

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



UNS
UNIVERSIDAD
NACIONAL DEL SANTA

**“Bandejas biodegradables a partir de almidón de
umarí (Poraqueiba Seríceea T.) y tusa de maíz
amarillo duro (Zea Mays)”**

**Tesis para optar el Título Profesional de Ingeniero
Agroindustrial**

Autores:

**Bach. Barrios Muñoz, Presly Román
Bach. Huertas Rodríguez, Alexandra Mayte**

Asesores:

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

**Dr. Villanueva López, Eudes
Código ORCID: 0000-0001-9737-5156**

**Nuevo Chimbote - Perú
2023**



UNS
UNIVERSIDAD
NACIONAL DEL SANTA

CERTIFICACIÓN DE ASESORAMIENTO DE TESIS

Yo, **Dra. Aguirre Vargas, Elza Berta**, mediante la presente certifico mi asesoramiento de la Tesis: **“Bandejas biodegradables a partir de almidón de umarí (Poraqueiba Sericea t.) y tusa de maíz amarillo duro (Zea Mays)”**, elaborado por los Bachilleres **Barrios Muñoz, Presly Román y Huertas Rodríguez, Alexandra Mayte**, para obtener el título profesional de **Ingeniero Agroindustrial** en la Escuela Profesional de Ingeniería Agroindustrial de la Universidad Nacional del Santa.

Dra. Aguirre Vargas, Elza Berta

Asesor

DNI N°: 19096335

Código ORCID: 0000-0003-1659-9874



UNS
UNIVERSIDAD
NACIONAL DEL SANTA

CONFORMIDAD DEL JURADO EVALUADOR

“Bandejas biodegradables a partir de almidón de umarí (Poraqueiba Seríceea t.) y tusa de maíz amarillo duro (Zea Mays)”

Tesis para obtener el Título Profesional de Ingeniero Agroindustrial

Revisado y Aprobado por el Jurado Evaluador:



Dr. Castro Zavaleta, Víctor Augusto
Presidente
ORCID: 0000-0003-3214-2698
DNI N°: 17859760



Dr. Símpalo López, Wilson Daniel
Secretario
ORCID: 0000-0002-8397-7145
DNI N°: 40186130



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

ACTA DE SUSTENTACIÓN DE TESIS

Siendo las 15:00 horas del día catorce de noviembre del dos mil veintitrés, se instalaron en el aula multimedia de la EPIA – 1er piso, el Jurado Evaluador, designado mediante T/Resolución N° 667-2023-UNS-CFI integrado por los docentes:

- **Dr. Víctor Augusto Castro Zavaleta** (Presidente)
- **Dr. Wilson Daniel Símpalo López** (Secretario)
- **Dra. Elza Berta Aguirre Vargas** (Integrante)

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

“BANDEJAS BIODEGRADABLES A PARTIR DE ALMIDÓN DE UMARÍ (Poraqueiba Sericea T.) Y TUSA DE MAÍZ AMARILLO DURO (Zea Mays)”, elaborado por los bachilleres en Ingeniería Agroindustrial.

- **BARRIOS MUÑOZ PRESLY ROMAN**
- **HUERTAS RODRIGUEZ ALEXANDRA MAYTE**

Asimismo, tiene como Asesora a la docente: **Dra. Elza Berta Aguirre Vargas** y como Coasesor al **Mg. Eudes Villanueva López**.

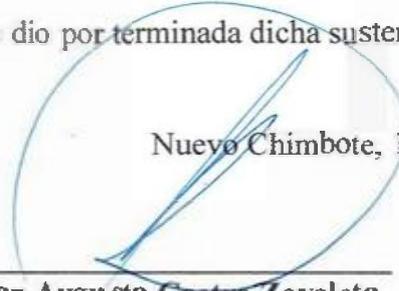
Finalizada la sustentación, el Tesista respondió las preguntas formuladas por los miembros del Jurado Evaluador.

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

| BACHILLER | PROMEDIO VIGESIMAL | PONDERACIÓN |
|-----------------------------------|--------------------|-------------|
| BARRIOS MUÑOZ PRESLY ROMAN | 18 | BUENO |

Siendo las 16:30 horas del mismo día, se dio por terminada dicha sustentación, firmando en señal de conformidad el Jurado Evaluador.

Nuevo Chimbote, 14 de noviembre del 2023.


Dr. Víctor Augusto Castro Zavaleta
Presidente


Dr. Wilson Daniel Símpalo López
Secretario


Dra. Elza Berta Aguirre Vargas
Integrante

ACTA DE SUSTENTACIÓN DE TESIS

Siendo las 15:00 horas del día catorce de noviembre del dos mil veintitrés, se instalaron en el aula multimedia de la EPIA – 1er piso, el Jurado Evaluador, designado mediante T/Resolución N° 667-2023-UNS-CFI integrado por los docentes:

- **Dr. Víctor Augusto Castro Zavaleta** (Presidente)
- **Dr. Wilson Daniel Símpalo López** (Secretario)
- **Dra. Elza Berta Aguirre Vargas** (Integrante)

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

“BANDEJAS BIODEGRADABLES A PARTIR DE ALMIDÓN DE UMARÍ (Poraqueiba Sericea T.) Y TUSA DE MAÍZ AMARILLO DURO (Zea Mays)”, elaborado por los bachilleres en Ingeniería Agroindustrial.

- **BARRIOS MUÑOZ PRESLY ROMAN**
- **HUERTAS RODRIGUEZ ALEXANDRA MAYTE**

Asimismo, tiene como Asesora a la docente: **Dra. Elza Berta Aguirre Vargas** y como Coasesor al **Mg. Eudes Villanueva López**.

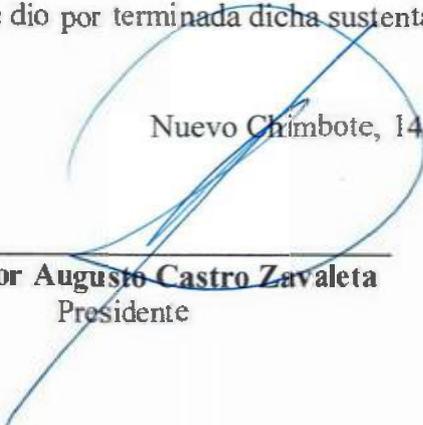
Finalizada la sustentación, el Tesista respondió las preguntas formuladas por los miembros del Jurado Evaluador.

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

| BACHILLER | PROMEDIO VIGESIMAL | PONDERACIÓN |
|-----------------------------------|--------------------|-------------|
| HUERTAS RODRIGUEZ ALEXANDRA MAYTE | 18 | Bueno |

Siendo las 16:30 horas del mismo día, se dio por terminada dicha sustentación, firmando en señal de conformidad el Jurado Evaluador.

Nuevo Chimbote, 14 de noviembre del 2023.



Dr. Víctor Augusto Castro Zavaleta
Presidente



Dr. Wilson Daniel Símpalo López
Secretario



Dra. Elza Berta Aguirre Vargas
Integrante



Recibo digital

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

La primera página de tus entregas se muestra abajo.

Autor de la entrega: ALEXANDRA HUERTAS RODRIGUEZ
Título del ejercicio: tesis
Título de la entrega: "Bandejas biodegradables a partir de almidón de umarí (Por...
Nombre del archivo: A_BIODEGRADABLE_DE_ALMIDON_DE_UMARI_Y_FIBRA_DE_T...
Tamaño del archivo: 10.01M
Total páginas: 123
Total de palabras: 21,492
Total de caracteres: 118,509
Fecha de entrega: 16-nov.-2023 12:36a. m. (UTC-0500)
Identificador de la entre... 2229819275

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



"Bandejas biodegradables a partir de almidón de umarí (*Poraqueiba Sericea T.*) y tusa de maíz amarillo duro (*Zea Mays*)"

Tesis para obtener el Título Profesional de Ingeniero
Agroindustrial

AUTOR (ES):

Bach. Barrios Muñoz, Presly Román
Bach. Huertas Rodríguez, Alexandra Mayte

ASESOR (ES):

Dra. Aguirre Vargas, Elza Berta
Código ORCID: 0000-0003-1659-9874
Dr. Villanueva López, Eudes
Código ORCID: 0000-0001-9737-5156

Nuevo Chimbote – Perú
2023

“Bandejas biodegradables a partir de almidón de umarí (Poraqueiba Seríceea T.) y tusa de maíz amarillo duro (Zea Mays)”

INFORME DE ORIGINALIDAD

21%

INDICE DE SIMILITUD

20%

FUENTES DE INTERNET

3%

PUBLICACIONES

6%

TRABAJOS DEL ESTUDIANTE

FUENTES PRIMARIAS

| | | |
|---|--|-----|
| 1 | repositorio.uns.edu.pe Fuente de Internet | 8% |
| 2 | www.dspace.unitru.edu.pe Fuente de Internet | 2% |
| 3 | dspace.unitru.edu.pe Fuente de Internet | 1% |
| 4 | repositorio.ucsg.edu.ec Fuente de Internet | 1% |
| 5 | ciqa.repositorioinstitucional.mx Fuente de Internet | <1% |
| 6 | pirhua.udep.edu.pe Fuente de Internet | <1% |
| 7 | hdl.handle.net Fuente de Internet | <1% |
| 8 | 1library.co Fuente de Internet | <1% |

DEDICATORIA

A Dios por encaminar mi vida, por la fortaleza en situaciones difíciles, con su amor y sabiduría he permanecido firme, y siempre estaré agradecida por sus bendiciones.

A mis padres Jeannet Rodríguez Bellido y Roberto Huertas Martínez, por su constante apoyo y aliento, quienes siempre han sido mi fuente de fortaleza e inspiración, a mis hermanos y sobrinos por los ánimos y amor que me brindaron.

A los docentes que han apoyado y contribuido en mi crecimiento como profesional y persona íntegra.

HUERTAS RODRÍGUEZ ALEXANDRA MAYTE

A Dios, por ser mi orientador y mi fuerza durante todo el camino de mi vida y por permitirme alcanzar mis objetivos.

A mi familia por todo el apoyo brindado durante estos años de carrera universitaria; en especial a mi madre Bertila Muñoz Flores por ser mi motivo de superación e inculcarme valores y estar presente incondicionalmente.

A todos los docentes de Ingeniería Agroindustrial por brindar sus conocimientos y apoyo en el proceso de mi formación como profesional.

BARRIOS MUÑOZ PRESLY ROMÁN

AGRADECIMIENTO

A Dios por ayudarnos a terminar esta grata etapa universitaria, el cual es de mucha importancia para nuestras vidas, y por las fuerzas que no dio para lograrlo.

A nuestros padres por su comprensión, apoyo, amor e incentivo para lograr cumplir nuestras metas.

A la Dra. Elza Berta Aguirre Vargas, nuestra asesora, quien con su orientación y sus amplios conocimientos y su apoyo moral, fue parte crucial para el desarrollo de la tesis.

Al jefe del laboratorio de Procesos Agroindustriales de la Universidad Nacional de Trujillo, Dr. Raúl Siche Jara, por establecer la utilización del laboratorio para llevar a cabo los estudios mecánicos de las bandejas.

A los especialistas de la Universidad Privada Antenor Orrego por la ayuda en la ejecución de análisis indispensables como son la DRX, FTIR y MEB.

A los docentes de la escuela profesional de Ingeniería Agroindustrial por ser parte de nuestra formación profesional compartiendo sus conocimientos y a los responsables de los laboratorios por apoyarnos.

ÍNDICE GENERAL

| | |
|---|-----|
| ASESOR..... | ii |
| AVAL JURADOS | iii |
| DEDICATORIA..... | iv |
| AGRADECIMIENTO..... | v |
| I. INTRODUCCIÓN..... | 17 |
| II. MARCO TEÓRICO | 20 |
| 2.1. Biopolímeros | 20 |
| 2.2. Biodegradación..... | 20 |
| 2.3. Envases Biodegradables | 23 |
| 2.3.1. Características de los envases Biodegradables | 24 |
| 2.4. Umari..... | 25 |
| 2.4.1. Generalidades..... | 25 |
| 2.4.2. Taxonomía | 26 |
| 2.4.3. Semilla de Umarí | 26 |
| 2.5. Maíz..... | 28 |
| 2.5.1. Origen | 28 |
| 2.5.2. Taxonomía | 29 |
| 2.5.3. Tusa de Maíz Amarillo | 29 |
| 2.5.4. Harina de tusa de maíz amarillo duro | 31 |
| 2.6. Almidón..... | 32 |
| 2.6.1. Estructura del almidón | 32 |
| 2.6.2. Amilosa..... | 33 |
| 2.6.3. Amilopectina..... | 33 |
| 2.6.4. Propiedades del Almidón..... | 34 |
| 2.6.5. Gelatinización y Retrogradación del Almidón | 35 |
| 2.7. Fibra Natural..... | 36 |
| 2.8. Termoformado | 38 |
| 2.9. Espectroscopia de Infrarrojos por Transformada de Fourier (FTIR) | 38 |
| 2.10. Difracción de Rayos X (DRX) | 40 |
| 2.11. Microscopía Electrónica de Barrido (MEB)..... | 41 |
| 2.12. Análisis Termogravimétrico | 41 |

| | | |
|--------|--|-----|
| 2.13. | Papel Manteca..... | 42 |
| 2.14. | Diseño de Mezclas..... | 42 |
| III. | MATERIALES Y MÉTODOS..... | 44 |
| 3.1. | Lugar de Ejecución..... | 44 |
| 3.2. | Materiales..... | 44 |
| 3.2.1. | Materia Prima..... | 44 |
| 3.2.2. | Insumos..... | 45 |
| 3.2.3. | Equipos..... | 45 |
| 3.2.4. | Materiales de Laboratorio..... | 46 |
| 3.2.5. | Otros Materiales..... | 46 |
| 3.3. | Métodos de Análisis..... | 47 |
| 3.3.1. | Composición Proximal de las Materias Primas..... | 47 |
| 3.3.2. | Caracterización de las Bandejas Biodegradables..... | 48 |
| 3.4. | Metodología..... | 52 |
| 3.4.1. | Extracción de la Harina de Tusa de Maíz Amarillo Duro..... | 52 |
| 3.4.2. | Extracción de Almidón de la Semilla de Umarí..... | 53 |
| 3.4.3. | Elaboración de la Bandeja Biodegradable..... | 55 |
| 3.5. | Diseño Estadístico..... | 57 |
| 3.6. | Análisis Estadístico..... | 57 |
| IV. | RESULTADOS Y DISCUSIÓN..... | 58 |
| 4.1. | Composición Proximal de las Materias Primas..... | 58 |
| 4.2. | Propiedades Físicas de las Bandejas Biodegradables..... | 60 |
| 4.3. | Propiedades Mecánicas de las Bandejas Biodegradables..... | 81 |
| 4.4. | Espectroscopia Infrarroja de Transformada de Fourier (FTIR)..... | 96 |
| 4.5. | Microscopia Electrónica de Barrido (MEB)..... | 98 |
| 4.6. | Difracción de Rayos X (DRX)..... | 100 |
| V. | CONCLUSIONES..... | 102 |
| VI. | RECOMENDACIONES..... | 103 |
| VII. | REFERENCIA BIBLIOGRÁFICA..... | 104 |
| VIII. | ANEXO..... | 121 |

ÍNDICES DE TABLAS

| | | |
|-----------|--|----|
| Tabla 1. | Taxonomía del umarí..... | 26 |
| Tabla 2. | Análisis proximal del almidón de la semilla de umarí (g/100g base seca)..... | 27 |
| Tabla 3. | Taxonomía del maíz | 29 |
| Tabla 4. | Componentes estructurales de la tusa de maíz amarillo | 31 |
| Tabla 5. | Análisis proximal de la harina de tusa en 100 g de muestra..... | 31 |
| Tabla 6. | Porcentaje de las formulaciones para la elaboración de bandejas biodegradables | 55 |
| Tabla 7. | Composición Proximal por 100 g de muestra seca..... | 58 |
| Tabla 8. | Promedios de los parámetros del Color de los tratamientos..... | 60 |
| Tabla 9. | Color _ ANOVA..... | 61 |
| Tabla 10. | Promedios de Espesor de los tratamientos | 66 |
| Tabla 11. | Espesor _ ANOVA | 67 |
| Tabla 12. | Promedios de la Densidad de los tratamientos | 69 |
| Tabla 13. | Densidad _ ANOVA..... | 70 |
| Tabla 14. | Promedios del % de Humedad de los tratamientos | 72 |
| Tabla 15. | Humedad _ ANOVA | 73 |
| Tabla 16. | Promedios del % WAC de los tratamientos | 75 |
| Tabla 17. | % WAC _ ANOVA | 76 |
| Tabla 18. | Promedios del % Sólidos Volátiles de los tratamientos | 78 |

| | |
|---|----|
| Tabla 19. Sólidos Volátiles _ ANOVA | 79 |
| Tabla 20. Promedios de la Resistencia a la Tensión (MPa) y la Elongación (%) de los tratamientos | 81 |
| Tabla 21. Tensión _ ANOVA..... | 84 |
| Tabla 22. Elongación _ ANOVA..... | 86 |
| Tabla 23. Promedios de la Dureza (N) y la Fracturabilidad (mm) de los tratamientos | 88 |
| Tabla 24. Dureza _ ANOVA | 91 |
| Tabla 25. Fracturabilidad _ ANOVA | 94 |

ÍNDICE DE FIGURAS

| | |
|---|----|
| Figura 1. Biodegradación de un polímero..... | 23 |
| Figura 2. Fruta umarí | 25 |
| Figura 3. Semilla de umarí..... | 27 |
| Figura 4. Maíz amarillo duro | 28 |
| Figura 5. Tusa de maíz amarillo duro | 30 |
| Figura 6. Representación de las estructuras de amilosa y amilopectina | 33 |
| Figura 7. Fenómeno de la gelatinización y retrogradación del almidón..... | 36 |
| Figura 8. Diagrama de extracción de la harina de tusa de maíz amarillo duro..... | 52 |
| Figura 9. Diagrama de extracción del almidón de la semilla de umarí..... | 53 |
| Figura 10. Diagrama de elaboración de las bandejas biodegradables..... | 55 |
| Figura 11. Tukey HSD - Promedios del Color de las bandejas en los diferentes tratamientos | 62 |
| Figura 12. Bandejas biodegradables con distintas proporciones de almidón/fibra..... | 65 |
| Figura 13. Tukey HSD - Promedios del Espesor de las bandejas en sus diferentes tratamientos | 68 |
| Figura 14. Tukey HSD - Promedios de la densidad de las bandejas en los diferentes tratamientos | 71 |
| Figura 15. Tukey HSD - Promedios de la Humedad de las bandejas en sus diferentes tratamientos | 73 |

| | |
|---|-----|
| Figura 16. Tukey HSD - Promedios de la WAC de las bandejas en sus diferentes tratamientos | 77 |
| Figura 17. Tukey HSD - Promedios de los Sólidos Volátiles de las bandejas en sus diferentes tratamientos..... | 79 |
| Figura 18. Gráfico de la Prueba de Tracción | 83 |
| Figura 19. Tukey HSD - Promedio de la Resistencia a la Tensión de las bandejas en sus diferentes tratamientos..... | 85 |
| Figura 20. Tukey HSD - Promedios de la Elongación de las bandejas en sus diferentes tratamientos | 87 |
| Figura 21. Gráfico de la Prueba de Perforación..... | 90 |
| Figura 22. Tukey HSD - Promedios de la Dureza de las bandejas en sus diferentes tratamientos | 92 |
| Figura 23. Tukey HSD - Promedios de la Fracturabilidad de las bandejas en sus diferentes tratamientos..... | 94 |
| Figura 24. Espectros de FTIR de bandejas de la bandeja Control y T5..... | 96 |
| Figura 25. Imágenes de MEB del Control y T5 | 99 |
| Figura 26. MEB - Medida de las células de aire de la bandeja Control y el T5 | 99 |
| Figura 27. Patrones de difracción de Rayos X del T5 | 100 |

ÍNDICE DE ANEXOS

| | |
|---|-----|
| Anexo 1. Datos del análisis de color de las bandejas con sus 5 tratamientos y el control en 3 repeticiones. | 121 |
| Anexo 2. Datos del análisis del espesor de las bandejas con sus 5 tratamientos y el control en 2 repeticiones. | 122 |
| Anexo 3. Datos del análisis de la densidad de las bandejas con sus 5 tratamientos y el control en 2 repeticiones. | 122 |
| Anexo 4. Datos del análisis del % humedad de las bandejas con sus 5 tratamientos y el control en 3 repeticiones. | 123 |
| Anexo 5. Datos del análisis del %CAA de las bandejas con sus 5 tratamientos y el control en 2 repeticiones. | 124 |
| Anexo 6. Datos del análisis del % Sólidos Volátiles de las bandejas con sus 5 tratamientos y el control en 2 repeticiones. | 124 |
| Anexo 7. Datos del análisis de la Resistencia a la tensión y Elongación de las bandejas con sus 5 tratamientos y el control en 3 repeticiones. | 125 |
| Anexo 8. Datos del análisis de la Dureza y Fracturabilidad de las bandejas con sus 5 tratamientos y el control en 3 repeticiones. | 126 |
| Anexo 9. Pruebas de Múltiple Rangos para Color por Tratamiento. | 127 |
| Anexo 10. Tabla ANOVA para el parámetro L*. | 128 |
| Anexo 11. Tukey HSD - Promedio de los valores de Luminosidad en bandejas de los 5 Tratamientos y del Control. | 128 |

| | |
|---|-----|
| Anexo 12. Tabla ANOVA para el parámetro a^* | 129 |
| Anexo 13. Tukey HSD - Promedio de los valores de a^* en bandejas de los 5 Tratamientos y del Control. | 129 |
| Anexo 14. Tabla ANOVA para el parámetro b^* | 130 |
| Anexo 15. Tukey HSD - Promedio de los valores de b^* en bandejas de los 5 Tratamientos y del Control. | 130 |
| Anexo 16. Pruebas de Múltiple Rangos para Espesor por Tratamiento..... | 131 |
| Anexo 17. Pruebas de Múltiple Rangos para Densidad por Tratamiento | 132 |
| Anexo 18. Pruebas de Múltiple Rangos para Humedad por Tratamiento..... | 133 |
| Anexo 19. Pruebas de Múltiple Rangos para CAA por Tratamiento..... | 134 |
| Anexo 20. Pruebas de Múltiple Rangos para Sólidos Volátiles por Tratamiento..... | 135 |
| Anexo 21. Pruebas de Múltiple Rangos para Resistencia a la Tensión por Tratamiento | 136 |
| Anexo 22. Pruebas de Múltiple Rangos para Elongación por Tratamiento | 137 |
| Anexo 23. Pruebas de Múltiple Rangos para Dureza por Tratamiento..... | 138 |
| Anexo 24. Pruebas de Múltiple Rangos para Fracturabilidad por Tratamiento..... | 139 |
| Anexo 25. Resumen Estadístico del Color | 140 |
| Anexo 26. Resumen Estadístico del Espesor | 141 |
| Anexo 27. Resumen Estadístico de Densidad | 142 |
| Anexo 28. Resumen Estadístico de Humedad | 143 |
| Anexo 29. Resumen Estadístico de CAA..... | 144 |
| Anexo 30. Resumen Estadístico de Sólidos Volátiles..... | 145 |
| Anexo 31. Resumen Estadístico de Tensión | 146 |

| | |
|---|-----|
| Anexo 32. Resumen Estadístico de Elongación..... | 147 |
| Anexo 33. Resumen Estadístico de Dureza | 148 |
| Anexo 34. Resumen Estadístico de Fracturabilidad..... | 149 |
| Anexo 35. Espectros de FTIR, búsqueda de picos de las bandejas del Control y T5 | 150 |
| Anexo 36. Obtención del almidón de umarí | 151 |
| Anexo 37. Obtención de la harina de tusa de maíz amarillo duro | 152 |
| Anexo 38. Elaboración de las bandejas biodegradables | 153 |
| Anexo 39. Análisis físicos de las bandejas biodegradables | 155 |
| Anexo 40. Variedades de umarí | 156 |

RESUMEN

El objetivo de esta investigación fue determinar la formulación de almidón de Umarí (Poraqueiba Sericea) y harina de la tusa de maíz amarillo duro (*Zea Mays*) para la elaboración de bandejas biodegradables. Se realizó la composición proximal de la harina y almidón obtenidos. Las bandejas se realizaron por medio del termoformado a una temperatura de 135°C - 145° C y tiempo de 6.30 min – 6.40 min. Se caracterizaron propiedades físicas, químicas y mecánicas de las bandejas biodegradables. Se empleó el diseño estadístico de Mezclas. La caracterización física de las bandejas indicó que al aumentar la proporción de harina de tusa, se observó colores rojizos y amarillentos, mayormente la disminución del espesor (2.20 ± 0.07 a 3.17 ± 0.03 mm), menor densidad en su mayoría (0.251 ± 0.00 a 0.414 ± 0.090 g/cm³), menor humedad (3.85 ± 0.03 a 5.68 ± 0.17 %), menor capacidad de absorción de agua (21.86 ± 0.93 a 39.05 ± 1.07 %) y los sólidos volátiles (95.33 ± 0.09 a 98.31 ± 0.21 %) permanecieron en el rango establecido (>50%). Los análisis mecánicos mostraron que la harina de tusa disminuyó la resistencia mecánica de las bandejas, obteniendo mayormente valores menores de tensión (2.84 ± 0.24 a 3.43 ± 0.11 MPa), elongación (1.54 ± 0.08 a 2.04 ± 0.12 %), dureza (67.70 ± 7.31 a 90.97 ± 11.7 N) y fracturabilidad (1.43 ± 0.6 a 3.19 ± 1.87 mm) respecto al control. Los análisis de Espectroscopia de Infrarrojos por Transformada de Fourier (FTIR) indicaron que la harina de tusa provocó el decrecimiento de la intensidad de los picos de 500^{-1} a 3400^{-1} . La micrografía de la Microscopia Electrónica de Barrido (MEB) evidenció el resultado de la adición de harina de tusa formando células de aire de menor tamaño, mayor cantidad y formas irregulares. El análisis de Difracción de Rayos X (DRX) indicó dos picos estrechos en 2θ 16.83° y 2θ 22.69°, siendo el segundo el que tiene el pico más pronunciado. Se concluyó que la bandeja T5 (almidón 87.5% y fibra 12.5%) obtuvo resultados favorables en su caracterización física y mecánica.

Palabras Clave: Bandejas biodegradables, harina de tusa, semilla de umarí, almidón, fibra.

ABSTRACT

The objective of this research was to determine the formulation of Umarí starch (Poraqueiba Sericea) and hard yellow corn cob flour (Zea Mays) for the production of biodegradable trays. The proximal composition of the flour and starch obtained was made. The trays were made by means of thermoforming at a temperature of 135°C - 145°C and a time of 6.30 min - 6.40 min. Physical, chemical and mechanical properties of the biodegradable trays were characterized. The statistical design of Mixtures was used. The physical characterization of the trays indicated that by increasing the proportion of cob flour, reddish and yellowish colors were observed, mainly the decrease in thickness (2.20 ± 0.07 to 3.17 ± 0.03 mm), lower density in its majority (0.251 ± 0.00 to 0.414 ± 0.090 g/cm³), lower humidity (3.85 ± 0.03 to $5.68 \pm 0.17\%$), lower water absorption capacity (21.86 ± 0.93 to $39.05 \pm 1.07\%$) and volatile solids (95.33 ± 0.09 to $98.31 \pm 0.21\%$) remained in the established range (>50%). The mechanical analyzes show that the cob flour decreased the mechanical resistance of the trays, obtaining mostly lower values of stress (2.84 ± 0.24 to 3.43 ± 0.11 MPa), elongation (1.54 ± 0.08 to $2.04 \pm 0.12\%$), hardness (67.70 ± 7.31 to 90.97 ± 11.7 N) and fracturability (1.43 ± 0.6 to 3.19 ± 1.87 mm) compared to the control. Fourier Transform Infrared Spectroscopy (FTIR) analyzes indicated that cob flour caused a decrease in the intensity of the peaks from 500^{-1} a 3400^{-1} . The micrograph of the Scanning Electron Microscopy (SEM) evidenced the result of the addition of cob flour, forming air cells of smaller size, greater quantity and irregular shapes. X-Ray Diffraction (XRD) analysis indicated two narrow peaks at 2θ 16.83° and 2θ 22.69°, the second having the most pronounced peak. It was concluded that the T5 tray (87.5% starch and 12.5% fiber) obtained favorable results in its physical and mechanical characterization.

Keywords: Biodegradable trays, cob flour, umari seed, starch, fiber.

I. INTRODUCCIÓN

El uso indiscriminado de recipientes de poliestireno (PS) es uno de los principales problemas a nivel ambiental; estos recipientes son desechados al culminar su único fin, provocando acumulación de residuos sólidos. La quema de residuos sólidos provoca la contaminación del aire juntamente con los gases tóxicos producidos por la quema de plásticos, afectando también el sistema respiratorio de individuos (Aguilar, et al., 2018).

Diversos países están adquiriendo precauciones para el uso más consciente del plástico. En el Perú, el 19 de diciembre de 2018 se promulgó la Ley N° 30884, que regula los envases plásticos de un solo uso y los envases descartables, y prohíbe el consumo desde diciembre de 2021.

Para minimizar su impacto ecológico desfavorable, el cual es un desafío a nivel mundial, una posible solución es reemplazarlos por lo biodegradable y reducir la contaminación producida por componentes sintéticos, estos son polímeros que proceden de origen natural y renovable. Después de su uso, será descompuesto y digerido por microorganismos, por lo que minimizará el impacto negativo en el medio ambiente. (Emadian et al., 2017).

Diversos investigadores están considerando el uso del almidón para la producción de materiales biodegradables, esto se debe a que el almidón es de bajo costo, tiene capacidad de expansión, disponibilidad inmediata y a la producción a partir de recursos renovables (Pornsuksomboon et al., 2016).

Las fibras naturales son materiales fibrosos de origen biológico cuyas propiedades químicas, físicas y mecánicas les confieren su forma, textura, longitud, resistencia y elasticidad que las hacen aptas para su uso. (Vidal G. & Hormazábal S., 2016).

A nivel mundial, se desperdicia en la cadena alimentaria alrededor de la tercera parte de la producción anual de los alimentos (Corrado et al., 2019) estos alimentos equivalen a 1300

millones de toneladas (40 - 50% tubérculos, frutas, hortalizas y semillas oleaginosas). La pérdida mundial de alimentos es de 6% y se genera en América Latina y el Caribe; esto se produce durante su procesamiento, siendo el 28% la pérdida durante la producción (Benítez, 2014). Cada año la pérdida de alimentos ascienden a 220 millones de toneladas, el cual equivale a 11,6% de alimentos en América Latina y el Caribe (FAO, 2021).

Eliminar los residuos de los sectores alimentario y agrícola requiere costosas inversiones en transporte. Por este motivo, las empresas tienen que quemar residuos en zonas abiertas (Banerjee et al., 2018), lo que tiene un grave impacto en el medio ambiente, por lo que es necesario desarrollar investigaciones para convertir los residuos en productos respetuosos con el medio ambiente y de alto valor añadido. buscando nueva aplicación industrial (Güzel & Akpınar, 2019).

Existen residuos agroindustriales poco aprovechados en el Perú como es el caso de la semilla de umarí y la tusa del maíz amarillo duro. En el caso del maíz, la tusa es desechado por los agricultores al momento de extraer los granos, de la misma manera la semilla de la fruta umarí es desechado al ser consumido o al extraer su pulpa. La harina de la tusa y el almidón de la semilla de umarí pueden ser utilizados como materia prima para la transformación e industrialización de productos como bandejas biodegradables que ayuden a conservar el medio ambiente, generando una cultura ecológica.

Últimamente han incrementado la producción de maíz, especialmente de maíz amarillo duro en Ancash; según el INEI, en Áncash se ha producido 163,558 toneladas de maíz amarillo duro durante el año 2021. Durante la cosecha de maíz, de 1 kilogramo de maíz los granos representan alrededor del 81.4% de su biomasa, de forma que el 18.6% restante (tusa) al no tener una utilidad, este pasa a ser un residuo y es desechado al medio ambiente

(Lesme et al., 2020). Este insumo contiene 33% de fibra en base fresca, de la cual la celulosa constituye el 90% (Guamán, 2019)

La producción de umarí también viene creciendo en diversas partes de la selva del Perú, en especial en Iquitos, el rendimiento promedio estimado es de 9,8 t/ha/año (Reategui, 2017). Por otro lado, la semilla de umarí constituye un 74% respecto al fruto, generalmente se consume en forma directa, desechándose la semilla. Estas semillas contienen un porcentaje significativo de almidón que se puede extraer y utilizar. Este almidón seco posee 0.47% de proteína, 0.014% de grasa, 0.54% de ceniza, 0.03 de fibra y 98.95% de carbohidratos (Aguirre, 2001).

La presente investigación tiene como objetivo general: Determinar la formulación de almidón de Umarí (*Poraqueiba Sericea*) y harina de la tusa de maíz amarillo duro (*Zea Mays*) para la elaboración de bandejas biodegradables; obtener y caracterizar el almidón de semilla de umarí y la harina de tusa, elaborar bandejas biodegradables conforme al diseño y evaluar sus propiedades físicas y mecánicas. Para esto se propuso la siguiente hipótesis: Se obtendrá bandejas biodegradables a partir de almidón de Umarí (87.5%) y harina de tusa de maíz amarillo duro (12.5%).

II. MARCO TEÓRICO

2.1. BIOPOLÍMEROS

Los polímeros biodegradables se definen como una clase de polímeros que son completamente degradables en el medio ambiente, lo que reduce el impacto de estos materiales en el medio ambiente, es decir, es más probable que los biopolímeros se degraden bajo la influencia del medio ambiente. Debido a la dinámica de factores como el agua, microorganismos y temperatura, por ejemplo, como se va a producir descomposición, la estructura del polímero debe incluir sistemas biológicos como azúcares, aminoácidos, lípidos y otros. (Pertuz & Guevara, 2021).

Una de las grandes ventajas de los biopolímeros es que se degradan al poco tiempo de su uso, reduciendo así el impacto ambiental que pueden tener los bioplásticos; otra ventaja es que se puede producir a partir de recursos renovables como los residuos orgánicos, es decir, los residuos agroindustriales se convierten en un recurso, evitando su acumulación en vertederos, enterrados o en la naturaleza (Matsakas et al., 2017).

2.2. BIODEGRADACIÓN

La biodegradación es la propiedad del material orgánico o una sustancia que se convierte en sustancias simples por medio de enzimas producidas por microorganismos, una vez que se completa el proceso, el material orgánico original, como la química del agente formador de biopelículas, se convierte en elementos inorgánicos básicos como agua, metano y dióxido de carbono (Cahuana, 2019).

El término "biodegradación" en el campo de los polímeros se refiere al ataque microbiano a estos materiales, proceso en el que el polímero se descompone en pequeños fragmentos rompiendo los enlaces de la cadena principal (Medina S., 2016).

La biodegradación del plástico suele ser un proceso difícil. Debido al tamaño de las

moléculas del polímero y a la insuficiente solubilidad en agua, los microorganismos no pueden transportar el material polimérico a sus células, donde tienen lugar la mayoría de los procesos bioquímicos, por lo que inicialmente secretan enzimas extracelulares que degradan el material fuera de la célula (Vela T., 2020).

Hay dos clases de biodegradación, la aerobia y la anaerobia. La biodegradación anaeróbica es un proceso libre de oxígeno, por lo que sus productos son biomasa, metabolitos intermedios, metano y compuestos inorgánicos. Aunque la biodegradación aeróbica ocurre en presencia de oxígeno, produce dióxido de carbono, agua, biomasa y compuestos inorgánicos. Para determinar el grado de biodegradación de cualquier material se debe tener en cuenta diferentes factores, entre los más importantes está la presencia de microorganismos, aire, humedad y minerales necesarios (Rojas C., 2019).

Los materiales utilizados en la producción de envases biodegradables pueden ser polímeros de origen natural, como proteínas, almidón, lípidos, quitosano, etc.; o de origen sintético, como los polihidroxicanoatos y el ácido poliláctico (Medina S., 2016).

Entre los polímeros naturales, ha habido un interés particular en la utilización de almidón debido a su naturaleza inherentemente biodegradable, sus enlaces débiles pueden hidrolizarse fácilmente en glucosa por microorganismos o enzimas, y luego ser metabolizados a dióxido de carbono y agua. Por otro lado, sólo dióxido de carbono y agua son requeridos por las plantas para realizar la fotosíntesis (Medina S., 2016).

Generalmente, el material orgánico se descompone durante un período de tiempo en la naturaleza, la paja o la madera se degradan por mucho más tiempo que el almidón y la celulosa. El medio ambiente es un factor de la biodegradación, por ejemplo, en lugares fríos y secos, la biodegradación es más lenta en comparación a los ambientes húmedos

y cálidos, indicando que el periodo de biodegradación es afectado por la naturaleza química del material o sustancia y el ambiente en el que se produce la descomposición (Gómez, 2021).

La biodegradación de materiales poliméricos incluye varias etapas y el proceso puede parar en cualquiera de ellas (Medina S., 2016):

- La descomposición de materiales biodegradables en pequeñas fracciones es el resultado de la acción combinada de poblaciones microbianas, otros descomponedores y/o factores abióticos. Este paso se llama biodegradación.
- Los microorganismos secretan enzimas y radicales libres que pueden unirse a moléculas poliméricas y reducir gradualmente su peso molecular mientras forman oligómeros, dímeros y monómeros. Este paso se llama despolimerización.
- Algunas moléculas pueden atravesar la membrana plasmática y son reconocidas por receptores en las células microbianas. El resto de moléculas permanecen en el medio extracelular y pueden sufrir diversas modificaciones.
- En el citoplasma las moléculas se transportan integrando el metabolismo microbiano, generando biomasa, nueva energía y una variedad de metabolitos primarios y secundarios. Esta etapa se llama asimilación.
- Al mismo tiempo, se pueden excretar al entorno extracelular varios metabolitos simples y complejos (ácidos orgánicos, aldehídos, terpenos, antibióticos, etc.). Se liberan al medio ambiente moléculas simples como CO₂, N₂, CH₄, H₂O y diversas sales. Esta etapa se llama mineralización.

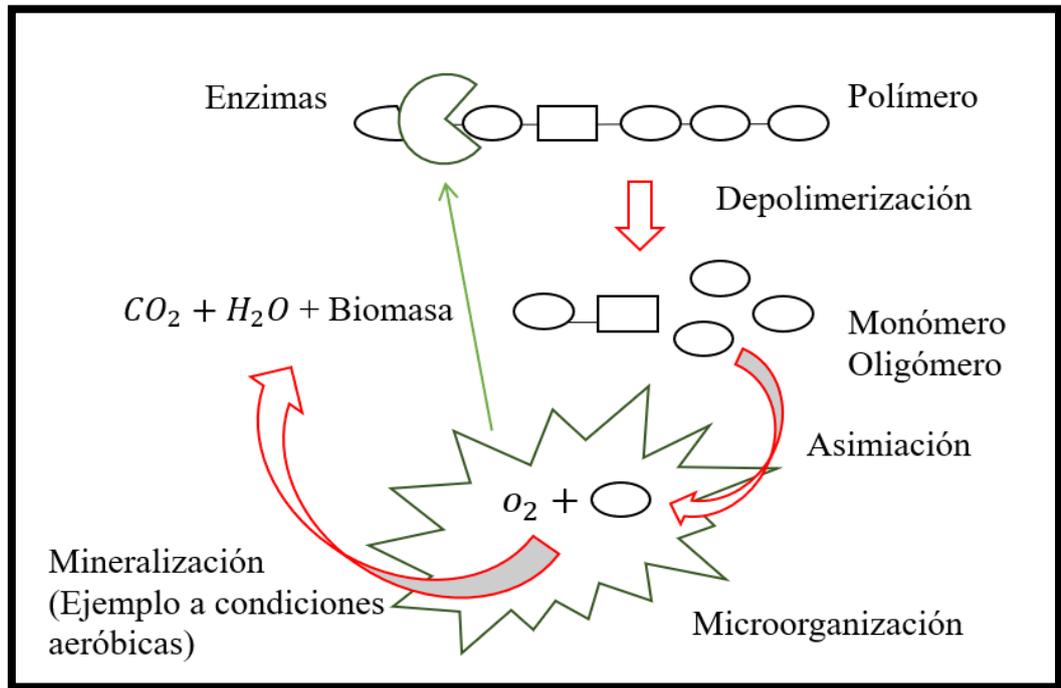


Figura 1. Biodegradación de un polímero

Fuente: Ccallo A. et al. (2020)

2.3. ENVASES BIODEGRADABLES

A nivel mundial, los envases biodegradables comenzaron a generalizarse alrededor de 2016, los envases compostables ahora están hechos de yuca, maíz, palma de azúcar, fécula de patata y otras sustancias; se degradan por la actividad microbiana en un tiempo más corto, generalmente de 8 a 12 semanas. Se definen como aquel en el que sus materiales desechados se convierten en compost, es decir abono orgánico. (Baqué, 2019).

Los plastificantes como el sorbitol, el alcohol polivinílico y la glicerina, son ingredientes que facilitan la desintegración del envase por levadura o bacterias presentes en el medio ambiente (López et al., 2017).

Se definen como productos elaborados a partir de materias primas orgánicas de fuentes renovables, como plátano, coco, cáscara de arroz, almidón de maíz y otros. Al

convertirse en residuos se deshacen al ponerse en contacto con el medio ambiente convirtiéndose en biomasa y nutrientes, o por el metabolismo de los organismos. Es un proceso en el que no interviene la acción del hombre y tarda pocos años en realizar su degradación. (Baqué, 2019 & GROUP, 2020)

2.3.1. CARACTERÍSTICAS DE LOS ENVASES BIODEGRADABLES

Según García Calopiña, et al. (2019), los envases biodegradables deben tener una serie de características para lograr ser un producto de calidad para los clientes, entre ellos tenemos:

- Propiedades rígidas que proporcionan resistencia y estabilidad durante el uso, como en el caso de los envases del sector alimentario, es necesario que tenga un soporte para los alimentos, porque algunos de ellos son demasiado pesados.
- Resistentes a las bajas temperaturas, ya que la mayoría de estos productos se utilizan para conservar los alimentos en el congelador, esto permite una mejor conservación durante más tiempo y así conservar las propiedades organolépticas de los alimentos.
- Los envases biodegradables deben estar fabricados de un bioplástico como el ácido láctico, que tiene las mismas propiedades mecánicas que el PET (tereftalato de polietileno) pero es biodegradable.
- Mejora el impacto ambiental del envase promoviendo así el cuidado del medio ambiente mediante el uso de materiales o subproductos de origen biológico que permitan degradar rápidamente el envase y evitar la contaminación con plástico.

2.4. UMARÍ

2.4.1. GENERALIDADES

El umari (*Poraqueiba sericea* Tulasne) es una fruta autóctona, común en la región de Loreto, su cultivo se concentra en la zona de Tamshiyaku del distrito de Fernando Lores, así como en los distritos de Pevas y Requena. Vienen en una variedad de colores de amarillo a negro. Es endémica de la selva baja, prefiriendo crecer en tierras cercanas al río Amazonas y algunos de sus tributarios que son aluviales, fértiles y arenosos (Solano L., 2017).



Figura 2. Fruta umarí

2.4.2. TAXONOMÍA

La clasificación taxonómica del umarí se presenta en la Tabla 1.

Tabla 1. Taxonomía del umarí

| Taxonomía | Categoría |
|-------------------|--|
| Familia | Icacinaceae |
| Nombre científico | Poraqueiba sericea Tul. |
| Nombres comunes | Umarí (Perú); mari, umarí (Brasil); umarí, guacure, yuri, teechi (Colombia). |

Fuente: Solano L. (2017)

2.4.3. SEMILLA DE UMARÍ

La fruta umarí se suele comer directamente como fruto, quitando las semillas que forman alrededor del 74% de fruta (Solano L., 2017). Estas semillas tienen un contenido sustancial de almidón, pueden extraerse mediante tecnología adecuada y usarse como sustituto de otras semillas similares, y en el futuro pueden convertirse en la base del desarrollo industrial y tecnológico en las áreas donde se cultivan estos cultivos. (Aguirre, 2001)

Tabla 2. Análisis proximal del almidón de la semilla de umarí (g/100g base seca)

| Componentes (%) | (Aguirre, 2001) | (Saavedra G, 2000) |
|------------------------|------------------------|---------------------------|
| Humedad | - | - |
| Proteína | 0.47 | 4.53 |
| Grasa | 0.014 | 0.39 |
| Ceniza | 0.54 | 1.83 |
| Fibra | 0.03 | - |
| Carbohidratos | 98.95 | 93.25 |



Figura 3. Semilla de umarí

2.5. MAÍZ

2.5.1. ORIGEN

El maíz surgió entre los años 9 000 y 5 000 AC, y según la teoría multicéntrica de la aparición y variedad del maíz respaldado en investigaciones de la morfología de los cromosomas paquiténicos de este grano y su familiar silvestre (Teocintle y *Tripsacum*), Guatemala y México tuvieron varias las regiones donde el maíz tuvo sus inicios (Caballero et al., 2019).

El maíz es un grano cultivado tradicionalmente en la sierra andina. Apareció en la costa de Ecuador en el año 4300; este grano se ha convertido en parte importante de la tradición cultural andina por su valor nutricional y sencillez agronómica. Se puede consumir de diversas formas: como cereal tierno y maduro, bebida, harina, etc. (Iglesias et al., 2018).



Figura 4. Maíz amarillo duro

Fuente: MIDAGRI (2021)

2.5.2. TAXONOMÍA

La clasificación taxonómica del maíz se presenta en la Tabla 3.

Tabla 3. Taxonomía del maíz

| Taxonomía | Categoría |
|------------------|------------------|
| Reino | Vegetal |
| División | Tracheophyta |
| Clase | Angiosperma |
| Orden | Graminales |
| Familia | Gramineae |
| Género | Zea |
| Especie | Mays L. |

Fuente: Villacís (2021)

2.5.3. TUSA DE MAÍZ AMARILLO

Al maíz (*Zea mays* L.) desgranado se le conoce como mazorca o tusa, que es un tejido blanco y esponjoso que es la médula donde se almacenan los nutrientes del grano; además, cada tonelada de maíz cosechada producirá alrededor de 1 665 toneladas de residuo, de las cuales 0.186 toneladas son mazorcas (Martillo et al., 2019). La tusa es un subproducto del maíz de baja calidad nutricional, semejante a un heno de baja calidad, es un poco inapalatable y si no se deshidrata es invadida rápidamente por hongos en climas cálidos.

La mazorca o tusa es una fibra cruda que está compuesta por carbohidratos, siendo la celulosa su mayor componente, el cual es un polímero natural formado por unidades de anhidra glucosa unidas por enlaces glucosídicos para formar cadenas de longitud lineal

a las que están unidas entre sí a través de una red de enlaces de hidrógeno (Ibarra y Rueda, 2018).

La tusa se utiliza para diversos fines domésticos y artesanales, y en grandes cantidades como alimento para animales. Este insumo contiene 33% de fibra en base fresca, de la cual la celulosa constituye el 90%, su molienda debe ser en molino de martillos con zaranda 7/16 (Guamán N., 2019).

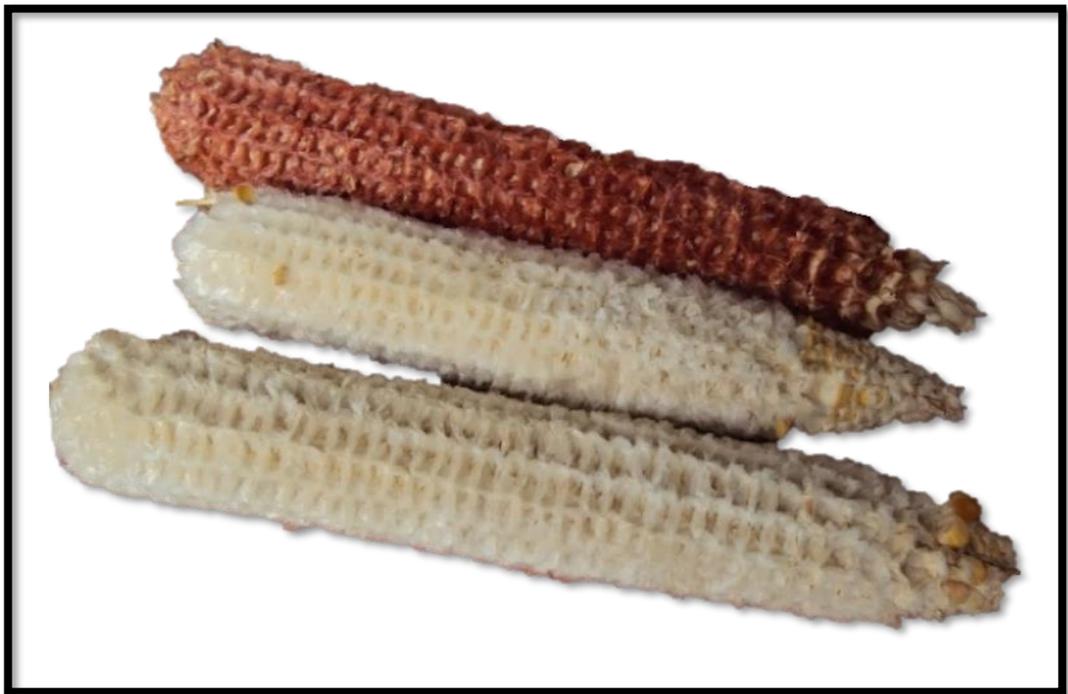


Figura 5. Tusa de maíz amarillo duro

Fuente: MIDAGRI (2021)

Tabla 4. Componentes estructurales de la tusa de maíz amarillo (g/100g)

| Componentes estructurales % | González et al., (2016) | Brar et al., (2016) | Echeverría y Bazán (2017) |
|------------------------------------|--------------------------------|----------------------------|----------------------------------|
| Celulosa | 43 | 45.6 | 40.95 ± 0.38 |
| Hemicelulosa | 25 | 36.9 | 38.94 ± 1.72 |
| Lignina | 29 | 15.1 | 16.54 ± 0.38 |
| Extractivos y otras | 3 | 2.4 | 3.57 ± 0.15 |

La lignina es un polímero polifenólico tridimensional por lo que es considerada una resina amorfa reticulada, forma una matriz irregular con enlaces de hidrógeno, dicha matriz está constituido primordialmente de tres unidades de fenilpropano, p-coumaryl, coniferyl y sinapyl; sin embargo, la hemicelulosa es un grupo de polímeros naturales altamente ramificados, unidos por monosacáridos monoméricos como la xilosa, manosa, glucosa, galactosa, arabinosa, entre otros (Ibarra y Rueda, 2018).

2.5.4. HARINA DE TUSA DE MAÍZ AMARILLO DURO

El análisis proximal de la harina de tusa de maíz amarillo se detalla en la Tabla 5.

Tabla 5. Análisis proximal de la harina de tusa en 100 g de muestra (p/p)

| Componentes (%) | Rodríguez et al., (2019) | Vinueza C. (2020) | Villares W. (2022) |
|-----------------------------------|---------------------------------|--------------------------|---------------------------|
| Humedad | 1.32 | 11.20 | 10.43 |
| Ceniza | 2.54 | 3.29 | 7.05 |
| Extracto etéreo | 1.2 | 0.32 | - |
| Proteína | 2.39 | 3.74 | - |
| Fibra cruda | 12.31 | 24.01 | 27.43 |
| Extracto libre de Nitrógeno (ELN) | 80.24 | 57.44 | 55.09 |

2.6. ALMIDÓN

El almidón es el hidrato de carbono más abundante en la tierra, el cual da el mayor aporte de energía a los humanos, (Acosta., et al. 2018) es la conformación de dos moléculas llamadas amilosa y amilopectina, que, dependiendo de la composición y arreglo estructural, confieren propiedades fisicoquímicas y térmicas únicas característica de cada fuente de origen. (Figuroa et al. 2016), constituye una excelente materia prima para modificar la textura y consistencia de los alimentos (García et al. 2016)

Su concentración depende del estado de maduración del fruto, si está verde o inmaduro tendrá un mayor contenido de almidón. A medida que madura, la amilasa hidroliza el almidón a sacarosa y fructosa.

Los almidones de fuentes no tradicionales como las semillas tienen gránulos ovalados con una superficie lisa y parcialmente porosos y varían en diámetro de 5 a 30 μm . (Guo et al., 2018).

2.6.1. ESTRUCTURA DEL ALMIDÓN

El almidón es una mezcla de glucanos, ya que cada partícula insoluble de almidón involucra principalmente amilosa y amilopectina. El almidón se localiza en el interior de las células vegetales, formando partículas insolubles (Trujillo et al. 2014). La amilosa, un polímero lineal y la amilopectina, polímero ramificado y su principal constituyente. (Contreras et al. 2018)

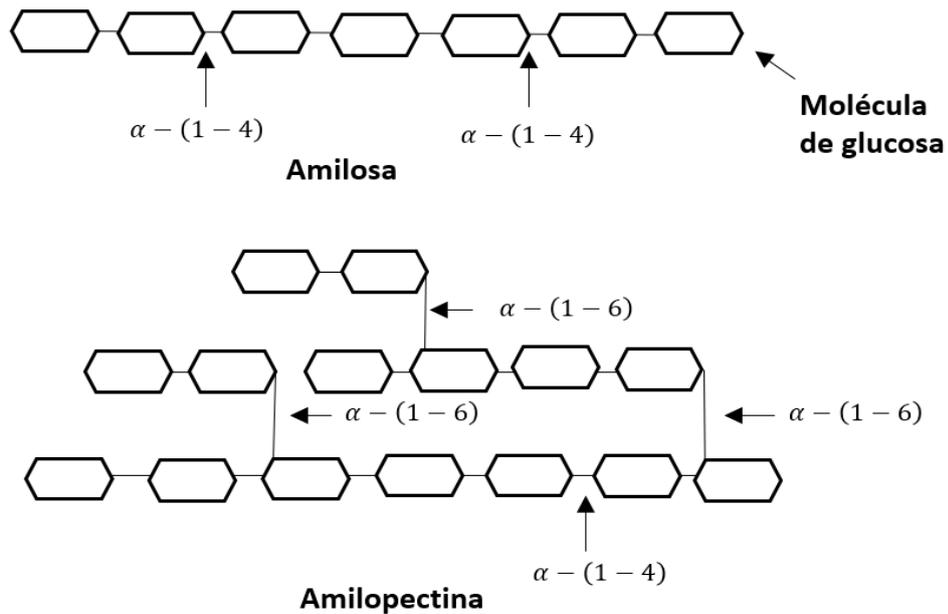


Figura 6. Representación de las estructuras de amilosa y amilopectina

Fuente: Quezada C., et al. (2017)

2.6.2. AMILOSIA

La amilosa es un polisacárido lineal α -D-(1,4) glucopiranosas por medio de enlaces glucosídicos α (1,4) (José G., 2018). La amilosa es abundantemente soluble en agua caliente y constituye cerca del 20% de la mayoría de los almidones.

Los almidones con alto contenido de amilosa son resistentes a la cocción, es decir a mayor concentración de amilosa más elevada es la Temperatura promedio de gelatinización (Rodríguez 2012). En las pastas con alto porcentaje de amilosa en el almidón favorece la retrogradación durante el enfriamiento, ocasionando el fenómeno de sinéresis.

2.6.3. AMILOPECTINA

La amilopectina es un componente del almidón, que es un polisacárido presente en muchos alimentos vegetales, como cereales, tubérculos y legumbres. La amilopectina

constituye aproximadamente el 70-80% del almidón y es la forma ramificada y altamente ramificada del polisacárido.

Es un polisacárido ramificado compuesto por unidades de glucosa enlazadas mediante enlaces tipo α (1-4), con ramificaciones cada 25 o 30 unidades de glucosa unidas por enlace de tipo α (1-6) (José G., 2018).

Las pastas que contienen almidón con alto porcentaje de amilopectina, son espesas y no se retrogradan fácilmente al enfriarse (Mantilla & Zavala, 2018).

Además, la amilopectina también es un componente importante en la industria de alimentos procesados y en el desarrollo de bioplásticos biodegradables. La capacidad de la amilopectina para formar películas y recubrimientos flexibles ha llevado a su uso en aplicaciones como envases y películas comestibles.

En cuanto a la biodegradabilidad, es importante tener en cuenta que tanto la amilosa como la amilopectina son componentes biodegradables del almidón. Sin embargo, la velocidad de biodegradación puede verse afectada por la proporción de estos componentes. La amilosa tiende a ser más fácilmente degradada por las enzimas y microorganismos presentes en el medio ambiente, lo que podría acelerar la descomposición del material.

2.6.4. PROPIEDADES DEL ALMIDÓN

El almidón es una materia prima que además de poseer un bajo costo (debido a su abundancia en la naturaleza y a que se puede obtener de diversas fuentes vegetales), tienen propiedades físico-químicas muy interesantes que lo hacen útil para modificar la textura y consistencia de productos alimenticios, como sustitutos de grasas, agentes encapsulantes, aglutinantes, espesantes y sobre todo, tiene la capacidad de formar películas debido a la hecho de que se considera un material termoplástico, lo que

significa que bajo ciertas condiciones de presión, temperatura y luego de agregar plastificante, las partículas se fundirán y fluirán, dando lugar a muchas aplicaciones industriales de este biopolímero. (José G., 2018).

El tamaño de los gránulos sugiere una posible aplicación, por ejemplo, las partículas con diámetros menores a 60 μm se utilizan en productos cosméticos debido a su alta capacidad de absorción de agua y su acción como agente envolvente, sabor, color y esencia.

Por lo tanto, dado que los gránulos de almidón extraídos de las semillas tienen un diámetro de 5 a 35 μm , pueden considerarse útiles y tener aplicaciones potenciales en la industria alimentaria. (Albujar, 2019).

Se utiliza para textura y consistencia en las industrias de papel, adhesivos y envases biodegradables. Y como ingrediente funcional (espesante, estabilizante y gelificante) en la industria alimentaria (Moo H., et al., 2015).

2.6.5. GELATINIZACIÓN Y RETROGRADACIÓN DEL ALMIDÓN

La gelatinización del almidón es un fenómeno fisicoquímico, que ocurre cuando el almidón se calienta en un exceso de agua, ocurriendo primeramente un hinchamiento de las partes amorfas del gránulo; si se continúa este calentamiento, la amilosa se difunde hacia el medio acuoso y posteriormente comienza a disolverse. Finalmente, los gránulos pierden su estructura cristalina, hasta que se destruyen irreversiblemente a un intervalo de temperatura de entre 100-150 °C. Luego, si el almidón gelatinizado se almacena durante mucho tiempo, se produce otro fenómeno físico-químico llamado retrogradación, que se define como la formación de estructuras cristalinas debido a la

disposición paralela de las cadenas de amilosa lineales, creando enlaces de hidrógeno entre sus grupos hidroxilos adyacentes (José G., 2018).

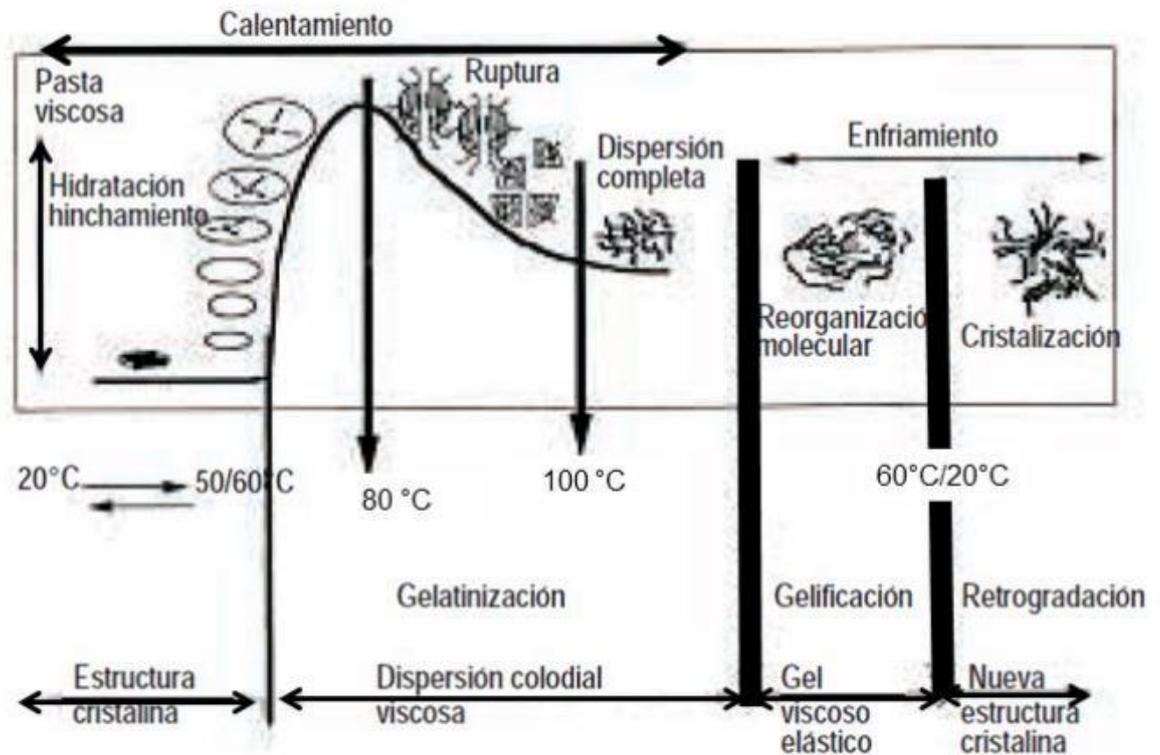


Figura 7. Fenómeno de la gelatinización y retrogradación del almidón

Fuente: Aristizábal et al. (2007)

2.7. FIBRA NATURAL

Las fibras naturales son materiales flexibles, alargados y angostos que se obtienen de diferentes partes de las plantas, como las semillas, los tallos, las hojas y la corteza. Estas fibras se consideran una alternativa sostenible a los materiales sintéticos, ya que son biodegradables y renovables. Las fibras vegetales tienen múltiples aplicaciones, desde la fabricación de textiles y papel hasta la elaboración de productos ecológicos y artesanías. Estas fibras se componen de polisacáridos que hacen rígida y flexible a la pared celular (Osorio & Rubiano, 2019). La adición o mezcla con otros polímeros

biodegradables refuerza la matriz polimérica y se obtiene un producto con buenos atributos técnicos, sostenible y enmarcado en la economía circular (Posada & Montes, 2021), sin embargo, se debe estudiar la homogeneización de las propiedades de la fibra, el grado de polimerización y cristalización, la unión entre la fibra y la matriz, la repelencia a la humedad y las propiedades ignífugas (Ponce & Horna, 2023).

Las fibras naturales son materiales fibrosos de origen biológico cuyas propiedades químicas, físicas y mecánicas les confieren su forma, textura, longitud, resistencia y elasticidad que las hacen aptas para su uso (Vidal G. & Hormazábal S., 2016).

Además, con el tiempo, las fibras naturales han ocupado un lugar especial en la cultura de muchas sociedades alrededor del mundo, pues son la principal materia prima para la fabricación de diversos artículos para el hogar, así como herramientas de caza y pesca para la producción de papel y materiales de cordelería, entre otros (Vidal G. & Hormazábal S., 2016). De tal manera que, además de su presencia en los productos tradicionales, los compuestos de fibra natural pueden encontrarse en materiales de embalaje, construcción y mobiliario (FAO, 2020 & Portillo, et al., 2019)

Por otro lado, las fibras naturales son cada vez más reconocidas como una alternativa beneficiosa a las fibras sintéticas. Además de los beneficios técnicos y de costos, los productos de fibra natural son atractivos porque responden a las percepciones de los consumidores sobre los beneficios ambientales, económicos y socioculturales, promueven la agricultura sostenible mediante el uso de tecnologías de fabricación y reciclaje que tienen un bajo impacto en el medio ambiente, y promover el desarrollo económico local aumentando la participación de los productores en la cadena de valor (FAO, 2020).

2.8. TERMOFORMADO

El moldeado de compresión ha sido ampliamente aplicado y examinado para la producción de espumas biodegradables hechas de almidón. Este proceso es investigado para la fabricación de envases y generalmente consta de los siguientes tres pasos; gelatinización del almidón, expansión y secado (Medina S., 2016). El termoformado se basa en precalentar una termoprensa a una temperatura por encima de la temperatura de ebullición del agua en ambas placas, estas dos placas forman un molde a las que se untan con desmoldante para un correcto moldeado, se coloca en la placa inferior la masa preparada y a través de un sistema con presión hidráulica se sellan las dos placas y se hornea (Meng et al., 2019). En este proceso el agua se evapora rápidamente y genera la formación de espumas que se expanden hasta llenar el molde, finalmente el agua residual se evapora y la bioespumas se seca y toma forma del molde. Luego el producto formado debe ser retirado del molde con facilidad, para ello el estearato de magnesio normalmente se agrega a la masa como un agente desmoldante. La goma guar también se emplea para evitar la sedimentación de almidón (Medina S., 2016). Las temperaturas más usadas van desde 180 y 250°C y el tiempo de 125 a 300 segundos (Días & Acuña, 2022).

2.9. ESPECTROSCOPIA DE INFRARROJOS POR TRANSFORMADA DE FOURIER (FTIR)

La técnica de espectroscopia infrarroja por transformada de Fourier (FTIR) se emplea para obtener un espectro infrarrojo de absorción o emisión de sólidos, líquidos o gases. Este método permite obtener un espectro de reflexión que muestra las bandas de los grupos funcionales presentes en sustancias inorgánicas y orgánicas, posibilitando la identificación de materiales (Skoog et al, 2001). La espectroscopia infrarroja se

fundamenta en la absorción de radiación infrarroja por enlaces. Los diferentes enlaces en una molécula vibran con energías distintas, lo que resulta en la absorción de longitudes de onda específicas de la radiación infrarroja. La posición e intensidad de cada banda contribuyente al espectro, creando una identificación única de la molécula.

Es un método ampliamente utilizado en biofísica y bioquímica, proporciona información estructural de moléculas biológicas como proteínas, ácidos nucleicos, carbohidratos y lípidos sin requerir su separación; se encuentra bien establecido y no destructivo (Pallone et al., 2018). Mediante el uso de un espectrofotómetro, se genera luz infrarroja que atraviesa la muestra; esta absorbe ciertas longitudes de onda, y el detector lee las restantes. Posteriormente, se aplica la transformada de Fourier, dando como resultado la obtención de un espectro. (Ponce &Horna, 2023).

Las longitudes de onda abarcan desde $12,500\text{ cm}^{-1}$ hasta 10 cm^{-1} en el espectro electromagnético. Simultáneamente, esta región se divide en tres zonas: infrarrojo cercano ($12,500\text{ cm}^{-1}$ a 4000 cm^{-1}), infrarrojo medio (4000 cm^{-1} a 200 cm^{-1}) e infrarrojo lejano (200 cm^{-1} a 10 cm^{-1}). Se destaca especialmente el intervalo de 4000 a 1600 cm^{-1} , ya que en esta área se identifican vibraciones característicamente asociadas a grupos funcionales específicos. Por otro lado, en la zona de 1500 a 500 cm^{-1} se encuentran las huellas digitales, ya que es aquí donde el patrón de señales presenta cambios más significativos entre compuestos diferentes (Orsini & Aparicio, 2021).

El análisis mediante este método se rige por dos principios esenciales: el momento dipolar (μ) y la frecuencia vibratoria molecular. El primer principio se sustenta en la polaridad de un enlace químico ($\delta^+ \delta^-$) presente en una molécula unida covalentemente; si el valor de μ no es igual a cero, existe la posibilidad de absorber

radiación infrarroja (IR) (Matos & Díaz, 2022). El segundo principio se fundamenta en la concordancia entre la frecuencia de la radiación infrarroja (generada por la lámpara del espectrómetro IR) y la frecuencia de vibración molecular del enlace químico en cuestión, permitiendo así la vibración. En caso de cumplirse estas condiciones, el enlace molecular puede experimentar diversas formas de vibración, las cuales se dividen en dos categorías: vibraciones de estiramiento, que implican cambios en la longitud del enlace, y vibraciones de flexión, que implican cambios en el ángulo del enlace.

2.10. DIFRACCIÓN DE RAYOS X (DRX)

La difracción de rayos X se emplea para analizar la estructura de la materia cristalina, aprovechando la similitud de longitud de onda entre los rayos X y la separación entre átomos en la red cristalina. Esta técnica, fundamental en la cristalografía, proporciona datos detallados sobre la disposición tridimensional de los átomos en una estructura cristalina. (Skoog et al., 2001)

Es una técnica analítica versátil y no destructiva que se utiliza para analizar propiedades físicas, como la composición de fases, la estructura cristalina, el tamaño de los cristales, la deformación, la orientación preferida y el espesor de las capas. La técnica se basa en las interferencias ópticas que se producen cuando una radiación monocromática atraviesa una rendija de espesor comparable a la longitud de onda de la radiación, y permite la identificación de fases cristalinas de diversos materiales y el análisis cuantitativo de la fase posterior a la identificación. La ley de Bragg determina la relación entre la difracción de Rayos X y el medio cristalino, de donde se obtiene un valor único y preciso del ángulo de incidencia para el que tiene lugar la reflexión del haz (Sánchez & Valdez, 2019).

2.11. MICROSCOPIA ELECTRÓNICA DE BARRIDO (MEB)

Es una técnica que utiliza un haz de electrones para formar una imagen de alta resolución en materiales (Sánchez & Valdez, 2019). La técnica se utiliza en una amplia gama de aplicaciones. Además, el MEB tiene capacidades analíticas, como la caracterización de la composición elemental de la muestra mediante los rayos X. El haz de electrones se enfoca en un punto y se mueve a lo largo de la muestra para producir una imagen detallada de la superficie (Condori, 2020). La técnica es especialmente útil para la observación y análisis de muestras biológicas y materiales, incluyendo metales, cerámicas, polímeros y compuestos orgánicos.

2.12. ANÁLISIS TERMOGRAVIMÉTRICO

La medición termogravimétrica forma parte de un analizador térmico diseñado para detectar y medir los cambios físicos y químicos que sufren los materiales cuando se someten a cambios controlados de temperatura. El análisis termogravimétrico implica registrar continuamente cambios en la masa del material bajo prueba a medida que la temperatura cambia a una velocidad térmica constante (cambio de temperatura lineal). Este tipo de proceso termogravimétrico se llama análisis dinámico. Existe la opción de hacer un análisis termogravimétrico isotérmico, en el cual se mantiene la temperatura constante por un periodo establecido (Güemez H., 2018)

Como resultado del análisis termogravimétrico, se obtienen datos sobre los cambios de masa dependiendo de la temperatura o el tiempo, y se muestra gráficamente un gráfico de calor como cambio porcentual de masa. La balanza es la parte clave del equipo, es la que registra la masa inicial de la muestra, los cambios de masa durante el análisis y la masa final de la muestra. El horno de infrarrojos proporciona control analítico de la temperatura y la tasa de cambio de temperatura. En la cámara del horno hay un sensor

de temperatura de alta precisión que registra la temperatura constantemente y que evita que el sistema sobrepase la temperatura definida (Rodríguez E., 2012).

2.13. PAPEL MANTECA

El papel manteca, también conocido como papel sulfurizado o papel de horno, también como papel parafinado; es un papel producido con fibras vegetales de muy baja porosidad, tratado químicamente para tapar los poros de la celulosa y hacerlo impermeable (Lopez A., 2023). Tiene como características físicas la antihaderencia, es resistente a altas temperaturas hasta 220°C, resistente al agua y a bajas temperaturas, su gramaje es 40 gr/m². Con base en las propiedades químicas se determina que se trata de un papel vegetal que puede ser tratado químicamente con ácido sulfúrico. La sulfuración es un proceso en el que el papel se trata con ácido sulfúrico, que disuelve las fibras vegetales y forma un gel antiadherente. También puede ser tratado con una capa de parafina, la cual se aplica al papel mediante un proceso de recubrimiento en caliente, la parafina es un hidrocarburo que se encuentra en el petróleo y se utiliza en la industria alimentaria para recubrir el papel y hacerlo resistente a la grasa y a la humedad. No altera el olor, color y sabor de los alimentos. No se adhiere a los productos con los que entra en contacto, tiene la capacidad de deslizamiento (Banegas & Gutierrez, 2022).

2.14. DISEÑO DE MEZCLAS

El diseño de mezclas experimentales es un método estadístico utilizado para estudiar la relación entre las proporciones de los diferentes componentes de una mezcla y la respuesta deseada. Este método puede aplicar el criterio de que las proporciones totales de los componentes son iguales al 100% y que un cambio en la proporción afectará la reacción de interés.

El diseño de experimentos con mezclas que contienen q componentes, consiste en una serie de experimentos en los que se prueban combinaciones o mezclas específicas con los ingredientes requeridos. Si la proporción de componentes de la mezcla es x_1, x_2, \dots, x_a entonces se deben cumplir dos restricciones: $0 \leq x_i \leq 1$ para cada componente i y $\sum_{i=1}^q x_i = 1$. Estas restricciones establecen que la suma de todos los ingredientes que componen la mezcla debe ser del 100%, es decir que los componentes no pueden manipularse de forma independiente unos de otros, y su proporción debe estar entre 0 y 1. Los diseños experimentales con mezclas otorgan correctamente las mezclas en la región experimental, están representados con figuras geométricas de $q - 1$ componentes. Por tanto, para dos componentes experimentales la región es una recta, para tres un triángulo, para cuatro un tetraedro y para más de cuatro un hipertetraedro (Ortega et al., 2015).

III. MATERIALES Y MÉTODOS

3.1. LUGAR DE EJECUCIÓN

El trabajo de investigación se ejecutó en los siguientes laboratorios de:

Universidad Nacional del Santa

- Instituto de Investigación Tecnológica Agroindustrial IITA
- Laboratorio de Microbiología y Toxicología de Alimentos
- Laboratorio de Análisis y Composición de Productos Agroindustriales
- Planta Piloto

Universidad Nacional de Trujillo:

- Laboratorios de Procesos Agroindustriales.

Universidad Privada Antenor Orrego:

- Laboratorio de Investigación Multidisciplinario.

3.2. MATERIALES

3.2.1. MATERIA PRIMA

Para la realización de las bandejas biodegradables se utilizó dos materias primas:

- Umarí (Poraqueiba Seríceo) son obtenidos del Departamento de Loreto en los mercados centrales. Cantidad: 50 kg
- Tusa de maíz amarillo duro (*Zea Mays L.*) son obtenidas de los sembríos del Valle de San Rafael ubicada en provincia Casma. Cantidad: 10 kg

3.2.2. INSUMOS

- Goma guar: OMNICHEM SAC, Lima.
- Glicerol (C₃H₈O₃): OMNICHEM SAC, Lima.
- Estearato de magnesio (Mg(C₁₈H₃₅O₂)₂): OMNICHEM SAC, Lima.
- Desmoldador de clase alimentario (PURALIX): Lima.

3.2.3. EQUIPOS

- Balanza analítica, marca PRECISA GRAVIMETRICS A G., modelo LX320A. serie 321 LX. Desviación: 0.001 g. Suiza.
- Molino, marca RETSCH, modelo ZM 200.
- Estufa para secado: Marca POL-EKO-APARATURA, modelo SLW 115STD
- Batidora mecánica: Marca IMACO, Modelo HM 505
- Secador de bandejas, marca TORRH. modelo SBT-10x10, serie Jp 001 01 13. 2013. Perú.
- Centrífuga, marca SumSour, modelo 800-1
- Sistema Extractor de Grasas (Soxhlet): Marca FOSS, modelo SOXTEC, procedencia China.
- Colorímetro: Marca Shenzhen Kingwell Instruments Co, modelo JZ-300, procedencia China.
- Equipo Kjeldahl: Marca Foss, modelo Kjelttec 8100, de procedencia americana
- Mufla: Marca THERMOLYNE, Serie 347034984, Procedencia Americana.
- Colorímetro General, marca SHENZHEN KINGWELL INSSTRUMENT CO., LTD, modelo JZ-300, China.
- Micrómetro manual (Inoxidable, 0-150 mm): Marca Mitutoyo, modelo 1402, procedencia Perú.

- Termoprensa: Marca: RELES, modelo: MS3 Digital.
- Analizador de Textura, marca TA.HDplus (Stable Micro System, Surrey, Reino Unido).
- Analizador Halógeno de Humedad, marca MOISTURE ANALYZER, modelo MX50.

3.2.4. MATERIALES DE LABORATORIO

- Termómetro
- Vasos precipitados 1000 ml
- Probeta 20 ml
- Pipetas de (1ml; 2ml, 5ml; 10ml)
- Placa Petri
- Crisoles
- Matraces (100ml; 250 ml)

3.2.5. OTROS MATERIALES

- Papel manteca
- Tamiz de malla número 40 – 100
- Colador
- Cúter
- Regla metálica
- Moldes de acero
- Rodillo de amasar
- Papel aluminio
- Cuchillo

3.3. MÉTODOS DE ANÁLISIS

3.3.1. COMPOSICIÓN PROXIMAL DE LAS MATERIAS PRIMAS

- Humedad

El contenido de humedad se determinó mediante la norma NTP 205.037:1975 (Revisada el 2016), se pesó 5 g de las harinas (almidón y/o tusa), estas deben estar sobre un crisol, se calentó la estufa hasta llegar a 130 °C, se coloca el crisol con la muestra durante 1 hora, una vez pasado el tiempo se retiró de la estufa y se colocó en el desecador hasta que alcance la temperatura ambiente y pesarlo.

- Ceniza

El análisis de ceniza se ejecutó según la norma NTP 205.038:1975 (Revisada el 2016), se pesó 3 a 5 g de la muestra, la cual debe estar sobre un crisol, se calentó la horno-mufla hasta llegar a 600 °C, se colocó el crisol con la muestra durante 2 hora, una vez pasado el tiempo se retiró de la estufa y se colocó en el desecador hasta que alcance la temperatura ambiente y pesarlo.

- Fibra cruda

Se aplicó el método de la AOAC. 962.09, consiste en la determinación del remanente luego de la eliminación de los carbohidratos solubles por hidrólisis a compuestos más simples (azúcares) mediante la acción de los ácidos y álcalis débiles en caliente.

- Grasa

Se aplicó el método de la AOAC. 920.39, consiste en la determinación del contenido de grasa por extracción de grasa del material seco con una fracción de éter de petróleo en el extractor Soxhlet, es decir, extracción intermitente con exceso de solvente.

- **Proteína**

Se aplicó el método de la AOAC. 920.87, Consiste en destruir la materia orgánica con ácido sulfúrico concentrado para formar sulfato de amonio, que libera amoníaco cuando se le agrega hidróxido de sodio. Este amoníaco liberado se acumula en una solución de ácido bórico para formar borato, determinado por titulación con ácido clorhídrico.

- **Carbohidrato por diferencia**

Se obtuvo por diferencia después que se culminaron los análisis de ceniza, proteína, grasa y fibra.

3.3.2. CARACTERIZACIÓN DE LAS BANDEJAS BIODEGRADABLES

a) Propiedades Físicas

- **Color**

Para obtener los valores del color se emplea un colorímetro, en el espacio de color de CIElab (L^* , a^* y b^*), se obtiene coordenadas ($L^*=81.6$, $a^*=0.2$, $b^*=-4.6$) para calcular la diferencia de color total ΔE , colocando el colorímetro sobre una placa de vidrio con fondo blanco para obtener los valores y luego las muestras sobre la misma. Para el análisis, cada tratamiento se realiza por triplicado, el área de cada muestra fue de 4 x 3 cm. (Díaz, 2017)

- **Espesor**

Para poder medir el espesor de las bandejas se hizo uso de un micrómetro manual (Inoxidable, 0-150 mm). Para el análisis, cada tratamiento se realiza por triplicado, el área de cada muestra fue de 5 x 5 cm (Beltrán, 2017).

- **Densidad**

La muestra se cortó al tamaño de 10 cm x 2.5 cm, luego se pesó para determinar la masa (g) y el volumen; la densidad se determinó multiplicando las dimensiones de cada muestra (Amaya, 2017).

- **Humedad**

El porcentaje de humedad (%) de las bandejas se determinó mediante el método de secado en estufa. Cada tratamiento se realiza por triplicado, tomando 5 g de la bandeja triturada y colocándolo en el horno a 105°C durante 3 h.

- **Capacidad de absorción de agua**

Se realizó basándose en el método Cobb especificado en la ABNT NBR NM ISO 535 (2014). El tamaño de la muestra es de 5x2.5 cm; pesar la masa inicial, luego sumergir en agua destilada durante 30 segundos, retirar el exceso de agua y finalmente registrar el peso final. (Amaya, 2017).

$$\text{Capacidad de absorción de agua (\%CAA)} = \frac{\text{peso final} - \text{peso inicial}}{\text{peso inicial}} \times 100$$

- **Sólidos volátiles**

Los sólidos volátiles se determinaron utilizando el método 2540G (Standard Method, 1997). Pesar 1 g de muestra en un crisol y llevarlo a la estufa a 103-105°C hasta peso constante, colocarlo en un desecador y registrar su peso. El crisol que contenía el residuo se colocó en una mufla a 550-50°C durante aproximadamente 1 hora y luego se colocó en un desecador para volver a calcular su peso. A: peso del crisol + residuo seco, B: peso del crisol + residuo incinerado, C: peso del crisol

$$\% \text{ Sólidos Volátiles} = \frac{A - B}{A - C} \times 100$$

b) Propiedades Mecánicas

- Tracción

Para obtener la resistencia a la tracción y elongación, se cortan muestras de la bandeja con las medidas de 10 x 2.5 cm, y se colocan en el analizador de textura (TA. HD Plus; Stable Micro System, Surrey, Reino Unido), situando los extremos de la muestra en las sondas de sujeción; el analizador contiene una celda de carga de 100 kg, a una distancia inicial de 80 mm se programará una velocidad de cruce de 0.5 mm/s. Para cada tratamiento realizó por triplicado. Los ensayos de tracción se realizaron de acuerdo con el método ASTM D828 descrito por Mello & Mali (2014).

- Perforación

Para los ensayos de dureza y fracturabilidad se cortó muestras de las bandejas con las medidas de 5 cm²; con ayuda del soporte HDP/FSR se coloca en la base del Analizador de textura, el cual está con una velocidad de penetración de 1 m/s, y se usa una sonda esférica P/0.5S, de 15 mm de distancia de deformación; (Beltrán, 2017). Cada tratamiento se realizó por triplicado.

c) Espectroscopia Infrarroja de Transformada de Fourier (FTIR)

Muestras de bandejas regulares con dimensiones de 50 x 50 mm. La espectrometría infrarroja con transformada de Fourier se analizó en el espectrofotómetro marca THERMO SCIENTIFIC, modelo Nicolet iS50 FT-IR (Francia) con dispositivo de reflectancia total atenuada (ATR). Los análisis fueron evaluados en el rango de 4000 a 500 cm⁻¹, con una resolución de 4 cm⁻¹ (Arévalo, 2017).

d) Microscopía Electrónica de Barrido (MEB)

Las muestras de bandejas de espuma se almacenaron a 25 °C y 60 % de humedad relativa durante 4 días. Los análisis de microscopía electrónica de barrido (SEM) se realizaron en un Tecsan VEGA 3 LM equipado con un sistema de recubrimiento de oro SPI 11430-AB (TESCAN, EE. UU.). Las piezas de la bandeja de espuma se montaron para visualización de la sección transversal de los talones de bronce; se utilizó cinta de doble cara. Las superficies estaban recubiertas con una fina capa de oro (40-50nm). Todas las muestras se examinaron bajo un voltaje de aceleración de 20 kV. (Cruz-Tirado et al., 2019).

e) Difracción de Rayos X (DRX)

Se realizó con un difractómetro de rayos X (D8 ADVANCE eco-Bruker, Trujillo, Perú), se operó a temperatura ambiente a 30 kV y 10 mA, emitiendo $K\alpha$ de cobre a una longitud de onda ($\lambda=1.54060 \text{ \AA}$) a través de una ventana de deflexión con una rendija de 0.06 mm colocada en el camino del haz incidente. El rango angular de adquisición de datos es de 5 a 60°, la escala es 2θ y el tamaño del paso es 0,02°.

3.4. METODOLOGÍA

3.4.1. EXTRACCIÓN DE LA HARINA DE TUSA DE MAÍZ AMARILLO DURO

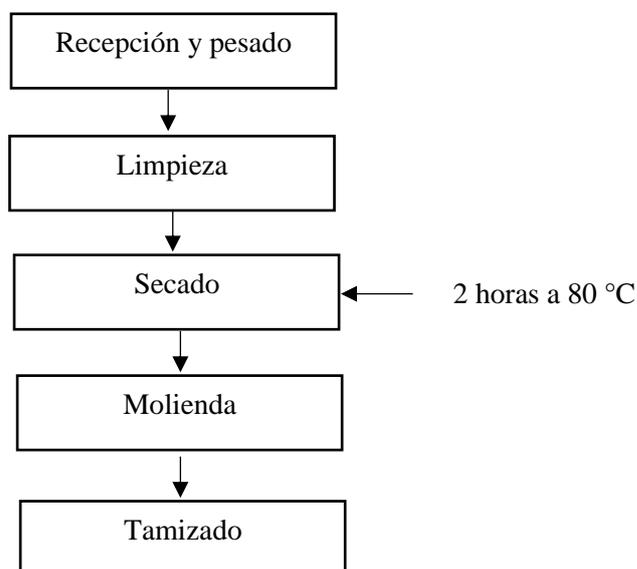


Figura 8. Diagrama de extracción de la harina de tusa de maíz amarillo duro

Fuente: Salgado y Herrera (2020)

Descripción del Diagrama de Flujo:

Recepción y limpieza. En esta etapa se inspecciona la mazorca en busca de materias extrañas, seguido de una inspección visual para verificar que la materia prima esté libre de hongos e insectos; además, se retiran manualmente los palos y cualquier objeto extraño que no sea la tusa.

Secado. Se llevó la tusa en un horno durante 4 horas a 80 °C.

Molienda. Para moler la tusa, se colocó en un molino para obtener la harina.

Tamizado. Después de la molienda, la harina de tusa fue tamizada en un tamiz de 1 mm, es decir con ranuras de malla de 0.8 mm.

3.4.2. EXTRACCIÓN DE ALMIDÓN DE LA SEMILLA DE UMARÍ

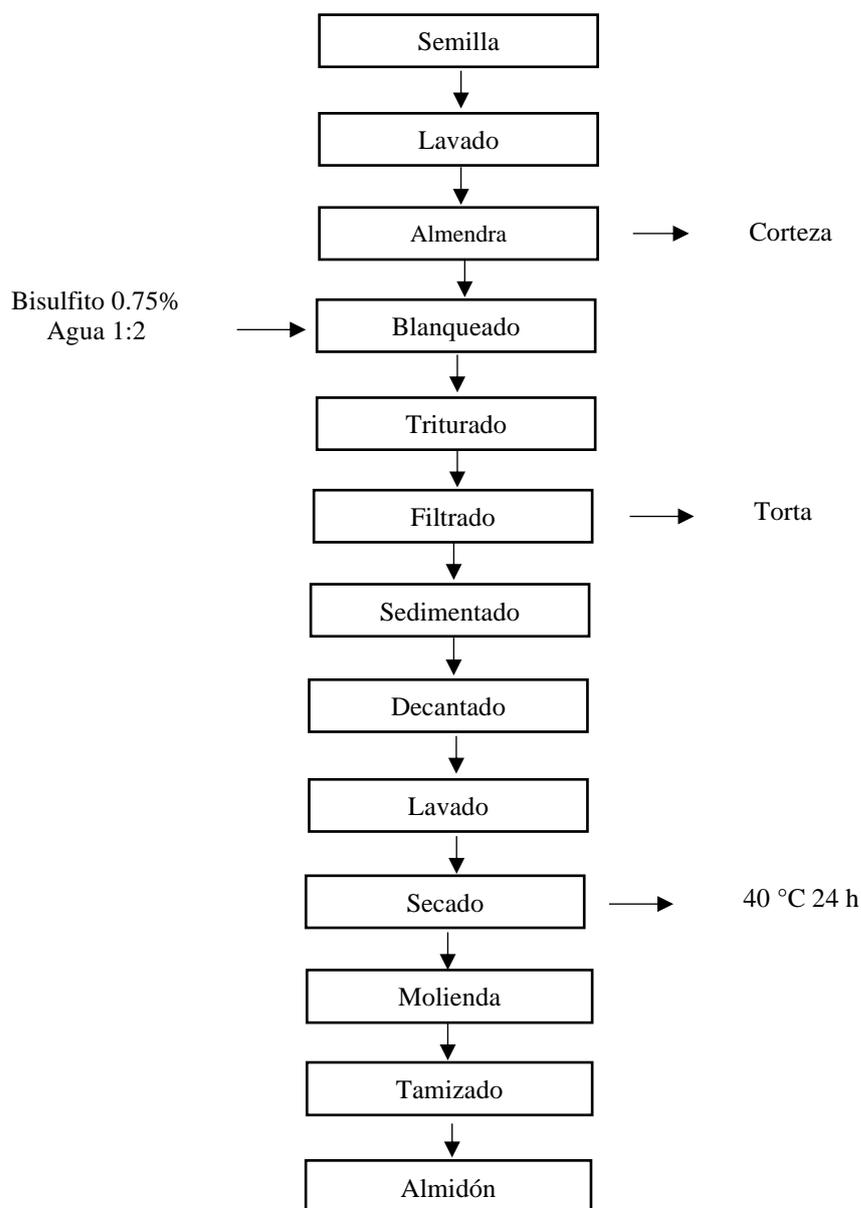


Figura 9. Diagrama de extracción del almidón de la semilla de umarí

Descripción del Diagrama de Flujo:

Recepción y lavado: En esta etapa, las semillas se inspeccionaron para que no guarden materiales extraños, para lo cual se realizó una inspección visual para detectar la ausencia de sustancias extrañas.

Almendra: Se abrió la semilla por sus laterales y se extrajo la almendra raspando con utensilios como cucharas o cuchillos.

Blanqueado: En esta etapa se agregó dos partes de agua respecto al peso de la almendra y se añadió el Bisulfito de sodio 0.75%; donde se remojó la almendra mientras se termina de extraer del total del lote.

Triturado: Se procedió a triturar la almendra en una licuadora industrial con la misma agua donde estaba remojando con bisulfito de sodio.

Filtrado: Se filtró con una tela de gasa lo previamente triturado y se exprimió todo el contenido de agua y se retiró la torta restante.

Sedimentado: El agua filtrada se dejó sedimentar durante 24 horas en refrigeración.

Decantado: Se retiró el agua y se logró observar el almidón en la parte inferior del envase.

Lavado: Se agregó agua nuevamente y se dejó en reposo por 24 horas más en refrigeración y se volvió a decantar. Este proceso de lavado se puede realizar entre 3 a 4 veces.

Secado: Al culminar el proceso de lavado se llevó el almidón al secador de bandejas a una temperatura de 40 °C por 24 horas.

Molienda: Se procede a moler las almendras en un molino.

Tamizado y envasado: Se procederá a tamizar para retirar cualquier producto extraño y será envasado en un ambiente seco.

3.4.3. ELABORACIÓN DE LA BANDEJA BIODEGRADABLE

Las bandejas biodegradables se elaboraron por termoprensión usando las fórmulas que se muestran en la Tabla 6.

Tabla 6. Porcentaje de las formulaciones para la elaboración de bandejas biodegradables (p/p)

| Tratamientos | Almidón de umarí % (p/p) | Harina de tusa de maíz amarillo % (p/p) |
|--------------|--------------------------|---|
| T1 | 85.0 | 15.0 |
| T2 | 90.0 | 10.0 |
| T3 | 86.25 | 13.75 |
| T4 | 88.75 | 11.25 |
| T5 | 87.5 | 12.5 |

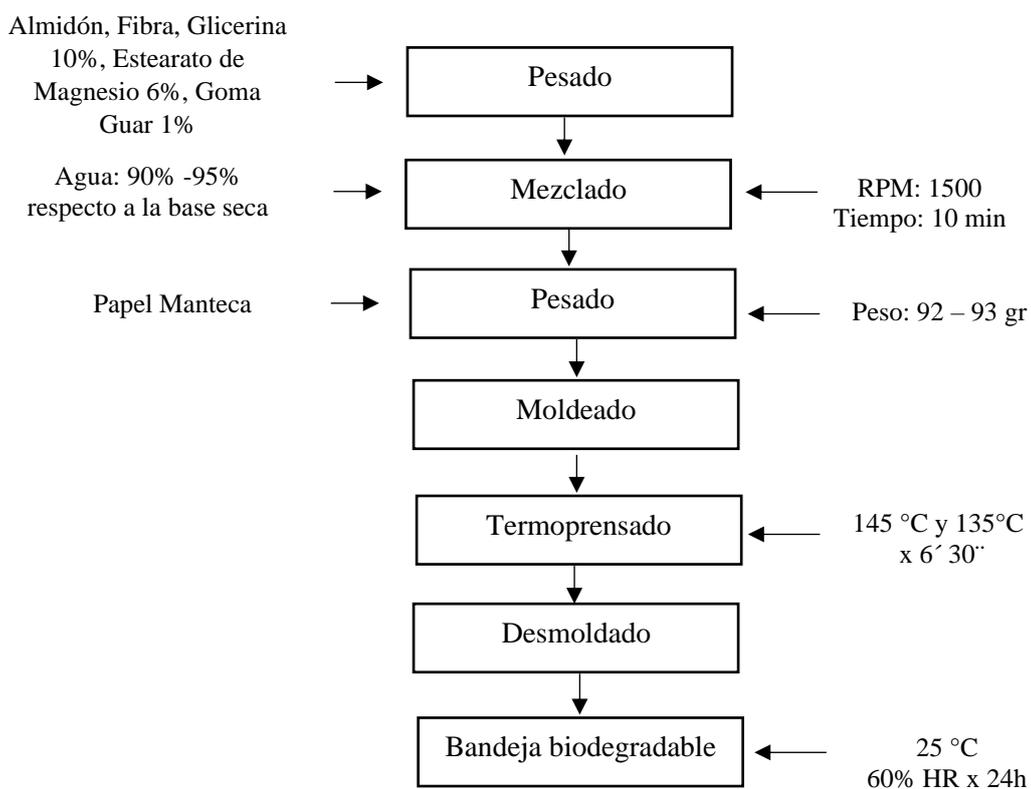


Figura 10. Diagrama de elaboración de las bandejas biodegradables

Descripción del Diagrama de Flujo:

Pesado. Se pesó el almidón y la harina de tusa de acuerdo al porcentaje de cada formulación. Se agrega respecto al peso el 10% de glicerina el cual es usado como plastificante, 6% de Estearato de magnesio utilizado como desmoldante y 1 % de Goma Guar como espesante.

Mezclado. En un envase de 500 ml se mezcló con el apoyo de una batidora manual, añadiendo cada que lo requiere 50 ml de agua a una velocidad de 1500 rpm por 10 minutos, siendo el equivalente total de agua entre 90% -95% respecto a la base seca. (Amaya & Beltrán, 2017).

Pesado. El peso fue entre 92g – 93g de masa resultante. La masa se colocó sobre papel manteca de medidas 310 mm y 240 mm.

Moldeado. Luego se colocó en el molde de teflón con medidas de 27 cm de largo, 20 cm de ancho y 2.5 cm de profundidad, con 0.3 cm de espesor (Amaya, 2017), siendo cubierto con papel manteca de medida ya mencionada y se procede a cerrar la termoprensa.

Termoprensado. En este proceso se prensaron las mezclas en una máquina de compresión con temperatura de 145°C placa superior y 135°C placa inferior, siendo su tiempo aproximado de 6 minuto y 30 segundos.

Desmoldado. Se extrajo la bandeja del molde de teflón con precaución para no romperlas, se corta las imperfecciones.

Almacenado. Para el correcto secado de las bandejas se almacenaron a temperatura ambiente (25 °C) por 24 horas con humedad relativa de 60%. (Amaya, 2017)

3.5. DISEÑO ESTADÍSTICO

Para realizar el diseño estadístico de la presente investigación se hizo uso del Software Statgraphics, empleando un diseño de Mezclas con el tipo Simplex-Lattice. Se analizó el efecto de 2 componentes, realizando 5 tratamientos y con un orden aleatorio. La matriz de las formulaciones se muestra en la Tabla 6.

Diseño Base

- Número de Componentes: 2
- Número de respuestas: 1
- Número de corridas: 5
- Tipo de modelo: Lineal
- Aleatorizar: Sí

3.6. ANÁLISIS ESTADÍSTICO

Se utilizó el Software Statgraphics para el análisis de los resultados de color, espesor (mm), densidad (g/cm³), humedad (%), capacidad de absorción de agua (%), sólidos volátiles (%), tensión (MPa), deformación; (ANOVA-un solo factor) con un nivel de confianza del 95% ($\alpha=0.05$) para los resultados.

IV. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

4.1. COMPOSICIÓN PROXIMAL DE LAS MATERIAS PRIMAS

La Tabla 7 muestra la composición proximal de la harina de tusa y del almidón de semilla de umarí.

Tabla 7. Composición Proximal por 100 g de muestra seca (p/p)

| Fuente | Humedad (%) | Ceniza (%) | Grasa (%) | Proteína (%) | Fibra cruda (%) | Carbohidrato (%) |
|-----------------------------|--------------------|-------------------|------------------|---------------------|------------------------|-------------------------|
| Harina de tusa de maíz | 5.77 ± 0.09 | 1.85 ± 0.04 | 0.71 ± 0.01 | 4.08 ± 0.06 | 20.80 ± 0.28 | 66.79 ± 0.16 |
| Almidón de semilla de umarí | 0.82 ± 0.13 | 0.09 ± 0.01 | 0.07 ± 0.01 | 1.35 ± 0.19 | 0.07 ± 0.03 | 97.62 ± 0.03 |

Para la composición proximal de la harina de tusa, Vinueza C. (2020) en su investigación obtuvo como datos de humedad 11.20%, ceniza 3.29%, grasa 0.32%, proteína 3.74%, fibra cruda 24.01% y carbohidrato 57.44%; datos similares a la presente investigación, con excepción de la humedad el cual tuvo una diferencia de 5.43% y también en carbohidrato con 9.35% de diferencia. Mientras que Rodríguez et al. (2019) reportó que la harina de tusa cuenta con 1.32% de humedad, 2.54% de ceniza, 1.2% de grasa, 2.39% de proteína, 12.31% de fibra cruda y 80.24% de carbohidrato; también presentó datos similares a la presente investigación, con excepción de la humedad con una diferencia de 4.45%, fibra cruda con una diferencia de 8.49% y carbohidratos con una diferencia de 13.45%. Villares W. (2022) también reportó la composición proximal, con humedad de 10.43%, ceniza 7.05%, fibra cruda 27.43% y carbohidrato 55.09%, cuyos resultados mostraron ciertas diferencias con

lo reportado en la investigación. Por otro lado, para la harina de tusa como fibra, su contenido de lignina debe ser bajo porque es un polímero complejo que puede dificultar la biodegradabilidad del material, la celulosa debe ser alto porque es un polímero lineal que aporta resistencia y estabilidad al bioplástico, y el contenido de hemicelulosa debe ser bajo porque es un carbohidrato complejo que puede causar la reducción de la resistencia y rigidez de la bandeja. González et al. (2016) reporta un 43% de celulosa, 29% de lignina y 25% de hemicelulosa. Echevarría y Bazán (2017) reportan 40.95% de celulosa, 16.54% de lignina y 38.94% de hemicelulosa.

Para la composición proximal del almidón de semilla de umarí, Aguirre (2001) reportó datos de proteína 0.47%, grasa 0.014%, ceniza 0.54%, fibra 0.03% y carbohidrato 98.95%; datos similares a la presente investigación. Por otro lado, Saavedra G. (2000) reportó proteína 4.53%, grasa 0.39%, ceniza 1.83% y carbohidrato 93.25%; datos similares a la presente investigación, con excepción de ceniza con una diferencia de 1.74% y carbohidrato con una diferencia de 4.37%. La poca diferencia que hubo con los resultados obtenidos en la presente investigación puede deberse al cultivo y al proceso de extracción.

El almidón de la semilla de umari contiene amilosa 15.11% y amilopectina 84.89%, cuyo resultado es similar a lo reportado por Aguirre (1992) citado por Floríndez C. & Floríndez P. (2009) donde informan que el contenido de amilosa del almidón de Umarí es 12.5% y amilopectina 87.5% el cual puede proporcionar una combinación de resistencia mecánica y flexibilidad en las bandejas biodegradables. Además, la presencia de amilosa puede contribuir a una mayor biodegradabilidad del material.

4.2. PROPIEDADES FÍSICAS DE LAS BANDEJAS BIODEGRADABLES

a. Color

De acuerdo con los valores presentados en la Tabla 8, mostraron que los parámetros de color (L^* , a^* y b^*) varían significativamente con la adición de la harina de tusa, siendo esta la fibra. El incremento de la proporción de fibra en la mezcla propició la reducción del parámetro L^* , lo que a su vez ocasionó un incremento de los parámetros a^* , b^* ocasionando un tono rojizo (a^+) y un más acentuado tono amarillento (b^+), y también incrementó el diferencial de color total ΔE . Este comportamiento ha sido reportado por diversos autores para bandejas de almidón reforzados con fibra (Mello y Mali, 2014; Vercelheze et al., 2013; Espina M. et al., 2016).

Tabla 8. Promedios de los parámetros del Color de los tratamientos

| Tratamientos | Promedio L^* | Promedio a^* | Promedio b^* | Color ΔE |
|---------------------|------------------------|------------------------|------------------------|------------------------|
| Control (100/0) | 68.69 ± 0.79^c | 9.25 ± 0.58^a | 17.17 ± 1.09^a | 26.88 ± 1.46^a |
| T1 (85/15) | 64.94 ± 0.81^a | $10.12 \pm 0.44^{a,b}$ | 20.32 ± 0.40^b | 31.57 ± 0.29^c |
| T2 (90/10) | $67.80 \pm 0.93^{b,c}$ | 11.20 ± 0.32^c | 17.21 ± 0.3^a | $28.06 \pm 0.39^{a,b}$ |
| T3 (86.25/13.75) | 65.56 ± 1.6^a | $10.53 \pm 0.66^{b,c}$ | 19.41 ± 1^b | 30.67 ± 1.53^c |
| T4 (88.75/11.25) | $66.39 \pm 0.45^{a,b}$ | $10.72 \pm 0.24^{b,c}$ | $18.80 \pm 1.47^{a,b}$ | $29.82 \pm 0.94^{b,c}$ |
| T5 (87.5/12.5) | $65.94 \pm 1.44^{a,b}$ | $10.29 \pm 0.81^{b,c}$ | 19.70 ± 1.27^b | 30.62 ± 2.01^c |

La diferencial de colores ΔE mostradas en la Tabla 8, se percibió una conducta de diferencia de color en las superficies de las bandejas biodegradables, donde también se confirmó que a medida que los tratamientos aumentaron su contenido de fibra, su color aumentó, esto se produjo por la existencia de lignina en la fibra, el cual provocó bandejas con un tono más oscuro. Dichos resultados fueron comprobados por Cruz R. (2021) en su investigación de elaboración de bandeja a base de almidón y fibra de pseudotallo de banana en proporción (100/0 es 15.51, 95/5 es 20.59, 90/10 es 25.07 y 80/20 es 29.95) y también por Beltrán (2017) en bandejas hechas de oca y fibras de residuos agroindustriales, se observó que a mayor proporción de fibra mayor diferencial de color.

Tabla 9. Color _ ANOVA

| Fuente | Suma de Cuadrados | Gl | Cuadrado Medio | Razón-F | Valor-P |
|----------------------|--------------------------|-----------|-----------------------|----------------|----------------|
| Tratamiento | 47.7568 | 5 | 9.55136 | 5.95 | 0.0054 |
| Error | 19.2618 | 12 | 1.60515 | | |
| Total (Corr.) | 67.0186 | 17 | | | |

El ANOVA del Color (Tabla 9) para los 5 Tratamientos y control, con sus 3 repeticiones; mostraron que los distintos porcentajes de almidón de umarí y fibra de tusa de maíz amarillo afecta significativamente las medias del color de los diferentes tratamientos, con un valor $p < 0.05$, con 95.0% de confianza.

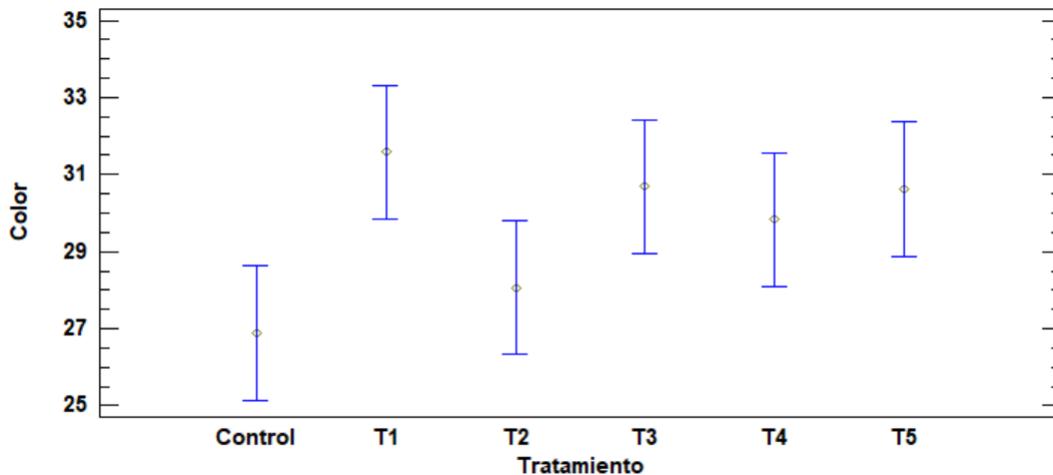


Figura 11. Tukey HSD - Promedios del Color de las bandejas en los diferentes tratamientos

Se realizó la prueba Tukey HSD (figura 11) donde se observa las diferencias significativas entre los promedios de los diversos tratamientos. Para obtener de forma tabulada el mismo análisis, se realizó la Prueba de Múltiple Rangos (Anexo 9), donde muestra que la bandeja control es significativamente diferente con los tratamientos T1, T3, T4 y T5; el T1 es significativamente diferente al T2; el T2 es significativamente diferente al T3 y T5.

Cada parámetro se ha tomado en cuenta para explicar el comportamiento de la diferencia de color. Los parámetros de color mostrados en la bandeja sin adición de fibra (100/0) fueron: $L^* = 68.69$; $a^* = 9.25$; $b^* = 17.17$, y las bandejas con fibra añadida presentaron: $L^* = 64.94$ a 67.80 , $a^* = 10.12$ a 11.20 , $b^* = 17.21$ a 20.32 .

La adición de fibra resultó en una reducción notable de la luminosidad (L^*) (Kaisangsri et al., 2012; Stevens et al., 2010). Presumiblemente, esto se debió a la presencia de compuestos fenólicos en la estructura de la lignina presente en la fibra (Franco J. y Enríquez E. 2015), por lo que las bandejas con concentraciones más altas presentaron

un color más oscuro. La hemicelulosa presente en la fibra puede hidrolizarse por la alta temperatura liberando xilosa, que luego puede descomponer a furfural ocasionando la disminución de la luminosidad (L) (Palmqvist y Hahn-Hagerdal, 2000). Así también, diversas investigaciones vincularon la reacción de Maillard (pardeamiento no enzimático) con el oscurecimiento a las bandejas, debido a la reacción entre proteínas y carbohidratos producto de la temperatura y presión durante el termoformado (Cruz-Tirado et al., 2017; Machado C., et al., 2017). La secuencia de disminución de la luminosidad al incrementar la fibra es confirmada por Cruz R. (2021) en su investigación de bandejas elaboradas con almidón y fibra de pseudotallo de banana en proporción (100/0 es 68.44, 95/5 es 61.67, 90/10 es 56.69 y 80/20 es 51.52) donde se observó que a mayor proporción de fibra menor luminosidad.

Se desarrollo el ANOVA del parámetro L* para los 5 Tratamientos y el control, con sus 3 repeticiones; en el (Anexo 10) mostraron que los distintos porcentajes de almidón de umarí y fibra de tusa de maíz amarillo afectan significativamente en este parámetro, arrojando un valor $p < 0.05$, con 95.0% de confianza. Se realizó la prueba Tukey HSD (Anexo 11) donde se observa las diferencias significativas entre los promedios del parámetro L* en los Tratamientos.

El parámetro a* incrementó al añadir fibra, y tuvo una diferencia significativa en las bandejas a base de almidón y fibra con mayor concentración, siendo estos dos tratamientos (T4=88.75/11.25 y T2=90/10) los que tuvieron mayor aumento con respecto a la bandeja control (100/0). Probablemente, pudo deberse a la fibra de la tusa de maíz amarillo con su elevado contenido de lignina, según Cruz R. (2021) la presencia de fibra que contiene lignina podría producir el tono rojo de la bandeja. Los datos del parámetro *a de los Tratamientos oscilan entre 10.12 y 11.20 confirmando una vez más

que el aumento de fibra en los tratamientos ocasiona el aumento de dicho parámetro, ya que la bandeja control tuvo como parámetro $a^*=9.25$.

Se desarrolló el ANOVA para el parámetro a^* para los 5 Tratamientos y control, con sus 3 repeticiones; en el (Anexo 12) mostraron que los distintos porcentajes de almidón de umarí y fibra de tusa de maíz amarillo afectan significativamente en este parámetro, arrojando un valor $p < 0.05$, con 95.0% de confianza. Se realizó la prueba Tukey HSD (Anexo 13) donde se observa las diferencias significativas entre los promedios del parámetro a^* en los Tratamientos.

El parámetro b^* incrementó en las bandejas con mayor adición de fibra, siendo estos dos tratamientos ($T5=87.5/12.5$ y $T1= 85/15$) los que tuvieron mayor aumento. Este resultado ocasionado por la adición de fibra, es semejante a lo reportado de las bandejas elaboradas con almidón de yuca y cáscara de piña (Cabanillas et al, 2019), así mismo en películas de almidón de saga con adición de lignina (Bhat R. 2013). Los datos del parámetro b^* de los Tratamientos oscilan entre 17.21 y 20.32, siendo propenso al tono amarillo, estos datos coinciden a lo expuesto por (Espina M. et al., 2016) al elaborar bandejas con fibra de peladilla de espárrago y almidón de camote con una proporción de 15 a 20%, cuyos datos oscilan entre 14.8 y 17.37, donde los datos de b^* es cada vez mayor al aumentar el porcentaje de fibra.

Se desarrolló el ANOVA para el parámetro b^* para los 5 Tratamientos y control, con sus 3 repeticiones; en el (Anexo 14) mostraron que los distintos porcentajes almidón de umarí y fibra de tusa de maíz amarillo afectan significativamente en este parámetro, arrojando un valor $p < 0.05$, con 95.0% de confianza. Se realizó la prueba Tukey HSD (Anexo 15) donde se observa las diferencias significativas entre los promedios del parámetro b^* en los Tratamientos.

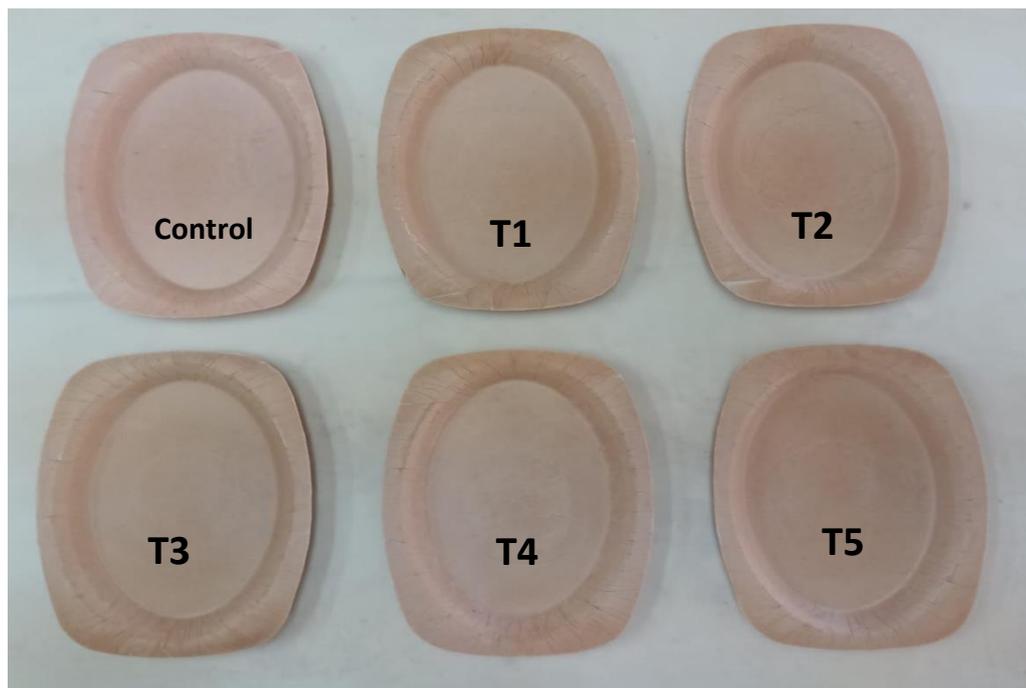


Figura 12. Bandejas biodegradables con distintas proporciones de almidón/fibra

b. Espesor

El aumentar el porcentaje de fibra de tusa de maíz amarillo en la mezcla de la bandeja provocó la disminución del espesor (tabla 10), esta interfirió con los procesos de formación de espuma y de hinchamiento del almidón, lo cual evitó la expansión homogénea.

Tabla 10. Promedios de Espesor de los tratamientos

| Tratamientos | Espesor (mm) |
|---------------------|-------------------|
| Control (100/0) | 3.08 ± 0.14^d |
| T1 (85/15) | 2.47 ± 0.11^b |
| T2 (90/10) | 2.20 ± 0.07^a |
| T3 (86.25/13.75) | 2.81 ± 0.03^c |
| T4 (88.75/11.25) | 2.27 ± 0.02^a |
| T5 (87.5/12.5) | 3.17 ± 0.03^d |

Las bandejas tuvieron una variación de espesor 2.20 a 3.17 mm (Tabla 10), más alto que el obtenido por Mello y Mali (2014) con 2.16 a 2.24 mm; inferiores a las bandejas de almidón de yuca con 4.6 a 3.3 mm, reportado por Machado C., et al. (2017); y similares a lo reportado por Ponce & Horna (2023) (2.37 - 3.39) y Matos & Díaz (2022) (2.47 - 3.27); quienes confirman que, al aumentar el porcentaje de fibra en la mezcla, el espesor de las bandejas disminuye.

No obstante, el ANOVA reveló que el espesor de la bandeja de los tratamientos T1, T2, T3 y T4 disminuyeron significativamente en contraste a la bandeja control (100/0), esto se debe a que a medida que aumentó el contenido de fibra, la masa de almidón con fibra aumentó su viscosidad, impidiendo la capacidad de expansión (Pornsuksomboon et al., 2016) por ende disminuyó significativamente el espesor de las bandejas. Con excepción del T5, el cual es el único tratamiento que no afectó significativamente el espesor en comparación al Control (100/0). Es posible que el tamaño de la fibra conduzca a una mejor relación almidón-fibra (Soykeabkaew et al., 2015; Cabanillas et al., 2019), lo que reduce el tamaño de los folículos de aire internos.

Tabla 11. Espesor _ ANOVA

| Fuente | Suma de Cuadrados | Gl | Cuadrado Medio | Razón-F | Valor-P |
|----------------------|--------------------------|-----------|-----------------------|----------------|----------------|
| Tratamiento | 1.72504 | 5 | 0.345008 | 51.95 | 0.0001 |
| Error | 0.03985 | 6 | 0.00664167 | | |
| Total (Corr.) | 1.76489 | 11 | | | |

El ANOVA del espesor (Tabla 11) para los 5 Tratamientos y control, con sus 2 repeticiones; mostraron que los distintos porcentajes de almidón de umarí y fibra de tusa de maíz amarillo afecta significativamente las medias del espesor de los diferentes tratamientos, con un valor $p < 0.05$, con 95.0% de confianza.

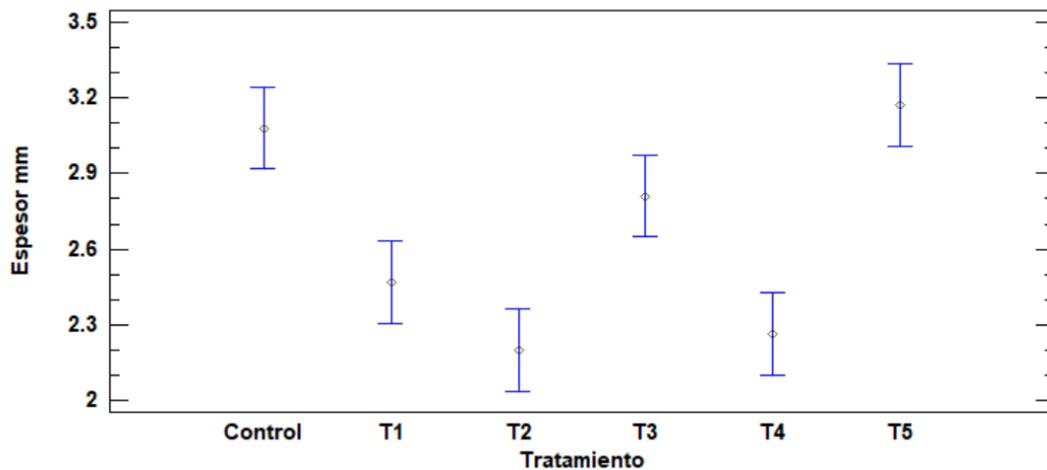


Figura 13. Tukey HSD - Promedios del Espesor de las bandejas en sus diferentes tratamientos

Se realizó la prueba Tukey HSD (figura 13) donde se observa las diferencias significativas entre los promedios de los diversos tratamientos. Para obtener de forma tabulada el mismo análisis, se realizó la Prueba de Múltiple Rangos (Anexo 16), donde muestra que la bandeja control es significativamente diferente al T1, T2, T3 y T4; el T1 es significativamente diferente al T2, T3, T4 y T5; el T2 es significativamente diferente al T3 y T5; el T3 es significativamente diferente al T4 y T5; el T4 es significativamente diferente al T5. Donde se infiere que los tratamientos adecuados son los T3 y T5.

c. Densidad

La densidad es una de las propiedades físicas más importantes para la funcionalidad de las bandejas biodegradables. Los valores de densidad oscilaron entre 0.251 g/cm³ y 0.414 g/cm³; en comparación con las bandejas de poliestireno los cuales son de baja densidad (0.04 g/cm³), los valores obtenidos son altos (Ferreira et al., 2020), siendo las bandejas de poliestireno una referencia porque son las más comercializadas y tienen excelentes propiedades mecánicas (Romero D., 2019).

Tabla 12. Promedios de la Densidad de los tratamientos

| Tratamientos | Densidad (g/cm ³) |
|---------------------|--------------------------------|
| Control (100/0) | 0.330 ± 0.020 ^{a,b,c} |
| T1 (85/15) | 0.414 ± 0.090 ^c |
| T2 (90/10) | 0.301 ± 0.020 ^{a,b} |
| T3 (86.25/13.75) | 0.351 ± 0.00 ^{b,c} |
| T4 (88.75/11.25) | 0.274 ± 0.010 ^{a,b} |
| T5 (87.5/12.5) | 0.251 ± 0.00 ^a |

En la Tabla 12 se observa que la densidad de las bandejas en los tratamientos T2 (90/10), T4 (88.75/11.25) y T5 (87.5/12.5) disminuyeron significativamente en comparación a la bandeja control (100/0) (Figura 14). Según Glenn et al. (2001) la densidad de las espumas de almidón disminuye con la adición de fibras. Posiblemente, la adición de fibras pudo haber contribuido al refuerzo de la matriz polimérica, dando

lugar a una estructura expandida más estable. Se observa que al superar la adición de fibra (13.75% -15%) en la mezcla, las bandejas aumentan su densidad, siendo el T3 (86.25/13.75) y T1 (85/15) superiores en densidad en contraste a la bandeja control (100/0) (Figura 14). Mello y Mali (2014) reportaron densidades de bandejas más elevadas a lo registrado en el presente estudio, estas fueron elaboradas con almidón de yuca y bagazo de malta (0.415 a 0.450 g/cm³); de igual manera Salgado et al. (2008) muestra densidades superiores, estas fueron espumas de almidón de yuca producidas con fibras de celulosa y aislado de proteína de girasol (0.456–0.587 g/cm³). Matos & Diaz (2022) en su investigación reportaron valores de densidad inferiores a la presente investigación (0.200 – 0.292 g/cm³), al igual que Ponce & Horma (2023) (0.16 a 0.24 g/cm³) y Cruz-Tirado et al. (2017) (0.193 - 0.300 g/cm³).

Tabla 13. Densidad _ ANOVA

| Fuente | Suma de Cuadrados | Gl | Cuadrado Medio | Razón-F | Valor-P |
|----------------------|--------------------------|-----------|-----------------------|----------------|----------------|
| Tratamiento | 0.033556 | 5 | 0.0067112 | 4.32 | 0.0417 |
| Error | 0.00932 | 6 | 0.00155333 | | |
| Total (Corr.) | 0.042876 | 11 | | | |

El ANOVA de la densidad (Tabla 13) para los 5 Tratamientos y control, con sus 2 repeticiones; mostraron que los distintos porcentajes de almidón de umarí y fibra de tusa de maíz amarillo afectan significativamente las medias de la densidad de los diferentes tratamientos, con un valor $p < 0.05$, con 95.0% de confianza.

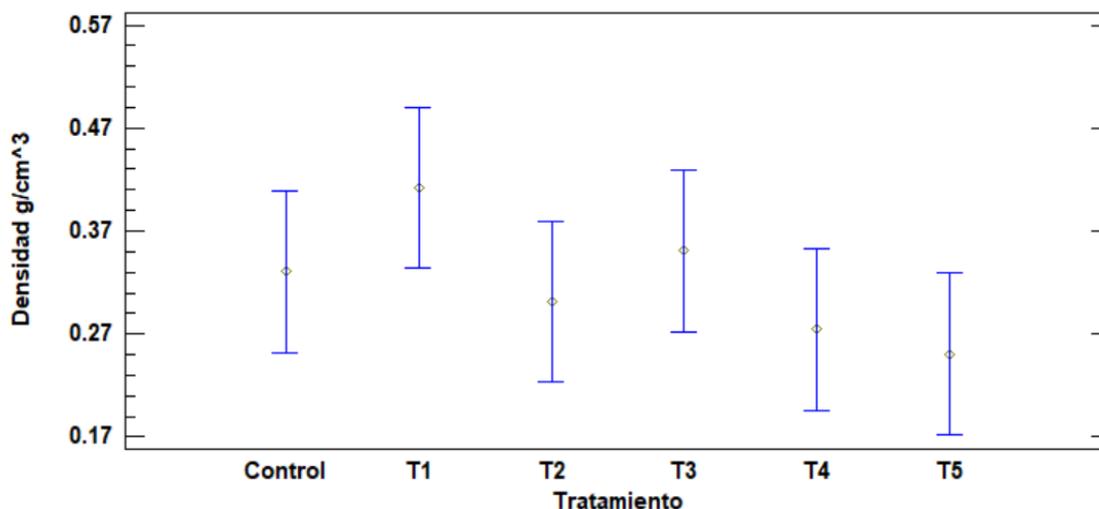


Figura 14. Tukey HSD - Promedios de la densidad de las bandejas en los diferentes tratamientos

Se realizó la prueba Tukey HSD (figura 14) donde se observa las diferencias significativas entre los promedios de los diversos tratamientos. Para obtener de forma tabulada el mismo análisis, se realizó la Prueba de Múltiple Rangos (Anexo 17), donde muestra que el T1 es significativamente diferente al T2, T4 y T5; el T3 es significativamente diferente al T5. Donde se infiere que los tratamientos adecuados son los T4 y T5.

d. Humedad

El contenido de humedad para cada tratamiento se refleja en la Tabla 14. Con la adición de fibra, el contenido de humedad de las bandejas disminuyó, correspondiente a una disminución en el contenido de almidón de la formulación. La humedad de la bandeja control (100/0) fue de 6.48%; el tratamiento con el menor porcentaje de humedad es el T1 (3.85%), siendo dicho tratamiento el que contiene mayor cantidad de fibra. Esto se atribuye a las características hidrofóbicas de la fibra, y a su aumento de porcentaje en

los tratamientos, disminuyendo la afinidad de las bandejas por la humedad (Viviano, 2019). Cruz R. (2021), en su investigación donde utilizaron fibra y almidón del pseudotallo de banano, mostró en sus resultados la misma tendencia en disminuir la humedad con el aumento del porcentaje de fibra en la formulación, pero obtuvo datos superiores en la humedad (9.60% a 10.96%), así mismo el autor Beltrán (2017), en su investigación de bandejas hechas de almidón de oca (*Oxalis tuberosa*) incorporando fibra de residuos agroindustriales, también mostró la misma tendencia, y obtuvo porcentajes superiores de humedad (10.11% a 11.97%). Salgado et al. (2008), quienes hicieron uso de fibras de celulosa, proteína de girasol y almidón de yuca para realizar bandejas, obtuvieron valores (9,74% a 10,81%) de un contenido de humedad superior a lo mostrado en esta investigación.

Tabla 14. Promedios del % de Humedad de los tratamientos

| Tratamientos | Humedad % |
|---------------------|--------------------------|
| Control (100/0) | 6.48 ± 0.19 ^e |
| T1 (85/15) | 3.85 ± 0.03 ^a |
| T2 (90/10) | 5.68 ± 0.17 ^d |
| T3 (86.25/13.75) | 4.02 ± 0.17 ^a |
| T4 (88.75/11.25) | 4.98 ± 0.1 ^c |
| T5 (87.5/12.5) | 4.31 ± 0.1 ^b |

Tabla 15. Humedad _ ANOVA

| Fuente | Suma de Cuadrados | Gl | Cuadrado Medio | Razón-F | Valor-P |
|----------------------|--------------------------|-----------|-----------------------|----------------|----------------|
| Tratamiento | 16.0687 | 5 | 3.21375 | 168.5 | 0.0000 |
| Error | 0.228867 | 12 | 0.0190722 | | |
| Total (Corr.) | 16.2976 | 17 | | | |

El ANOVA de la humedad (Tabla 15) para los 5 Tratamientos y control, con sus 3 repeticiones; mostraron que los distintos porcentajes de almidón de umarí y fibra de tusa de maíz amarillo afecta significativamente las medias de la humedad de los diferentes tratamientos, con un valor $p < 0.05$, con 95.0% de confianza.

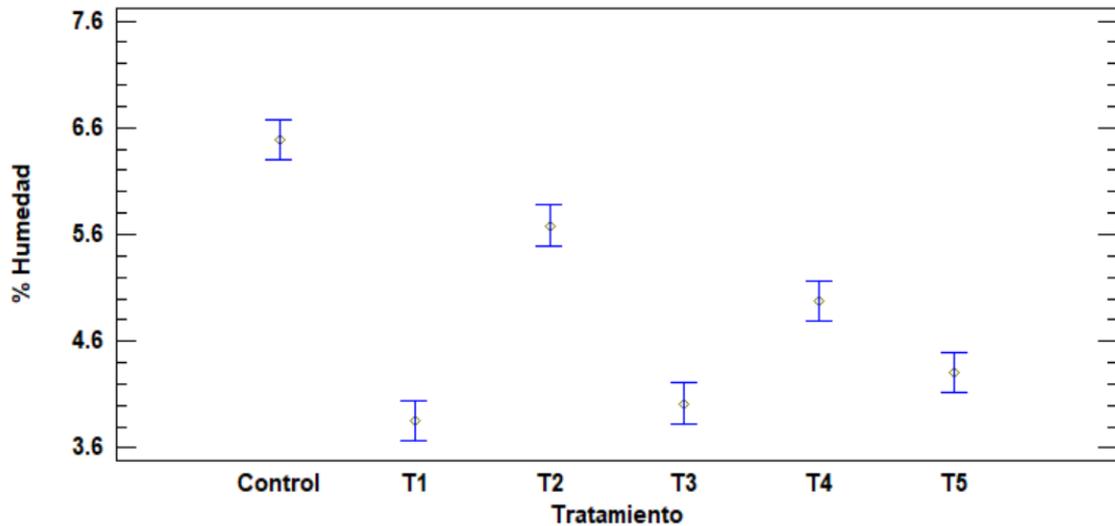


Figura 15. Tukey HSD - Promedios de la Humedad de las bandejas en sus diferentes tratamientos

Se realizó la prueba Tukey HSD (figura 15) donde se observa las diferencias significativas entre los promedios de los diversos tratamientos. Para obtener de forma tabulada el mismo análisis, se realizó la Prueba de Múltiple Rangos (Anexo 18), donde muestra que la bandeja control es significativamente diferente al T1, T2, T3, T4 y T5; el T1 es significativamente diferente al T2, T4 y T5; el T2 es significativamente diferente al T3, T4 y T5; el T3 es significativamente diferente al T4 y T5; el T4 es significativamente diferente al T5. Donde se infiere que los tratamientos adecuados son los T4 y T5.

e. Capacidad de absorción de agua WAC

En el análisis de WAC de las bandejas después de sumergir en agua durante 30 segundos, los valores obtenidos oscilaron entre 42.325% a 21.863% (Tabla 16, Figura 16). Cruz R. (2021), mostraron resultados similares en su investigación de elaboración de bandejas a base de fibra y almidón de pseudotallo de banano (45.40 - 29.90 g agua/100 g b.s); Cruz-Tirado et al. (2017), obtuvieron resultados superiores en sus bandejas de almidón de oca con peladilla espárrago (78.88 - 93.81 g agua/100 g b.s.) y bagazo de caña de azúcar (64.87 - 98.37 g agua/100 g b.s.) en condiciones similares; Ponce & Horna (2023) también obtuvieron valores superiores en su investigación (64.16% - 91%).

Los tratamientos T2 (90/10), T4 (88.75/11.25) y T5 (87.5/12.5) disminuyeron significativamente la absorción de agua (WAC), mostrando valores de 39.050%, 24.076% y 21.863% respectivamente, siendo contrastado con el control (100/0) con un valor de 42.325%, lo que indica que al aumentar la fibra hasta 12.5% en la mezcla produjo la disminución de absorción de agua. Vercelheze et al. (2012) y Kaisangsri et al. (2014) observaron que al aumentar la concentración de fibra disminuyó el WAC en

las espumas a base de almidón, lo que puede explicarse por la naturaleza química de la celulosa, poco soluble en agua. Machado C., et al. (2017) explican que la disminución de la capacidad de absorción de agua, observada principalmente por espumas de almidón que contenían una mayor concentración de residuos, fue posible debido al mayor contenido de lípidos y proteínas en estas formulaciones.

Tabla 16. Promedios del % WAC de los tratamientos

| Tratamientos | WAC % |
|---------------------|-----------------------------|
| Control (100/0) | 42.325 ± 0.67 ^e |
| T1 (85/15) | 33.231 ± 1.05 ^c |
| T2 (90/10) | 39.050 ± 1.07 ^d |
| T3 (86.25/13.75) | 23.069 ± 0.05 ^{ab} |
| T4 (88.75/11.25) | 24.076 ± 0.34 ^b |
| T5 (87.5/12.5) | 21.863 ± 0.93 ^a |

Por otra parte, se observó el inicio de un leve aumento de la WAC, sin superar al control, para los tratamientos T3 (86.25/13.75) y T1 (85/15) presentando valores 23.069% y 33.23% respectivamente, esto podría deberse que al aumentar más de 12.5% de la concentración de fibra, provocó la interferencia en la estructura, desestabilizando la matriz y facilitando el acceso de agua al interior de la bandeja. Cabanillas et al., 2019 y Salgado et al., 2008 también indicaron la disminución de la WAC para bandejas con bajo contenido de fibra, y un aumento para bandejas con concentraciones más altas de

fibra. Otros informes atribuyen este efecto a la disposición de celulosa en la fibra, su afinidad por el agua y el tamaño de la fibra (Bénézet et al., 2012). Usaquén & Zafra (2018) indican que las bandejas biodegradables compactas tienen mayor densidad y menor porosidad; también demostraron que, obtuvo una absorción de agua del 99,72% de la bandeja de almidón de Arracacha.

Tabla 17. % WAC _ ANOVA

| Fuente | Suma de Cuadrados | Gl | Cuadrado Medio | Razón-F | Valor-P |
|----------------------|--------------------------|-----------|-----------------------|----------------|----------------|
| Tratamiento | 782.84 | 5 | 156.568 | 255.58 | 0.0000 |
| Error | 3.67566 | 6 | 0.61261 | | |
| Total (Corr.) | 786.515 | 11 | | | |

El ANOVA de la WAC (Tabla 17) para los 5 Tratamientos y control, con sus 2 repeticiones; mostraron que los distintos porcentajes de almidón de umarí y fibra de tusa de maíz amarillo afecta significativamente las medias de la WAC de los diferentes tratamientos, con un valor $p < 0.05$, con 95.0% de confianza.

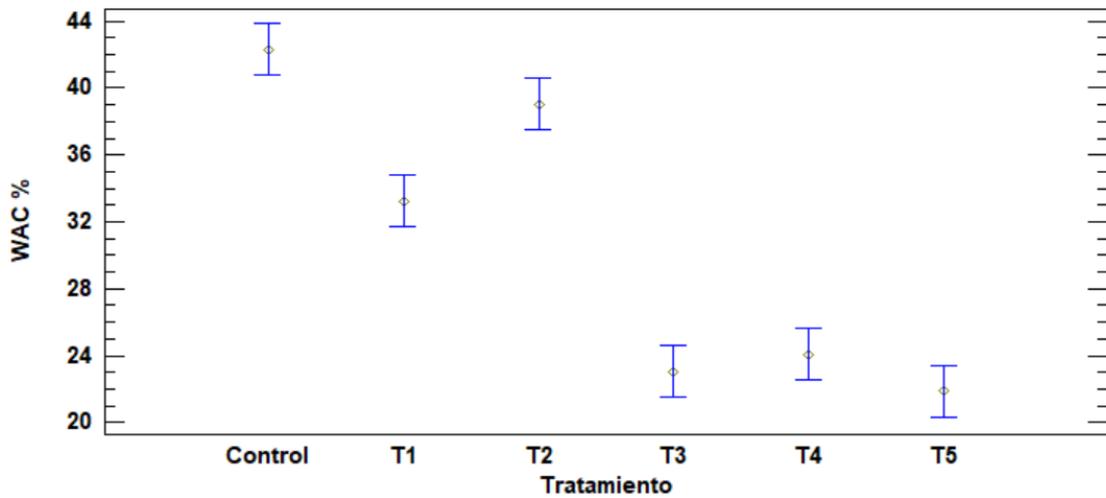


Figura 16. Tukey HSD - Promedios de la WAC de las bandejas en sus diferentes tratamientos

Se realizó la prueba Tukey HSD (figura 16) donde se observa las diferencias significativas entre los promedios de los diversos tratamientos. Para obtener de forma tabulada el mismo análisis, se realizó la Prueba de Múltiple Rangos (Anexo 19), donde muestra que la bandeja control es significativamente diferente al T1, T2, T3, T4 y T5; el T1 es significativamente diferente al T2, T3, T4 y T5; el T2 es significativamente diferente al T3, T4 y T5; el T3 es significativamente diferente al T4 y T5; el T4 T3 es significativamente diferente al T5. Donde se infiere que los tratamientos adecuados son los T3, T4 y T5.

f. Sólidos Volátiles

Los sólidos volátiles indican la concentración de componentes orgánicos que pueden disiparse o descomponerse fácilmente en forma de gases. Los datos obtenidos realizados según el método 2540G (Standard Method) se encuentran entre 95.33% y 99.03% (Tabla 18, Figura 17), los cuales superaron y cumplieron con el contenido mínimo del 50% de sólidos volátiles especificado en la NTP 900.080; un indicador de la cantidad de materia orgánica que tiene la bandeja es el porcentaje de sólidos volátiles.

Tabla 18. Promedios del % Sólidos Volátiles de los tratamientos

| Tratamientos | Sólidos volátiles % |
|---------------------|----------------------------|
| Control (100/0) | 99.03 ± 0.72 ^c |
| T1 (85/15) | 97.70 ± 0.15 ^{bc} |
| T2 (90/10) | 97.33 ± 0.27 ^b |
| T3 (86.25/13.75) | 97.15 ± 1.23 ^b |
| T4 (88.75/11.25) | 95.33 ± 0.09 ^a |
| T5 (87.5/12.5) | 98.21 ± 0.21 ^{bc} |

Los valores obtenidos superan a lo informado por Matos & Díaz (2022) realizado según la NMX-AA-034- SCFI-2001, donde la bandeja del T9 compuesta por 90% de almidón de almendra de mango y 10% de fibra de semilla de palta, contenía 67.1% de sólidos

volátiles. Ponce & Horna (2023) reportan valores entre 71.05% y 76.69% de sólidos volátiles.

Tabla 19. Sólidos Volátiles _ ANOVA

| Fuente | Suma de Cuadrados | Gl | Cuadrado Medio | Razón-F | Valor-P |
|----------------------|--------------------------|-----------|-----------------------|----------------|----------------|
| Tratamiento | 15.454 | 5 | 3.09079 | 8.53 | 0.0107 |
| Error | 2.17498 | 6 | 0.362497 | | |
| Total (Corr.) | 17.6289 | 11 | | | |

El ANOVA de los sólidos volátiles (Tabla 19) para los 5 Tratamientos y control, con sus 2 repeticiones; mostraron que los distintos porcentajes de almidón de umarí y fibra de tusa de maíz amarillo afectan significativamente las medias de los sólidos volátiles de los diferentes tratamientos, con un valor $p < 0.05$, con 95.0% de confianza.

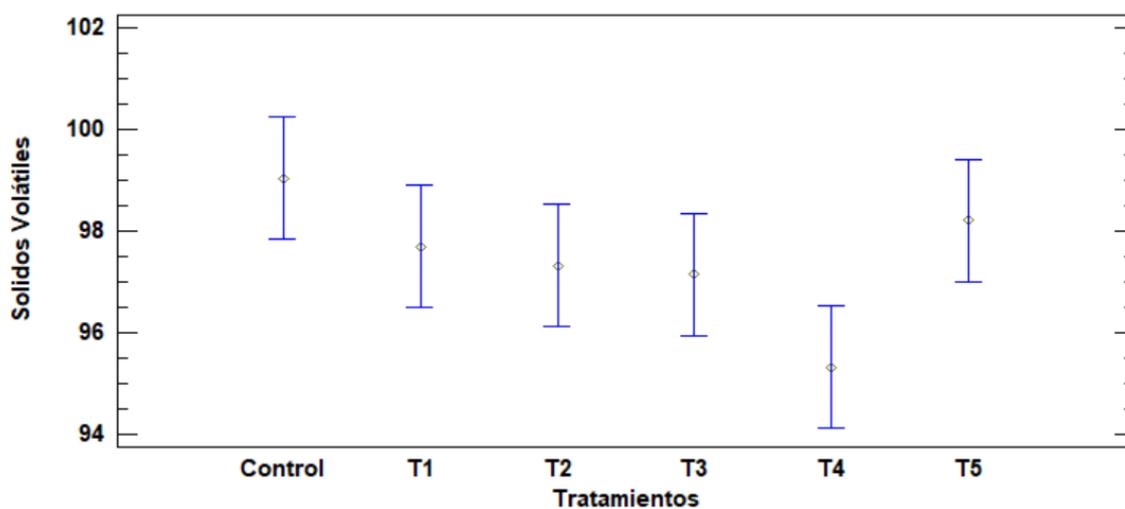


Figura 17. Tukey HSD - Promedios de los Sólidos Volátiles de las bandejas en sus diferentes tratamientos

Se realizó la prueba Tukey HSD (figura 17) donde se observa las diferencias significativas entre los promedios de los diversos tratamientos. Para obtener de forma tabulada el mismo análisis, se realizó la Prueba de Múltiple Rangos (Anexo 20), donde muestra que la bandeja control es significativamente diferente al T2, T3 y T4; el T1 es significativamente diferente al T4; T2 es significativamente diferente al T4; T3 es significativamente diferente al T4; T4 es significativamente diferente al T5.

De acuerdo a los resultados obtenidos de las propiedades físicas de las bandejas biodegradables, las bandejas que mostraron datos adecuados de espesor fue T3 y T5, de densidad fue T4 y T5. Es adecuado que el porcentaje de humedad sea intermedio, porque si los valores son bajos las bandejas podrían ser más frágiles y si es alto las bandejas serían más flexibles, es por ellos que los T4 y T5 son los adecuados. Para sólidos volátiles, los resultados mostraron que todos son adecuados ya que cumplen con el mínimo permitido según la NTP 900.080. Es beneficioso que las bandejas absorban mínimos porcentajes de agua, los resultados reflejan que T3, T4 y T5 tienen datos de absorción más bajos. En consecuencia, se eligió a los tratamientos T4 (88.75% / 11.25%) y T5 (87.5% / 12.5%), como las bandejas más favorables según sus propiedades físicas.

4.3. PROPIEDADES MECÁNICAS DE LAS BANDEJAS BIODEGRADABLES

a. Tracción

La tabla 20 muestra el promedio de la resistencia a la tensión (MPa) y la elongación (%) de las bandejas.

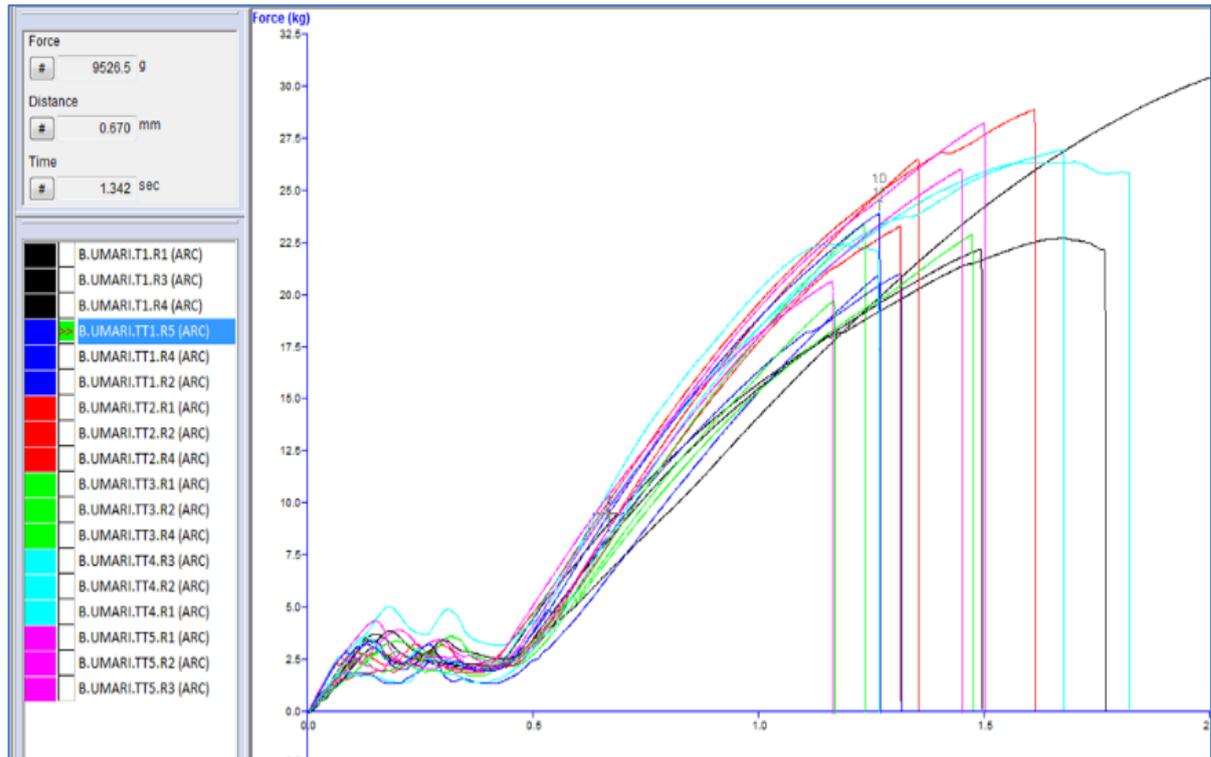
Tabla 20. Promedios de la Resistencia a la Tensión (MPa) y la Elongación (%) de los tratamientos

| Tratamientos | Resistencia a la Tensión (MPa) | Elongación (%) |
|---------------------|---------------------------------------|-----------------------|
| Control (100/0) | 3.31 ± 0.63^a | 2.18 ± 0.36^b |
| T1 (85/15) | 2.87 ± 0.22^a | 1.60 ± 0.04^a |
| T2 (90/10) | 3.32 ± 0.23^a | 1.70 ± 0.08^a |
| T3 (86.25/13.75) | 2.84 ± 0.24^a | 1.54 ± 0.08^a |
| T4 (88.75/11.25) | 3.43 ± 0.11^a | 2.04 ± 0.12^b |
| T5 (87.5/12.5) | 3.23 ± 0.5^a | 1.68 ± 0.21^a |

Tabla 21. Resultados de la prueba de Resistencia a la Tensión (MPa) y Elongación (%)

| TRATAMIENTO | Máxima fuerza de tensión kg Fuerza | Distancia de máxima fuerza de tensión mm Distancia | Resistencia a la tracción MPa | Elongación % |
|----------------------------|--|--|---|------------------------|
| TRATAMIENTO CONTROL | | | | |
| R1 | 22.75 | 1.68 | 2.97 | 2.10 |
| R2 | 30.88 | 2.05 | 4.04 | 2.56 |
| R3 | 22.22 | 1.49 | 2.91 | 1.86 |
| Promedio | 25.28 | 1.74 | 3.31 | 2.18 |
| S.D. | 4.85 | 0.28 | 0.63 | 0.36 |
| Coefficiente de variación | 19.18 | 16.25 | 19.20 | 16.37 |
| TRATAMIENTO 1 | | | | |
| R1 | 23.94 | 1.27 | 3.13 | 1.59 |
| R2 | 20.95 | 1.26 | 2.74 | 1.58 |
| R3 | 21.04 | 1.32 | 2.75 | 1.65 |
| Promedio | 21.98 | 1.28 | 2.87 | 1.60 |
| S.D. | 1.7 | 0.03 | 0.22 | 0.04 |
| Coefficiente de variación | 7.75 | 2.28 | 7.74 | 2.50 |
| TRATAMIENTO 2 | | | | |
| R1 | 28.93 | 1.61 | 3.05 | 1.64 |
| R2 | 23.33 | 1.31 | 3.47 | 1.69 |
| R3 | 26.56 | 1.35 | 3.43 | 1.79 |
| Promedio | 26.27 | 1.43 | 3.32 | 1.70 |
| S.D. | 2.81 | 0.16 | 0.23 | 0.08 |
| Coefficiente de variación | 10.69 | 11.31 | 7.04 | 4.48 |
| TRATAMIENTO 3 | | | | |
| R1 | 22.94 | 1.47 | 2.58 | 1.46 |
| R2 | 19.76 | 1.17 | 3.06 | 1.54 |
| R3 | 23.39 | 1.23 | 2.88 | 1.61 |
| Promedio | 22.03 | 1.29 | 2.84 | 1.54 |
| S.D. | 1.98 | 0.16 | 0.24 | 0.08 |
| Coefficiente de variación | 8.98 | 12.41 | 8.44 | 4.88 |
| TRATAMIENTO 4 | | | | |
| R1 | 22.44 | 1.19 | 3.45 | 2.13 |
| R2 | 26.42 | 1.70 | 3.53 | 2.10 |
| R3 | 27 | 1.68 | 3.31 | 1.90 |
| Promedio | 25.29 | 1.52 | 3.43 | 2.04 |
| S.D. | 2.48 | 0.29 | 0.11 | 0.12 |
| Coefficiente de variación | 9.83 | 19.05 | 3.31 | 6.04 |
| TRATAMIENTO 5 | | | | |
| R1 | 26.07 | 1.45 | 3.70 | 1.88 |
| R2 | 28.28 | 1.50 | 2.71 | 1.45 |
| R3 | 20.71 | 1.16 | 3.27 | 1.71 |
| Promedio | 25.02 | 1.37 | 3.23 | 1.68 |
| S.D. | 3.9 | 0.18 | 0.50 | 0.21 |
| Coefficiente de variación | 15.57 | 13.23 | 15.39 | 12.77 |

Figura 18. Gráfico de la Prueba de Tracción



La resistencia a la tensión es una cualidad de suma importancia para las bandejas porque garantiza que no se rompa ni se deforme durante el uso. La resistencia a la tensión de las bandejas oscila entre 2.84 a 3.43 MPa (Tabla 20 y Figura 18), los tratamientos con una mayor tensión fueron T2 y T4, siendo superiores al control (100/0). La resistencia a la tensión aumentó al incrementar la fibra (10 a 11.25%) en los tratamientos (T2 y T4), en tal sentido podemos afirmar que la fibra en bajas concentraciones se incorporó bien a la matriz de almidón, mejorando así la resistencia. Por otro lado, al agregar más contenido de fibra (>11.25%) la tensión disminuyó (T5, T3 y T1), esto probablemente pudo darse debido al incremento del porcentaje de fibra, causando aglomeración, rotura de cadenas de almidón y afectando la capacidad de expansión durante el Termoprensado (Cruz-Tirado et al., 2019). Esto confirma

estudios previos que las características mecánicas dependen del porcentaje, clase y medida de la fibra mezclada junto al almidón. (Beltrán, 2017; Cruz-Tirado et al., 2017).

Al comparar los resultados con otros estudios, los valores obtenidos son altos. Granados (2021), expone que los valores de tensión de la bandeja de poliestireno se encuentran entre 0.10 a 0.58 MPa. También son superiores a las bandejas de poliestireno estudiadas por Cruz-Tirado et al. (2019) el cual tuvo como valor 1.32 MPa y de igual forma al trabajo de Romero (2019) en la cual las bandejas de almidón de arracacha obtuvieron valores de tensión de 0.52 MPa, la bandeja de almidón de oca con 0.65 MPa, en la bandeja de almidón de camote con 0.67 MPa. Reis et al. (2018) quienes en su investigación de bandejas de almidón utilizaron cera de abeja como recubrimiento para mejoras mecánicas, obtuvieron valores entre 7.6 a 11.5 MPa

Tabla 22. Tensión _ ANOVA

| Fuente | Suma de Cuadrados | Gl | Cuadrado Medio | Razón-F | Valor-P |
|----------------------|--------------------------|-----------|-----------------------|----------------|----------------|
| Tratamiento | 0.923378 | 5 | 0.184676 | 1.34 | 0.3115 |
| Error | 1.65007 | 12 | 0.137506 | | |
| Total (Corr.) | 2.57344 | 17 | | | |

El ANOVA de la resistencia a la tensión (Tabla 21) para los 5 Tratamientos y control, con 3 repeticiones; mostraron que los distintos porcentajes de almidón de umarí y fibra de tusa de maíz amarillo no afectan significativamente las medias de la resistencia de los diferentes tratamientos, con un valor $p > 0.05$, con 95.0% de confianza.

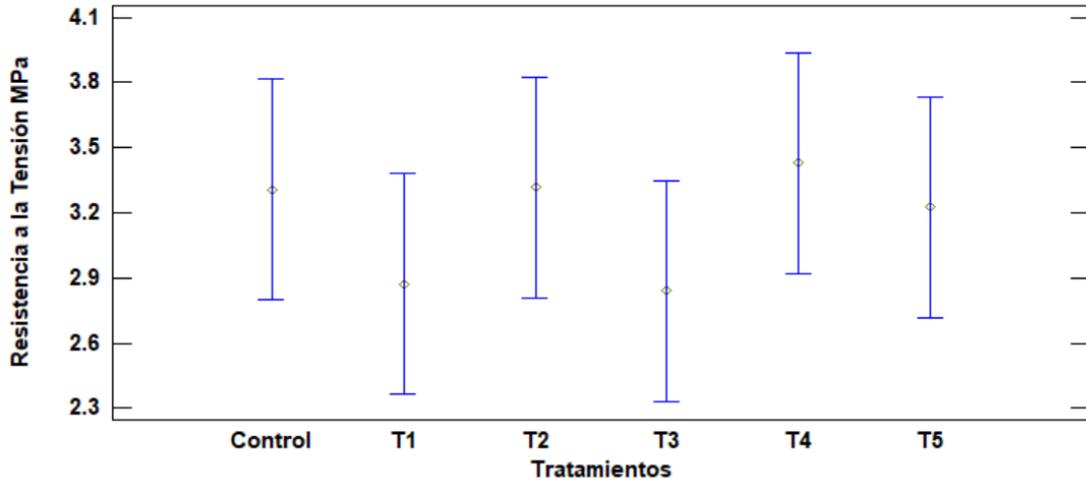


Figura 19. Tukey HSD - Promedio de la Resistencia a la Tensión de las bandejas en sus diferentes tratamientos

Se realizó la prueba Tukey HSD (figura 18) donde se observa que no hay diferencias significativas entre los promedios de los diversos tratamientos. Para obtener de forma tabulada el mismo análisis, se realizó la Prueba de Múltiple Rangos (Anexo 21), donde muestra que tampoco hay diferencias significativas entre los promedios de los tratamientos. Donde se infiere que los tratamientos adecuados son los T2, T4 y T5.

La elongación es una cualidad de suma importancia para las bandejas porque significa que tiene la facultad de estirarse sin romperse. La elongación de las bandejas está en un rango de 1.54 a 2.04% (Tabla 20 y Figura 19), los datos de los tratamientos son menores a la bandeja control (100/0), siendo T4, T2 y T5 los tratamientos que tiene un porcentaje mayor, 2.04%, 1.70% y 1.68% respectivamente. La adición de fibra ocasionó la disminución del porcentaje de elongación. Debido a la disminución del porcentaje de almidón, esto condujo a una disminución de amilosa y a la interacción de las fibras que se aglomeran en la matriz, lo que resulta en bandejas menos elásticas (Cruz, 2021). Sin embargo, estos valores son superiores a lo reportado por Cabanillas et al., (2019) para las espumas de almidón de tapioca con cáscara de piña (1.16% a 1.38%). Ferreira et al., (2020) en sus bandejas de almidón de yuca integrado con los residuos de malta y las hojas de maíz, mostraron valores de elongación inferiores al 1%. Cruz-Tirado et al., (2020) en bandejas hechas de almidón nativos (arracacha: 1.13%, oca: 1.10%, camote: 1.03%) mostraron valores menores a los obtenidos en la presente investigación. Por otra parte, son menores a los obtenidos del EPS (2.82%) según Cabanillas et al., (2019).

Tabla 23. Elongación _ ANOVA

| Fuente | Suma de Cuadrados | Gl | Cuadrado Medio | Razón-F | Valor-P |
|----------------------|--------------------------|-----------|-----------------------|----------------|----------------|
| Tratamiento | 0.983844 | 5 | 0.196769 | 5.85 | 0.0058 |
| Error | 0.403933 | 12 | 0.0336611 | | |
| Total (Corr.) | 1.38778 | 17 | | | |

El ANOVA de la elongación (Tabla 22) para los 5 Tratamientos y control, con sus 3 repeticiones; mostraron que los distintos porcentajes de almidón de umarí y fibra de tusa de maíz amarillo afectan significativamente las medias de la elongación de los diferentes tratamientos, con un valor $p < 0.05$, con 95.0% de confianza.

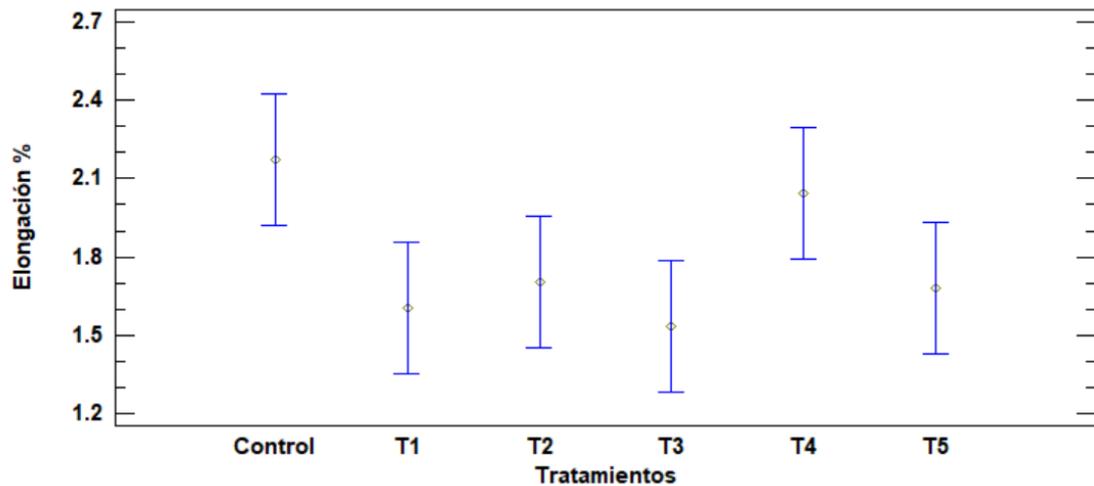


Figura 20. Tukey HSD - Promedios de la Elongación de las bandejas en sus diferentes tratamientos

Se realizó la prueba Tukey HSD (figura 19) donde se observa las diferencias significativas entre los promedios de los diversos tratamientos. Para obtener de forma tabulada el mismo análisis, se realizó la Prueba de Múltiple Rangos (Anexo 22), donde muestra que la bandeja control es significativamente diferente al T1, T2, T3 y T5; el T1 es significativamente diferente al T4; el T2 es significativamente diferente al T4; el T3 es significativamente diferente al T4; el T4 es significativamente diferente al T5. Donde se infiere que los tratamientos adecuados son los T2, T4 y T5.

b. Perforación

La tabla 23 muestra el promedio de la dureza (N) y la fracturabilidad (mm) de las bandejas

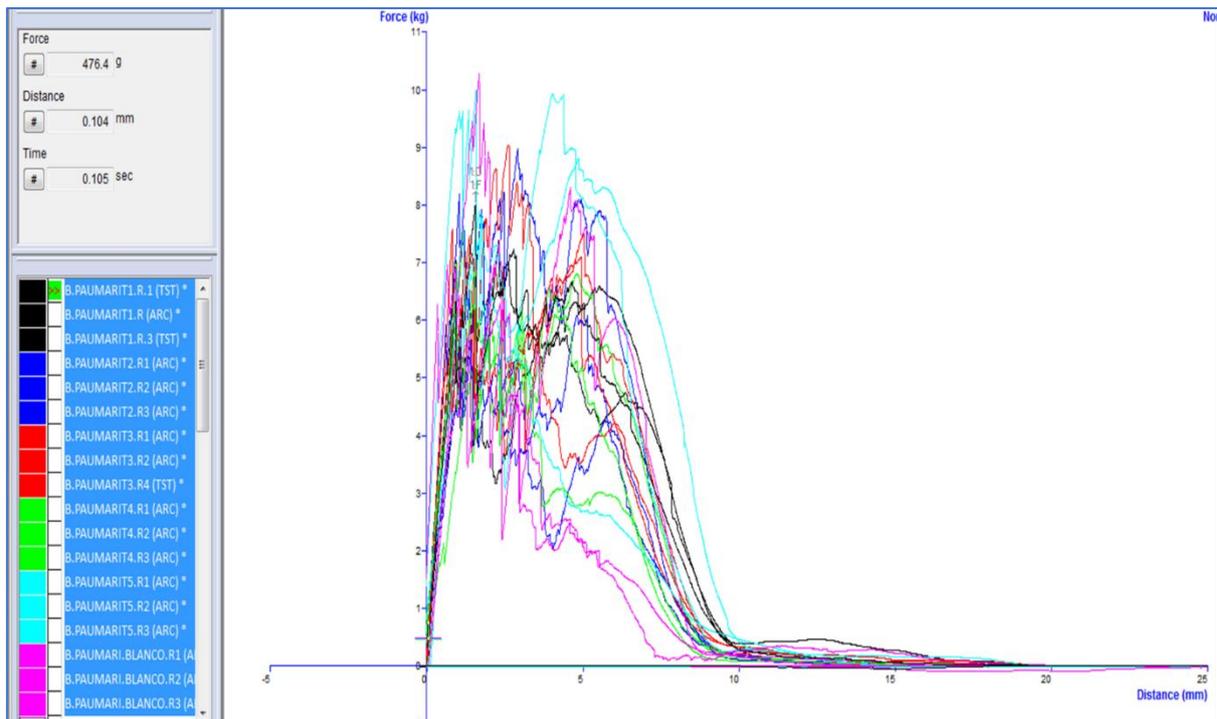
Tabla 24. Promedios de la Dureza (N) y la Fracturabilidad (mm) de los tratamientos

| Tratamientos | Dureza (N) | Fracturabilidad (mm) |
|---------------------|-----------------------------|--------------------------|
| Control (100/0) | 81.46 ± 19.56 ^{ab} | 2.90 ± 1.53 ^a |
| T1 (85/15) | 73.42 ± 4.76 ^{ab} | 1.63 ± 0.68 ^a |
| T2 (90/10) | 67.44 ± 18.05 ^a | 3.19 ± 1.87 ^a |
| T3 (86.25/13.75) | 77.86 ± 9.55 ^{ab} | 1.58 ± 0.93 ^a |
| T4 (88.75/11.25) | 67.70 ± 7.31 ^a | 1.43 ± 0.60 ^a |
| T5 (87.5/12.5) | 90.97 ± 11.7 ^b | 2.46 ± 1.38 ^a |

Tabla 25. Resultados de la prueba de Dureza (N) y Fracturabilidad (mm)

| TRATAMIENTO | Dureza N | Fracturabilidad mm |
|---------------------------|---------------------|-------------------------------|
| | Fuerza | Distancia |
| TRATAMIENTO 1 | | |
| R1 | 78.55 | 1.58 |
| R2 | 72.57 | 2.33 |
| R3 | 69.14 | 0.97 |
| Promedio | 73.42 | 1.63 |
| S.D. | 4.76 | 0.68 |
| Coefficiente de variación | 6.49 | 41.9 |
| TRATAMIENTO 2 | | |
| R1 | 59.72 | 5.17 |
| R2 | 88.06 | 2.94 |
| R3 | 54.52 | 1.46 |
| Promedio | 67.44 | 3.19 |
| S.D. | 18.05 | 1.87 |
| Coefficiente de variación | 26.77 | 58.57 |
| TRATAMIENTO 3 | | |
| R1 | 70.51 | 1.26 |
| R2 | 88.65 | 2.63 |
| R3 | 74.43 | 0.85 |
| Promedio | 77.86 | 1.58 |
| S.D. | 9.55 | 0.93 |
| Coefficiente de variación | 12.26 | 58.92 |
| TRATAMIENTO 4 | | |
| R1 | 68.74 | 0.98 |
| R2 | 74.43 | 1.2 |
| R3 | 59.92 | 2.11 |
| Promedio | 67.70 | 1.43 |
| S.D. | 7.31 | 0.6 |
| Coefficiente de variación | 10.80 | 41.74 |
| TRATAMIENTO 5 | | |
| R1 | 98.07 | 1.61 |
| R2 | 77.47 | 1.71 |
| R3 | 97.38 | 4.05 |
| Promedio | 90.97 | 2.46 |
| S.D. | 11.70 | 1.38 |
| Coefficiente de variación | 12.86 | 56.23 |
| BLANCO | | |
| R1 | 81.49 | 4.63 |
| R2 | 61.88 | 2.38 |
| R3 | 101.01 | 1.7 |
| Promedio | 81.46 | 2.91 |
| S.D. | 19.56 | 1.53 |
| Coefficiente de variación | 24.02 | 52.68 |

Figura 21. Gráfico de la Prueba de Perforación



La dureza es una prueba de resistencia a la perforación, por lo que es una cualidad de suma importancia para las bandejas porque puede garantizar que soporte pesos de alimentos sin romperse. Los valores de dureza de las bandejas oscilaron entre 67.44 a 90.97 N (Tabla 23 y Figura 20), teniendo como valor más alto al tratamiento T5 (90.97 N) el cual es el único tratamiento que superó al valor del control (81.46 N). La adición de fibra en bajas concentraciones (10% a 11.25%) disminuyen la dureza de la bandeja en los tratamientos T2 y T4 en comparación al control; sin embargo, al agregar mayores porcentajes de fibra (12.5 a 15%) provocaron un aumento en los valores de dureza, siendo los tratamientos T3 y T1 superiores a los tratamientos T2 y T4, pero menores al control. Esto indica que la adición de fibra en porcentajes superiores puede ocasionar una discontinuidad en la matriz polimérica reduciendo la resistencia mecánica de las bandejas (Cruz-Tirado et al., 2019) en comparación al control, siendo la excepción el

tratamiento T5. Cruz R., 2021 en su investigación de bandejas biodegradables a base de fibra y almidón de pseudotallo, obtuvieron valores de dureza entre 18 a 38 N. Matos & Díaz (2022) reportaron valores de dureza de 19.71 a 34 N en su investigación. Ponce & Horna (2023) obtuvieron valores de dureza entre 13.74 a 21.69 N. Hay estudios que establecen una relación directamente proporcional entre la dureza y el espesor de los materiales (Díaz, 2021); cumpliéndose en todos los tratamientos de esta investigación, donde las bandejas que tienen mayor espesor (Figura 13) tienen mayor dureza (Figura 20).

Tabla 26. Dureza _ ANOVA

| Fuente | Suma de Cuadrados | Gl | Cuadrado Medio | Razón-F | Valor-P |
|----------------------|--------------------------|-----------|-----------------------|----------------|----------------|
| Tratamiento | 1215.37 | 5 | 243.074 | 1.44 | 0.0433 |
| Error | 2025.51 | 12 | 168.792 | | |
| Total (Corr.) | 3240.88 | 17 | | | |

El ANOVA de la dureza (Tabla 24) para los 5 Tratamientos y control, con 3 repeticiones; mostraron que los distintos porcentajes de almidón de umarí y fibra de tusa de maíz amarillo afectan significativamente las medias de la dureza de los diferentes tratamientos, con un valor $p < 0.05$, con 95.0% de confianza.

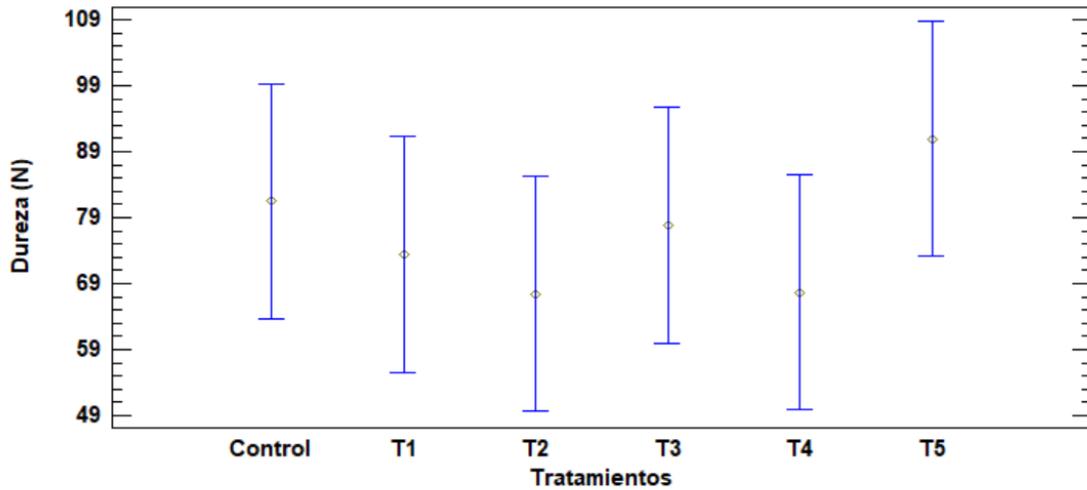


Figura 22. Tukey HSD - Promedios de la Dureza de las bandejas en sus diferentes tratamientos

Se realizó la prueba Tukey HSD (figura 20) donde se observa las diferencias significativas entre los promedios de los diversos tratamientos. Para obtener de forma tabulada el mismo análisis, se realizó la Prueba de Múltiple Rangos (Anexo 23), donde muestra que el T2 es significativamente diferente al T5; el T4 es significativamente diferente al T5. Donde se infiere que los tratamientos adecuados son los T3 y T5.

La fracturabilidad es una prueba de resistencia a la perforación, por lo que es una cualidad de suma importancia para las bandejas porque muestra su resistencia a la fractura o rotura. La fracturabilidad de las bandejas biodegradables varía entre 1.43 a 3.19 mm (Tabla 23 y Figura 21), la bandeja control (100/0) tiene un valor de 2.90 mm; los valores obtenidos son inferiores a los deseados en comparación con las bandejas de poliestireno con una distancia de 5.54 mm. (Cabanillas et al., 2019). La adición de fibra provocó la disminución de la distancia de fracturabilidad, puesto que, su incorporación reduce la absorción de agua (Cruz, 2021), entonces, dado que el agua actúa como plastificante, esta reducción hace que las bandejas sean menos propensas a deformarse. (Mali et al., 2006). El tratamiento T2 es el único que superó al control con un valor de 3.19 mm, siendo este el que contiene el menor porcentaje de fibra (10%), según Lawton et al., (2004), el contenido de fibra debe ser bajo, ya que aumentar el contenido de fibra en la mezcla conducirá a una masa de almidón más heterogénea, dando como resultado un producto con menor resistencia mecánica. Diaz-Diaz et al (2023) encontraron valores mayores en bandejas que contienen almidón de papa (85%), fibra de tacones (6.89%) de espárragos y glicerina (13.11%) con un valor de 9.509 mm de fracturabilidad. Ponce & Horna (2023) en su investigación mostraron valores de 6.43 a 8.06 mm de distancia de fracturabilidad.

Tabla 27. Fracturabilidad _ ANOVA

| Fuente | Suma de Cuadrados | Gl | Cuadrado Medio | Razón-F | Valor-P |
|----------------------|--------------------------|-----------|-----------------------|----------------|----------------|
| Tratamiento | 8.53991 | 5 | 1.70798 | 1.09 | 0.4162 |
| Error | 18.8758 | 12 | 1.57298 | | |
| Total (Corr.) | 27.4157 | 17 | | | |

El ANOVA de la fracturabilidad (Tabla 25) para los 5 Tratamientos y control, con sus 3 repeticiones; mostraron que los distintos porcentajes de almidón de umarí y fibra de tusa de maíz amarillo no afectan significativamente las medias de la fracturabilidad de los diferentes tratamientos, con un valor $p > 0.05$, con 95.0% de confianza.

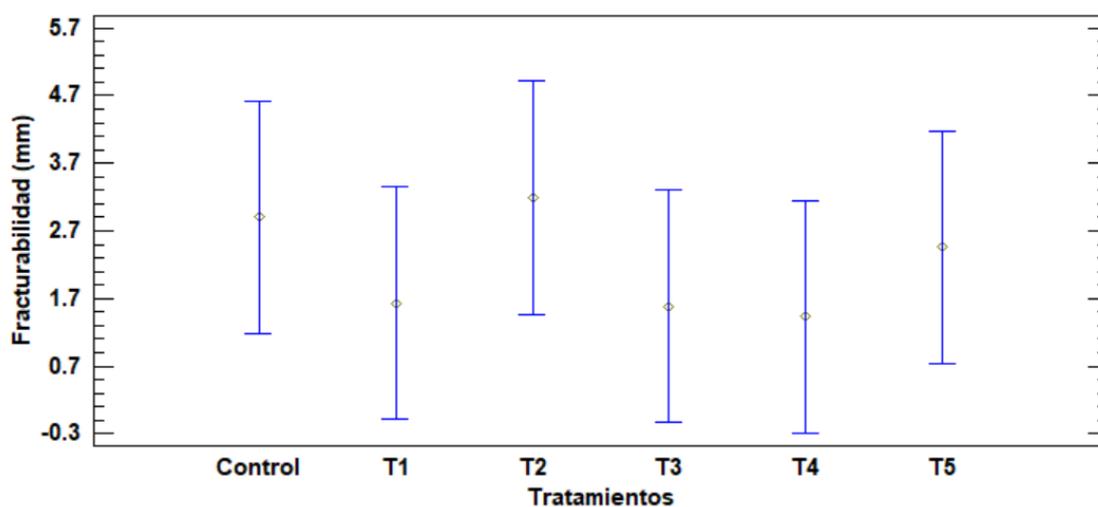


Figura 23. Tukey HSD - Promedios de la Fracturabilidad de las bandejas en sus diferentes tratamientos

Se realizó la prueba Tukey HSD (figura 21) donde se observa que no hay diferencias significativas entre los promedios de los diversos tratamientos. Para obtener de forma tabulada el mismo análisis, se realizó la Prueba de Múltiple Rangos (Anexo 24), donde muestra que no hay diferencia significativa entre los tratamientos. Donde se infiere que los tratamientos adecuados son los T2 y T5.

Según Ponce & Horna (2023) las bandejas con propiedades mecánicas adecuadas son las que tiene datos más altos de tensión, elongación, dureza y deformación (fracturabilidad). De acuerdo con los datos obtenidos de las propiedades mecánicas las bandejas que mostraron datos más altos de tensión fueron T2, T4 y T5; los porcentajes de elongación más altos lo obtuvieron los tratamientos T2, T4 y T5; los mayores datos de dureza fueron T3 y T5; los datos más altos de fracturabilidad fueron T2 y T5. Como consecuencia se infiere que el tratamiento T5 (87.5% / 12.5%) cuenta con propiedades mecánicas más adecuadas en comparación con el control (100% almidón).

4.4. ESPECTROSCOPIA INFRARROJA DE TRANSFORMADA DE FOURIER

(FTIR)

El análisis FTIR de las bandejas se ejecutaron con el objetivo de adquirir un informe de la estructura y las probables interacciones del almidón de semilla de umarí con la fibra de tusa y los materiales utilizados (glicerol, goma guar, estearato de magnesio y papel manteca). La Figura 22 indica las principales bandas espectrales del Control y del tratamiento T5.

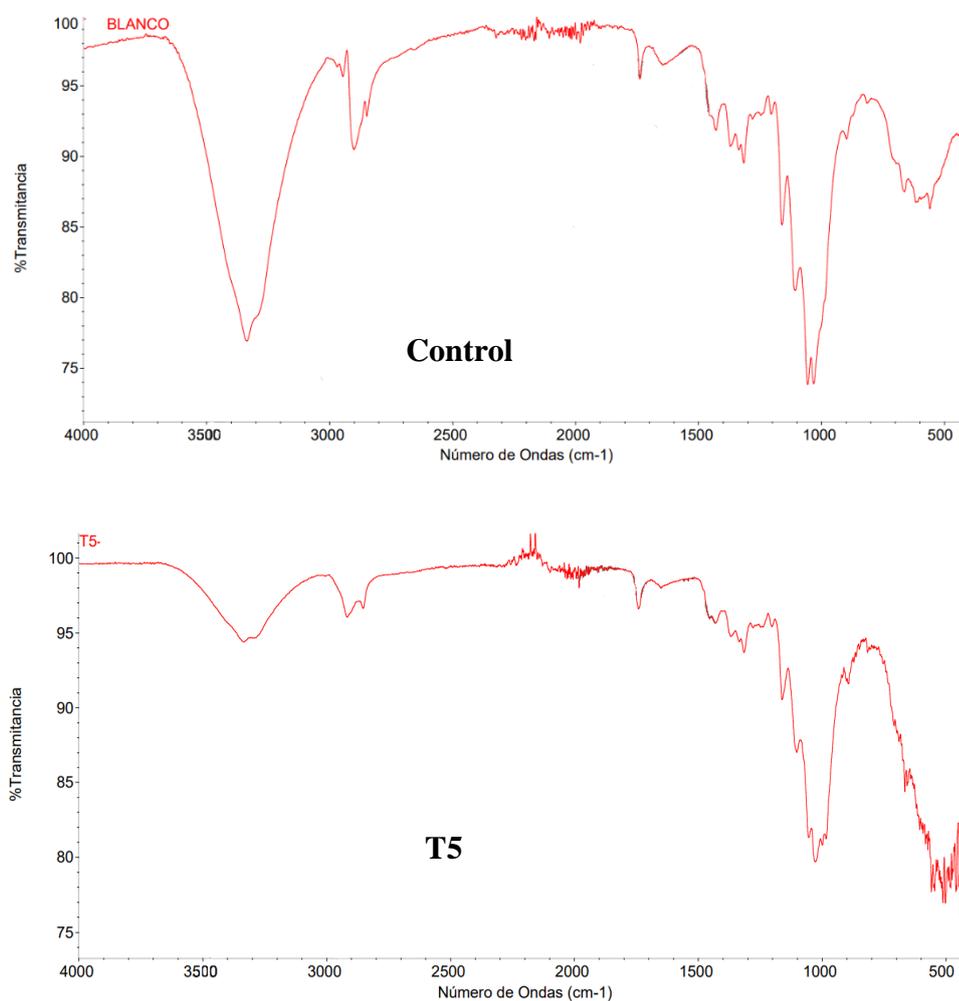


Figura 24. Espectros de FTIR de bandejas de la bandeja Control y T5

En la Figura 22a, el cual corresponde al Control, se encontraron ésteres, hidrocarburos aromáticos, hidrocarburos alifáticos y alcoholes alifáticos primarios. Se logra observar en la figura que la banda ancha está ubicada entre 3200 cm^{-1} a 3500 cm^{-1} , esta banda es atribuido al estiramiento O-H entre los enlaces de hidrógeno del agua que se encuentran en los insumos utilizados para la elaboración de la bandeja, también se observa una banda alrededor de 1645 cm^{-1} asociada con la flexión O-H de la molécula de agua, indicando que en la mezcla, el agua interactúa con otros de sus componentes (Ferreira et al., 2020; Marengo et al., 2013); se presentan bandas entre 2800 cm^{-1} a 3000 cm^{-1} se puede ver una vibración de estiramiento de menor intensidad y puntiaguda del enlace C-H, que se encuentra en el grupo de carbohidratos y de lípidos. En la región 1725 cm^{-1} a 1745 cm^{-1} se puede ver un estiramiento pequeño del enlace C=O, se encuentra en los grupos de las proteínas y de los lípidos. Debido a la cuantiosa cantidad de amilosa y amilopectina que contiene el almidón, el análisis presentó picos en los números de onda 1031 cm^{-1} y 1055 cm^{-1} , los cuales mostraron una vibración de estiramiento del enlace C-O.

En la Figura 22b correspondiente al tratamiento T5 se encontraron ésteres de propionato alifático, hidrocarburos alifáticos y alcoholes alifáticos primarios. En comparación al espectro de la Figura 22a, se logra observar una disminución en la intensidad de picos de los espectros. Existió variación en los picos 1055 y 1027 cm^{-1} a causa de que en la estructura del almidón se consideran sensibles a los cambios moleculares (Warren et al., 2016). La disminución de las intensidades de los picos podría ser causado por la absorbancia de las moléculas de celulosa, a la disminución de la cantidad de almidón en la matriz y a la destrucción de los enlaces covalentes en el Termoformado (Ponce & Horna, 2023). Cabanillas et al. (2019) en su investigación expone que, un aumento en la concentración de fibra disminuye la intensidad en todas las bandas. Este

comportamiento podría indicar una interacción debilitada entre las cadenas de almidón debido a la menor proporción de almidón en estos compuestos (Vercelheze et al., 2012).

4.5. MICROSCOPIA ELECTRÓNICA DE BARRIDO (MEB)

La microscopía electrónica de barrido de las secciones transversales de bandejas de almidón (100/0) y de bandejas reforzadas con fibra T5 (87.5/12.5), donde se puede diferenciar las formas y tamaños de las células de aire presentes en la matriz polimérica. Se mostró una estructura tipo sándwich con dos capas externas densas comprendidas en las superficies de la bandeja, las cuales están conformadas por células de aire (Figura 23), similar a lo descrito por Mello y Mali (2014). Las células de aire son responsables de la porosidad de las bandejas (Beltrán, 2017). Debido al contacto de la masa con el molde caliente, se forman las células de aire, sobresaturándose con vapor de agua, esto sucede hasta que se gelifique y la masa se haya secado (Cruz R., 2021).

La bandeja control (100/0) posee un espesor menor, en su interior mostró las dos capas externas delgadas que envuelven las células de aire (Figura 23a), esto podría deberse a una menor interferencia en la expansión del almidón durante el termoformado de la bandeja (Kaisangsri et al., 2012); las células de aire son menores en cantidad, grandes y fusiformes, debido a la cantidad de agua que sale durante el termoformado y la ruptura celular (Cabanillas et al., 2019). Las células de aire se redujeron en tamaño (Figura 23b), aumentaron en cantidad y su distribución es irregular debido a la adición de fibra (T5), lo cual es causado por la interferencia de la fibra en la matriz, se puede apreciar una mayor densidad y grosor en las paredes de las estructuras. Cruz R. (2021) mostró en su investigación información similar respecto a la reducción de tamaño de células de aire al agregar fibra en la matriz.

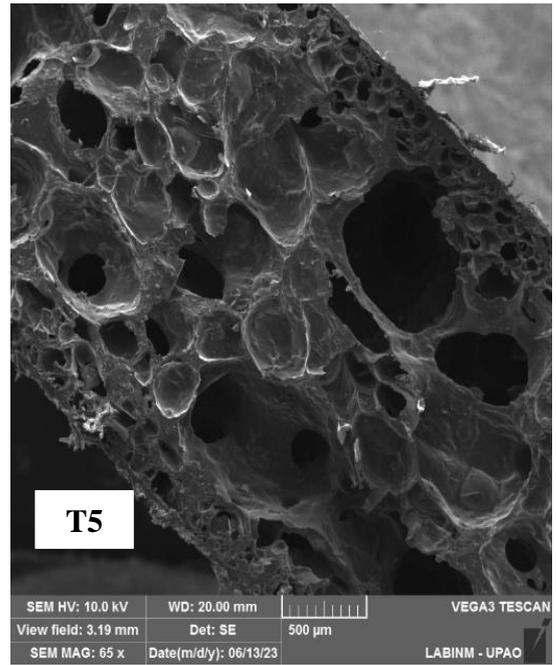
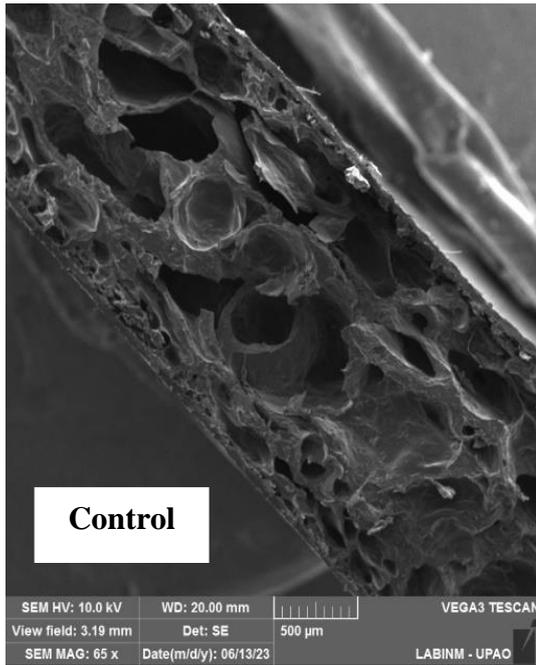


Figura 25. Imágenes de MEB del Control y T5

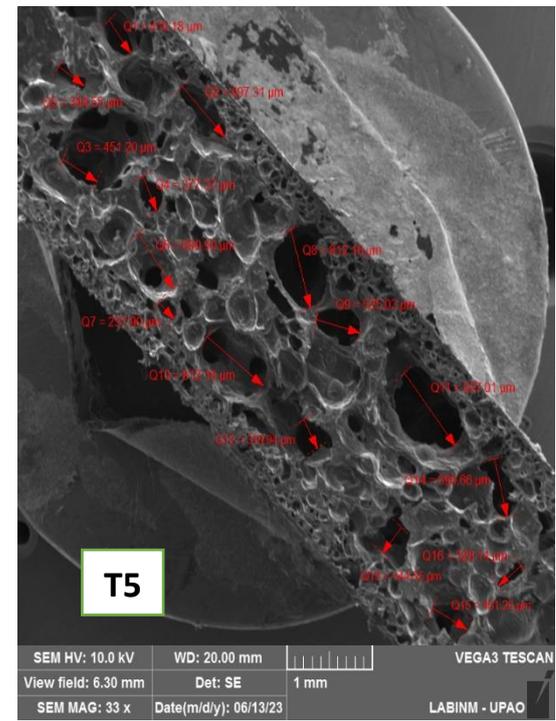
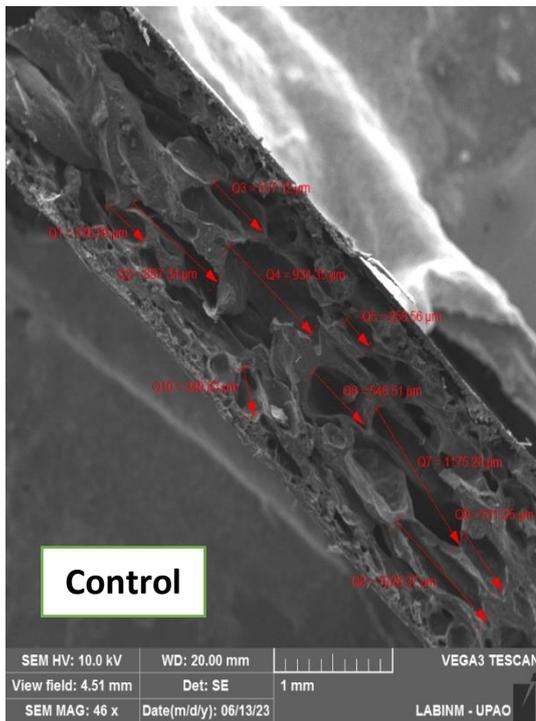


Figura 26. MEB - Medida de las células de aire de la bandeja Control y el T5

4.6.DIFRACCIÓN DE RAYOS X (DRX)

El difractograma del tratamiento T5 (Figura 24), se identificó la estructura cristalina. Se observó dos picos estrechos en 2θ 16.83° y 2θ 22.69° , siendo el segundo el que tiene el pico más pronunciado. Los picos son más pronunciados a altos niveles de fibra, probablemente debido a la cristalinidad de la celulosa en la fibra (Cabanillas et al., 2019); también se le adjudica a la cristalinidad de la amilosa, el cual indica que la gelatinización del almidón de la bandeja está incompleta. Mello y Mali (2014) exponen que, si los picos no aparecen de forma pronunciada o son de menor intensidad y amplios, es debido a la gelatinización que se da durante el proceso de cocción, se les llama semicristalinos, predominando en la región amorfa.

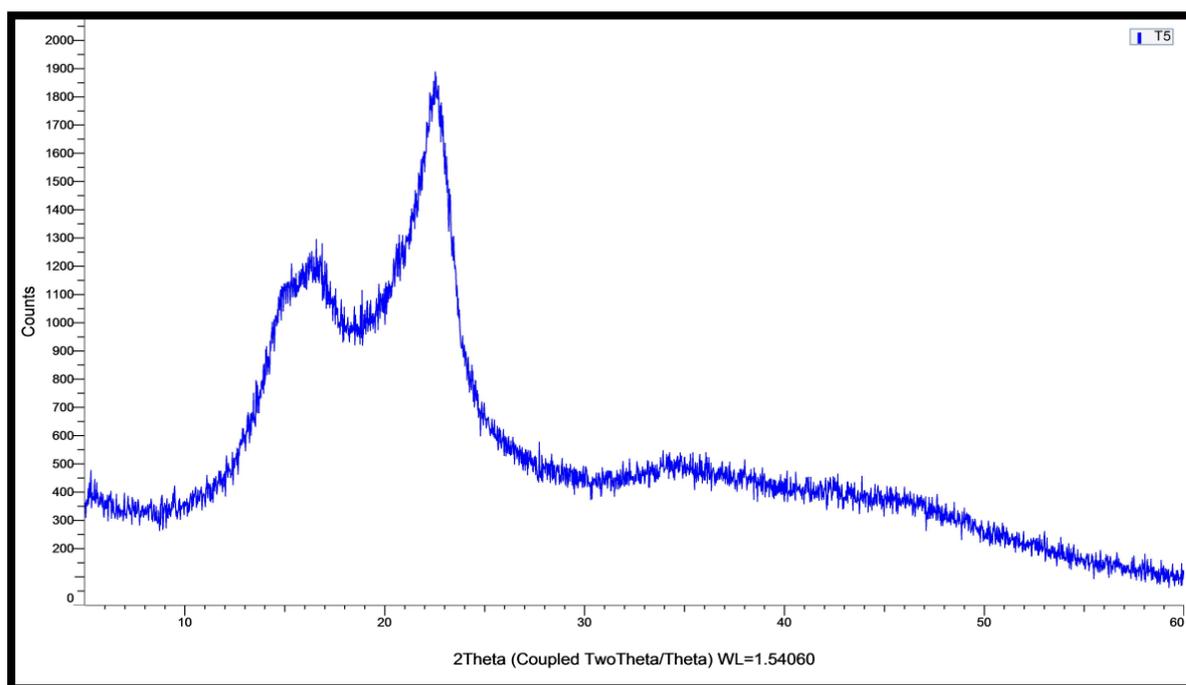


Figura 27. Patrones de difracción de Rayos X del T5

Cabanillas et al., (2019) en su investigación de bandejas biodegradables elaboradas con almidón de yuca y cáscara de piña mostró picos notables en 2Θ 21° , similar a los resultados obtenidos en esta investigación. Ponce & Horna (2023) obtuvieron resultados similares en su investigación de bandejas de almidón de yuca y fibra de brácteas de alcachofas, presentando picos pronunciados en sus dos tratamientos óptimos (2Θ 20.96° y 2Θ 20.73°). Cruz-Tirado et al., (2019) menciona que el patrón de hinchamiento de los almidones está relacionado con el orden de la cristalinidad, el cual puede ser perjudicado por la rotura de los enlaces intermoleculares dentro de los componentes cristalinos de los gránulos.

V. CONCLUSIONES

- La hipótesis planteada al inicio de la investigación ha sido comprobada, lo que indica que es posible elaborar bandejas biodegradables a partir de almidón de Umarí (87.5%) y harina de tusa de maíz amarillo duro (12.5%).
- En comparación con los otros tratamientos planteados, el tratamiento (T5) presenta propiedades físicas y mecánicas prometedoras, lo que indica que las cantidades utilizadas de harina de tusa y almidón de umarí influye en su estructura.
- La cantidad de amilosa influye en la elaboración de bandejas biodegradables mostrando buena apariencia y expansión.
- La elaboración de bandejas biodegradables es una buena alternativa para reemplazar y minimizar la acumulación de envases de poliestireno.

VI. RECOMENDACIONES

- Realizar investigaciones y elaborar bandejas con harina de tusa de maíz amarillo duro con otros porcentajes no utilizados en este trabajo (10 – 15%) para evaluar las características físicas, mecánicas de las bandejas y evaluar su uso.
- Se recomienda utilizar el mismo proceso para elaborar las bandejas biodegradables, pero aumentar la potencia de compresión de la prensa y realizar su mantenimiento cada determinado tiempo.
- Es recomendable evaluar nuevas fuentes de fibras (pseudotallo de plátano) para elaborar bandejas biodegradables con almidón de semilla de umarí y comparar sus características.

VII. REFERENCIA BIBLIOGRÁFICA

- Acosta P., Vargas T., Zamudio F., Soto S. & González T. (2018). Efecto de la modificación física y química de los almidones sobre las propiedades térmicas de un producto cárnico a base de pescado. *Boletín de Ciencias Agropecuarias Del ICAP*, 4(7). <https://doi.org/10.29057/icap.v4i7.2960>
- Aguilar, R., Valiente, Y., Oliver, D., Franco, C., Méndez, F., Luna, C., & Diaz, F. (2018). Inadecuado uso de residuos sólidos y su impacto en la contaminación ambiental. *SCIÉENDO*, 21(4), 401-407. <https://doi.org/10.17268/scienco.2018.044>
- Aguirre V. (1992). Obtención de Jarabe de Glucosa por Vía Enzimática de Almidón de Semilla de Umarí (Poragueiba eericeae tulaene). [Tesis Universidad Agraria La Molina. Lima-Perú.]
- Aguirre V., Ordoñez H., Flores G., (2001). Aprovechamiento Integral del umarí (Poraqueiba Sericea Tulasne) en la Industria de Alimentos. *Revista Amazónica de Investigación Alimentaria*, 1 (1), 30-37. <https://www.unapiquitos.edu.pe/pregrado/facultades/alimentarias/descargas/vol1/5.pdf>
- Albujar Zelada, M. A. (2019). Aislamiento y propiedades de almidón de semillas de frutos. [tesis para obtener el grado de ingeniero, Universidad Nacional de Trujillo]. <http://dspace.unitru.edu.pe/handle/UNITRU/14874>
- Amaya Quiroz, L. (2017). Influencia de la concentración de nanofibras de peladilla de espárrago en las propiedades físico-mecánicas de bandejas biodegradables. [Tesis para obtener el grado de ingeniero, Universidad Nacional de Trujillo].

<https://dspace.unitru.edu.pe/bitstream/handle/UNITRU/9759/Amaya%20Quiroz%20Laura%20Andrea.pdf?sequence=1&isAllowed=y>

Arévalo, A. (2017). Caracterización de las propiedades fisicoquímicas y térmicas de almidón de oca (*Oxalis tuberosa*). Trujillo- Perú: Repositorio de la Universidad Nacional de Trujillo.

Aristizábal J., Sánchez T., & Lorío D. (2007). *Guía técnica para producción y análisis de almidón de yuca*. Roma, Italia: Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación. <https://www.fao.org/documents/card/es/c/cd9e42e3-7200-5990-b0a7-073d05bbcb2a/>

Banerjee, S., Ranganathan, V., Patti, A., & Arora, A. (2018). Valorisation of pineapple wastes for food and therapeutic applications. *Trends in Food Science & Technology*. <https://doi.org/10.1016/j.tifs.2018.09.024>

Baqué. (2019). *Diferencia entre biodegradable y compostable*. Obtenido de <https://www.baque.com/es/blog/diferencia-entre-biodegradable-y-compostable/>

Beltrán R. (2017). *Propiedades mecánicas, térmicas y físicas de bandejas hechas de almidón de oca (*Oxalis tuberosa*) incorporando fibra de residuos agroindustriales*. [Tesis para obtener el grado de ingeniero, Universidad Nacional de Trujillo]. <https://dspace.unitru.edu.pe/bitstream/handle/UNITRU/10025/BELTR%c3%81N%20RAMOS%2c%20PATRICIA%20ELIZABETH.pdf?sequence=1&isAllowed=y>

Bénézet, J.-C., Stanojlovic-Davidovic, A., Bergeret, A., Ferry, L., & Crespy, A. (2012). Mechanical and physical properties of expanded starch, reinforced by natural fibres. *Industrial Crops and Products*, 37(1), 435-440.

- Benítez, R. (22 de Julio de 2014). Pérdidas y desperdicios de alimentos en América Latina y el Caribe. Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura. <https://www.fao.org/americas/noticias/ver/es/c/239393/>
- Bhat R., Abdullah N., Din R., y Tay G. (2013). Producing novel sago starch-based food packaging films by incorporating lignin isolated from oil palm black liquor waste. *Journal of Food Engineering*, 119(4), 707-713. <https://doi.org/10.1016/j.jfoodeng.2013.06.043>
- Brar K., Kaur S., Chadha B. (2016). A novel staggered hybrid SSF approach for efficient conversion of cellulose/hemicellulosic fractions of corncob into ethanol. *Renewable Energy*, 98, 16-22. <https://doi.org/10.1016/j.renene.2016.03.082>
- Caballero, A., Córdova, L. y López, A. (2019). Validación empírica de la teoría multicéntrica del origen y diversidad del maíz en México. *Revista fitotecnia mexicana*, 42(4), 357-366. Recuperado de http://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S018773802019000400357
- 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. *Polymers and Polymer Composites*, 27(8), 496-506. <https://doi.org/10.1177/0967391119848187>
- Cahuana, M. (2019). *Comparación de condiciones para la degradabilidad de biopolímero, plásticos oxo-biodegradables y polietileno de baja densidad*. (Tesis de grado). Universidad Peruana Unión, Perú. <https://repositorio.upeu.edu.pe/handle/20.500.12840/2433>

- Ccallo A., Sacaca M., Callata C., Vigo R., Calla C. (2020). Biodegradation Of Plastic Polymers By Pseudomonas. *Ciencia, Tecnología y Desarrollo*, 6 (2): 46-59. <https://doi.org/10.17162/rictd.v6i2.1457>
- Condori Quispe, M. D. (2020). Efecto del uso de un líquido iónico en la preparación de muestras biológicas para su observación en el microscopio electrónico de barrido (MEB). [Tesis de grado], Universidad Católica de Santa María.
- Contreras P., De la Torre G., González C., & Jiménez V. (2018). Caracterización funcional de almidones de plátano cuadrado (*Musa balbisiana* Colla). *European Scientific Journal, ESJ*, 14(30), 82. <https://doi.org/10.19044/esj.2018.v14n30p82>
- Cruz R. (2021). *Effect of the proportion of fiber and starch obtained from the banana pseudostem (Musa acuminata) on the properties of biodegradable trays*. [Tesis para optar el grado de Ingeniero]. Trujillo, Perú: Universidad Nacional de Trujillo. <https://renati.sunedu.gob.pe/handle/sunedu/2992267>
- Cruz-Tirado, J. P., Siche, R., Cabanillas, A., Díaz-Sánchez, L., Vejarano, R., & Tapia-Blácido, D. R. (2017). Properties of baked foams from oca (*Oxalis tuberosa*) starch reinforced with sugarcane bagasse and asparagus peel fiber. *Procedia Engineering*, 200, 178-185. <https://doi.org/10.1016/j.proeng.2017.07.026>
- Cruz-Tirado., Vejarano R., Tapia B., Barraza J., & Siche R. (2019). Biodegradable foam tray based on starches isolated from different Peruvian species. *International journal of biological macromolecules*, 125, 800-807. <https://doi.org/10.1016/j.ijbiomac.2018.12.111>
- Días, J. F., & Acuña, J. G. (2022). Uso de almidón para el desarrollo de bandejas biodegradables. *Journal of Agro-industry Sciences*, 4(2), 69-77.

- Díaz Alejandro, A. M. (2021). Elaboración y caracterización físico-mecánica de una película biodegradable utilizando harina de cáscara de plátano (*Musa paradisiaca* L.). [Tesis: Ingeniería en Agroindustria Alimentaria]
- Díaz C. (2017). *Caracterización y optimización de una bandeja biodegradable a partir maíz, papa, soya y glicerol por el método de Termoprensado*. [Tesis para optar el grado de ingeniero, Escuela Agrícola Panamericana, Zamorano]. <https://bdigital.zamorano.edu/server/api/core/bitstreams/ace03aaa-72a1-4fae-bcec-68ac432dde20/content>
- Díaz-Díaz, E., Cabrera-Guevara, C., Díaz-Idrogo, Y., Chumacero-Acosta, J. S., & GamboaAlarcon, P. W. (2023). Bandejas biodegradables de almidón de papa con fibra de tocón de espárrago (*Asparagus officinalis* L.). *Revista Agrotecnológica Amazónica*, 3(1). <https://doi.org/10.51252/raa.v3i1.429>
- Echeverría P. y Bazán A. (2017). *Efecto del pre tratamiento ácido y por congelación de fibra de coronta de maíz (Zea mays L.) en la hidrólisis con celulasa (E. C: 3.2.1.4)*. [Tesis para optar el grado Ingeniero Agroindustrial, Universidad Nacional de Trujillo]. <http://dspace.unitru.edu.pe/bitstream/handle/UNITRU/9768/Echeverria%20Perez%20%20y%20Baz%20c3%a1n%20Aliaga%20Ghenghis%20Dwight.pdf?sequence=1&isAllowed=y>
- Emadian, S. M., T.Onay, T., & Demirel, B. (2017). Biodegradation of bioplastics in natural environments. *Waste Management*, 59 (January 2017), 526-536. <https://doi.org/10.1016/j.wasman.2016.10.006>
- Espina M., Cruz-Tirado y Siche R. (2016). Mechanical properties of trays based on starch of native plant species and fiber of agroindustrial wastes. *Scientia Agropecuaria*, 7(2), 133–143. [10.17268/sci.agropecu.2016.02.06](https://doi.org/10.17268/sci.agropecu.2016.02.06)

- Espinoza F., Puglisevich D. (2019). *Influencia del porcentaje de glicerol sobre la resistencia y deformación en tracción de plásticos biodegradables a base de almidón del tubérculo "Manihot esculenta crantz"* [Tesis]. Trujillo, Perú: Universidad Nacional de Trujillo.
<http://dspace.unitru.edu.pe/handle/UNITRU/12561>
- Ferreira D., Molina G., y Pelissari F. (2020). Biodegradable trays based on cassava starch blended with agroindustrial residues. *Composites Part B: Engineering*, 183.
<https://doi.org/10.1016/j.compositesb.2019.107682>
- Figuroa J., Salcedo J., & Rodríguez M. (2016). Acetilación de Almidón Nativo de Batatta (Ipomeasa batata L). *Vitae* 23, 23.
<https://www.proquest.com/openview/11a540a534b2053583220828fe7bb688/1?pq-origsite=gscholar&cbl=1806352>
- Florindez C. & Florindez P. (2009). Caracterización Físico-Química del almidón de almendra de mango (Mngifera indica L.) variedad chico rico, para la obtención de talco medicinal. [Tesis para optar el grado de Ingeniero Químico, Universidad Nacional de la Amazonía Peruana, Iquitos – Perú].
- Franco J. y Enríquez E. (2015). Remoción de plomo (II) usando lignina obtenida a partir del procesamiento del seudotallo de plátano. *Acta Agronómica*, 64(3), 209-213.
<https://doi.org/10.15446/acag.v64n3.43488>
- Fuentes, N. M., Bosch, O. C. & Sánchez, R. F. (2008). Aplicación de espectroscopia de infrarrojos medios en química analítica de procesos, *Bol. Soc. Quím. Méx.*, 2(3), 93-103.
- García C., Hernández F., & García M. (2016). Comportamiento Reológico de Almidón de Yuca Fermentado. *Vitae*, 14 (1).

http://www.scielo.org.co/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0121-40042007000100002

García Calopiña, García Coronado, Olaya C., Rosas N., Vignolo U. (2019). *Diseño del proceso productivo de bandejas biodegradables a partir de fécula de maíz*. [Tesis de grado, Piura]. <https://docplayer.es/176168922-Diseno-del-proceso-productivo-de-bandejas-biodegradables-a-partir-de-fecula-de-maiz.html>

Glenn G., Orts W., Nobes GAR. (2001). Efectos del almidón, la fibra y el CaCo₃ en las propiedades físicas de las espumas fabricadas mediante un proceso de horneado. *Ind. Cultivos Prod.* 14, 201– 212, [http://dx.doi.org/10.1016/S0926-6690\(01\)00085-1](http://dx.doi.org/10.1016/S0926-6690(01)00085-1).

Gómez, J. (2021). Degradación de polietileno por actinobacterias. Revisión de literatura. (Tesis de grado.) Pontificia Universidad Javeriana, Colombia. <http://repository.javeriana.edu.co/handle/10554/54270>

González, K., Daza, D., Caballero, P. y Martínez, C. (2016). Evaluación de las propiedades físicas y químicas de residuos sólidos orgánicos a emplearse en la elaboración de papel. *Revista Luna Azul*, 43, 499-517. Doi: <https://doi.org/10.17151/luaz.2016.43.21>

Granados Romero, L. L. (2021). *Desarrollo de un empaque postcosecha a partir de residuos de piña*. (Tesis de Ingeniería). Universidad de Bogotá Jorge Tadeo Lozano. Bogotá, Colombia.

GROUP, S. (2020). Envases biodegradables: ventajas y desventajas. <https://www.spgpack.com/blog/envasesbiodegradablesprosycontras/#:~:text=Envases%20pl%C3%A1sticos%20biodegradables%3A%20son%20aquellos,ambiente%20con%20virt%C3%A9ndose%20en%20biomasa%20y>

- Guamán N. (2019). *Proyecto para la Implementación de una Planta de Producción y Comercialización de Alimento Balanceado para ganado vacuno en el Cantón Alausí, Provincia De Chimborazo Periodo 2018*. [Escuela Superior Politécnica de Chimborazo. Riobamba.] <http://dspace.espoch.edu.ec/handle/123456789/11415>
- Güemez H. (2018). *Síntesis de Materiales Estirénicos de Impacto Resistentes a la Flama por el Proceso de Polimerización Masa – Masa, a través de la Incorporación In Situ de Nano-Cargas Minerales Silíceas del Tipo Vermiculita*. [Tesis para optar el grado de maestro, Centro de investigación en química aplicada]. Saltillo, Coahuila.
- Guo, K., Lin, L., Fan, X., Zhang, L., & Wei, C. (2018). Comparison of structural and functional properties of starches from five fruit kernels. *Food chemistry*, 257, 75-82. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2018.03.004>
- Güzel, M., & Akpınar, Ö. (2019). Valorisation of fruit by-products: Production characterization of pectins from fruit peels. *Food and Bioproducts*, 115, 126-133. <https://doi.org/10.1016/j.fbp.2019.03.009>
- Ibarra, J. y Rueda, Y. (2018). Biomasa para el aprovechamiento energético. Una revisión de la caracterización y los modelos por descomposición termoquímica. *Revista GIEMA*, 9(1), 25-32. https://www.researchgate.net/publication/324223970_Biomasa_para_el_aprovechamiento_energetico_Una_revision_de_la_caracterizacion_y_los_modelos_por_descomposicion_termoquimica
- Iglesias, S., Alegre, J., Salas, C. y Egüez, J. (2018). El rendimiento del maíz (*Zea mays* L.) mejora con el uso del biochar de eucalipto. *Scientia Agropecuaria*, 9(1), 25-32. Doi: <https://doi.org/10.17268/sci.agropecu.2018.01.03>

- José G. (2018). Elaboración y caracterización de películas elaboradas con almidón de plátano (musa paradisiaca) reforzadas con nanowhiskers de celulosa, adicionada con aceite esencial. [Tesis para optar el grado de Ingeniero Bioquímico, Instituto Tecnológico de Tuxtepec, México]. <https://www.doccity.com/es/biopeliculas-de-almidon-modificado/5688966/>
- Kaisangsri N, Kerdchoechuen O y Laohakunjit N. (2014). Caracterización de espuma a base de almidón de yuca mezclada con proteínas vegetales, fibra kraft y aceite de palma. *Carbohydr Polym*; 110: 70–77.
- Kaisangsri N., Kerdchoechuen O., Laohakunjit N. (2012). Biodegradable foam tray from cassava starch blended with natural fiber and chitosan. *Industrial Crops and Products*, 37(1), 542-546. <https://doi.org/10.1016/j.indcrop.2011.07.034>
- Lawton, J. W.; Shogren, R. L. & Tiefenbacher, K. F. (2004). Effect of Batter Solids and Starch 109 Type on the Structure of Baked Starch Foams. *Cereal Chemistry*, 76(5), 682–687
- Lesme J., Martillo A., Oliva R. (2020). Estudio de la gasificación de la tusa del maíz para la generación de electricidad. *Ingeniería Mecánica*, 23(3), 1-9. http://scielo.sld.cu/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1815-59442020000300008
- López, S., Chávez, S. y Chuquizuta, T. (2017). Evaluación de la vida útil de dos frutas usando un envase biodegradable de yuca (Manihot esculenta). *Revista de Investigaciones Altoandinas*, 19(4), 373-380. <https://doi.org/10.18271/ria.2017.311>
- Luna P., Darniadi S., Chatzifragkou A., & Charalampopoulos D. (2021). Biodegradable foams based on extracted fractions from sorghum by-products. *In IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*, 749 (1), 1-9. [10.1088/1755-1315/749/1/012057](https://doi.org/10.1088/1755-1315/749/1/012057)

- Machado C., Benelli P., & Tessaro I. (2017). Sesame cake incorporation on cassava starch foams for packaging use. *Industrial Crops and Products*, 102, 115-121. <https://doi.org/10.1016/j.indcrop.2017.03.007>
- Mali, S., Grossmann, M. V. E., García, M. A., Martino, M. N., & Zaritzky, N. E. (2006). Effects of controlled storage on thermal, mechanical and barrier properties of plasticized films from different starch sources. *Journal of Food Engineering*, 75(4), 453-460. <https://doi.org/10.1016/j.jfoodeng.2005.04.031>
- Mantilla R. & Zavala A. (2018). *Extracción y caracterización de almidón de las semillas de Persea americana Mill (Palta) Var. Fuerte, Hass y Criolla*. [Tesis para obtener el grado de Ingeniero, Universidad Nacional de Trujillo]. <http://dspace.unitru.edu.pe/handle/UNITRU/11329>
- Marengo V., Vercelheze A. y Mali S. (2013). Biodegradable composites based on cassava starch and waste from Agro-Industry. *Quimica Nova*, 36(5), 680-685.
- Martillo, J., Lesme, R., Oliva, L. O., Martínez, A. y Silva, E. (2019). Análisis de ciclo de vida del aprovechamiento energético de los residuos (tusa) de la cosecha de maíz (*Zea mays*) en la provincia de Los Ríos, Ecuador. *Tecnología Química*, 39(3), 655-672. http://scielo.sld.cu/scielo.php?pid=S222461852019000300655&script=sci_arttext&tln_g=en
- Martínez O., Calderón B., Rodríguez J., Cabrera C., & Valle F. (2015). Mecanismo de gelatinización del almidón nativo de banano exportable del Ecuador. *Revista Colombiana de Química*, 44(2), 16-21. <https://doi.org/10.15446/rev.colomb.quim.v44n2.55215>

- Matignon, A., & Tecante, A. (2017). Starch retrogradation: From starch components to cereal products. *Food Hydrocolloids*, 68, 43–52. <https://doi.org/10.1016/j.foodhyd.2016.10.032>
- Matos Medina, I. Y., & Díaz Milla, J. B. (2022). *Caracterización de bandejas biodegradables de almidón y fibra de semilla de Persea americana y almidón de Mangifera indica*. [Tesis de grado], Universidad Nacional del Santa.
- Matsakas, L., Gao, Q., Jansson, S., Rova, U. y Christakopoulos, P. (2017). Green conversion of municipal solid wastes into fuels and chemicals. *Electronic Journal of Biotechnology*, 26, 69-83. <https://doi.org/10.1016/j.ejbt.2017.01.004>
- Medina S. (2016). *Obtención de envases biodegradables por termopresión*. [Tesis para optar el grado de ingeniero, Universidad Nacional de Trujillo]. <https://dspace.unitru.edu.pe/>
- 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. <https://doi.org/10.1016/j.indcrop.2014.02.015>
- Meng, L., Liu, H., Yu, L., Duan, Q., Chen, L., Liu, F., Shao, Z., Shi, K., & Lin, X. (2019). How water acting as both blowing agent and plasticizer effect on starch-based foam. *Industrial Crops and Products*, 134, 43–49. <https://doi.org/10.1016/j.indcrop.2019.03.056>
- Moo H., Cabrera S., Estrada L., Ríos S., Betancur A., Chel G., & Pérez P. (2015). Determination of some physicochemical and rheological characteristics of starch obtained from Brosimum alicastrum Swartz seeds. *Food Hydrocolloids*, 45, 48-54. <https://doi.org/10.1016/j.foodhyd.2014.11.009>

- Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura (FAO). (2020). Fibras del Futuro. <http://www.fao.org/economic/futurefibres/fibres/es/> Consultada en marzo de 2020.
- Orsini, S. M. D., & Aparicio, G. P. P. (2021). Espectroscopia de Infrarrojo con Transformada de Fourier (FT-IR) Para Análisis de Muestras de Harina de Trigo, Fécula de Maíz y Almidón de Yuca. @ limentech, Ciencia y Tecnología Alimentaria, 19(1).
- Ortega P., Bustamante R., Gutiérrez R., Correa E. (2015). Mixture experiments in industrial formulations. *DYNA*, 82 (189). <http://dx.doi.org/10.15446/dyna.v82n189.42785>
- Osorio Herrera, A. P., & Rubiano Hernández, K. D. (2019). Desarrollo de una biopelícula partiendo de cáscara de banano y fibra natural como agente de refuerzo a nivel laboratorio (Bachelor's thesis, Fundación Universidad de América).
- Palmqvist, E., y Hahn-Hagerdal, B. (2000). Fermentation of lignocellulosic hydrolysates. II: inhibitors and mechanisms of inhibition. *Bioresource Technology*, 74(1), 25-33. [https://doi.org/10.1016/S0960-8524\(99\)00161-3](https://doi.org/10.1016/S0960-8524(99)00161-3)
- Pertuz, A. y Guevara, R. (2021). Alternativa Verde: Bioplásticos Elaborados Con Biopolímeros De Origen Renovable – Revisión. Documentos de Trabajo ECBTI, 2(1), 1-6. <https://doi.org/10.22490/ECBTI.4793>
- Ponce Ramirez, J. A., & Horna Menacho, N. R. (2023). *Formulación y caracterización de bandejas biodegradables con almidón de Manihota Sculenta y fibras de Cynara Scolymus*. [Tesis de grado], Universidad Nacional del Santa.
- Pornsuksomboon K., Holló B., Szécsényi K., Kaewtatip K. (2016). Properties of baked foams from citric acid modified cassava starch and native cassava starch blends. *Carbohydrate Polymers*, 136, 107-112. <https://doi.org/10.1016/j.carbpol.2015.09.019>

- Portillo, L., Julián, A. & M. Santana. (2019). Fibras naturales y pigmentos: teñido, tejido y diseño. Universidad de Guadalajara. México.
https://www.researchgate.net/publication/332528985_Fibras_naturales_y_pigmentos_tenido_tejido_y_diseno
- Posada, Juan Carlos; Montes-Florez, Emmanuel (2021). Revisión: materiales poliméricos biodegradables y su aplicación en diferentes sectores industriales. Informador Técnico, 86(1), 94 - 110. <https://doi.org/10.23850/22565035.3417>
- Reategui V. (2017). Estudio socio-agronómico de la producción de umari (poraqueiba serícea), en el distrito de Fernando Lores, Loreto - Perú. 2015. [Tesis para optar el grado de ingeniero]. Universidad Nacional de la Amazonía Peruana.
https://repositorio.unapiquitos.edu.pe/bitstream/handle/20.500.12737/5050/Roberto_Tesis_Titulo_2017.pdf?sequence=1&isAllowed=y
- Reis, M. O., Olivato, J. B., Bilck, A. P., Zanela, J., Grossmann, M. V. E., & Yamashita, F. (2018). Biodegradable trays of thermoplastic starch/poly (lactic acid) coated with beeswax. Industrial Crops and Products, 112, 481-487.
<https://doi.org/10.1016/j.indcrop.2017.12.045>
- Rodríguez E. (2012), Caracterización de polímeros aplicando el método termogravimétrico, Métodos y materiales, (2), pp. 25-32
- Rodríguez, A., Leal, N., Castillo, S. y Alanis, K. (2019). Obtención y caracterización químico-nutricia de harinas de olote de maíz en etapa R3 (masoso). Investigación y Desarrollo en Ciencia y Tecnología de Alimentos, 4, 87-90. Recuperado de <http://www.fcb.uanl.mx/IDCyTA/files/volume4/4/1/12.pdf>

- Rojas C. (2019). *Evaluación de la biodegradabilidad, propiedades físicas y mecánicas de una espuma sólida a base de celulosa y almidón extraído de desechos poscosecha del banano verde (Musa acuminataL.)*. [Tesis para optar el grado de ingeniero Químico, Universidad de San Carlos de Guatemala]. <https://core.ac.uk/reader/326018560>
- Romero D. (2019). *Caracterización de bandejas biodegradables provenientes de diferentes almidones nativos peruanos*. [Tesis de Ingeniería, Universidad Nacional de Trujillo, Trujillo, La Libertad]. <http://dspace.unitru.edu.pe/handle/UNITRU/15662>
- Saavedra G. (2000). Obtención y caracterización del almidón de la almendra del mango (mangif era indica l.) variedad criolla. [Tesis para optar el grado de Ingeniero Agroindustrial, Universidad Nacional de San Martín, Tarapoto-Perú].
- Salcedo J., Mogollón C., & Hernández D. (2018). Propiedades funcionales de almidones de ñame (*Dioscorea alata*). *Biotecnología en el Sector Agropecuario y Agroindustrial: BSAA*, 16(2), 99-107. <https://doi.org/10.18684/bsaa.16n2.1170>
- Salgado P., Schmidt V., Ortiz S., Mauri A. y Laurindo J. (2008). Espumas biodegradables a base de almidón de yuca, proteínas de girasol y fibras de celulosa obtenidas por proceso de horneado. *J. Ing. de Alimentos*. 85, 435–443.
- Salgado, L. y Herrera, V. (2020). Análisis de la Sostenibilidad para la producción de bioplásticos a partir de los residuos de *Musa Balbisiana* y *Zea mays*. [Tesis de grado, Universidad Peruana Unión]. Perú. <https://repositorio.upeu.edu.pe/handle/20.500.12840/3174>
- Salmerón, F. I. (2019). Elaboración y caracterización de un material biodegradable utilizando desechos de lechuga de la Planta Poscosecha en la Escuela Agrícola Panamericana.

- Sánchez Calancha, J. I., & Valdez Dávila, L. S. (2019). Biopelícula activa a base de almidón de mandioca (*Manihot Esculenta*) aceite esencial de romero (*Rosmarinus officinalis*) reforzado con organoarcillas. [Tesis de grado] Universidad Peruana Unión.
- Skoog, D. A., Holler, F. J., & Nieman, T. A. (2001). Principios de Análisis Instrumental. 5ta. Edición. Mcgraw Hill, México, D.F.
- Solano L. (2017). *Frutal Nativo: Umarí (Poraqueiba sericea T.)*. [Trabajo monográfico, Universidad Nacional Agraria de la Selva, Tingo Maria]
- Soykeabkaew N., Thanomsilp C., y Suwantong O. (2015). A review: Starch-based composite foams. *Composites Part A: Applied Science and Manufacturing*, 78, 246–263. <https://doi.org/10.1016/j.compositesa.2015.08.014>
- Stevens E, Klamczynski A. y Glenn G. (2010). Starch-lignin foams. *Express Polymer Letters*, 4(5), 311-320. <http://dx.doi.org/10.3144/expresspolymlett.2010.39>
- Tsakama M., Mwangwela A., Manani T., & Mahungu N. (2010). Physicochemical and pasting properties of starch extracted from eleven sweetpotato varieties. *African Journal of Food Science and Technology*, 1(4), 090-098. <https://www.interestjournals.org/abstract/physicochemical-and-pasting-properties-of-starchextracted-from-eleven-sweetpotato-varieties-15687.html>
- Tupa Valencia, M. V. (2019). *Modificación organocatalítica de almidón para la obtención sostenible de derivados de alto valor agregado*. [Tesis para obtener el grado de Doctor, CONICET]. <https://ri.conicet.gov.ar/handle/11336/81107>
- Usaquén Ramírez, M. J., & Zafra Agudelo, M. A. (2018). Evaluación del proceso de obtención de aceite esencial de semilla de mango a nivel laboratorio (Bachelor's thesis, Fundación Universidad de América).

- Vela T., (2020). Biodegradability of polymers: Regulations and methods for testing. *Biopolymers Online*, 10. <https://doi.org/10.1002/3527600035.bpola012>
- Vercelheze A., Oliveira A., Rezende M., Muller C., Yamashita F., & Mali S. (2013). Physical Properties, Photo- and Bio-degradation of Baked Foams Based on Cassava Starch, Sugarcane Bagasse Fibers and Montmorillonite. *Journal of Polymers and the Environment*, 21(1), 266-274.
- Vercelheze AES, Fakhouri FM, Dall'Antonia LH, et al. (2012). Propiedades de las espumas horneadas a base de almidón de yuca, bagazo de caña de azúcar fibras y montmorillonita. *Carbohydr Polym* 2012; 87(2): 1302–1310.
- Vidal G., & Hormazábal. (2016). Las fibras vegetales y sus aplicaciones. Universidad de Concepción. Chile. https://www.researchgate.net/publication/322852114_Las_fibras_vegetales_y_sus_aplicaciones_Innovacion_en_su_generacion_a_partir_de_la_depuracion_de_agua
- Villacís, J. (2021). Evaluación de las características morfológicas y agronómicas del cultivo de maíz (*Zea mays* L.) sometido a tres densidades de siembra en la zona de Ventanas, provincia de los Ríos. [Tesis de grado. Universidad Técnica Estatal de Quevedo]. Ecuador. <https://repositorio.uteq.edu.ec/handle/43000/6154>
- Villares W. (2022). *Desarrollo de un plato biodegradable a base de harinas de fibra de coco (Cocos nucifera), tusa de maíz (Zea mays) y arroz (Oryza sativa)*. [Tesis de titulación]. Universidad Católica de Santiago de Guayaquil, Guayaquil. <http://201.159.223.180/handle/3317/17978>
- Vinueza C. (2020). Composición química de residuos agroindustriales del maíz (*zea mays*) (cáscara, pelusa, tusa y panca) utilizados en la alimentación de rumiantes. [Tesis para optar el grado de Ingeniero, Universidad Técnica Estatal de Quevedo, Ecuador].

<https://repositorio.uteq.edu.ec/server/api/core/bitstreams/1417ed44-a075-485b-8cf2-58db7722eb77/content>

Viviano Agreda, E. W. (2019). *Mejoramiento de las propiedades Microestructurales, Físicas y Mecánicas de Matrices Poliméricas*. Tesis de Grado. Trujillo, Perú.

Warren, F. J., Gidley, M. J., & Flanagan, B. M. (2016). Infrared spectroscopy as a tool to characterise starch ordered structure—a joint FTIR–ATR, NMR, XRD and DSC study. *Carbohydrate polymers*, 139, 35-42.

VIII. ANEXO

Anexo 1. Datos del análisis de color de las bandejas con sus 5 tratamientos y el control en 3 repeticiones.

| Tratamiento | L | a | b | Color |
|--------------------|----------|----------|----------|--------------|
| Control | 68.41 | 9.45 | 17.41 | 27.28 |
| Control | 69.58 | 8.60 | 15.98 | 25.27 |
| Control | 68.07 | 9.71 | 18.12 | 28.10 |
| T1 | 64.02 | 10.59 | 19.88 | 31.88 |
| T1 | 65.54 | 10.03 | 20.41 | 31.31 |
| T1 | 65.27 | 9.73 | 20.66 | 31.55 |
| T2 | 66.73 | 11.40 | 16.9 | 28.44 |
| T2 | 68.35 | 10.83 | 17.24 | 27.67 |
| T2 | 68.33 | 11.38 | 17.50 | 28.10 |
| T3 | 67.19 | 9.88 | 19.55 | 29.74 |
| T3 | 63.99 | 11.20 | 20.34 | 32.45 |
| T3 | 65.51 | 10.51 | 18.35 | 29.86 |
| T4 | 66.90 | 10.58 | 20.25 | 30.68 |
| T4 | 66.02 | 10.58 | 17.31 | 28.82 |
| T4 | 66.26 | 11.00 | 18.84 | 30.02 |
| T5 | 66.54 | 9.78 | 19.03 | 29.61 |
| T5 | 64.29 | 11.22 | 21.17 | 32.94 |
| T5 | 66.98 | 9.86 | 18.91 | 29.32 |

Anexo 2. Datos del análisis del espesor de las bandejas con sus 5 tratamientos y el control en 2 repeticiones.

| Tratamiento | Espesor (mm) |
|--------------------|---------------------|
| Control | 2.98 |
| Control | 3.18 |
| T1 | 2.39 |
| T1 | 2.55 |
| T2 | 2.15 |
| T2 | 2.25 |
| T3 | 2.79 |
| T3 | 2.83 |
| T4 | 2.28 |
| T4 | 2.25 |
| T5 | 3.15 |
| T5 | 3.19 |

Anexo 3. Datos del análisis de la densidad de las bandejas con sus 5 tratamientos y el control en 2 repeticiones

| Tratamiento | a | b | h | Volumen cm³ | Masa g | Densidad g/cm³ |
|--------------------|----------|----------|----------|-----------------------------------|---------------|--------------------------------------|
| Control | 10 | 2.5 | 0.298 | 7.45 | 2.549 | 0.342 |
| Control | 10 | 2.5 | 0.318 | 7.95 | 2.539 | 0.319 |
| T1 | 10 | 2.5 | 0.239 | 5.98 | 2.075 | 0.347 |
| T1 | 10 | 2.5 | 0.255 | 6.38 | 3.038 | 0.477 |
| T2 | 10 | 2.5 | 0.215 | 5.38 | 1.711 | 0.318 |
| T2 | 10 | 2.5 | 0.225 | 5.63 | 1.601 | 0.285 |
| T3 | 10 | 2.5 | 0.279 | 6.98 | 2.464 | 0.353 |
| T3 | 10 | 2.5 | 0.283 | 7.08 | 2.472 | 0.349 |
| T4 | 10 | 2.5 | 0.228 | 5.70 | 1.589 | 0.279 |
| T4 | 10 | 2.5 | 0.225 | 5.63 | 1.519 | 0.270 |
| T5 | 10 | 2.5 | 0.315 | 7.88 | 1.996 | 0.253 |
| T5 | 10 | 2.5 | 0.319 | 7.98 | 1.978 | 0.248 |

Anexo 4. Datos del análisis del % humedad de las bandejas con sus 5 tratamientos y el control en 3 repeticiones.

| Tratamiento | Peso Placa | Peso Muestra | Peso Final | % De Humedad |
|--------------------|-------------------|---------------------|-------------------|---------------------|
| Control | 47.543 | 5.014 | 52.234 | 6.44 |
| Control | 42.269 | 5.069 | 46.999 | 6.69 |
| Control | 48.804 | 5.083 | 53.566 | 6.32 |
| Tratamiento 1 | 92.416 | 5.081 | 97.302 | 3.84 |
| Tratamiento 1 | 92.481 | 5.010 | 97.299 | 3.83 |
| Tratamiento 1 | 93.800 | 5.180 | 98.779 | 3.88 |
| Tratamiento 2 | 94.547 | 5.046 | 99.313 | 5.55 |
| Tratamiento 2 | 93.508 | 5.100 | 98.321 | 5.63 |
| Tratamiento 2 | 92.603 | 5.059 | 97.365 | 5.87 |
| Tratamiento 3 | 93.161 | 5.014 | 97.964 | 4.21 |
| Tratamiento 3 | 93.476 | 5.035 | 98.316 | 3.87 |
| Tratamiento 3 | 92.723 | 5.044 | 97.567 | 3.97 |
| Tratamiento 4 | 47.075 | 5.084 | 51.910 | 4.90 |
| Tratamiento 4 | 93.917 | 5.035 | 98.703 | 4.95 |
| Tratamiento 4 | 35.067 | 5.016 | 39.828 | 5.08 |
| Tratamiento 5 | 94.693 | 5.035 | 99.513 | 4.27 |
| Tratamiento 5 | 43.785 | 5.077 | 48.647 | 4.23 |
| Tratamiento 5 | 94.373 | 5.058 | 99.207 | 4.43 |

Anexo 5. Datos del análisis del %CAA de las bandejas con sus 5 tratamientos y el control en 2 repeticiones

| Tratamiento | Pi (g) | Pf (g) | CAA |
|--------------------|---------------|---------------|------------|
| Control | 1.159 | 1.655 | 42.796 |
| Control | 1.154 | 1.637 | 41.854 |
| Tratamiento 1 | 1.182 | 1.566 | 32.487 |
| Tratamiento 1 | 1.092 | 1.463 | 33.974 |
| Tratamiento 2 | 1.149 | 1.589 | 38.294 |
| Tratamiento 2 | 1.138 | 1.591 | 39.807 |
| Tratamiento 3 | 1.385 | 1.705 | 23.105 |
| Tratamiento 3 | 1.398 | 1.720 | 23.033 |
| Tratamiento 4 | 1.312 | 1.631 | 24.314 |
| Tratamiento 4 | 1.334 | 1.652 | 23.838 |
| Tratamiento 5 | 1.311 | 1.589 | 21.205 |
| Tratamiento 5 | 1.301 | 1.594 | 22.521 |

Anexo 6. Datos del análisis del % Sólidos Volátiles de las bandejas con sus 5 tratamientos y el control en 2 repeticiones

| Tratamiento | Peso crisol + residuo SECO | Peso crisol + residuo CALCINADO | % Sólidos Volátiles |
|--------------------|-----------------------------------|--|----------------------------|
| Control | 97.576 | 94.718 | 99.540 |
| Control | 37.944 | 35.116 | 98.523 |
| Tratamiento 1 | 95.408 | 92.663 | 97.802 |
| Tratamiento 1 | 49.912 | 47.143 | 97.596 |
| Tratamiento 2 | 95.297 | 92.552 | 97.520 |
| Tratamiento 2 | 51.615 | 48.877 | 97.137 |
| Tratamiento 3 | 96.405 | 93.604 | 96.284 |
| Tratamiento 3 | 50.482 | 47.607 | 98.023 |
| Tratamiento 4 | 96.401 | 93.618 | 95.399 |
| Tratamiento 4 | 97.257 | 94.517 | 95.268 |
| Tratamiento 5 | 95.564 | 92.772 | 98.359 |
| Tratamiento 5 | 46.624 | 43.844 | 98.067 |

Anexo 7. Datos del análisis de la Resistencia a la tensión y Elongación de las bandejas con sus 5 tratamientos y el control en 3 repeticiones.

| Tratamientos | Resistencia a la Tensión (MPa) | Elongación (%) |
|---------------------|---------------------------------------|-----------------------|
| Control | 2.97 | 2.10 |
| Control | 4.04 | 2.56 |
| Control | 2.91 | 1.86 |
| T1 | 3.13 | 1.59 |
| T1 | 2.74 | 1.58 |
| T1 | 2.75 | 1.65 |
| T2 | 3.05 | 1.64 |
| T2 | 3.47 | 1.69 |
| T2 | 3.43 | 1.79 |
| T3 | 2.58 | 1.46 |
| T3 | 3.06 | 1.54 |
| T3 | 2.88 | 1.61 |
| T4 | 3.45 | 2.13 |
| T4 | 3.53 | 2.10 |
| T4 | 3.31 | 1.90 |
| T5 | 3.70 | 1.88 |
| T5 | 2.71 | 1.45 |
| T5 | 3.27 | 1.71 |

Anexo 8. Datos del análisis de la Dureza y Fracturabilidad de las bandejas con sus 5 tratamientos y el control en 3 repeticiones.

| TRATAMIENTO | Dureza (N) | Fracturabilidad (mm) |
|--------------------|-------------------|-----------------------------|
| Control | 81.49 | 4.63 |
| Control | 61.88 | 2.38 |
| Control | 101.01 | 1.7 |
| T1 | 78.55 | 1.58 |
| T1 | 72.57 | 2.33 |
| T1 | 69.14 | 0.97 |
| T2 | 59.72 | 5.17 |
| T2 | 88.06 | 2.94 |
| T2 | 54.52 | 1.46 |
| T3 | 70.51 | 1.26 |
| T3 | 88.65 | 2.63 |
| T3 | 74.43 | 0.85 |
| T4 | 68.74 | 0.98 |
| T4 | 74.43 | 1.2 |
| T4 | 59.92 | 2.11 |
| T5 | 98.07 | 1.61 |
| T5 | 77.47 | 1.71 |
| T5 | 97.38 | 4.05 |

Anexo 9. Pruebas de Múltiple Rangos para Color por Tratamiento

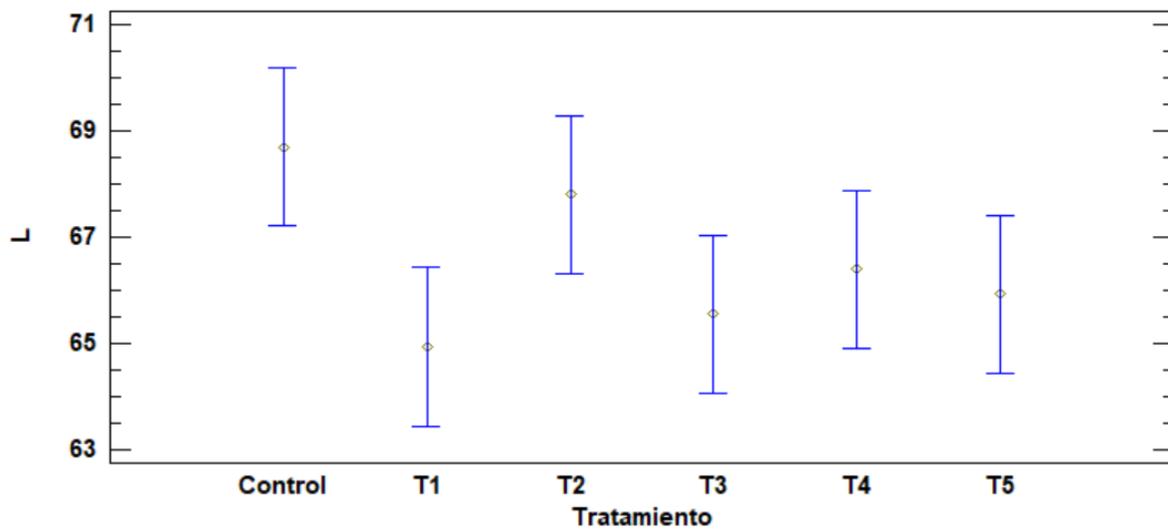
| <i>Tratamiento</i> | <i>Casos</i> | <i>Media</i> | <i>Grupos Homogéneos</i> |
|--------------------|--------------|--------------|--------------------------|
| Control | 3 | 26.8833 | X |
| T2 | 3 | 28.07 | XX |
| T4 | 3 | 29.84 | XX |
| T5 | 3 | 30.6233 | X |
| T3 | 3 | 30.6833 | X |
| T1 | 3 | 31.58 | X |

| <i>Contraste</i> | <i>Sig.</i> | <i>Diferencia</i> | <i>+/- Límites</i> |
|------------------|-------------|-------------------|--------------------|
| Control - T1 | * | -4.69667 | 2.25389 |
| Control - T2 | | -1.18667 | 2.25389 |
| Control - T3 | * | -3.8 | 2.25389 |
| Control - T4 | * | -2.95667 | 2.25389 |
| Control - T5 | * | -3.74 | 2.25389 |
| T1 - T2 | * | 3.51 | 2.25389 |
| T1 - T3 | | 0.896667 | 2.25389 |
| T1 - T4 | | 1.74 | 2.25389 |
| T1 - T5 | | 0.956667 | 2.25389 |
| T2 - T3 | * | -2.61333 | 2.25389 |
| T2 - T4 | | -1.77 | 2.25389 |
| T2 - T5 | * | -2.55333 | 2.25389 |
| T3 - T4 | | 0.843333 | 2.25389 |
| T3 - T5 | | 0.06 | 2.25389 |
| T4 - T5 | | -0.783333 | 2.25389 |

Anexo 10. Tabla ANOVA para el parámetro L*

| Fuente | Suma de Cuadrados | Gl | Cuadrado Medio | Razón-F | Valor-P |
|----------------------|-------------------|----|----------------|---------|---------|
| Tratamiento | 30.275 | 5 | 6.05501 | 5.19 | 0.0091 |
| Error | 14.0006 | 12 | 1.16672 | | |
| Total (Corr.) | 44.2756 | 17 | | | |

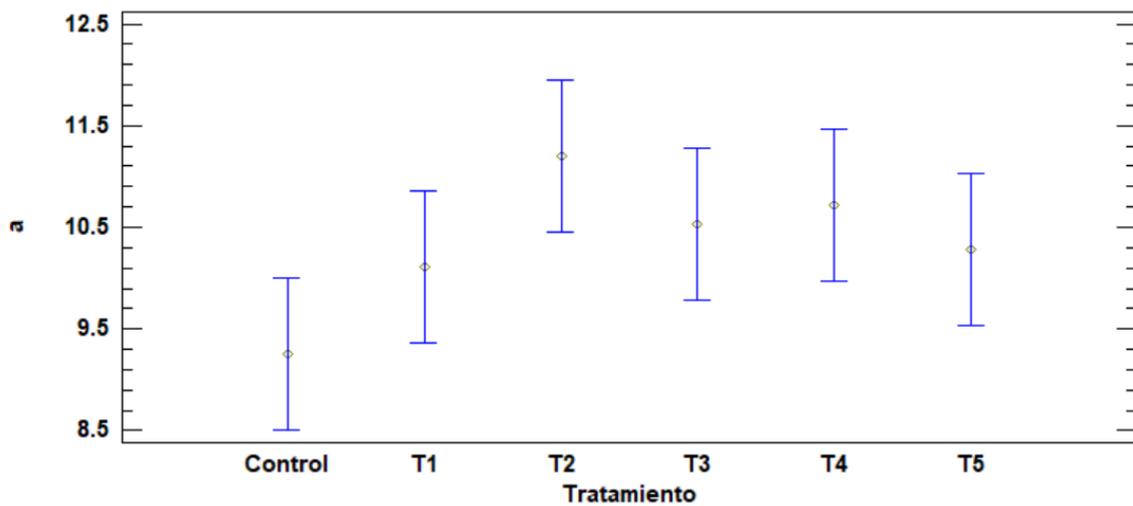
Anexo 11. Tukey HSD - Promedio de los valores de Luminosidad en bandejas de los 5 Tratamientos y del Control.



Anexo 12. Tabla ANOVA para el parámetro a*

| Fuente | Suma de Cuadrados | Gl | Cuadrado Medio | Razón-F | Valor-P |
|---------------|-------------------|----|----------------|---------|---------|
| Tratamiento | 6.47578 | 5 | 1.29516 | 4.36 | 0.0170 |
| Error | 3.56367 | 12 | 0.296972 | | |
| Total (Corr.) | 10.0395 | 17 | | | |

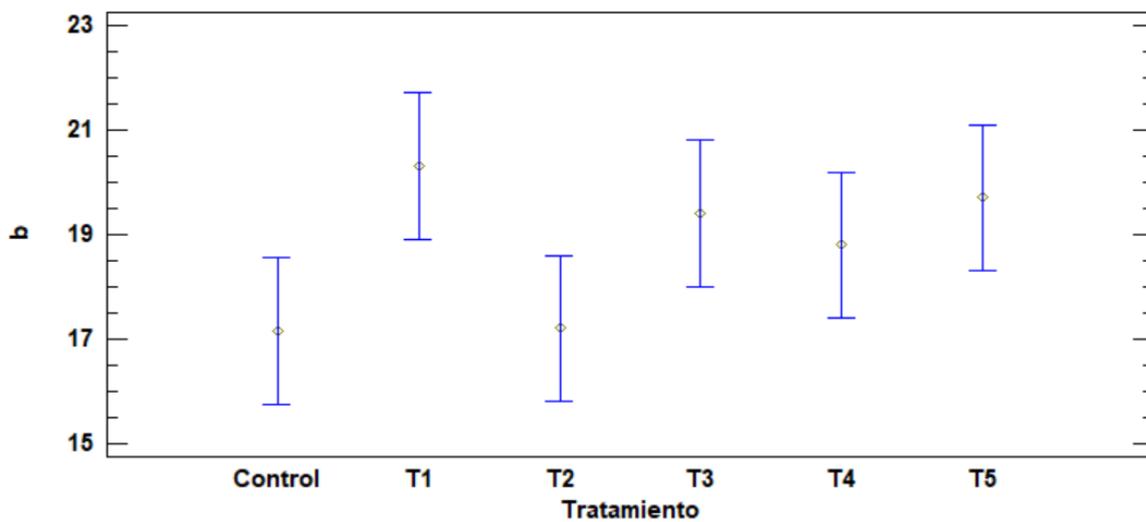
Anexo 13. Tukey HSD - Promedio de los valores de a* en bandejas de los 5 Tratamientos y del Control.



Anexo 14. Tabla ANOVA para el parámetro b*

| Fuente | Suma de Cuadrados | Gl | Cuadrado Medio | Razón-F | Valor-P |
|----------------------|-------------------|----|----------------|---------|---------|
| Tratamiento | 25.9838 | 5 | 5.19677 | 5.01 | 0.0104 |
| Error | 12.4407 | 12 | 1.03672 | | |
| Total (Corr.) | 38.4245 | 17 | | | |

Anexo 15. Tukey HSD - Promedio de los valores de b* en bandejas de los 5 Tratamientos y del Control.



Anexo 16. Pruebas de Múltiple Rangos para Espesor por Tratamiento

| <i>Tratamiento</i> | <i>Casos</i> | <i>Media</i> | <i>Grupos Homogéneos</i> |
|--------------------|--------------|--------------|--------------------------|
| T2 | 2 | 2.2 | X |
| T4 | 2 | 2.265 | X |
| T1 | 2 | 2.47 | X |
| T3 | 2 | 2.81 | X |
| Control | 2 | 3.08 | X |
| T5 | 2 | 3.17 | X |

| <i>Contraste</i> | <i>Sig.</i> | <i>Diferencia</i> | <i>+/- Límites</i> |
|------------------|-------------|-------------------|--------------------|
| Control - T1 | * | 0.61 | 0.199415 |
| Control - T2 | * | 0.88 | 0.199415 |
| Control - T3 | * | 0.27 | 0.199415 |
| Control - T4 | * | 0.815 | 0.199415 |
| Control - T5 | | -0.09 | 0.199415 |
| T1 - T2 | * | 0.27 | 0.199415 |
| T1 - T3 | * | -0.34 | 0.199415 |
| T1 - T4 | * | 0.205 | 0.199415 |
| T1 - T5 | * | -0.7 | 0.199415 |
| T2 - T3 | * | -0.61 | 0.199415 |
| T2 - T4 | | -0.065 | 0.199415 |
| T2 - T5 | * | -0.97 | 0.199415 |
| T3 - T4 | * | 0.545 | 0.199415 |
| T3 - T5 | * | -0.36 | 0.199415 |
| T4 - T5 | * | -0.905 | 0.199415 |

Anexo 17. Pruebas de Múltiple Rangos para Densidad por Tratamiento

| <i>Tratamiento</i> | <i>Casos</i> | <i>Media</i> | <i>Grupos Homogéneos</i> |
|--------------------|--------------|--------------|--------------------------|
| T5 | 2 | 0.2505 | X |
| T4 | 2 | 0.2745 | XX |
| T2 | 2 | 0.3015 | XX |
| Control | 2 | 0.3305 | XXX |
| T3 | 2 | 0.351 | XX |
| T1 | 2 | 0.412 | X |

| <i>Contraste</i> | <i>Sig.</i> | <i>Diferencia</i> | <i>+/- Limites</i> |
|------------------|-------------|-------------------|--------------------|
| Control - T1 | | -0.0815 | 0.0964388 |
| Control - T2 | | 0.029 | 0.0964388 |
| Control - T3 | | -0.0205 | 0.0964388 |
| Control - T4 | | 0.056 | 0.0964388 |
| Control - T5 | | 0.08 | 0.0964388 |
| T1 - T2 | * | 0.1105 | 0.0964388 |
| T1 - T3 | | 0.061 | 0.0964388 |
| T1 - T4 | * | 0.1375 | 0.0964388 |
| T1 - T5 | * | 0.1615 | 0.0964388 |
| T2 - T3 | | -0.0495 | 0.0964388 |
| T2 - T4 | | 0.027 | 0.0964388 |
| T2 - T5 | | 0.051 | 0.0964388 |
| T3 - T4 | | 0.0765 | 0.0964388 |
| T3 - T5 | * | 0.1005 | 0.0964388 |
| T4 - T5 | | 0.024 | 0.0964388 |

Anexo 18. Pruebas de Múltiple Rangos para Humedad por Tratamiento

| <i>Tratamiento</i> | <i>Casos</i> | <i>Media</i> | <i>Grupos Homogéneos</i> |
|--------------------|--------------|--------------|--------------------------|
| T1 | 3 | 3.85 | X |
| T3 | 3 | 4.01667 | X |
| T5 | 3 | 4.31 | X |
| T4 | 3 | 4.97667 | X |
| T2 | 3 | 5.68333 | X |
| Control | 3 | 6.48333 | X |

| <i>Contraste</i> | <i>Sig.</i> | <i>Diferencia</i> | <i>+/- Limites</i> |
|------------------|-------------|-------------------|--------------------|
| Control - T1 | * | 2.63333 | 0.245683 |
| Control - T2 | * | 0.8 | 0.245683 |
| Control - T3 | * | 2.46667 | 0.245683 |
| Control - T4 | * | 1.50667 | 0.245683 |
| Control - T5 | * | 2.17333 | 0.245683 |
| T1 - T2 | * | -1.83333 | 0.245683 |
| T1 - T3 | | -0.166667 | 0.245683 |
| T1 - T4 | * | -1.12667 | 0.245683 |
| T1 - T5 | * | -0.46 | 0.245683 |
| T2 - T3 | * | 1.66667 | 0.245683 |
| T2 - T4 | * | 0.706667 | 0.245683 |
| T2 - T5 | * | 1.37333 | 0.245683 |
| T3 - T4 | * | -0.96 | 0.245683 |
| T3 - T5 | * | -0.293333 | 0.245683 |
| T4 - T5 | * | 0.666667 | 0.245683 |

Anexo 19. Pruebas de Múltiple Rangos para CAA por Tratamiento

| <i>Tratamiento</i> | <i>Casos</i> | <i>Media</i> | <i>Grupos Homogéneos</i> |
|--------------------|--------------|--------------|--------------------------|
| T5 | 2 | 21.863 | X |
| T3 | 2 | 23.069 | XX |
| T4 | 2 | 24.076 | X |
| T1 | 2 | 33.2305 | X |
| T2 | 2 | 39.0505 | X |
| Control | 2 | 42.325 | X |

| <i>Contraste</i> | <i>Sig.</i> | <i>Diferencia</i> | <i>+/- Limites</i> |
|------------------|-------------|-------------------|--------------------|
| Control - T1 | * | 9.0945 | 1.91519 |
| Control - T2 | * | 3.2745 | 1.91519 |
| Control - T3 | * | 19.256 | 1.91519 |
| Control - T4 | * | 18.249 | 1.91519 |
| Control - T5 | * | 20.462 | 1.91519 |
| T1 - T2 | * | -5.82 | 1.91519 |
| T1 - T3 | * | 10.1615 | 1.91519 |
| T1 - T4 | * | 9.1545 | 1.91519 |
| T1 - T5 | * | 11.3675 | 1.91519 |
| T2 - T3 | * | 15.9815 | 1.91519 |
| T2 - T4 | * | 14.9745 | 1.91519 |
| T2 - T5 | * | 17.1875 | 1.91519 |
| T3 - T4 | | -1.007 | 1.91519 |
| T3 - T5 | | 1.206 | 1.91519 |
| T4 - T5 | * | 2.213 | 1.91519 |

**Anexo 20. Pruebas de Múltiple Rangos para Sólidos Volátiles por
Tratamiento**

| <i>Tratamientos</i> | <i>Casos</i> | <i>Media</i> | <i>Grupos Homogéneos</i> |
|---------------------|--------------|--------------|--------------------------|
| T4 | 2 | 95.3335 | X |
| T3 | 2 | 97.1535 | X |
| T2 | 2 | 97.3285 | X |
| T1 | 2 | 97.699 | XX |
| T5 | 2 | 98.213 | XX |
| Control | 2 | 99.0315 | X |

| <i>Contraste</i> | <i>Sig.</i> | <i>Diferencia</i> | <i>+/- Límites</i> |
|------------------|-------------|-------------------|--------------------|
| Control - T1 | | 1.3325 | 1.47323 |
| Control - T2 | * | 1.703 | 1.47323 |
| Control - T3 | * | 1.878 | 1.47323 |
| Control - T4 | * | 3.698 | 1.47323 |
| Control - T5 | | 0.8185 | 1.47323 |
| T1 - T2 | | 0.3705 | 1.47323 |
| T1 - T3 | | 0.5455 | 1.47323 |
| T1 - T4 | * | 2.3655 | 1.47323 |
| T1 - T5 | | -0.514 | 1.47323 |
| T2 - T3 | | 0.175 | 1.47323 |
| T2 - T4 | * | 1.995 | 1.47323 |
| T2 - T5 | | -0.8845 | 1.47323 |
| T3 - T4 | * | 1.82 | 1.47323 |
| T3 - T5 | | -1.0595 | 1.47323 |
| T4 - T5 | * | -2.8795 | 1.47323 |

**Anexo 21. Pruebas de Múltiple Rangos para Resistencia a la Tensión por
Tratamiento**

| <i>Tratamientos</i> | <i>Casos</i> | <i>Media</i> | <i>Grupos Homogéneos</i> |
|---------------------|--------------|--------------|--------------------------|
| T3 | 3 | 2.84 | X |
| T1 | 3 | 2.87333 | X |
| T5 | 3 | 3.22667 | X |
| Control | 3 | 3.30667 | X |
| T2 | 3 | 3.31667 | X |
| T4 | 3 | 3.43 | X |

| <i>Contraste</i> | <i>Sig.</i> | <i>Diferencia</i> | <i>+/- Limites</i> |
|------------------|-------------|-------------------|--------------------|
| Control - T1 | | 0.433333 | 0.659683 |
| Control - T2 | | -0.01 | 0.659683 |
| Control - T3 | | 0.466667 | 0.659683 |
| Control - T4 | | -0.123333 | 0.659683 |
| Control - T5 | | 0.08 | 0.659683 |
| T1 - T2 | | -0.443333 | 0.659683 |
| T1 - T3 | | 0.0333333 | 0.659683 |
| T1 - T4 | | -0.556667 | 0.659683 |
| T1 - T5 | | -0.353333 | 0.659683 |
| T2 - T3 | | 0.476667 | 0.659683 |
| T2 - T4 | | -0.113333 | 0.659683 |
| T2 - T5 | | 0.09 | 0.659683 |
| T3 - T4 | | -0.59 | 0.659683 |
| T3 - T5 | | -0.386667 | 0.659683 |
| T4 - T5 | | 0.203333 | 0.659683 |

Anexo 22. Pruebas de Múltiple Rangos para Elongación por Tratamiento

| <i>Tratamientos</i> | <i>Casos</i> | <i>Media</i> | <i>Grupos Homogéneos</i> |
|---------------------|--------------|--------------|--------------------------|
| T3 | 3 | 1.53667 | X |
| T1 | 3 | 1.60667 | X |
| T5 | 3 | 1.68 | X |
| T2 | 3 | 1.70667 | X |
| T4 | 3 | 2.04333 | X |
| Control | 3 | 2.17333 | X |

| <i>Contraste</i> | <i>Sig.</i> | <i>Diferencia</i> | <i>+/- Límites</i> |
|------------------|-------------|-------------------|--------------------|
| Control - T1 | * | 0.566667 | 0.326392 |
| Control - T2 | * | 0.466667 | 0.326392 |
| Control - T3 | * | 0.636667 | 0.326392 |
| Control - T4 | | 0.13 | 0.326392 |
| Control - T5 | * | 0.493333 | 0.326392 |
| T1 - T2 | | -0.1 | 0.326392 |
| T1 - T3 | | 0.07 | 0.326392 |
| T1 - T4 | * | -0.436667 | 0.326392 |
| T1 - T5 | | -0.0733333 | 0.326392 |
| T2 - T3 | | 0.17 | 0.326392 |
| T2 - T4 | * | -0.336667 | 0.326392 |
| T2 - T5 | | 0.0266667 | 0.326392 |
| T3 - T4 | * | -0.506667 | 0.326392 |
| T3 - T5 | | -0.143333 | 0.326392 |
| T4 - T5 | * | 0.363333 | 0.326392 |

Anexo 23. Pruebas de Múltiple Rangos para Dureza por Tratamiento

| <i>Tratamientos</i> | <i>Casos</i> | <i>Media</i> | <i>Grupos Homogéneos</i> |
|---------------------|--------------|--------------|--------------------------|
| T2 | 3 | 67.4333 | X |
| T4 | 3 | 67.6967 | X |
| T1 | 3 | 73.42 | XX |
| T3 | 3 | 77.8633 | XX |
| Control | 3 | 81.46 | XX |
| T5 | 3 | 90.9733 | X |

| <i>Contraste</i> | <i>Sig.</i> | <i>Diferencia</i> | <i>+/- Limites</i> |
|------------------|-------------|-------------------|--------------------|
| Control - T1 | | 8.04 | 23.1128 |
| Control - T2 | | 14.0267 | 23.1128 |
| Control - T3 | | 3.59667 | 23.1128 |
| Control - T4 | | 13.7633 | 23.1128 |
| Control - T5 | | -9.51333 | 23.1128 |
| T1 - T2 | | 5.98667 | 23.1128 |
| T1 - T3 | | -4.44333 | 23.1128 |
| T1 - T4 | | 5.72333 | 23.1128 |
| T1 - T5 | | -17.5533 | 23.1128 |
| T2 - T3 | | -10.43 | 23.1128 |
| T2 - T4 | | -0.263333 | 23.1128 |
| T2 - T5 | * | -23.54 | 23.1128 |
| T3 - T4 | | 10.1667 | 23.1128 |
| T3 - T5 | | -13.11 | 23.1128 |
| T4 - T5 | * | -23.2767 | 23.1128 |

**Anexo 24. Pruebas de Múltiple Rangos para Fracturabilidad por
Tratamiento**

| <i>Tratamientos</i> | <i>Casos</i> | <i>Media</i> | <i>Grupos Homogéneos</i> |
|---------------------|--------------|--------------|--------------------------|
| T4 | 3 | 1.43 | X |
| T3 | 3 | 1.58 | X |
| T1 | 3 | 1.62667 | X |
| T5 | 3 | 2.45667 | X |
| Control | 3 | 2.90333 | X |
| T2 | 3 | 3.19 | X |

| <i>Contraste</i> | <i>Sig.</i> | <i>Diferencia</i> | <i>+/- Limites</i> |
|------------------|-------------|-------------------|--------------------|
| Control - T1 | | 1.27667 | 2.23119 |
| Control - T2 | | -0.286667 | 2.23119 |
| Control - T3 | | 1.32333 | 2.23119 |
| Control - T4 | | 1.47333 | 2.23119 |
| Control - T5 | | 0.446667 | 2.23119 |
| T1 - T2 | | -1.56333 | 2.23119 |
| T1 - T3 | | 0.0466667 | 2.23119 |
| T1 - T4 | | 0.196667 | 2.23119 |
| T1 - T5 | | -0.83 | 2.23119 |
| T2 - T3 | | 1.61 | 2.23119 |
| T2 - T4 | | 1.76 | 2.23119 |
| T2 - T5 | | 0.733333 | 2.23119 |
| T3 - T4 | | 0.15 | 2.23119 |
| T3 - T5 | | -0.876667 | 2.23119 |
| T4 - T5 | | -1.02667 | 2.23119 |

Anexo 25. Resumen Estadístico del Color

| <i>Tratamiento</i> | <i>Recuento</i> | <i>Promedio</i> | <i>Desviación Estándar</i> | <i>Coficiente de Variación</i> | <i>Mínimo</i> | <i>Máximo</i> |
|--------------------|-----------------|-----------------|----------------------------|--------------------------------|---------------|---------------|
| Control | 3 | 26.8833 | 1.4561 | 5.41637% | 25.27 | 28.1 |
| T1 | 3 | 31.58 | 0.286182 | 0.906212% | 31.31 | 31.88 |
| T2 | 3 | 28.07 | 0.385876 | 1.37469% | 27.67 | 28.44 |
| T3 | 3 | 30.6833 | 1.53115 | 4.99018% | 29.74 | 32.45 |
| T4 | 3 | 29.84 | 0.942974 | 3.1601% | 28.82 | 30.68 |
| T5 | 3 | 30.6233 | 2.01153 | 6.5686% | 29.32 | 32.94 |
| Total | 18 | 29.6133 | 1.98552 | 6.7048% | 25.27 | 32.94 |

| <i>Tratamiento</i> | <i>Rango</i> | <i>Sesgo Estandarizado</i> | <i>Curtosis Estandarizada</i> |
|--------------------|--------------|----------------------------|-------------------------------|
| Control | 2.83 | -0.802497 | |
| T1 | 0.57 | 0.329897 | |
| T2 | 0.77 | -0.245889 | |
| T3 | 2.71 | 1.21629 | |
| T4 | 1.86 | -0.585262 | |
| T5 | 3.62 | 1.19617 | |
| Total | 7.67 | -0.385369 | -0.093054 |

Anexo 26. Resumen Estadístico del Espesor

| <i>Tratamiento</i> | <i>Recuento</i> | <i>Promedio</i> | <i>Desviación Estándar</i> | <i>Coefficiente de Variación</i> | <i>Mínimo</i> | <i>Máximo</i> |
|--------------------|-----------------|-----------------|----------------------------|----------------------------------|---------------|---------------|
| Control | 2 | 3.08 | 0.141421 | 4.5916% | 2.98 | 3.18 |
| T1 | 2 | 2.47 | 0.113137 | 4.58045% | 2.39 | 2.55 |
| T2 | 2 | 2.2 | 0.0707107 | 3.21412% | 2.15 | 2.25 |
| T3 | 2 | 2.81 | 0.0282843 | 1.00656% | 2.79 | 2.83 |
| T4 | 2 | 2.265 | 0.0212132 | 0.936565% | 2.25 | 2.28 |
| T5 | 2 | 3.17 | 0.0282843 | 0.892248% | 3.15 | 3.19 |
| Total | 12 | 2.66583 | 0.400555 | 15.0255% | 2.15 | 3.19 |

| <i>Tratamiento</i> | <i>Rango</i> | <i>Sesgo Estandarizado</i> | <i>Curtosis Estandarizada</i> |
|--------------------|--------------|----------------------------|-------------------------------|
| Control | 0.2 | | |
| T1 | 0.16 | | |
| T2 | 0.1 | | |
| T3 | 0.04 | | |
| T4 | 0.03 | | |
| T5 | 0.04 | | |
| Total | 1.04 | 0.167428 | -1.25151 |

Anexo 27. Resumen Estadístico de Densidad

| <i>Tratamiento</i> | <i>Recuento</i> | <i>Promedio</i> | <i>Desviación Estándar</i> | <i>Coefficiente de Variación</i> | <i>Mínimo</i> | <i>Máximo</i> |
|--------------------|-----------------|-----------------|----------------------------|----------------------------------|---------------|---------------|
| Control | 2 | 0.3305 | 0.0162635 | 4.92086% | 0.319 | 0.342 |
| T1 | 2 | 0.412 | 0.0919239 | 22.3116% | 0.347 | 0.477 |
| T2 | 2 | 0.3015 | 0.0233345 | 7.73948% | 0.285 | 0.318 |
| T3 | 2 | 0.351 | 0.00282843 | 0.80582% | 0.349 | 0.353 |
| T4 | 2 | 0.2745 | 0.00636396 | 2.31838% | 0.27 | 0.279 |
| T5 | 2 | 0.2505 | 0.00353553 | 1.41139% | 0.248 | 0.253 |
| Total | 12 | 0.32 | 0.0624325 | 19.5102% | 0.248 | 0.477 |

| <i>Tratamiento</i> | <i>Rango</i> | <i>Sesgo Estandarizado</i> | <i>Curtosis Estandarizada</i> |
|--------------------|--------------|----------------------------|-------------------------------|
| Control | 0.023 | | |
| T1 | 0.13 | | |
| T2 | 0.033 | | |
| T3 | 0.004 | | |
| T4 | 0.009 | | |
| T5 | 0.005 | | |
| Total | 0.229 | 1.93345 | 2.04578 |

Anexo 28. Resumen Estadístico de Humedad

| <i>Tratamiento</i> | <i>Recuento</i> | <i>Promedio</i> | <i>Desviación Estándar</i> | <i>Coficiente de Variación</i> | <i>Mínimo</i> | <i>Máximo</i> |
|--------------------|-----------------|-----------------|----------------------------|--------------------------------|---------------|---------------|
| Control | 3 | 6.48333 | 0.188768 | 2.91159% | 6.32 | 6.69 |
| T1 | 3 | 3.85 | 0.0264575 | 0.687208% | 3.83 | 3.88 |
| T2 | 3 | 5.68333 | 0.166533 | 2.9302% | 5.55 | 5.87 |
| T3 | 3 | 4.01667 | 0.174738 | 4.35032% | 3.87 | 4.21 |
| T4 | 3 | 4.97667 | 0.0929157 | 1.86703% | 4.9 | 5.08 |
| T5 | 3 | 4.31 | 0.10583 | 2.45545% | 4.23 | 4.43 |
| Total | 18 | 4.88667 | 0.979123 | 20.0366% | 3.83 | 6.69 |

| <i>Tratamiento</i> | <i>Rango</i> | <i>Sesgo Estandarizado</i> | <i>Curiosis Estandarizada</i> |
|--------------------|--------------|----------------------------|-------------------------------|
| Control | 0.37 | 0.691959 | |
| T1 | 0.05 | 1.03086 | |
| T2 | 0.32 | 0.914531 | |
| T3 | 0.34 | 0.789189 | |
| T4 | 0.18 | 0.838003 | |
| T5 | 0.2 | 1.03086 | |
| Total | 2.86 | 0.992465 | -0.925983 |

Anexo 29. Resumen Estadístico de CAA

| <i>Tratamiento</i> | <i>Recuento</i> | <i>Promedio</i> | <i>Desviación Estándar</i> | <i>Coefficiente de Variación</i> | <i>Mínimo</i> | <i>Máximo</i> |
|--------------------|-----------------|-----------------|----------------------------|----------------------------------|---------------|---------------|
| Control | 2 | 42.325 | 0.666095 | 1.57376% | 41.854 | 42.796 |
| T1 | 2 | 33.2305 | 1.05147 | 3.16416% | 32.487 | 33.974 |
| T2 | 2 | 39.0505 | 1.06985 | 2.73966% | 38.294 | 39.807 |
| T3 | 2 | 23.069 | 0.0509117 | 0.220693% | 23.033 | 23.105 |
| T4 | 2 | 24.076 | 0.336583 | 1.398% | 23.838 | 24.314 |
| T5 | 2 | 21.863 | 0.930553 | 4.25629% | 21.205 | 22.521 |
| Total | 12 | 30.6023 | 8.45585 | 27.6314% | 21.205 | 42.796 |

| <i>Tratamiento</i> | <i>Rango</i> | <i>Sesgo Estandarizado</i> | <i>Curiosis Estandarizada</i> |
|--------------------|--------------|----------------------------|-------------------------------|
| Control | 0.942 | | |
| T1 | 1.487 | | |
| T2 | 1.513 | | |
| T3 | 0.072 | | |
| T4 | 0.476 | | |
| T5 | 1.316 | | |
| Total | 21.591 | 0.445657 | -1.30201 |

Anexo 30. Resumen Estadístico de Sólidos Volátiles

| <i>Tratamientos</i> | <i>Recuento</i> | <i>Promedio</i> | <i>Desviación Estándar</i> | <i>Coefficiente de Variación</i> | <i>Mínimo</i> | <i>Máximo</i> |
|---------------------|-----------------|-----------------|----------------------------|----------------------------------|---------------|---------------|
| Control | 2 | 99.0315 | 0.719128 | 0.72616% | 98.523 | 99.54 |
| T1 | 2 | 97.699 | 0.145664 | 0.149095% | 97.596 | 97.802 |
| T2 | 2 | 97.3285 | 0.270822 | 0.278255% | 97.137 | 97.52 |
| T3 | 2 | 97.1535 | 1.22966 | 1.26569% | 96.284 | 98.023 |
| T4 | 2 | 95.3335 | 0.092631 | 0.0971652% | 95.268 | 95.399 |
| T5 | 2 | 98.213 | 0.206475 | 0.210232% | 98.067 | 98.359 |
| Total | 12 | 97.4598 | 1.26595 | 1.29895% | 95.268 | 99.54 |

| <i>Tratamientos</i> | <i>Rango</i> | <i>Sesgo Estandarizado</i> | <i>Curtosis Estandarizada</i> |
|---------------------|--------------|----------------------------|-------------------------------|
| Control | 1.017 | | |
| T1 | 0.206 | | |
| T2 | 0.383 | | |
| T3 | 1.739 | | |
| T4 | 0.131 | | |
| T5 | 0.292 | | |
| Total | 4.272 | -0.727463 | -0.0779489 |

Anexo 31. Resumen Estadístico de Tensión

| <i>Tratamientos</i> | <i>Recuento</i> | <i>Promedio</i> | <i>Desviación Estándar</i> | <i>Coefficiente de Variación</i> | <i>Mínimo</i> | <i>Máximo</i> |
|---------------------|-----------------|-----------------|----------------------------|----------------------------------|---------------|---------------|
| Control | 3 | 3.30667 | 0.635793 | 19.2276% | 2.91 | 4.04 |
| T1 | 3 | 2.87333 | 0.222336 | 7.73791% | 2.74 | 3.13 |
| T2 | 3 | 3.31667 | 0.231805 | 6.98908% | 3.05 | 3.47 |
| T3 | 3 | 2.84 | 0.242487 | 8.53828% | 2.58 | 3.06 |
| T4 | 3 | 3.43 | 0.111355 | 3.24651% | 3.31 | 3.53 |
| T5 | 3 | 3.22667 | 0.496421 | 15.3849% | 2.71 | 3.7 |
| Total | 18 | 3.16556 | 0.389075 | 12.2909% | 2.58 | 4.04 |

| <i>Tratamientos</i> | <i>Rango</i> | <i>Sesgo Estandarizado</i> | <i>Curtosis Estandarizada</i> |
|---------------------|--------------|----------------------------|-------------------------------|
| Control | 1.13 | 1.21249 | |
| T1 | 0.39 | 1.22196 | |
| T2 | 0.42 | -1.18384 | |
| T3 | 0.48 | -0.510608 | |
| T4 | 0.22 | -0.553065 | |
| T5 | 0.99 | -0.275644 | |
| Total | 1.46 | 0.874236 | -0.149367 |

Anexo 32. Resumen Estadístico de Elongación

| <i>Tratamientos</i> | <i>Recuento</i> | <i>Promedio</i> | <i>Desviación Estándar</i> | <i>Coefficiente de Variación</i> | <i>Mínimo</i> | <i>Máximo</i> |
|---------------------|-----------------|-----------------|----------------------------|----------------------------------|---------------|---------------|
| Control | 3 | 2.17333 | 0.355715 | 16.3673% | 1.86 | 2.56 |
| T1 | 3 | 1.60667 | 0.0378594 | 2.35639% | 1.58 | 1.65 |
| T2 | 3 | 1.70667 | 0.0763763 | 4.47517% | 1.64 | 1.79 |
| T3 | 3 | 1.53667 | 0.0750555 | 4.88431% | 1.46 | 1.61 |
| T4 | 3 | 2.04333 | 0.125033 | 6.11909% | 1.9 | 2.13 |
| T5 | 3 | 1.68 | 0.216564 | 12.8907% | 1.45 | 1.88 |
| Total | 18 | 1.79111 | 0.285717 | 15.9519% | 1.45 | 2.56 |

| <i>Tratamientos</i> | <i>Rango</i> | <i>Sesgo Estandarizado</i> | <i>Curtosis Estandarizada</i> |
|---------------------|--------------|----------------------------|-------------------------------|
| Control | 0.7 | 0.628109 | |
| T1 | 0.07 | 1.12932 | |
| T2 | 0.15 | 0.6613 | |
| T3 | 0.15 | -0.141038 | |
| T4 | 0.23 | -1.1459 | |
| T5 | 0.43 | -0.432332 | |
| Total | 1.11 | 2.12102 | 1.40769 |

Anexo 33. Resumen Estadístico de Dureza

| <i>Tratamientos</i> | <i>Recuento</i> | <i>Promedio</i> | <i>Desviación Estándar</i> | <i>Coefficiente de Variación</i> | <i>Mínimo</i> | <i>Máximo</i> |
|---------------------|-----------------|-----------------|----------------------------|----------------------------------|---------------|---------------|
| Control | 3 | 81.46 | 19.565 | 24.0179% | 61.88 | 101.01 |
| T1 | 3 | 73.42 | 4.76224 | 6.48629% | 69.14 | 78.55 |
| T2 | 3 | 67.4333 | 18.0514 | 26.7693% | 54.52 | 88.06 |
| T3 | 3 | 77.8633 | 9.54493 | 12.2586% | 70.51 | 88.65 |
| T4 | 3 | 67.6967 | 7.31105 | 10.7997% | 59.92 | 74.43 |
| T5 | 3 | 90.9733 | 11.6993 | 12.8602% | 77.47 | 98.07 |
| Total | 18 | 76.4744 | 13.8072 | 18.0547% | 54.52 | 101.01 |

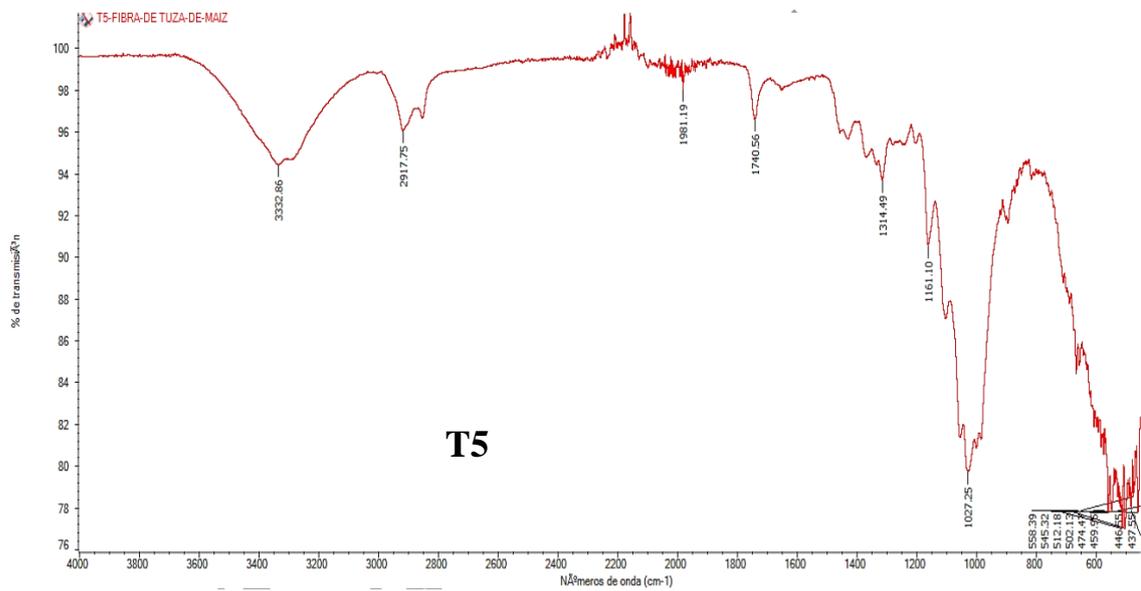
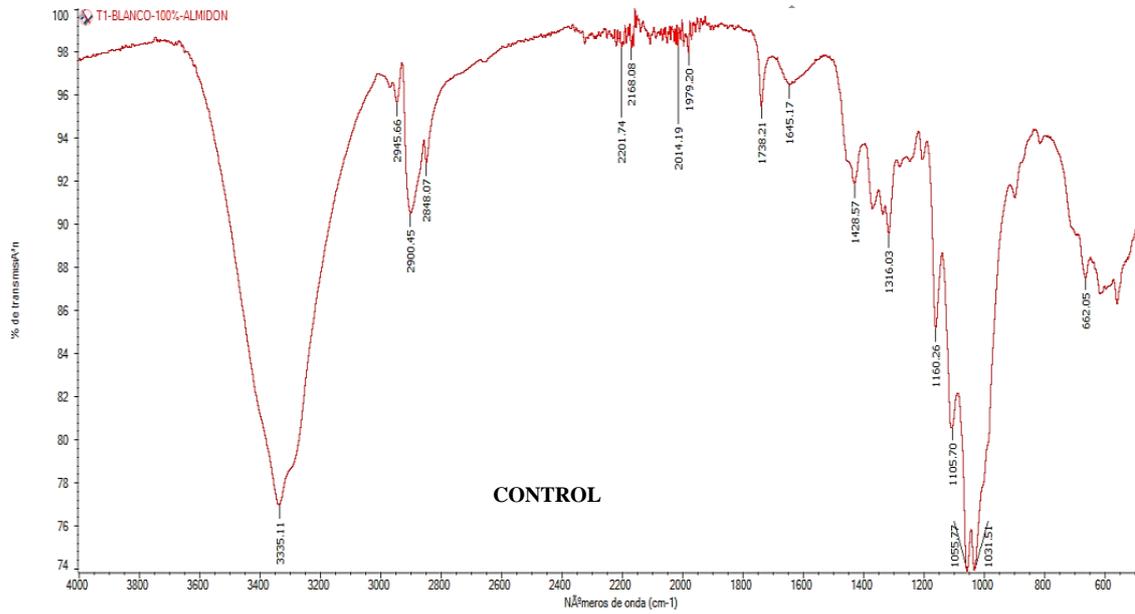
| <i>Tratamientos</i> | <i>Rango</i> | <i>Sesgo Estandarizado</i> | <i>Curtosis Estandarizada</i> |
|---------------------|--------------|----------------------------|-------------------------------|
| Control | 39.13 | -0.00487908 | |
| T1 | 9.41 | 0.54985 | |
| T2 | 33.54 | 1.1114 | |
| T3 | 18.14 | 0.996475 | |
| T4 | 14.51 | -0.444841 | |
| T5 | 20.6 | -1.21995 | |
| Total | 46.49 | 0.583421 | -0.629461 |

Anexo 34. Resumen Estadístico de Fracturabilidad

| <i>Tratamientos</i> | <i>Recuento</i> | <i>Promedio</i> | <i>Desviación Estándar</i> | <i>Coefficiente de Variación</i> | <i>Mínimo</i> | <i>Máximo</i> |
|---------------------|-----------------|-----------------|----------------------------|----------------------------------|---------------|---------------|
| Control | 3 | 2.90333 | 1.5335 | 52.8187% | 1.7 | 4.63 |
| T1 | 3 | 1.62667 | 0.6812 | 41.877% | 0.97 | 2.33 |
| T2 | 3 | 3.19 | 1.86759 | 58.5452% | 1.46 | 5.17 |
| T3 | 3 | 1.58 | 0.932148 | 58.9967% | 0.85 | 2.63 |
| T4 | 3 | 1.43 | 0.599083 | 41.8939% | 0.98 | 2.11 |
| T5 | 3 | 2.45667 | 1.38077 | 56.2051% | 1.61 | 4.05 |
| Total | 18 | 2.19778 | 1.26992 | 57.7819% | 0.85 | 5.17 |

| <i>Tratamientos</i> | <i>Rango</i> | <i>Sesgo Estandarizado</i> | <i>Curtosis Estandarizada</i> |
|---------------------|--------------|----------------------------|-------------------------------|
| Control | 2.93 | 0.959436 | |
| T1 | 1.36 | 0.216964 | |
| T2 | 3.71 | 0.418314 | |
| T3 | 1.78 | 0.963618 | |
| T4 | 1.13 | 1.04157 | |
| T5 | 2.44 | 1.21752 | |
| Total | 4.32 | 2.15443 | 0.649742 |

Anexo 35. Espectros de FTIR, búsqueda de picos de las bandejas del Control y T5



Anexo 36. Obtención del almidón de umarí



Selección y desinfectado de las dos variedades de umarí



Despulpado del umarí



Extracción de almendras



Licudo y sedimentado



Secado



Molienda y tamizado

Anexo 37. Obtención de la harina de tusa de maíz amarillo duro



Trozado de la tusa



Molienda



Tamizado



Harina de tusa

Anexo 38. Elaboración de las bandejas biodegradables



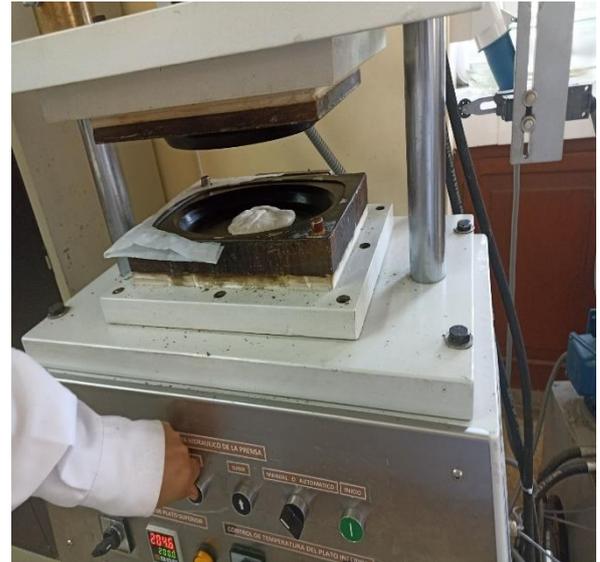
Pesado según formulación



Batido



Pesado de la masa



Termoformado

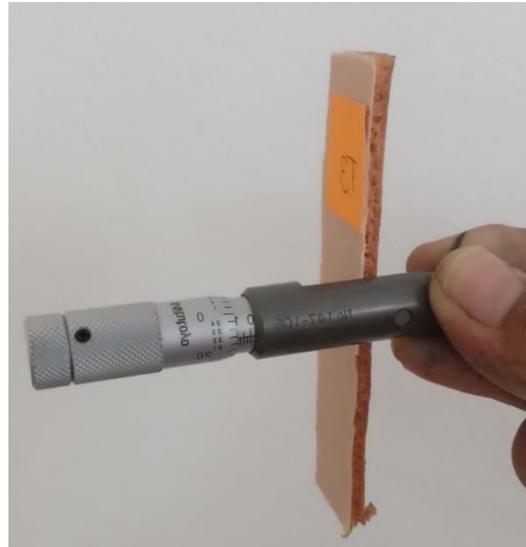


Bandejas biodegradables

Anexo 39. Análisis físicos de las bandejas biodegradables



Análisis de Humedad



Medida de espesor



Sólidos volátiles



Densidad



Análisis de absorción de agua

Anexo 40. Variedades de umarí



Variedad amarilla



Variedad negra

“Bandejas biodegradables a partir de almidón de umarí (Poraqueiba Serícea T.) y tusa de maíz amarillo duro (Zea Mays)”

por ALEXANDRA HUERTAS RODRIGUEZ

Fecha de entrega: 16-nov-2023 12:36a.m. (UTC-0500)

Identificador de la entrega: 2229819275

Nombre del archivo: A_BIODEGRADABLE_DE_ALMIDON_DE_UMARI_Y_FIBRA_DE_TUSA_DE_MAIZ.docx (10.01M)

Total de palabras: 21492

Total de caracteres: 118509

| | | |
|----|--|------|
| 9 | docplayer.es Fuente de Internet | <1 % |
| 10 | tesis.ipn.mx Fuente de Internet | <1 % |
| 11 | issuu.com Fuente de Internet | <1 % |
| 12 | orcid.org Fuente de Internet | <1 % |
| 13 | repositorio.unamba.edu.pe Fuente de Internet | <1 % |
| 14 | revistas.unsm.edu.pe Fuente de Internet | <1 % |
| 15 | repositorio.uteq.edu.ec Fuente de Internet | <1 % |
| 16 | Submitted to Universidad Católica San Pablo Trabajo del estudiante | <1 % |
| 17 | www.unapiquitos.edu.pe Fuente de Internet | <1 % |
| 18 | es.scribd.com Fuente de Internet | <1 % |
| 19 | www.researchgate.net Fuente de Internet | <1 % |
| 20 | Submitted to Universidad Nacional del Santa Trabajo del estudiante | <1 % |

| | | |
|----|--|------|
| 21 | www.repositorio.usac.edu.gt Fuente de Internet | <1 % |
| 22 | ridum.umanizales.edu.co Fuente de Internet | <1 % |
| 23 | repositorio.utmachala.edu.ec Fuente de Internet | <1 % |
| 24 | repositorio.udh.edu.pe Fuente de Internet | <1 % |
| 25 | cicy.repositorioinstitucional.mx Fuente de Internet | <1 % |
| 26 | vsip.info Fuente de Internet | <1 % |
| 27 | dspace.esPOCH.edu.ec Fuente de Internet | <1 % |
| 28 | Submitted to Universidad Continental Trabajo del estudiante | <1 % |
| 29 | repositorio.uta.edu.ec Fuente de Internet | <1 % |
| 30 | www.agronomia.unal.edu.co Fuente de Internet | <1 % |
| 31 | Submitted to Universidad Politecnica Salesiana del Ecuador Trabajo del estudiante | <1 % |
| 32 | www.slideshare.net Fuente de Internet | |

<1 %

33

repositorio.unam.edu.pe

Fuente de Internet

<1 %

34

repositorio.unsm.edu.pe

Fuente de Internet

<1 %

35

Submitted to Universidad Tecnologica de los Andes

Trabajo del estudiante

<1 %

36

dspace.ups.edu.ec

Fuente de Internet

<1 %

37

Submitted to espam

Trabajo del estudiante

<1 %

38

repositorio.utn.edu.ec

Fuente de Internet

<1 %

39

bdigital.zamorano.edu

Fuente de Internet

<1 %

40

www.scribd.com

Fuente de Internet

<1 %

41

Arturo Barjola Ruiz. "Membranas poliméricas de intercambio iónico con aplicación en pilas de combustible de temperatura intermedia", Universitat Politecnica de Valencia, 2023

Publicación

<1 %

repositorio.unia.edu.pe

| | | |
|----|---|------|
| 42 | Fuente de Internet | <1 % |
| 43 | repositorio.utc.edu.ec Fuente de Internet | <1 % |
| 44 | www.youblisher.com Fuente de Internet | <1 % |
| 45 | Submitted to Universidad Alfonso X el Sabio Trabajo del estudiante | <1 % |
| 46 | Submitted to Universidad Carlos III de Madrid Trabajo del estudiante | <1 % |
| 47 | repositorio.ucv.edu.pe Fuente de Internet | <1 % |
| 48 | rinacional.tecnm.mx Fuente de Internet | <1 % |
| 49 | www.revistas.unitru.edu.pe Fuente de Internet | <1 % |
| 50 | core.ac.uk Fuente de Internet | <1 % |

Excluir citas

Activo

Excluir coincidencias < 15 words

Excluir bibliografía

Activo