica resistencia a la tracción o tensión de los 7 tratamientos de las bandejas biodegradables demuestra que existe diferencia significativa entre el valor de cada tratamiento con un nivel del 95% de confianza, mostrado en la tabla 24. Los valores que se obtuvieron en las muestras oscilan entre 2.26 a 3.03, aumentando conforme aumenta el porcentaje de cáscara en las muestras, la variabilidad en los resultados puede ser debido a la formación interna de las bandejas, conforme se adiciona fibra se reducen los poros internos de aire, por lo que se obtienen valores mayores en los tratamientos T6 y T7 a comparación de los tratamientos T1 y T2 como se muestra en la figura 14. Otro factor que está relacionado con la fragilidad de las bandejas es la formación de geles al

interior de la bandeja debido a la composición de amilosa y amilopectina del almidón.

**Tabla 24. Análisis de varianza para el análisis de resistencia a la tracción de 7 tratamientos.**

Fuente	Suma de Cuadrados	Gl	Cuadrado Medio	Razón-F	Valor-P
Entre grupos	1.25838	6	0.20973	1.87	0.0476
Intra grupos	1.5736	14	0.1124		
Total (Corr.)	2.83198	20			

Los valores de resistencia a la tracción o también conocido como tensión se son mayores a los valores de una bandeja de poliestireno entre 0.10 a 0.58 Mpa (Granados, 2021), también son mayores comparando con los resultados de Cruz (2021) en los prototipos elaborados con almidón y fibra de pseudotallo de banano de 0.8Mpa a 1.0Mpa) y los valores reportados por Mattos y Días (2022) en bandejas de almidón y fibra de palta y mango de 0.07 a 0.22 Mpa). Engel et al. (2019) reportó valores cercanos a 2.5 Mpa en las bandejas de almidón y semillas de uvas, cuyos valores coinciden con los reportados en esta investigación. Esto puede deberse a la composición intrínseca de las materias primas, es decir el contenido de amilosa y amilopectina del almidón de semilla de mango, así como el contenido de celulosa, hemicelulosa y pectinas en la harina de cáscara de mango.

#### **Prueba de comparación múltiple entre tratamientos para el análisis de resistencia**

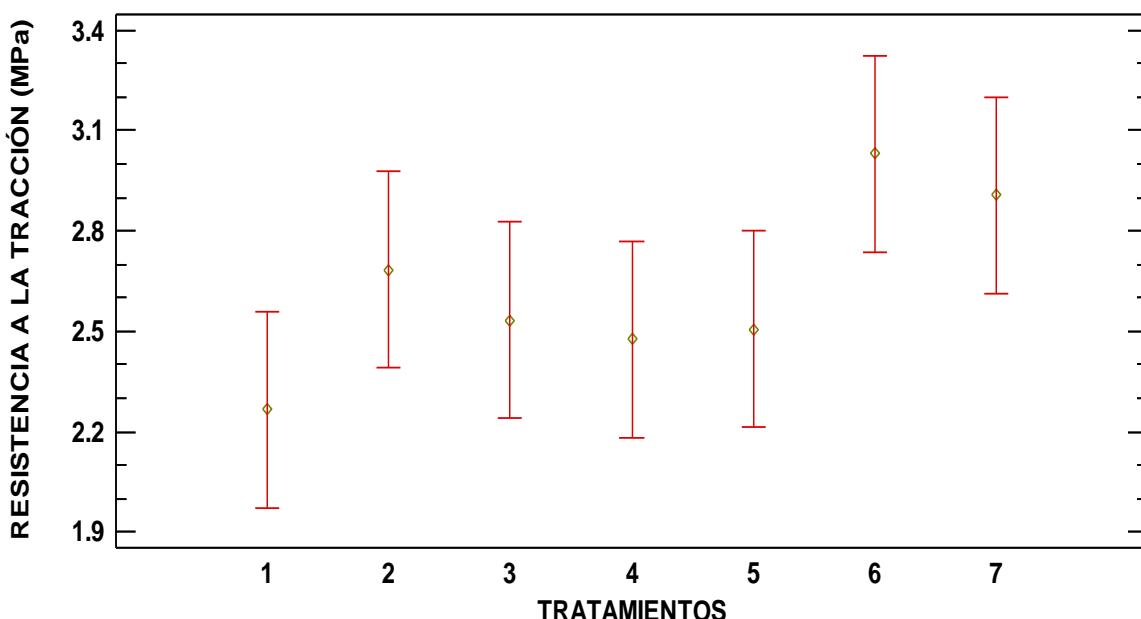
En la tabla 25, se observa que no existen diferencias significativas entre cada tratamiento para el análisis de resistencia entre los 7 tratamientos, a excepción de los tratamientos que son extremos, es decir el tratamiento 1, y el tratamiento 7, esto es por la cantidad de harina de cáscara de mango, que aumenta la resistencia conforme aumente el porcentaje en la formulación.

**Tabla 25. Comparación múltiple entre las medias de cada tratamiento para el análisis de resistencia.**

Contraste	Sig.	Diferencia	+/- Límites
1 - 2		-0,416667	0,587114
1 - 3		-0,266667	0,587114
1 - 4		-0,21	0,587114
1 - 5		-0,24	0,587114
1 - 6		-0,763333	0,587114
1 - 7	*	-0,64	0,587114
2 - 3		0,15	0,587114
2 - 4		0,206667	0,587114
2 - 5		0,176667	0,587114
2 - 6		-0,346667	0,587114
2 - 7		-0,223333	0,587114
3 - 4		0,0566667	0,587114
3 - 5		0,0266667	0,587114
3 - 6		-0,496667	0,587114
3 - 7		-0,373333	0,587114
4 - 5		-0,03	0,587114
4 - 6		-0,553333	0,587114
4 - 7		-0,43	0,587114
5 - 6		-0,523333	0,587114
5 - 7		-0,4	0,587114
6 - 7		0,123333	0,587114

\* indica una diferencia significativa.

**Figura 14.** Medias y 95.0% de Fisher para los resultados del análisis de resistencia a la tracción (Mpa) en los 7 tratamientos de bandejas biodegradables.



- **Elongación (%)**

En la tabla 26 se muestra el análisis de varianza (ANOVA) para la elongación (%) de las bandejas biodegradables, donde se aprecia que existen diferencias significativas entre las medias de los tratamientos dado que el valor  $p<0.05$ , con un valor de significancia del 95.0% de confianza. Esto quiere decir que existe variación significativa en los valores de elongación a la rotura de las bandejas elaboradas. Los valores que se obtuvieron se encuentran en un rango de 1.11 a 1.85%, la elongación se refiere a la deformación de la bandeja antes de romperse, y la variabilidad en los valores obtenidos en los tratamientos puede ser debido a la concentración de las materias primas añadidas, así como a la cantidad de agua de la masa, y la cantidad de reactivos, la interacción entre todos estos componentes va a determinar la matriz interna del envase lo que originará que tenga una mayor o menor elongación.

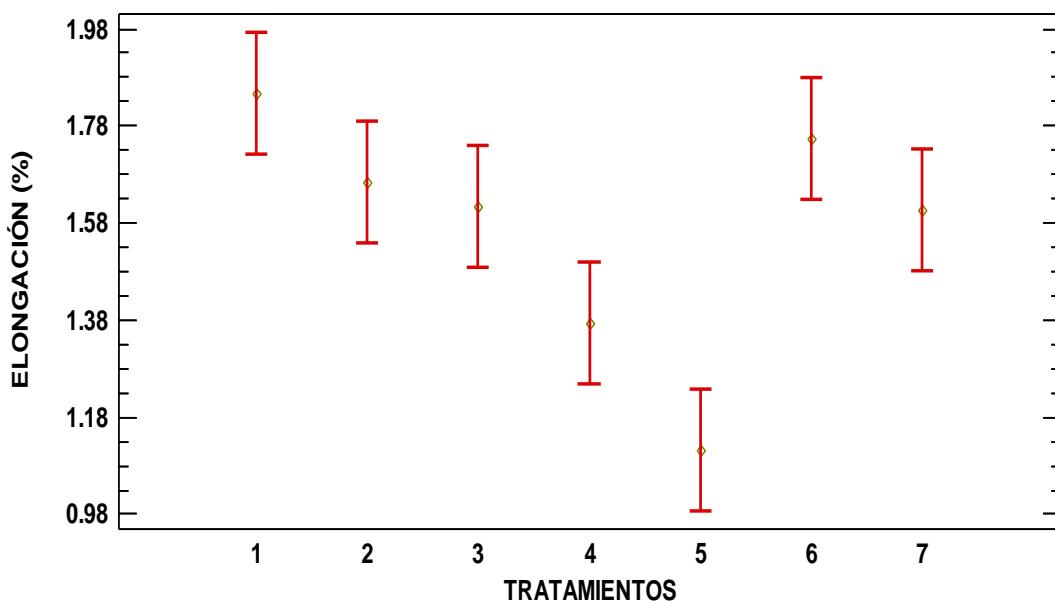
**Tabla 26. Análisis de varianza para el análisis mecánico de elongación (%) de los 7 tratamientos de bandejas biodegradables.**

Fuente	Suma de Cuadrados	Gl	Cuadrado Medio	Razón-F	Valor-P
Entre grupos	1.11687	6	0.186144	9.07	0.0004
Intra grupos	0.2872	14	0.0205143		
Total (Corr.)	1.40407	20			

Los valores de elongación son mayores a los reportados por Matos y Díaz (2022) estos varían de 0.33 a 0.91%, sin embargo, menores a los reportados por Granados (2021) en las bandejas de cartón 2.93%, y en las bandejas de residuos de piña de 12%; Engel et al. (2019) en las bandejas de almidón y semillas de uva de 1.6%. La diferencia entre los valores teóricos radica principalmente en el tipo de fibra usada para la elaboración de las bandejas ya que mientras menos cantidad de fibra se añada la bandeja puede ser más rompible, además la elongación se ve afectada con la densidad de la bandeja ya que si ésta es mayor la elongación disminuye, y mejora las propiedades de tracción en las

bandejas. La tendencia de la elongación es a disminuir conforme se adiciona más fibra según se visualiza en la figura 15, esto ocurre porque la elongación disminuye al aumento de la concentración de las partículas de fibra, entonces internamente la bandeja se encuentra saturada de las partículas de fibra lo que origina que tengan poca movilidad interna, por lo que tiene una menor fuerza de rotura.

**Figura 15.** Medias y 95.0% de Fisher para el análisis de elongación (%) en los 7 tratamientos de bandejas biodegradables.



#### Prueba de comparación múltiple entre tratamientos para el análisis de elongación

En la tabla 27, se observa que existen diferencias significativas entre los tratamientos medios, es decir entre T1 y T5, T4 y T6, T5 y T7, la variabilidad y no variabilidad entre los valores puede ser por la corta diferencia entre un tratamiento y otro, ya que cada tratamiento difiere un 5% de otro, entonces se puede deducir que los valores en las propiedades mecánicas difieren cuando existe un rango más amplio de contenido de harina de cáscara de mango.

**Tabla 27. Comparación múltiple entre las medias de cada tratamiento para el análisis de elongación.**

Contraste	Sig.	Diferencia	+/- Límites
1 - 2		0,183333	0,250823
1 - 3		0,233333	0,250823
1 - 4	*	0,473333	0,250823
1 - 5	*	0,736667	0,250823
1 - 6		0,0933333	0,250823
1 - 7		0,24	0,250823
2 - 3		0,05	0,250823
2 - 4	*	0,29	0,250823
2 - 5	*	0,553333	0,250823
2 - 6		-0,09	0,250823
2 - 7		0,0566667	0,250823
3 - 4		0,24	0,250823
3 - 5	*	0,503333	0,250823
3 - 6		-0,14	0,250823
3 - 7		0,00666667	0,250823
4 - 5	*	0,263333	0,250823
4 - 6	*	-0,38	0,250823
4 - 7		-0,233333	0,250823
5 - 6	*	-0,643333	0,250823
5 - 7	*	-0,496667	0,250823
6 - 7		0,146667	0,250823

\* indica una diferencia significativa.

- **Dureza (N)**

La característica de dureza en los envases biodegradables es la resistencia que tiene el envase a la perforación. En cuanto a los resultados de este análisis en las bandejas biodegradables, se muestra el análisis de varianza (ANOVA) donde se aprecia que existen diferencias significativas entre las medias de los tratamientos dado que el valor  $p<0.05$ , con un valor de significancia del 95.0% de confianza. Esto quiere decir que existe variación en la dureza entre todos los tratamientos de las bandejas obtenidas. Los valores obtenidos se encuentran en un rango de 44.39 a 92.18N, la diferencia entre los valores puede ser por la interacción de las cantidades de materias primas con reactivos, el aumento de cantidad de fibra en las bandejas aumenta la fuerza a la ruptura en estas, además la matriz del almidón

combinado con la celulosa de la fibra forman redes internas que generan mejores propiedades como fuerza y resistencia en las bandejas, lo que conlleva a concluir la buena interacción entre el almidón y la harina usados en este trabajo de investigación.

**Tabla 28. Análisis de varianza para el análisis mecánico de dureza (N) de los 7 tratamientos de bandejas biodegradables.**

Fuente	Suma de Cuadrados	Gl	Cuadrado Medio	Razón-F	Valor-P
Entre grupos	5324.2	6	887.366	10.02	0.0002
Intra grupos	1239.63	14	88.5454		
Total (Corr.)	6563.83	20			

Siguiendo con los resultados estadísticos en el análisis de dureza en la siguiente figura se muestran tres grupos homogéneos, de acuerdo a la prueba de múltiples rangos, no existe diferencias estadísticas significativas entre las medias de los tratamientos T2, T4, T5, T6 y T7. Los valores de dureza mostrados en la figura 16, son mayores al de la bandeja de poliestireno de 43.47 (Salmerón, 2019), y mayores a los valores reportados por Matos y Díaz (2022) de 19.71 a 34 N, y a los reportados por Cruz (2021) con valores de 18 a 38 N. La diferencia entre los valores radica principalmente en que a mayor cantidad de fibra interrumpe la interacción de las cadenas de almidón, imposibilita la expansión y deforma la matriz polimérica. La celulosa es un componente principal para esta propiedad, en cantidades pequeñas genera menor resistencia de las bandejas.

#### **Prueba de comparación múltiple entre tratamientos para el análisis de dureza**

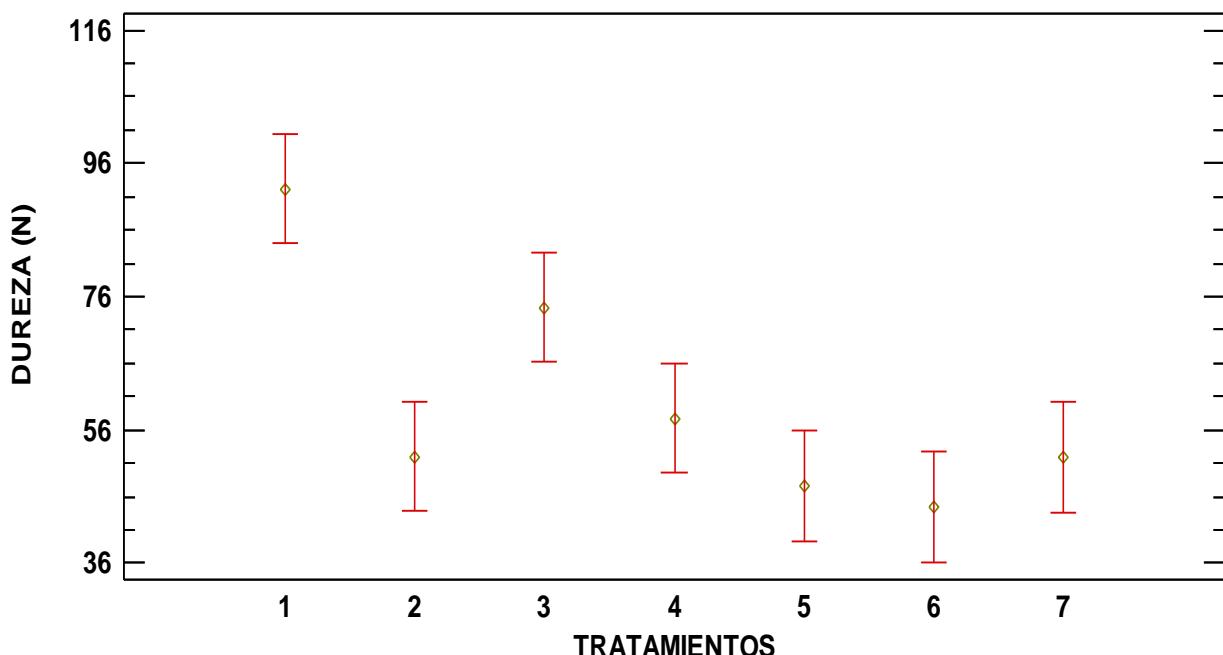
En la tabla 29, se observa que existen diferencias significativas entre el tratamiento T7 y todos los tratamientos para la prueba de dureza. Encontrándose así una relación que, a mayor porcentaje de harina de cáscara de mango, mayor será el valor de dureza en las bandejas.

**Tabla 29. Comparación múltiple entre las medias de cada tratamiento para el análisis de dureza.**

Contraste	Sig.	Diferencia	+/- Límites
1 - 2		-0,133333	16,4787
1 - 3	*	<b>-22,4933</b>	16,4787
1 - 4		-5,82333	16,4787
1 - 5		4,31333	16,4787
1 - 6		7,51667	16,4787
1 - 7	*	<b>-40,2767</b>	16,4787
2 - 3	*	<b>-22,36</b>	16,4787
2 - 4		-5,69	16,4787
2 - 5		4,44667	16,4787
2 - 6		7,65	16,4787
2 - 7	*	<b>-40,1433</b>	16,4787
3 - 4	*	<b>16,67</b>	16,4787
3 - 5	*	<b>26,8067</b>	16,4787
3 - 6	*	<b>30,01</b>	16,4787
3 - 7	*	<b>-17,7833</b>	16,4787
4 - 5		10,1367	16,4787
4 - 6		13,34	16,4787
4 - 7	*	<b>-34,4533</b>	16,4787
5 - 6		3,20333	16,4787
5 - 7	*	<b>-44,59</b>	16,4787
6 - 7	*	<b>-47,7933</b>	16,4787

\* indica una diferencia significativa.

**Figura 16.** Medias y 95.0% de Fisher para los resultados del análisis de dureza (N) en los 7 tratamientos de bandejas biodegradables.



- **Fracturabilidad (mm)**

Por otro lado, el análisis estadístico de varianza (ANOVA) para la fracturabilidad de las bandejas biodegradables obtenidas se aprecia en la tabla 30 donde se muestra que el valor-P de la razón-F es mayor o igual que 0.05, no existe una diferencia estadísticamente significativa entre la media de fracturabilidad con un nivel del 95.0% de confianza. Los valores obtenidos se encuentran en un rango de 1.88 a 2.43mm, la poca variación entre los resultados de los tratamientos puede ser a la interacción de la fibra y el almidón en las bandejas, debido a que los tratamientos difieren solo un 5% uno de otro, por lo que la incorporación de fibra para este análisis de fracturabilidad que es representado por el desplazamiento de la bandeja ante una fuerza que se ejerce para fracturarla no es significante, pero se observa una tendencia en los valores como va disminuyendo el desplazamiento (mm), lo que nos indica que la concentración de harina de cáscara de mango influye inversamente proporcional en la propiedad de fracturabilidad.

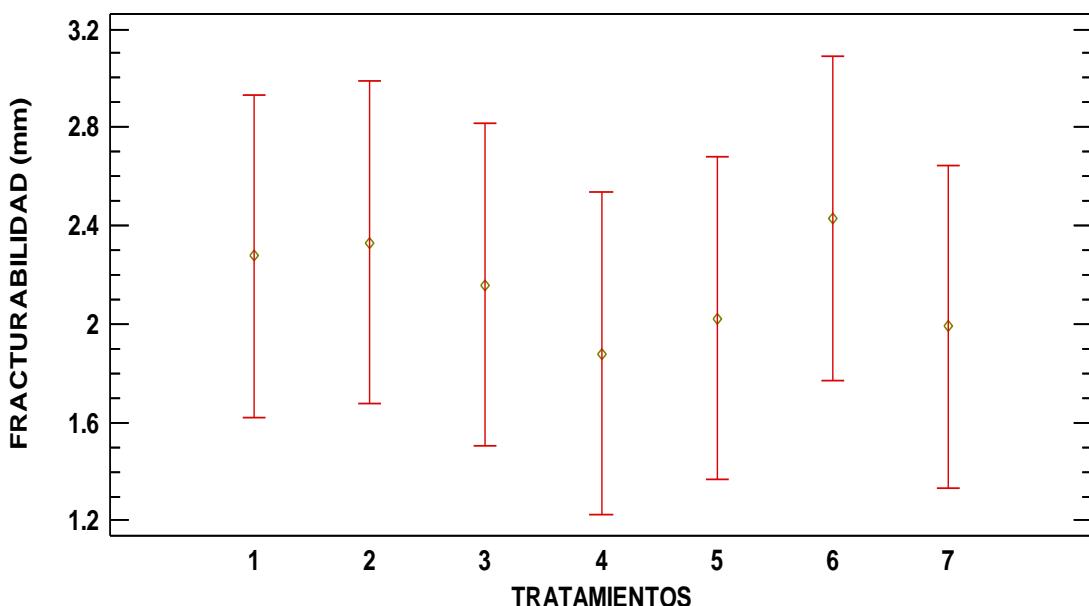
**Tabla 30. Análisis de varianza para el análisis de fracturabilidad de 7 tratamientos.**

Fuente	Suma de Cuadrados	GI	Cuadrado Medio	Razón-F	Valor-P
Entre grupos	0.723781	6	0.12063	0.21	0.0660
Intra grupos	7.87953	14	0.562824		
Total (Corr.)	8.60331	20			

Como se muestra en la figura 17, los valores de fracturabilidad van de 1.88 a 2.43mm y son menores comparado con el poliestireno de 5.54 mm (Cabanillas et al., 2019). Lo que nos indica buena propiedad de textura en la bandeja ya que a medida que se aumenta la harina disminuye la distancia de la fracturabilidad. Barreiro y Coronel (2021) indican que en las bandejas elaboradas de 25% de bagazo de caña y 35% de almidón de semilla de mango presentó un valor de 3.25mm de fracturabilidad, mientras que Espina et al. (2016) menciona que las

bandejas de almidón de semilla de mango y una concentración de bagazo de caña de más del 5% favorecen la fracturabilidad con valores de 1.81mm a 3.67mm. La diferencia entre los valores en este análisis está relacionado a la adición o incorporación de la fibra en las bandejas biodegradables, dado que a mayor porcentaje de fibra mejora la matriz polimérica interna de la bandeja otorgándole una mejor cohesión, aumentando la firmeza en las bandejas y disminuyendo el quiebre.

**Figura 17.** Medias y 95.0% de Fisher para los resultados del análisis de fracturabilidad (mm) en los 7 tratamientos de bandejas biodegradables.



#### Prueba de comparación múltiple entre tratamientos para el análisis de fracturabilidad

En la tabla 31, se observa que no existen diferencias significativas entre la comparación de cada tratamiento, lo que era de esperarse ya que tampoco existió diferencia significativa en el análisis de varianza realizado a los resultados de este análisis.

**Tabla 31. Comparación múltiple entre las medias de cada tratamiento para el análisis de fracturabilidad.**

<b>Contraste</b>	<b>Sig.</b>	<b>Diferencia</b>	<b>+/- Límites</b>
1 - 2		-0,0533333	1,31379
1 - 3		0,116667	1,31379
1 - 4		0,396667	1,31379
1 - 5		0,253333	1,31379
1 - 6		-0,153333	1,31379
1 - 7		0,286667	1,31379
2 - 3		0,17	1,31379
2 - 4		0,45	1,31379
2 - 5		0,306667	1,31379
2 - 6		-0,1	1,31379
2 - 7		0,34	1,31379
3 - 4		0,28	1,31379
3 - 5		0,136667	1,31379
3 - 6		-0,27	1,31379
3 - 7		0,17	1,31379
4 - 5		-0,143333	1,31379
4 - 6		-0,55	1,31379
4 - 7		-0,11	1,31379
5 - 6		-0,406667	1,31379
5 - 7		0,0333333	1,31379
6 - 7		0,44	1,31379

\* indica una diferencia significativa.

#### **4.4. Características estructurales en las bandejas biodegradables**

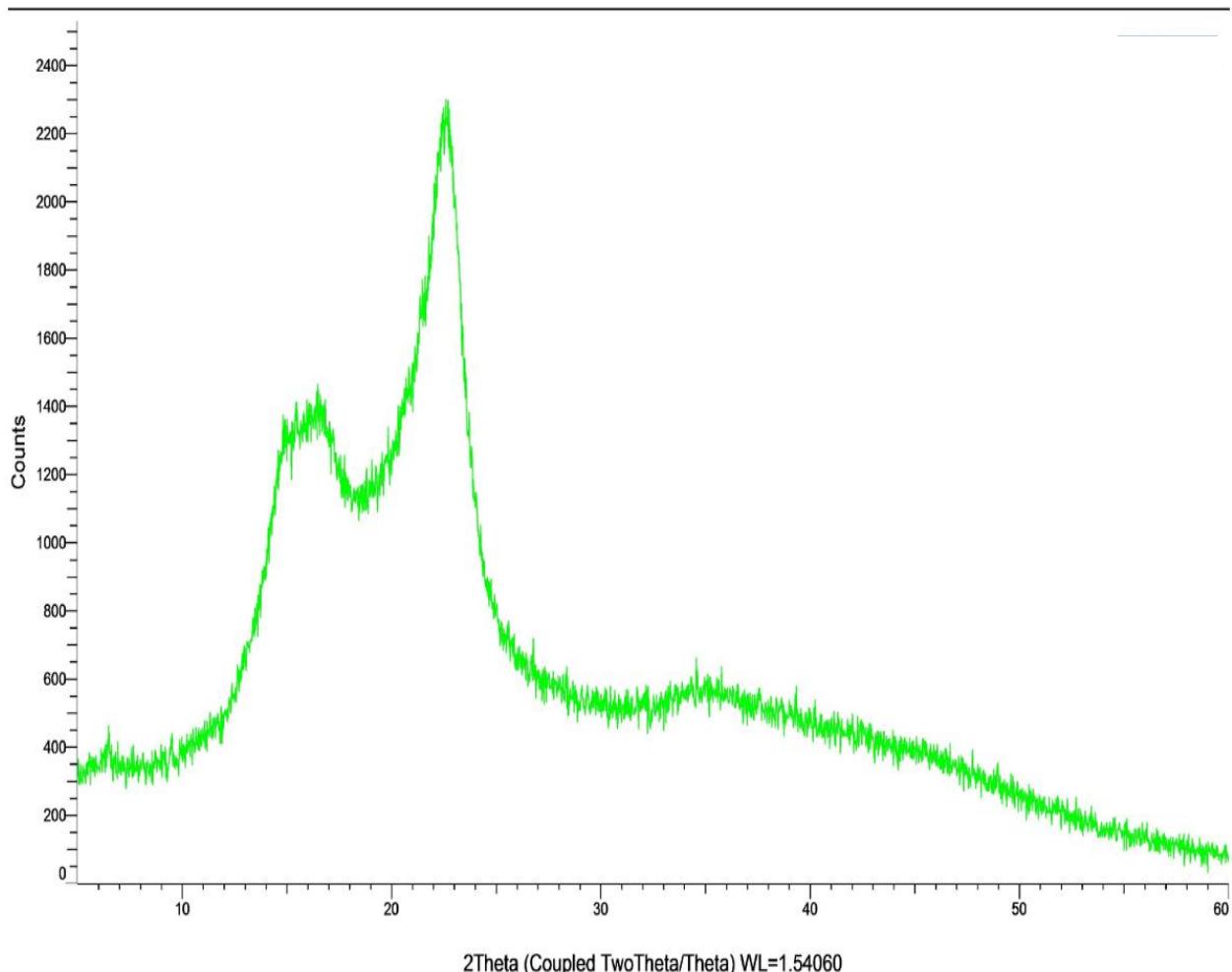
- Análisis de Difracción de Rayos X (DRX)**

Se muestran los patrones de DRX de la bandeja biodegradable del tratamiento 7 (T7) mostrando dos picos de difracción a  $2\theta = 17^\circ$ , y  $23^\circ$ , con intensidad relativa a 1400 y 2300 mA. Este análisis se realiza para observar la cristalinidad del almidón, para comparar el almidón con otros almidones y así determinar la gelatinización y cristalización que influye en la formación de las bioespumas.

El almidón de semilla de mango, así como de otros tubérculos, debería ser de tipo B (Arévalo, 2017). Sin embargo, Mello y Mali (2014) indican que el almidón de yuca tiene cristalinidad tipo C con picos en  $2\theta = 15.3^\circ$ ;  $17.3^\circ$ ;  $18.3^\circ$ ;  $22$  y  $23.5^\circ$ . Los difractogramas muestran la gelatinización del almidón a altas temperaturas. En la figura 18, se observan picos

principales en los  $17^\circ$  y  $23^\circ$ , obteniendo una cristalinidad tipo A. no se muestran todos estos picos debido a la gelatinización que se dio en termoformado y originó un material semicristalino cuyos patrones de difracción predomina la región amorfa. Un comportamiento similar se observó en los resultados de Morón (2017) en bandejas de almidón de arracacha y en bandejas de almidón de yuca y bagazo de malta de Mello y Mali (2014). La variación en los ángulos de los picos obtenidos en los difractogramas radica en la composición del almidón en sus componentes principales, amilosa y amilopectina, debido a que estos dos componentes son los que otorgan las características de gelatinización, y cristalización al almidón.

**Figura 18.** Difractograma de rayos X del tratamiento 7 de la bandeja biodegradable.

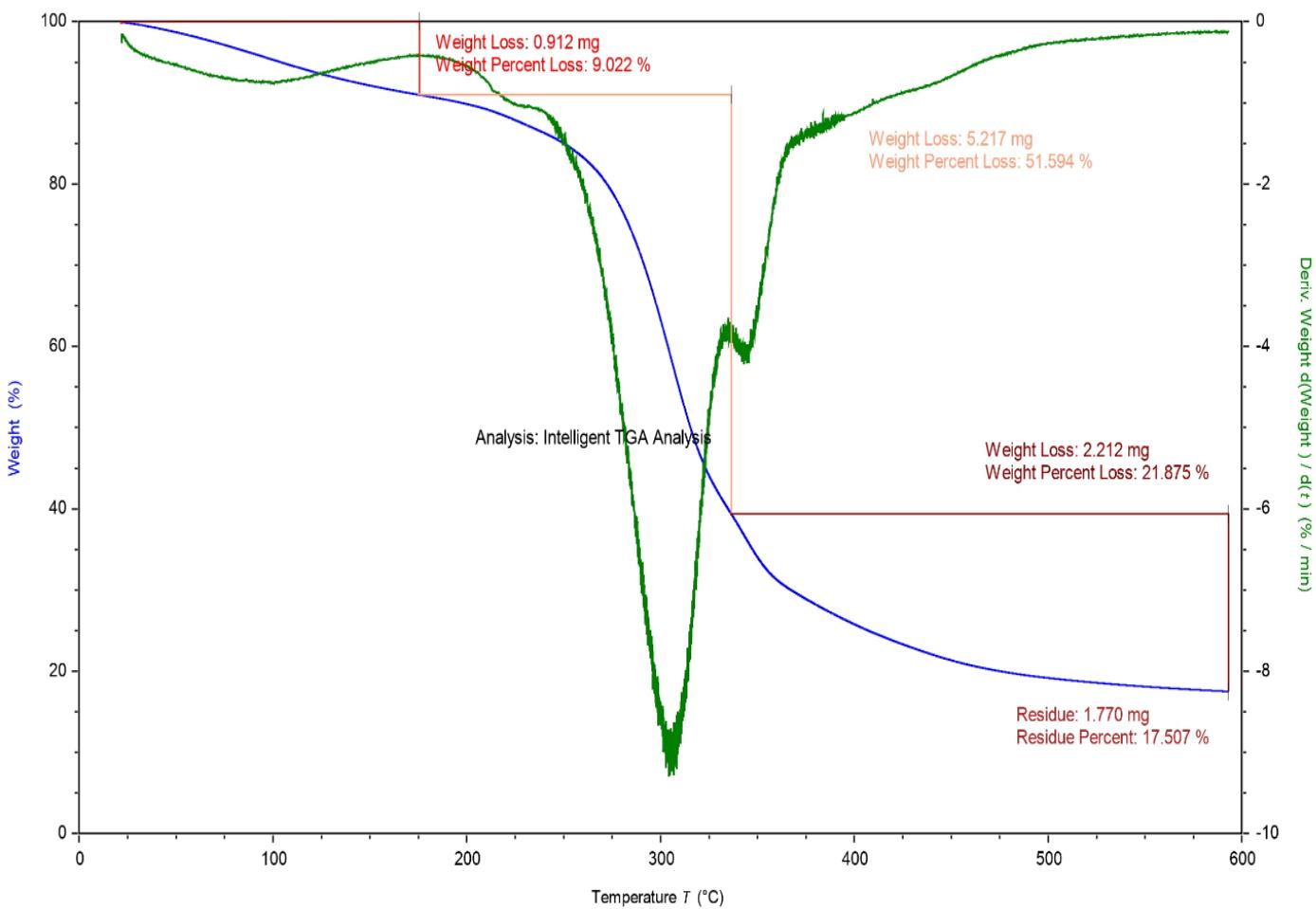


- **Análisis Termogravimétrico (TGA)**

La figura 19 muestra la curva termogravimétrica que se da por deformación o descomposición de la bandeja por efecto del calor, y la curva derivada de primer orden por pérdida de peso en color azul, las cuales indican el análisis de estabilidad térmica y el perfil de degradación de la bandeja biodegradable del tratamiento 7 (T7) con 15% de harina de cáscara de mango. Este análisis determina la estabilidad térmica de la muestra, mediante la degradación de la materia obteniendo como resultado final una pérdida de masa.

Esto se debe a que la descomposición de la bandeja biodegradable se produce en tres etapas, la primera etapa se calienta hasta 200°C que se relaciona con la evaporación del agua de la muestra y componentes volátiles de un 11.15% (Caldas y Hernández, 2022).

**Figura 19.** Termograma del tratamiento 7 de la bandeja biodegradable.



La segunda etapa donde la temperatura asciende a 300°C, y donde se descompone del glicerol añadido en la bandeja (punto de ebullición aprox. 290°C), además los grupos de amilopectina–H<sub>2</sub>OH del almidón y la degradación de los anillos sacáridos (Romero, 2019), con pico de degradación a los 300°C, existe una pérdida de masa del 17.507% en un rango de temperatura de 0°C a 300°C.

La tercera etapa se da entre los 300°C hasta los 600°C donde se pierde una masa del 51.594%, en esta etapa el almidón parcialmente descompuesto se oxida y genera cenizas, residuos inorgánicos (Cruz, 2021), liberando CO<sub>2</sub> producto del proceso de pirolisis (Romero, 2019). Según la gráfica TGA en la figura 19, se evidencia que esta etapa es más rápida en comparación con los resultados de Romero (2019) en bandejas de almidones nativos andinos, en especial el de almidón de camote que se descompuso casi totalmente a 450°C, esto puede ser por los componentes del almidón y la harina de cáscara de mango.

- **Análisis de Espectroscopia Infrarroja por transformada de Fourier (FTIR)**

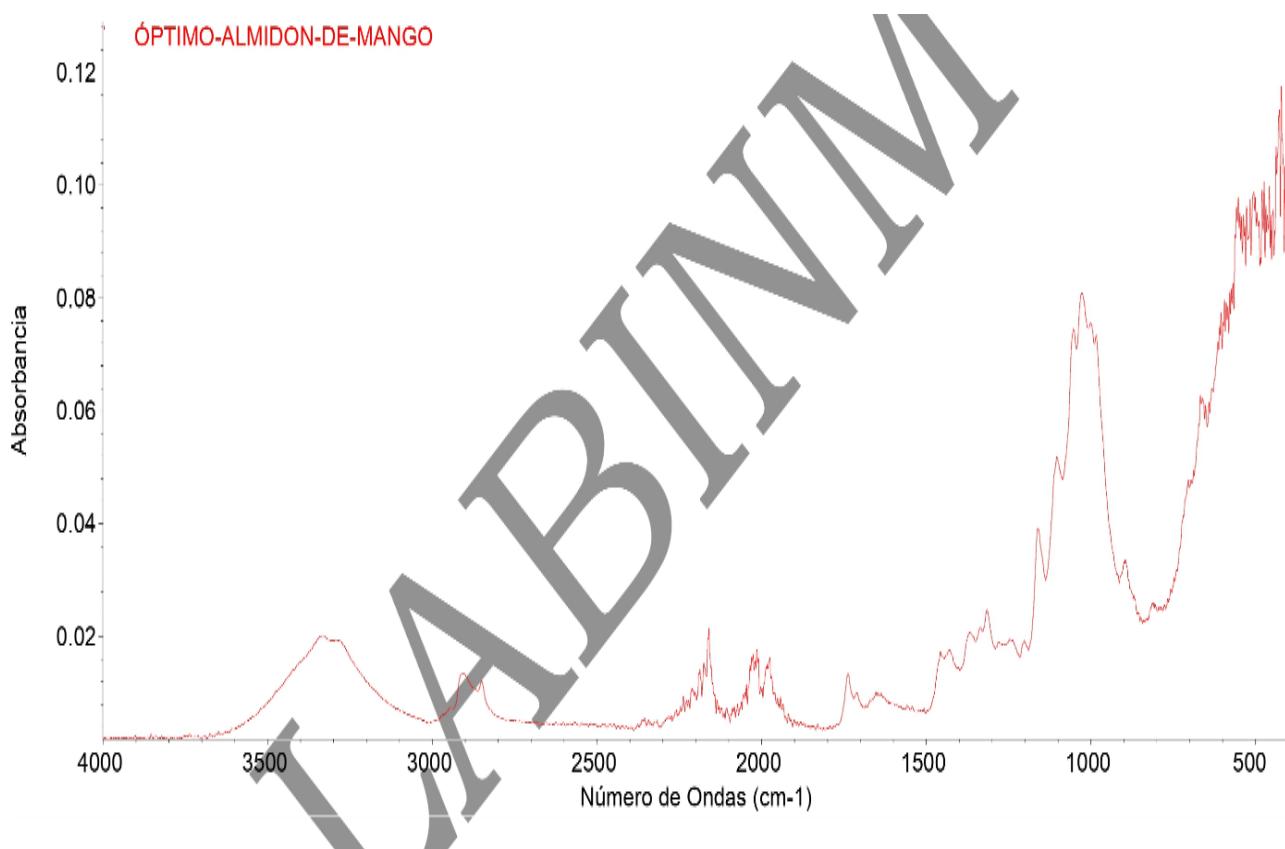
Las figuras 20, 21, 22, 23 y 27 del análisis FTIR permiten observar la interacción de los diferentes componentes de la bandeja biodegradable del tratamiento 7 (T7) con 30% de harina de cáscara de mango, los componentes celulósicos, hemicelulosicos de las harinas con los almidones lo que se busca es que haya una buena interacción para que haya una buena expansión de la bandeja y la matriz polimérica sea uniforme con la menor cantidad de poros o globos de aire para que tenga una mejor resistencia y propiedades mecánicas.

Resultando FTIR bandas anchas de 4000 a 500 cm<sup>-1</sup> con picos de hasta 1027.98 cm<sup>-1</sup>, comparando al valor obtenido por Matos y Díaz (2022) quienes analizaron bandejas biodegradables de almidón de semilla de palta y semilla de mango con fibra de palta, obteniendo 1440cm<sup>-1</sup>, y afirman que este valor es debido al comportamiento del carbohidrato, es decir en base al almidón usado en la elaboración de las bandejas

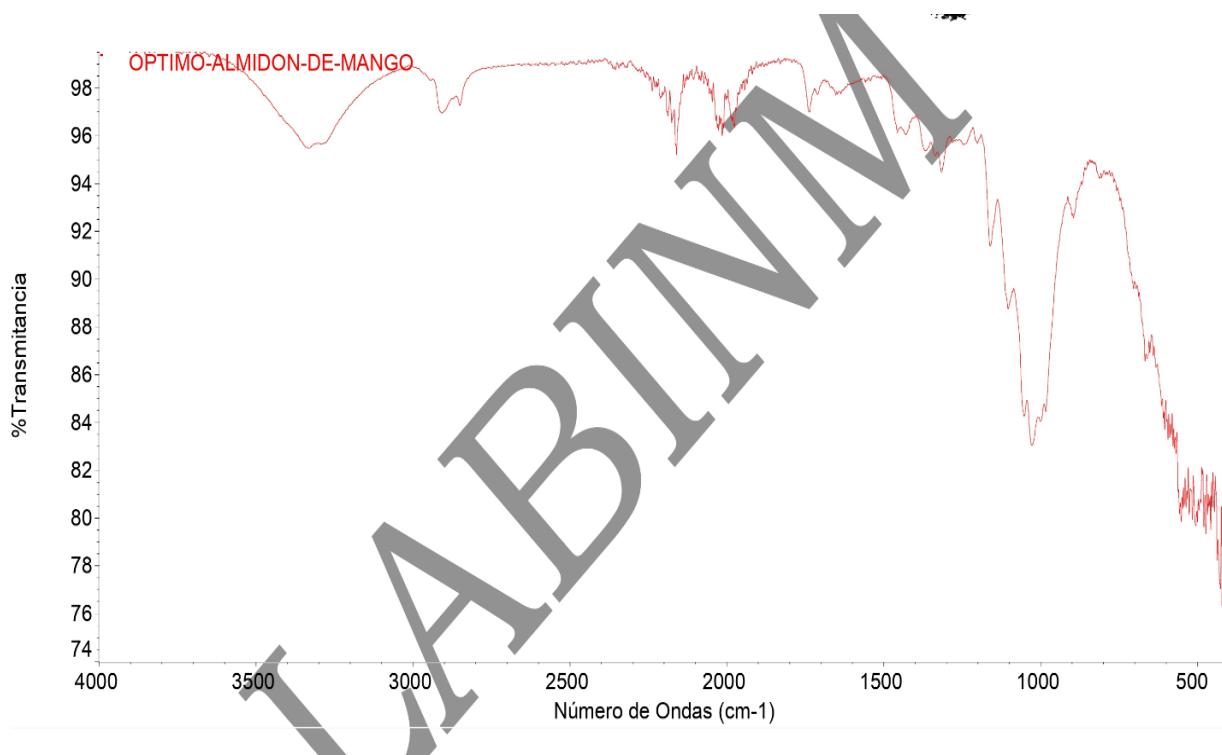
biodegradables, donde la composición química de componentes como la glucosa, amidas, y otros enlaces forman los picos en las gráficas. Así mismo, Ferreira et al. (2019) explica que influyen los O-H de las moléculas de agua añadidas en la mezcla, y que a los bandas de valores cercanos a  $1150\text{ cm}^{-1}$ , se le atribuye al estiramiento asimétrico del C-O-C.

Los espectros FTIR son una huella digital de la composición interna de las bandejas biodegradables, se identifica el agua, los carbohidratos, y otros grupos funcionales pertenecientes a los componentes o ingredientes de las bandejas, como los componentes celulósicos en las harinas, o los enlaces C-H, pertenecientes a los componentes del almidón, esto sirve para predecir cual es la interacción interna de las moléculas en las bandejas y así obtener una adecuada matriz polimérica uniforme y con la menor cantidad de cavernas internas.

**Figura 20.** Absorbancia Vs Número de ondas del tratamiento 7 de la bandeja biodegradable.

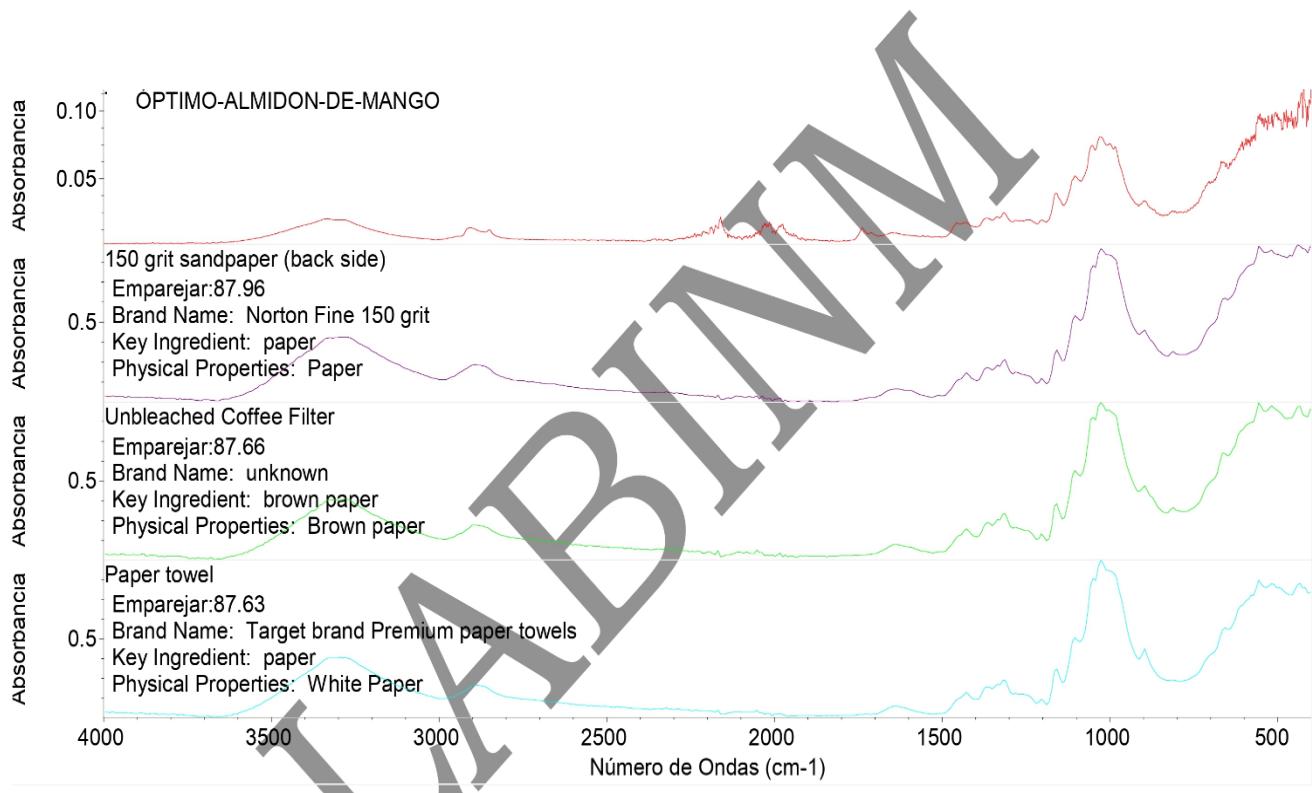


**Figura 21.** Transmitancia Vs Número de ondas del tratamiento 7 de la bandeja biodegradable.

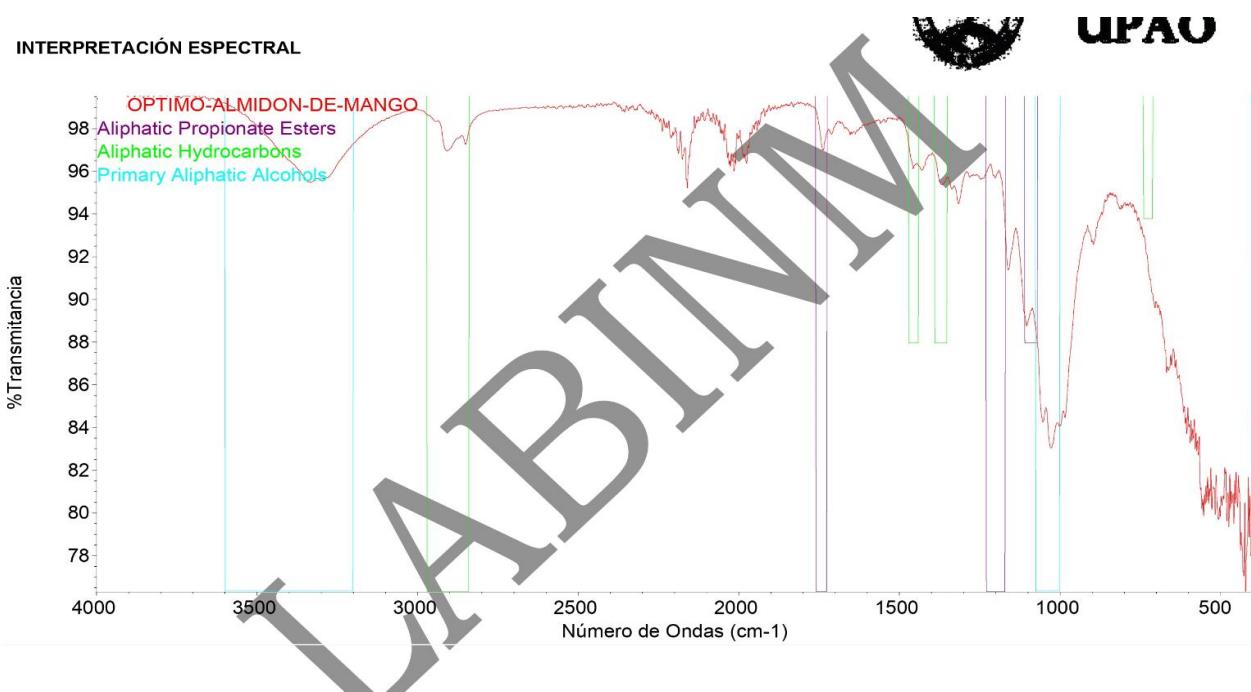


**Figura 22.** Espectros FTIR del tratamiento 7 de la bandeja biodegradable.

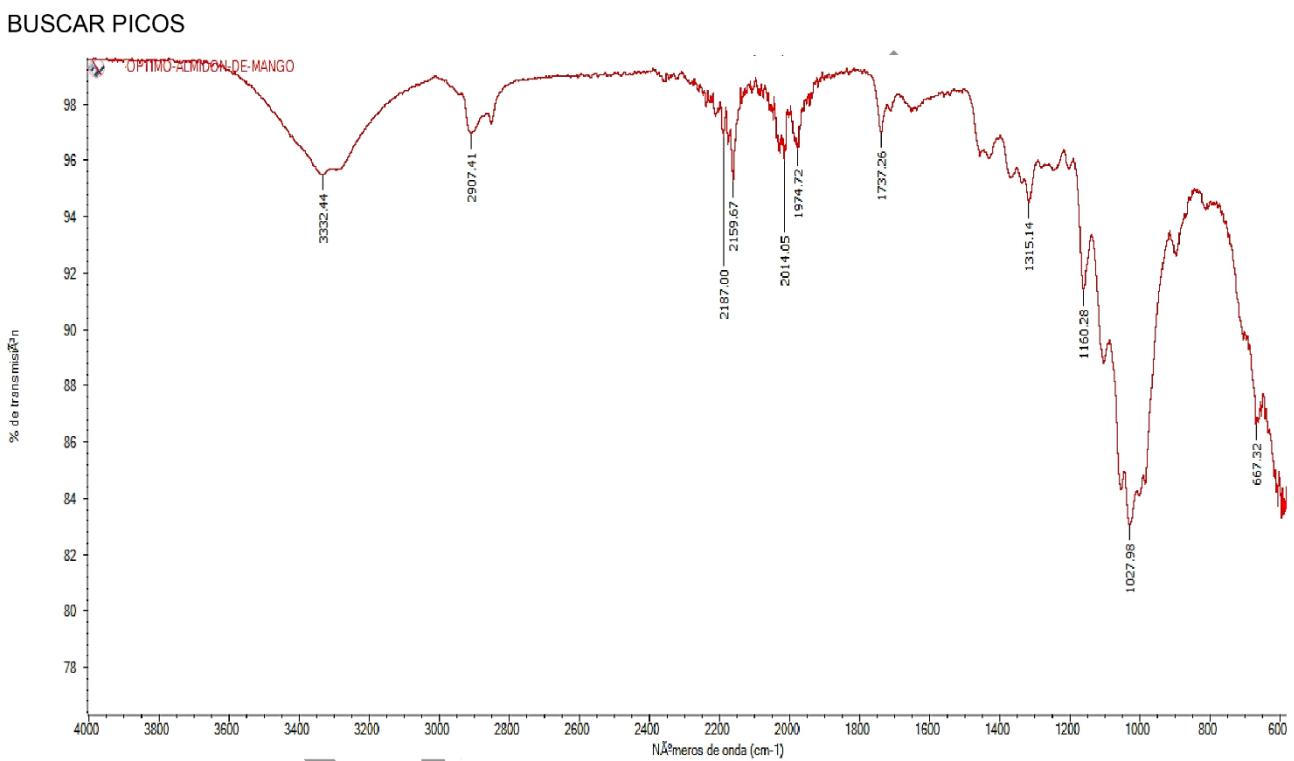
#### BUSQUEDA BIBLIOTECA



**Figura 23.** Interpretación espectral del tratamiento 7 de la bandeja biodegradable.



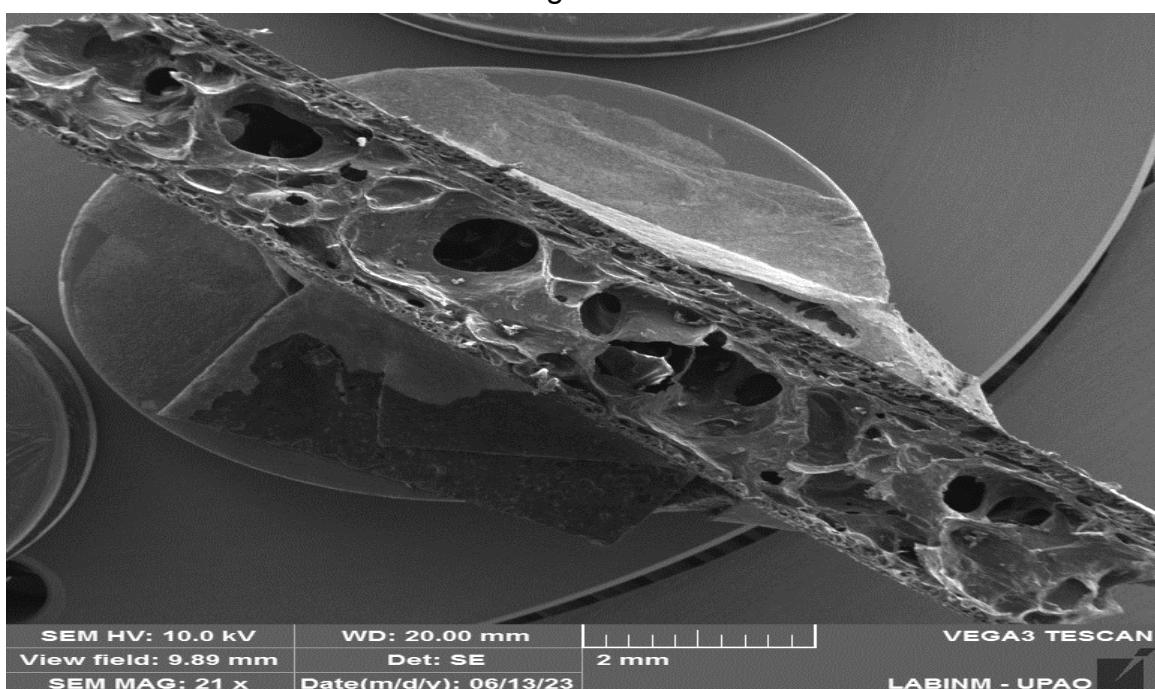
**Figura 24.** Porcentajes de transmitancia Vs Número de onda del tratamiento 7 de la bandeja biodegradable.



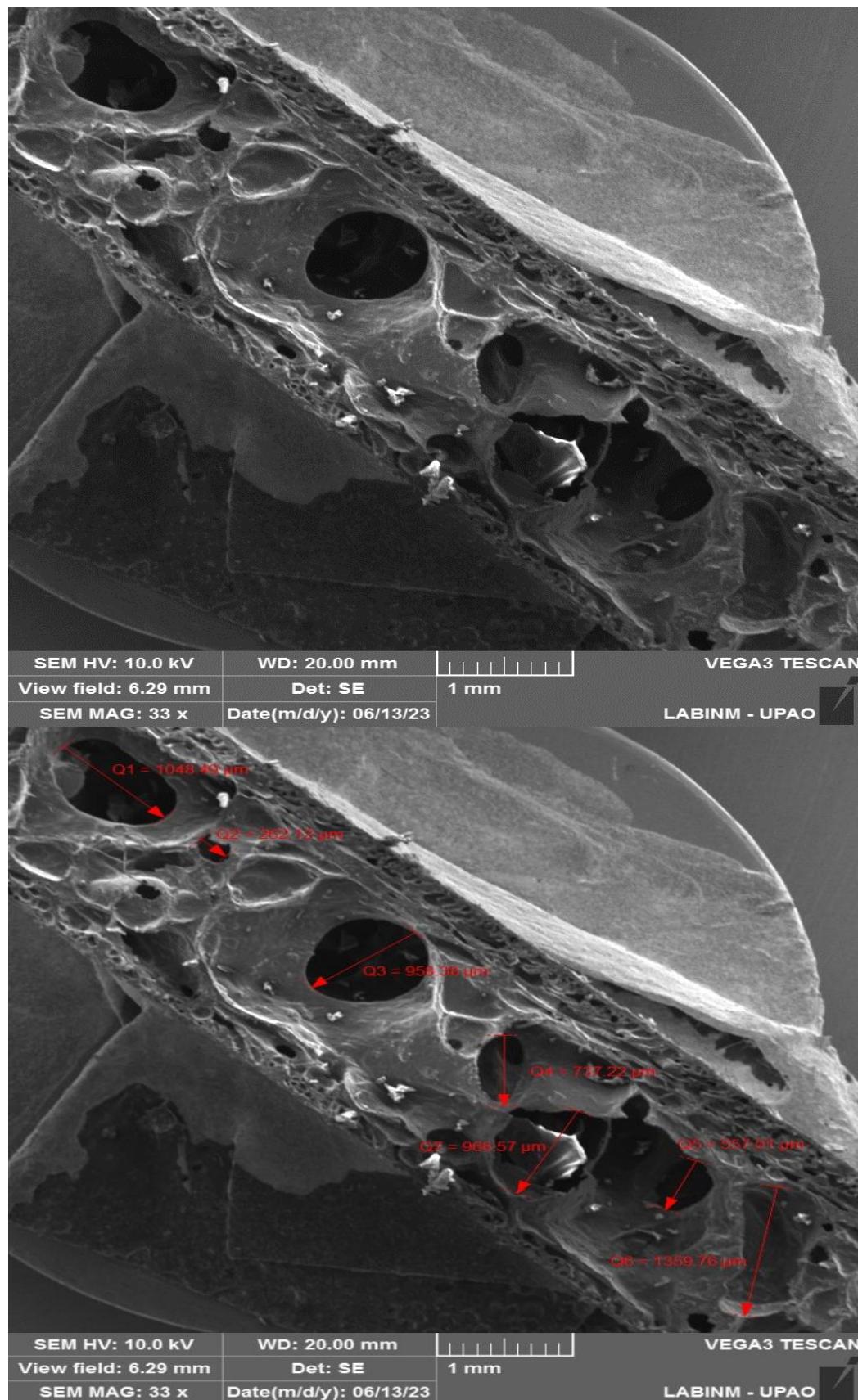
- **Análisis Microscopía Electrónica de Barrido (MEB)**

En las figuras 25 y 26, se muestran los resultados obtenidos para el análisis de Microscopía Electrónica de Barrido (MEB) para el tratamiento 7, con 30% de harina de cáscara de mango. En tales imágenes se aprecian las microestructuras internas obtenidas al hacer un corte transversal a las bandejas pudiendo apreciar las cavidades celulósicas formadas al interior de la bandeja por la evaporación del agua durante el proceso de termoprensado. El promedio de las medidas de las cavidades (Q1-Q6) fueron de 970.59 um. Como menciona Morón (2017), se comprobó que a mayor contenido de fibra existe una disminución en el tamaño de las porosidades internas. Lima et al. (2020), manifiesta que la porosidad de las bandejas también influye en las propiedades mecánicas obtenidas de las bandejas. Ferrerira et al. (2019) también manifiesta que esto se debe a que existe una relación entre las cavernas internas de las bandejas que van aumentando conforme aumenta el contenido de almidón en las formulaciones, y disminuye conforme se adicionan las fibras que forman redes en la matriz polimérica de las bandejas.

**Figura 25.** Micrografías MEB del tratamiento 7 de la bandeja biodegradable.



**Figura 26.** Micrografías MEB del tratamiento 7 de la bandeja biodegradable.



## V. CONCLUSIONES

- A partir de la composición química proximal de la harina de cáscara de mango se encontró un alto contenido de fibra dietética total de 39.82%, por lo tanto, es una fuente potencial de celulosa, y para el almidón de semilla de mango se encontró un alto valor de carbohidratos de 86.28%, lo que demuestra su pureza, por lo que estas materias primas son convenientes para la producción de biopolímeros.
- En cuanto a las características físicas de las bandejas biodegradables se obtuvieron los siguientes valores en los 7 tratamientos, con diferencia significativa a un nivel del 95% de confianza en las características de color entre 41.19 a 54.34, humedad 1.63 a 3.89%, densidad 0.32 a 0.49 g/cm<sup>3</sup>, espesor 1.47 a 2.90mm, capacidad de absorción de agua 28.17 a 80.76%, y sólidos volátiles 96.04 a 99.27%, encontrándose una relación que a mayor porcentaje de harina menor humedad y menor capacidad de absorción de agua.
- En las características mecánicas se obtuvieron los siguientes valores en los 7 tratamientos, con diferencia significativa a un nivel del 95% de confianza en las características de resistencia entre 2.26 a 3.03 MPa, elongación 1.11 a 1.85%, dureza 44.39 a 92.18 N, y fracturabilidad 1.88 a 2.43 mm, encontrándose una relación indirecta que a mayor porcentaje de harina se obtiene una menor fracturabilidad, pero mayor dureza.
- El análisis DRX de la bandeja biodegradable del tratamiento 7 permitió identificar el grado de cristalinidad, mostrando dos picos de difracción a  $2\theta = 17^\circ$ , y  $23^\circ$ , con intensidad relativa a 1400 y 2300 mA; por su lado el análisis temogravimétrico mostró el perfil de degradación cuyo pico de descomposición empieza 300°C, con una masa de residual del 10%; el análisis FTIR demostró la estabilidad térmica de la bandeja obteniendo bandas anchas de 4000 a 500 cm<sup>-1</sup> con picos de hasta 1027.98 cm<sup>-1</sup>, y finalmente las micrografías MEB mostraron la estructura interna de la bandeja biodegradable, obteniendo cavidades de 970.59 um. Estos análisis estructurales permitieron evaluar la matriz polimérica concluyendo que la combinación de harina de cáscara de mango con almidón de semilla de mango forma una mezcla con buena expansión y propiedades en las bandejas biodegradables.

## **VI. RECOMENDACIONES**

- Se recomienda formar envases biodegradables a partir de harina y almidón de mango con otros moldes, y también realizar un estudio de factibilidad para así determinar su viabilidad en el mercado y producción industrial.
- Se recomienda continuar investigando otras vías de reutilización de residuos orgánicos a favor del medio ambiente, ya que es importante para la Gestión Ambiental de las agroindustrias.
- Se recomienda evaluar la biodegradabilidad de las bandejas biodegradables mediante métodos de compostajes controlados.
- Se recomienda evaluar el uso de resinas, aceites u otros polímeros para mejorar la permeabilidad y disminuir la capacidad de absorción de agua de las bandejas.

## VII. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS Y VIRTUALES

- Amaya, L. (2017). *Influencia de la concentración de nanofibras de peladilla de Espárrago en las propiedades Físico-Mecánicas de bandejas Biodegradables*. [Tesis de pregrado]. Universidad Nacional de Trujillo.
- Anape (2012). *Propiedades Físicas del (EPS) poliestireno expandido*. <http://www.polyfex-eps.com/propiedades-fisicas-del-eps/>
- Andina (2022). *Aliado contra el cáncer: consume mango, la deliciosa y nutritiva súper fruta del verano*. Andina, Agencia Peruana de Noticias.
- Anticona, G., y Torres, L. (2020). *Efecto de la concentración de almidón de almendra de mango criollo (*Mangifera indica L.*) en la obtención de películas* [Tesis de pregrado, Universidad Nacional Pedro Ruiz Gallo].  
Repositorio Institucional UNPRG.  
[https://repositorio.unprg.edu.pe/bitstream/handle/20.500.12893/8715/Anthonica\\_Cabellos\\_Gerson\\_Jahir\\_y\\_Torres\\_Diaz\\_Luis\\_Bernab%c3%a9.pdf?sequence=1&isAllowed=y](https://repositorio.unprg.edu.pe/bitstream/handle/20.500.12893/8715/Anthonica_Cabellos_Gerson_Jahir_y_Torres_Diaz_Luis_Bernab%c3%a9.pdf?sequence=1&isAllowed=y)
- AOAC. (1990). Official Methods of Analysis of AOAC International, official Method 920.39C fat (crude) or ether extract, Maryland, USA.
- AOAC. (1990). Official Methods of Analysis of AOAC International, 923.03: Ash of Flour Direct Method First Action.
- AOAC. (1995). Enzymatic-Gravimetric Method. Total Dietary Fibre in Foods, 985.29.
- AOAC. (2005). Official Methods of Analysis of AOAC International, 950.46.
- AOAC. (2006). Official Methods of Analysis of AOAC International, Solids (total) an moisture in flour – Air Oven Methods (32.1.03), Maryland, USA.
- Arce, A., y Hernández, L. (2022). *Recubrimiento de almidón de semilla de mango aplicado a tomate (*Solanum Lycopersicum L.*)*. [Tesis de pregrado, Universidad Nacional de Ciencias y Artes de Chiapas].
- Arévalo, A. (2017). *Caracterización de las propiedades fisicoquímicas y térmicas de almidón de oca (*Oxalis tuberosa*)*. [Tesis de grado, Universidad Nacional de Trujillo].
- ASTM. (2017). Standard Test Method for Compositional Analysis by Thermogravimetry E1131-08 tga.

- Barbosa, C. (2012). *Fisiología de plántulas procedentes de embriones cigóticos y nucelares de Mangifera indica L., identificados con marcadores moleculares* [Tesis doctoral, Universidad Autónoma Metropolitana]. TESIUAMI Colección de tesis electrónicas. <http://tesiuami.itz.uam.mx/uam/aspuam/presentatesis.php?recno=204381646&docs=204381646.pdf>
- Barreiro, F.; y Coronel, A. (2021). *Bagazo de caña de azúcar (*Saccharum officinarum*) y almidón de yuca (*Manihot esculenta*) como sustituto de poliestireno en la elaboración de platos biodegradables*. Bachelor's thesis, Calceta: ESPAM MFL.
- Bergel, B.; Dias, S.; Da Luz, L.; y Santana, R. (2018). *Effects of hydrophobized starches on thermoplastic starch foams made from potato starch*, Carbohydrate Polymers, 200, 106–114. <https://doi.org/10.1016/j.carbpol.2018.07.047>
- Cabanillas, A.; Nuñez, J.; Cruz-Tirado, J.; Vejarano, R.; Tapia-Blácido, D.; Arteaga, H.; y Siche, R. (2019). *Pineapple shell fiber as reinforcement in cassava starch foam trays*, Poly-mers and Polymer Composites, 27(8), 496–506.
- Caldas, L.; y Hernández, K. (2022). *Evaluación del uso del pseudotallo de plátano con almidón de maíz termoplástico para la elaboración de platos biodegradables* [Bachelor's thesis, Universidad de Guayaquil. Facultad de Ingeniería Química].
- Calderón, M.; y Calisaya, S. (2014). *Estudio del efecto de las variables de termoformado en las propiedades finales de piezas termoformadas del PET* [Tesis de pregrado, Universidad Nacional de San Agustín]. Repositorio Institucional UNSA. <http://repositorio.unsa.edu.pe/bitstream/handle/UNSA/2898/MTcasamg021.pdf?sequence=1&isAllowed=y>
- Carvajal, S. (2019). *Obtención de empaques biodegradables a partir de colágeno y almidón*. [Tesis de pregrado, Universidad de las Américas].
- Cedeño, J.; y Zambrano, J. (2014). *Cáscaras de piña y mango deshidratadas como fuente de fibra dietética en producción de galletas*. [Tesis de pregrado, Escuela Superior Politécnica Agropecuaria De Manabí Manuel Félix López].

- Chinchayhuara, R.; y Quispe, R. (2018). *Elaboración de bioplásticos con residuos orgánicos a base de cáscara de plátano y mango para reducir la contaminación por el uso de plásticos sintéticos en Trujillo* [Tesis de pregrado, Universidad César Vallejo]. Repositorio UCV. [https://repositorio.ucv.edu.pe/bitstream/handle/20.500.12692/35806/chinchayhuara\\_cr.pdf?sequence=1&isAllowed=y](https://repositorio.ucv.edu.pe/bitstream/handle/20.500.12692/35806/chinchayhuara_cr.pdf?sequence=1&isAllowed=y)
- Cruz, G. (2021). *Efecto de la proporción de fibra y almidón obtenidos del pseudotallo de banano (*Musa acuminata*) en las propiedades de bandejas biodegradables*. [Tesis de pregrado, Universidad Nacional de Trujillo] Trujillo, Perú.
- Cruz, J.; Koester, D.; Deon, V.; Biduski, B.; Amorin, S.; De Quast, L.; y Pinto, V. (2020). *Expanded foams from potato starch reinforced by malt pomace*, Re-search, Society and Development, 9(9), e875997630.
- Cuevas, Z. (2017). *Obtención y caracterización de almidones termoplásticos obtenidos a partir de almidones injertados con poliésteres biodegradables*. [Tesis doctoral, Centro de Investigación Científica de Yucatán]. Repositorio Institucional CICY. [https://cicy.repositorioinstitucional.mx/jspui/bitstream/1003/466/1/PCM\\_D\\_Tesis\\_2017\\_Cuevas\\_Zujey.pdf](https://cicy.repositorioinstitucional.mx/jspui/bitstream/1003/466/1/PCM_D_Tesis_2017_Cuevas_Zujey.pdf)
- Culebro, C. (2017). *Extracción de aceite de la semilla del mango Tommy Atkins*. [Tesis de pregrado, Universidad de Ciencias y Artes de Chiapas], Chiapas, México.
- Delgado, A. (2018). *El tecnopor: la amenaza invisible*. Clima de cambios. Pontificia Universidad Católica del Perú.
- Díaz, X. (2017). *Caracterización y optimización de una bandeja biodegradable a partir maíz, papa, soya y glicerol por el método de termoprensado*. [Tesis de pregrado, Escuela Agrícola Panamericana]. Biblioteca Digital Zamorano. <https://bdigital.zamorano.edu/server/api/core/bitstreams/280f5493-7dc0-46c5-a780-a8986f6709f6/content>
- Engel, J.; Ambrosi, A.; y Tessaro, I. (2019). *Development of biodegradable starch-based foams incorporated with grape stalks for food packaging*, Carbohydrate Polymers, 225(August), 115234. <https://doi.org/10.1016/j.carbpol.2019.115234>

- Enríquez, M.; Velasco, R.; y Ortiz, V. (2012). *Composición y procesamiento de películas biodegradables basadas en almidón*. Revista Biotecnología en el Sector Agropecuario y Agroindustrial, 10(1), 182-192.
- Escribano, V. (2020). Desarrollo y caracterización de un bioplástico a partir de cáscara de maracuyá (*Passiflora edulis*). Tesis para optar el título profesional de ingeniero agroindustrial y comercio exterior, Universidad Señor de Sipán.
- Espina, M.; Cruz, J.; y Siche, R. (2016). *Propiedades mecánicas de bandejas elaboradas con almidón de especies vegetales nativas y fibras de residuos agroindustriales*. Scientia Agropecuaria, 7(2), 133-143.
- Espinosa, G.; Guzmán, J.; Hernández, D.; y Oviedo, C. (2019). *Importación de envases biodegradables a base de caña de azúcar*. [Tesis de pregrado, Universidad de Ciencias Aplicadas]. Repositorio Académico UPC.
- Ferreira, A.; Martins, J.; Carvalho, L.; y Magalhaes, F. (2019). Biosourced disposable trays made of brewer's spent grain and potato starch. Revista MDPI, 11(5), 923.
- Francisco, B.; Vidal, I.; Maldonado, Y.; y Jimenez, J.; Flores, V.; Arámbula, G.; y Salazar, R. (2020). *Efecto de la adición de subproductos agroindustriales en las propiedades físicas de un bioplástico almidón-gelatina*. Revista de Ciencias Biológicas y de la Salud, 23. (1). 1665-1456.
- García, L.; García, A.; Olaya, P.; Rosas, G.; y Vignolo, D. (2019). Diseño del proceso productivo de bandejas biodegradables a partir de fécula de maíz. [Trabajo de investigación, Universidad de Piura].
- Granados, L. (2021). *Desarrollo de un empaque postcosecha a partir de residuos de piña*. [Trabajo de Grado, Universidad de Bogotá Jorge Tadeo Lozano].
- Gonzalez, C.; García, C.; y Olivares, S. (2022). *Caracterización fisicoquímica de almidón de residuos y especies vegetales producidos en Amazonas – Perú*. [Tesis para obtener el título profesional de ingeniero agroindustrial, Universidad Nacional Toribio Rodríguez de Mendoza de Amazonas]

- Guerrero, D.; Farfán, R.; Garrido, F.; Ipanaque, J.; Yovera, L.; y Yovera, E. (2012). *Diseño del proceso industrializado del mango en almíbar*. Universidad de Piura.
- Gutiérrez, E. (2020). *Modificación dual del almidón de yuca: oxidación-esterificación, y termoplastificación, para la compatibilización con PLA*. Trabajo de maestría, Centro de Investigación en Química Aplicada Maestría en Tecnología de Polímeros.
- Jahurul, M.; Zaidul, I.; Norulaini, N.; Sahena, F.; Abedin, M.; y Mohamed, A. (2014). *Hard cocoa butter replacers from mango seed fat and palm stearin*. Food Chemistry. 154: 323-329.
- Lima, M.; Jorney, W.; y Lima, A. (2020). *Aproveitamento de resíduos vegetais como alternativa na fabricacao de embalagens biodegradáveis*. Revista Brazilian Journal of Development, 6 (11), 86238-86250.
- Lizárraga, C.; y Hernández, C. (2018). *Polifenoles de la cáscara de mango para la acuacultura*. Revista Ciencia, 69 (1): 1-6.
- Llerena, J.; y Monzón, L. (2017). *Elaboración de un envase biodegradable a partir de almidón obtenido de arroz quebrado (*oryza sativa*), queratina obtenida de resíduos avícolas (plumas) fortificado con resíduos de cáscaras de mango (*mangifera indica*)*. (Tesis de pregrado). Universidad Católica Santa María, Arequipa, Perú.
- Machado, C.; Benelli, P.; y Tessaro, I. (2020). *Study of interactions between cassava starch and peanut skin on biodegradable foams*. International Journal of Biological Macromolecules, 147, 1343–1353.
- Machaca, C. (2022). *Obtención de bioplástico a partir de almidón de la semilla de palta (*persea americana*) variedad hass y determinación de la biodegradabilidad*. [Trabajo de Grado, Universidad Nacional de Moquegua].
- Malambo, L.; Arias, A.; y Moscoso, F. (2022). *Elaboración de platos biodegradables a base de hoja de la planta de plátano-cachaco para mejorar la economía del resguardo indígena de palonegro (tolima)*. [Proyecto de grado, Universidad ECCI, Bogotá]. Repositorio ECCI.
- Matos, I.; y Díaz, J. (2022). *Caracterización de bandejas biodegradables de almidón y fibra de semilla de (*Persea americana*) y almidón de*

- (*Mangifera indica*). [Tesis de pregrado, Universidad Nacional del Santa]. Repositorio de la UNS.
- Medina, C.; Paredes, A.; Rodríguez, M.; Moreno, M.; Belén-Camacho, D.; García, D.; y Ojeda, C. (2010). *Evaluación de dos métodos de extracción de almidón a partir de cotiledones de mango*. Bioagro, 67-74.
- Medina, E.; Guatemala, G.; Fernández, O.; Corona, R.; Mondragón, P.; y Arriola, E. (2017). *Evaluación de las propiedades fisicoquímicas y tecno funcionales de subproductos de residuos de mango (*Mangifera indica*, variedad Tommy Atkins)*. Memorias del XXXVIII Encuentro Nacional de la AMIDIQ, 381 – 386.
- Mello, L.; y Mali, S. (2014). *Use of malt bagasse to produce biodegradable baked foams made from cassava starch*. Industrial Crops and Products, 55, 187-193.
- Meré, J. (2009). *Estudio del procesado de un polímero termoplástico basado en almidón de patata amigable con el medio ambiente*. (Tesis). Universidad Carlos III de Madrid, Madrid-España.
- Molina, M. (2019). *Caracterización de almidón extraído del cotiledón de tres variedades de *Mangifera indica* L.* [Tesis de pregrado, Universidad de Ciencias y Artes de Chiapas].
- Moreno, E. (2021). *Desarrollo de un envase térmico biodegradable a base de harinas de cascarilla de (*Oryza sativa*), cáscara de mango (*Mangifera indica*) y almidón de yuca (*Manihot esculenta*)*. [Tesis de pregrado, Universidad Católica de Santiago de Guayaquil].
- Morón, A. (2017). *Propiedades Fisicoquímicas y Mecánicas de bandejas de Almidón de Arracacha (*arracacia xanthorrhiza*) reforzadas con fibra de bagazo de caña y peladilla de espárrago*. [Tesis de Grado]. Universidad Nacional de Trujillo.
- Navia, D. (2011). *Desarrollo de un material para empaques de alimentos a partir de harina de yuca y fibra de fique*. [Tesis de pregrado, Universidad del Valle].
- Nazario, R.; Gallozo, M.; Angelats, L.; Mantilla, F.; Alayo, Y.; Castillo, A.; Chavín, C.; y Durán, M. (2020). *Reforzamiento de películas biodegradables de almidón de semilla de mango mediante la*

- incorporación de extracto de piel de mango para su uso como envase activo.* LACCEI International Multi-conference for Engineering, Education and Technology, 2020 (75).
- NBRNM-ISO535. (1999). Papel e cartão - Determinação da capacidade de absorção de água - Método de Cobb.
- NTP 208.05 (2018). Cereales y menestras. Determinación de proteínas totales (método de Kjeldahl).
- NTP 900.080. (2015). Envases y embalajes. Requisitos de los envases y embalajes. Programa de ensayo y criterios de evaluación de biodegradabilidad.
- Ortiz, M. (2019). *Evaluación de un bioplástico a partir de almidón de semillas de mango (*Mangifera indica L.*) con aplicación potencial en envases.* (Tesis de pregrado). Universidad El Bosque, Bogotá, Colombia.
- Osswald, T.; Aquite, W.; Ramirez, D.; López, L.; Puentes, J.; Perez, C.; y García, S. (2012). *Retos en la industria de procesamiento de plásticos y compuestos.* Dyna, 175 (79), 20-28.
- Proskey, L.; Asp, N.; Schweizer, T.; Devries, J.; y Furda, I. (1988). *Determination of insoluble soluble and total dietary fiber in foods and food products; Interlaboratory Study.* (J. AOAC 71:1017-1023).
- Ramírez, C. (2021). *Desarrollo de un envase térmico biodegradable a base de harinas de cascarilla de (*Oryza sativa*), cáscara de mango (*Mangifera indica*) y almidón de Yuca (*Manihot esculenta*).* Universidad Católica de Santiago de Guayaquil. Ecuador.
- Riera, M.; y Palma, R. (2018). *Obtención de bioplásticos a partir de desechos agrícolas. Una revisión de las potencialidades en Ecuador.* Redalyc, 13(3), 69-78.
- Rodríguez, L. (2014). *Efecto de tratamientos enzimático, microondas y ultrasonido en la extracción de grasa de semilla de mango (*Mangifera indica L.*).* [Tesis de pregrado, Universidad de Tolima].
- Romero, J. (2019). *Caracterización de bandejas biodegradables provenientes de diferentes almidones nativos peruanos.* [Tesis de grado, Universidad Nacional de Trujillo].
- Rubiano, K.; Ciro, H.; y Aristizabal, I. (2019). *Aprovechamiento de los subproductos del mango, como fuente de compuestos bioactivos, para*

- la elaboración de rollos comestibles.* Rev. U.D.C.A. Act. & Div. Cient, 22 (2):e1078.
- Ruiloba, I.; Li, M.; Quintero, R.; y Correa, J. (2018). *Bioplastic production from mango seed starch.* RIC, Revista de Investigación Clínica, 4, 28-31.
- Ruiz, G. (2005). *Polímeros biodegradables a partir del almidón de yuca*, Universidad EAFIT, Medellín, Colombia.
- Ruiz, G. (2014). *Obtención y caracterización de un polímero biodegradable a partir de almidón de yuca*, Revista de Ingeniería de la USIL, 1(01), 55-76
- Saavedra, J. (2000). *Obtención y caracterización del almidón de la almendra del mango (*Mangifera indica L.*) variedad criolla*. Universidad Nacional de San Martin.
- Salgado, P.; Schmidt, V.; Molina, S.; Mauri, A.; y Laurindo, J. (2008). *Biodegradable foams based on cassava starch, sunflower proteins and cellulose fibers obtained by a baking process*, Journal of Food Engineering, v. 85, n. 3, p. 435-443.
- Salmerón, F. (2019). *Elaboración y caracterización de un material biodegradable utilizando desechos de lechuga de la Planta Pos cosecha en la Escuela Agrícola Panamericana*. Escuela Agrícola Panamericana, Zamorano, Honduras.
- Sánchez, K. (2017). *Comparación de la calidad de bioplásticos obtenidos del almidón de los residuos de papa y camote de restaurantes del mercado central del distrito de independencia, 2017*. (Tesis para obtener el título de ingeniero ambiental). Universidad César Vallejo.
- Sernaqué, F.; Huamán, L.; Pecho, H.; y Chacón, M. (2020). *Biodegradabilidad de los bioplásticos elaborados a partir de cáscaras de *Mangifera indica* y *Musa paradisiaca**. Universidad César Vallejo, Lima.
- Siddiq, M.; Brecht, J.; y Sidhu, J. (2017). *Handbook of Mango Fruit: Production, Postharvest Science, Processing Technology and Nutrition*. DOI:10.1002/9781119014362.
- Standard Methods. (2001). *Method 1684: Total, Fixed, and Volatile Solids in Water, Solid, and Biosolids Draft*, USA.

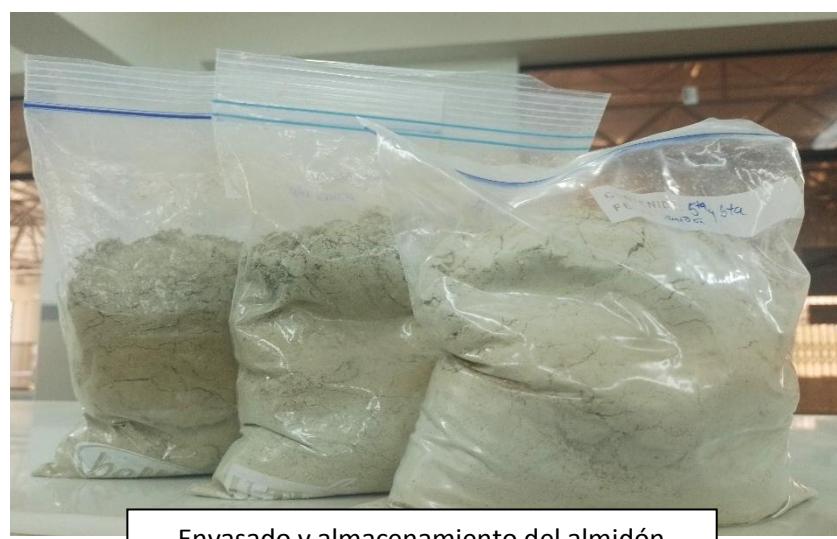
- Sumaya, T.; Sánchez, L.; Torres, G.; y García, D. (2012). *Red de valor del mango y sus desechos con base en las propiedades nutricionales y funcionales*. Revista mexicana de agronegocios, 30, 826-833.
- Valero, M.; Ortegón, Y.; y Uscategui, Y. (2013). *Biopolímeros: Avances y perspectivas*. Revista Scielo, 181, 171-180.
- Wall, A.; Olivas, F.; Velderrain, G.; y González. G. (2014). *El mango: aspectos agroindustriales, valor nutricional/funcional y efectos en la salud*. Revista Scielo. Revista Nutrición hospitalaria: órgano oficial de la Sociedad Española de Nutrición Parenteral y Enteral, 31(n01):67-75. DOI:10.3305/nh.2015.31.1.7701
- Zhong, X. O., Hanafi, I., & Yi, P. T. (2018). Caracterización y propiedades de los compuestos de película polimérica biodegradable a base de polivinil alcohol y harina de residuos de frutas tropicales. Compuesto de vinil reforzado con fibra natural y polímeros de vinilo, 313-332. doi:<https://doi.org/10.1016/B978-0-08-102160-6.00016-0>

## VIII. ANEXOS

### Anexo 1. Extracción de almidón de semilla de mango.







## Anexo 2. Obtención de harina de cáscara de mango.

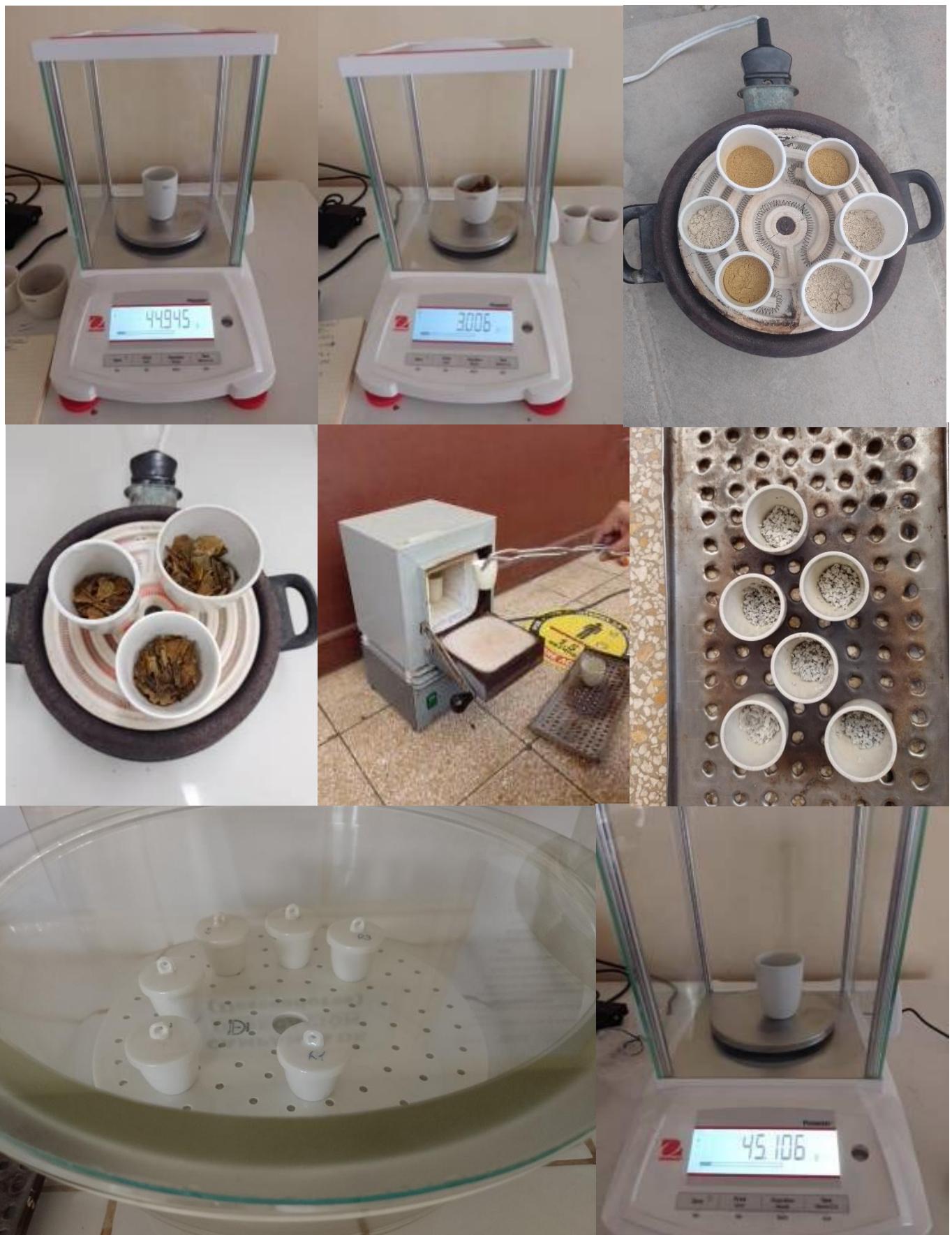




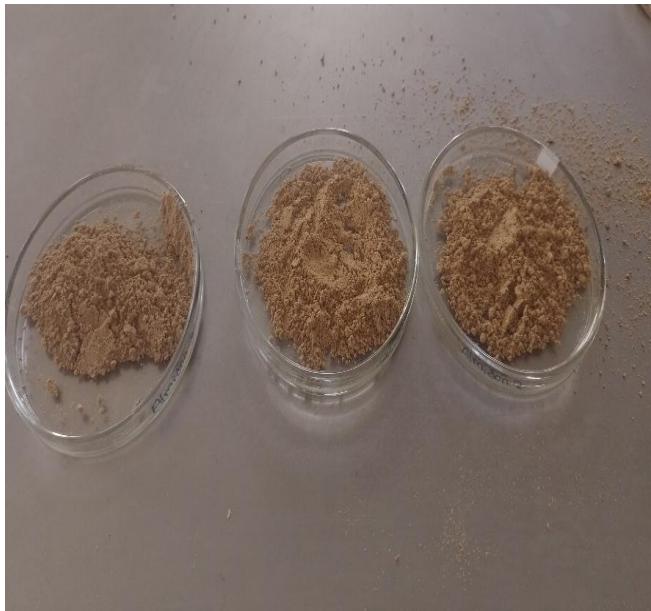


Envasado y almacenamiento

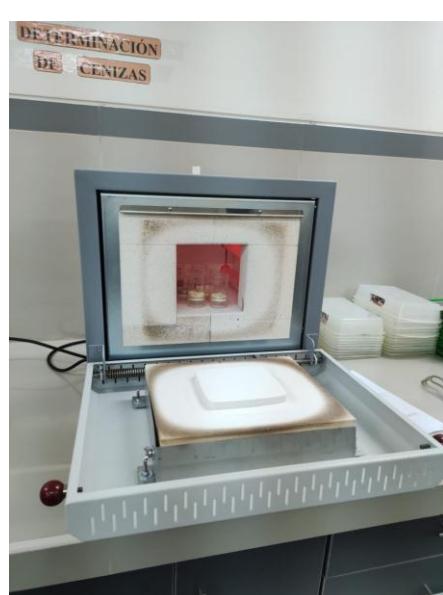
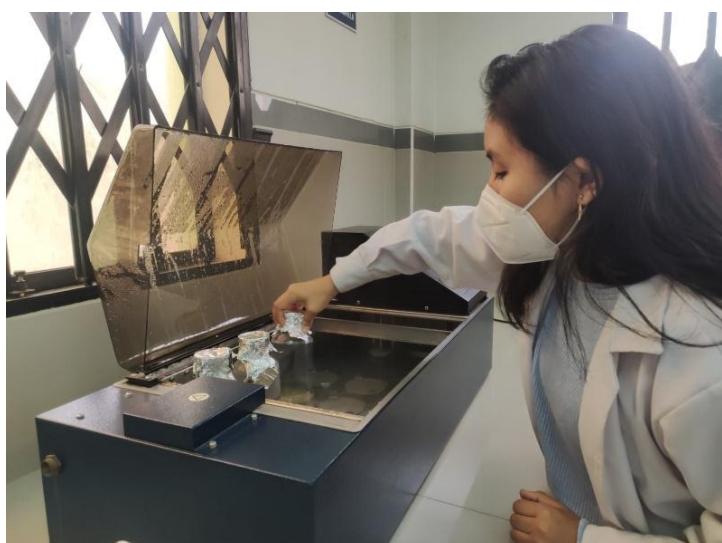
**Anexo 3.** Determinación de contenido de cenizas en mufla.



### Anexo 3. Determinación de humedad.



**Anexo 3.** Determinación de contenido de fibra.



#### Anexo 4. Determinación de porcentaje de grasas – Método Soxhlet



## Anexo 5. Determinación de contenido de proteínas.



### INFORME DE ENSAYO N° 247-2023/N

Nº DE SOLICITUD DE SERVICIO	041-2022/N
Nº DE ORDEN DE ENSAYO	228-2022
CLIENTE	<b>MARIA DE FATIMA AREVALO OLIVA</b>
DIRECCIÓN	P.J. Primero de mayo Mz. R, Lt. 20, Nuevo Chimbote, Santa, Ancash
PRODUCTO DECLARADO	<b>1) HARINA DE CASCARA DE MANGO 2) ALMIDON DE SEMILLA DE MANGO</b>
LOTE	Muestra tipo prototipo
PRODUCTOR	No aplica
DIRECCIÓN	No aplica
PRESENTACIÓN DEL CONTENIDO	1) HARINA DE CASCARA DE MANGO 2) ALMIDON DE SEMILLA DE MANGO
TIPO DE ENVASE	Bolsa de polietileno
TIPO DE EMPAQUE	No aplica
INFORMACION DE LA ETIQUETA	Marca: No aplica Peso Neto: No aplica Peso Escurrido: No aplica

#### INFORMACIÓN DEL MUESTREO

FECHA DE MUESTREO	: No aplica
LUGAR DE MUESTREO	: No aplica
PROCEDIMIENTO DE MUESTREO	: No aplica
PLAN DE MUESTREO	: No aplica
CANTIDAD DE MUESTRA	: 02 muestras
Nº DE MUESTRAS PARA ENSAYO	: 02 muestra (FQ: 50 g c/u)
Nº DE MUESTRAS DIRIMENTES	: No aplica
PRECINTO MUESTRAS DIRIMENTES N°	: No aplica
PERÍODO DE CUSTODIA	: No aplica
TEMPERATURA DE MUESTREO	: No aplica

#### INFORMACIÓN DEL ENSAYO

FECHA DE RECEPCIÓN	: 22.08.2023
FECHA DE ENSAYO	: Inicio: 24.08.2023 Término: 24.08.2023
ENSAYO REALIZADO EN	Programa de vivienda Buenos Aires 2da. Etapa, Parcelación Semi-Rústica Mz F, Lote 10A-1, Nuevo Chimbote, Santa, Ancash.
SUBCONTRATACION	: Entidad: No aplica

#### RESULTADOS

ANÁLISIS: CARACTERISTICAS FISICO QUIMICAS	
ENSAYOS	Harina de cascara de mango
	CODIGO N° MSC-205-A-23
<b>Proteína (g / 100 g) (En base seca)</b>	
	4,10
<b>Observaciones:</b> Factor de conversión de nitrógeno en proteína = 6,25.	
ANÁLISIS: CARACTERISTICAS FISICO QUIMICAS	
ENSAYOS	Almidón de semilla de mango
	CODIGO N° MSC-205-B-23
<b>Proteína (g / 100 g) (En base seca)</b>	0,75
<b>Observaciones:</b> Factor de conversión de nitrógeno en proteína = 6,25.	

#### MÉTODOS DE ENSAYO

Proteína: NTP 205..05:2018. CEREALES Y MENESTRAS. Cereales. Determinación de proteinas totales (método de Kjeldahl)..

#### NOTA:

Muestra no sujeta a dirimencia por su perecibilidad y/o muestra única.

Nuevo Chimbote, 25 de agosto de 2023.

LABORATORIO CERTIPEZ E.I.R.L.

**BLANCA SALINAS ALAVEDRA**  
CIP 17623

RESPONSABLE DE ÁREA TECNICA

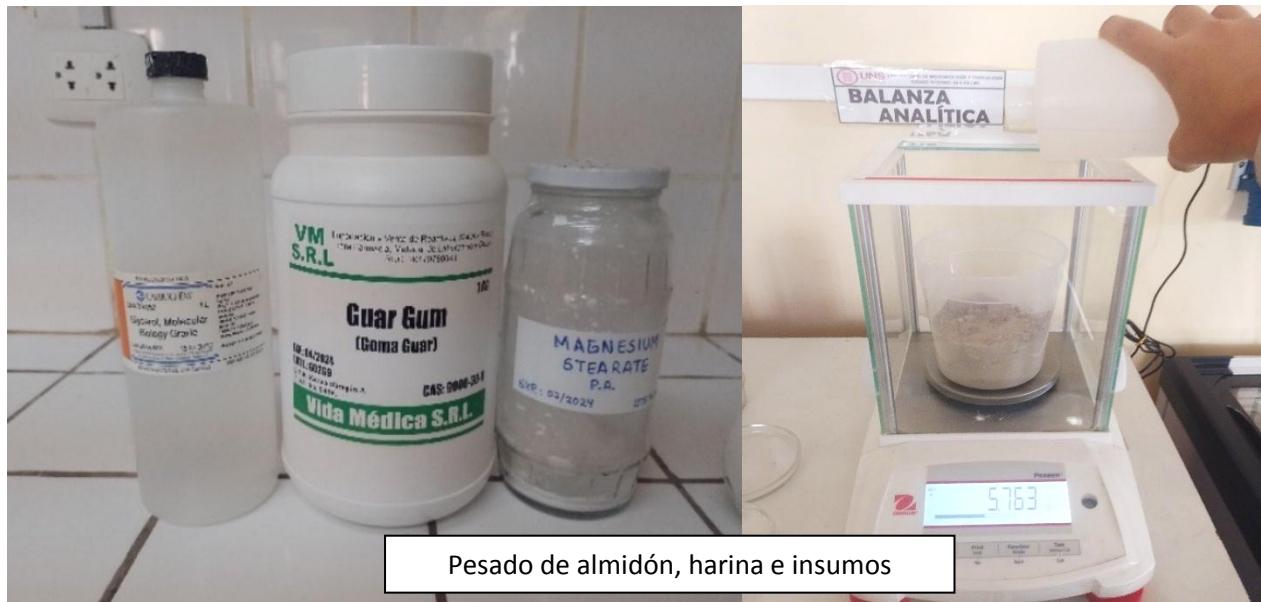
ESTE DOCUMENTO SÓLO TIENE VALIDEZ PARA LA MUESTRA DESCRITA, POR UN PERÍODO DE 180 DÍAS CALENDARIOS A PARTIR DE LA FECHA DE EMISIÓN DEL DOCUMENTO, NO PUEDE SER UTILIZADO PARA MEDIOS DE COMUNICACIÓN NI PARA VENDER O OTRO USO.  
LOS RESULTADOS DE LOS ENSAYOS NO DEBEN SER UTILIZADOS COMO UNA CERTIFICACIÓN DE CONFORMIDAD CON NORMAS DE PRODUCTO O COMO CERTIFICADO DEL SISTEMA DE CALIDAD DE LA ENTIDAD QUE LO PRODUCE. LOS RESULTADOS SE RELACIONAN SOLAMENTE CON LOS ítems SOMETIDOS A ENSAYO.  
LA DENOMINACIÓN DEL PRODUCTO ES DECLARADA POR EL SOLICITANTE. LA IDENTIFICACIÓN DE LOS DATOS SUMINISTRADOS POR EL CLIENTE SON DEBIDAMENTE IDENTIFICADOS.  
LABORATORIO CERTIPEZ E.I.R.L. NO ES RESPONSABLE DE LA INFORMACIÓN DECLARADA POR EL CLIENTE, QUE PUEDA AFECTAR LA VALIDEZ DE LOS RESULTADOS.  
LOS RESULTADOS PRESENTADOS CORRESPONDEN SÓLO A LA(S) MUESTRA(S) ENSAYADA(S), TAL COMO SE RECIBIÓ.  
QUEDA ABSOLUTAMENTE PROHIBIDA TODA REPRODUCCIÓN PARCIAL O TOTAL DEL PRESENTE INFORME SIN LA AUTORIZACIÓN PREVIA Y EXPRESA DE LABORATORIO CERTIPEZ E.I.R.L.

**LABORATORIO DE ENSAYO / ORGANISMO DE INSPECCIÓN**

**LABORATORIO CERTIPEZ E.I.R.L.**

Mz. F Lote 10A-1 Urb. Semi Rústica, Nuevo Chimbote, Santa, Ancash - [www.certipez.com.pe](http://www.certipez.com.pe)  
F-ENS-05 Rev. 12 Teléfono: (51) 043-313923 - Fax: (51) 043-313923 - Celular: 950994008 - 932323991

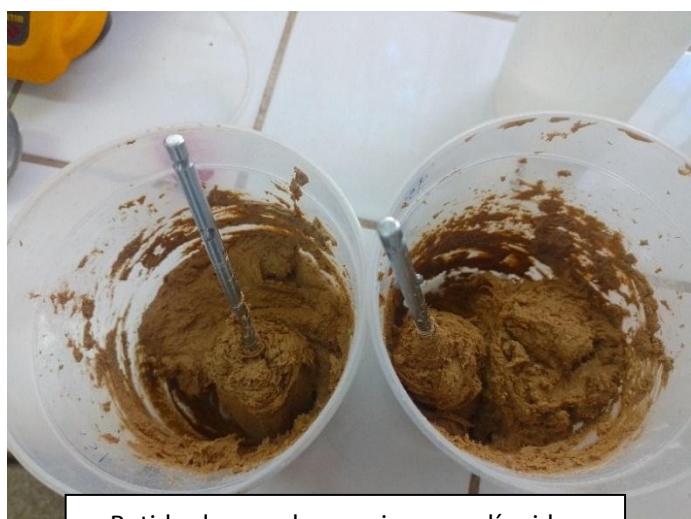
## Anexo 6. Procedimiento de elaboración de bandejas biodegradables.



Pesado de almidón, harina e insumos



Mezclas insumos secos de diversos tratamientos



Batido de mezclas con insumos líquidos



Amasado y boleado





Almacenamiento de las bandejas biodegradables

**Anexo 7. Evaluación de características físicas en las bandejas biodegradables.**

**HUMEDAD**



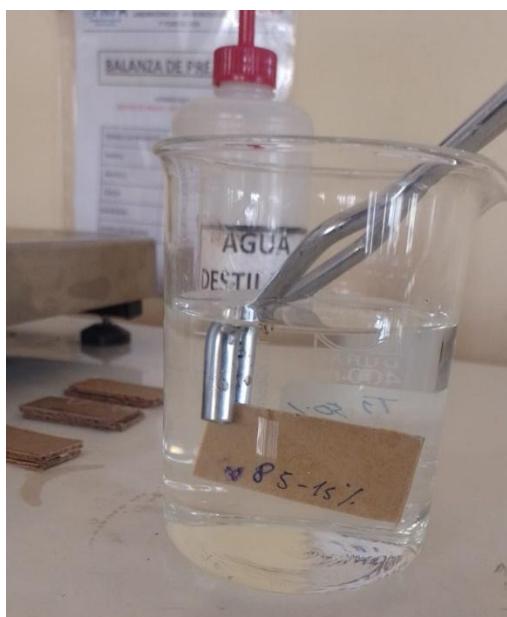
**COLOR**



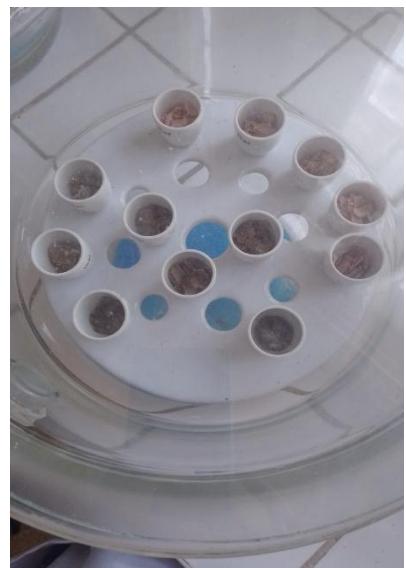
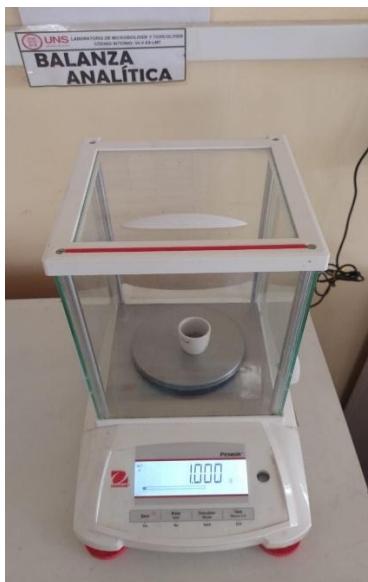
## **DENSIDAD**



## **DETERMINACIÓN DE CAPACIDAD DE ABSORCIÓN DE AGUA**



## DETERMINACIÓN DE SÓLIDOS VOLÁTILES – BIODEGRABILIDAD



## MEDIDAS DE ESPESOR



**Anexo 8.** Evaluación de características mecánicas en las bandejas biodegradables.

**PROCESO DE DETERMINACIÓN DE CARACTERÍSTICAS MECÁNICAS EN EL TEXTUROMETRO**



# ELABORACIÓN DE ENVASES BIODEGRADABLES CON CÁSCARA Y SEMILLA DE MANGO (*Mangifera indica L.*)

*por* Maria De Fatima AREVALO OLIVA

---

**Fecha de entrega:** 27-nov-2023 05:04p.m. (UTC-0500)

**Identificador de la entrega:** 2240103422

**Nombre del archivo:** INFORME\_DE\_TESIS\_MAESTRIA\_BANDEJAS\_MANGO-ok.pdf (8.17M)

**Total de palabras:** 22426

**Total de caracteres:** 116985

		<1 %
10	<a href="http://www.researchgate.net">www.researchgate.net</a> Fuente de Internet	<1 %
11	<a href="http://eprints.uanl.mx">eprints.uanl.mx</a> Fuente de Internet	<1 %
12	<a href="http://dspace.uazuay.edu.ec">dspace.uazuay.edu.ec</a> Fuente de Internet	<1 %
13	<a href="http://es.scribd.com">es.scribd.com</a> Fuente de Internet	<1 %
14	<a href="http://bdigital.zamorano.edu">bdigital.zamorano.edu</a> Fuente de Internet	<1 %
15	<a href="http://repositorio.unam.edu.pe">repositorio.unam.edu.pe</a> Fuente de Internet	<1 %
16	<a href="http://www.coursehero.com">www.coursehero.com</a> Fuente de Internet	<1 %
17	Submitted to Universidad Nacional de Trujillo Trabajo del estudiante	<1 %
18	<a href="http://ri.ues.edu.sv">ri.ues.edu.sv</a> Fuente de Internet	<1 %
19	<a href="http://www.repositorio.usac.edu.gt">www.repositorio.usac.edu.gt</a> Fuente de Internet	<1 %
20	<a href="http://mmegias.webs.uvigo.es">mmegias.webs.uvigo.es</a> Fuente de Internet	<1 %

21	Submitted to Universidad Nacional Santiago Antunez de Mayolo Trabajo del estudiante	<1 %
22	<a href="#">repositorio.unal.edu.co</a> Fuente de Internet	<1 %
23	<a href="#">repositorio.unas.edu.pe</a> Fuente de Internet	<1 %
24	<a href="#">www.dspace.uce.edu.ec</a> Fuente de Internet	<1 %
25	<a href="#">repositorio.ucsg.edu.ec</a> Fuente de Internet	<1 %
26	<a href="#">tesis.ucsm.edu.pe</a> Fuente de Internet	<1 %
27	<a href="#">biblioteca2.ucab.edu.ve</a> Fuente de Internet	<1 %
28	<a href="#">www.slideshare.net</a> Fuente de Internet	<1 %
29	<a href="#">repositorio.untrm.edu.pe</a> Fuente de Internet	<1 %
30	María Catalina Azula-Barrera. "Validación del compost producido a partir de especies invasoras como sustrato de propagación en el proceso de restauración ecológica", Revista de Ciencias Ambientales, 2022 Publicación	<1 %

31	Submitted to Universidad Católica de Santa María Trabajo del estudiante	<1 %
32	<a href="#">repositorio.ucundinamarca.edu.co</a> Fuente de Internet	<1 %
33	<a href="#">ouci.dntb.gov.ua</a> Fuente de Internet	<1 %
34	<a href="#">www.dspace.unitru.edu.pe</a> Fuente de Internet	<1 %
35	Submitted to Universidad Nacional del Santa Trabajo del estudiante	<1 %
36	<a href="#">www.scielo.org.mx</a> Fuente de Internet	<1 %
37	<a href="#">repositorio.unh.edu.pe</a> Fuente de Internet	<1 %
38	<a href="#">aprenderly.com</a> Fuente de Internet	<1 %
39	<a href="#">news.un.org</a> Fuente de Internet	<1 %
40	<a href="#">www.cocinafacil.com.mx</a> Fuente de Internet	<1 %
41	<a href="#">repositorio.unheval.edu.pe</a> Fuente de Internet	<1 %
42	<a href="#">1library.co</a>	

<1 %

43	Submitted to Universidad Nacional de San Cristóbal de Huamanga Trabajo del estudiante	<1 %
44	repositorio.lamolina.edu.pe Fuente de Internet	<1 %
45	repositorio.uncp.edu.pe Fuente de Internet	<1 %
46	Submitted to Universidad Nacional Toribio Rodríguez de Mendoza de Amazonas Trabajo del estudiante	<1 %
47	digibug.ugr.es Fuente de Internet	<1 %
48	repositorio.uap.edu.pe Fuente de Internet	<1 %
49	repositorio.unu.edu.pe Fuente de Internet	<1 %
50	repositorioacademico.upc.edu.pe Fuente de Internet	<1 %
51	ksascholar.dri.sa Fuente de Internet	<1 %
52	www.scribd.com Fuente de Internet	<1 %

53	cicy.repositorioinstitucional.mx	<1 %	
54	dokumen.pub	<1 %	
55	Fuente de Internet	repositorio.unprg.edu.pe:8080	<1 %
56	Fuente de Internet	repositorio.upt.edu.pe	<1 %
57	Fuente de Internet	research.upn.edu.pe	<1 %
58	Submitted to Universidad Nacional de Colombia	<1 %	
	Trabajo del estudiante		
59	Fuente de Internet	hemeroteca.unad.edu.co	<1 %
60	Fuente de Internet	repositorio.ucv.edu.pe	<1 %
61	Fuente de Internet	repositorio.ulcb.edu.pe	<1 %
62	Fuente de Internet	revistas.unsm.edu.pe	<1 %
63	Fuente de Internet	riudg.udg.mx	<1 %

64

Lourdes Soriano Martinez. "Nuevas aportaciones en el desarrollo de materiales cementantes con residuo de catalizador de craqueo catalítico (fcc)", 'Universitat Politecnica de Valencia', 2015

<1 %

Fuente de Internet

---

65

expeditiorepositorio.utadeo.edu.co

<1 %

Fuente de Internet

---

Excluir citas

Activo

Excluir coincidencias < 15 words

Excluir bibliografía

Activo