

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



UNS
UNIVERSIDAD
NACIONAL DEL SANTA

“Bandejas biodegradables a partir de semilla de mango y residuos de la industria azucarera y molinera de arroz”

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

Autores:

Bach. Corpus Gomez, Anghelo David
Bach. Bocanegra Felix, Roberto Carlos

Asesora:

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

Co-Asesor:

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

NUEVO CHIMBOTE - PERÚ
2024

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



CARTA DE CONFORMIDAD DEL ASESOR

La presente tesis para Título ha sido revisada y desarrollada en cumplimiento del objetivo propuesto y reúne las condiciones formales y metodológicas, estando en cuadro dentro de las áreas y líneas de investigación conforme al reglamento general para obtener el Título Profesional en la Universidad Nacional del Santa de acuerdo a la denominación siguiente

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

**“BANDEJAS BIODEGRADABLES A PARTIR DE SEMILLA DE MANGO Y RESIDUOS
DE LA INDUSTRIA AZUCARERA Y MOLINERA DE ARROZ”**

Autores:

Bach. Corpus Gomez Anghelo David

Bach. Bocanegra Felix Roberto Carlos

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

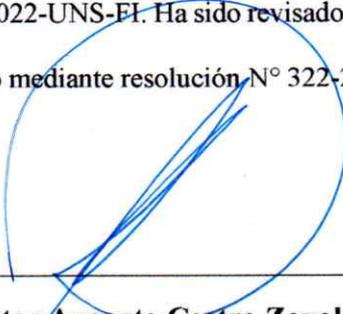
UNIVERSIDAD NACIONAL DEL SANTA
FACULTAD DE INGENIERÍA
ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA AGROINDUSTRIAL



UNS
UNIVERSIDAD
NACIONAL DEL SANTA

ACTA DE CONFORMIDAD DEL JURADO

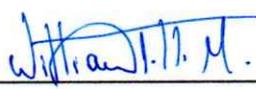
El presente trabajo de tesis titulado “BANDEJAS BIODEGRADABLES A PARTIR DE SEMILLA DE MANGO Y RESIDUOS DE LA INDUSTRIA AZUCARERA Y MOLINERA DE ARROZ”, para obtener el título profesional de Ingeniero Agroindustrial, presentado por los bachilleres: Corpus Gomez Anghelo David, con código de matrícula N° 0201812035 y Bocanegra Felix Roberto Carlos, con código de matrícula N° 0201812017, que tienen como Asesor a la Dra. Elza Berta Aguirre Vargas, designada por resolución decanal N° 555-2022-UNS-El. Ha sido revisado y aprobado el día 19 de julio del 2024 por el siguiente jurado valuator, designado mediante resolución N° 322-2024-UNS-CFI.



Dr. Víctor Augusto Castro Zavaleta
Presidente
DNI: 17859760
Código ORCID: 0000-0003-321442698



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



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

ACTA DE SUSTENTACIÓN DE TESIS

Siendo las 10:00 horas del día diecinueve de julio del dos mil veinticuatro, se instalaron en el Auditorio de la EPIA, el Jurado Evaluador, designado mediante T/Resolución N° 322-2024-UNS-CFI integrado por los docentes:

- **Dr. Víctor Augusto Castro Zavaleta** (Presidente)
- **Dra. Elza Berta Aguirre Vargas** (Secretario)
- **Dr. Williams Esteward Castillo Martínez** (Integrante)
- **Ms. Any Berenice Córdova Chang** (Accesitario)

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

“BANDEJAS BIODEGRADABLES A PARTIR DE SEMILLA DE MANGO Y RESIDUOS DE LA INDUSTRIA AZUCARERA Y MOLINERA DE ARROZ”, elaborado por los bachilleres en Ingeniería Agroindustrial.

- **CORPUS GOMEZ ANGHELO DAVID**
- **BOCANEGRA FELIX ROBERTO CARLOS**

Asimismo, tiene como Asesor a la docente: **Dr. Elza Berta Aguirre Vargas**.

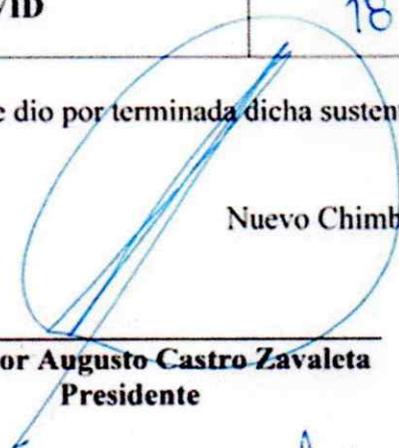
Finalizada la sustentación, el Tesista respondió las preguntas formuladas por los miembros del Jurado Evaluador.

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

BACHILLER	PROMEDIO VIGESIMAL	PONDERACIÓN
CORPUS GOMEZ ANGHELO DAVID	18	BUENO

Siendo las 11:30 horas del mismo día, se dio por terminada dicha sustentación, firmando en señal de conformidad el Jurado Evaluador.

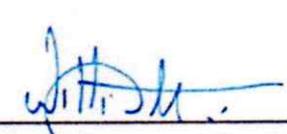
Nuevo Chimbote, 19 de julio del 2024.



Dr. Víctor Augusto Castro Zavaleta
Presidente



Dra. Elza Berta Aguirre Vargas
Secretario



Dr. Williams Esteward Castillo Martínez
Integrante

ACTA DE SUSTENTACIÓN DE TESIS

Siendo las 10:00 horas del día diecinueve de julio del dos mil veinticuatro, se instalaron en el Auditorio de la EPIA, el Jurado Evaluador, designado mediante T/Resolución N° 322-2024-UNS-CFI integrado por los docentes:

- **Dr. Víctor Augusto Castro Zavaleta** (Presidente)
- **Dra. Elza Berta Aguirre Vargas** (Secretario)
- **Dr. Williams Esteward Castillo Martínez** (Integrante)
- **Ms. Any Berenice Córdova Chang** (Accesitario)

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

“BANDEJAS BIODEGRADABLES A PARTIR DE SEMILLA DE MANGO Y RESIDUOS DE LA INDUSTRIA AZUCARERA Y MOLINERA DE ARROZ”, elaborado por los bachilleres en Ingeniería Agroindustrial.

- **CORPUS GOMEZ ANGHELO DAVID**
- **BOCANEGRA FELIX ROBERTO CARLOS**

Asimismo, tiene como Asesor a la docente: **Dr. Elza Berta Aguirre Vargas**.

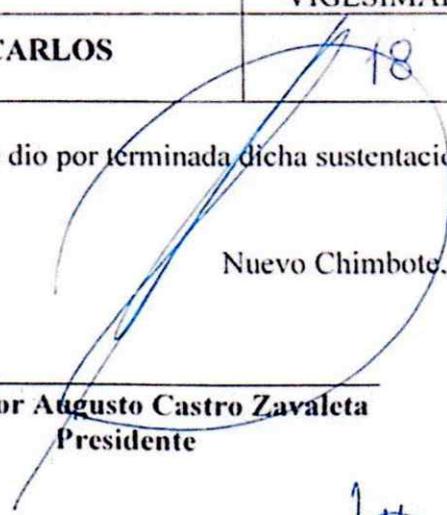
Finalizada la sustentación, el Tesista respondió las preguntas formuladas por los miembros del Jurado Evaluador.

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

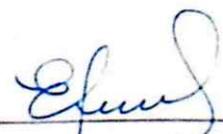
BACHILLER	PROMEDIO VIGESIMAL	PONDERACIÓN
BOCANEGRA FELIX ROBERTO CARLOS	18	BUENO

Siendo las 11:30 horas del mismo día, se dio por terminada dicha sustentación, firmando en señal de conformidad el Jurado Evaluador.

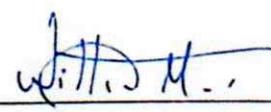
Nuevo Chimbote, 19 de julio del 2024.



Dr. Victor Augusto Castro Zavaleta
Presidente



Dra. Elza Berta Aguirre Vargas
Secretario



Dr. Williams Esteward Castillo Martínez
Integrante

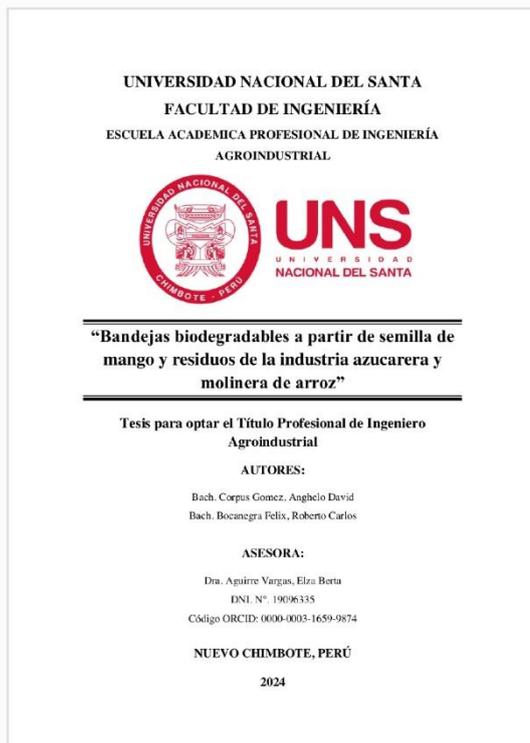


Recibo digital

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: Anghelo David Corpus Gomez
Título del ejercicio: Bandejas biodegradables a partir de semilla de mango y res...
Título de la entrega: TESIS - CORPUS & BOCANEGRA - Bandejas Biodegradables.p...
Nombre del archivo: TESIS_-_CORPUS_BOCANEGRA_-_Bandejas_Biodegradables.pdf
Tamaño del archivo: 6.04M
Total páginas: 223
Total de palabras: 49,808
Total de caracteres: 268,855
Fecha de entrega: 19-jul.-2024 02:49p. m. (UTC-0500)
Identificador de la entre... 2419302872



TESIS - CORPUS & BOCANEGRA - Bandejas Biodegradables.pdf

INFORME DE ORIGINALIDAD

20%	19%	6%	%
INDICE DE SIMILITUD	FUENTES DE INTERNET	PUBLICACIONES	TRABAJOS DEL ESTUDIANTE

FUENTES PRIMARIAS

1	repositorio.uns.edu.pe Fuente de Internet	8%
2	dspace.unitru.edu.pe Fuente de Internet	2%
3	hdl.handle.net Fuente de Internet	2%
4	vsip.info Fuente de Internet	1%
5	repositorio.lamolina.edu.pe Fuente de Internet	1%
6	repositorio.ucsg.edu.ec Fuente de Internet	<1%
7	revistas.unsm.edu.pe Fuente de Internet	<1%
8	cybertesis.unmsm.edu.pe Fuente de Internet	<1%
9	repositorio.ucv.edu.pe Fuente de Internet	

DEDICATORIA

A Dios por ser mi guía constante, dándome fortaleza, paciencia y sabiduría en los momentos más difíciles y permitiéndome alcanzar mis metas académicas y profesionales.

A mis padres, Elkin Corpus y María Gomez, quienes han sido mi principal motivación. Su amor incondicional y los valores que me inculcaron han sido fundamentales para mi desarrollo. Les estaré eternamente agradecido por su constante apoyo y todo lo que han hecho por mí.

A mi hermano, Emilio Corpus, quien siempre ha estado a mi lado en cada fase de mi vida, brindándome su apoyo incondicional y su amor. Su comprensión y compañía han sido esenciales para superar cada desafío que se ha presentado en mi camino.

A mi mascota Codie, por ser mi fiel compañero durante este arduo viaje académico, que con sus travesuras y ternura fueron una fuente constante de consuelo y felicidad.

A mis abuelos, tíos, primos y sobrinos, por su constante respaldo, sus sabios consejos y por tenerme presente en sus oraciones.

ANGHELO DAVID CORPUS GOMEZ

A Dios, por acompañarme siempre e iluminar mi camino, llenándome de la fortaleza necesaria para seguir adelante. Por guiarme, en cada etapa de mi vida y en especial en la presente, brindándome paciencia y sabiduría para afrontar las adversidades.

A mis padres; Roberto Bocanegra y Alberta Felix por la comprensión y el apoyo incondicional en cada paso; y por sus consejos que me formaron con valores y ayudaron a desarrollar mis alas para conseguir mis metas.

A mis hermanos; Anabel Bocanegra y Hector Bocanegra que, con su amor fraternal, consejos, complicidad y apoyo; me llenan de júbilo.

A mis sobrinos, primos y tíos por su ayuda, consejos y tenerme en sus oraciones.

ROBERTO CARLOS BOCANEGRA FELIX

AGRADECIMIENTO

Agradecemos a Dios por habernos guiado en todo momento y permitido culminar esta etapa universitaria tan significativa en nuestras vidas.

Expresamos nuestra profunda gratitud a nuestros padres por su amor incondicional, constante apoyo y sabios consejos, los cuales nos han motivado a perseverar a pesar de las dificultades.

A nuestra asesora, la ingeniera Elza Aguirre Vargas, cuya orientación constante y vasto conocimiento nos ha guiado en la realización de este trabajo, así como su apoyo para adquirir las materias primas y materiales necesarios para llevar a cabo nuestro proyecto.

Extendemos nuestro agradecimiento a nuestros compañeros de la Universidad Nacional del Santa, quienes nos brindaron su apoyo en algunas actividades durante la primera fase de nuestro proyecto, así como a los docentes técnicos de laboratorio por su invaluable apoyo en la segunda fase, contribuyendo en la obtención, ejecución y análisis de las bandejas biodegradables de nuestro proyecto de tesis.

A nuestros docentes ingenieros de la E.A.P. de Ingeniería Agroindustrial, por su contribución a nuestra formación profesional y compartirnos su amplio conocimiento, especialmente a los ingenieros Rodríguez Paucar Gilbert, Córdova Chang Berenice, Símpalo López Wilson, Castillo Martínez Williams y Gonzales Capcha John.

A la Ing. Arévalo María de Fátima, por ayudarnos en la realización y elaboración de las bandejas biodegradables en el Laboratorio de Microbiología y Toxicología de la Universidad Nacional del Santa.

ÍNDICE GENERAL

CONFORMIDAD DE ASESOR.....	i
CONFORMIDAD DE JURADO EVALUADOR	ii
ACTAS DE SUSTENTACIÓN.....	iii
DEDICATORIA.....	vii
AGRADECIMIENTO	viii
ÍNDICE GENERAL	ix
ÍNDICE DE TABLAS.....	xii
ÍNDICE DE FIGURAS	xiii
ÍNDICE DE ANEXOS	xv
RESUMEN	xviii
ABSTRACT	xix
I. INTRODUCCIÓN	1
II. FUNDAMENTO TEÓRICO	7
2.1. ENVASES DESECHABLES	7
2.2. BIODEGRADABILIDAD	7
2.3. ENVASES BIODEGRADABLES	8
2.4. RESIDUOS AGROINDUSTRIALES	9
2.4.1. Producción.....	10
2.4.2. Aplicaciones	10
2.5. MANGO (<i>Mangifera Indica</i>).....	11
2.5.1. Origen.....	11
2.5.2. Taxonomía.....	12
2.5.3. Características Botánicas del Mango	13
2.5.4. Cultivo y Producción Mundial	14
2.5.5. Cultivo y Producción Nacional	18
2.5.6. Aprovechamiento del Fruto.....	21
2.5.7. Semilla de Mango.....	22
2.6. CAÑA DE AZÚCAR (<i>Saccharum Officinarum L.</i>).....	25
2.6.1. Origen.....	26
2.6.2. Taxonomía.....	26
2.6.3. Características Botánicas de la Caña de Azúcar.....	27
2.6.4. Componentes y Subproductos.....	29

2.6.5. Cultivo y Producción Mundial	30
2.6.6. Cultivo y Producción Nacional	34
2.6.7. Bagazo de Caña de Azúcar.....	37
2.7. ARROZ (<i>Oryza Sativa</i>).....	41
2.7.1. Origen.....	42
2.7.2. Taxonomía.....	42
2.7.3. Características Botánicas del Arroz.....	43
2.7.4. Cultivo y Producción Mundial	43
2.7.5. Cultivo y Producción Nacional	47
2.7.6. Cascarilla de Arroz.....	49
2.8. ALMIDÓN.....	51
2.8.1. Amilosa	52
2.8.2. Amilopectina	52
2.8.3. Relación entre amilosa y amilopectina.....	52
2.8.4. Propiedades Fisicoquímicas del Almidón	53
III. MATERIALES Y MÉTODOS	55
3.1. MATERIALES	55
3.1.1. Materia Prima para la elaboración de las Bandejas Biodegradables..	55
3.1.2. Insumos para la elaboración de bandejas biodegradables.....	56
3.1.3. Materiales Indirectos para la elaboración de las Bandejas Biodegradables.....	56
3.2. EQUIPOS	57
3.2.1. Equipos para la elaboración de las bandejas biodegradables.....	57
3.2.2. Equipos e instrumentos para el análisis de las bandejas biodegradables.....	58
3.3. METODOLOGÍA.....	59
3.3.1. Proceso de obtención de almidón de semilla de mango.....	59
3.3.2. Proceso de obtención de fibras de bagazo de caña de azúcar y cascarilla de arroz.....	63
3.3.3. Proceso de elaboración de las bandejas biodegradables.....	65
3.3.4. Caracterización y análisis de las materias primas.....	67
3.3.5. Caracterización y análisis de las bandejas biodegradables	68
3.3.6. Diseño de la Investigación	72
3.3.7. Análisis Estadístico	75

IV.	RESULTADOS Y DISCUSIONES	76
4.1.	CARACTERIZACIÓN DE MATERIA PRIMA.....	76
4.1.1.	Análisis Proximal de fibra de cascarilla de arroz	76
4.1.2.	Análisis Proximal de fibra de bagazo de caña de azúcar	77
4.1.3.	Análisis Proximal de almidón de semilla de mango	78
4.1.4.	Contenido de amilosa y amilopectina en almidón de semilla de mango.	79
4.2.	CARACTERIZACIÓN DE LAS BANDEJAS BIODEGRADABLES	81
4.2.1.	Análisis de color.....	81
4.2.2.	Espesor.	93
4.2.3.	Densidad.....	97
4.2.4.	Humedad.	101
4.2.5.	Capacidad de Absorción de Agua (CAA).....	105
4.2.6.	Propiedades Mecánicas	111
4.2.6.1	<i>Resistencia a la Tracción</i>	111
4.2.6.2	<i>Elongación</i>	116
4.2.6.3	<i>Dureza</i>	120
4.2.6.4	<i>Fracturabilidad</i>	124
4.2.7.	Microscopía Electrónica de Barrido (SEM).....	129
4.2.8.	Espectroscopía Infrarroja por Transformada de Fourier (FTIR).....	132
4.2.9.	Análisis Termogravimétrico.....	138
V.	CONCLUSIONES	142
VI.	RECOMENDACIONES	143
VII.	REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	144
VIII.	ANEXOS.....	171

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1. Clasificación taxonómica del mango.	12
Tabla 2. Principales países productores (toneladas) de mango entre el 2018 y 2022..	17
Tabla 3. Composición proximal de la semilla de mango.	24
Tabla 4. Clasificación taxonómica de la caña de azúcar.	27
Tabla 5. Masa y energía primaria de los componentes de la caña de azúcar.	30
Tabla 6. Principales países productores (toneladas) de caña de azúcar entre el 2018 y 2022.	34
Tabla 7. Composición química del bagazo de caña de azúcar.	39
Tabla 8. Clasificación taxonómica del arroz.	42
Tabla 9. Principales países productores (toneladas) de arroz entre 2018 y 2022.	46
Tabla 10. Composición química de la cascarilla de arroz.	51
Tabla 11. Diseño Completamente al Azar (DCA)	73
Tabla 12. Croquis de aleatorización.	74
Tabla 13. Formulaciones de estudio para las bandejas biodegradables.	75
Tabla 14. Composición proximal de fibra de cascarilla de arroz.	76
Tabla 15. Composición proximal de fibra de bagazo de caña de azúcar.	77
Tabla 16. Composición proximal del almidón de semilla de mango.	78
Tabla 17. Composición del almidón de semilla de mango.	80
Tabla 18. Medias de los parámetros L*, a*, b* y ΔE de las bandejas biodegradables en los diferentes tratamientos.	81
Tabla 19. Análisis de varianza (ANOVA) para el parámetro L*.	84
Tabla 20. Análisis de varianza (ANOVA) para el parámetro a*.	87
Tabla 21. Análisis de varianza (ANOVA) para el parámetro b*.	90
Tabla 22. Análisis de varianza (ANOVA) para Color.	92
Tabla 23. Análisis de varianza (ANOVA) para el espesor.	95
Tabla 24. Análisis de varianza (ANOVA) para el Densidad.	100
Tabla 25. Análisis de varianza (ANOVA) para el contenido de Humedad.	103
Tabla 26. Análisis de varianza (ANOVA) para el CAA (%).	109
Tabla 27. Medias de espesor, densidad, humedad y capacidad de absorción de agua en las bandejas biodegradables.	110
Tabla 28. Análisis de varianza (ANOVA) para Resistencia a la Tracción (MPa).	114
Tabla 29. Análisis de varianza (ANOVA) para Elongación (%).	119
Tabla 30. Análisis de varianza (ANOVA) para Dureza (N).	122
Tabla 31. Análisis de varianza (ANOVA) para Fracturabilidad (mm).	126
Tabla 32. Medias de propiedades mecánicas analizadas en las bandejas biodegradables.	128
Tabla 33. Bandas características del espectro FTIR obtenida de los Tratamientos.	137

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1.	Envases Biodegradables.....	9
Figura 2.	Producción/Área cosechada de mango a nivel mundial entre 2012 y 2022.	15
Figura 3.	Producción de mango por país a nivel mundial entre 2012 y 2022.	16
Figura 4.	Producción agrícola nacional anual de mango del 2013 al 2023.	18
Figura 5.	Producción agrícola nacional mensual de mango de enero 2013 a diciembre 2023.	19
Figura 6.	Distribución de la producción en toneladas de mango a nivel departamental registrado entre 2014 y 2019.....	20
Figura 7.	Partes principales de la fruta del mango.....	22
Figura 8.	Proporción de diferentes componentes de la fruta del mango.	22
Figura 9.	Procesamiento de la caña de azúcar y sus diferentes subproductos.	29
Figura 10.	Producción/Área cosechada de caña de azúcar a nivel mundial entre 2012 y 2022....	32
Figura 11.	Producción promedia de caña de azúcar por país a nivel mundial entre 2012 y 2022.	33
Figura 12.	Producción agrícola nacional anual de caña de azúcar del 2013 al 2023.....	35
Figura 13.	Producción agrícola nacional mensual de caña de azúcar de enero 2013 a diciembre 2023.	36
Figura 14.	Distribución de la producción en toneladas de caña de azúcar registrado entre 2014 y 2019 a nivel departamental.	37
Figura 15.	Bagazo de caña de azúcar.	38
Figura 16.	Morfología del cultivo de arroz.....	43
Figura 17.	Producción/Área cosechada de arroz a nivel mundial entre 2012 y 2022.....	44
Figura 18.	Producción de arroz por país a nivel mundial entre 2012 y 2022.	45
Figura 19.	Producción agrícola nacional anual de arroz del 2013 al 2023.....	47
Figura 20.	Producción agrícola nacional mensual de arroz de enero 2013 a diciembre 2023.	48
Figura 21.	Distribución de la producción en toneladas de arroz a nivel departamental registrado entre 2014 y 2019.....	49
Figura 22.	Partes del grano de arroz.	50
Figura 23.	Estructura química del almidón.....	51
Figura 24.	Flujograma del proceso de obtención de almidón de semilla de mango.....	59
Figura 25.	Flujograma del proceso de obtención de fibras de residuos agroindustriales.	63
Figura 26.	Flujograma del proceso de elaboración de las bandejas biodegradables.	65
Figura 27.	Gráfico de dispersión y medias del parámetro L^* por tratamiento.	85
Figura 28.	Gráfico de diferencias de medias estadísticas de parámetro L^* entre Tratamientos: Prueba LSD de Fisher.	86
Figura 29.	Gráfico de dispersión y medias del parámetro a^* por tratamiento.....	88
Figura 30.	Gráfico de diferencias de medias estadísticas de parámetro a^* entre Tratamientos: Prueba LSD de Fisher.	89
Figura 31.	Gráfico de dispersión y medias del parámetro b^* por tratamiento.	90

Figura 32.	Gráfico de diferencias de medias estadísticas de parámetro a* entre Tratamientos: Prueba LSD de Fisher.	91
Figura 33.	Gráfico de dispersión y medias de ΔE (color) por tratamiento.	92
Figura 34.	Gráfico de diferencias de medias estadísticas de ΔE color entre Tratamientos: Prueba LSD de Fisher.	93
Figura 35.	Gráfico de dispersión y medias de espesor por tratamiento.....	96
Figura 36.	Gráfico de diferencias de medias estadísticas de Espesor (mm) entre Tratamientos: Prueba LSD de Fisher.	97
Figura 37.	Gráfico de dispersión y medias de densidad por tratamiento.	100
Figura 38.	Gráfico de diferencias de medias estadísticas de Densidad (g/cm^3) entre Tratamientos: Prueba LSD de Fisher.	101
Figura 39.	Gráfico de dispersión y medias de humedad por tratamiento.	104
Figura 40.	Gráfico de diferencias de medias estadísticas de Humedad (%) entre Tratamientos: Prueba LSD de Fisher.	105
Figura 41.	Gráfico de dispersión y medias de Capacidad de Absorción de Agua (CAA) por tratamiento.	109
Figura 42.	Gráfico de diferencias de medias estadísticas de Capacidad de Absorción de Agua (CAA, %) entre Tratamientos: Prueba LSD de Fisher.	110
Figura 43.	Gráfico de dispersión y medias de Resistencia a la Tracción por tratamiento.	115
Figura 44.	Gráfico de diferencias de medias estadísticas de Resistencia a la Tracción (MPa) entre Tratamientos: Prueba LSD de Fisher.	116
Figura 45.	Gráfico de dispersión y medias de Elongación por tratamiento.	119
Figura 46.	Gráfico de diferencias de medias estadísticas de Elongación (%) entre Tratamientos: Prueba LSD de Fisher.	120
Figura 47.	Gráfico de dispersión y medias de Dureza por tratamiento.	123
Figura 48.	Gráfico de diferencias de medias estadísticas de Dureza (N) entre Tratamientos: Prueba LSD de Fisher.	124
Figura 49.	Gráfico de dispersión y medias de Fracturabilidad por tratamiento.	126
Figura 50.	Gráfico de diferencias de medias estadísticas de Fracturabilidad (mm) entre Tratamientos: Prueba LSD de Fisher.	127
Figura 51.	Microscopía electrónica de barrido (65x) de bandeja de los 6 tratamientos.	129
Figura 52.	Espectro FTIR de bandeja control (T1).	132
Figura 53.	Espectro FTIR del tratamiento T2.	133
Figura 54.	Espectro FTIR del tratamiento T3.	133
Figura 55.	Espectro FTIR del tratamiento T4.	134
Figura 56.	Espectro FTIR del tratamiento T5.	134
Figura 57.	Espectro FTIR del tratamiento T6.	135
Figura 58.	Espectros FTIR comparativo de los 6 Tratamientos realizados.	135
Figura 59.	Análisis termogravimétrico de la Bandeja Biodegradable del Tratamiento 1.	138
Figura 60.	Análisis termogravimétrico de la Bandeja Biodegradable del Tratamiento 5.	139

ÍNDICE DE ANEXOS

Anexo 1.	Rendimiento de almidón en semilla de mango Kent (<i>Mangifera Indica</i>) .	171
Anexo 2.	Rendimiento de fibra de cascarilla de arroz (<i>Oryza sativa</i>).	171
Anexo 3.	Rendimiento de fibra de bagazo de caña de azúcar (<i>Saccharum officinarum</i>).....	171
Anexo 4.	Tabla de datos de humedad a la materia prima usada en la investigación y las 3 repeticiones.	172
Anexo 5.	Tabla de datos de concentración de amilosa y amilopectina en almidón de semilla de mango variedad Kent.....	172
Anexo 6.	Tabla de datos de análisis de Colorimetría en las bandejas de los 6 tratamientos y las 3 repeticiones.....	173
Anexo 7.	Tabla de datos de análisis de espesor y densidad en las bandejas de los 6 tratamientos y las 3 repeticiones.....	174
Anexo 8.	Tabla de datos de análisis de humedad y Capacidad de Absorción de Agua (CAA)en las bandejas de los 6 tratamientos y las 3 repeticiones.	175
Anexo 9.	Tabla de datos de análisis de Resistencia a la tracción, Elongación, Dureza y Fracturabilidad en las bandejas de los 6 tratamientos y las 3 repeticiones.	176
Anexo 10.	Gráfica de la fuerza aplicada en la prueba de Tracción (Fuerza vs Distancia).	177
Anexo 11.	Gráfica de la fuerza aplicada en la prueba de Dureza (Fuerza vs Distancia).	177
Anexo 12.	Pruebas de comparación de rango múltiple LSD de Fisher para parámetro L* por tratamiento.....	178
Anexo 13.	Pruebas de comparación de rango múltiple LSD de Fisher para parámetro a* por tratamiento.....	179
Anexo 14.	Pruebas de comparación de rango múltiple LSD de Fisher para parámetro b* por tratamiento.....	180
Anexo 15.	Pruebas de comparación de rango múltiple LSD de Fisher para parámetro ΔE por tratamiento.....	181
Anexo 16.	Pruebas de comparación de rango múltiple LSD de Fisher para los valores de Espesor (mm) por tratamiento.	182
Anexo 17.	Pruebas de comparación de rango múltiple LSD de Fisher para los valores de Densidad (g/cm^3) por tratamiento.	183
Anexo 18.	Pruebas de comparación de rango múltiple LSD de Fisher para los valores de Humedad (%) por tratamiento.	184
Anexo 19.	Pruebas de comparación de rango múltiple LSD de Fisher para los valores de Capacidad de Absorción de Agua (%) por tratamiento.	185
Anexo 20.	Pruebas de comparación de rango múltiple LSD de Fisher para los valores de Resistencia a la Tracción (MPa) por tratamiento.	186
Anexo 21.	Pruebas de comparación de rango múltiple LSD de Fisher para los valores de Elongación (%) por tratamiento.....	187

Anexo 22.	Pruebas de comparación de rango múltiple LSD de Fisher para los valores de Dureza (N) por tratamiento.....	188
Anexo 23.	Pruebas de comparación de rango múltiple LSD de Fisher para los valores de Fracturabilidad (mm) por tratamiento.	189
Anexo 24.	Zona de residuos de semilla de mango de la empresa Inversiones Frigoríficas PRC S.A.C.	190
Anexo 25.	Obtención de semillas de mango de la empresa Inversiones Frigoríficas PRC S.A.C.....	190
Anexo 26.	Recepción de semillas de mango.....	190
Anexo 27.	Extracción de almendra de semilla de mango.	190
Anexo 28.	Descarte de envoltura de semilla de mango.	191
Anexo 29.	Tegumento de semilla de mango.	191
Anexo 30.	Descarte de tegumento de semilla de mango.....	191
Anexo 31.	Almendra de semilla de mango.	191
Anexo 32.	Inmesión.	192
Anexo 33.	Licuada de la almendra de semilla de mango.....	192
Anexo 34.	Filtrado.....	192
Anexo 35.	Sedimentación.....	192
Anexo 36.	Lavado del concentrado de almidón de semilla de mango.	193
Anexo 37.	Separación del líquido sobrenadante.	193
Anexo 38.	Centrifugado del concentrado de almidón de semilla de mango.....	193
Anexo 39.	Almidón de semilla de mango centrifugado.....	193
Anexo 40.	Secado de almidón de semilla de mango.....	194
Anexo 41.	Molienda de almidón seco de semilla de mango.	194
Anexo 42.	Almidón seco de semilla de mango.	194
Anexo 43.	Tamizado de almidón de semilla de mango.	194
Anexo 44.	Almidón de semilla de mango en bolsas HDPE.....	195
Anexo 45.	Cascarilla de arroz	195
Anexo 46.	Molienda de Cascarilla de arroz.	195
Anexo 47.	Tamizado de Cascarilla de arroz molido.	195
Anexo 48.	Fibra de Cascarilla de arroz tamizada.....	196
Anexo 49.	Fibra de Cascarilla de arroz en bolsas HDPE.....	196
Anexo 50.	Bagazo de caña de azúcar	196
Anexo 51.	Lavado de Bagazo de caña de azúcar.	196
Anexo 52.	Secado de bagazo de caña de azúcar.	197
Anexo 53.	Molienda de bagazo de caña de azúcar.....	197
Anexo 54.	Tamizado del bagazo de caña de azúcar molido.....	197
Anexo 55.	Fibra de bagazo de caña de azúcar en bolsas HDPE.	197

Anexo 56. Glicerina.	198
Anexo 57. Estearato de potasio.	198
Anexo 58. Goma Guar.....	198
Anexo 59. Agua Destilada.....	198
Anexo 60. Formulación y pesado para cada formulación.	199
Anexo 61. Adición de agua destilada.	199
Anexo 62. Mezclado.....	199
Anexo 63. Pesado para cada bandeja.	199
Anexo 64. Moldeado.	200
Anexo 65. Termoprensado.	200
Anexo 66. Desmoldado.	200
Anexo 67. Acondicionamiento.....	200
Anexo 68. Bandejas biodegradables en bolsas HDPE.	201
Anexo 69. Balanza analítica.....	201
Anexo 70. Licuadora Industrial.....	201
Anexo 71. Centrífuga.	202
Anexo 72. Estufa.	202
Anexo 73. Secador de bandejas.....	202
Anexo 74. Molino Industrial.	202
Anexo 75. Molino Ultracentrífuga.	203
Anexo 76. Batidora de pedestal.....	203
Anexo 77. Termoprensa.	203
Anexo 78. Análisis de humedad a las materias primas.	203
Anexo 79. Determinación de contenido de amilosa y amilopectina.	204
Anexo 80. Micrómetro para medición de espesor.....	205
Anexo 81. Colorímetro para análisis de color.	205
Anexo 82. Análisis de humedad a las bandejas biodegradables.	205
Anexo 83. Análisis de capacidad de absorción de agua.	205
Anexo 84. Equipo texturómetro para análisis de textura.	206
Anexo 85. Equipo Microscopia Electrónica de Barrido.....	206
Anexo 86. Equipo Termogravimétrico.....	206
Anexo 87. Equipo para análisis de FTIR.	206
Anexo 88. Informe de ensayo proximal realizado al almidón de semilla de mango. .	207
Anexo 89. Informe de ensayo proximal realizado a la fibra de cascarilla de arroz. ...	208
Anexo 90. Informe de ensayo proximal realizado a la fibra de bagazo de caña de azúcar.....	209

RESUMEN

El objetivo de esta investigación fue determinar la formulación de almidón de semilla de mango y fibra de residuos de cascarilla de arroz y bagazo de caña de azúcar para elaborar bandejas biodegradables. Las bandejas se elaboraron mediante la técnica de termoformado a una temperatura de 165°C a 175°C y tiempo de 5 min a 5.20 min. Se empleó el diseño estadístico completamente al azar (DCA) con 6 formulaciones y 3 repeticiones cada una. Se caracterizaron sus propiedades físicas, mecánicas, químicas y térmicas. Al caracterizar físicamente las bandejas, mostro que, al incrementar la concentración de fibras, se visualiza tonos de color (ΔE) matiz rojizo y amarillento, en su mayoría reducción en el espesor (2.053 ± 0.113 a 3.099 ± 0.077 mm), mayor densidad (0.339 ± 0.015 a 0.415 ± 0.01 g/cm³), menor humedad (4.791 ± 0.611 a $9.287 \pm 0.121\%$), menor capacidad de absorción de agua (9.989 ± 1.836 a 27.312 ± 1.408 %). La caracterización mecánica de las bandejas revelo que la adición de fibras ocasiono disminución en su resistencia mecánica, obteniendo en su mayoría valores de resistencia a la tracción (1.999 ± 0.469 a 3.356 ± 0.203 MPa), elongación (1.329 ± 0.19 a 2.544 ± 0.421 %), dureza (72.079 ± 16.601 a 94.765 ± 10.664 N) y fracturabilidad (1.77 ± 0.704 a 3.993 ± 2.043 mm). Los análisis de Espectroscopia de Infrarrojos por Transformada de Fourier (FTIR) mostro que las fibras bagazo y cascarilla provoco decrecimiento de intensidad entre las bandas de 500 a 3343 cm⁻¹. El análisis de microscopia electrónica de barrido (SEM) mostro el efecto de las fibras (bagazo y cascarilla) formando bolsas de aire de mayor tamaño, rugosidades y formas irregulares. Los análisis Termogravimétrico (TGA) de las bandejas mostraron que existe estabilidad térmica, siendo 327°C el pico de degradación. Se concluyo, en general, que la bandeja T5 (85% almidón, 10% cascarilla, 5% bagazo) posee mejores propiedades mecánicas con mayor resistencia mecánica, baja humedad y baja CAA.

Palabras claves: Bandejas biodegradables, semilla de mango, cascarilla de arroz, bagazo de caña de azúcar, almidón, fibra.

ABSTRACT

The objective of this research was to determine the formulation of mango seed starch and fiber from rice husk waste and sugar cane bagasse to make biodegradable trays. The trays were made using the thermoforming technique at a temperature of 165°C to 175°C and a time of 5 min to 5.20 min. The completely randomized statistical design (DCA) was used with 6 formulations and 3 repetitions each. Their physical, mechanical, chemical and thermal properties were characterized. By physically characterizing the trays, I showed that, by increasing the concentration of fibers, reddish and yellowish shades of color (ΔE) are visualized, mostly a reduction in thickness (2.053 ± 0.113 to 3.099 ± 0.077 mm), greater density (0.339 ± 0.015 to 0.415 ± 0.01 g/cm³), lower humidity (4.791 ± 0.611 to $9.287 \pm 0.121\%$), lower water absorption capacity (9.989 ± 1.836 to 27.312 ± 1.408 %). The mechanical characterization of the trays revealed that the addition of fibers caused a decrease in their mechanical resistance, obtaining mostly values of tensile strength (1.999 ± 0.469 to 3.356 ± 0.203 MPa), elongation (1.329 ± 0.19 to 2.544 ± 0.421 %), hardness (72.079 ± 16.601 to 94.765 ± 10.664 N) and fractureability (1.77 ± 0.704 to 3.993 ± 2.043 mm). The Fourier Transform Infrared Spectroscopy (FTIR) analyzes showed that the bagasse and hull fibers caused a decrease in intensity between the bands from 500 to 3343 cm⁻¹. The scanning electron microscopy (SEM) analysis showed the effect of the fibers (bagasse and husk) forming larger air pockets, roughness and irregular shapes. The Thermogravimetric analyzes (TGA) of the trays showed that there is thermal stability, with 327°C being the degradation peak. It was concluded, in general, that the T5 tray (85% starch, 10% husk, 5% bagasse) has better mechanical properties with greater mechanical resistance, low humidity and low CAA.

Keywords: Biodegradable trays, mango seed, rice husk, sugar cane bagasse, starch, fiber.

I. INTRODUCCIÓN

El elevado consumo de alimentos dentro de envases se ha incrementado sustancialmente durante las últimas décadas. Esto representa una tasa de crecimiento del 5% al año, siendo valorado el mercado mundial de alimentos envasados en aproximadamente 1.9 billones de dólares durante el 2020 y se espera que esta cifra se incremente hasta 3.4 billones en el 2030 (García, 2020).

Se sabe que la mayoría de los materiales de plástico o embalaje son desechados el mismo año en el que se producen, además de su corta vida útil, esto genera un elevado volumen de materiales de baja reciclabilidad en varias regiones del mundo, pues esto genera un problema importante de desechos sólidos, particularmente cuando estos desechos sólidos no son debidamente recolectados por los sistemas de gestión de desechos, terminando causando daño al ambiente (Geyer *et al.*, 2017).

La característica principal de envases o bolsas plásticas es su lenta degradación, llegando a tardar entre 400 a 500 años aproximadamente, lo que genera una gran acumulación, en diversas zonas como ríos, océanos y lagos ocasionando contaminación (Palma & Ramírez, 2014).

Según informa el Ministerio del Ambiente [MINAM] (2019), cada ciudadano peruano consume más de 30 kilos de plástico al año, lo cual se estima que en total se utilizan cerca de 3000 millones de bolsas plásticas anualmente en todo el país, lo que equivale a aproximadamente 6000 bolsas por minuto. En Lima Metropolitana y el Callao se generan 886 toneladas de residuos plásticos diariamente, representando el 46% del total de residuos a nivel nacional (más de 1920 toneladas), de ello, solo el 0.3% del total de residuos plásticos son reincorporados a la cadena productiva mediante el reciclaje. El 56% de estos residuos se depositan en rellenos sanitarios, mientras que el 43% termina

en botaderos, ríos y océanos, lo que subraya la urgencia de abordar el problema de la gestión de residuos plásticos en el país.

Según información proporcionada por la Organización de las Naciones Unidas [ONU] (2018) destaca que más de 60 países han adoptado medidas para limitar el uso de plásticos de un solo uso y poliestireno. Este movimiento está ganando impulso, con un número creciente de naciones sumándose a la iniciativa y elaborando políticas y regulaciones en este ámbito.

En el caso del Perú, esta iniciativa comenzó en diciembre de 2018 con la aprobación de la Ley N° 30884: “Ley que regula el plástico de un solo uso y los recipientes o envases descartables”, en la que establece que en un plazo máximo de 36 meses (hasta diciembre del 2021) se prohibiría la fabricación para el consumo interno, importación, distribución, entrega, comercialización y uso de recipientes o envases y vasos de poliestireno expandido (Tecnopor) para alimentos y bebidas de consumo humano. Esta prohibición legal generará la necesidad de buscar alternativas ecoamigables que cumplan con esta regulación, creando así un nuevo mercado y una creciente demanda interna para estos productos. (Ley N° 30884, 2018; Castillo, 2020).

Con la finalidad de dar solución a esta problemática, se busca posibles alternativas de materiales para la producción de dichos envases o bandejas. En este contexto, las empresas agroindustriales representan una solución viable dado que generan volúmenes significativos de residuos y subproductos durante las distintas etapas de producción de materiales orgánicos. Sin embargo, estas mayormente no reciben una disposición adecuada, es por ello, que han surgido diversas alternativas para añadir valor a estos residuos lignocelulósicos que poseen un alto potencial para ser utilizados en la creación de nuevos productos, en la mejora de los productos originales y en la restauración de

condiciones ambientales deterioradas (Rojas-González *et al.*, 2019; Vargas & Pérez, 2018).

La elevada producción en el sector agroindustrial conlleva un incremento en la generación de desechos y residuos (Zainudin *et al.*, 2022). A nivel global, se estima que la producción anual de estos residuos alcanza los 146 billones de toneladas métricas (Álvarez-Castillo *et al.*, 2012; Pérez, 2020). En el Perú las principales fuentes de residuos orgánicos agroindustriales (cultivo, cosecha y procesamiento) son los que provienen de empresas azucareras y molineras de arroz generando cerca de 6 376 907 y 5 591 424 TN/año, respectivamente, como también las empresas productoras y procesadoras de plátano (8 051 997 TN/año), espárragos (1 979 091 TN/año), palma aceitera (1 713 845 TN/año) y maíz amarillo duro (859 789 TN/año) (Reyes & Ramírez, 2022; Retto, 2019).

Si los residuos agroindustriales no se gestionan adecuadamente, pueden provocar una grave contaminación del suelo y el agua. Productos químicos como pesticidas y fertilizantes pueden penetrar el suelo, cambiar su composición y reducir la fertilidad, lo que puede tener impactos a largo plazo en la agricultura y el hábitat de plantas y animales. Algunos de estos residuos son incinerados o vertidos en vertederos, lo que produce grandes emisiones de dióxido de carbono, contaminación de los cursos de agua, problemas de olores, ratas, proliferación de moscas, insectos y otros impactos. (Vargas & Pérez, 2018; Barragán *et al.*, 2008)

La “Ley de Gestión Integral de Residuos Sólidos” aprobada en el 2017 mediante Decreto Legislativo N° 1278, establece que la principal meta en el país es la prevención o reducción al mínimo de la generación de residuos sólidos desde su origen, priorizando esta acción sobre cualquier otra alternativa. En segundo término, se enfoca en la recuperación y valorización tanto material como energética de los residuos, incluyendo prácticas como la reutilización, reciclaje, compostaje, coprocesamiento, y otras

estrategias que aseguren la protección de la salud y del medio ambiente (Decreto Legislativo N° 1278, 2017).

En ese marco, la presente investigación tiene el propósito principal de aprovechar los residuos de distintas empresas agroindustriales de la región para ser utilizadas como materia prima en la fabricación de bandejas biodegradables usando almidón de semilla de mango (*Mangifera indica*) y fibra de bagazo de caña de azúcar (*Saccharum officinarum*) y cascarilla de arroz (*Oryzae Sativa*). Además, se caracterizará las materias primas mencionadas, se evaluará el comportamiento e influencia de las proporciones de almidón y fibra de los residuos agroindustriales en base a una caracterización física, mecánica y térmica de las bandejas, y finalmente de esta manera determinar la mejor formulación de bandejas biodegradables, evaluando si puede competir con envases PET.

Con todo lo anteriormente mencionado y con el análisis elaborado, formulamos la siguiente pregunta de investigación; ¿Cuál es el porcentaje de fibra de cascarilla de arroz, bagazo de caña de azúcar y almidón de semilla de mango que permita elaborar bandejas con alta resistencia y buenas características?

En base a ello, se planteó la siguiente hipótesis: utilizando las concentraciones de 85 % almidón, 10 % fibra cascarilla de arroz, 5% fibra bagazo caña de azúcar, se obtienen bandejas biodegradables con propiedades físico-químicas de 2.39 mm de espesor, 52.43 de diferencia total de color, humedad < 10%, una capacidad de absorción de agua < 20%, 0.39 g/cm³ de densidad; una pérdida de peso < 75% a 327°C en el análisis termogravimétrico, bandas de entre 990-3300 para el espectro FTIR y propiedades mecánicas de 3.31 MPa para resistencia a la tracción, 2.18 % de elongación, 81.46 N para dureza y 2.46 mm para fracturabilidad.

Esta investigación tiene una importancia ambiental, económico y social destacable. La justificación ambiental radica en el peligro que genera seguir utilizando envases y recipientes de polímeros, o comúnmente llamados “plásticos”, ya que tienen un impacto negativo para el medio ambiente, por ello, la implementación de recipientes biodegradables pasa a ser una solución eco-amigable para contrarrestar este problema que viene arrastrándose hace muchos años. A raíz de esto, el consumidor solicita minimizar el uso de productos petroquímicos y reducir los problemas ecológicos relacionados con los envases de alimentos, además buscan materiales biodegradables derivados de la biomasa agrícola (Semlali *et al.*, 2020). El principio fundamental del cambio positivo se basa en que, al ser productos biodegradables, pueden ser destruidos por microorganismos garantizando la seguridad y el bienestar de nuestro planeta al no producir residuos químicos o tóxicos cuando se descomponen, evitando así, la contribución al efecto invernadero. Además, al obtener la materia prima de almidón y fibra a partir de residuos agroindustriales de empresas dedicadas a la agroindustria y/o agro exportación, significa un aporte significativo ambiental debido a la disminución de desechos para pasar a ser un subproducto o materia prima de otro enfoque, de esta manera favorecer en el desarrollo de la reutilización y aprovechamiento de recursos (Silva & Capanema, 2019).

La justificación en el ámbito económico está basada en la reutilización de residuos agroindustriales erróneamente calificados como desechos ya que pasará a ser catalogado como materia prima y ser utilizado en la elaboración de productos actualmente necesarios para la salud de nuestro planeta, lo que puede llegar a ser una idea de negocio o emprendimiento prometedor con el pasar de los años. Además, puede aumentar la economía del país con la puesta en marcha de nuevas empresas enfocadas a la elaboración de estos productos lo cual generaría ingresos económicos altos al proveer envases, bandejas y recipientes a diferentes mercados nacionales e internacionales, de hecho, un

punto a resaltar es que el almidón es un biopolímero ampliamente disponible y menos costoso a comparación del polietileno y el poliestireno, así mismo, la cantidad de energía usada para elaborar productos biodegradables es mucho menor a comparación de la usada para los materiales de plásticos, además que se usa menos combustibles fósiles, reduciendo de esta manera los costos en el proceso de fabricación. (Hendrawati *et al.*, 2021; Cruz-Tirado *et al.*, 2019)

En cuanto al ámbito social, hoy en día es vital y necesario vivir en un ambiente sano con las condiciones adecuadas para llegar a desarrollarnos y desenvolvemos de la mejor manera posible sin miedos futuros, debido a ello, la elaboración de bandejas biodegradables está justificada en relación al bienestar ambiental del planeta al evitar contaminar, ya que de una manera metafórica: si nuestra casa está bien, nosotros también lo estaremos. Además de ello, el poliestireno expandido (EPS) es ampliamente utilizado en el sector turístico, especialmente en el embalaje de alimentos, sin embargo, según la Organización Mundial de la Salud (OMS), estos productos plásticos contienen componentes que son perjudiciales para la salud humana, como el bisfenol A, estireno y ftalatos, que al desprenderse y disolverse al entrar en contacto con bebidas calientes, puede resultar en consecuencias graves en la salud humana, pudiendo provocar alteración del funcionamiento normal de las glándulas corporales, disminución de la fertilidad, cáncer, cambios significativos en el sistema nervioso central y periférico, sí como posible daño oxidativo al ADN. La conciencia social empresarial de la mano de una buena toma de decisiones para el bien propio y del entorno, se ha vuelto fundamental para los procesos industriales y para la vida diaria, siendo un enfoque de interés no solo de los empresarios, sino de toda la población, por la debida razón que estos productos además de ser amigables con el medio ambiente, son más saludables para nuestro organismo (Morales *et al.*, 2020; Cáceres-Moreno *et al.*, 2015).

II. FUNDAMENTO TEÓRICO

2.1. ENVASES DESECHABLES

Un envase también conocido como “Embalaje Primario”, se considera a un objeto cuya finalidad el contener, diferenciar o resguardar un producto. En cuanto a los materiales utilizados para crear envases, principalmente son usados: plástico, lata, cartón, entre otros (Instituto Nacional de Defensa de la Competencia y de la Protección de la Propiedad Intelectual [INDECOPI], 2015).

Como ejemplo de envase desechable tenemos los que son fabricados con poliestireno expandido (EPS). Estos empaques son muy populares en diversas formas, además presentan un buen aislamiento térmico, alta resistencia y baja densidad, con costos particularmente accesibles (Castiglioni *et al.*, 2017).

2.2. BIODEGRADABILIDAD

Cuando un material u objeto es denominado “Biodegradable”, se refiere a que tiende a descomponerse debido a diversos agentes, siendo de algunos de estos: biológicos y ambientales. Es decir, cuando hablamos de biodegradabilidad nos referimos a la capacidad de descomposición de algo (Pérez & Merino, 2016).

Un ejemplo de material biodegradables, es el ácido poliláctico (PLA), es uno de los biopolímeros más conocidos y está basado 100 % en el almidón obtenido principalmente del maíz, trigo o papas, el almidón es transformado biológicamente (fermentación) mediante microorganismos en ácido láctico que es el monómero básico, que mediante un proceso químico se polimeriza transformándolo en largas cadenas moleculares denominadas ácido poliláctico; que fácilmente puede ser inyectado, soplado, termoformado, impreso y sellado por calor para producir bandejas o películas (Labeaga, 2018).

2.3. ENVASES BIODEGRADABLES

Para que un material pueda ser considerado como una matriz polimérica biodegradable, tiene que haber sido elaborado con recursos renovables, ya que tienen que ser biodegradables y compostables, para que puedan ser utilizados como fertilizantes y acondicionadores del suelo (Viviano, 2018; Siracusa *et al.*, 2008), es decir, después de su uso pueden desecharse sin causar ningún daño al medio ambiente. (SP Group Packaging, 2020).

Entre los principales polímeros sintéticos que tienen la característica de ser biodegradables se tienen al almidón, la celulosa, la lignina, los cuales tienen como base de su composición química al carbono (Siracusa *et al.*, 2008).

Los envases biodegradables (**Figura 1**) han recibido una mayor atención en los últimos años (principalmente a base de almidón) y son una alternativa a los materiales derivados del petróleo, ya que se descomponen de forma natural o por la acción de microorganismos naturales rompiendo estructuras inocuas para el medioambiente; este tipo de envases está normalmente compuesto de ácido poliláctico (PLA) que es un termoplástico cuyos materiales de base se obtienen a partir de almidón de maíz o de yuca o mandioca, o de caña de azúcar (Hiperbaric, 2019).

Los procesos aplicados al almidón para la formación de matrices poliméricas incluyen dos etapas; en la primera se lleva a cabo la gelatinización del almidón, la evaporación del agua, expansión de la mezcla y la formación de la espuma; mientras que en la segunda etapa únicamente se lleva a cabo el secado de la espuma hasta una humedad de entre 2 y 4% (Salgado *et al.*, 2008).

Figura 1.

Envases Biodegradables.



Nota. La figura muestra 2 formas de envases biodegradables con alimentos en ellos.

Fuente: Avalos y Torres (2018).

2.4. RESIDUOS AGROINDUSTRIALES

Los residuos agroindustriales representan una forma de biomasa producida principalmente a partir del procesamiento de materiales orgánicos, derivados del manejo de animales, el cultivo de plantas y la transformación de frutas y verduras (Rojas-González *et al.*, 2019). Según Rao y Rathod (2019), el desperdicio alimentario mundial anual es del 30% para los cereales, del 40 al 50% para los cultivos de raíces, frutas y verduras, y del 20% para las semillas oleaginosas.

Estos residuos se dividen principalmente en dos categorías: los residuos de campo que quedan tras la cosecha (hojas, tallos y vainas de semillas) y los residuos de procesamiento generados después de la transformación de cultivos en productos para consumo final (melaza, cáscaras, bagazos, vástagos, semillas, paja, pulpa, rastrojo y raíces). (Romelle-Jones *et al.*, 2024)

2.4.1. PRODUCCIÓN

La creciente demanda del mercado impulsa un aumento anual en la producción de cultivos agroindustriales y el rendimiento de productos cosechados. Como resultado, la elevada producción en el sector agroindustrial conlleva un incremento en la generación de desechos y residuos (Zainudin *et al.*, 2022).

Es importante señalar que a nivel global se generan aproximadamente 2 mil millones de toneladas de residuos agrícolas anualmente, con una tasa de aumento anual estimada entre el 5% y el 10% (Al-Suhaibani *et al.*, 2020). No obstante, si estos residuos se desechan en el medio ambiente sin seguir un protocolo adecuado de eliminación, podrían ocasionar una significativa contaminación y tener efectos perjudiciales tanto para la salud animal como humana (Ghosh Ray & Ghangrekar, 2019).

2.4.2. APLICACIONES

La cantidad considerable de residuos generados a nivel global, junto con sus efectos adversos, subraya la necesidad de cambiar el modelo de producción hacia la economía circular. Los residuos agroindustriales tienen el potencial de desempeñar un papel crucial en este cambio, al poder ser utilizados como materias primas en diversos procesos de producción (Romero-Sáez, 2022).

Existen numerosas oportunidades para su utilización, incluida la producción de ácido cítrico, saborizantes alimentarios, compuestos bioactivos, biocombustibles, energía renovable, pigmentos microbianos, amilasa e incluso su uso como alimento animal después de la fermentación en estado sólido (SSF) (Vigneswari *et al.*, 2024). Además, se ha demostrado que la versatilidad y diversidad de microorganismos podrían convertir los desechos agroindustriales en materiales de valor agregado, como enzimas, surfactantes, biopolímeros, bioetanol y otros compuestos orgánicos. A su vez, hay muchos polisacáridos disponibles de forma natural, por ejemplo, celulosa, hemicelulosa, lignina,

pectina, inulina, ácido hialurónico, glucógeno, quitosano, quitina, etc. Estos polisacáridos se pueden convertir en productos industrialmente importantes, especialmente productos farmacéuticos, cosméticos, productos alimenticios, componentes médicos y varios bioplásticos como envases y recipientes biodegradables. (Romelle-Jones *et al.*, 2024).

2.5. MANGO (*Mangifera Indica*)

2.5.1. ORIGEN

El árbol de mango se cultiva desde aproximadamente 6000 años puesto que aparece en los libros de los Vedas, Escrituras Sagradas hindúes redactadas entre el 2000 y 1500 a.C. (Escuela Superior Politécnica del Litoral [ESPOL], 2020). Este fruto es originario del sur de Asia, especialmente de la India oriental, Birmania y las islas Andamán, donde aún existen cultivos silvestres. La planta ha sido cultivada, elogiada e incluso venerada en su tierra natal desde la antigüedad. (Derese *et al.*, 2017)

Fueron los árabes los primeros en propagar la fruta llevándola desde Asia hasta la costa este de África, Madagascar y en puertos del océano Índico, mientras que los africanos propagaron el mango en todo el África intertropical antes de ser colonizadas. Los portugueses también participaron en la expansión de estos frutos puesto que los navegantes lusos fueron quienes lo llevaron a Brasil, país donde conquistaron, y una vez allí este fruto llegó a cada uno de los países de América comenzando desde el sur hasta el norte. Por otra parte, en Europa ya existían algunas plantaciones desde los siglos XVII y XIX mientras que en el continente de Oceanía aún no se sabía de ese fruto hasta el siglo XIX donde llegó a Australia. (Conferencia de las Naciones Unidas sobre Comercio y Desarrollo [UNCTAD], 2016)

En la actualidad, *M. indica* reside en la mayoría de los biotopos tropicales de la India, el sudeste de Asia, Malasia, las regiones del Himalaya, Sri Lanka, África, América y

Australia (Derese *et al.*, 2017; Ghuniyal *et al.*, 2015; Wauthoz *et al.*, 2007). Inicialmente, la propagación del mango se llevaba a cabo mediante el uso de semillas, lo que resultaba en frutos pequeños, con mucha fibra y con un sabor fuerte a aguarrás. La técnica de multiplicación a través de injertos de variedades monoembrionarias no se desarrolló hasta el siglo XIX, lo que dio lugar a la creación de variedades antillanas como Julie, Amelie, Divine, entre otras, que posteriormente fueron introducidas en África occidental. (UNCTAD, 2016).

2.5.2. TAXONOMÍA

El mango (*Mangifera indica* Linn.) es un fruto tropical de gran importancia comercial, morfológicamente pertenece al grupo de los frutos drupáceos, contiene únicamente una gran semilla rodeada por un carnoso mesocarpio. El mango pertenece a las plantas dicotiledóneas, miembro de la familia *Anacardiaceae*, la cual se encuentra dentro del orden Sapindales (Sayago & Alvarez, 2018). En la **Tabla 1**, se presenta la clasificación taxonómica del mango.

Tabla 1.

Clasificación taxonómica del mango.

CATEGORÍA	CLASIFICACIÓN
Reino	Plantae
Filo	Magnoliophyta
Clase	Magnoliopsida
Orden	Sapindales
Familia	Anacardiaceae
Género	<i>Mangifera</i>
Especie	<i>Mangifera Indica</i>
Otras especies	<i>Mangifera sylvatica</i> Roxb., <i>Mangifera odorata</i> Griff., <i>Mangifera zeylanica</i> (Blume)

Nota. Esta tabla muestra la clasificación taxonómica del mango. **Fuente:** Salem *et al.* (2016)

2.5.3. CARACTERÍSTICAS BOTÁNICAS DEL MANGO

Mangifera indica es un gran árbol de hoja perenne gran desarrollo de la familia de las anacardiáceas que, dependiendo de la variedad, crece hasta una altura entre 10 a 45 m en forma de cúpula con follaje denso, típicamente pesado ramificado de un tronco robusto, que puede alcanzar el metro de diámetro (UNCTAD, 2016; Shah *et al.*, 2010). Su copa es de forma redondeada con raíces fuertes de entre 6 y 8m y savia irritante y tóxica como látex (ESPOL, 2020).

Las hojas de la planta son simples, sin estípulas y alternas, con pecíolos de hasta 12 cm de largo y de forma y tamaño variables según sea la variedad, pero generalmente son oblongas o lanceoladas con puntas que varían de redondeadas a acuminadas. Poseen un intenso color rojo al inicio, luego emergen de color verde volviéndose de color marrón tostado a púrpura durante la expansión de la hoja y luego cambiando gradualmente a verde oscuro a medida que las hojas maduran. (Derese *et al.*, 2017; ESPOL, 2020).

La inflorescencia ocurre en panículas terminales ramificadas, de hecho, un árbol puede tener de 2000 a 4000 panículas, las cuales pueden tener entre 400 y 5000 flores diminutas de color rojo blanquecino o verde amarillento (Shah *et al.*, 2010; ESPOL, 2020).

Los frutos de *M. indica* de diferentes variedades son drupas grandes que pueden ser muy variables en forma, color, sabor y textura de la pulpa. Las frutas pueden pesar desde 50 g o menos hasta más de 2 kg. El mesocarpio o pulpa es la parte carnosa y comestible del fruto que suele tener un sabor dulce y ligeramente trementino. sabor.

Cuando madura, su color varía de amarillo a naranja, pero también hay variedades con color rojo o morado, y en cuanto a su textura pasa de suave a fibrosa (Ghuniyal *et al.*, 2015; ESPOL, 2020; Derese *et al.*, 2017).

La semilla de mango se puede clasificar como monoembrionarios o poliembriónicos. La semilla es solitaria, ovoide u oblonga, encerrada en un endocarpio fibroso comprimido y duro (Derese *et al.*, 2017; Shah *et al.*, 2010).

2.5.4. CULTIVO Y PRODUCCIÓN MUNDIAL

El mango es una fruta cultivada en regiones tropicales y subtropicales, con seis variedades principales según el National Mango Board (2017). Su popularidad en los mercados internacionales ha aumentado considerablemente, lo que ha llevado a un incremento significativo en su consumo en varios países, llegando hasta a cuadruplicarlo en algunas zonas. Aunque los consumidores siguen mostrando preferencia por el mango fresco, el segmento de productos procesados está experimentando un crecimiento notable. Además, se están desarrollando opciones para la producción orgánica de mango. (Manrique, 2020).

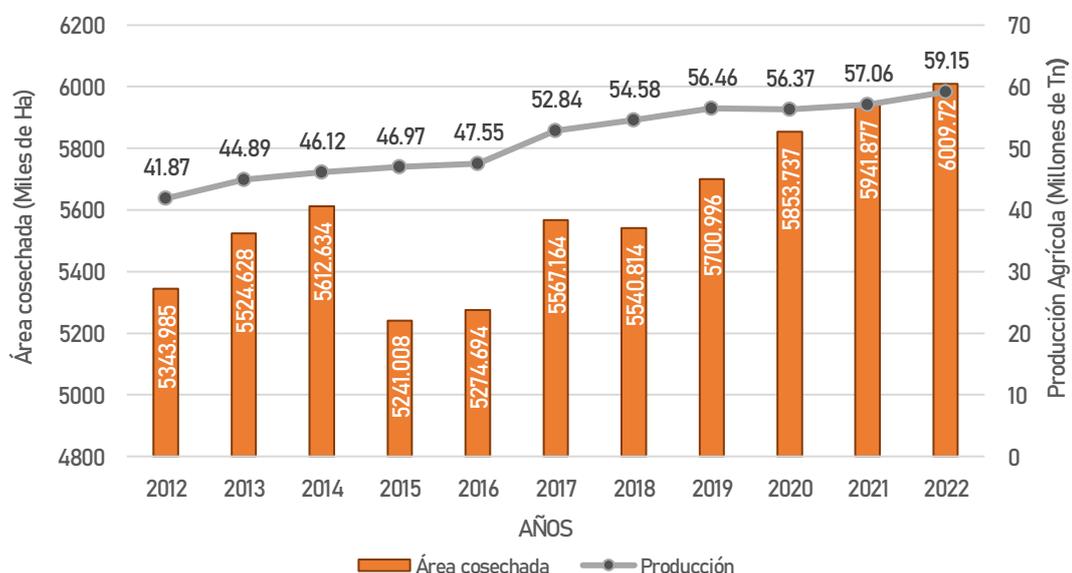
En la **Figura 2** se ilustra la tendencia de la relación entre la superficie cosechada y la producción de fruta de mango a nivel global durante el período comprendido entre los años 2012 y 2022. Las hectáreas cosechadas están teniendo una pendiente positiva cada año, mostrando un aumento del 11.08% desde el 2012, con 4,916,843 Ha cosechadas; hasta el 2022 con 5,522,933 Ha cosechadas para a la producción de esta fruta, siendo este último, el pico más alto alcanzado en este rango de años. De hecho, desde el 2019 hasta el 2022, se presencia el aumento de mínimo 1% de área de mango cosechada, a la cual están incluidas las guayabas ya que están dentro del mismo grupo en la partida arancelaria (**International Trade Centre, 2017**) al ser registradas juntas por la Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura

(Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura [FAO], 2023). En cuanto a la producción, también se evidencia un aumento cada año, comprobando que la relación área cosechada-producción es ser directamente proporcional, siendo el mayor incremento el presenciado del 2016 (47.55 Millones de Tn) al 2017 (52.84 Millones de Tn), aumentando un 10.01%, sin embargo, el mayor valor de producción obtenido fue en el 2022 con 59,151,823 Tn.

El rendimiento agrícola, es la relación entre la producción y el área de cosecha (**Figura 2**) haciendo referencia a la cantidad de toneladas producidas por cada hectárea cosechada, oscilando entre los 7.83 toneladas por hectárea cosechada en el 2012 hasta los 9.84 Tn/Ha cosechada en el 2022, siendo el 2019 el año donde se alcanzó el mayor rendimiento llegando a producir 9.9 toneladas por hectárea cosechada. De hecho, desde el 2016, este valor no baja de los 9 Tn/Ha, lo cual hace alusión a los buenos rendimientos que están teniendo los cultivos de mangos en el mundo, esto por el adecuado cuidado, preservación y sostenibilidad que se está teniendo en los campos de mango de todo el mundo. (FAO, 2023).

Figura 2.

Producción/Área cosechada de mango a nivel mundial entre 2012 y 2022.

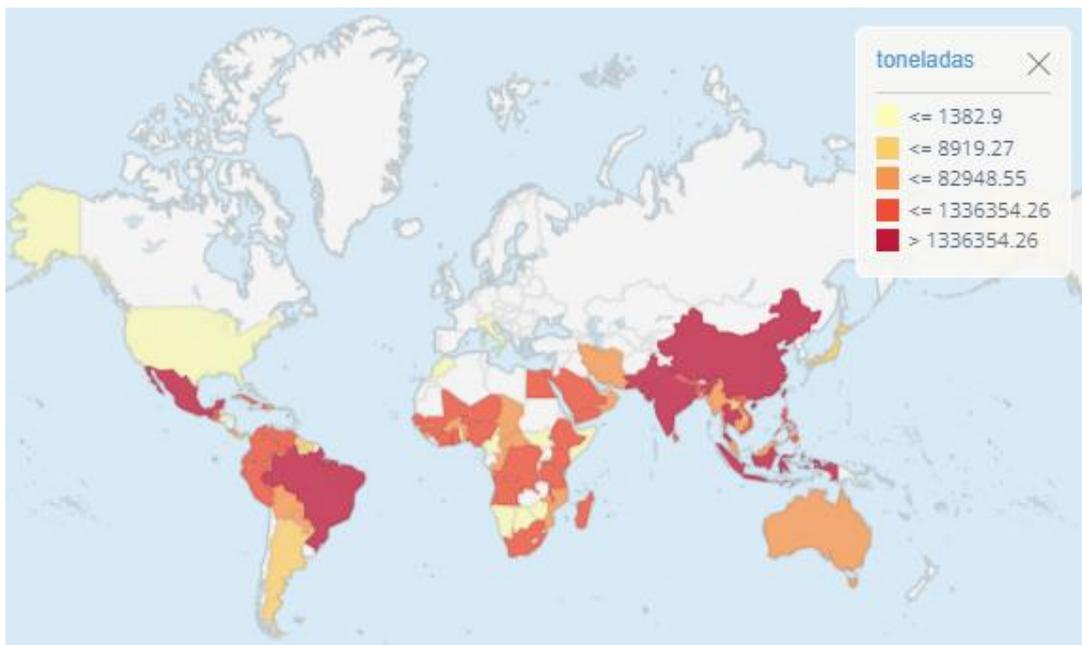


Nota. La figura muestra las hectáreas cosechadas y las toneladas producidas de mango, guayaba y mangostanes alrededor de mundo en el periodo 2012-2022, evidenciando el rendimiento agrícola obtenido en esos años. **Fuente:** FAO (2023).

Siguiendo la misma línea, en la **Figura 3** se ilustran la participación de las zonas geográficas en la producción de este fruto entre el periodo de 2012 y 2022, mostrando un promedio por año y clasificándolos cuantitativamente mediante la intensidad de colores, donde se puede detallar que el mango es producido ya sea en el hemisferio norte, como en el hemisferio sur del planeta. Debido a esto, a nivel mundial hay cosecha en todo el año, ya que cuando un hemisferio no está en temporada, el otro abastece la demanda, y viceversa. (FAO, 2023).

Figura 3.

Producción de mango por país a nivel mundial entre 2012 y 2022.



Nota. La figura muestra la producción de mango promedio en los diversos países del mundo en el periodo 2012-2022. **Fuente:** FAO (2023)

Al evaluar la producción agrícola por países desde el año 2018 hasta el 2022 se logró identificar los países que son potencias productoras de mango en el mundo (**Tabla 2**), en las que la lidera India con las del 44.62% de participación promedio mundial en los 5 años, seguida de China que ronda los 6.28%; en tercer lugar, esta Indonesia con un 6.24%; cuarto es Pakistán con un 4.37% y quinto, México con 4.19%. El año 2022 fue un año positivo para las potencias mundiales en producción agrícola de mango puesto que es donde se llegó al punto más elevado de toneladas producidas, siendo Indonesia quien crece a mayor pendiente mostrando un crecimiento notable de 25.3% desde el 2018 hasta el 2022. (FAO, 2023).

Tabla 2.

Principales países productores (toneladas) de mango entre el 2018 y 2022

Países	Producción (Tn)					Participación promedio
	2018	2019	2020	2021	2022	
India	24966000.0	25631000.0	24678000.0	24968000.0	26299000.0	44.616%
China	3151109.1	3282000.0	3798000.0	3790000.0	3800000.0	6.283%
Indonesia	3083621.0	3294817.0	3617270.9	3561867.5	4125243.7	6.235%
Pakistán	2320050.0	2270229.0	2344647.0	2677017.0	2782809.0	4.370%
México	2178926.9	2396675.3	2373111.2	2441495.9	2485545.6	4.187%
Brasil	1899261.0	2002849.0	2113918.0	2056772.0	2111139.0	3.591%
Malawi	1694448.0	1664872.1	1700000.0	1702088.9	1916502.1	3.060%
Tailandia	1576419.0	1643058.0	1320728.0	1369580.0	1398902.0	2.577%
Bangladesh	1407308.0	1456331.0	1448396.0	1458554.0	1452303.0	2.547%
Egipto	1429367.0	1396540.0	1544350.0	1123915.0	890338.0	2.251%
Otros Países	12305950.2	12819579.5	12971523.8	13035992.2	12780378.4	22.535%
Total	54583093.1	56461410.9	56365594.9	57061367.4	59151822.8	100.000%

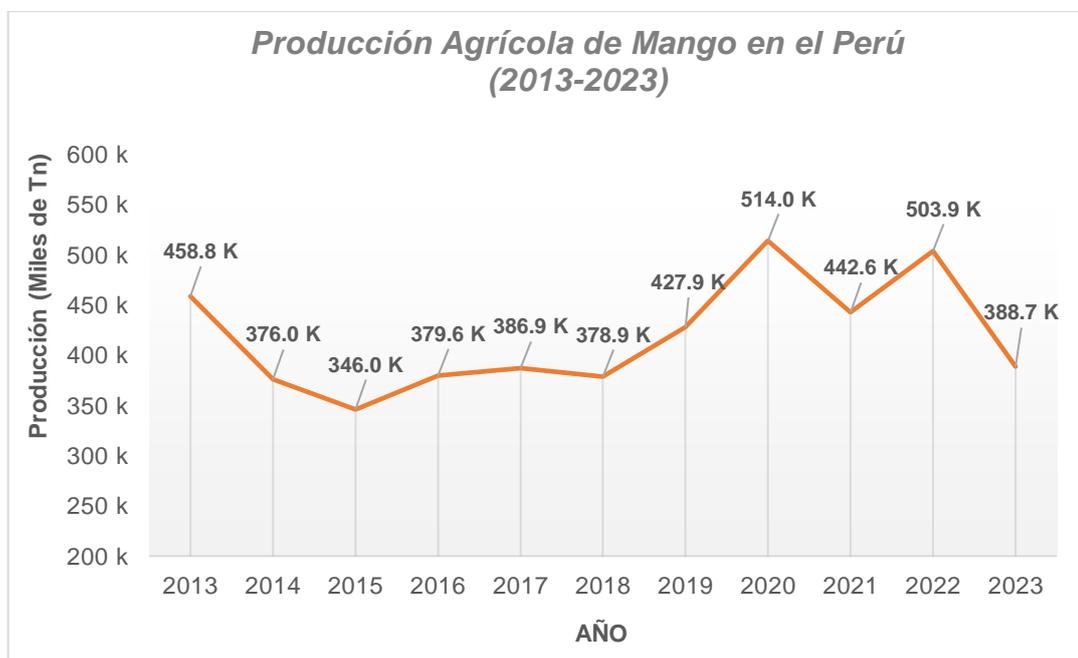
Nota. Esta tabla muestra la producción en Toneladas de los de los 10 principales países potencias en la producción de mango en el periodo 2018-2022. **Fuente:** FAO (2023)

2.5.5. CULTIVO Y PRODUCCIÓN NACIONAL

El mango es uno de los principales productos de exportación del Perú por lo cual su producción y cultivo tienen números elevados. En la **Figura 4** se muestra la producción anual (miles de toneladas) obtenida desde el 2013 hasta el 2023 en, observándose que el pico máximo llegado fue en el 2020 con 514 mil toneladas. La producción de mango en Perú ha experimentado fluctuaciones notables en la última década con altibajos que podrían estar relacionados con factores climáticos, económicos o de manejo agrícola. Se observa una tendencia general de recuperación en la producción después de una baja significativa en 2015, siendo este el punto más bajo llegado en la última década con 346 mil toneladas. Posterior a 2020, hubo una disminución en 2021 (-16.13%) a 442.6 mil toneladas, un pequeño repunte en 2022 (+12.16%) con 503.9 mil toneladas, y finalmente una caída notable del 29.6%, llegando a producir 388.7 mil toneladas en 2023. (Banco Central De Reserva Del Perú [BCRP], 2024a)

Figura 4.

Producción agrícola nacional anual de mango del 2013 al 2023.

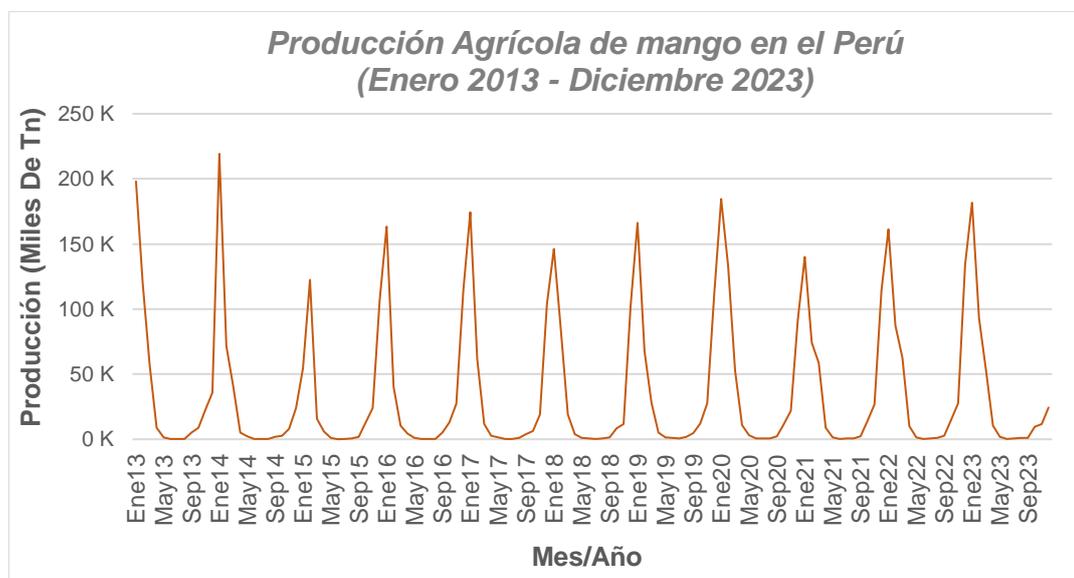


Nota. La figura muestra la producción (Tn) agrícola de mango en el periodo 2013-2023. **Fuente:** BCRP (2024a)

En la **Figura 5** se muestra la producción mensual de mango obtenida desde el 2013 hasta el 2023, observándose que existe un patrón estacional claro y repetitivo a lo largo de la década donde cada año tiene un pico significativo de producción de mango, generalmente en diciembre y los primeros meses del año (enero y febrero) teniendo promedios de producción de 87.4; 162.71 (pico máximo), y 86.83 miles de toneladas, respectivamente. Sin embargo, después del pico en los primeros meses, la producción disminuye drásticamente y se mantiene baja durante muchos meses del año, con una producción mínima desde aproximadamente mayo hasta agosto con promedios de 1.66; 0.35 (mínima producción); 0.43 y 0.78 miles de toneladas en mayo, junio, julio y agosto respectivamente. Esta tendencia se repite consistentemente cada año, lo que sugiere una temporada de cosecha bien definida que ocurre principalmente a principios de año. (BCRP, 2024b)

Figura 5.

Producción agrícola nacional mensual de mango de enero 2013 a diciembre 2023.

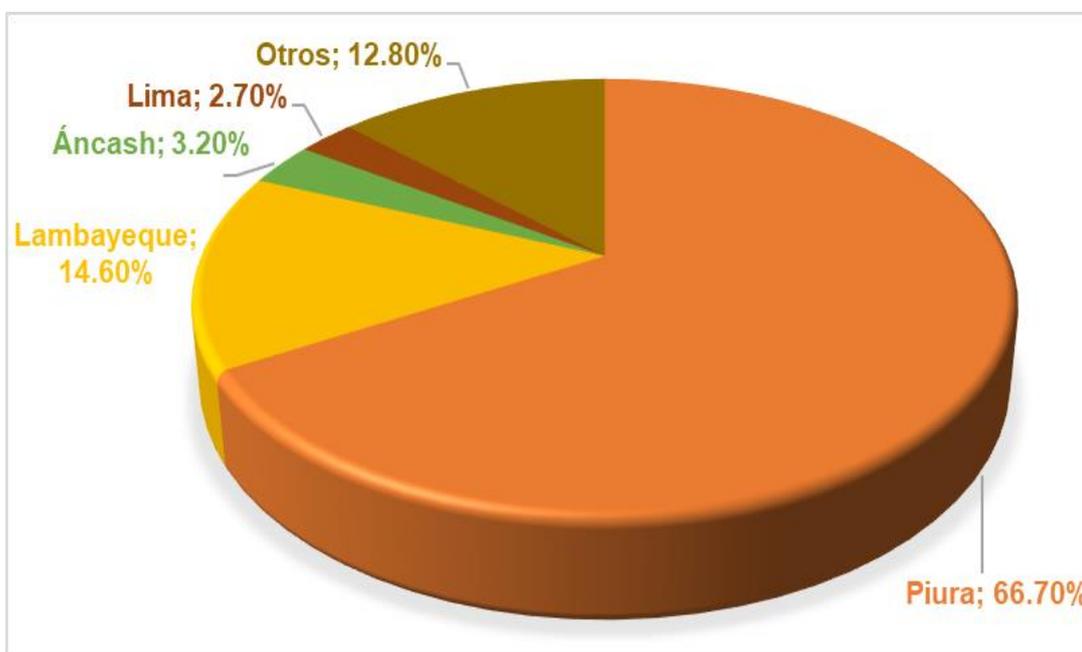


Nota. Esta tabla muestra la producción agrícola (Tn) mensual de mango durante el periodo enero 2013 – diciembre 2023 en el Perú. **Fuente:** BCRP (2024a)

En la **Figura 6** se muestra la participación de los principales departamentos productores y cosechadores de mango en el periodo de 2014 y 2019, donde en primer lugar esta Piura con un 66.7% (431 524 toneladas) seguida de Lambayeque con una actuación de 14.6% (52 520 toneladas), en tercer lugar, está el departamento de Ancash con un 3.2% (5 689 toneladas) y en la cuarta posición esta Lima con 2.7 % y Lambayeque en el quinto puesto con 2.6%. Los otros departamentos incluido Cajamarca representa el 12.8 % de participación con 37 456 toneladas. (Sistema Integrado de Estadística Agraria [SIEA], 2021).

Figura 6.

Distribución de la producción en toneladas de mango a nivel departamental registrado entre 2014 y 2019.



Nota. Esta figura muestra la participación de producción de mango en el periodo 2014-2019 en departamentos del Perú. **Fuente:** SIEA (2021)

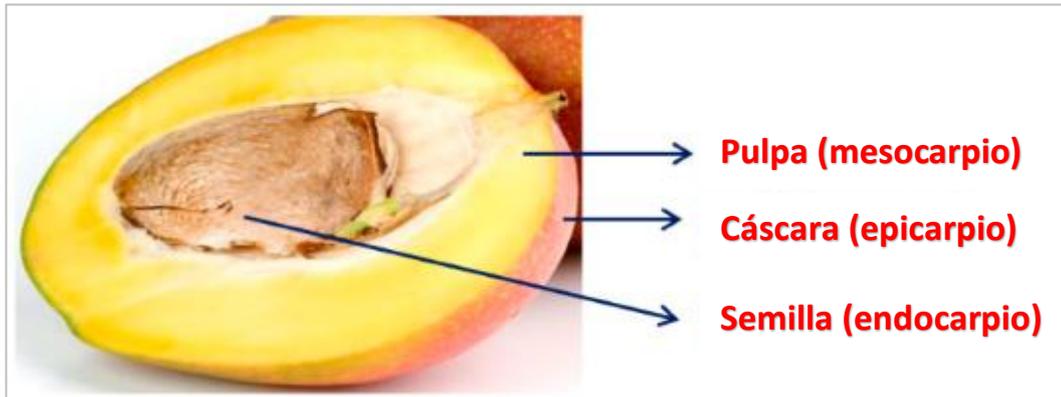
2.5.6. APROVECHAMIENTO DEL FRUTO

El mango (*Mangifera indica*) es una de las frutas más explotadas para alimento, jugo, sabor, fragancia y color (Parv & Kalpana, 2018). La pulpa del mango suele ser consumida o procesada por las industrias alimentarias, por lo que se desecha una gran cantidad de semillas como desechos sólidos. Aproximadamente entre el 40% y el 60% de los productos de desecho se generan durante el procesamiento de la fruta del mango, predominantemente la semilla del mango (Sonthalia & Sikdar, 2015). La semilla de mango se encuentra entre los principales desechos agroindustriales del mundo y genera alrededor de 123 000 toneladas métricas de semillas al año (Reddy *et al.*, 2016).

El balance de materiales y la distribución de proporciones de los frutos maduros de mango dependen generalmente de la variedad de la fruta. En la **Figura 8** se muestra los porcentajes de masa de las partes de la fruta del mango, a saber. pulpa, cáscara, endocarpio de semilla y pepita por 10 kg de frutos donde se observa que los frutos tienen alrededor de 62,6 y 15,5% de pulpa y cáscara respectivamente. El endocarpio pedregoso de la semilla y la semilla juntos constituyen el 14,8% de la fruta entera del mango, de la cual la semilla del mango por sí sola representaba el 9,5% de la fruta entera. El endocarpio pétreo que suele desecharse rondaba el 5,3%. Además, se estima que, durante el procesamiento de las frutas de mango, se pierde alrededor del 7,1% aproximadamente de la pulpa de la fruta. Esta fue la pérdida total de pulpa en parte debido a la adherencia de la pulpa en la superficie exterior del rodillo, dentro del cepillo y en parte debido a la pulpa residual adherida a la superficie de la semilla (Parv & Kalpana, 2018).

Figura 7.

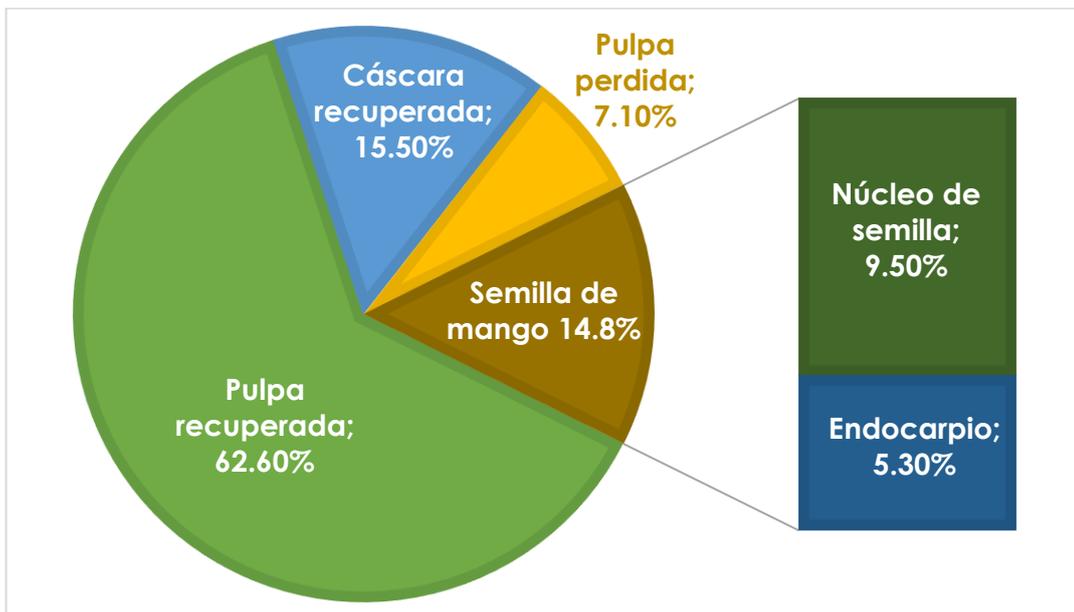
Partes principales de la fruta del mango.



Nota. Esta figura muestra las partes principales del mango. *Fuente:* Lebaka *et al.* (2021)

Figura 8.

Proporción de diferentes componentes de la fruta del mango.



Nota. Esta figura muestra los porcentajes de masa de las partes del fruto del mango.

Fuente: Parv y Kalpana (2018)

2.5.7. SEMILLA DE MANGO

La cadena agroindustrial del mango se centra principalmente en la producción de pulpas, jugos y néctares, lo que representa aproximadamente el 80% de la

participación, mientras que el resto se destina a la comercialización de la fruta fresca. Sin embargo, uno de los desafíos en la transformación del mango radica en el alto desperdicio de materia prima, que alcanza aproximadamente el 40%, proveniente de los subproductos como las cáscaras y las semillas que no se aprovechan. Para abordar este problema, es crucial desarrollar nuevas estrategias de transformación de estos subproductos para maximizar su utilización, con el objetivo de mejorar la competitividad del sistema productivo. (Sumaya *et al.*, 2019)

La semilla del mango representa el 14.8% del fruto de mango y está atrayendo una considerable atención en la cadena de transformación de esta fruta, principalmente debido a las propiedades destacadas de su almidón, harina y grasa. Se ha demostrado que estos componentes poseen cualidades nutricionales y bioactivas interesantes, lo que conlleva a un impacto positivo en el bienestar y salud de las personas. (Preedy *et al.*, 2020)

2.5.7.1. Composición Proximal De La Semilla De Mango.

En la **Tabla 3** se presentan los resultados de los análisis proximales realizados a las semillas de mango de diversas variedades, donde los valores de proteína bruta reportados fluctúan entre 4 % y 13 % en dependencia de la variedad (Serrato-Patiño *et al.*, 2019; García & Jarquín, 2015). Sin embargo, es importante destacar que la semilla de mango contiene la mayoría de los aminoácidos esenciales, como leucina, valina, isoleucina, metionina, fenilalanina, treonina, tirosina y lisina, además de otros aminoácidos. Asimismo, la semilla de mango exhibe una concentración significativa de carbohidratos, que oscila entre aproximadamente un 58% y un 80% de almidón con 97.18% de pureza (Lebaka *et al.*, 2021).

Tabla 3.*Composición proximal de la semilla de mango.*

Referencia	Chaparro <i>et al.</i> (2015)	García & Jarquín (2015)	García & Jarquín (2015)	Serrato-Patiño <i>et al.</i> (2019)	Serrato-Patiño <i>et al.</i> (2019)	Lebaka <i>et al.</i> (2021)
Variedad (país de origen)	Tommy Atkins (Colombia)	Mango Liso (Nicaragua)	Mango Rosa (Nicaragua)	Yulima (Colombia)	Maraquiteño (Colombia)	India
Humedad (%)	44.85	5	8.5	31.47	29.24	9.1
Proteína cruda (%)	6.39	4.91	6.21	5.65	6.15	6.61
Grasa(%)	10.7	8.93	7.63	11.21	11.12	9.4
Fibra Cruda (%)	2.38	4.99	4.56	2.6	2.98	2.8
Ceniza (%)	2.46	No reporta	No reporta	1.84	2.12	No reporta
Carbohidratos (%)	33	No reporta	No reporta	No reporta	No reporta	18.2

Nota. Esta tabla muestra la composición proximal desde diversos puntos de vista de autores

2.5.7.2. Almidón De Semilla De Mango.

El almidón se encuentra en gran abundancia y es la principal fuente de carbohidratos para la mayoría de las plantas (Alcázar-Alay & Meireles, 2015). Este producto está experimentando un aumento en su demanda debido a su versatilidad en el procesamiento de alimentos y en diversas industrias no alimentarias. Esto ha impulsado una extensa investigación con el fin de identificar y explorar fuentes de almidón novedosas, infrutilizadas y no convencionales, que podrían tener un papel crucial en el mejoramiento de calidad en productos alimenticios y en otros sectores industriales. Entre las diferentes fuentes subutilizadas de almidón, el almidón de

semilla de mango es un almidón neotérico y de bajo costo que se genera a partir de los desechos del procesamiento del mango (Nawab *et al.*, 2016).

Las características del almidón de semilla de mango son tan buenas como las de otros almidones comerciales obtenidos a partir de trigo, maíz, arroz y patata, y podrían utilizarse eficazmente como fuente de almidón. Las semillas secas de mango produjeron una cantidad significativamente mayor de almidón que las semillas frescas de mango (Parv & Kalpana, 2018). De hecho, según Awodi *et al.* (2022) las semillas secas y molidas en húmedo tienen 41,2 g de almidón por 100 g de semilla, mientras que las semillas secas y molidas seca producen 56,5 g de almidón por 100 g de semilla procesado. Por otro lado, las semillas de mango en peso seco pueden llegar a contener hasta un 65 % de almidón (Sonthalia & Sikdar, 2015). La menor concentración de almidón recuperado del método de beneficio húmedo puede deberse a la pérdida de gránulos de almidón mientras se elimina el exceso de agua de los gránulos de almidón sedimentados. El método de secado y molienda húmeda produce almidón blanco, mientras que el método de semillas secas y molienda seca produce almidón de color crema. El proceso de molienda en seco fomenta la fragmentación del almidón y genera almidón más dañado, mientras que la molienda en húmedo logra un almidón de calidad más pura que la molienda en seco debido al lavado y la filtración repetidos (El Halal *et al.*, 2019; Kringerl *et al.*, 2020).

2.6. CAÑA DE AZÚCAR (*Saccharum officinarum* L).

La caña de azúcar, de nombre científico *Saccharum officinarum* L., se cultiva en todo el mundo desde hace cientos de años (Ali *et al.*, 2019). Esta es bien conocida por su valor económico que produce dando 70% del azúcar del mundo (Ali *et al.*, 2021). El rendimiento del cultivo es típicamente entre 60 y 100 toneladas por hectárea por año,

informado en base a tallo húmedo. El contenido de sacarosa, azúcares reductores y minerales en el jugo depende de una variedad de variables que incluyen la genética de la planta, el suelo, el clima, el manejo agronómico y la madurez de la planta (De Souza *et al.*, 2014).

2.6.1. ORIGEN

Según algunos investigadores, el noreste de la India, la provincia de Bengala en específico, es la región de origen de la caña de azúcar, donde el nombre de su capital, Gaura, proviene de la palabra "Gur", que significa azúcar. Otros investigadores sitúan su origen en Nueva Guinea, desde donde se extendió a Borneo, Sumatra e India. Posteriormente, Alejandro Magno la introdujo en Persia en el 331 a.C., y los árabes la difundieron en Siria, Palestina, Arabia y Egipto, desde donde llegó a África y España. Otros estudiosos sugieren que su origen podría estar en Indochina (Osorio, 2007).

De acuerdo a algunos historiadores cuando Alejandro Magno y sus tropas conquistaron la India en el año 337 A.C., probaron por primera vez azúcar de caña y la llevaron de regreso a Persia. Una vez introducida, los árabes la llevaron al norte de África y al sur de Europa, al tiempo que los chinos extendían los cultivos hacia Java y Las Filipinas, los cruzados la transportaban a Francia en los siglos XI y XII y su desarrollo comercial se extendió al resto del continente europeo (López, 2015).

2.6.2. TAXONOMÍA

La caña de azúcar pertenece a las plantas gramíneas, miembro de la familia *Poaceae*, la cual se encuentra dentro del orden Poales. En la **Tabla 4**, se presenta la clasificación taxonómica de la caña de azúcar.

Tabla 4.*Clasificación taxonómica de la caña de azúcar.*

CATEGORÍA	CLASIFICACIÓN
Reino	Plantae
Filo	Magnoliophyta
Clase	Liliopsida
Subclase	Commelinidae
Orden	Poales
Familia	Poaceae
Género	<i>Saccharum</i>
Especie	<i>Saccharum officinarum L</i>
Otras especies	<i>S. Spontaneum, S. Robustum, S. Barberi, S. Sinense, S. Edule, S. Villosum; S. Asperum y otras.</i>

Nota. Esta tabla muestra la clasificación taxonómica de la caña de azúcar. **Fuente:** Cheavegatti-Gianotto *et al.* (2011).

2.6.3. CARACTERÍSTICAS BOTÁNICAS DE LA CAÑA DE AZÚCAR

La caña de azúcar consiste en un grupo de tallos duros, jugosos y no ramificados, con entrenudos claramente marcados. Estos tallos crecen a partir de una red de rizomas de la que emergen tallos secundarios formando grupos a medida que se desarrollan y pueden llegar a medir de 6 a 20 pies de altura con grosor de entre 1 y 2 pulgadas. Dentro del tallo hay un material fibroso y conciso lleno de jugo de azúcar en la planta madura (*National Tropical Botanical Garden [NTBG], s/f*). La longitud y diámetro de las articulaciones cambian ampliamente según las distintas variedades y características de cultivo. (Sandhu *et al.*, 2019)

El tronco de la caña de azúcar está compuesto por dos partes: una sólida, que es la fibra, y otra líquida, que es el jugo. En el jugo es donde abunda gran cantidad de agua

y sacarosa, no obstante, ambas partes también contienen pequeñas cantidades de otras sustancias (Casusol, 2019).

Los colores del tallo que se ven entre dos nudos, principalmente se debe a la variedad de caña o en consecuencia a las condicional del clima y/o ambiente. Por ejemplo, si de los entrenudos, se le realiza una prolongada exposición solar, esto puede provocar cambios completos del color. Otro factor que puede influir en el cambio de color, es debido, a las diferentes variedades sembradas en distintos climas. Además, se sabe que existen 2 principales pigmentos que le brinda los colores característicos al tallo, siendo estos la antocianina para el color rojo y la clorofila para el verde. Sin embargo, el tallo puede adquirir otro tipo de colores al incrementar o disminuir la concentración de los dos pigmentos (clorofila y antocianina), los cuales van del verde al rojo púrpura, al rojo y casi al negro. Los tallos amarillos indican una relativa falta de estos pigmentos. (Sandhu *et al.*, 2019).

Las hojas de la caña de azúcar son alternas y están adheridas al tallo, con una hoja por entrenudo (Cheavegatti-Gianotto *et al.*,2011). La planta madura de caña de azúcar tiene una superficie foliar superior total promedio de aproximadamente 0,5 metros cuadrados, y el número de hojas verdes por tallo es de alrededor de diez, dependiendo de la variedad y las condiciones de crecimiento (Sandhu *et al.*, 2019).

Las hojas de 1 a 2 pies de largo son hojas lisas y alargadas, en su mayoría de 4 a 6 cm de ancho, con una nervadura central muy gruesa y bordes con dientes de sierra que pueden cortar la piel. Estos generalmente presentan distintos tonos de verde como el claro, intenso o amarillento, según sea la variedad (NTBG, s/f).

Cuando una planta de caña de azúcar ha alcanzado una etapa relativamente madura de desarrollo, su punto de crecimiento puede, bajo ciertas condiciones de fotoperiodo y humedad del suelo, cambiar de la etapa vegetativa a la reproductiva. Esto significa

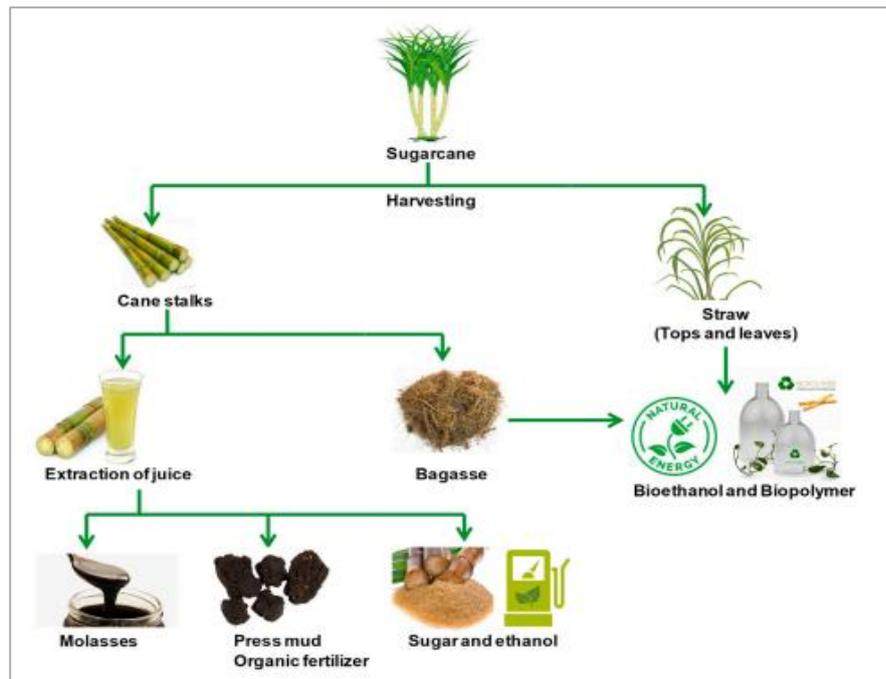
que el punto de crecimiento deja de formar primordios foliares y comienza la producción de una inflorescencia. La inflorescencia o borla de la caña de azúcar es una panícula de ramas abiertas. Cada borla consta de varios miles de flores diminutas, cada una de las cuales es capaz de producir una semilla. Las semillas son extremadamente pequeñas y pesan aproximadamente 250 por gramo (Sandhu *et al.*, 2019).

2.6.4. COMPONENTES Y SUBPRODUCTOS

El producto principal de la caña de azúcar es el azúcar refinada, sin embargo, en pleno proceso productivo, se van apartando o separando ciertos “desechos” llamados también subproductos donde está incluido el jugo de caña de azúcar, azúcar moreno, bagazo, melaza, paja y lodo de prensa que se obtienen sin refinar. (**Figura 9**) (Ali *et al.*, 2021).

Figura 9.

Procesamiento de la caña de azúcar y sus diferentes subproductos.



Nota. Esta figura muestra los pasos para procesar caña de azúcar en diversos productos como melaza, fertilizantes o azúcar y etanol. **Fuente:** Ali *et al.* (2021)

Además de los azúcares en el jugo, la masa desechada de caña de azúcar comprende materia lignocelulósica sustancial en tallos, puntas y hojas. La **Tabla 5** presenta su potencial típico teniendo las copas y las hojas agrupadas bajo la denominación de paja. Como se puede notar, las proporciones son de aproximadamente 1/3 para cada componente, ya sea en masa seca o en base energética (Leal *et al.*, 2013). Con una producción mundial anual de caña de azúcar de alrededor de 1800 millones de toneladas de caña (t c), se puede usar la suma de tallos y hojas de la Tabla 5 para calcular un potencial de lignocelulosa de 495 millones de toneladas (base seca), o 9 EJ en base energética. Esta es una parte considerable del suministro global actual de bioenergía (~63 EJ por año), lo que destaca el potencial de la lignocelulosa de la caña de azúcar (bagazo y paja) y su importancia como recurso renovable (Agencia Internacional de la Energía [IEA], 2017).

Tabla 5.

Masa y energía primaria de los componentes de la caña de azúcar.

Componente	Masa (kgdry/tc)	Energía (MJ/tc)
Azúcares: jugo	150	2500
Lignocelulosa de tallo: bagazo	135	2400
Lignocelulosa de sumidades y hojas: paja	140	2500
Total	425	7400

Nota. Esta tabla muestra los componentes primarios de la caña de azúcar en función a su masa (kgdry/tc) y energía (MJ/tc). *Fuente:* Leal *et al.* (2013)

2.6.5. CULTIVO Y PRODUCCIÓN MUNDIAL

La caña de azúcar es cultivada en múltiples regiones tropicales y subtropicales alrededor del planeta. La cantidad más significativa de bagazo de caña de azúcar se genera después de producir azúcar y bioetanol de las industrias. Por cada tonelada de

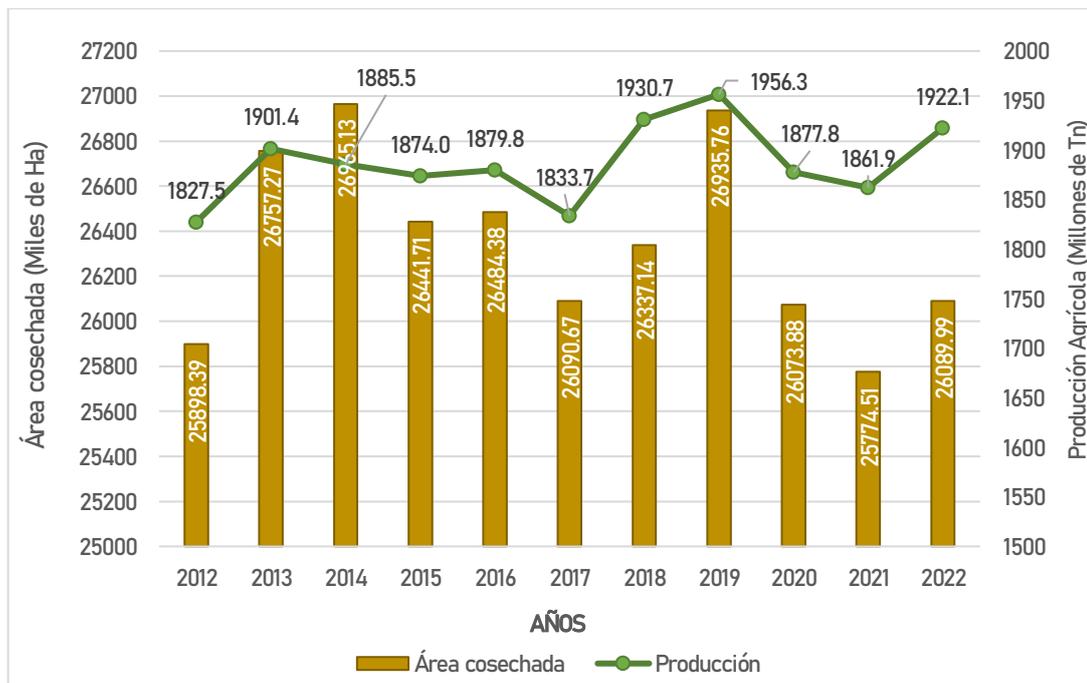
caña de azúcar procesada, se obtienen aproximadamente 740 kg de jugo y 260 kg de bagazo húmedo (lo que equivale a 130 kg de bagazo seco) (Raj *et al*, 2022). Aproximadamente el 79% de la caña de azúcar se destina a la industria azucarera para la producción de azúcar y el resto se deja en los campos (Meghana & Shastri, 2020).

La **Figura 10** se ilustra la tendencia de la relación entre la superficie cosechada y la producción de caña de azúcar a nivel global durante el período comprendido entre los años 2012 y 2022. Los mayores picos de áreas cosechadas se presentaron en el 2014 y 2019, sin embargo, aunque ambos años tienen áreas cosechadas similares (26,965.13 mil Ha en 2014 y 26,935.76 mil Ha en 2019), la producción fue significativamente mayor en 2019 (1,956.6 millones de Tn contra 1,901.4 millones de Tn), conllevando esto a obtener un mayor rendimiento en el 2019 (72.63 Tn/Ha) que en el 2014 (69.92 Tn/Ha). Esto es debido a la mejora continua en prácticas agrícolas, favoreciendo la eficiencia de producción, o también por condiciones climáticas más favorables en 2019.

Por otra parte, las caídas en el área cosechada en 2020 (-3.31% respecto al año anterior) y 2021 (-1.16% respecto al año anterior) coincide con una producción relativamente baja (1,877.8 millones de Tn y 1861.9 millones de Tn), reflejando una posible relación entre condiciones adversas ocurridas en esos años como es la aparición y proliferación del COVID-19 en todo el mundo, afectando significativamente los cultivos y la producción. Pese a ello, en el 2022, se presencia una recuperación tanto en área cosechada (+1.21%) como en la productividad (+3.13%), lo cual, de acuerdo a las tendencias y comportamiento de la gráfica, se pronostica mejores resultados y mayores valores para los años siguientes. (FAO, 2023).

Figura 10.

Producción/Área cosechada de caña de azúcar a nivel mundial entre 2012 y 2022.

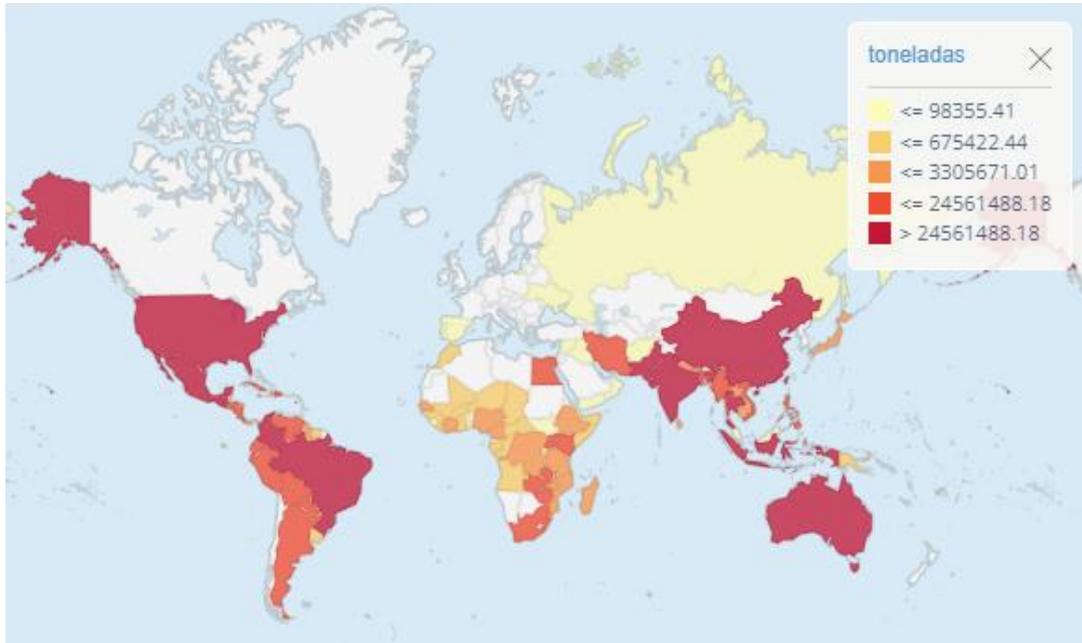


Nota. Esta figura muestra la producción a nivel mundial de caña de azúcar, así como el área cosechada en el periodo del 2012-2022. **Fuente:** FAO (2023)

En la **Figura 11** se presenta el promedio de producción de caña de azúcar en toneladas por países del mundo entre 2012 y 2022, utilizando una escala de colores para representar diferentes rangos de producción, siendo los países de color rojo intenso los que tuvieron mayor promedio de producción en esos años. La producción de caña de azúcar está altamente concentrada en regiones específicas del mundo, principalmente en Brasil, India, y otros países tropicales y subtropicales. Los continentes donde hay mayor concentración de producción en el mundo son América y Asia, por el contrario, la producción de caña de azúcar es prácticamente inexistente en Europa. (FAO, 2023).

Figura 11.

Producción promedio de caña de azúcar por país a nivel mundial entre 2012 y 2022.



Nota. La figura muestra la producción de mango promedio en los diversos países del mundo en el periodo 2012-2022. **Fuente:** FAO (2023)

La **Tabla 6** muestra los volúmenes de producción de caña de azúcar de los 10 principales países productores en toneladas (Tn) para los años 2018 a 2022, junto con el porcentaje promedio de participación de cada país en la producción total durante ese período. Entre estos países, existe una predominancia de Brasil e India en la producción mundial, ya que juntos representan más del 59% de la producción total, con Brasil liderando significativamente con 39.72%. Además, existe una contribución sustancial del grupo de "Otros Países" aportando una parte considerable (15.795%) de la producción total, indicando una distribución diversificada de la producción agrícola de caña de azúcar. (FAO, 2023). Esto indica que el procesamiento de esta gran cantidad de caña de azúcar contribuiría involuntariamente a la producción de una gran cantidad de residuos (Ajala *et al.*, 2018).

Tabla 6.

Principales países productores (toneladas) de caña de azúcar entre el 2018 y 2022.

Países	Producción (Tn)					Participación
	2018	2019	2020	2021	2022	Promedio
Brasil	747556774.0	753470465.0	756070576.0	715679276.0	724428135.0	38.719%
India	379904850.0	405416180.0	370500300.0	405398710.0	439424890.0	20.952%
China	108097100.0	109388100.0	108121000.0	106664000.0	103381300.0	5.610%
Tailandia	135073799.0	131002173.0	74968070.0	66725460.0	92095784.0	5.235%
Pakistán	67173975.0	66379581.0	81009261.0	88650593.0	87981135.0	4.097%
México	56841522.7	59334058.9	53841556.8	55247516.1	55279459.0	2.938%
Colombia	33454409.0	33835406.0	36364744.0	33969117.8	35040528.0	1.808%
Australia	33506830.0	32415352.0	30283457.0	31133488.0	28669279.8	1.634%
EE.UU.	31335980.0	28972760.0	32749370.0	29790130.0	31456630.0	1.616%
Indonesia	29500000.0	29100000.0	29300000.0	32200000.0	32400000.0	1.597%
Otros Países	308281855.5	306976046.7	304597988.4	296474931.8	291902710.0	15.795%
Total	1930727095.1	1956290122.6	1877806323.2	1861933222.7	1922059850.8	100.000%

Nota. Esta tabla muestra la producción (Tn) de los 10 principales países potencias en la producción de caña de azúcar en el periodo 2018-2022. *Fuente:* FAO (2023)

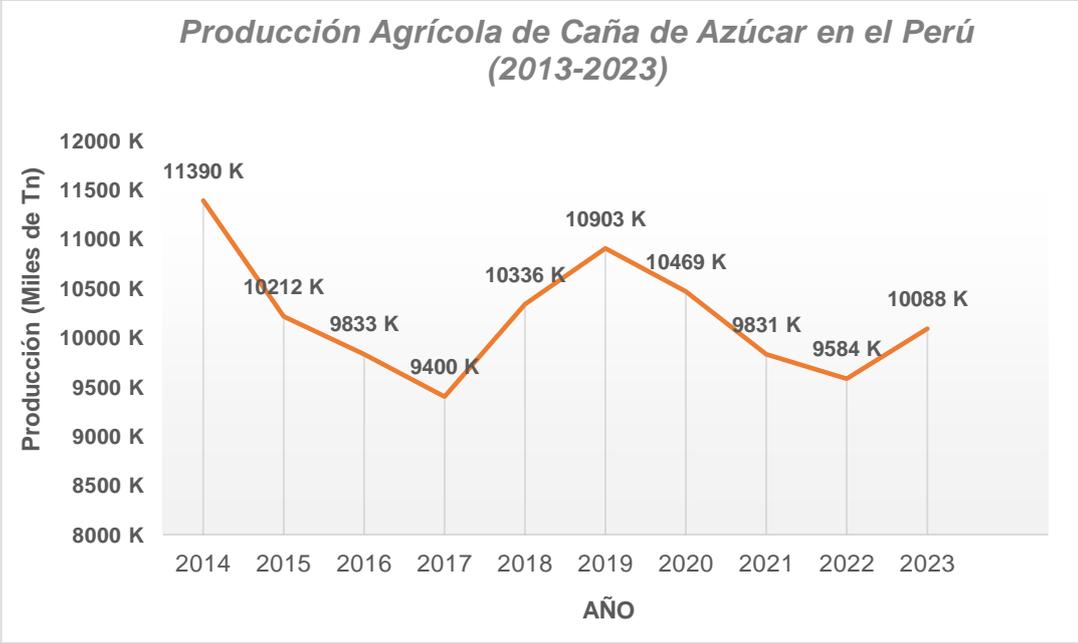
2.6.6. CULTIVO Y PRODUCCIÓN NACIONAL

En el Perú, la caña de azúcar es un cultivo que se produce a gran escala, ya sea para la elaboración de azúcar cristalina, como también para el aprovechamiento de bagazo en la producción de alcohol etílico, es por ello que varias empresas están incursionando en este sector agroindustrial. En la **Figura 12** se muestra la producción anual obtenida desde el 2013 hasta el 2023, observándose que el pico máximo llegado fue en el 2014 con 11389.6 miles de toneladas. Por otra parte, desde el 2019 hasta el 2022 se evidencio un comportamiento con pendiente negativa, es decir, la producción disminuyó notablemente en esos años pasando de 10902.9 miles de toneladas en el

2019 a 9583.7 miles de toneladas en el 2022, lo que significa una reducción de del 12.1% (BCRP, 2024b). Esto puede ser por factores adversos, principalmente por la pandemia COVID 19, causando interrupciones en la cadena de suministro, escasez de mano de obra debido a restricciones de movilidad y medidas de confinamiento, y dificultades logísticas para el transporte y la distribución de productos agrícolas, además de las condiciones climáticas extremas, incluyendo lluvias prolongadas, inundaciones y temperaturas inusualmente altas o bajas, afectando significativamente los cultivos, reduciendo tanto la cantidad como la calidad de producción.

Figura 12.

Producción agrícola nacional anual de caña de azúcar del 2013 al 2023.



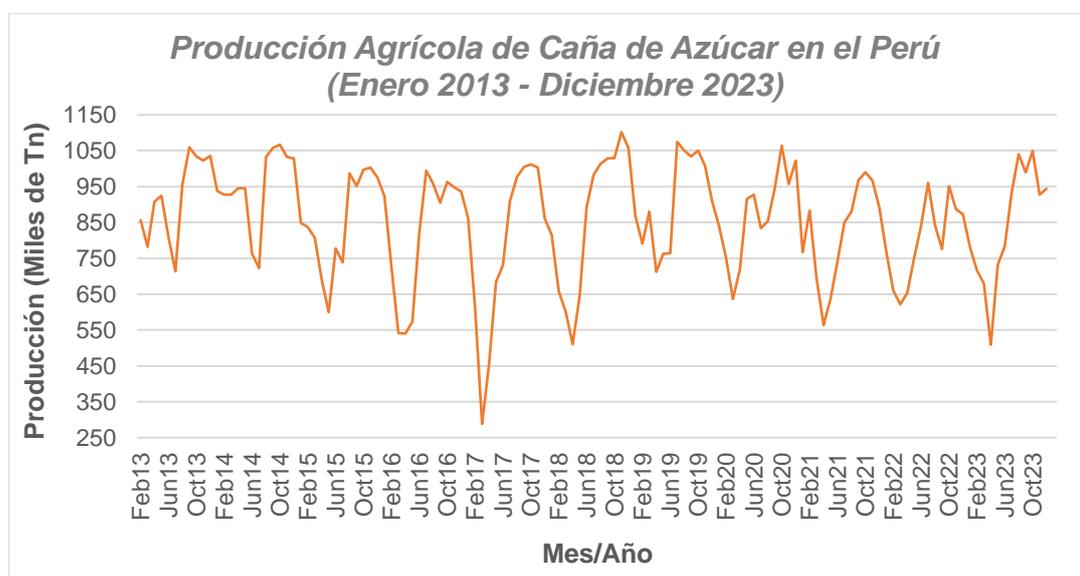
Nota. Esta tabla muestra la producción agrícola (Tn) anual de caña de azúcar durante el periodo 2013-2023 en el Perú. **Fuente:** BCRP (2024b).

En la **Figura 13** se muestra la producción mensual obtenida desde el 2013 hasta el 2023, observándose que en algunos años muestran picos más altos y valles más profundos que otros, indicando variaciones significativas en la producción mensual,

donde los mayores índices de producción se hacen entre los meses de agosto, septiembre, octubre, noviembre y diciembre, teniendo promedios de producción de 962.5; 974.6; 1018.94 (pico máximo), 987.2 y 957.8 miles de toneladas, respectivamente. Por otra parte, los meses donde la producción es baja es en marzo y abril con promedios de 677.9 y 655.2 miles de toneladas respectivamente; en los demás meses la producción es regular. Los datos recientes de los últimos dos años (2022-2023) muestran una tendencia hacia una producción más estable. (BCRP, 2024b).

Figura 13.

Producción agrícola nacional mensual de caña de azúcar de enero 2013 a diciembre 2023.



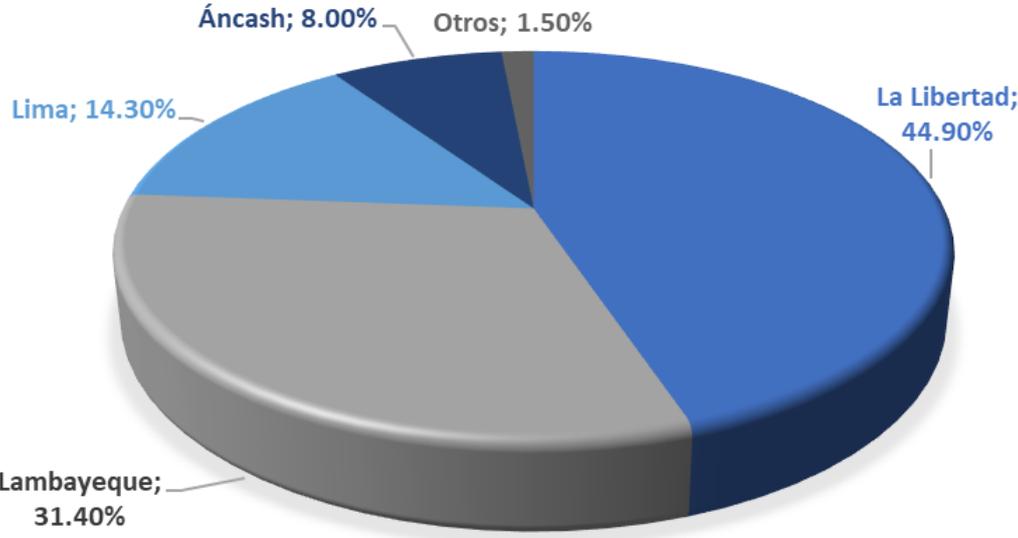
Nota. Esta tabla muestra la producción agrícola (Tn) mensual de caña de azúcar durante el periodo enero 2013 – diciembre 2023 en el Perú. **Fuente:** BCRP (2024b)

En la **Figura 14** se muestra la participación de los principales departamentos productores y cosechadores de caña de azúcar en el periodo de 2014 y 2019, donde en primer lugar está La Libertad con un 44.9 % (5 514 278 toneladas) seguida de Lambayeque con una actuación de 31.4 % (2 566 492 toneladas), en tercer lugar, está

el departamento de Lima con un 14.3% (1 525 064 toneladas) y en la cuarta posición esta Ancash con 8 % (957 461 toneladas). Los otros departamentos representan el 1.5 % de participación en producción de caña de azúcar con 339 611 toneladas, lo cual no influyen mucho en el global, a diferencia de la predominancia que tiene las regiones de La Libertad y Lambayeque, que juntas son el 76.3% del total. (SIEA, 2021).

Figura 14.

Distribución de la producción en toneladas de caña de azúcar registrado entre 2014 y 2019 a nivel departamental.



Nota. Esta figura muestra el porcentaje de producción a nivel departamental de caña de azúcar en el periodo 2014-2019. *Fuente:* SIEA (2021)

2.6.7. BAGAZO DE CAÑA DE AZÚCAR

El bagazo de caña de azúcar (**Figura 15**) es la fracción de biomasa resultante de la limpieza, preparación y extracción del jugo de caña de azúcar, es decir, la caña de azúcar, luego de ser cosechada mecánicamente, es transportado al ingenio para la

extracción del jugo crudo, del cual se obtiene el mayor subproducto que es el bagazo de caña de azúcar. (Khoo *et al.*, 2018).

Figura 15.

Bagazo de caña de azúcar.



Nota. Esta figura muestra como luce el gabazo de caña de azúcar. **Fuente:** Toscano-Miranda *et al.* (2021)

Antiguamente, los ingenios de caña de azúcar incurrieron en costos adicionales de eliminación de bagazo. Además, la gestión de los ingenios de caña de azúcar enfrenta problemas con las regulaciones de limpieza del aire porque la mayor parte del bagazo se quema a cielo abierto, lo que genera contaminación del aire. Por lo tanto, existe la necesidad de utilizar este excedente de bagazo para la producción de diversas sustancias de valor agregado con grandes aplicaciones biotecnológicas (Balaji, 2014). El bagazo de caña de azúcar se puede utilizar para una variedad de propósitos, como la generación de electricidad papel, gas de síntesis y biogás (Arshad & Ahmed, 2016; Rabelo *et al.*, 2012; Yu *et al.*, 2015), además también se usó como alimento para el ganado debido a la presencia de nutrientes, como también para la biorremediación de metales pesados de aguas residuales y muchos otros productos de valor agregado (Do Carmo Ramos *et al.*, 2015; Do Carmo Ramos *et al.*, 2016).

2.6.7.1. Composición química de Caña de Azúcar.

El bagazo de caña de azúcar es una biomasa lignocelulósica compuesta de celulosa, hemicelulosas, lignina y otros extractivos vegetales. La composición del bagazo generalmente difiere, ya que depende de varios factores, como: la ubicación, la variedad del cultivo, los fertilizantes, las condiciones climáticas, el uso de fuego u otro método para remover la paja antes del corte, además, también influyen los métodos de cosecha y carga que resulten en mayor o menor arrastre de tierra, arena y residuos vegetales, es decir, corte manual, mecánico, picado de caña, corte hasta incluir la punta, etc., el tipo de suelo donde se sembró la caña de azúcar (latosoles, suelos arenosos y otros tipos de suelos); y los diversos métodos empleados para limpiar la caña de azúcar contribuyen a determinar la composición lignocelulósica del bagazo (Cândida *et al.*, 2015).

En la **Tabla 7**, se muestran la composición química analizada al bagazo de caña de azúcar por diferentes autores en estudios de los últimos 6 años.

Tabla 7.

Composición química del bagazo de caña de azúcar.

Nombre del Contenido	COMPOSICIÓN QUIMICA (%)				
	Mahmud & Anannya (2021)	Niju & Swathika (2019)	Al Arni (2018)	Singh <i>et al.</i> (2021)	Osaki (2022)
Celulosa	26-47	45-55	32-45	48	42
Hemicelulosa	19-33	20-25	20-32	29	37
Lignina	14-23	25	17-32	24	21
Ceniza	1-5	2.4-9	1-9	< 2	No reportado

Debido a su alto contenido en celulosa, se puede utilizar para la producción de bioetanol y de hecho la lignocelulosa (LC) es la materia prima renovable para la producción sostenible de bioetanol, ya que es más barata y tiene una gran abundancia. (Hemansi & Saini, 2023). Sin embargo, debido al bajo contenido de cenizas, el bagazo tiene varias ventajas en la bioconversión microbiana en comparación con otra biomasa como la paja de trigo y de arroz que tienen un contenido de cenizas de 11 y 17.5%, respectivamente. Los adsorbentes a base de bagazo de caña de azúcar, como el carbón activado de este, las cenizas volantes y la forma natural del mismo bagazo, se han investigado profundamente como futuros posibles adsorbentes en formas modificadas y no modificadas. Tiene la capacidad de eliminar de manera efectiva una amplia variedad de contaminantes específicos, incluidos los iones HM tóxicos (Aruna *et al.*, 2021; Sarker *et al.*, 2017).

2.6.7.2. Producción de Bagazo de Caña de Azúcar.

Este bagazo de subproducto también se produce a gran escala, es decir, 540 millones de toneladas métricas por año a nivel mundial entre los diez países principales, entre ellas Brasil, China y la India (Khoo *et al.*, 2018).

El bagazo constituye alrededor de 30 a 40 % en peso de la caña de azúcar. Por cada tonelada de caña de azúcar se generan alrededor de 280 kg de bagazo, esto depende de muchos factores: tiempo de cosecha, prácticas agronómicas, condición del suelo y la extensión de las operaciones de trituración y molienda realizadas en la caña de azúcar en el ingenio azucarero (Bantacut *et al.*, 2018; Guerra *et al.*, 2020).

Se estimó alrededor de 534 millones de toneladas de producción de bagazo a partir de 1 910 millones de toneladas de caña de azúcar en 2018 en todo el mundo. Por lo tanto, considerando que cada tonelada de caña de azúcar genera alrededor de 280 kg

de bagazo de caña de azúcar, la zafra mundial de 2019 y 2020 produjo cerca de 547 y 523 millones de toneladas de bagazo de caña de azúcar, respectivamente, lo que demuestra la necesidad de aplicar esta materia prima con esta enorme disponibilidad en países donde la producción es extensiva (Guedes *et al.*, 2018; FAO, 2022).

2.6.7.3. Propiedades Mecánicas del Bagazo de Caña de Azúcar.

Las principales propiedades mecánicas del bagazo de caña de azúcar incluyen la resistencia y el módulo de flexión, la resistencia y el módulo de tracción, la intemperie, la durabilidad, la resistencia al impacto y el retardo de llama. La resistencia a la flexión está influenciada por varios factores como la longitud de la fibra, la corteza, el tamaño y el contenido del polvo. La resistencia a la flexión del bagazo primero aumenta al aumentar el contenido de bagazo, seguido de una disminución al agregar más bagazo (Xiong, 2018). Según algunos informes, la resistencia a la tracción del bagazo también aumenta con la adición del contenido de bagazo, sin embargo, el módulo de tracción generalmente aumenta con el contenido de bagazo (El-Fattah *et al.*, 2015). Por otra parte, la resistencia al impacto del bagazo disminuye al aumentar el contenido de bagazo y hay una reducción más lenta y una mayor resistencia al impacto en el caso de bagazo más fino (Hemmasi *et al.*, 2013).

2.7. ARROZ (*Oryza sativa*)

El arroz posee dos tipos de variedades *Oryza sativa* y *Oryza glaberina*, siendo los cereales más comerciados que han existido durante siglos en Asia; particularmente por su importancia en la dieta para gran parte de la población de China y muchos otros países (Masats, 2021).

Un problema en la actual actividad humana por solucionar, es el tratamiento de la inmensa cantidad de residuos que se generan en la industria y la agricultura, siendo la biomasa la

mayor parte de ellos. Tal como sucede con la producción de arroz, de la cual se obtiene como residuo la cascarilla de arroz en grandes cantidades (Avalos & Torres, 2018).

2.7.1. ORIGEN

La domesticación y cultivo del arroz se remonta hace más de 10 mil años, en diversas regiones húmedas de Asia tropical y subtropical. Sin embargo, existen diversas versiones que hablan sobre el origen del arroz, pero se sabe con certeza que este cultivo inició en Asia, entre China y la India. Posteriormente, llegó a Tailandia hace unos 5000 años y más tarde se expandió a Vietnam, Japón y Corea (Infanta, 2017).

2.7.2. TAXONOMÍA

Oryza Sativa es la variedad mayormente cultivada y se acoplo al medio-este europeo (Maldonado, 2016). En la **Tabla 8** se muestra la clasificación taxonómica del arroz.

Tabla 8.

Clasificación taxonómica del arroz.

CATEGORÍA	CLASIFICACIÓN
Dominio	Eukarya
Reino	Plantae
Filo	Magnoliophyta
Clase	Liliopsida
Subclase	Commelinidae
Orden	Poales
Familia	Poaceae (Gramíneas)
Tribu	Oryzeae
Género	<i>Oryza</i>
Especie	<i>Oryza Sativa L.</i>

Nota. Esta tabla muestra la taxonomía del arroz de la variedad *Oryza Sativa*.

Fuente: Maldonado (2016).

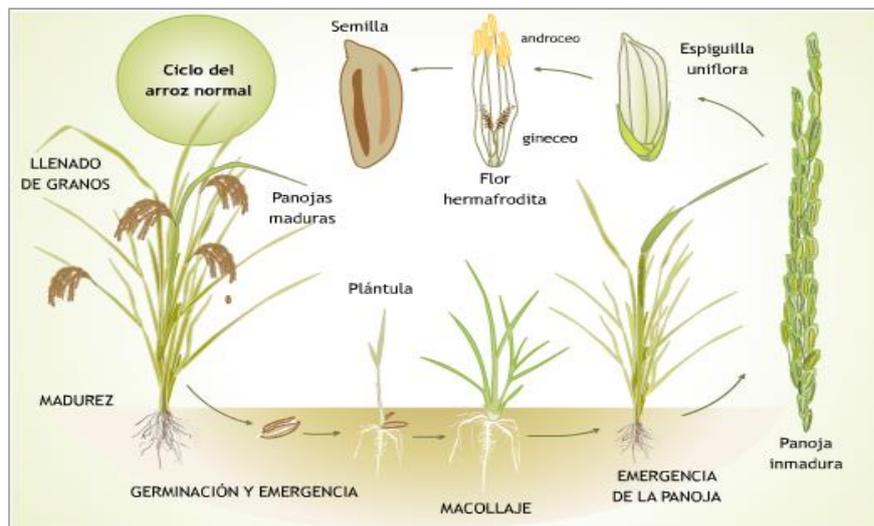
2.7.3. CARACTERÍSTICAS BOTÁNICAS DEL ARROZ

El arroz, conocido científicamente como *Oryza Sativa*, es una gramínea reconocida por sus semillas, siendo uno de los alimentos más consumidos a nivel mundial, seguido únicamente por el trigo. Esta planta puede alcanzar alturas de hasta 1.8 metros, además, presenta un tallo en forma de caña hueca en el interior y hojas lanceoladas y con nerviación paralela (Masats, 2021).

La parte más importante de esta planta (**Figura 16**), son las espigas, cuya formación se da por una panícula caediza en donde se encuentran los granos de arroz, este grano está rodeado por una capa dura de color marrón claro, mayormente conocido como salvado de arroz (Guillen *et al.*, 2020).

Figura 16.

Morfología del cultivo de arroz



Nota. Esta figura muestra la morfología del cultivo de arroz, desde su germinación hasta la Panoja inmadura. **Fuente:** Averos (2021).

2.7.4. CULTIVO Y PRODUCCIÓN MUNDIAL

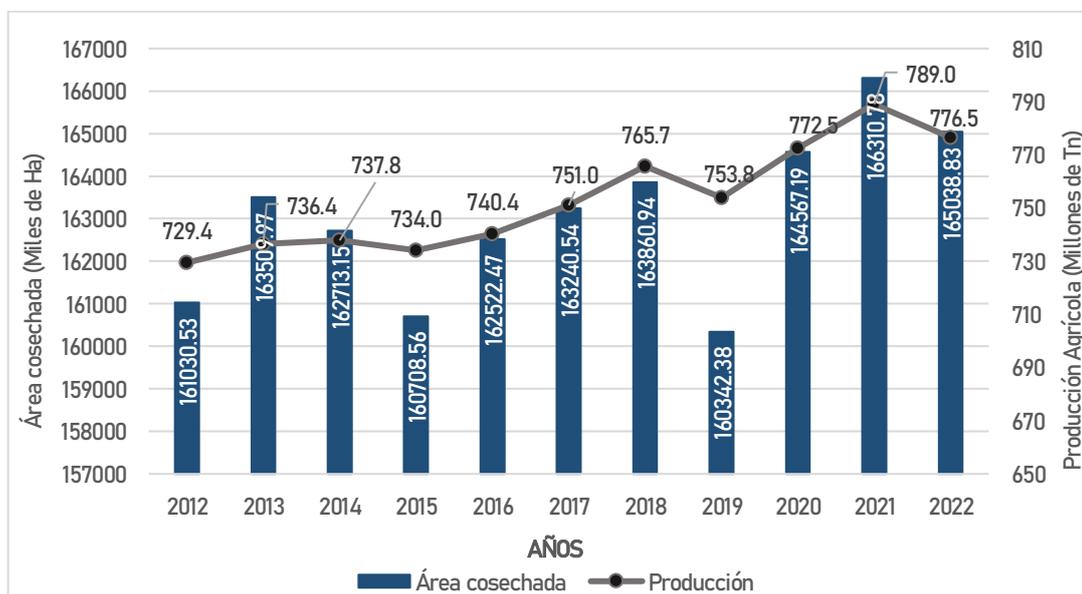
La producción de arroz a nivel mundial tiene una tendencia a incrementarse año tras año, esto evidencia la demanda continua que conlleva este producto en todo el

mundo, esto se debe a que el arroz es uno de los productos más consumidos desde hace casi más de 10 000 años (Hernández, 2022).

En la **Figura 18** se muestra el comportamiento con respecto a la relación entre producción y área cosechada de arroz a nivel mundial entre los años 2012 a 2022. Las hectáreas cosechadas evidencian una pendiente positiva cada año, mostrando un aumento del 2.43% desde el 2012, con 161,030,533 Ha cosechadas; hasta el 2022 con 165,038,826 Ha cosechadas para la producción de producto. De hecho, en el año 2019, se presencia una reducción de hasta un -0.51%, principalmente producto de la pandemia; sin embargo, para el 2022 tuvo una recuperación de hasta un 2.85% en producción de arroz (BCRP, 2024c). En cuanto a la producción, también se evidencia un incremento año tras año, comprobándose que la relación entre Producción y Área cosechada es directamente proporcional, presenciándose el mayor incremento del año 2020 (772.5 Millones de Tn) al 2021 (789 Millones de Tn) con un aumento del 2.09%, siendo el 2021, el año con mayor valor en producción de arroz a nivel mundial.

Figura 17.

Producción/Área cosechada de arroz a nivel mundial entre 2012 y 2022.

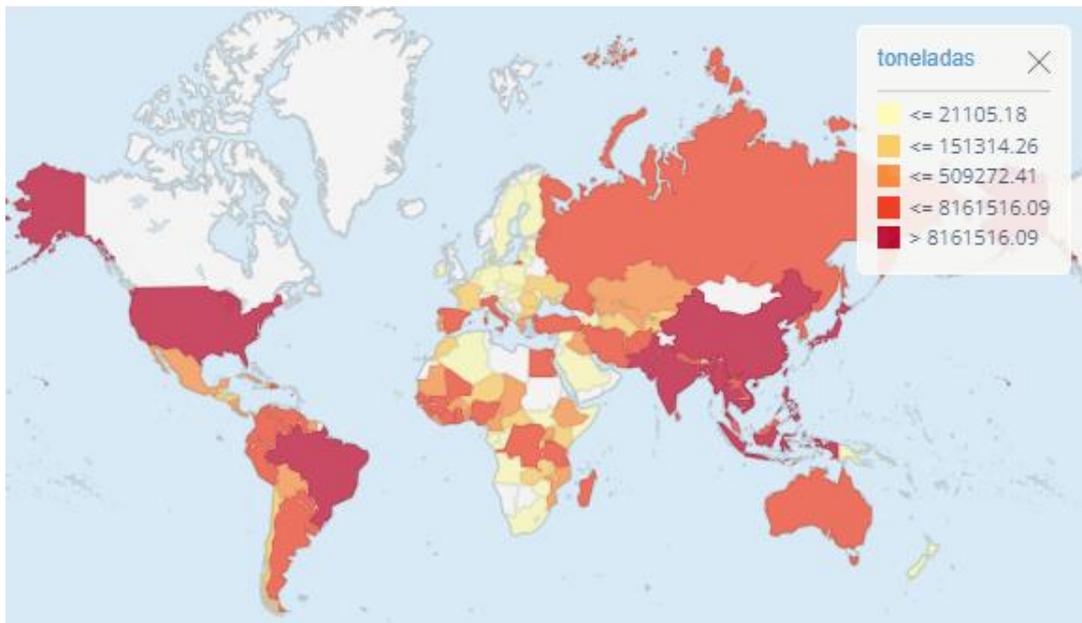


Nota. Esta figura muestra las hectáreas cosechadas y las toneladas producidas de arroz alrededor del mundo en el periodo 2012-2022. **Fuente:** FAO (2023).

Siguiendo en la misma línea, en la **Figura 19** se puede observar las distintas zonas geográficas que participan en la producción de arroz entre el periodo de 2012 a 2022, mostrando un promedio anualmente, siendo clasificados cuantitativamente mediante la intensidad de colores, donde se visualiza que el arroz es un producto producido tanto en el hemisferio norte, como el hemisferio sur del planeta. La producción de arroz es más intensa en las regiones tropicales y subtropicales del mundo, particularmente en Asia, que es conocida por ser el principal centro de producción y consumo de arroz, sin embargo, América del Sur y algunas partes de África también muestran niveles considerables de producción, aunque en menor escala comparada con Asia. (FAO, 2023).

Figura 18.

Producción de arroz por país a nivel mundial entre 2012 y 2022.



Nota. La figura muestra la producción de arroz promedio en los diversos países del mundo entre el periodo 2012-2022. **Fuente:** FAO (2023).

Al evaluarse la producción agrícola por país desde el año 2018 hasta el 2022, se logró identificar los países que son potencias productoras de arroz en el mundo (**Tabla 9**), en las que la lidera China con una participación promedio mundial del 27.348%, seguida de India, cuya participación es del 24.108%; en tercer lugar, tenemos a Indonesia con una participación de 7.197%; cuarto es Bangladesh con un 7.193% y, en quinto lugar, tenemos a Viet Nam con 5.621%. Además, se observa que el año 2022, fue positivo para las distintas potencias mundiales en producción agrícola de arroz, puesto que, presento el punto más alto en toneladas producidas; sin embargo, Filipinas fue el país con una pendiente de crecimiento mayor con un 3.49% desde el 2018 hasta el 2022. (FAO, 2023).

Tabla 9.

Principales países productores (toneladas) de arroz entre 2018 y 2022.

Países	Producción (Tn)					Participación promedio
	2018	2019	2020	2021	2022	
China	212129000.0	209614000.0	211860000.0	212843000.0	208494800.0	27.348%
India	174716730.0	178305480.0	186500000.0	194200000.0	196245700.0	24.108%
Indonesia	59200534.0	54604033.0	54649202.2	54415294.2	54748977.1	7.197%
Bangladesh	54416000.0	54586344.0	54905891.0	56383442.0	57189193.0	7.193%
Viet Nam	44046249.6	43495487.6	42764999.8	43852728.7	42672338.7	5.621%
Tailandia	32348114.0	28617948.0	31734268.0	32977775.0	34317028.0	4.148%
Myanmar	28016100.0	26691400.0	26399600.0	27438300.0	24680200.0	3.454%
Filipinas	19066093.9	18814827.3	19294855.5	19960170.2	19756392.3	2.512%
Pakistán	10798000.0	11120483.0	12629514.0	13984009.0	10983081.0	1.543%
Camboya	10892000.0	10885700.0	10936000.0	12207000.0	11624000.0	1.466%
Otros	120049748.5	117061568.0	120870366.3	120783623.5	115749746.6	15.412%
Total	765678570.0	753797270.8	772544696.8	789045342.6	776461456.6	100 %

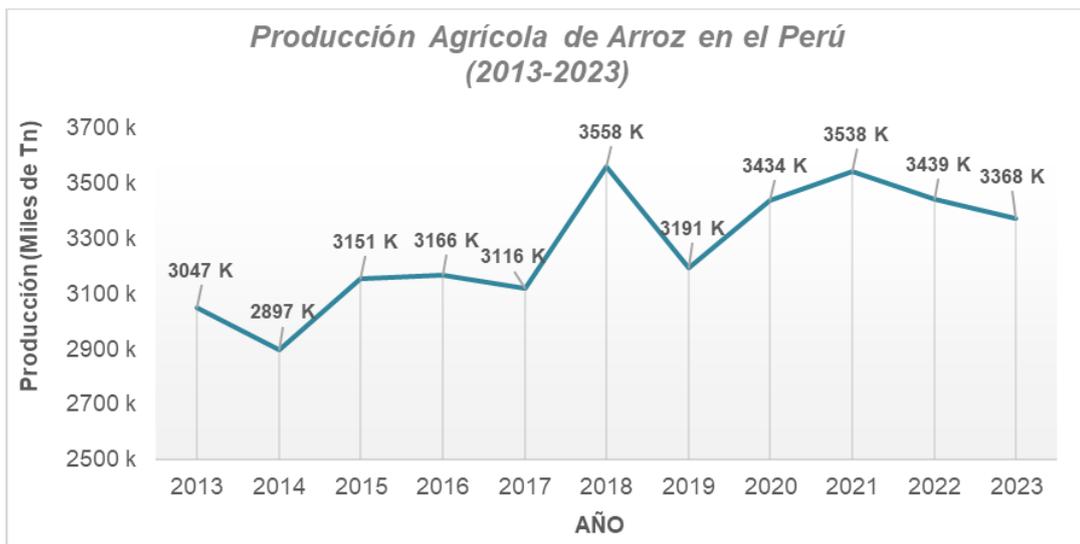
Nota. Esta tabla muestra la producción en Toneladas de los diferentes países sobre la producción de arroz en el periodo 2018-2022. **Fuente:** FAO (2023)

2.7.5. CULTIVO Y PRODUCCIÓN NACIONAL

El arroz destaca como uno de los principales productos agrícolas exportados por el Perú, lo que implica un aumento constante en su producción y cultivo anualmente. La **Figura 20** ilustra la tendencia de producción de arroz desde el 2013 hasta el 2023, revelando un crecimiento continuo en su producción a lo largo de los años. El máximo registro de producción de arroz en el Perú se alcanzó en el año 2018 con 3557.9 miles de toneladas, en comparación al año 2019 (3190.969 miles de toneladas), el cual presentó un descenso de -10.31%, producto de la pandemia (BCRP, 2024c).

Figura 19.

Producción agrícola nacional anual de arroz del 2013 al 2023.



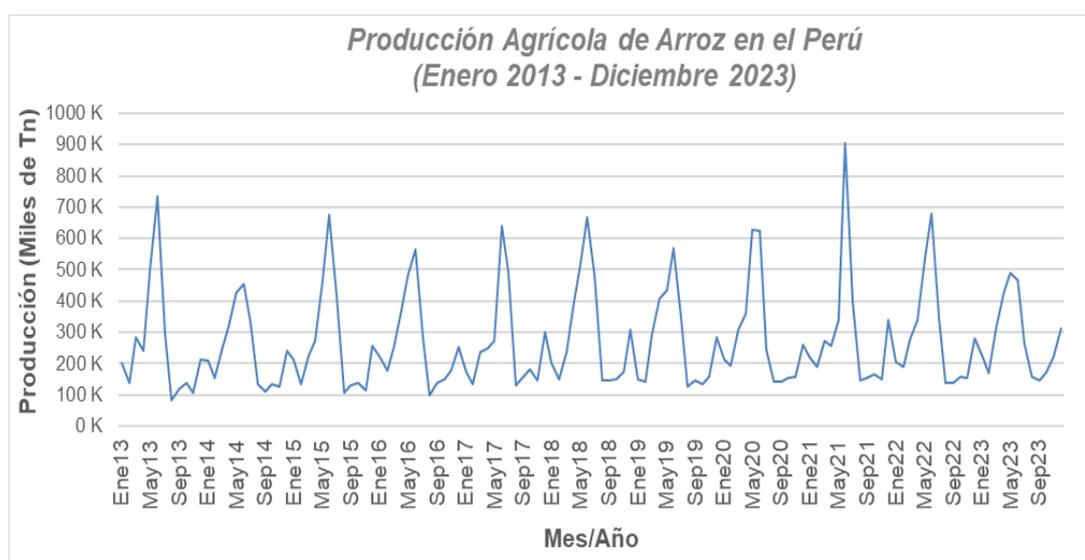
Nota. La figura muestra la producción (Tn) agrícola de arroz en el periodo 2013-2023. **Fuente:** BCRP (2024c)

En la **Figura 21** se muestra la producción mensual de arroz obtenida desde el año 2013 hasta el año 2023, observándose que los mayores índices de producción de arroz

se hacen entre los meses abril, mayo, junio y julio con un promedio de producción de 329.71; 463.14; 634.51 (pico máximo) y 354.3 miles de toneladas respectivamente. Por otro lado, los meses donde cuya producción es más baja son agosto, setiembre, octubre y noviembre con promedios de 127.85 (pico mínimo); 139.45; 152.01 y 153.56 miles de toneladas respectivamente (BCRP, 2024c).

Figura 20.

Producción agrícola nacional mensual de arroz de enero 2013 a diciembre 2023.



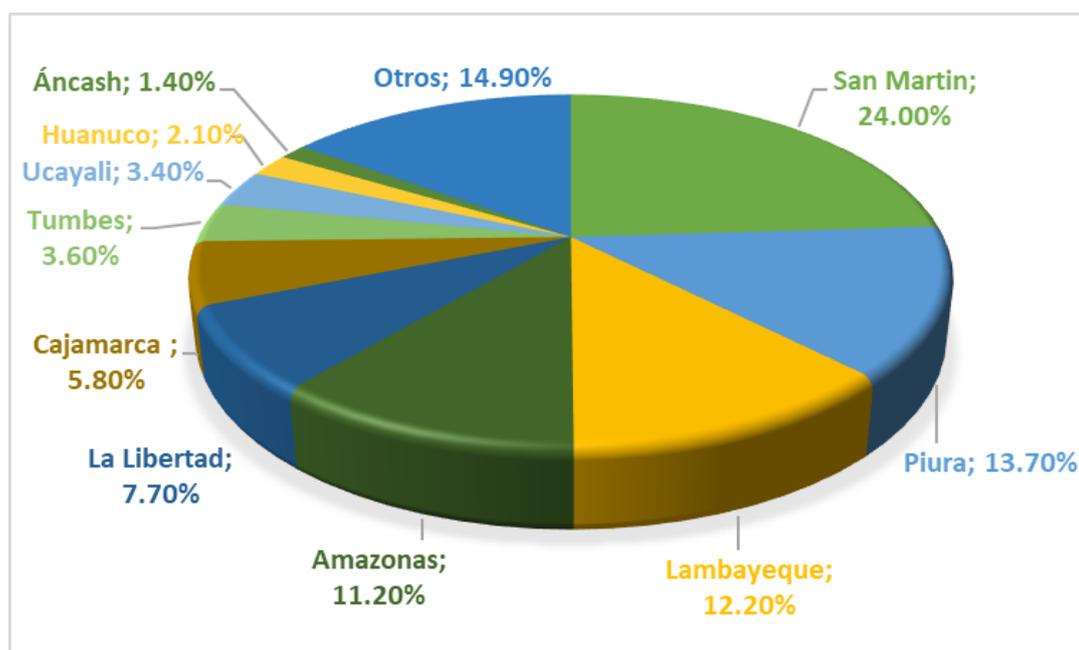
Nota. Esta figura muestra la producción agrícola (Tn) mensual de arroz durante el periodo enero 2013 – diciembre 2023 en el Perú. **Fuente:** BCRP (2024c).

En la **Figura 22** se muestra la participación de los principales departamentos productores y/o cosechadores de arroz durante el periodo de 2014 – 2019, donde el primero lugar lo ocupa San Martín con un 24% (101 921 toneladas), seguida de Piura con 13.7% (58 270 toneladas), en tercer lugar se encuentra Lambayeque con 12.20% (51 870 toneladas), en cuarto lugar Amazonas con 12.20% (47 278 toneladas), en quinto lugar La Libertad con 7.7% (32 782), en sexto lugar Cajamarca con 5.80% (24 462 toneladas), séptimo lugar Tumbes con 3.60% (15 133 toneladas), en octavo lugar Ucayali con 3.40% (14 542 toneladas), en noveno lugar Huánuco con 2.10%

(9 035 toneladas) y en décimo lugar Ancash con 1.40% (5 841 toneladas) de participación. Los otros departamentos restantes representan el 14.90% restante (SIEA, 2021).

Figura 21.

Distribución de la producción en toneladas de arroz a nivel departamental registrado entre 2014 y 2019.



Nota. La figura muestra los porcentajes de producción a nivel departamental de arroz en el periodo 2014-2019. **Fuente:** SIEA (2021)

2.7.6. CASCARILLA DE ARROZ

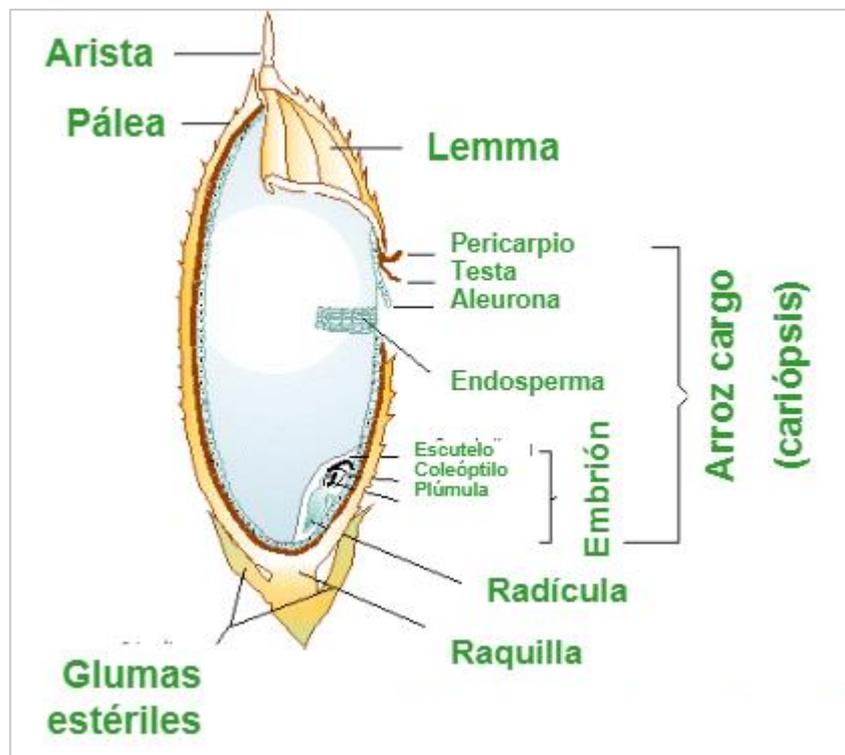
La cascarilla de arroz es un subproducto generado por la molienda del grano en estado maduro del arroz, se sabe que es un insumo para uso agrícola obteniéndose por la separación del grano de arroz y su cascara. Posee importantes nutrientes como fosforo (P) y potasio (K) (Rojas, 2020).

La cascarilla representa el 20% del peso del arroz cosechado y generalmente se descarta como residuo (Zambrano *et al.*, 2021). Se le conoce como cascarilla de arroz, a la corteza que cubre el grano, es un tejido vegetal lignocelulósico cuya

composición es de 85% de material orgánico, este porcentaje es representado por celulosa, lignina, D-xilosa y entre otros, pequeñas cantidades de D-galactosa (Llanos *et al.*, 2016). En la **Figura 17** se observa las partes principales por la que está compuesta el grano de arroz.

Figura 22.

Partes del grano de arroz.



Nota. En esta figura se muestra la composición principal externa e interna del arroz.

Fuente: Coronel (2018).

En la **Tabla 10**, se muestran la composición química analizada a la cascarilla de arroz por diferentes autores en estudios de los últimos 6 años, en donde se puede evidenciar el gran contenido de celulosa. Arias y Meneses (2016) consideran que la capacidad de adsorción de la este subproducto se debe a que posee compuestos lignocelulósicos.

Tabla 10.

Composición química de la cascarilla de arroz.

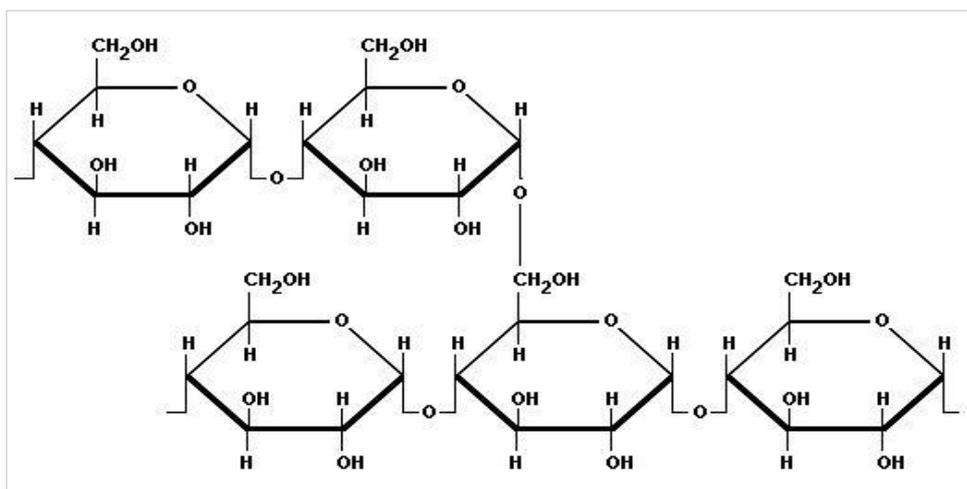
Contenido	COMPOSICIÓN (%)					
	Morales (2024)	Arias y Meneses (2016)	Gao et al. (2018)	Perez et al. (2022)	Kordi et al. (2024)	Mirmohamadsadeghi & Karimi (2020)
Celulosa	39	36.03	35 - 40	35	23 - 33	28.6 - 43.3
Hemicelulosa	20	45.48	15 - 20	25	18 - 21	22 - 29.7
Lignina	22	18.49	20 - 25	20	25 - 31	19.2 - 24.4
Ceniza	15.4	No reportado	No reportado	17	No reportado	17 - 20

2.8. ALMIDÓN

El almidón es un término relacionado los carbohidratos, cuya finalidad es reservar energía de casi todos los vegetales, es un polisacárido cuya composición es la de una cadena larga de monosacáridos, la cual está estructurado por amilosa y amilopectina como se muestra en la **Figura 23**. (Pérez & Merino, 2022).

Figura 23.

Estructura química del almidón.



Nota. Esta figura muestra la estructura química que compone al almidón. **Fuente:**

Rosario (2023)

La concentración de almidón puede variar en su mayoría por la etapa de madurez del fruto, algunas frutas evidencian esta concentración mediante la coloración exterior, teniendo la menor concentración cuando esta verde y la mayor cuando está muy maduro. El almidón se puede encontrar en su mayoría en tubérculos (boniato, papas, yuca, etc.) y cereales (trigo, arroz, etc). (Rodríguez, 2022).

2.8.1. AMILOSA

La amilosa se compone principalmente de unidades de d-glucopiranosilo unidas mediante enlaces α -(1,4), formando una molécula mayoritariamente lineal. Su grado de polimerización (DP) varía entre 500 y 6000 residuos de glucosa. La concentración de amilosa de los gránulos de almidón difiere según la fuente botánica, aunque típicamente se sitúa entre el 20% y el 30% en los almidones de cereales convencionales (Obadi *et al.*, 2023).

2.8.2. AMILOPECTINA

En contraste con la amilosa, esta presenta ramificaciones en su composición, lo que le confiere una estructura similar a la de un árbol, con ramas unidas al tronco central (como ocurre con la amilosa) mediante enlaces α -D-(1-6). La amilopectina representa alrededor de un 80% en los almidones comunes (León *et al.*, 2020). Es una molécula muy grande de cadena altamente ramificada con un DP de 3×10^5 a 3×10^6 unidades de glucosa (Wang *et al.*, 2017).

2.8.3. RELACIÓN ENTRE AMILOSA Y AMILOPECTINA

En su mayoría, las cantidades de ambos (amilosa y amilopectina), influyen en bastante en las características físicas del almidón, por ejemplo, en su gelatinización y capacidad de hidratación. Sin embargo, no siempre las cantidades deben ser definidas, pues en ciertos casos donde se reduce la amilopectina causa una mejora de calidad del almidón (lo hace menos pegajoso). (Badui, 2016).

En cuanto a la asociación de amilosa y amilopectina, los almidones que presentan mayor cantidad de amilosa tienden a asociarse con mayor facilidad a diferencia de los almidones con una elevada cantidad de amilopectina, este comportamiento es debido a que las cadenas de ramificaciones no pueden alinearse paralelamente entre sí y tienden a restringirse evitando el movimiento (Luna *et al.*, 2021).

2.8.4. PROPIEDADES FISICOQUÍMICAS DEL ALMIDÓN

2.8.4.1. Cristalinidad

La cristalinidad en el almidón está basada en el orden de las cadenas de amilopectina junto a la fase amorfa de la amilosa. Esto influye sobre todo en la humedad, color y dureza del producto. Los almidones que cuentan con una estructura más nativa, junto con un elevado contenido de amilosa favorece bastante en la formación de las bandejas. la semilla de mango presenta una cristalinidad entre 35.4 a 38.3 (Albujar, 2019).

2.8.4.2. Absorción de agua

La capacidad de absorción depende en gran medida del tipo de almidón utilizado, siendo mayor en almidones provenientes de la yuca o tubérculos como papa, sin embargo, en el caso de almidón de cereales, la capacidad de absorción es menor por la presencia de lípidos. Adicionalmente también depende del de tamaño, forma y contenido de amilopectina (Contreras *et al.*, 2018).

2.8.4.3. Solubilidad

Particularmente el almidón es insoluble en agua fría, además que un almidón con una cantidad menor de lípidos es más soluble, debido a que es hidrofóbico (Tupa, 2019). Cabe mencionar que, si se realiza un tratamiento térmico menor a los 80°C, se recomienda que la solubilidad sea alta (Salcedo *et al.*, 2018).

2.8.4.4. Gelatinización

Cuando los gránulos de almidón se calientan en agua, estos sufren un proceso denominado gelatinización, este proceso se basa en la disrupción de la organización de las moléculas. Durante la gelatinización se produce la lixiviación de la amilosa, y la gelatinización total se genera dentro de un intervalo más o menos amplio de temperatura. Además, si se requieren determinar los distintos estados de gelatinización, se puede conseguir mediante un microscopio de polarización (Martínez *et al.*, 2015).

2.8.4.5. Capacidad de hinchamiento

En lo que respecta al hinchamiento de los gránulos, esto es debido al alto contenido de amilopectina en el almidón, es decir, que, si el almidón presenta un contenido elevado de amilosa, esto supondrá en que el granulo presente menor capacidad de retención y por consiguiente menor capacidad de hinchamiento (Solarte *et al.*, 2019).

2.8.4.6. Viscosidad

En cuanto a la viscosidad, esto tiene una relación directa con el almidón, pues si el almidón presenta un mayor contenido de amilosa, la masa tendrá mayor solubilidad, viscosidad y se formaran geles, esto es debido a que los gránulos se agrupan con mayor facilidad cuando hay un mayor porcentaje de amilosa que cuando hay mayor porcentaje de amilopectina (Luna *et al.*, 2021).

2.8.4.7. Retrogradación

La retrogradación es el proceso en el cual las moléculas de amilosa se insolubilizan y precipitan de manera espontánea. Esto sucede porque las cadenas lineales de amilosa se disponen de forma paralela, creando puentes de hidrógeno entre sus grupos hidroxilo. En general, la retrogradación no es muy deseado en cuanto al producto hecho de gel a base de almidon cocido (BeMiller, 2019).

III. MATERIALES Y MÉTODOS

La presente investigación fue realizada en el *Laboratorio de Microbiología y Toxicología* de la Escuela Profesional de Ingeniería Agroindustrial (EPIA), en el *Laboratorio de Operaciones Unitarias, Laboratorio de Tecnología y Fisiología Postcosecha* y en el *Laboratorio de Nutrición y Toxicología* del Instituto de Investigación Tecnológico Agroindustrial (IITA), ubicadas todas en la Universidad Nacional del Santa (UNS), en Nuevo Chimbote.

Además, los análisis químicos y mecánicos realizados a las bandejas biodegradables fueron desarrollados en los siguientes laboratorios externos:

- Laboratorio de Ingeniería de Procesos Agroindustriales ubicada en la Universidad Nacional de Trujillo (UNT).
- Laboratorio de Investigación Multidisciplinario (LABINM) ubicada en la Universidad Privada Antenor Orrego (UPAO).
- Laboratorio de Investigación Agroindustrial ubicada en la Universidad Nacional José María Arguedas (UNAJMA).
- Laboratorio Certipez E.I.R.L. ubicada en Av. Pacifico N° 508, Urb. Buenos Aires, Nuevo Chimbote, Santa, Ancash

3.1. MATERIALES

3.1.1. MATERIA PRIMA PARA LA ELABORACIÓN DE LAS BANDEJAS BIODEGRADABLES.

Se utilizaron 3 diferentes materias primas para la elaboración de bandejas biodegradables.

- Semilla de mango (*Mangifera Indica*): variedad Kent, obtenidas de la empresa agroexportadora Inversiones Frigoríficas PRC SAC, ubicada en el distrito de Santa, Ancash. Cantidad: 90 Kg.
- Bagazo de caña de azúcar (*Saccharum officinarum L*): variedad CP72-2086, obtenidas de la empresa Agroindustria San Jacinto S.A.A., ubicada en el distrito de San Jacinto, Ancash. Cantidad: 14.5 Kg.
- Cascarilla de arroz (*Oryza Sativa*): variedad Arborio, obtenidas de la empresa Molino Velásquez, ubicada en el Centro Poblado Tamborreal, Ancash. Cantidad: 11 Kg.

3.1.2. INSUMOS PARA LA ELABORACIÓN DE BANDEJAS BIODEGRADABLES

- Goma Guar: procedente de la empresa Omnichem SAC, Lima.
- Glicerol ($C_3H_8O_3$): procedente de la empresa Omnichem SAC, Lima.
- Estearato de Magnesio ($Mg(C_{18}H_{35}O_2)_2$): procedente de la empresa Omnichem SAC, Lima.
- Desmoldante alimentario (marca PURALIX): procedente de la empresa Casa del Panadero CH SAC, Chimbote.

3.1.3. MATERIALES INDIRECTOS PARA LA ELABORACIÓN DE LAS BANDEJAS BIODEGRADABLES.

- Tamiz malla de 100 mesh.
- Papel Manteca Canson
- Tela Tocuyo

- Tijeras de cocina
- Bolsas herméticas (polietileno de alta densidad)
- Baldes de 20 Litros
- Recipientes de plástico.
- Papel aluminio
- Hojas Bond
- Lapiceros y rotuladores
- Regla metálica 30 cm
- Materiales de limpieza (papel toalla, alcohol, etc.)

3.2. EQUIPOS

3.2.1. EQUIPOS PARA LA ELABORACIÓN DE LAS BANDEJAS BIODEGRADABLES.

- Balanza analítica (marca Precisa, Modelo LX 220A).
- Secador de bandejas (marca Torr, modelo SBT-10XL).
- Molino industrial (marca Torr, modelo MDNT-60XL).
- Molino Ultracentrífugo (marca RETSCH, modelo ZM200)
- Termoprensa (marca Reles, modelo PHECL/010).
- Estufa (marca Pol-Eko, modelo SLN115).
- Centrifuga (marca Sigma, modelo 2-16P)
- Licuadora industrial (marca InoxTron).
- Batidora de pedestal (marca Thomas, modelo TH-910PN)

3.2.2. EQUIPOS E INSTRUMENTOS PARA EL ANÁLISIS DE LAS BANDEJAS BIODEGRADABLES.

- Micrómetro manual (marca Mitutoyo, modelo 1402), de procedencia en Perú.
- Colorímetro (marca Shenzhen Kingwell Instruments Co, modelo JZ-300), proveniente de China.
- Texturómetro (marca Stable Micro System, modelo TA.HDSplus), de procedencia en Reino Unido.
- Equipo Microscopia Electrónica de Barrido (marca Tecsan, modelo VEGA 3 LMU) procedencia en Estados Unidos.
- Equipo Termogravimétrico (Marca TA Instruments, modelo TGA 5500), de procedencia en Estados Unidos.
- Equipo FTIR (marca Thermo Fisher Scientific, modelo Nicolet IS50), procedencia en Estados Unidos.

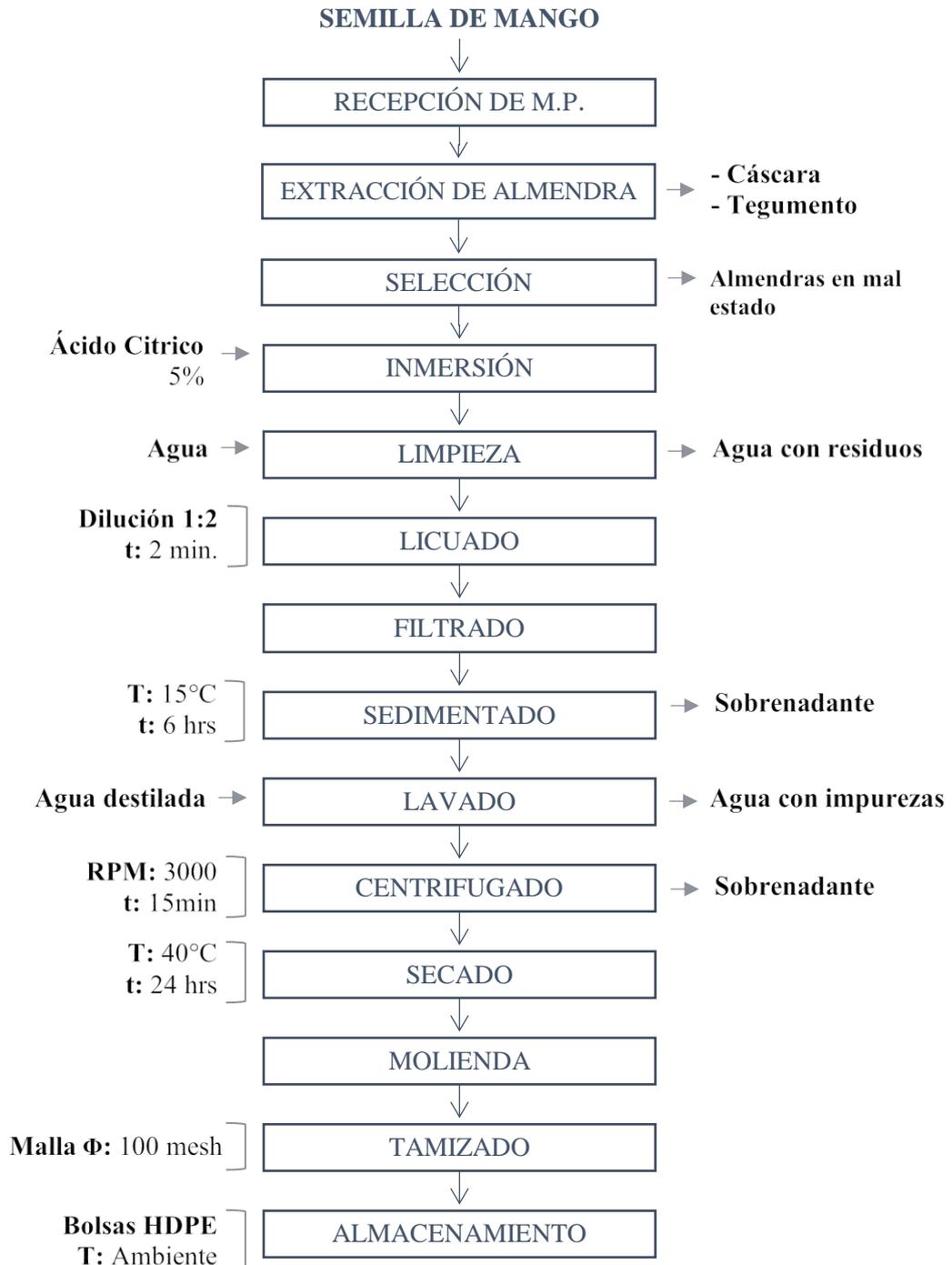
3.3. METODOLOGÍA.

3.3.1. PROCESO DE OBTENCIÓN DE ALMIDÓN DE SEMILLA DE MANGO (*Mangífera Indica*)

3.3.1.1. Flujograma del proceso de obtención de almidón de semilla de mango.

Figura 24.

Flujograma del proceso de obtención de almidón de semilla de mango.



3.3.1.2. Descripción del proceso de obtención de almidón de semilla de mango.

a. Recepción de semilla de mango.

Las semillas de mango cuyo origen fue la empresa Inversiones Frigoríficas PRC S.A.C., fueron recepcionadas en el Instituto de Investigación Tecnológico Agroindustrial (IITA) de la Universidad Nacional del Santa. Además, se pasará a escogerse las de buen estado, desechando las que ya están deterioradas por pudrición.

b. Extracción de almendras.

Con ayuda de una tijera de cocina, se abrió la semilla de mango y se retiró la almendra presente en el interior de la semilla. Asimismo, se separó el tegumento (capa oscura) que cubre a la almendra.

c. Selección de almendras.

Con la finalidad de tener mejores resultados, se selecciona solo los de buen estado y las almendras oscuras o con manchas son separadas del proceso, debido a que influirá en el producto.

d. Inmersión.

Para evitar reacciones enzimáticas negativas, las almendras se sumergieron en una solución de agua con ácido cítrico a una concentración de 5% en un tiempo de 5 minutos, inactivando así las enzimas presentes.

e. Limpieza.

Después de ser sumergidas en inmersión, las almendras de semillas de mango se lavaron con agua potable para eliminar así posibles partículas sólidas presentes en la superficie.

f. Licuado.

Utilizando una licuadora industrial (marca InoxTron), las almendras se licuaron para reducir el tamaño y obtener una pasta.

g. Filtrado.

La pasta obtenida del licuado fue filtrada con mallas de tela tocuyo, separando la parte solida de la líquida.

h. Sedimentado.

El líquido separado se dejó sedimentar en baldes de 20 litros por 24 horas a 15 °C. Después de ello, el líquido sobrenadante fue desechado, quedando solo el concentrado de almidón en la parte inferior.

i. Lavado.

El almidón fue lavado con agua destilada y se dejó reposar por un tiempo aproximado de 24 horas en refrigeración y posteriormente se decantó otra vez. Este proceso de lavado se puede realizar entre 3 a 4 veces para asegurarnos la separación de otros componentes que quedaron en el almidón.

j. Centrifugado

Para una mejor separación y aprovechamiento de masa, se separaron los sólidos del concentrado sobrenadante durante 15 minutos a 3 000 rpm en la centrífuga (marca Sigma, modelo 2-16P). Luego de esto se retiró el sobrenadante, quedando el precipitado (almidón).

***k.* Secado.**

El almidón fue extendido sobre bandejas de aluminio y se secó en una estufa (marca Barnstead, modelo 3511-1) a una temperatura de 45 °C por un tiempo de 24 horas.

***l.* Molienda.**

El almidón, ya secado, fue ingresado a un molino ultracentrífuga (marca RETSCH, modelo ZM200) para obtener las dimensiones adecuadas menores de 0.2 mm y así el mezclado con los otros insumos sería más fácil y en menos tiempo.

***m.* Tamizado.**

Para obtener una consistencia fina de la harina de almidón de semilla de mango, pasará por un tamizado con malla de 100 mesh de diámetro (149 micrómetros), por un periodo de tiempo de 10 minutos.

***n.* Almacenamiento.**

El almidón de semilla de mango, posteriormente tamizado, se almaceno en bolsas de polietileno de alta densidad.

3.3.2. PROCESO DE OBTENCIÓN DE FIBRAS DE BAGAZO DE CAÑA DE AZÚCAR Y CASCARILLA DE ARROZ.

3.3.2.1. Flujograma del proceso de obtención de fibras de residuos agroindustriales.

Figura 25.

Flujograma del proceso de obtención de fibras de residuos agroindustriales.



Nota. Esta figura se muestra el flujograma del proceso para la extracción de las fibras agroindustriales. Este proceso se hace por cada materia prima por separado.

3.3.2.2. Descripción del proceso de obtención de fibras de residuos agroindustriales.

a. Recepción de Materia Prima (Cascarilla de arroz o Bagazo de caña de azúcar).

Los residuos agroindustriales de bagazo de caña de azúcar y cascarilla de arroz fueron obtenidos de empresas Agroproductoras de la región Ancash

como lo son Agroindustria San Jacinto S.A.C. y Molinos Velásquez, respectivamente. Estas fueron trasladados al Instituto de Investigación Tecnológico Agroindustrial (IITA) de la Universidad Nacional del Santa donde se procederá con su limpieza.

b. Limpieza.

Los residuos de bagazo de caña de azúcar y cascarilla de arroz pasarán a lavarse con agua potable para eliminar así posibles partículas sólidas presentes en la superficie, como polvo.

c. Secado.

Los residuos agroindustriales pasarán por un secador de bandejas (marca Torrh, modelo SBT-10XL), para eliminar toda la humedad presente en el material y quede solo las fibras a utilizar en el mezclado, a una temperatura de 40°C durante 48 horas hasta que la textura de las fibras sea similar a una galleta.

d. Molienda.

Una vez secados, ingresaron a un molino industrial (marca Torrh, modelo MDNT-60XL) para obtener las dimensiones adecuadas menores de 0.2 mm y así el mezclado con los otros insumos sería más fácil y en menos tiempo.

e. Tamizado.

Para obtener una consistencia fina de la fibra de los residuos agroindustriales, pasará por un tamizado malla de 100 mesh de diámetro (149 micrómetros), durante un periodo aproximado de 10 minutos.

f. Almacenamiento.

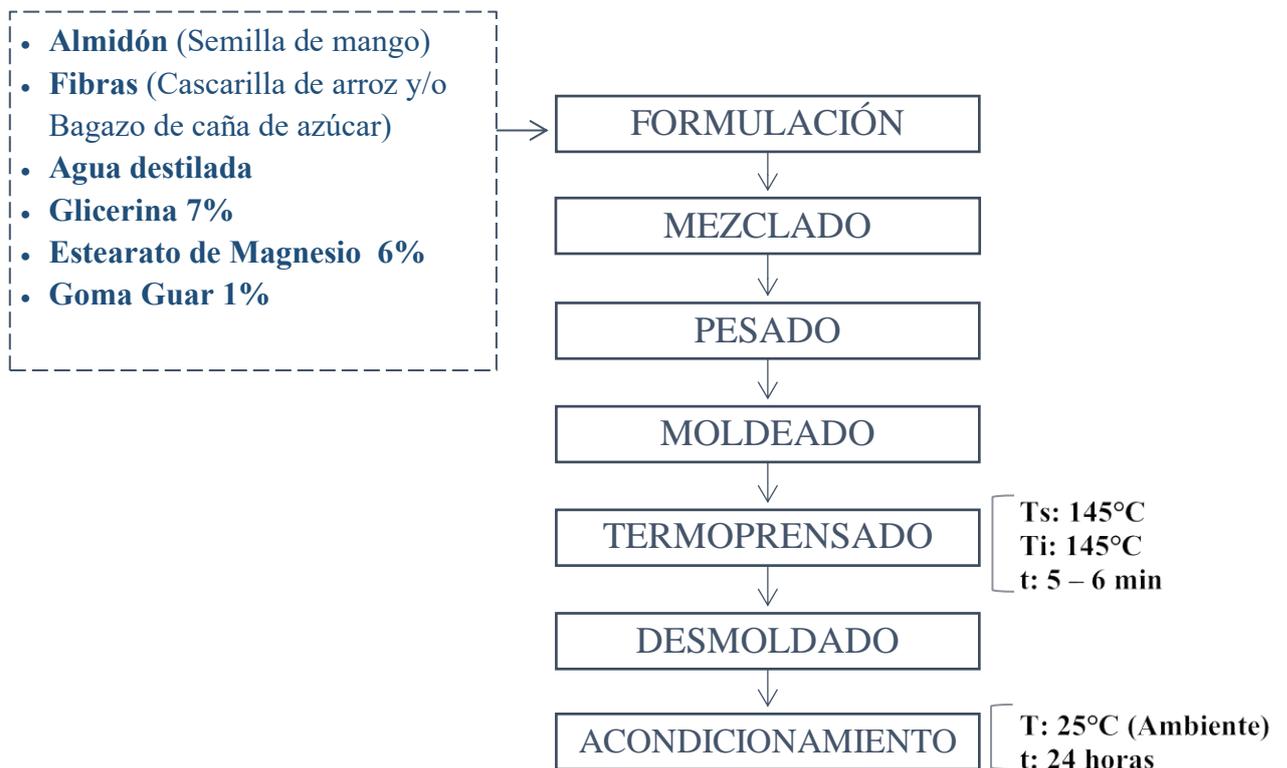
Las fibras de residuos de empresas agroindustriales fueron almacenadas en bolsas herméticas (polietileno de alta densidad) hasta su posterior uso.

3.3.3. PROCESO DE ELABORACIÓN DE LAS BANDEJAS BIODEGRADABLES.

3.3.3.1. Flujograma del proceso de elaboración de bandejas biodegradables

Figura 26.

Flujograma del proceso de elaboración de las bandejas biodegradables.



Nota. Esta figura muestra el flujograma del proceso para la elaboración de las bandejas biodegradables.

3.3.3.2. Descripción del proceso de elaboración de bandejas biodegradables

a. Formulación.

El almidón de semilla de mango, las fibras de residuos agroindustriales (bagazo de caña de azúcar y cascarilla de arroz), agua destilada y los insumos químicos (estearato de magnesio, glicerol y goma guar), serán pesados en cantidades establecidas de acuerdo con las formulaciones presentes en la **Tabla 13**, para luego ser mezcladas.

b. Mezclado.

Las fibras ya molidas serán mezclados en un recipiente con el almidón de semilla de mango y agua, Para una mezcla homogénea se utilizará un agitador mecánico a 1500 rpm.

c. Moldeado.

Con ayuda de guantes térmicos de seguridad, se colocaron las masas de cada formulación previamente pesadas en la placa de teflón inferior moldeado de 16 cm por 11 cm, cubierta sobre ella con una lámina de papel manteca cansón para actuar como desmoldante.

d. Termoprensado.

Debido a que en esta etapa se trabaja con altas temperaturas, se procedió a precalentar las placas de teflón superior e inferior. Una vez que haya llegado a su temperatura esperada, se aplicó el termoprensado con una prensa hidráulica (marca Reles, modelo PHECL/010) actuando mediante compresión con temperatura de 145°C placa superior y 145°C placa inferior, en un tiempo entre 5 a 6 minutos.

e. Desmoldado

Las bandejas se desmoldarán y se retirarán de la termo-prensa, con ayuda de guantes térmicos de seguridad, de manera delicada y con precaución para evitar que la bandeja se quiebre o rompa.

f. Acondicionamiento.

Finalmente, serán acondicionadas a temperatura ambiente con una humedad relativa de 60% por 1 día.

3.3.4. CARACTERIZACIÓN Y ANÁLISIS DE LAS MATERIAS PRIMAS.

Una vez obtenidas las materias primas de almidón de semilla de mango y fibras de cascarilla de arroz y bagazo de caña de azúcar, se procede a caracterizarlos para conocer su composición realizándoles el análisis proximal, además del contenido de amilosa y amilopectina presente en el almidón de semilla de mango para evaluar su influencia en las propiedades de las bandejas biodegradables.

3.3.4.1. Composición Proximal.

El análisis proximal de las 3 materias primas fue realizado en instalaciones del Laboratorio Certipez E.I.R.L. la cual se usó como métodos:

- **Humedad:** NTP 205.002:2021. Cereales y legumbres. Determinación del contenido de humedad. Método de rutina. (Instituto Nacional de Calidad [INACAL], 2021)
- **Ceniza:** NTP 205.004:2022. Cereales y leguminosas. Determinación de cenizas. (INACAL, 2022)

- **Grasa:** NTP 205.006:2017. Cereales y menestras. Determinación de materia grasa. (INACAL, 2017)
- **Proteína:** NTP 205.005:2018. Cereales y menestras. Cereales. Determinación de proteínas totales (Método de Kjeldahl). (INACAL, 2018)
- **Carbohidratos:** Por cálculo. Tablas Peruanas de composición de alimentos. Centro Nacional de Alimentación y Nutrición. (Instituto Nacional de Salud [INS], 2009)

3.3.4.2. Contenido de Amilosa y Amilopectina en el almidón.

El análisis del contenido de amilosa y amilopectina fue realizado siguiendo el método aplicado por Ruiloba (2018) y Hassan *et al.* (2013). Se pesó 0.1 g de almidón y se adicionó 1ml de etanol al 99% y 9 ml de NaOH 1M. Se calentó la solución durante 10 minutos hasta gelatinizar el almidón. Después de enfriarse, se aforó en un matraz volumétrico a 100 ml. Luego se extrajo una alícuota de 5 ml, se añadió 1ml de ácido acético 1 M y 2 ml de solución de yodo; se aforó a 100 ml dentro de un matraz volumétrico y se leyó la absorbancia a 620 nm. El análisis se realizó por triplicado y el resultado se reportó como porcentaje de amilosa

3.3.5. CARACTERIZACIÓN Y ANÁLISIS DE LAS BANDEJAS BIODEGRADABLES

Con las bandejas biodegradables ya elaboradas se procederá a realizarles la caracterización debida para tener los valores de las propiedades ya descritas anteriormente.

3.3.5.1. Color.

Para la evaluación del color, se usó la técnica CIELab, donde los valores de L* (luminosidad) van desde L= 0 (negro) a L= 100 (blanco), a* de rojo (+a) a verde (-a) y b* de amarillo (+b) a azul (-b). Se realizó el análisis por triplicado y posteriormente fue calculado la diferencia de color total ΔE empleando la siguiente ecuación:

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

3.3.5.2.Espesor.

Para medir el espesor de las bandejas se utilizó un micrómetro manual inoxidable (marca Mitutoyo, modelo 1402), para ello cortamos en muestras de 50 x 50 mm.

3.3.5.3. Densidad.

Cortamos la bandeja en dimensiones de 10 con 20 cm y la pesamos. Para hallar la densidad se divide la cantidad de masa entre el volumen (producto de las medidas de largo, ancho y espesor).

3.3.5.4.Contenido de Humedad.

Se utilizará un método gravimétrico como lo es el método estándar 950.46 de la A.O.A.C. (2005) para determinar la cantidad de humedad. Este enfoque analítico cuantitativo implica la medición del peso de la sustancia antes (3 gramos) y después de someterlo a temperaturas de 105 °C a estufa por 3 horas, el porcentaje de pérdida de peso viene a ser la humedad perdida. Este proceso se hace utilizando una balanza analítica, lo que lo convierte en uno de los métodos más precisos y exactos disponibles.

3.3.5.5. Capacidad de Absorción de Agua (CAA).

El análisis de absorción de agua se realiza según el método de COBB, donde las muestras se cortan en dimensiones de 2.5 con 5 cm, se procede a pesar para luego sumergirlas durante 1 minuto en agua destilada. Después de que transcurra el tiempo, se elimina el exceso de líquido con papel y se vuelve a medir el peso para que al restar con el peso inicial y luego dividirla con el mismo dato nuevamente, obtengamos el porcentaje de CAA de la muestra. Esta metodología permite determinar la capacidad que tiene una muestra determinada para absorber humedad, y en esto se basa su importancia, ya que nos permite conocer cómo se comporta ante la presencia de ambientes húmedos (Beltrán, 2017).

3.3.5.6. Propiedades Mecánicas.

Se aplicó el método ASTM D828-97 para realizar la prueba de tensión. Se empleó un analizador de textura (Stable Micro System modelo Texture Analyzer TA.HDplus, Reino Unido). Se cortaron muestras de 10cm x 2.5cm, y se colocaron en las mordazas (A/HDG) empleando una distancia de separación de 8cm, celda de carga de 100kg-f y una velocidad de prueba de 0.5mm/sec.

La dureza y fracturabilidad de las bandejas, fue medida con un texturómetro TA.HDPlus (Stable Micro Systems, Surrey, Reino Unido), utilizando una celda de carga de 100 kg y un accesorio HDP/CFS, que consiste en un soporte circular hueco de introducción y una probeta esférica de acero inoxidable P/0.5S. La velocidad de la prueba fue de 1 mm/s y la distancia desplazada por la probeta fue de 20mm (Espina *et al.*, 2016).

3.3.5.7. Microscopía Electrónica de Barrido (SEM).

Los análisis realizados de Microscopía Electrónica de Barrido o Scanning Electron Microscope (SEM), fueron implementados utilizando el equipo Tecsan VEGA 3 LM, incorporado a un sistema de recubrimiento oro/carbón SPI 11430-AB (TESCAN, EE. UU.). Las piezas de las bandejas usadas para el análisis, fueron montados de manera que se pudiera visualizar la sección transversal de los muñones de bronce; además, se empleó cinta de doble cara. Las superficies estaban recubiertas con una fina capa de oro (40–50 nm). Todas las muestras fueron examinadas bajo un voltaje de aceleración de 20 kV. El análisis se realizó en el Laboratorio de Investigación Multidisciplinaria de la Universidad Privada Antenor Orrego (Trujillo, Perú).

3.3.5.8. Espectroscopía Infrarroja por Transformada de Fourier (FTIR).

El análisis de Infrarrojo por Transformada de Fourier (FTIR) se llevó a cabo utilizando un FTIR Nicolet iS50 (Thermo Fisher, EE.UU.), con el accesorio de ATR (Reflectancia Total Atenuada) que permite analizar muestras sólidas y líquidas de forma ordenada. Las bandejas biodegradables se cortaron en dimensiones de 25 por 25mm y se analizaron con un láser de 1064nm (infrarrojo) con un rango del número de onda de 400-4000 cm^{-1} . El análisis se realizó en el Laboratorio de Investigación Multidisciplinaria de la Universidad Privada Antenor Orrego (Trujillo, Perú).

3.3.5.9. Análisis Termogravimétrico (TGA).

La estabilidad térmica de las bandejas biodegradables se determinó mediante en análisis termogravimétrico utilizando un analizador térmico gravimétrico de alta resolución (marca TA Instruments, modelo TGA 5500, EE. UU.). Se colocaron aproximadamente 10 mg de las muestras en una bandeja de platino para ser calentadas de 20 °C a 600 °C con una velocidad de 10 °C/min, bajo flujo de nitrógeno (100 ml/min). El análisis de datos y curvas TGA se obtuvieron utilizando el Software

TRIOS, versión 5.4 (TA Instruments, EE. UU.), para verificar la temperatura de inicio de la descomposición, las temperaturas máximas de degradación y observar cómo se va descomponiendo la bandeja al someterse a elevadas temperaturas. El análisis se realizó en el Laboratorio de Investigación Agroindustrial de la Universidad Nacional José María Arguedas (Andahuaylas, Perú).

3.3.6. DISEÑO DE LA INVESTIGACIÓN

3.3.6.1. Etapas de la Investigación

- **ETAPA 1:** Se efectuó la obtención de 90 kg de semilla de mango, 11 kg de cascarilla de arroz y 14.5 kg de bagazo de caña de azúcar, y a partir de ellas se obtuvo el almidón y fibras respectivamente. Los procedimientos mencionados se realizarán en la Planta Piloto Agroindustrial y el *Laboratorio de Postcosecha* del IITA, ambos de la Universidad Nacional del Santa.
- **ETAPA 2:** Se efectuó el análisis al almidón para determinar su composición en amilosa y amilopectina. Estos se hicieron en el *Laboratorio de Nutrición y Toxicología* ubicada en la Escuela Profesional de Ingeniería Agroindustrial (EPIA) y en el *Laboratorio de Control de Calidad* del IITA, ambos de la Universidad Nacional del Santa.
- **ETAPA 3:** Se realizó, previamente las preparaciones pertinentes de las mezclas y posteriormente se llevó a cabo la elaboración de las bandejas en la termoprensa en el *Laboratorio de Microbiología y Toxicología* ubicada en la EPIA de la Universidad Nacional del Santa.
- **ETAPA 4:** Finalmente, se efectuó los análisis de las bandejas biodegradables para realizar la caracterizaciones químicas, físicas y mecánicas en el

Laboratorio de Nutrición y Toxicología de la EPIA , en el Laboratorio de Operaciones Unitarias y en el Control de Calidad del IITA, y en laboratorios externos como el Laboratorio de Ingeniería de Procesos Agroindustriales (Universidad Nacional de Trujillo – UNT), Laboratorio de Investigación Multidisciplinario (Universidad Privada Antenor Orrego - UPAO) y en el Laboratorio de Investigación Agroindustrial (Universidad Nacional José María Arguedas - UNAJMA).

3.3.6.2. Diseño Experimental

Se aplicará un Diseño Completamente al Azar (DCA) con 6 tratamientos teniendo como factores los porcentajes de almidón de semilla de mango, fibra de cascarilla de arroz y fibra de bagazo de caña de azúcar. Se aplicarán además tres replicas como se muestra en la **Tabla 11**.

Tabla 11.

Diseño Completamente al Azar (DCA)

T1	T2	T3	T4	T5	T6
Y ₁₁	Y ₂₁	Y ₃₁	Y ₄₁	Y ₅₁	Y ₆₁
Y ₁₂	Y ₂₂	Y ₃₂	Y ₄₂	Y ₅₂	Y ₆₂
Y ₁₃	Y ₂₂	Y ₃₃	Y ₄₃	Y ₅₃	Y ₆₃

3.3.6.3. Modelo Estadístico

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

Donde:

i: 6 Tratamientos

j: 3 replicas

Y_{ij} : Propiedades química, físicas (color, espesor, densidad, humedad, capacidad de absorción de agua (CAA), microscopia electrónica de barrido, FTIR, Análisis termogravimétrico) y mecánicas (resistencia a la tracción, elongación, dureza y fracturabilidad)

α_i : Efecto del tratamiento o formulación i ; $i=1;2;3;4;5;6$

μ : media general

ε_{ij} : error experimental asociado a la ij -ésima unidad experimental (Tratamiento i , repetición j)

Al ejecutar esta prueba, se designó 18 ubicaciones para las muestras obtenidas a partir de 6 Tratamientos junto con sus 3 repeticiones, como se indica en la

Tabla 12.

Tabla 12.

Croquis de aleatorización.

01 Y_{21}	02 Y_{43}	03 Y_{23}	04 Y_{32}	05 Y_{31}	06 Y_{42}
07 Y_{53}	08 Y_{11}	09 Y_{63}	10 Y_{61}	11 Y_{52}	12 Y_{13}
13 Y_{33}	14 Y_{41}	15 Y_{62}	16 Y_{22}	17 Y_{51}	18 Y_{12}

3.3.6.4. Formulaciones experimentales

De acuerdo con lo planteado para la investigación, se usará 2 niveles para el almidón de semilla de mango: 85% y 90%, y en cuanto a las fibras agroindustriales, se aplicarán tres niveles para ambas: 0%, 5% y 10%. La concentración de agua dependerá de la concentración másica de la mezcla, la cual debe ser el volumen óptimo para el boleado de la masa. Los reactivos de estearato de magnesio, goma guar y glicerol estarán aplicados en 6%, 1% y 7% respectivamente. De acuerdo con

las respectivas combinaciones de los factores con los niveles, se obtienen 6 formulaciones a estudiar con tres réplicas cada una, teniendo 18 unidades experimentales; los mismos que se detallan en la **Tabla 13**.

Tabla 13.

Formulaciones de estudio para las bandejas biodegradables.

Formulaciones	Almidón (%)	Fibra a* (%)	Fibra b** (%)
T1 - Control	100	0	0
T2	90	10	0
T3	90	0	10
T4	85	5	10
T5	85	10	5
T6	90	5	5

*a: Fibra de cascarilla de arroz

**b: Fibra de bagazo de caña de azúcar

3.3.7. ANÁLISIS ESTADÍSTICO

Los resultados obtenidos para cada una de las variables dependientes se analizaron estadísticamente en el programa STATGRAPHICS versión Centurión XVI.I, en el cual se realizó análisis de varianza (ANOVA) a las medias de los resultados y Para determinar las medias que son significativamente diferentes de otras, se realizó la prueba de rango múltiple con el test LSD de Fisher ($p < 0.05$). Se analizó al 5% de probabilidad del error, de acuerdo con los grados de libertad (GDL) del error experimental.

IV. RESULTADOS Y DISCUSIONES

4.1. CARACTERIZACIÓN DE MATERIA PRIMA

4.1.1. ANÁLISIS PROXIMAL DE FIBRA DE CASCARILLA DE ARROZ

Tabla 14.

Composición proximal de fibra de cascarilla de arroz.

Análisis	Cascarilla de arroz
Humedad (g/100g)	10.42 ± 0.01
Ceniza (En base seca) (g/100g)	15.22 ± 0.01
Grasa (En base seca) (g/100g)	1.80 ± 0.05
proteína (En base seca) (g/100g)	7.26 ± 0.15
Carbohidratos (g/100g)	65.29 ± 0.18

En la **Tabla 14** se presentan los valores obtenidos del análisis proximal de la fibra de cascarilla de arroz, estos resultados fueron similares a los obtenidos por Mendoza. (2018) en cuya investigación, con excepción de la ceniza 1.40%, obtuvo valores de humedad 11.82%, proteína 10.21%, grasa 2.54% y carbohidratos 84.89%. De igual forma Germanovna *et al.* (2016) presento valores similares para los análisis de humedad 6.42 ± 0.07 %, grasa cruda 1.3 ± 0.3 %, proteína cruda 3.2 ± 0.10 %, carbohidratos totales 72.70 ± 0.18 %, con excepción de las cenizas cuyo valor obtenido en dicha investigación fue inferior al obtenido con 5.46 ± 0.07 %. También reporto valores similares a la presente investigación Anchondo (2020) para la variedad de arroz blanco obteniendo valores de humedad 8.62 ± 0.09 %, proteínas 6.81 ± 0.17 %, ceniza 17.6 ± 0.14 % y carbohidratos 64.71 ± 0.78 %. Finalmente, Arias y Meneses (2016) en su investigación reporto valores de humedad 10.80%, ceniza 10.5%, proteína 12.09%, grasa 12-15%.

Una de las causas más comunes para dichas diferencias entre los análisis proximales de las mencionadas investigaciones, fue principalmente por la variedad de arroz empleada en dichos estudios. En cuanto a la diferencia más significativa observado fue por las cenizas, estos valores encontrados se pueden explicar principalmente debido a la composición mineral del suelo utilizado, lo cual afecta la absorción de minerales por parte de la planta, reflejándose en altos o bajos contenidos de ceniza de cascarilla de arroz.

4.1.2. ANÁLISIS PROXIMAL DE FIBRA DE BAGAZO DE CAÑA DE AZÚCAR

Tabla 15.

Composición proximal de fibra de bagazo de caña de azúcar.

Análisis	Bagazo de caña de Azúcar
Humedad (g/100g)	7.87 ± 0.03
Ceniza (En base seca) (g/100g)	2.22 ± 0.02
Grasa (En base seca) (g/100g)	1.51 ± 0.04
proteína (En base seca) (g/100g)	2.52 ± 0.10
Carbohidratos (g/100g)	85.88 ± 0.07

En la **Tabla 15** se presentan los valores obtenidos del análisis proximal de la fibra de bagazo de caña de azúcar, estos resultados fueron similares a los obtenidos por Vijerathna *et al.* (2019) en cuya investigación obtuvo valores de humedad 3.10 ± 0.10%, proteína 1.25%, grasa 1.04 ± 0.05% y ceniza 2.52 ± 0.02%. De igual forma Morales *et al.* (2023) en su investigación, detalla valores similares al anterior con humedad 8.64 ± 0.08%, ceniza 1.30 ± 0.07%, proteína 0.89 ± 0.13% y grasa 0%. Benítez (2019) presento valores similares con unaproteína cruda 1.18%, ceniza 1.86%, carbohidratos~ 70%. Finalmente, Vera *et al.* (2021) reporto valores de

proteína cruda 2.42%, grasa 1.40%, ceniza, 2.48%, los cuales son similares a los de Vera (2022) con valores de proteína cruda 3.67%, grasa 1.67% y ceniza 6.17%.

4.1.3. ANÁLISIS PROXIMAL DE ALMIDÓN DE SEMILLA DE MANGO

Tabla 16.

Composición proximal del almidón de semilla de mango.

Análisis	Almidón de semilla de mango
Humedad (g/100g)	8.77 ± 0.02
Ceniza (En base seca) (g/100g)	0.57 ± 0.02
Grasa (En base seca) (g/100g)	7.27 ± 0.07
proteína (En base seca) (g/100g)	6.58 ± 0.10
Carbohidratos (g/100g)	76.81 ± 0.16

En la **Tabla 16** se presentan los valores obtenidos del análisis proximal realizado al almidón de semilla de mango, dichos resultados fueron similares a los obtenidos por Ferraz *et al.* (2018), con humedad 4.26%, cenizas 1.96%, proteínas 4.57%, y carbohidratos totales 78.43%; de igual forma Nawab *et al.* (2016) en su investigación reporto valores de 8.23% de humedad, 0.22% de grasa y 0.53% de proteínas. Banerjee *et al.* (2016) informó resultados similares con excepción de la grasa con $11.5 \pm 1.4\%$, valores de humedad de $7.8 \pm 1\%$, proteína del $7 \pm 0.3\%$, y ceniza $2.1 \pm 0.2\%$; al igual que Medina *et al.* (2017) cuyos valores obtenidos también fueron similares a excepción de la ceniza y grasa (1.97% y 9.94%, respectivamente) para la almendra de mango obteniendo resultados de humedad 6.86%, proteínas 6.31% y carbohidratos totales 72.37%.

Anticona y Torres (2020) reportaron resultados similares en varios análisis para la variedad de mango criollo con valores de 9.50%, de humedad, 2.75% de proteína, 2.10% de grasa, 1.60% de cenizas y carbohidratos con 80.51%. Sin embargo, Patiño

et al. (2019) en su investigación, detalla valores distintos para al almidón de semilla de mango verde con humedad de $3.16 \pm 0.29\%$, proteína $4.29 \pm 0.12\%$, grasa $11.33 \pm 0.06\%$ y ceniza $2.09 \pm 0.01\%$.

De acuerdo a Morales *et al.* (2020) los resultados obtenidos para el almidón de semilla de mango pueden diferir en menor o mayor medida dependiendo de diversos factores como el tipo de mango utilizado, el método de análisis empleado, así como el estado de madurez de la semilla.

4.1.4. CONTENIDO DE AMILOSA Y AMILOPECTINA EN ALMIDÓN DE SEMILLA DE MANGO.

El nivel de amilosa juega un papel fundamental en la producción de almidones resistentes, definiendo así las propiedades tecno-funcionales y estructurales del almidón, modificando algunas propiedades útiles en la industria alimentaria, como la temperatura de gelatinización, la solubilidad, la unión y las propiedades mecánicas de textura (Lemos *et al.*, 2019). En esta investigación, la cantidad de amilosa varió entre 13.1468 a 13.1826% de almidón, como se detalla en la Tabla 17, siendo estos similares a los obtenidos por Medina *et al.* (2010) en almidón de semilla de mango variedad Hilacha, con 12.45 a 13.02%. La investigación de Kaur *et al.* (2004) muestra que los contenidos de amilosa en almidones obtenidos de semillas de diversas variedades de mango se encuentran en el rango de 9.1% a 16.3%. Por su parte, López-Flores *et al.* (2020) en el almidón de cotiledón de mango presento un porcentaje de amilosa del 12.45%. Esto demuestra que los valores encontrados en el presente estudio están dentro de este rango mencionado, lo que clasifica el almidón como poseedor de un contenido medio de amilosa.

Tabla 17.

Composición del almidón de semilla de mango.

Muestra	Almidón de semilla de mango
Absorbancia	0.2150 ± 0.0003
% Amilosa	13.16002 ± 0.0197
% Amilopectina	86.83998 ± 0.0197

Nota. Esta tabla muestra la composición del almidón de semilla de mango.

Sin embargo, estos valores son inferiores comparados a los porcentajes de amilosa en almidones obtenidos a partir de materias primas convencionales como la papa (21%), trigo (de 22.6 a 25.9%) y maíz (21.04%) (Przetaczek-Rożnowska, 2017; Rosicka - Kaczmarek *et al.*, 2016), pero similar al contenido de amilosa del almidón de legumbres (de 11.6 a 88 %), aunque superior al de la avena (Hoover *et al.*, 2010). De igual manera, el contenido de amilosa fue similar al reportado para variedad Chausa (15.2%), Dankamaru (16.74 ± 0.10 %), Paparanda (13.36 ± 0.40), Peter (11.9 ± 0.30 %) y Bintasuga (14.36 ± 0.10 %) (Nawab *et al.*, 2017, Hassan *et al.*, 2013), mientras que se mostró resultados inferiores de amilosa a los reportados para almidón de semilla de mango de variedad Tommy Atkins (25.26%) y variedad Unripe (23%) (Ferreira *et al.*, 2019; Patino-Rodríguez *et al.*, 2020).

La variación en el contenido de amilosa se debe a una serie de factores, incluida la diversidad de las fuentes botánicas de almidón, así como a las condiciones del suelo y del clima que ejercen su influencia durante el proceso de desarrollo del grano. (Nawab *et al.*, 2017). Es por eso que el almidón de semilla de mango puede utilizarse como aglutinante, espesante o en una variedad de industrias ya que sus características son tan buenas como las de otros almidones comerciales obtenidos a partir de trigo,

maíz, arroz y patata, y podrían utilizarse eficazmente como fuente de almidón (Parv & Kalpana, 2018).

4.2. CARACTERIZACIÓN DE LAS BANDEJAS BIODEGRADABLES

4.2.1. ANÁLISIS DE COLOR.

En la **Tabla 18** se muestra los valores y parámetros para color (L^* , a^* , b^*) de los 6 tratamientos de bandejas biodegradables, mostrando valores significativos al adicionar fibra de bagazo de caña y cascarilla de arroz. Visualizamos que, al incrementarse la proporción de fibra, ocasiona una disminución para el parámetro L^* , a su vez los parámetros de color a^* , b^* incrementaron ligeramente ocasionando un matiz de color rojizo, un tono de color amarillento e incrementándose el diferencial de color (ΔE) de las bandejas. Este tipo de comportamiento fue reportado de manera similar por autores en la elaboración de bandejas biodegradables al adicionar distintas proporciones de fibra (Espina *et al.*, 2016; Matos & Díaz, 2022; Barrios & Huertas, 2023).

Tabla 18.

Medias de los parámetros L^ , a^* , b^* y ΔE de las bandejas biodegradables en los diferentes tratamientos.*

Tratamiento	L^*	a^*	b^*	ΔE
T 1	54.973 ± 0.267 ^c	2.513 ± 0.162 ^a	14.72 ± 0.21 ^a	56.966 ± 0.204 ^c
T 2	51.403 ± 2.211 ^{ab}	3.847 ± 1.406 ^a	15.507 ± 1.802 ^a	53.877 ± 1.535 ^{ab}
T 3	52.473 ± 1.458 ^{bc}	2.89 ± 0.122 ^a	13.947 ± 0.784 ^a	54.373 ± 1.605 ^b
T 4	49.817 ± 2.01 ^{ab}	4.043 ± 1.469 ^a	16.197 ± 3.426 ^a	52.649 ± 0.813 ^{ab}
T 5	49.237 ± 1.194 ^a	3.653 ± 0.532 ^a	14.703 ± 0.391 ^a	51.52 ± 1.062 ^a
T 6	51.67 ± 2.052 ^{ab}	3.24 ± 0.375 ^a	14.583 ± 1.529 ^a	53.8 ± 2.098 ^{ab}

Nota. Esta tabla muestra los promedios de los parámetros L*, a*, b* y ΔE del análisis de color. Además, se muestran las diferencias significativas entre las medias de los tratamientos de acuerdo a la Prueba LSD de Fisher ($p < 0.05$) con las letras ^{a-b-c}.

De acuerdo a los valores presentados en la **Tabla 18**, se observa que los valores con mayor diferencia de color en la superficie fueron de las bandejas biodegradables elaborados por la mezcla de fibras y el almidón de semilla de mango T2<T3<T1, dichos tratamientos se encontraban en proporciones de (90A/10C/0B), (90A/0C/10B) y (100A/0C/0B), respectivamente, se puede observar que al incrementar el porcentaje de fibra a la mezcla los valores son menores. En cuanto al color oscuro de las bandejas Luna *et al.* (2021) menciona que el porcentaje de lignina presente en las fibras de origen vegetales ocasiona que las bandejas tiendan a ser más oscuras. De igual forma, Machado *et al.* (2017), relaciona el oscurecimiento de las bandejas o matiz que tiende a un tono rojo con su estadía en ambientes con temperaturas altas provocando la reacción de Maillard (pardeamiento no enzimático) debido al alto contenido de carbohidratos, celulosa y proteínas en la materia prima, además, puede que aditivos como plastificantes (glicerina) pueden afectar la velocidad y la extensión de las reacciones.

Los valores de luminosidad (L*) en las bandejas con solo la presencia de almidón de semilla de mango disminuye al incrementar la concentración de fibra de cascarilla o bagazo de caña, siendo el mayor valor de luminosidad el tratamiento T1 (100A/0C/0B) y el menor valor el tratamiento T5 (85A/10C/5B), con valores de 54.973 y 49.237 respectivamente, siendo mayores al reportado por Díaz (2017) para las bandejas elaboradas con 10% de rastrojo de maíz (fibra) y 6.5% de glicerol con un valor de 48.29 en iluminación. Sin embargo, los valores coinciden a los reportados por Matos y Díaz (2022) en su investigación de elaboración de bandejas

biodegradables a partir de almidón de semilla de mango y fibra de semilla de palta con valores de luminosidad en un rango de 49.6 a 55.4.

En la investigación realizada por Amaya (2017), en donde elaboró bandejas biodegradables con nano fibras de peladilla de espárrago y almidón de oca, obtuvo valores iluminación entre 64.69 hasta 69.69, siendo esto mayores a los obtenidos en esta investigación, de manera similar Cruz-Tirado *et al.* (2019) en su investigación sobre bandejas de almidón de boniato y fibras de bagazo de caña y cáscara de espárrago, obtuvo valores de luminosidad entre 60 a 68. Machado *et al.* (2017) atribuye el oscurecimiento de las bandejas o pérdidas de luminosidad (L^*) como un producto entre las reacciones de proteínas y carbohidratos mediante la presión y/o temperatura que se da durante el termoformado, siendo de esta forma, el almidón al poseer un menor contenido de proteína, resulta en menos oscurecimiento, evidenciándose en un valor L^* mayor. La afirmación de disminución de luminosidad al aumentar el contenido de fibra es corroborada por Cruz (2021) en su investigación de bandejas a base de almidón y fibra de pseudotallo de banana dando valores de 68.44, 61.67, 56.69 y 51.52 para una concentración de fibra de 0%, 5%, 10% y 20% respectivamente donde se observa una disminución de luminosidad al incrementar el porcentaje de fibra en la mezcla.

La lignina está relacionada directamente con este comportamiento, puesto que durante el procesamiento térmico y la exposición a la luz puede degradarse y oxidarse, formando productos de degradación como quinonas y ácidos fenólicos. Estos productos tienen colores que varían del amarillo al marrón y rojizo (Machado *et al.*, 2017). Esto se evidencia en esta investigación donde el bagazo de caña de azúcar varía entre 14 a 23% (Mahmud & Anannya, 2021), mientras que la cascarilla de arroz presenta entre 25 a 31% en contenido de lignina (Kordi *et al.*, 2024), a los

cuales, las bandejas más oscuras fue la del T2 con fibra de cascarilla de arroz con 51.403, frente a los 52.473 obtenidos en T3 con fibra de bagazo de caña de azúcar, es decir, donde hay más lignina hubo más oscurecimiento (menor valor L*).

Además, la hemicelulosa en la fibra puede descomponerse (hidrolizarse) a altas temperaturas liberando xilosa, la cual puede transformarse en furfural resultando en una reducción de la luminosidad (L*) (Cruz, 2021; Palmqvist & Hahn-Hägerdal, 2000).

Se realizó el análisis de varianza para el parámetro L* de los 6 tratamientos junto con sus 3 repeticiones; en el **Tabla 19** se muestra que los distintos porcentajes de almidón de semilla de mango y fibras de cascarilla de arroz y bagazo de caña son significativos en el parámetro dando como resultado que los diferentes porcentajes aplicados de almidón y las fibras de cascarilla de arroz y bagazo de caña de azúcar influyen significativamente en dicho parámetro, con un valor $p < 0.05$, con un 95.0% de nivel de confianza. Además, en la **Figura 27** se observa la dispersión y las medias del parámetro L* de color por tratamientos.

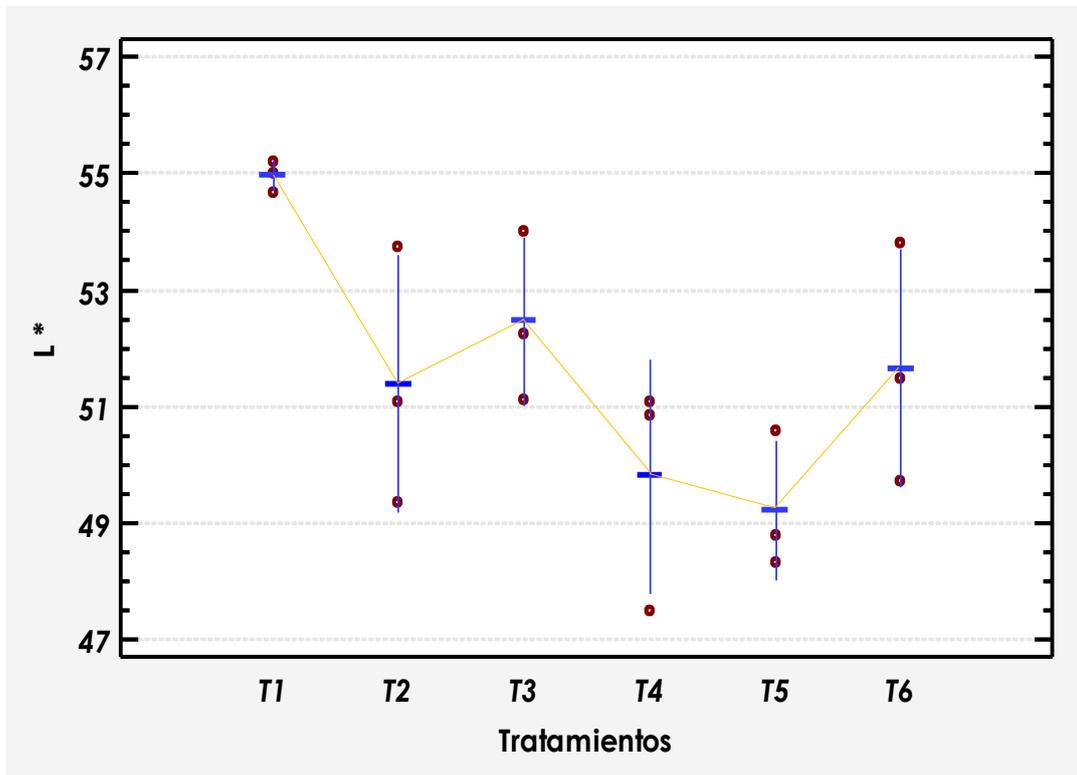
Tabla 19.

Análisis de varianza (ANOVA) para el parámetro L.*

<i>Fuente</i>	<i>Suma de Cuadrados</i>	<i>Gl</i>	<i>Cuadrado Medio</i>	<i>Razón-F</i>	<i>Valor-P</i>
Entre grupos	62.8535	5	12.5707	4.50	0.0153
Intra grupos	33.5155	12	2.79296		
Total	96.369	17			

Figura 27.

Gráfico de dispersión y medias del parámetro L por tratamiento.*

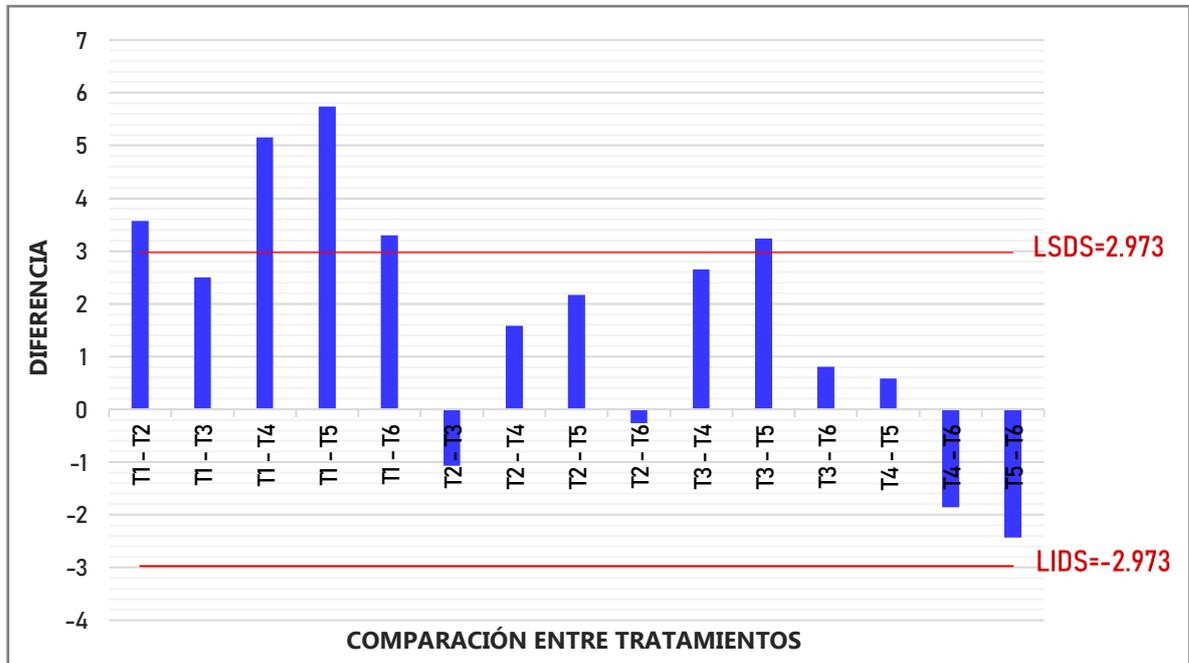


Para determinar las medias de L* que son significativamente diferentes de otras, se realizó la prueba de rango múltiple con el test LSD de Fisher presentadas en el **Anexo 12** donde se identificaron 3 grupos homogéneos, a lo cual, en la **Figura 28** se presenta la gráfica de comparaciones entre tratamientos donde se observa que el T1 difiere significativamente con los tratamientos T2, T4, T5, T6 en cuanto a iluminación, siendo la diferencia entre el T1 y T5 el de mayor diferencia significativa presentada con 5.73, sobrepasando en 2.764 del Límite Superior de Diferencial Significativo (LSDS=2.973), por otro lado, el T3 difiere únicamente de T5.

Figura 28.

Gráfico de diferencias de medias estadísticas de parámetro L entre Tratamientos:*

Prueba LSD de Fisher.



Los promedios de los valores obtenidos en esta investigación en cuanto al parámetro a* de color oscilan de 2.513 a 4.043, evidenciándose un incremento al adicionarse un mayor porcentaje de fibra de bagazo de caña de azúcar o de cascarilla de arroz, siendo más notorio esto en los tratamientos T2 (90A/10C/0B) y T4(85A/5C/10B) respecto al Tratamiento control T1 (100A/0C/0B) con valores de 3.847 y 4.043 respectivamente.

Según Rodríguez *et al.* (2016) el porcentaje de lignina presente en las fibras suele resultar en un tono más oscuro y/o rojizo de bandejas, por ende, una concentración de lignina mayor en las fibras añadidas resulta en menores valores de L* y mayores de a*, por su parte Cruz (2021) y (Machado *et al.*, 2017) mencionan que la presencia de fibra que contiene lignina podría producir el tono rojo de la bandeja. Esto se evidenció en esta investigación donde la lignina presente el bagazo de caña de azúcar

es menor a la de cascarilla de arroz (Mahmud & Anannya, 2021; Kordi *et al.*, 2024). Los datos de los tratamientos T2 (90A/10C/0B) y T3 (90A/0C/10B) respecto al parámetro a^* son 3.847 y 2.89 respectivamente, evidenciando lo mencionado, donde el bagazo al poseer menor contenido de lignina en su composición, presenta mayor valor del parámetro a^* , es decir, más tonalidad rojiza.

En la **Tabla 20** se muestra el ANOVA realizado para el parámetro a^* de los 6 tratamientos juntos con sus 3 repeticiones; dichos resultados nos muestran que los distintos porcentajes de almidón de semilla de mango y fibras de cascarilla de arroz y bagazo de caña de azúcar no influye significativamente en dicho parámetro, con un valor $p > 0.05$, y un nivel de confianza del 95%. Además, en la **Figura 29** se observa la dispersión y las medias del parámetro a^* de color por tratamientos.

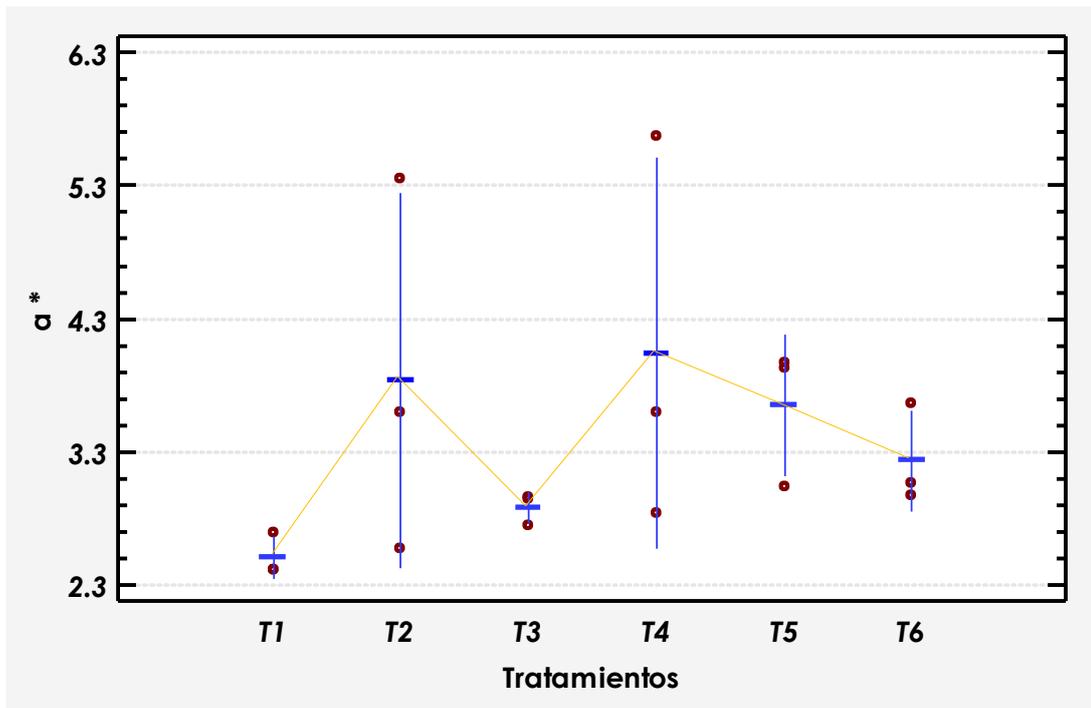
Tabla 20.

Análisis de varianza (ANOVA) para el parámetro a^ .*

<i>Fuente</i>	<i>Suma de Cuadrados</i>	<i>Gl</i>	<i>Cuadrado Medio</i>	<i>Razón-F</i>	<i>Valor-P</i>
Entre grupos	5.22558	5	1.04512	1.36	0.3044
Intra grupos	9.19827	12	0.766522		
Total	14.4238	17			

Figura 29.

Gráfico de dispersión y medias del parámetro a^ por tratamiento.*

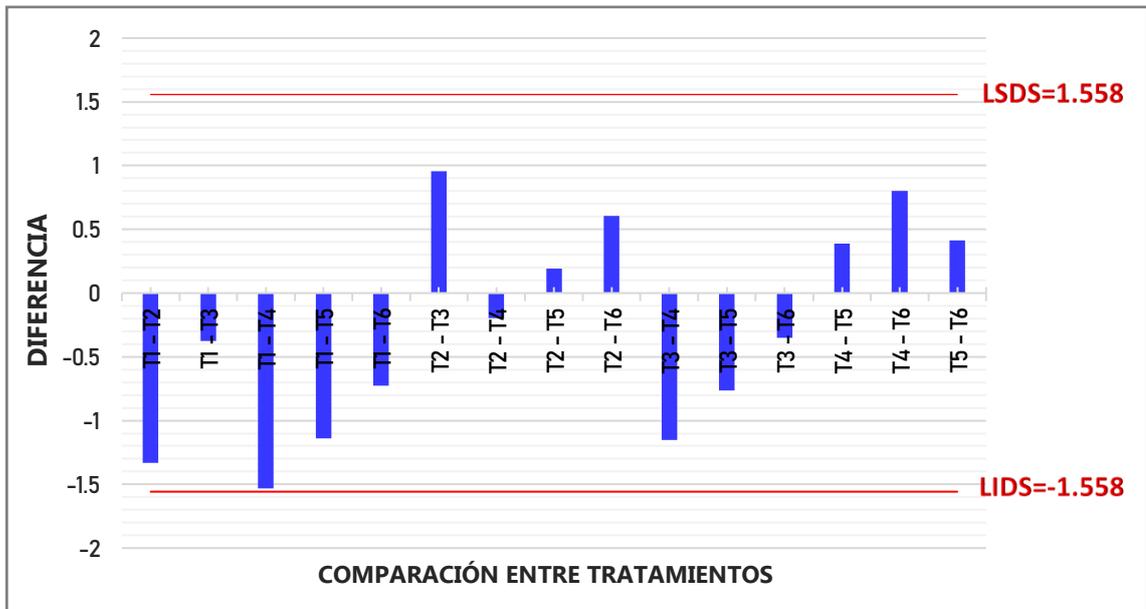


Para comprobar la inexistencia de diferencias significativas entre las medias de los tratamientos, se realizó la prueba de rango múltiple con el test LSD de Fisher presentadas en el **Anexo 13** donde se identificó únicamente 1 grupo homogéneo, siendo para este caso que ningún tratamiento con respecto a a^* difieren entre si significativamente. Esto se puede comprobar en la **Figura 30**, donde se puede observar que, en la comparación entre tratamientos, ninguna relación sobrepasó los Límites de Diferencial Significativos.

Figura 30.

Gráfico de diferencias de medias estadísticas de parámetro a^* entre Tratamientos:

Prueba LSD de Fisher.



Los valores obtenidos del parámetro b^* de los distintos tratamientos, oscilan entre 13.947 a 16.197, inclinándose hacia el tono amarillento, a su vez dicho valor presento un incremento en bandejas con un mayor contenido de fibra siendo los tratamientos T4 (85A/5C/10B) y T2 (90A/10C/0B) los que presentaron un mayor aumento con 16.197 y 15.507 respectivamente. Esta afirmación coincide con Espina *et al.* (2016), donde al elaborar bandejas biodegradables con almidón de oca y fibra de bagazo de caña de azúcar con una proporción de fibra entre 5 a 40%, los datos oscilaron entre 9.93 a 11.13, donde los datos de b^* aumentaron al incrementar el porcentaje de fibra en la mezcla.

De igual forma, Matos y Díaz (2022) reportaron valores que oscilaban entre 13.8 y 18.4 en su investigación de bandejas biodegradables a partir almidón y fibra de semilla de mango y palta respectivamente. Por otro lado, Díaz (2017), obtuvo valores de b^* mayores a los de esta investigación utilizando almidón de camote y fibra de rastrojo de maíz los cuales estuvieron en un rango de 18.70 a 25.72.

En la **Tabla 21** se presenta el ANOVA para el parámetro b^* de los 6 tratamientos elaborados junto con sus 3 repeticiones; se observa que los distintos porcentajes de almidón de semilla de mango, y fibras de cascarilla de arroz y bagazo de caña de azúcar no influye significativamente en dicho parámetro, con un valor $p > 0.05$ y con un nivel confianza del 95.0%. Además, en la **Figura 31** se observa la dispersión y las medias del parámetro b^* de color por tratamientos.

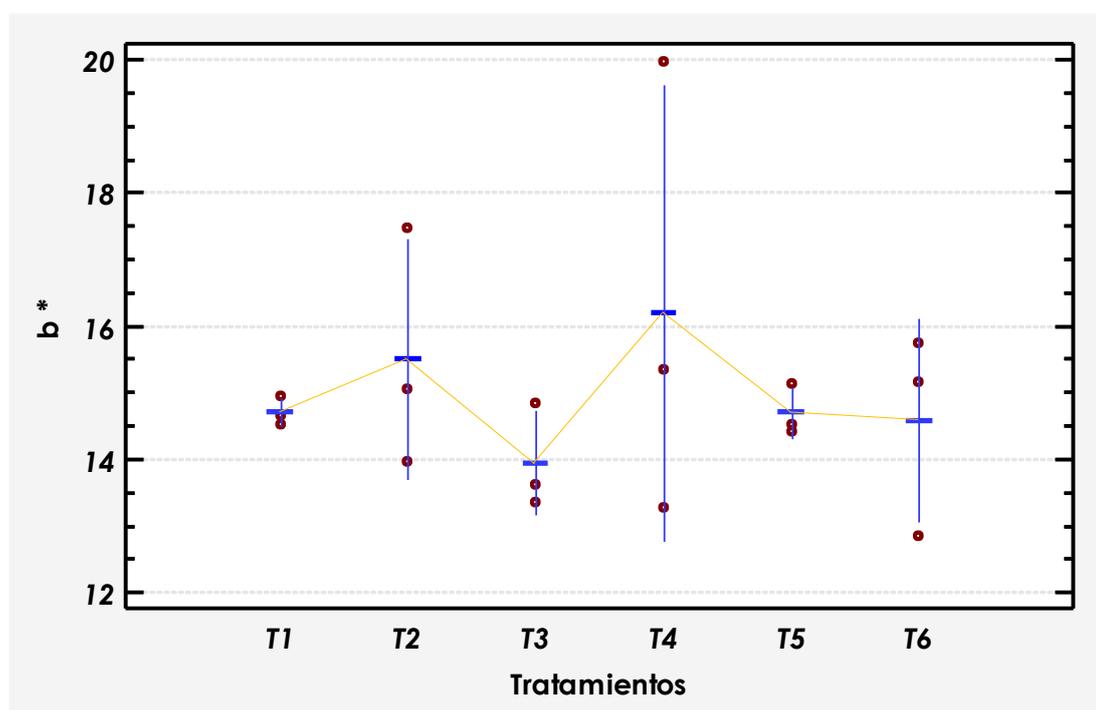
Tabla 21.

Análisis de varianza (ANOVA) para el parámetro b^ .*

<i>Fuente</i>	<i>Suma de Cuadrados</i>	<i>Gl</i>	<i>Cuadrado Medio</i>	<i>Razón-F</i>	<i>Valor-P</i>
Entre grupos	9.35583	5	1.87117	0,62	0.6882
Intra grupos	36.2733	12	3.02278		
Total	45.6292	17			

Figura 31.

Gráfico de dispersión y medias del parámetro b^ por tratamiento.*

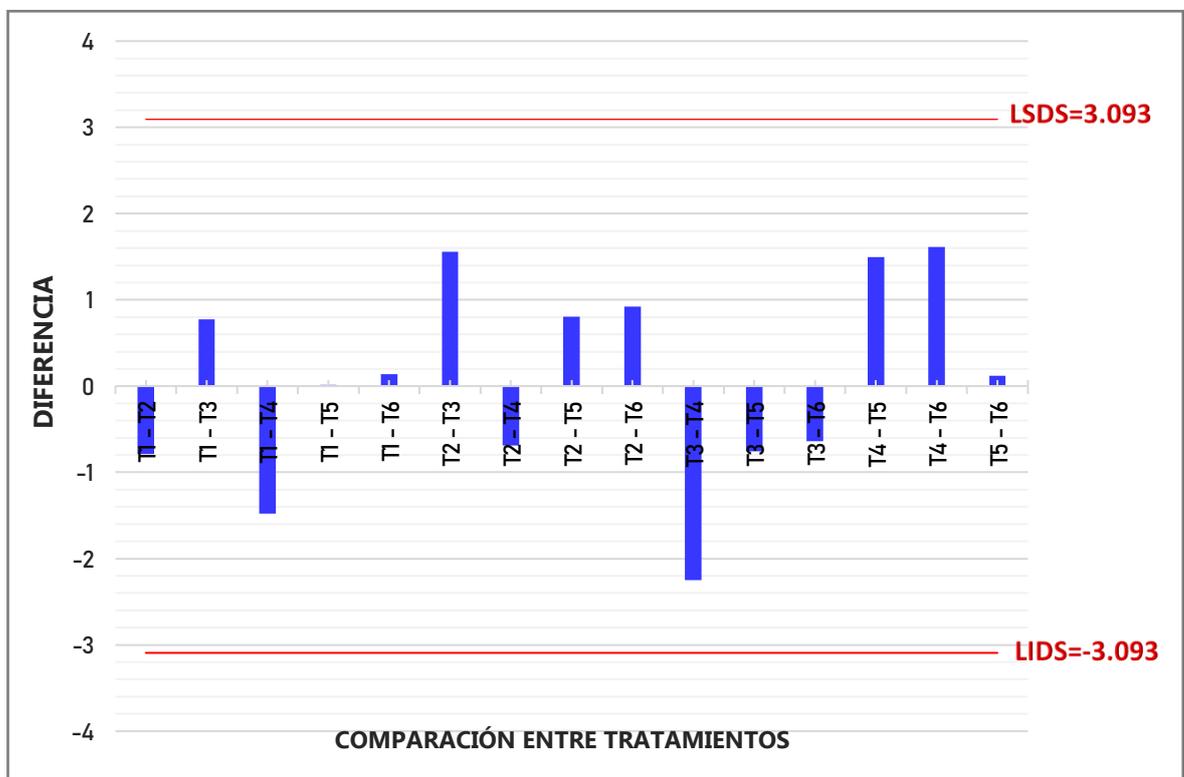


Para comprobar la inexistencia de diferencias significativas entre las medias de los tratamientos, se realizó la prueba de rango múltiple con el test LSD de Fisher presentadas en el **Anexo 14** donde se identificó 1 grupo homogéneo, siendo para este caso que ningún tratamiento con respecto b^* difieren entre si significativamente. Esto se puede comprobar en la **Figura 32**, donde se puede observar que, en la comparación entre tratamientos, ninguna relación sobrepasó los Límites de Diferencial Significativos.

Figura 32.

Gráfico de diferencias de medias estadísticas de parámetro a^ entre Tratamientos:*

Prueba LSD de Fisher.



Finalmente, en la **Tabla 22** se muestra el ANOVA realizado para ΔE color de los 6 Tratamientos elaborados junto con 3 repeticiones cada uno; dando como resultado que los distintos porcentajes formulados de almidón de semilla de mango y fibras de

cascarilla de arroz y bagazo de caña de azúcar generan una diferencia estadísticamente significativa entre las medias de color de un Tratamiento y otro, para un valor $p < 0.05$, con un 95.0% de confianza. A su vez, en la **Figura 33** se observa la dispersión y las medias de los valores de color por tratamientos.

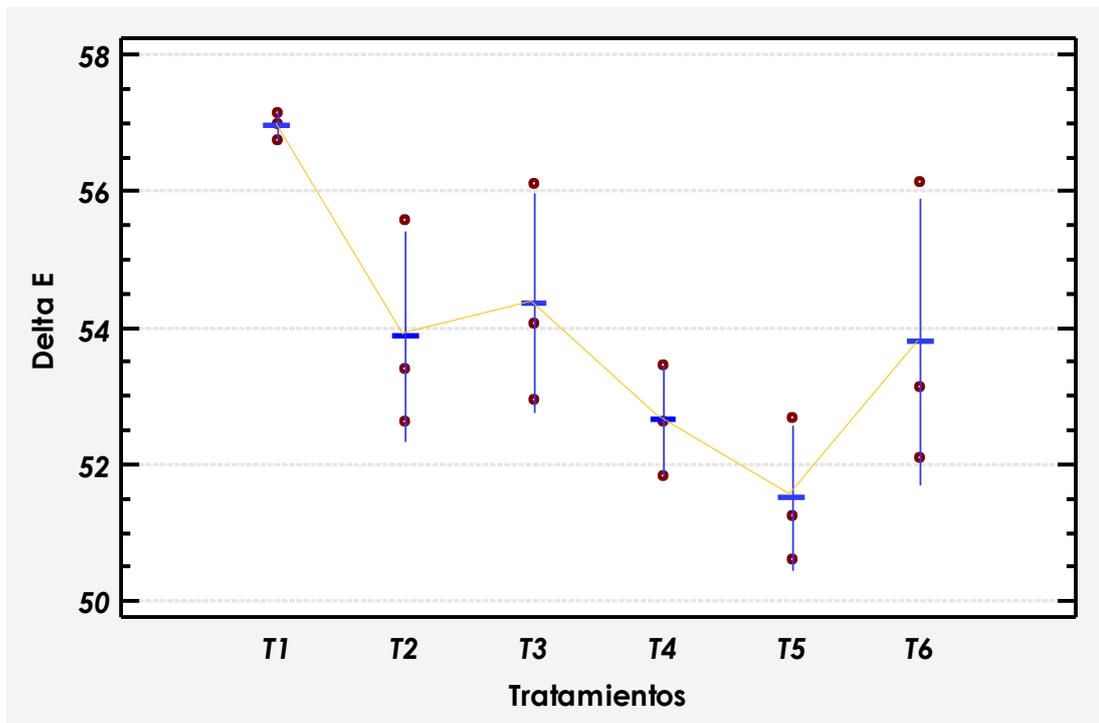
Tabla 22.

Análisis de varianza (ANOVA) para ΔE Color.

<i>Fuente</i>	<i>Suma de Cuadrados</i>	<i>Gl</i>	<i>Cuadrado Medio</i>	<i>Razón-F</i>	<i>Valor-P</i>
Entre grupos	50.5697	5	10.1139	5.43	0.0077
Intra grupos	22.3411	12	1.86175		
Total	72.9108	17			

Figura 33.

Gráfico de dispersión y medias de ΔE (color) por tratamiento.

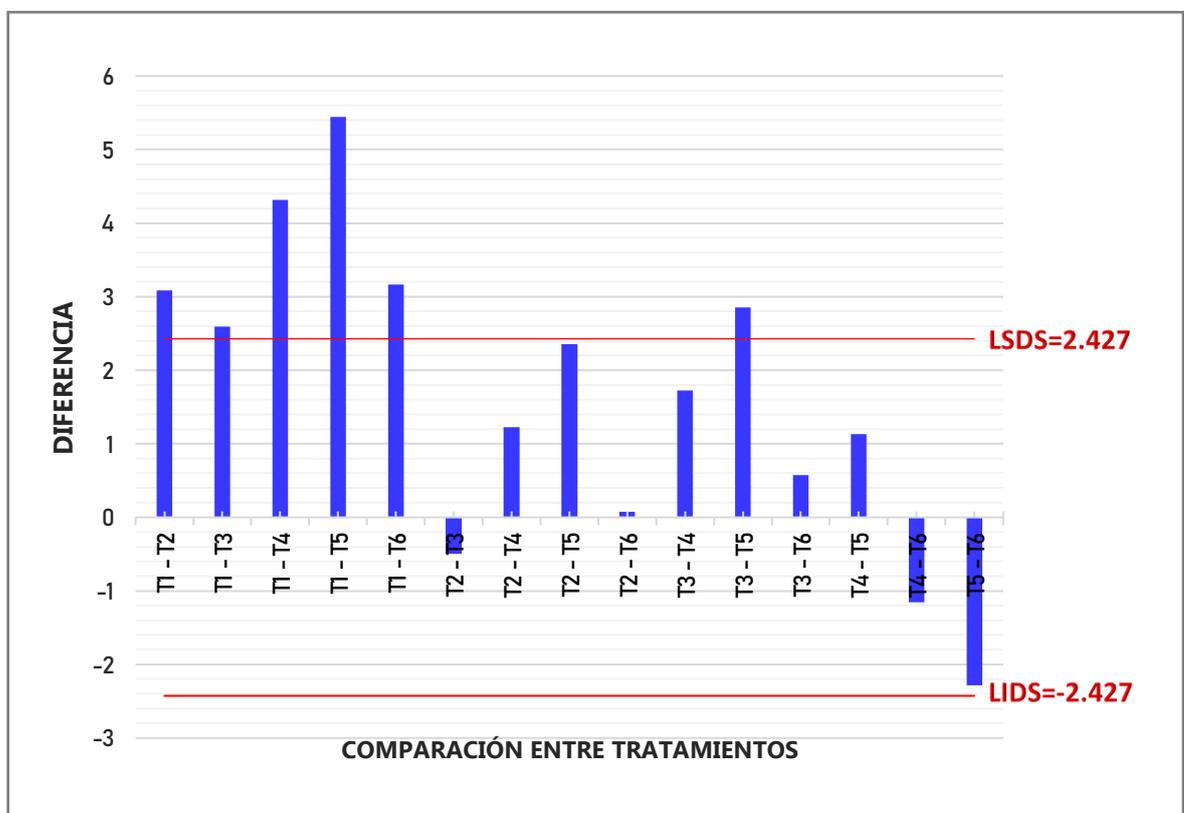


Para identificar los tratamientos cuyas medias tienen diferencias significativas de otros en cuanto al ΔE (color), se realizó la prueba de rango múltiple con el test LSD de Fisher presentadas en el **Anexo 15** donde se distinguen 3 grupos homogéneos, a lo cual, en la **Figura 34** se observa que el T1 difiere significativamente a T2, T3, T4, T5, T6; siendo la diferencia entre el T1 y T5 el de mayor diferencia significativa presentada con 5.446, sobrepasando en 3.019 del Límite Superior de Diferencial Significativo (LSDS = 2.427), por otro lado, el T3 difiere únicamente de T5.

Figura 34.

Gráfico de diferencias de medias estadísticas de ΔE color entre Tratamientos:

Prueba LSD de Fisher.



4.2.2. ESPESOR.

El espesor de una película es un factor crítico que controla el rendimiento de la bandeja lo que afecta la vida útil de los materiales alimentarios (Hoque & Janaswamy,

2024). En cuanto a los espesores obtenidos de la caracterización de las bandejas de almidón de semilla de mango y fibra de cascarilla de arroz y bagazo de caña de azúcar (Tabla 27), se observó que oscilaba en un rango de 2.053 ± 0.113 hasta 3.099 ± 0.077 mm, siendo la mayoría de los tratamientos (T1, T2, T3 y T4) de mayor espesor a las bandejas a base de poliestireno expandido [EPS] (2.53 mm) (Cabanillas *et al.*, 2019).

Estos resultados son similares que los obtenidos por Matos y Díaz (2022) donde obtuvieron valores desde los 2.39 mm a 3.47 mm en bandejas biodegradables a base de almidón de semilla de mango y palta, y también a los obtenidos por Romero (2019), donde utilizo almidón de arracacha, oca y camote con un valor de 2.51 ± 0.06 , 2.57 ± 0.04 y 2.62 ± 0.04 mm respectivamente. Por otro lado, son inferiores a los espesores de bandejas hechas a base de almidón de yuca por Machado *et al.* (2017) y Ferreira (2019) con valores que oscilan entre 3.3 a 4.6 mm y 3.50 a 4.21 mm, respectivamente. También son menores a los obtenidos por Souza (2021) en bandejas a base de almidón de maíz donde sus resultados oscilaban entre 3 a 3.5 mm.

Según Beltrán (2017) indica que el incremento del espesor de las bandejas se debe al porcentaje del contenido de fibra adicionado en la mezcla, aumentando positivamente hasta un 20% de fibra en la mezcla, mientras que por encima de este valor (30 - 40%), el espesor tiende a disminuir significativamente, lo que sucedió con los valores de espesor en el Tratamiento 5, esto es debido a que al incrementarse el porcentaje de fibra, la viscosidad de la masa de almidón tiende a bajar por la buena interacción fibra-almidón (Pornsuksomboon *et al.*, 2016; Soykeabkaew *et al.*, 2015). De igual manera, Ortiz (2020), obtuvo valores entre 0.04 (0 g fibra) a 0.16 mm (5 g fibra) en bandejas biodegradables de almidón de semilla de mango y fibras de celulosa, observándose que, a mayor cantidad de fibra, el espesor incrementa de igual forma.

Asimismo, Díaz *et al.* (2023) señala que las bandejas fabricadas con concentraciones reducidas de glicerina favorecen un aumento significativo en su espesor. Respecto al efecto de la fibra y el almidón en el espesor, Cruz-Tirado (2017) indica que los espesores más prominentes se logran en mezclas que contienen una proporción intermedia de ambos componentes.

En la **Tabla 23** se realizó el ANOVA para el espesor de los 6 Tratamientos con 3 repeticiones respectivamente, donde se evidencia que los distintos porcentajes de almidón semilla de mango y fibras de cascarilla de arroz y bagazo de caña de azúcar genera estadísticamente una diferencia significativa entre la media de espesor entre niveles de cada Tratamiento, resultando un valor $p < 0.05$, con un 95.0% de confianza.

En la **Figura 35** se observa la dispersión y las medias de los valores de espesor por tratamiento determinándose que la expansión no fue uniforme durante el termoformado de las bandejas.

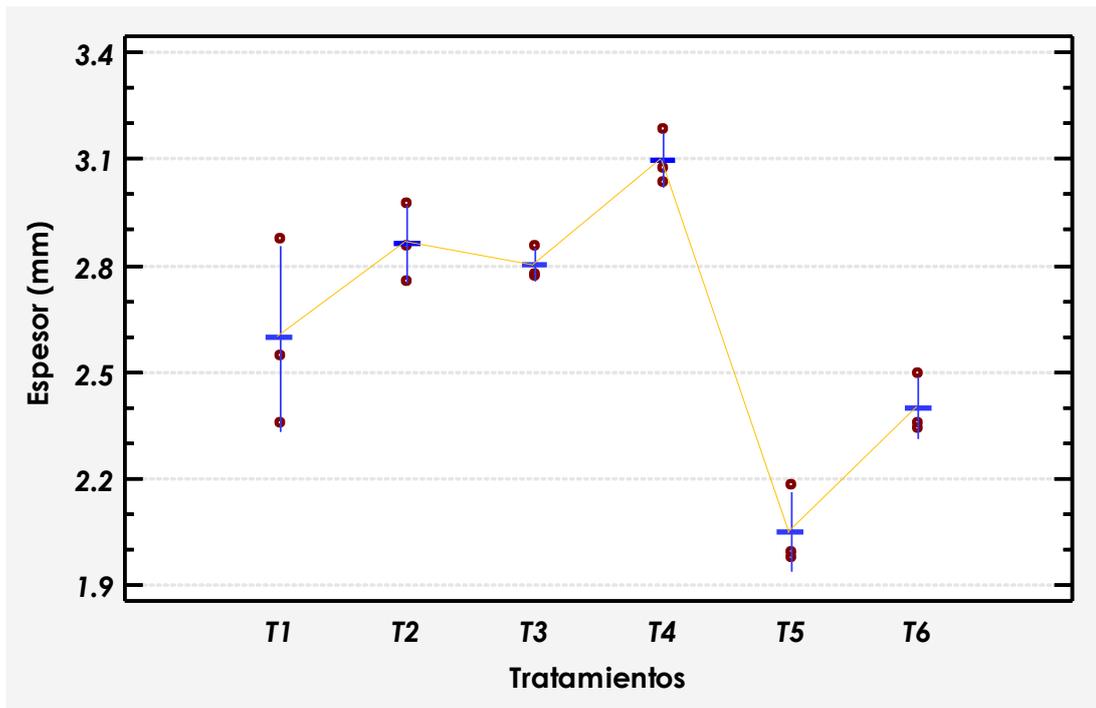
Tabla 23.

Análisis de varianza (ANOVA) para el espesor.

<i>Fuente</i>	<i>Suma de Cuadrados</i>	<i>Gl</i>	<i>Cuadrado Medio</i>	<i>Razón-F</i>	<i>Valor-P</i>
Entre grupos	2.07599	5	0.415198	22,93	0.0000
Intra grupos	0.217318	12	0.0181098		
Total	2.29331	17			

Figura 35.

Gráfico de dispersión y medias de espesor por tratamiento.



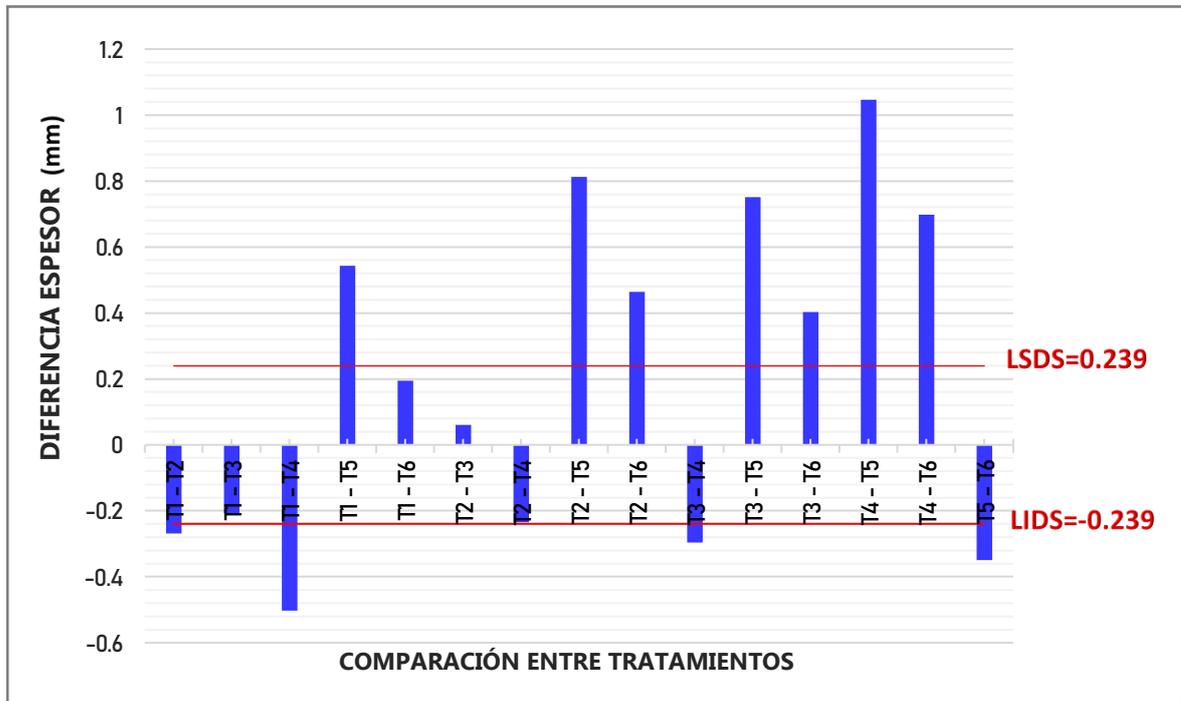
Para identificar los tratamientos cuyas medias tienen diferencias significativas de otros en cuanto a su espesor, se realizó la prueba de rango múltiple con el test LSD de Fisher presentadas en el **Anexo 16** donde se distinguen 5 grupos homogéneos.

En la **Figura 36** se observa que el T5 quien difiere significativamente con los demás tratamientos en cuanto a valores de espesores, siendo la comparación entre medias del T5 y T4 el de mayor diferencia significativa presentada con 1.047, sobrepasando en 0.807 del Límite Superior de Diferencial Significativo (LSDS = 0.239), por otro lado, el T4 difiere con el T1, T3, T5 y T6.

Figura 36.

Gráfico de diferencias de medias estadísticas de Espesor (mm) entre Tratamientos:

Prueba LSD de Fisher.



4.2.3. DENSIDAD.

En la **Tabla 27** se muestran los resultados de densidad obtenidos en el presente estudio en la cual tuvieron un promedio de 0.396 g/cm^3 , cifra superior a la del poliestireno expandido (EPS), que es de 0.041 g/cm^3 según Cabanillas *et al.* (2019), los cuales son utilizadas como referencia por ser la más comercializada.

La inclusión de fibra y glicerol en la formulación limita la capacidad de expansión del almidón durante la etapa de termoformado, lo que da como resultado bandejas con una mayor densidad (Cruz-Tirado *et al.*, 2018), en el cual, en esta investigación existe dicho comportamiento de incrementarse la densidad al añadir glicerol y aumentar los niveles de fibra presentando valores desde 0.19 g/cm^3 (sin fibra) a 0.33 g/cm^3 (40% fibra) en bandejas biodegradables de almidón de camote y fibras de peladilla de esparrago.

La glicerina, por su capacidad de absorber agua, ayuda a evitar que las bandejas de espuma resulten con baja densidad, lo que sugiere que se deben utilizar concentraciones inferiores al 5% (Díaz *et al.*, 2023), sin embargo, por especificaciones en parámetros de proceso, se adicionó 7%, lo cual contribuyó para la obtención de bandejas más densas. Además, la adición de un componente que contiene fibra en su composición, en este caso, cascarilla de arroz y bagazo de caña de azúcar, en la matriz del almidón puede interferir en la capacidad de expansión del almidón durante el proceso de expansión térmica. Este hecho da como resultado bandejas con mayor densidad, ya que existe una relación inversamente proporcional entre la densidad del material formado y la capacidad de expansión del almidón (Cruz-Tirado *et al.*, 2017; Kaisangsri *et al.*, 2014)

Los almidones con altos índices de amilosa proporcionan una alta densidad de espuma, debido a que presentan paredes celulares menos delgadas y las estructuras menos expandidas, en contraste con lo observado en almidones que tienen mayor contenido de amilopectina. (Han *et al.*, 2023). Esto se evidencia en los valores de densidad obtenidos por Cruz-Tirado *et al.* (2019) donde elaboró bandejas a base de almidones aislados de diferentes especies peruanas como almidón de arracacha (amilosa: $22.77 \pm 0.88\%$), oca (amilosa: $31.87 \pm 0.42\%$) y camote (amilosa: $42.65 \pm 0.85\%$), resultando con valores de 0.14, 0.17 y 0.18 g/cm³, respectivamente, comprobando la relación directamente proporcional entre el porcentaje de amilosa del almidón y densidad de la bandeja, que además, estos valores son menores a los obtenidos en la presente investigación.

Los valores de densidad registrados de las bandejas elaboradas fueron similares en comparación a las bandejas de almidón de oca y fibra de bagazo de caña de azúcar registradas por Espina *et al.* (2016) cuyo valor fue 0.37 g/cm³, esto puede ser debido

a la utilización de la misma fuente de fibra y la posible similitud en las características del almidón de oca y de semilla de mango.

Por otra parte, los valores obtenidos en esta investigación fueron mayores a los reportados por Ferreira *et al.* (2020) cuyas bandejas se elaboraron con almidón de yuca y fibra de bagazo de caña de azúcar y hoja de maíz, obteniendo como resultados densidades entre 0.18 y 0.20 g/cm³, esto puede ser debido a la influencia de la cantidad de amilosa en la expansión de la bandeja, puesto que el almidón de yuca posee una mayor concentración de amilosa que en el almidón de semilla de mango y además, las fibras de bagazo de caña de azúcar y las de cascarilla de arroz (especialmente esta última) contribuyeron al aumento de densidad de las bandeja.

Los valores obtenidos también fueron mayores a los de las bandejas a base de almidón de semilla de mango y fibra de cascara de palta analizadas por Matos y Díaz (2022) que oscilaron entre 0.171 a 0.257 g/cm³. A su vez, se obtuvieron valores mayores a bandejas elaboradas con almidón de yuca conseguido en las investigaciones de Pornsuksomboon *et al.* (2016) y Aguirre *et al.* (2023), cuyos valores estuvieron entre 0.159 a 0.224 g/cm³ y 0.12 a 0.29 g/cm³, respectivamente.

En la **Tabla 24** se muestra el ANOVA realizado para la densidad de los 6 Tratamientos elaborados con 3 repeticiones respectivamente; demostrando que las distintas cantidades de almidón de semilla de mango y fibras de cascarilla de arroz y bagazo de caña de azúcar, influye estadísticamente ya que no genera una diferencia significativa entre las medias de densidades de los distintos tratamientos, con un valor $p > 0.05$, y con un nivel de confianza de 95.0%. En la **Figura 37** se observa la dispersión y las medias de los valores de densidad por tratamiento, demostrando su uniformidad.

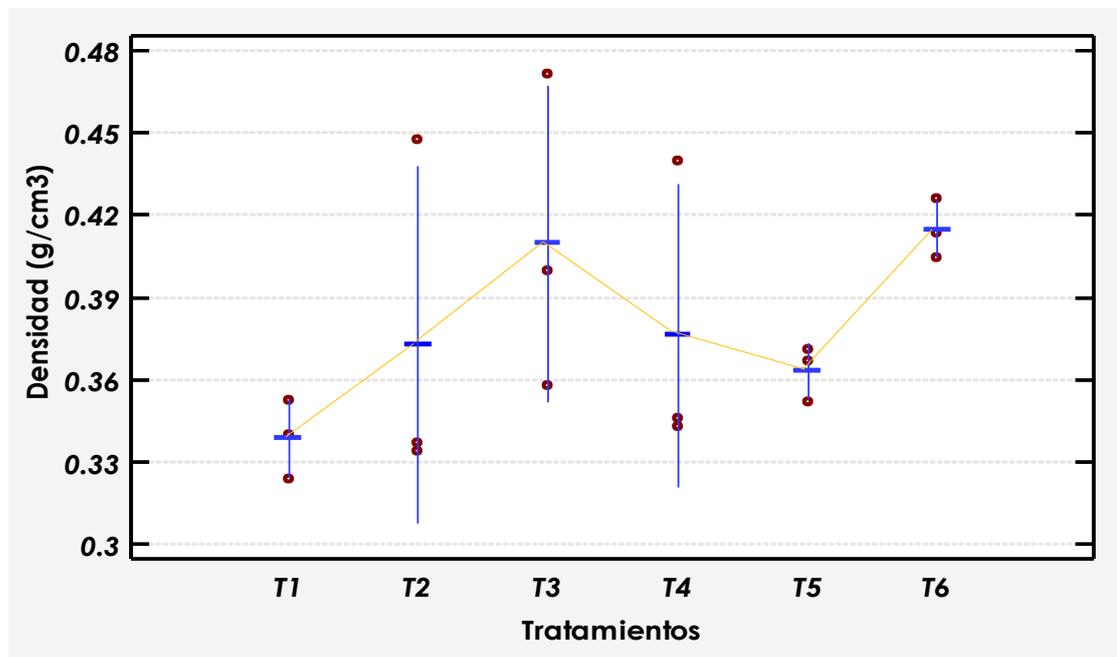
Tabla 24.

Análisis de varianza (ANOVA) para el Densidad.

<i>Fuente</i>	<i>Suma de Cuadrados</i>	<i>Gl</i>	<i>Cuadrado Medio</i>	<i>Razón-F</i>	<i>Valor-P</i>
Entre grupos	0.0124272	5	0.00248543	1.36	0.3061
Intra grupos	0.0219533	12	0.00182944		
Total	0.0343805	17			

Figura 37.

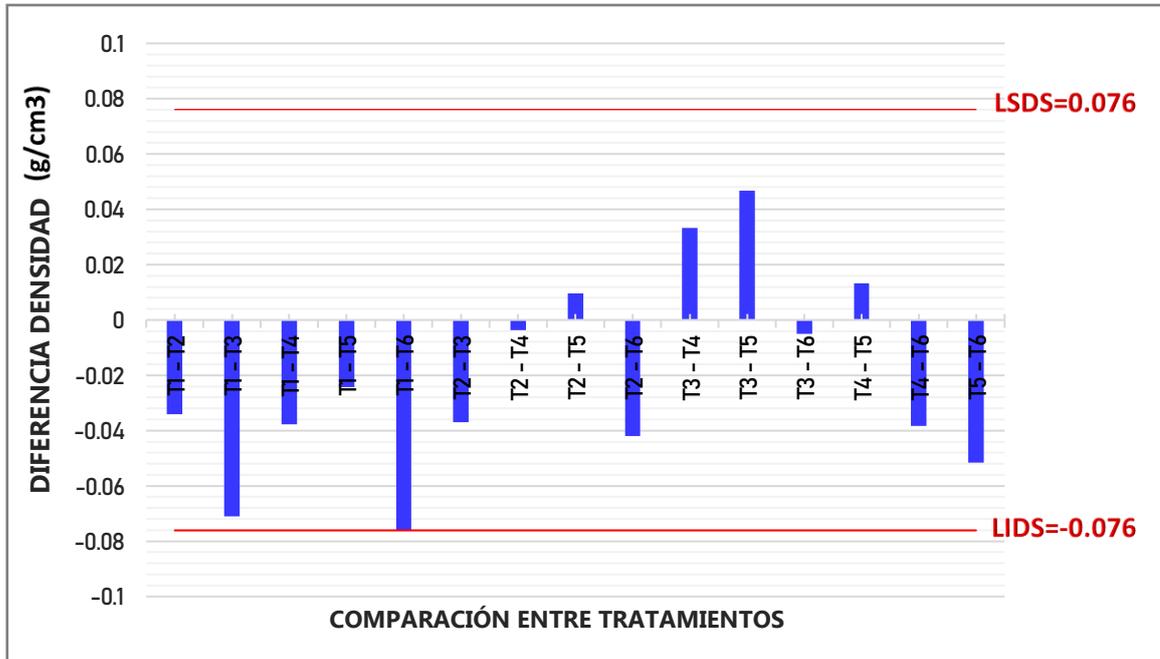
Gráfico de dispersión y medias de densidad por tratamiento.



Para comprobar la inexistencia de diferencias significativas entre las medias de los tratamientos, se realizó la prueba de rango múltiple con el test LSD de Fisher presentadas en el **Anexo 17** donde se identifica 1 grupo homogéneo sin ninguna diferencia significativa en la comparación de múltiples rangos. Esto se puede comprobar en la **Figura 38**, donde se puede observar que, en la comparación entre tratamientos, ninguna relación sobrepasó los Límites de Diferencial Significativos.

Figura 38.

*Gráfico de diferencias de medias estadísticas de Densidad (g/cm^3) entre Tratamientos:
Prueba LSD de Fisher.*



4.2.4. HUMEDAD.

En la **Tabla 27** se presentan los valores de humedad de las bandejas para los 6 tratamientos, dichos valores se encuentran en un rango de 4.791% a 9.287%, donde se observa una tendencia a disminuir al incrementarse el porcentaje de fibra de bagazo de caña de azúcar en la formulación en un mismo rango en cuanto al porcentaje de almidón de semilla de mango, siendo $T2 < T3$ para un 90% de almidón y $T4 < T5$ al disminuir el porcentaje de almidón a 85% y a su vez usando fibra de bagazo de caña. La humedad de la bandeja control (100/0/0) fue de 5.444%; mientras que el tratamiento con menor porcentaje de humedad usando fibra fue el T6 (4.791%), dicho tratamiento contiene solo 10% de fibra total (cascarilla-bagazo de caña). En particular esto se debió a las características hidrofóbicas de las fibras, esto significa que las bandejas hechas con estas fibras absorberán menos humedad del ambiente o de los alimentos que contengan, manteniendo un contenido de humedad

más bajo (Viviano, 2018). Esto se evidenció en la investigación obteniendo la humedad menor cuando se adicionan en menos de 5% cada una.

Las bandejas de EPS son hidrofóbicas, lo que significa que repele el agua, teniendo humedades generalmente menores de 1%, ofreciendo alta resistencia a la permeabilidad al vapor de agua, dándole también una defensa a la acción del agua y la humedad, manteniendo inalteradas sus propiedades (Baratter *et al.*, 2017).

En cuanto al mayor contenido de humedad de los 6 tratamientos, se obtuvo en las bandejas T2 (90/10/0). Por otra parte, Matos y Díaz (2022) elaboraron bandejas biodegradables a partir de almidón de semillas de mango y palta, y fibra de semilla de palta, donde el porcentaje de humedad en su formulación estuvo en un rango de 11.59% (T9, 10% fibras) a 12.20% (T3, 0% fibras), disminuyendo al incrementar el contenido (%) de fibra presente en la mezcla.

Los valores obtenidos de humedad en esta investigación son inferiores a los de Luna *et al.* (2021) donde elaboro bandejas biodegradables con almidón de maíz y camote obteniendo valores entre 8.94 y 22.54 %. A su vez, Vega (2022) en su investigación sobre la obtención de platos biodegradables a partir de fibras similares a la de este proyecto (cascarilla de arroz y bagazo de caña) obtuvo valores que van desde 10.9% (30% bagazo) a 15.3% (40% bagazo), mencionando que el bagazo y cascarilla de arroz poseen un alto potencial de celulosa, al ser hidrofílica permite una mayor absorción del contenido de humedad, y manteniendo los envases más secos, siendo estos resultados mayores los obtenidos en esta investigación posiblemente debido a las diferencias en la procedencia y prácticas agrícolas aplicadas a estas materias primas.

Sin embargo, Cruz (2021), en su investigación sobre el efecto de las distintas proporciones de almidón y fibra del pseudotallo de banano, obtuvo mayores valores a los de esta investigación con un rango de humedad de 9.60% a 10.96% con tendencia a disminuir al incrementar el porcentaje de fibra en la formulación, también menciona que este comportamiento se atribuye a la naturaleza hidrofóbica de la fibra atribuida por la lignina, la cual, al aumentar su concentración en los diferentes tratamientos, disminuye su afinidad con el agua, generando una disminución en la cantidad humedad absorbida.

En la **Tabla 25** se muestra el ANOVA realizado para el contenido de humedad para los 6 tratamientos elaborados a las bandejas con 3 repeticiones por tratamiento; demostrándose que los porcentajes distribuidos para el almidón de semilla de mango y las 2 fibras (cascarilla de arroz y bagazo de caña de azúcar) influye significativamente entre la media de humedad evaluado, resultando un valor $p < 0.05$, con un nivel de confianza del 95%. En la **Figura 39** se observa la dispersión y las medias de los valores de humedad por tratamiento, visualizándose la diferencia significativa por parte del T1 sobre las demás.

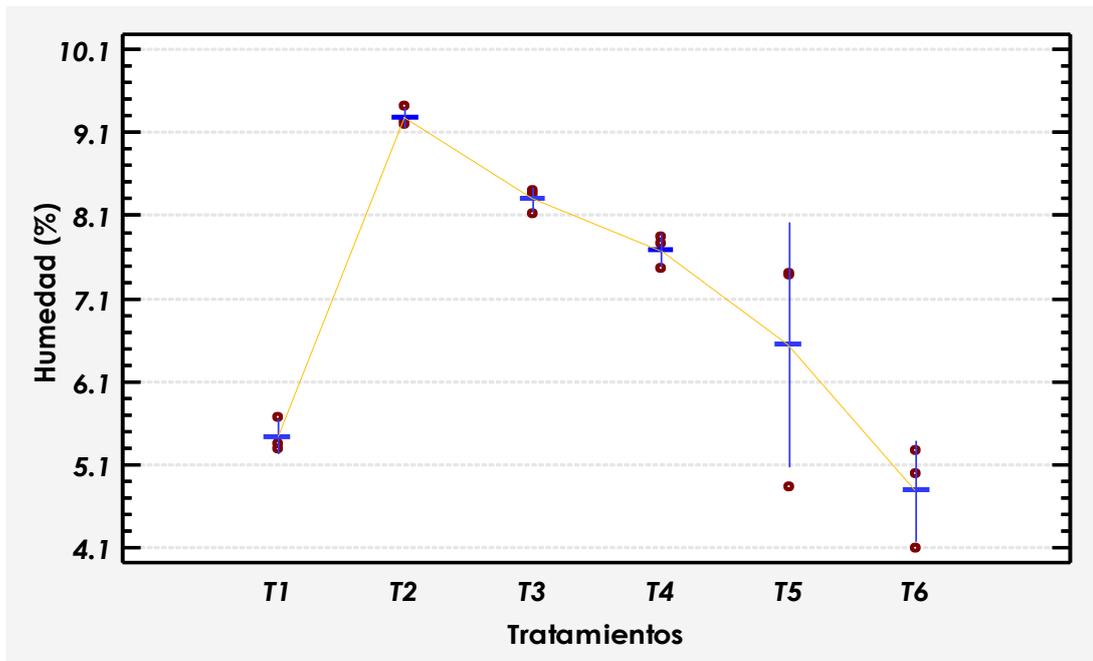
Tabla 25.

Análisis de varianza (ANOVA) para el contenido de Humedad.

<i>Fuente</i>	<i>Suma de Cuadrados</i>	<i>Gl</i>	<i>Cuadrado Medio</i>	<i>Razón-F</i>	<i>Valor-P</i>
Entre grupos	44.6928	5	8.93856	20.07	0.0000
Intra grupos	5.34499	12	0,445416		
Total	50.0378	17			

Figura 39.

Gráfico de dispersión y medias de humedad por tratamiento.

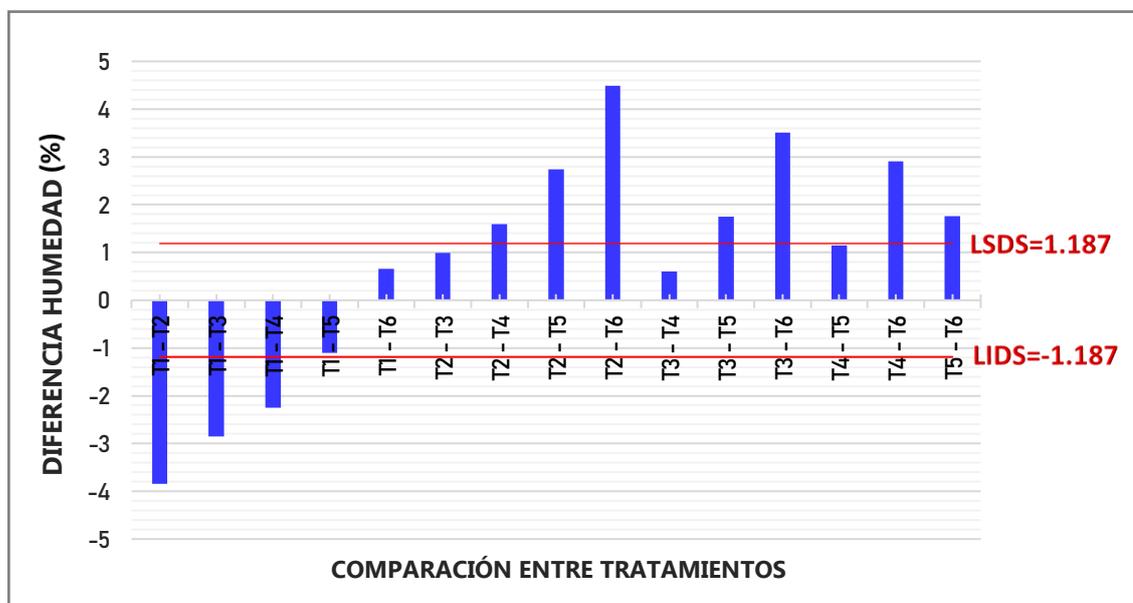


Para identificar los tratamientos cuyas medias tienen diferencias significativas de otros en cuanto a su porcentaje de humedad, se realizó la prueba de rango múltiple con el test LSD de Fisher presentadas en el **Anexo 18** donde se distinguen 5 grupos homogéneos, a lo cual, en la **Figura 40** se observa que el Tratamiento control (T1) significativamente distinto a T2, T3, T4 para humedad; el tratamiento T2 es significativamente diferente a T4, T5, T6; el tratamiento T3 es significativamente diferente a T5, T6; el tratamiento T4 es significativamente diferente a T6 y el tratamiento T5 es significativamente diferente a T6. Se deduce que los tratamientos más adecuados son T4, T5 y T6. Siendo la diferencia entre el T1 y T5 el de mayor diferencia significativa presentada con 4.495, sobrepasando en 3.307 del Límite Superior de Diferencial Significativo (LSDS = 1.187).

Figura 40.

Gráfico de diferencias de medias estadísticas de Humedad (%) entre Tratamientos:

Prueba LSD de Fisher



4.2.5. CAPACIDAD DE ABSORCIÓN DE AGUA (CAA).

Los resultados obtenidos del análisis CAA se encuentran detallados en la **Tabla 27**, donde se observa que las bandejas fabricadas con almidón de semilla de mango y fibra de bagazo de caña de azúcar y cascarilla de arroz presentan valores que oscilan entre el 9.989% y el 27.312%, estos valores son bajos a diferencia de los reportados en bandejas biodegradables de otras materias primas, debido a que el almidón del cotiledón de mango contiene 13.16% de amilosa en su composición, con una capacidad de absorción de 1.40 a 1.75 g H₂O / g de almidón (Medina *et al.*, 2010). Estos valores de CAA sugieren que la aplicación de bandejas debe limitarse a alimentos con baja humedad, por ejemplo, alimentos fritos, harinas, especias, hierbas o granos con baja humedad.

Los tratamientos que contienen menor CAA son T5(85/5/10), T4(85/10/5) y T6 (90/5/5), sin embargo, estos datos son mayores a comparación de la bandeja de

poliestireno expandido que presenta una CAA entre 1 a 3% (Asociación Nacional Del Poliestireno Expandido [ANAPE], 2020). Es por ello que debido a su bajo valor CAA, sería más adecuado como material de envasado de alimentos con baja humedad. (Cruz-Tirado *et al.*, 2019)

Las bandejas de EPS no es un material higroscópico, es decir no tiene la capacidad para absorber o retener humedad del ambiente, es por ello que la cantidad de agua absorbida es generalmente muy baja, debido a la estructura cerrada de sus celdas. Esta capacidad limitada de absorción de agua ayuda a mantener la integridad estructural del EPS en condiciones húmedas (Baratter *et al.*, 2017).

El almidón nativo tiene una naturaleza altamente hidrofílica, por lo que el comportamiento de esta matriz hidrofílica fue predominante (Machado *et al.*, 2020) y, además, a mayor porcentaje de amilosa en la composición del almidón, generan geles más firmes donde existe mayor fuerza de captación entre los granos de almidón, evitando en consecuencia, el ingreso de agua dentro de los gránulos (Matos & Diaz, 2022; Ortiz, 2020). Este fenómeno es consistente con la propiedad de hinchamiento del almidón, donde la amilopectina es más responsable del hinchamiento de los materiales de almidón, es decir, el almidón con mayor contenido de amilopectina es más sensible al agua (Han *et al.*, 2023).

Esto se evidencia en una comparación realizada a la investigación hecha por Romero (2019) donde se elaboró bandejas biodegradables con almidón de camote (45.65% amilosa), oca (31.87% amilosa) y arracacha (22.77% amilosa), obtuvieron valores de absorción de agua de 55.41%, 78.88% y 99.72% respectivamente luego de sumergirse durante 1 minuto en agua, valores mucho mayores a los obtenidos en esta investigación.

Sumardiono *et al.* (2021) menciona que cuanto mayor sea la composición de fibra, mejora la capacidad de absorción de agua de la bandeja, el CAA fue disminuyendo con la sustitución de fibras debido a que en su composición presenta mayor cantidad de celulosa (fibras insolubles).

Esto se puede apreciar en la investigación realizada por Cruz (2021), donde analizó bandejas biodegradables a base de almidón y fibra de pseudotallo de banano obteniendo una disminución de 45.3% a 29.86% cuando se le adicionó 10% de fibras, sin embargo, se observó un ligero aumento de la CAA para la formulación con 20% de fibras (33.65 %), esto posiblemente se deba a una interferencia de la fibra en la estructura debido a la alta concentración (20%), lo que desestabiliza la matriz y facilita la migración de agua al interior de la bandeja.

El WAC de las bandejas depende de la porosidad y superficie de las bandejas, puesto que el agua reside dentro de los poros y está unida a las fibrillas de celulosa mediante enlaces de hidrógeno (Luna *et al.*, 2021). La bandeja biodegradable T1 (100% almidón) tiene el mayor contenido de CAA con un 27.312%, esto debido a que presentó menor densidad y una estructura más porosa lo que facilitó la entrada de agua a la matriz polimérica.

Sumardiono *et al.* (2021) menciona que cuanto mayor sea la composición de fibra, mejora la capacidad de absorción de agua de la bandeja, el CAA fue disminuyendo con la sustitución de fibras debido a que en su composición presenta mayor cantidad de celulosa (fibras insolubles).

Además, Machado *et al.* (2017) explican que la disminución de la CAA, contemplado en espumas de almidón cuya composición poseen mayor contenido de residuos,

puede ser en consecuencia a su elevada composición en cuanto a lípidos y proteínas en estas formulaciones.

En la investigación realizada por Matos y Díaz (2022) obtuvieron valores de capacidad de absorción de agua de 54.07 a 114.13% en sus tratamientos en bandejas de almidón de semilla de mango, palta, y fibra de semilla de palta, siendo estos valores mayores a los obtenidos en esta investigación. Ponce y Horna (2023) de igual forma obtuvieron valores superiores con 64.16% a 91% en bandejas de almidón de yuca. Al realizarse la comparación entre la capacidad de absorción de agua obtenido, podemos intuir que la CAA de las bandejas con almidón de semilla de mango es muy inferior al de las bandejas de almidón de palta, yuca, camote, oca y arracacha.

La hidrofiliidad de las bandejas biodegradables se puede superar o disminuir modificando químicamente el almidón, eliminando los grupos hidroxilo de la cadena polimérica y reemplazándolos con moléculas más hidrófobas. Estas reacciones químicas que modifican el almidón mediante la introducción de grupos funcionales son relativamente simples y ampliamente utilizadas. Los grupos funcionales hidrofóbicos como acetilo y sililo se pueden introducir con reacciones de acetilación y sililación del almidón (Bergel *et al.*, 2022; Fan & Picchioni, 2020).

En la **Tabla 26** se muestra el ANOVA realizado para la Capacidad de Absorción de Agua (CAA) para los 6 tratamientos elaborados a las bandejas con 3 repeticiones por tratamiento; demostrándose que los porcentajes distribuidos para el almidón de semilla de mango y las 2 fibras (cascarilla de arroz y bagazo de caña de azúcar) influye significativamente entre la media de capacidad de absorción de agua evaluado, resultando un valor $p < 0.05$, con un nivel de confianza del 95%. En la **Figura 41** se observa la dispersión y medias de los valores de CAA (%) por

tratamiento determinándose que la absorción realizada por el T1 fue mucho mayor a los demás tratamientos.

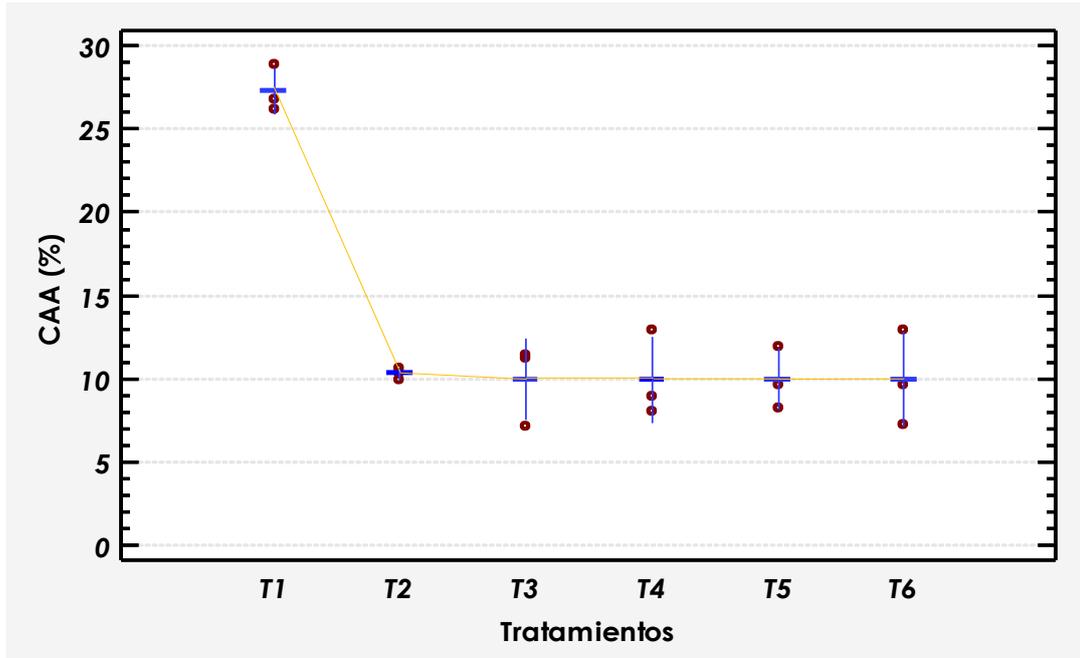
Tabla 26.

Análisis de varianza (ANOVA) para el CAA (%).

<i>Fuente</i>	<i>Suma de Cuadrados</i>	<i>Gl</i>	<i>Cuadrado Medio</i>	<i>Razón-F</i>	<i>Valor-P</i>
Entre grupos	743.466	5	148.693	34.22	0.0000
Intra grupos	52.1483	12	4.34569		
Total	795.615	17			

Figura 41.

Gráfico de dispersión y medias de Capacidad de Absorción de Agua (CAA) por tratamiento.



Para identificar los tratamientos cuyas medias tienen diferencias significativas de otros en cuanto a su CAA, se realizó la prueba de rango múltiple con el test LSD de Fisher presentadas en el **Anexo 19** donde se distinguen 2 grupos homogéneos, donde

el T1 difiere significativamente con los demás tratamientos (**Figura 42**) sobrepasando los 13 puntos del Límite Superior de Diferencial Significativo (3.709).

Figura 42.

Gráfico de diferencias de medias estadísticas de Capacidad de Absorción de Agua (CAA, %) entre Tratamientos: Prueba LSD de Fisher.

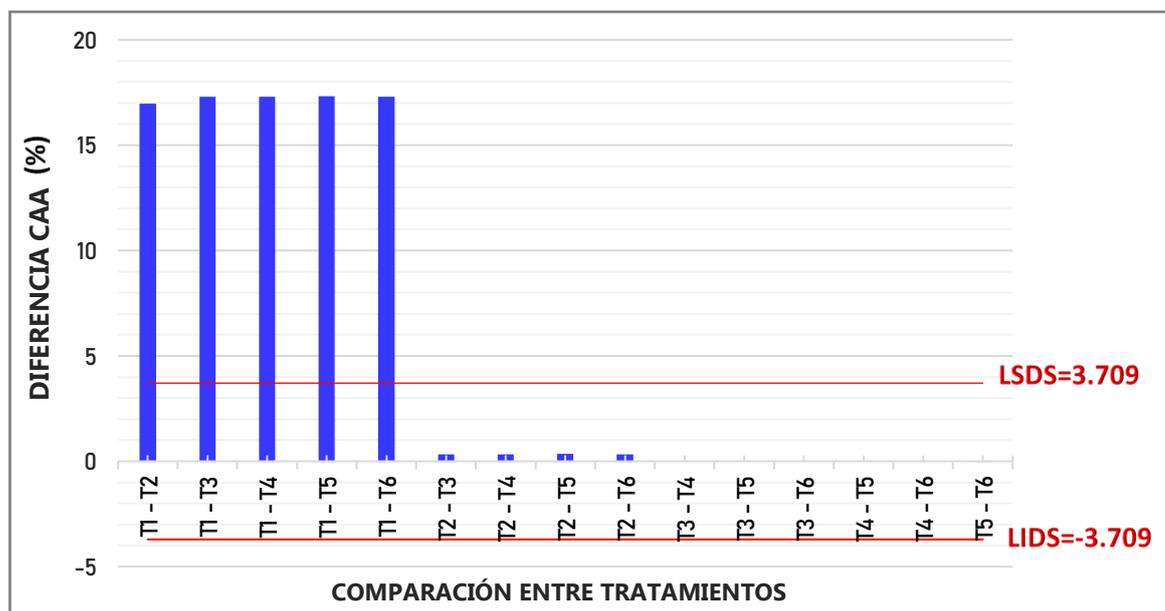


Tabla 27.

Medias de espesor, densidad, humedad y capacidad de absorción de agua en las bandejas biodegradables.

TRATAMIENTOS	ESPESOR (mm)	DENSIDAD (g/cm ³)	HUMEDAD (%)	CAA (%)
T1	2.596 ± 0.261 ^{bc}	0.339 ± 0.015 ^a	5.444 ± 0.209 ^{ab}	27.312 ± 1.408 ^b
T2	2.864 ± 0.109 ^{de}	0.373 ± 0.065 ^a	9.287 ± 0.121 ^e	10.336 ± 0.349 ^a
T3	2.803 ± 0.047 ^{cd}	0.41 ± 0.058 ^a	8.299 ± 0.148 ^{de}	10.015 ± 2.409 ^a
T4	3.099 ± 0.077 ^e	0.376 ± 0.055 ^a	7.695 ± 0.203 ^{cd}	10.004 ± 2.603 ^a
T5	2.053 ± 0.113 ^a	0.364 ± 0.01 ^a	6.551 ± 1.475 ^{bc}	9.989 ± 1.836 ^a
T6	2.401 ± 0.086 ^b	0.415 ± 0.01 ^a	4.791 ± 0.611 ^a	10.006 ± 2.83 ^a

Nota. Esta tabla muestra los promedios de los parámetros físicos de espesor, densidad, humedad y capacidad de absorción de agua. Además, se muestran las diferencias significativas entre las medias de los tratamientos de acuerdo a la Prueba LSD de Fisher ($p < 0.05$) con las letras ^{a-b-c-d-e}.

4.2.6. PROPIEDADES MECÁNICAS

4.2.6.1 Resistencia a la tracción.

Las propiedades consideradas más importantes de las bandejas biodegradables son las mecánicas ya que pueden constituir un factor limitante en su aplicabilidad comercial en comparación con las propiedades del poliestireno expandido (EPS), es decir, para que haya una comparación positiva, los valores de los análisis mecánicos deben ser igual o mayor a los que se obtiene en espuma EPS. Los datos obtenidos de los 6 tratamientos (**Tabla 32**) se encuentran dentro del intervalo de 1.999 y 3.356 MPa, siendo estos valores mucho mayores a los del rango de tensión de las bandejas de EPS (0.83 ± 0.04 MPa). (Cabanillas *et al.*, 2019).

El tratamiento con mayor resistencia a la tracción fue el tratamiento T5 (85A/10c/5b) con 3.356 ± 0.203 MPa superando al T1 (100% almidón). La resistencia a la tracción incremento al adicionar ambas fibras (bagazo de caña de azúcar y cascarilla de arroz) en los tratamientos (T4 y T5), en tal sentido podemos afirmar que las fibras en bajas concentraciones (5% y 10%, o viceversa) se incorporan bien a la matriz de almidón de semilla de mango, mejorando así la resistencia. Sin embargo, en el Tratamiento 6 (10A/5C/5B) ocurrió una pérdida de resistencia a la tracción, a pesar de que la adición baja de cada fibra proporcionó la densidad más alta. Al parecer, otras características de la cascarilla de arroz, como la humedad y el contenido de lípidos, determinaron la resistencia baja de la bandeja, esto junto a la alta temperatura de la termoprensa, incrementan el tamaño de las capsulas de aire y al ser muy grandes, en consecuencia, disminuyen la resistencia de la bioespuma, lo cual también se vio reflejado en los valores del T2. Esto es confirmado mediante estudios previos, en la cual, las características mecánicas, principalmente dependen del porcentaje, clase y medida

de la fibra mezclada junto al almidón, como también del proceso, equipos y parámetros que se utiliza para elaborar las bandejas. (Ferreira *et al.*, 2020; Beltrán, 2017; Cruz-Tirado *et al.*, 2017).

Las elevadas temperaturas y las fuerzas de cizallamiento durante el termoprensado influyen negativamente en las propiedades de las proteínas, debilitando los enlaces de hidrogeno junto al reordenamiento de la matriz polimérica, lo cual, según Cruz-Tirado *et al.* (2019), dicho reordenamiento de los enlaces proteicos pueden ser la causa principal de tener bandejas con baja densidad y cierta fragilidad.

Han *et al.* (2023) menciona que las propiedades mecánicas también se ven afectadas por las proporciones de amilosa y amilopectina, con menores resistencias a la tracción en las espumas ricas en amilopectina. Las moléculas de amilosa pueden formar enlaces de hidrógeno más fuertes y efectivos entre sí y con otras moléculas en la matriz del material. Esta fuerte cohesión molecular resulta en un material más resistente y menos propenso a deformarse bajo tensión, es por ello la necesidad de adicionar fibras de residuos agroindustriales en la formulación y así obtener bandejas más resistentes.

Los valores obtenidos en esta investigación son mayores a los presentados por Matos y Díaz, (2022) en las bandejas a base de almidón de semilla de palta y semilla de mango (0.07 ± 0.02 a 0.22 ± 0.01 MPa), como también de las bandejas biodegradables con almidón de papa y fibra de tocones de esparrago con un valor de resistencia a tracción de 0.133 MPa (Díaz *et al.*, 2023). Ponce y Horna (2023) obtuvieron un rango de 0.03 a 0.01 MPa en bandejas de almidón de yuca y fibras de alcachofa. Aguilar y Tapia-Blácido, (2023) obtuvieron valores entre 1.3 a 3.3 MPa en bandejas biodegradables de almidón de yuca y fibras de palta, siendo estas similares a las obtenidas en esta investigación. Barrios y Huertas (2023) también

obtuvieron valores similares a los de esta investigación oscilando entre 2.84 a 3.43 MPa en bandejas a base de almidón de umarí y tusa de maíz amarillo duro, siendo estas elaboradas con el mismo proceso y mismos equipos de esta investigación.

Ferreira *et al.*, (2020), en su investigación determina que la adición de diferentes residuos agroindustriales afecta la resistencia a la tracción de la bandeja obteniendo valores entre 0.20 ± 0.01 a 0.57 ± 0.02 MPa en bandejas a base de almidón de yuca y bagazo de caña reforzada por residuos agroindustriales, obteniendo el mayor valor de MPa al adicionarle residuo de cascara de maíz, siendo un comportamiento similar a lo obtenido en esta investigación, puesto que el mayor valor fue al adicionar cascarilla de arroz al bagazo de caña de azúcar en la formulación.

De manera similar a lo encontrado por Díaz *et al.* (2023), los resultados sugieren que la mejor integración en la matriz de almidón se logra en formulaciones con una mayor proporción de fibra y bajos niveles de glicerina. En esta línea, tanto Cruz-Tirado *et al.* (2019) como Miléo *et al.* (2016) señalan que la inclusión de fibras con una mayor cantidad de celulosa en las mezclas de almidón permite transferir la fuerza de tracción a las fibras de cascarilla de arroz y caña de azúcar, lo que aumenta la resistencia a la tracción y mejora las propiedades mecánicas.

Un comportamiento peculiar se presenció en la investigación de Machado *et al.*, (2017), donde los resultados en bandejas biodegradables a base de almidón de yuca y fibras de bagazo de caña de azúcar pasaron de 1.16 ± 0.33 MPa (T1, 0% fibra) a 1.34 ± 0.34 MPa (T2, 10% fibra), sin embargo, al añadirle 20% de fibra los valores de resistencia a la tracción disminuyeron constantemente a medida que aumentaba la concentración de fibra pasando a obtener valores de 0.97 MPa (20% fibra), 0.65 MPa (30% fibra) y 0.43 MPa (40% fibra).

Algunas investigaciones han optado por el uso de recubrimientos, como las ceras y resinas, con la finalidad de mejorar las propiedades mecánicas de bandejas, este el caso de Reis *et al.* (2018) quienes usaron cera de abeja como recubrimiento de bandejas biodegradables de termoplástico almidón/poli(ácido láctico), obteniendo resultados de resistencia a la tracción que oscilan entre 7.6 a 11.5 MPa, sin embargo Hendrawati *et al.* (2021) en su investigación llegó a la conclusión que el recubrimiento de cera de abejas en bandejas de almidón de sagú no tiene un efecto significativo sobre el valor de la resistencia a la tracción en porque ocurre en la superficie y la cera de abejas no es un ingrediente en la formulación, lo cual se sugiere seguir la línea de investigación para encontrar los insumos eficaces para mejorar esta propiedad mecánica.

En la **Tabla 28** se observa el análisis estadístico ANOVA de la comparación de la Resistencia a la Tracción presentada en los 6 tratamientos de las bandejas biodegradables, donde se demostró que el análisis de varianza realizado a los resultados obtenidos genera una diferencia significativa entre las medias de cada uno de los tratamientos, resultando un valor $p < 0.05$ con un nivel de confianza de 95.0%.

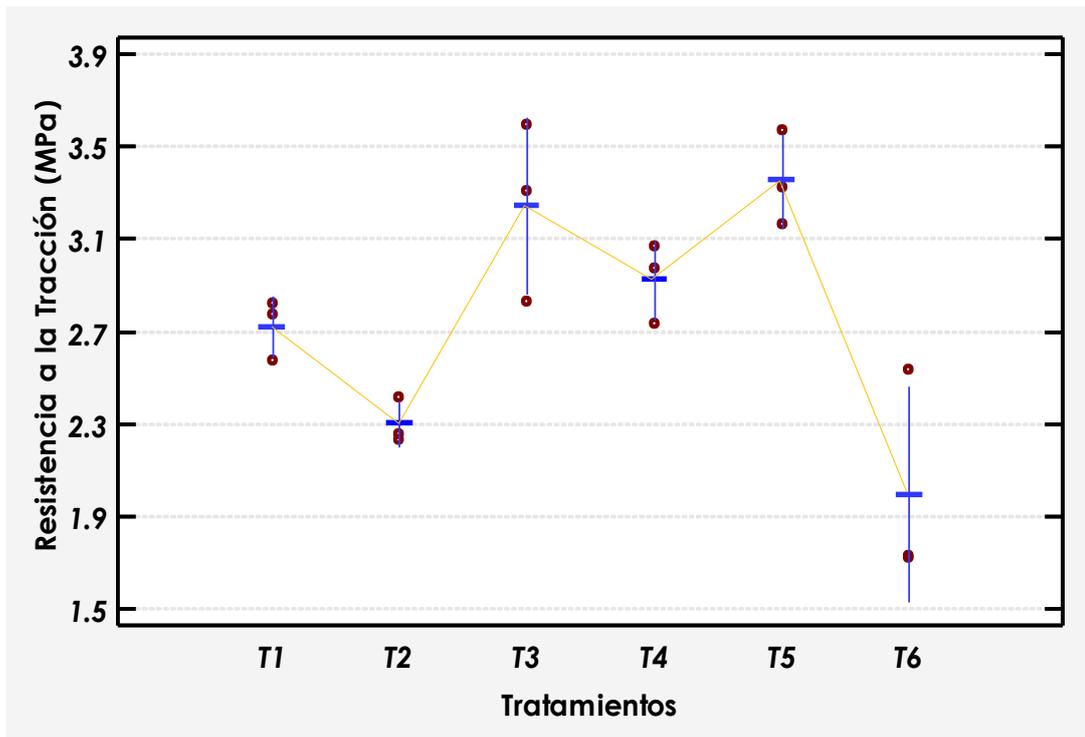
Tabla 28.

Análisis de varianza (ANOVA) para Resistencia a la Tracción (MPa).

<i>Fuente</i>	<i>Suma de Cuadrados</i>	<i>Gl</i>	<i>Cuadrado Medio</i>	<i>Razón-F</i>	<i>Valor-P</i>
Entre grupos	4.2276	5	0.8455	10.92	0.0004
Dentro de grupos	0.9291	12	0.0774		
Total	5.1568	17			

Figura 43.

Gráfico de dispersión y medias de Resistencia a la Tracción por tratamiento.

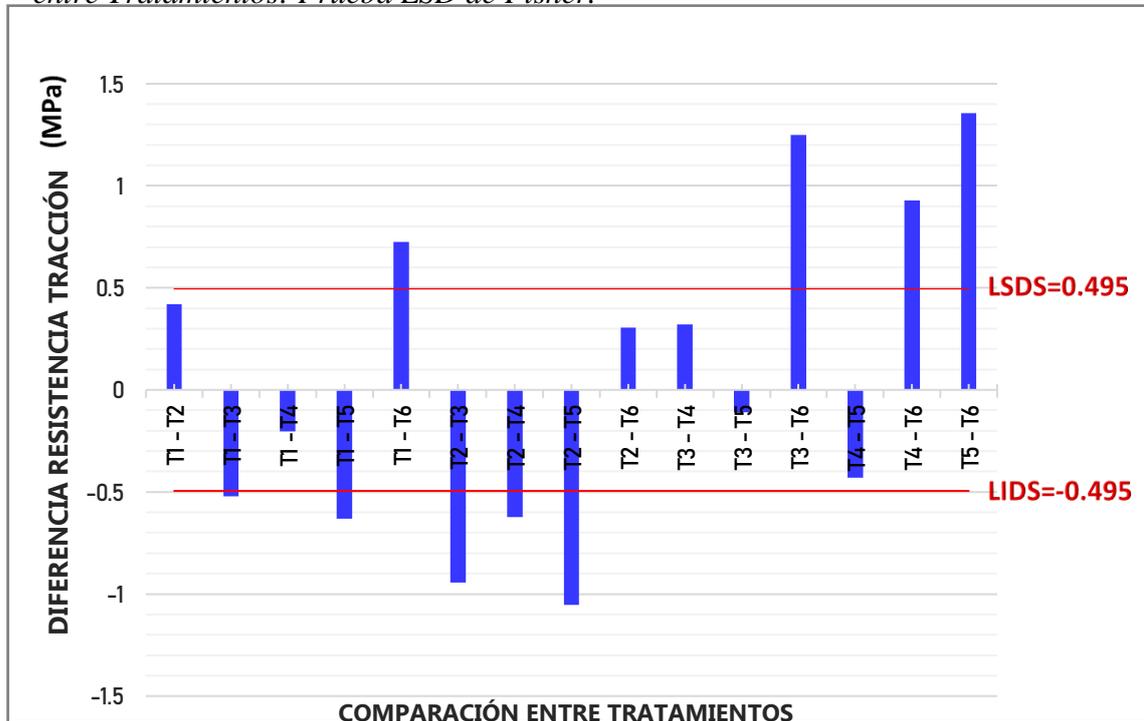


En la **Figura 43** se observa la dispersión y medias de los valores de resistencia a la tracción por tratamiento determinándose un incremento en aquellas que contienen fibras agroindustriales.

Para identificar los tratamientos cuyas medias tienen diferencias significativas de otros en cuanto a su propiedad de resistencia a la tracción, se realizó la prueba de rango múltiple con el test LSD de Fisher presentadas en el **Anexo 20** donde se distinguen 4 grupos homogéneos, a lo cual, en la **Figura 44** se observa que el T6 quien difiere significativamente con más tratamientos (T1, T3, T4, T5), seguido por el T1 que difiere con T3, T5 y T6, y por último el T2 que presenta diferencias significativas con T3, T4 y T5. Siendo la comparación entre medias del T5 y T6 el de mayor diferencia significativa presentada con 1.357, sobrepasando en 0.862 del Límite Superior de Diferencial Significativo (LSDS = 0.495).

Figura 44.

Gráfico de diferencias de medias estadísticas de Resistencia a la Tracción (MPa) entre Tratamientos: Prueba LSD de Fisher.



4.2.6.2 Elongación.

La elongación mide la capacidad de deformación de un material bajo tensiones mecánicas, aplicando fuerzas de tracción hasta el punto de rotura. La elongación de las bandejas se muestra en la **Tabla 32**, encontrándose en un rango de 1.329 a 2.544%. Al igual que en el análisis de resistencia a la tracción, el tratamiento con mayor elongación también fue el tratamiento T5 (85A/10c/5b) con 2.54 %, lo que conlleva a mencionar que cuando los componentes están bien integrados, pueden trabajar juntos para resistir las fuerzas aplicadas y permitir una mayor deformación sin separación ni fractura. Estos valores son menores a los obtenidos en bandejas EPS ($2.82 \pm 0,38\%$). (Cabanillas *et al.*, 2019).

Jaya *et al.* (2022), en su investigación de plastos biodegradables derivado de racimo de fruto de palma aceitera con alginato de sodio, obtuvo valores mayores en un rango de 4.79-6.77%. Sin embargo, los valores en esta investigación son mayores a los presentados por Cabanillas *et al.* (2019) para espuma de almidón de yuca y fibra de cascara de piña (1.16 – 1.38%).

Lindriati *et al.* (2021), menciona en su investigación que la adición de un mayor porcentaje de fibra en la mezcla aumenta la matriz formada, ocasionando una disminución en el porcentaje de elongación, los platos biodegradables se vuelven rígidos y reducen la función de glicerol como plastificante. Esto se evidencia con Ponce y Horna (2023), en su investigación de bandejas biodegradables a partir de almidón de yuca y fibras de alcachofa donde al adicionar 5%, 7.5%, 10%, 12.5% y 15% de fibra, obtuvo valores de 1.90%, 1.32%, 0.77%, 0.75% y 0.48% respectivamente en elongación.

Cruz-Tirado *et al.* (2019) en su investigación de bandejas a base de almidón de camote adicionadas con fibras de bagazo de caña de azúcar (SB) y cáscara de espárrago (AP) obtuvieron valores inferiores al 1% en elongación, a su vez se observó una reducción de hasta un 63% en elongación al incrementarse de 5% a 40% de fibras. Por otra parte, según Cruz-Tirado *et al.* (2018) los valores obtenidos en esta investigación son inferiores a los de EPS (2.74%)

Estos hallazgos destacan la favorable interacción intermolecular entre el almidón y la fibra a concentraciones bajas. Además, la elongación del material también está influenciada por el tamaño de las partículas de fibra, lo cual determina su interacción con la matriz del biopolímero. A su vez, el contenido más alto de amilosa incrementa la viscosidad en la masa de almidón; esta propiedad facilita la producción de

bioespumas con buena resistencia mecánica, aunque no necesariamente con buena flexibilidad (Ponce & Horna, 2023; Mattos & Días, 2022).

Un aumento en la cantidad de amilosa puede formar estructuras más rígidas, pero a su vez menos flexible, reduciendo la capacidad del material a estirarse haciéndolo más frágil y menos elástico. Dicha afirmación fue corroborada por Mato y Diaz (2022) en su investigación donde utilizaron 2 tipos de almidones (semilla de palta y semilla de mango) para la elaboración de bandejas biodegradables, donde al utilizar una concentración de 30% almidón de palta y 60% almidón de mango, obtuvieron 0.58 ± 0.06 % en y al utilizar una concentración de 60% almidón de semilla de palta y 30% almidón de semilla de mango obtuvieron un valor de 0.84 ± 0.12 %, verificando que el mango al tener mayor concentración de amilosa en su almidón presenta mejores y menores valores de elongación que la palta. Barraza y Siche (2021), Floríndez y Floríndez (2009) y Zomegni *et al.* (2022) extrajeron amilosa del almidón de semilla de palta (variedad Hass) y del almidón de semilla de mango de variedad Chico Rico y Smith obteniendo valores de 14.01%, 39.67 % y 15.59 % respectivamente.

En la **Tabla 29** se muestra el ANOVA para la elongación de los 6 Tratamientos realizados juntos con 3 repeticiones cada uno; nos muestra que los distintos porcentajes de almidón de semilla de mango y fibras de cascarilla de arroz y bagazo de caña de azúcar influyen significativamente en la elongación, con un valor $p < 0.05$, y con un nivel de confianza del 95.0%. En la **Figura 45** se observa la dispersión y medias de los valores de elongación por tratamiento, donde se observa la superioridad del tratamiento 5 sobre los demás.

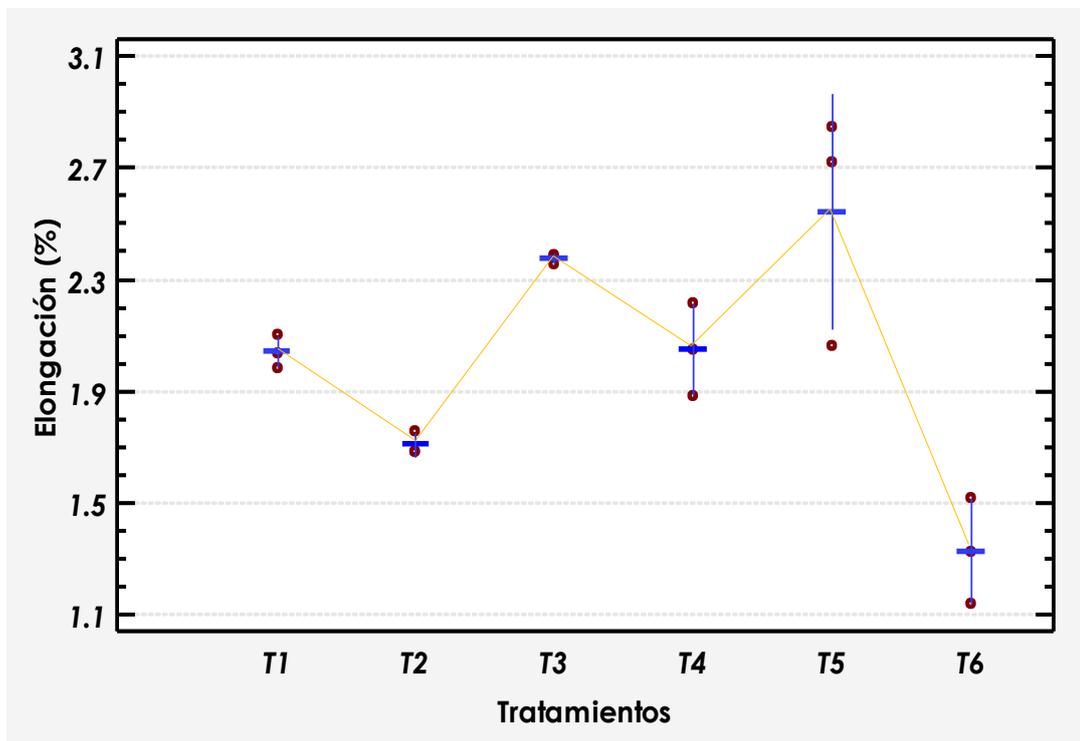
Tabla 29.

Análisis de varianza (ANOVA) para Elongación (%).

<i>Fuente</i>	<i>Suma de Cuadrados</i>	<i>Gl</i>	<i>Cuadrado Medio</i>	<i>Razón-F</i>	<i>Valor-P</i>
Entre grupos	2.9280	5	0.5856	14.2596	0.0001
Dentro de grupos	0.4928	12	0.0411		
Total	3.4208	17			

Figura 45.

Gráfico de dispersión y medias de Elongación por tratamiento.



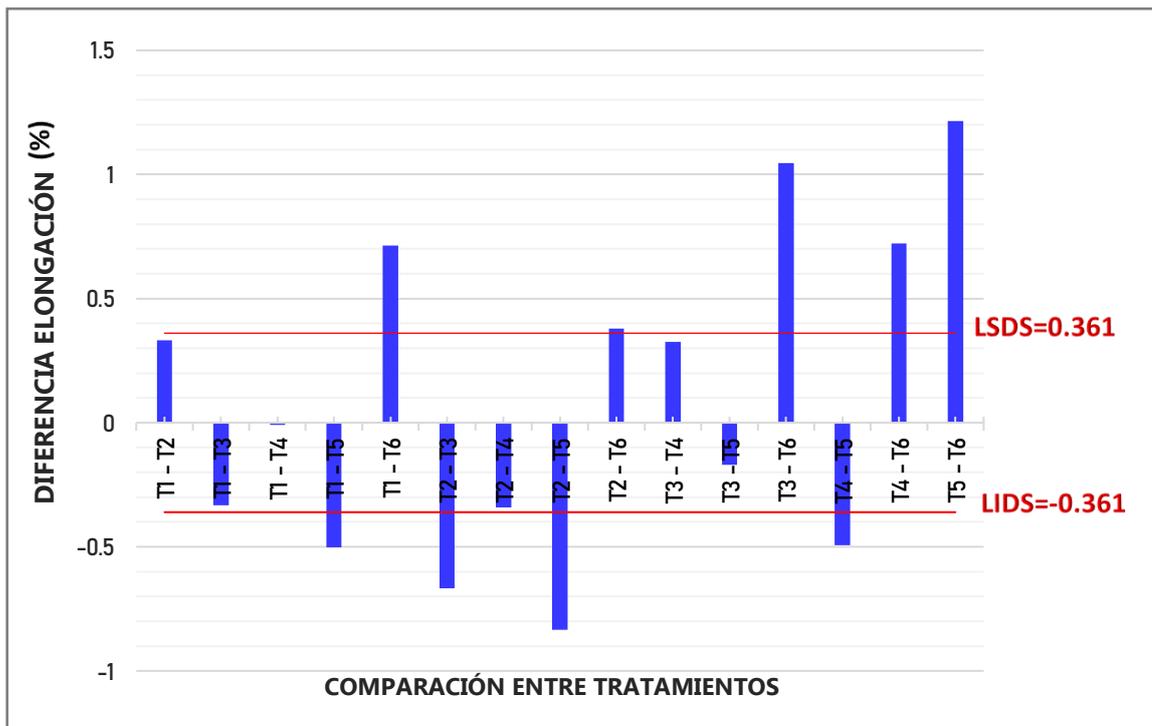
Para identificar los tratamientos cuyas medias tienen diferencias significativas de otros en cuanto a valores de elongación (%), se realizó la prueba de rango múltiple con el test LSD de Fisher presentadas en el **Anexo 21** donde se distinguen 4 grupos homogéneos, a lo cual, en la **Figura 46** se observa que el T6 quien difiere significativamente con los demás tratamientos, mientras que el T5 difiere con el T1,

T2 y T4. Siendo la comparación entre medias del T5 y T6 el de mayor diferencia significativa presentada con 1.215, sobrepasando en 0.854 del Límite Superior de Diferencial Significativo (LSDS = 0.361).

Figura 46.

Gráfico de diferencias de medias estadísticas de Elongación (%) entre

Tratamientos: Prueba LSD de Fisher.



4.2.6.3 Dureza.

La dureza es una propiedad importante a tomar en cuenta al momento de evaluar comparativamente con las bandejas EPS, puesto que formulaciones con mayor dureza implican biopolímeros más resistentes; los cuales poseen una mayor aplicación industrial (Iguardia, 2019). La dureza es un parámetro que se buscó optimizar con el fin de desarrollar un material duradero y mejor que el EPS. En la **Tabla 32** se presentan los valores de dureza (N) donde los datos oscilaron entre 72.079 ± 16.601 y 94.765 ± 10.664 N, demostrando que se necesitó mayor fuerza

necesaria para deformar la bandeja comparándolo con lo requerido por bandejas de EPS (43.47 N) (Salmerón, 2019).

El T1 (100% almidón) presentó mayor dureza y a medida que se adiciona e incrementa el porcentaje de fibras, la dureza va disminuyendo hasta el T3 (72.079 ± 16.601 N), lo que indica que la concentración de cascarilla de arroz y bagazo de caña de azúcar influye de manera inversamente proporcional en este parámetro de textura. (Castro, 2023), esto indica que a mayores concentraciones de fibra puede producir discontinuidad en la matriz polimérica disminuyendo la resistencia mecánica de las bandejas. Este fenómeno podría ocurrir también por la baja cantidad de celulosa presente en la fibra ya que esta es insoluble en agua (Ponce & Horna, 2023).

Según Vera (2017), concentraciones de fibra de bagazo de caña similares o superiores a 10%, originan la reducción de la dureza en bandejas biodegradables, lo cual se comprobó en la adición de 10% de bagazo de caña de azúcar en las T3 (disminución del 12.9%) y en T4, a la cual también se adicionó 5% de cascarilla de arroz, provocando una disminución del 24.02%. Así mismo, la concentración de almidón utilizada también puede influir en la dureza, debido a que el contenido de amilosa, afecta la rigidez de los gránulos del almidón (Díaz, 2017).

Arévalo-Oliva (2023) en su investigación de bandejas biodegradables elaboradas con cáscara y semilla de mango obtuvo valores de dureza de 44.39 a 92.18 N, siendo estas menores a las obtenidas en esta investigación lo cual confirma la participación efectiva de las fibras de cascarilla de arroz y bagazo de caña de azúcar en la matriz polimérica. Nuestros datos también son mayores a los valores obtenidos en bandejas biodegradables a partir de almidón de yuca y fibra de residuos de hierba luisa y orégano, las cuales oscilan entre 28.50 ± 2.26 a 65.08 ± 3.12 N, donde el mayor valor

fue obtenido en T1 (100% almidón), y a medida que aumentaba la concentración de fibras, la dureza disminuía (Aguirre *et al.*, 2023).

Similar sucede con la dureza en bandejas de almidón de camote reforzadas con harina de alcachofa (Castro, 2023), ya que el mayor valor fue el obtenido por el tratamiento control T1 (100% almidón) distinguiéndose significativamente de los demás tratamientos. Sin embargo, esos valores de dureza fueron muy bajos comparados a los de esta investigación, la cual oscilan entre 2.29 a 10.89 N. Por su parte, Barrios y Huertas (2023) tuvieron valores de dureza similares a las nuestras, oscilando entre 67.44 ± 18.05 N y 90.97 ± 11.7 N, siendo mayor el del tratamiento 5 (87.5% almidón umarí y 12.5% de fibras de tusa de maíz) y el T1 (control).

En la **Tabla 30** se muestra el ANOVA para la dureza de las bandejas de los 6 Tratamientos realizados juntos con 3 repeticiones cada uno; comprobando que los porcentajes de almidón de semilla de mango y fibras de cascarilla de arroz y bagazo de caña de azúcar mezclados no influyen significativamente en la media de dureza de los tratamientos, con un valor $p > 0.05$, y con nivel de confianza del 95.0%. En la **Figura 47** se observa la dispersión y medias de los valores de dureza por tratamiento.

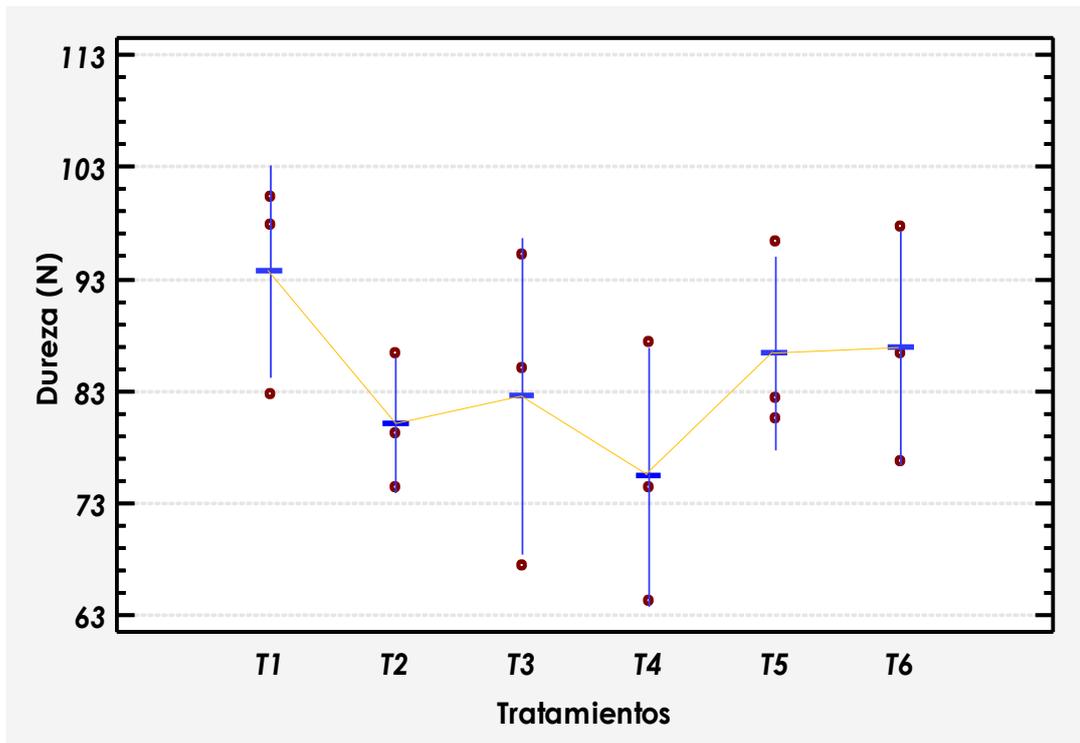
Tabla 30.

Análisis de varianza (ANOVA) para Dureza (N).

<i>Fuente</i>	<i>Suma de Cuadrados</i>	<i>Gl</i>	<i>Cuadrado Medio</i>	<i>Razón-F</i>	<i>Valor-P</i>
Entre grupos	604.079	5	120.816	1.13	0.3966
Dentro de grupos	1284.37	12	107.031		
Total	1888.45	17			

Figura 47.

Gráfico de dispersión y medias de Dureza por tratamiento.

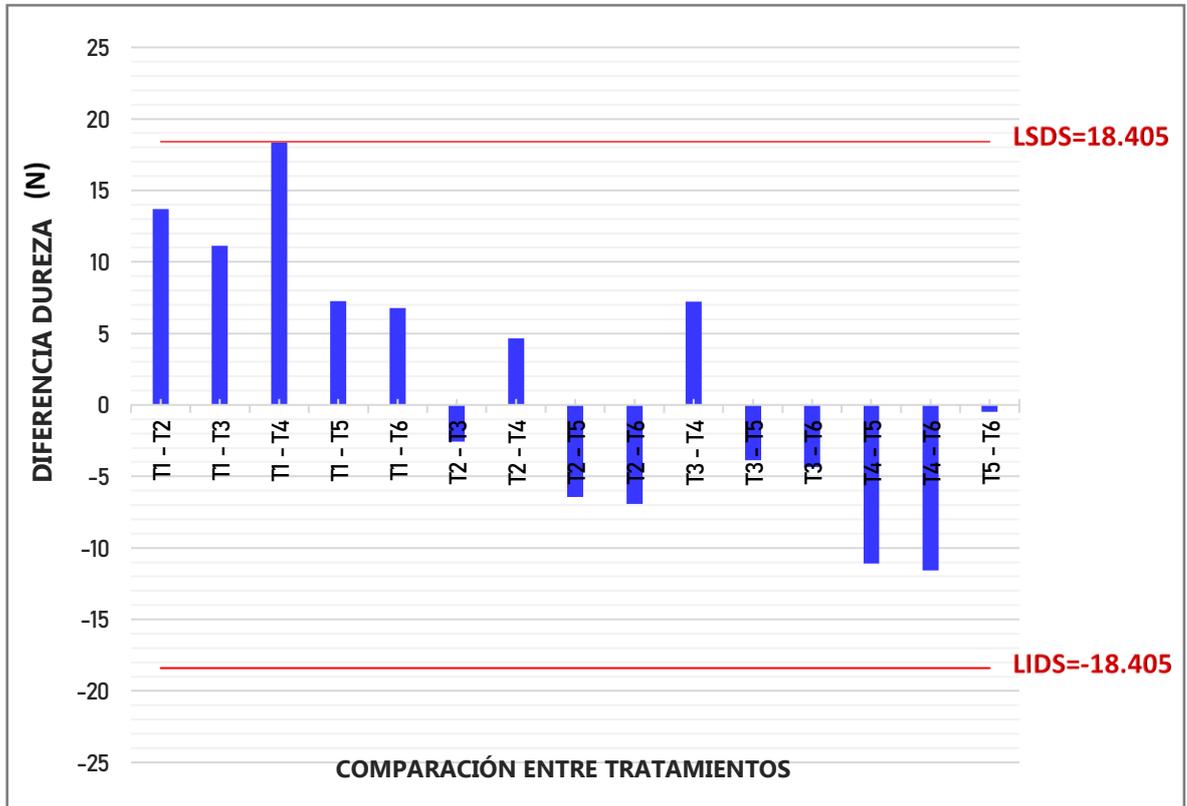


Para comprobar la inexistencia de diferencias significativas entre las medias de los tratamientos, se realizó la prueba de rango múltiple con el test LSD de Fisher presentadas en el **Anexo 22** donde se identifica 1 grupo homogéneo, comprobando que los tratamientos no difieren significativamente entre sí en cuanto a valores de dureza. Esto se puede verificar en la **Figura 48**, donde se puede observar que, en la comparación entre tratamientos, ninguna relación sobrepasó los Límites de Diferencial Significativos.

Figura 48.

Gráfico de diferencias de medias estadísticas de Dureza (N) entre Tratamientos:

Prueba LSD de Fisher.



4.2.6.4 Fracturabilidad.

La fracturabilidad es una medida importante que se utiliza para evaluar la resistencia que posee el material a la rotura o fractura bajo carga o presión. El índice de fracturabilidad de las bandejas biodegradables se muestra en la **Tabla 32** donde los datos se encuentran entre 2.097 a 3.993 mm. Presentando la bandeja control (100/0/0) un valor de 3.737 mm, estos valores son inferiores a los de poliestireno expandido (EPS) con un valor de 5.54 mm. Mientras que Matos y Díaz (2022) en su investigación de bandejas de almidón de semilla de mango y fibra de semilla de palta, mostraron valores entre 2.07 a 4.34 mm.

Los valores conseguidos son similares a los de Cabanillas *et al.* (2019) donde elaboro bandejas biodegradables a base de almidón de yuca reforzado con fibra de cascara de piña, observando valores en un rango de 2.31 a 2.96 mm, además dichos valores se aprecian que disminuyen al incrementar el porcentaje de fibra donde el control fue de 2.96 mm y al incrementar la fibra hasta un 20%, la fracturabilidad disminuyo hasta 2.31 mm. Del mismo modo, Espina *et al.* (2016) señalaron que, al fabricar bandejas con almidón de oca y fibra de bagazo, la resistencia de las bandejas biodegradables disminuía, a medida que aumentaba la cantidad de fibra en la mezcla, presentando una reducción en la fracturabilidad de 2.37 mm a 1.84 mm al incrementar la fibra de 0% a 5%, y de 3.21 mm a 2.7 mm al aumentar de 10% a 20%.

Díaz (2017) en su investigación de bandejas a partir de rastrojo de maíz presento una reducción de fracturabilidad al incrementar la fibra de 17 a 20%, siendo estos valores 32.3 y 25.20 N respectivamente. La adición o aumento de fibra en la mezcla provoca una mayor discontinuidad en el almidón, ocasionando la disminución en la distancia de fracturabilidad, principalmente es debido al agua, puesto que actúa como agente plastificante y al adicionarse un mayor porcentaje de fibra reduce la CAA, generando productos con menor resistencia a la rotura o fractura (Cruz, 2021). Finalmente, Barrios y Huertas (2023) reafirman esto en su investigación de bandejas a base de almidón de umari y tusa de maíz amarillo donde obtuvieron una reducción de distancia de fracturabilidad de 3.19 mm a 1.63 mm al incrementar el porcentaje de fibra desde 10% a 15% respectivamente.

En la **Tabla 31** se presenta el ANOVA realizado para analizar la variabilidad de la propiedad de fracturabilidad en los 6 tratamientos de bandejas realizados juntos con 3 repeticiones cada uno; constatando que los porcentajes de almidón de semilla de mango y fibras de cascarilla de arroz y bagazo de caña de azúcar mezclados no genera

estadísticamente una diferencia significativa entre la media de fracturabilidad de cada tratamiento, con un valor $p > 0.05$, y con un nivel de confianza del 95%. En la **Figura 49** se puede visualizar la dispersión y las medias de los valores de fracturabilidad obtenidas en cada tratamiento, teniendo un comportamiento similar en todos los tratamientos, verificando la ausencia de diferencias significativas.

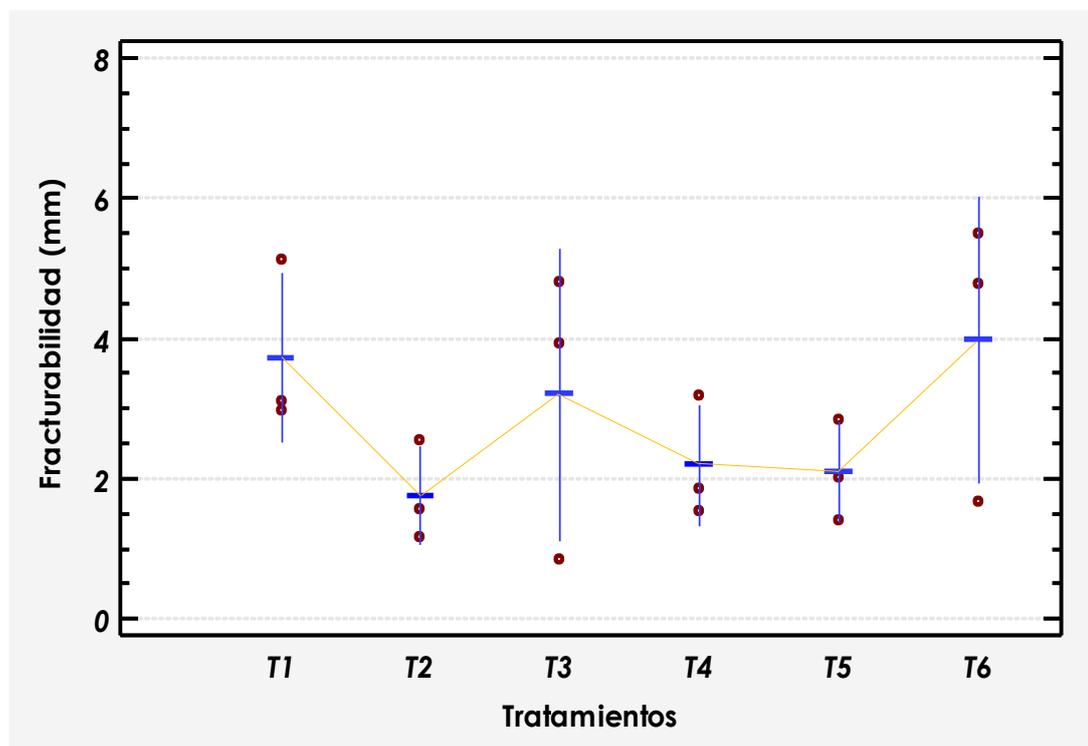
Tabla 31.

Análisis de varianza (ANOVA) para Fracturabilidad (mm).

<i>Fuente</i>	<i>Suma de Cuadrados</i>	<i>Gl</i>	<i>Cuadrado Medio</i>	<i>Razón-F</i>	<i>Valor-P</i>
Entre grupos	13.1338	5	2.6268	1.3438	0.3112
Dentro de grupos	23.4560	12	1.9547		
Total	36.5898	17			

Figura 49.

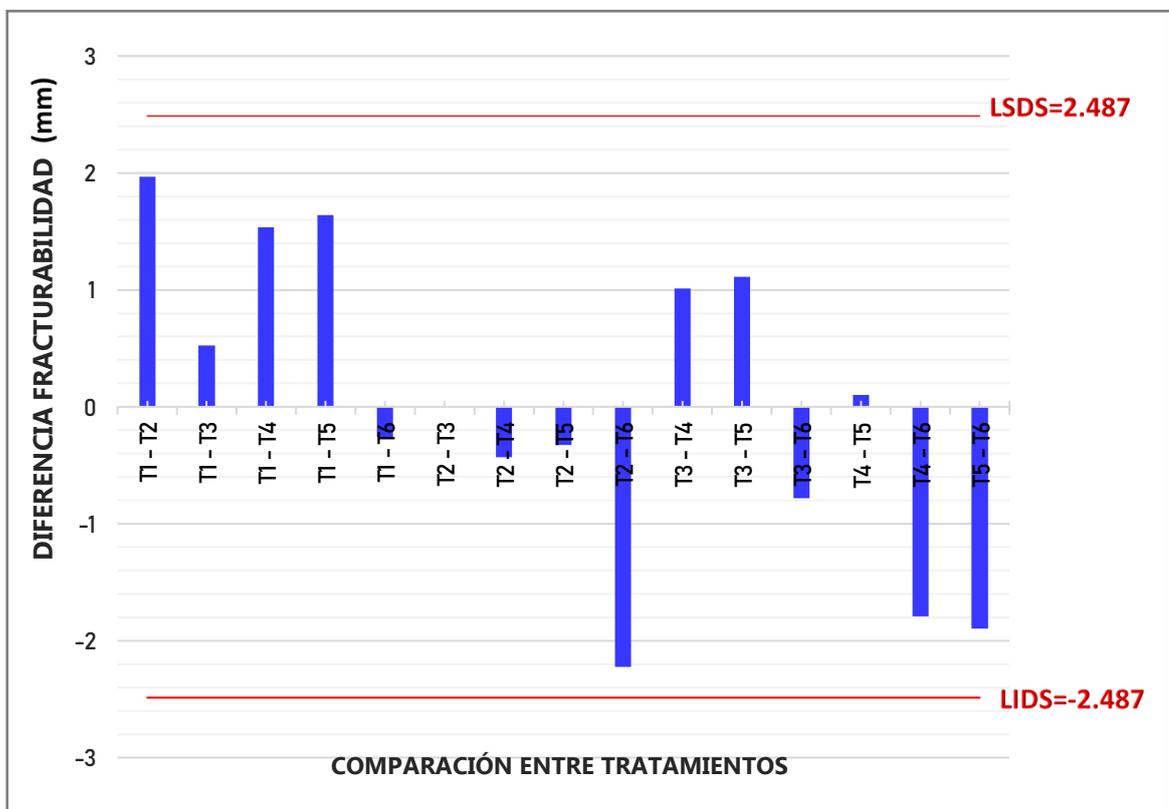
Gráfico de dispersión y medias de Fracturabilidad por tratamiento.



Para identificar las medias que son significativamente diferentes de otras, se realizó la prueba de rango múltiple con el test LSD de Fisher presentadas en el **Anexo 23** donde se solo se observa la existencia de un grupo homogéneo, comprobando que los tratamientos no difieren significativamente entre sí en cuanto a valores de fracturabilidad. Esto se puede verificar en la **Figura 50**, donde se puede observar que, en la comparación entre tratamientos, ninguna relación sobrepasó los Límites de Diferencial Significativos.

Figura 50.

Gráfico de diferencias de medias estadísticas de Fracturabilidad (mm) entre Tratamientos: Prueba LSD de Fisher.



En la **Tabla 32** se muestra un resumen de los valores de la resistencia a tracción (MPa), elongación (%), dureza (N) y fracturabilidad (mm) en bandejas biodegradables de los 6 tratamientos con distintos porcentajes de almidón de semilla

de mango y fibras de cascarilla de arroz y bagazo de caña de azúcar. En el **Anexo 10** y **Anexo 11**, se puede observar las gráficas de fuerza aplicada en las pruebas de tracción y dureza respectivamente.

Tabla 32.

Medias de propiedades mecánicas analizadas en las bandejas biodegradables.

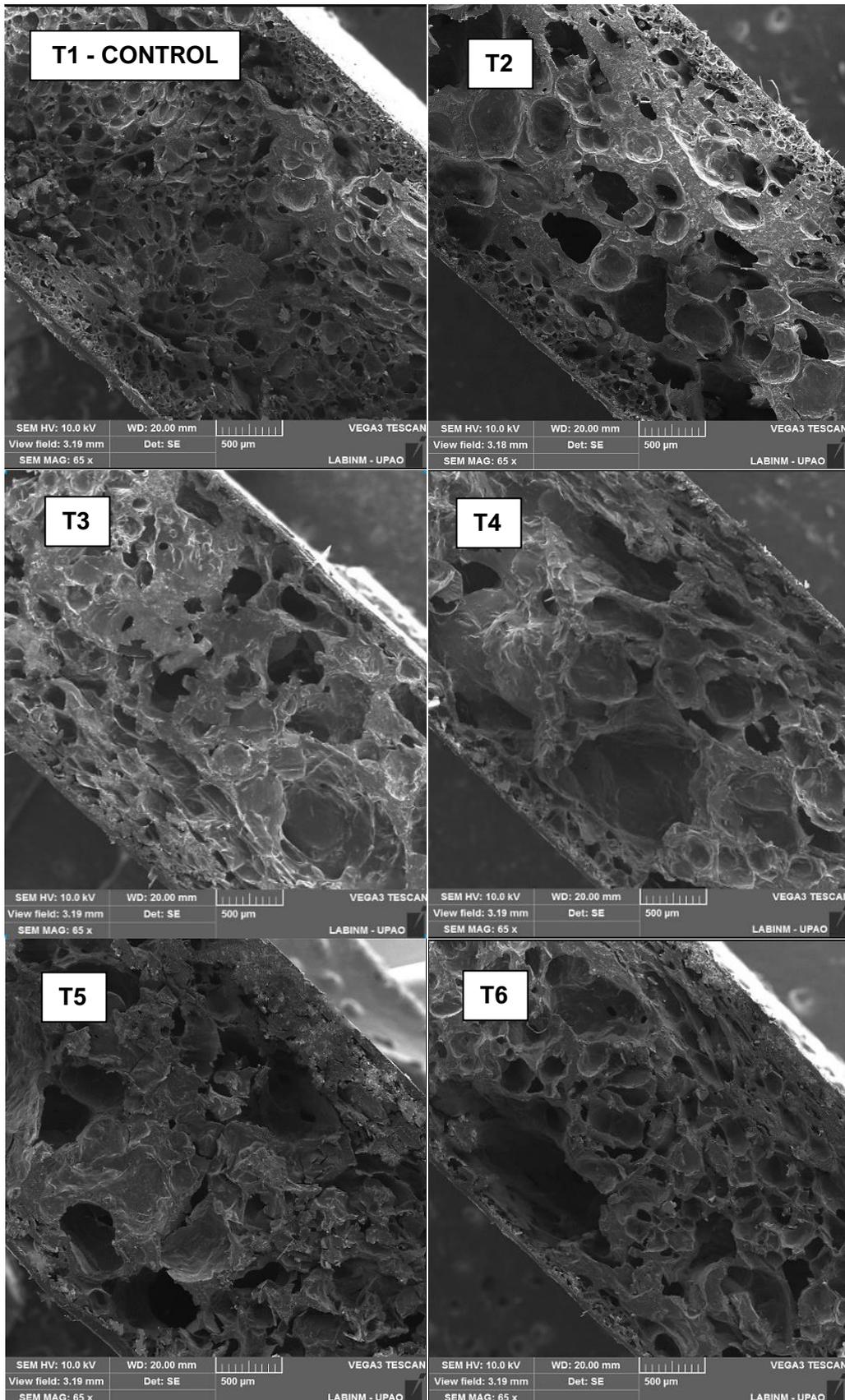
Tratamientos	Resistencia a la tracción (MPa)	Elongación (%)	Dureza (N)	Fracturabilidad (mm)
T1	2.725 ± 0.13 ^{bc}	2.042 ± 0.057 ^{bc}	93.765 ± 9.521 ^a	3.737 ± 1.208 ^a
T2	2.303 ± 0.097 ^{ab}	1.709 ± 0.044 ^b	80.055 ± 6.072 ^a	1.77 ± 0.704 ^a
T3	3.247 ± 0.384 ^d	2.376 ± 0.019 ^{cd}	82.637 ± 14.091 ^a	3.21 ± 2.081 ^a
T4	2.927 ± 0.17 ^{cd}	2.051 ± 0.165 ^{bc}	75.413 ± 11.507 ^a	2.2 ± 0.871 ^a
T5	3.356 ± 0.203 ^d	2.544 ± 0.421 ^d	86.495 ± 8.628 ^a	2.097 ± 0.712 ^a
T6	1.999 ± 0.469 ^a	1.329 ± 0.19 ^a	86.985 ± 10.453 ^a	3.993 ± 2.043 ^a

Nota. Esta tabla muestra los parámetros mecánicos de tracción, elongación, dureza y fracturabilidad realizados a los 6 tratamientos de bandejas biodegradables. Además, se muestran las diferencias significativas entre las medias de los tratamientos de acuerdo a la Prueba LSD de Fisher ($p < 0.05$) con las letras ^{a-b-c-d}.

4.2.7. MICROSCOPIA ELECTRÓNICA DE BARRIDO (SEM).

Figura 51.

Microscopía electrónica de barrido (65x) de bandeja de los 6 tratamientos.



La **Figura 51** muestra las micrografías SEM (Scanning Electron Microscope, siglas en inglés) de la superficie de fractura de las bandejas biodegradables de almidón de semilla de mango y diferentes fuentes de fibra (cascarilla de arroz y bagazo de caña de azúcar). En las imágenes se observa en todas las muestras una estructura de pared celular, con presencia de agujeros y porosidad (cápsulas de aire) formados por la acción del vapor de agua generado durante el proceso de expansión (Beltrán, 2017). Debido al contacto de la masa con el molde caliente, se forman células o bolsas de aire, sobresaturándose con vapor, hasta que se gelifique y la masa se haya completamente secado (Cruz, 2021).

Las micrografías de la sección transversal de todas las muestras de bandejas que las capas superficiales superior e inferior exhibieron una estructura de espuma pequeña, densa y de células cerradas, pero el interior de las espumas compuestas muestra una estructura de células bastante grande y abierta, conocida como estructura tipo sándwich. (Machado *et al.*, 2020; Hassan *et al.*, 2020).

En la superficie, el almidón se gelatiniza rápidamente tan pronto como se coloca el molde en la prensa hidráulica calentada y evita una gran expansión de la masa de almidón en esta región. En el interior de la espuma, probablemente se produjo la evaporación del agua y fugas a través del molde, lo que da lugar a células grandes con paredes celulares delgadas y algunas células rotas, observadas en forma de huecos (Machado *et al.*, 2020; Sanhawong *et al.*, 2017; Kasemsiri *et al.*, 2016; Mello & Mali, 2014, Pornsuksomboon *et al.*, 2016).

Los materiales biodegradables hechos a partir de almidón ricos en amilopectina, como lo es la obtenida a base de semilla de mango, tienen paredes celulares más delgadas, áreas superficiales más grandes de células de espuma, menor densidad de espuma y mayor porosidad, esto debido a que un mayor contenido de amilopectina

permitió una fusión más eficaz de las regiones cristalinas compuestas de moléculas de amilopectina, lo que indujo una menor cristalinidad, una menor viscosidad y, finalmente, células espumosas más expandidas con paredes celulares más delgadas (Han *et al.*, 2023).

Las bandejas del tratamiento blanco con puro almidón presentaron una superficie más homogénea y más suave que la de las bandejas donde fue añadida las fibras, además, se observa la presencia de una mayor cantidad de poros con una distribución relativamente uniforme de células y un tamaño menor de células en comparación con las bandejas de fibras agroindustriales. Las bandejas con fibras mostraron una superficie con presencia de algunos agujeros más grandes y rugosidades, donde el tamaño y la distribución de las células en la región no son uniformes, semejante a lo encontrado por Machado *et al.* (2020) en muestras de espumas biodegradables a base de almidón de yuca y fibra de cascara de maní, donde la adición de piel de maní trajo como resultados materiales con menos agujeros y más células de mayor tamaño.

Esta característica está relacionada con la presencia de aditivos que afectan negativamente la gelatinización del almidón de semilla de mango y la formación de redes en la superficie de las bandejas. La presencia de células más grandes en las bandejas con fibra también puede estar asociada con la compatibilidad y las interacciones entre la fracción hidrófila del bagazo de caña de azúcar con cascarilla de arroz y las moléculas de almidón de semilla de mango (Hassan *et al.*, 2020; Polat *et al.*, 2013).

Las muestras con una mayor concentración de cascarilla de arroz (10%) tuvieron una estructura más compacta, esto apuntó a una buena integridad estructural y promovió buenas propiedades mecánicas, lo cual concuerda a lo obtenido por (Ferreira *et al.*, 2020), a diferencia de las obtenidas con fibra de bagazo de caña de azúcar, esto podría

deberse a una adhesión insuficiente entre el almidón de semilla de mango y el bagazo de caña de azúcar.

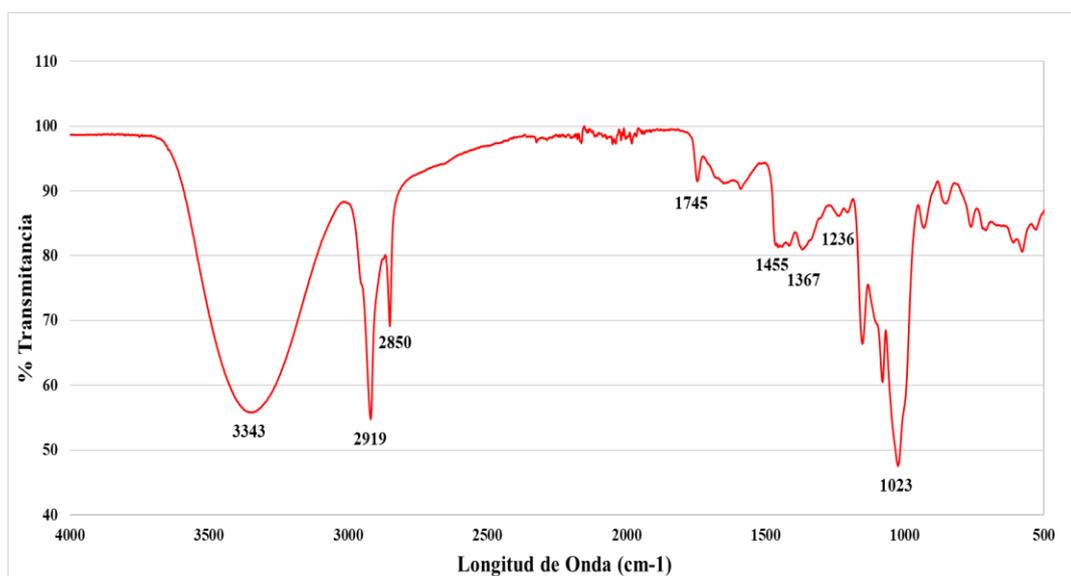
En todas las muestras, las fibras de celulosa son visibles en la estructura de las bandejas como en las obtenidas por Hassan *et al.* (2020), lo cual difieren a lo obtenido por Machado *et al.* (2020) argumentando que las partículas de fibra quedaron atrapadas dentro de la matriz gelatinizada de almidón.

4.2.8. ESPECTROSCOPIA INFRARROJA POR TRANSFORMADA DE FOURIER (FTIR).

Los análisis FTIR de las bandejas se realizaron para poder identificar las posibles interacciones del almidón de semilla de mango, fibras de cascarilla de arroz, bagazo de caña de azúcar junto a los materiales utilizados como la goma guar, glicerol y estearato de magnesio. Las siguientes **Figuras 52-57** nos muestran las principales bandas espectrales de los 6 Tratamientos realizados en esta investigación.

Figura 52.

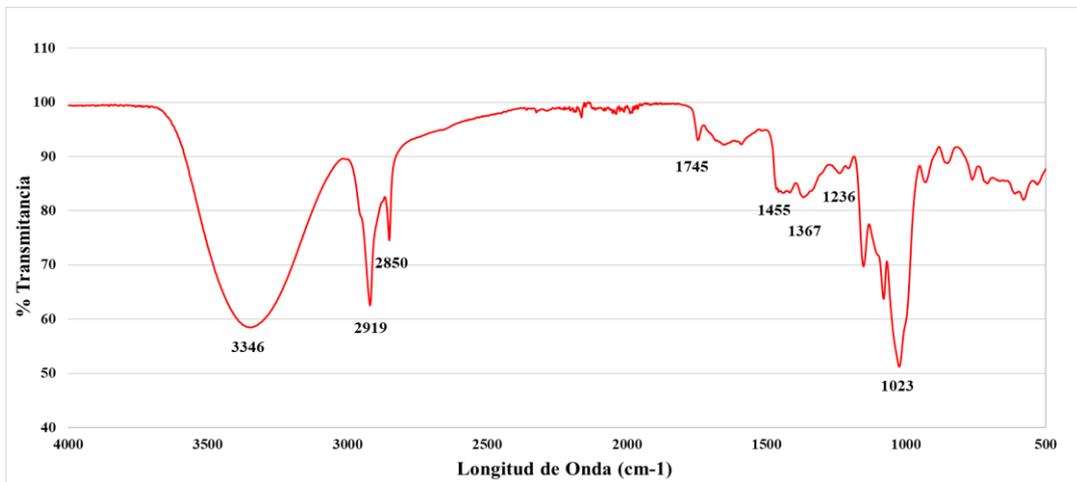
Espectro FTIR de bandeja control (T1).



Nota. El grafico representa el espectro FTIR de la bandeja control (T1) elaborado con 100% de almidón de semilla de mango.

Figura 53.

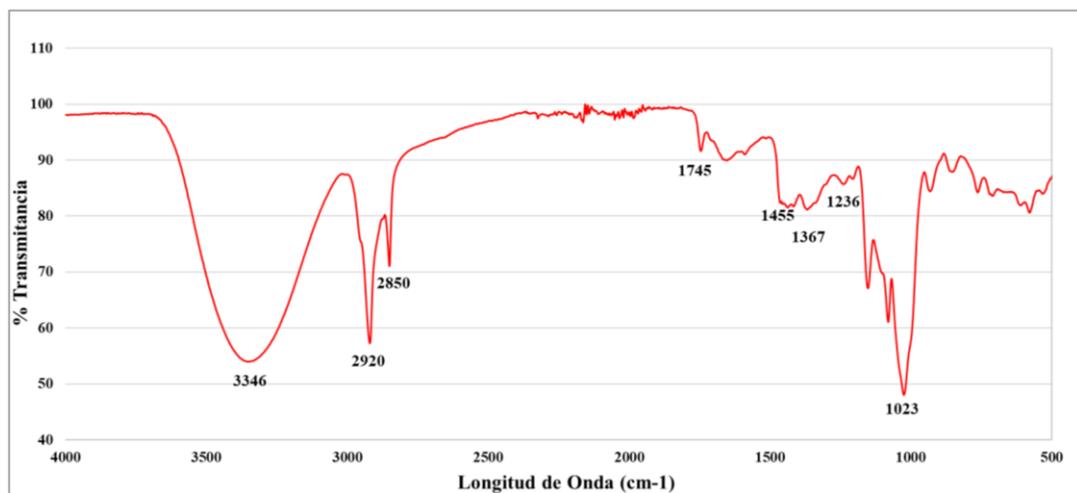
Espectro FTIR del tratamiento T2.



Nota. El grafico representa el espectro FTIR de la bandeja T2 elaborado con 90% de almidón de semilla de mango y 10% de fibra de cascarilla de arroz.

Figura 54.

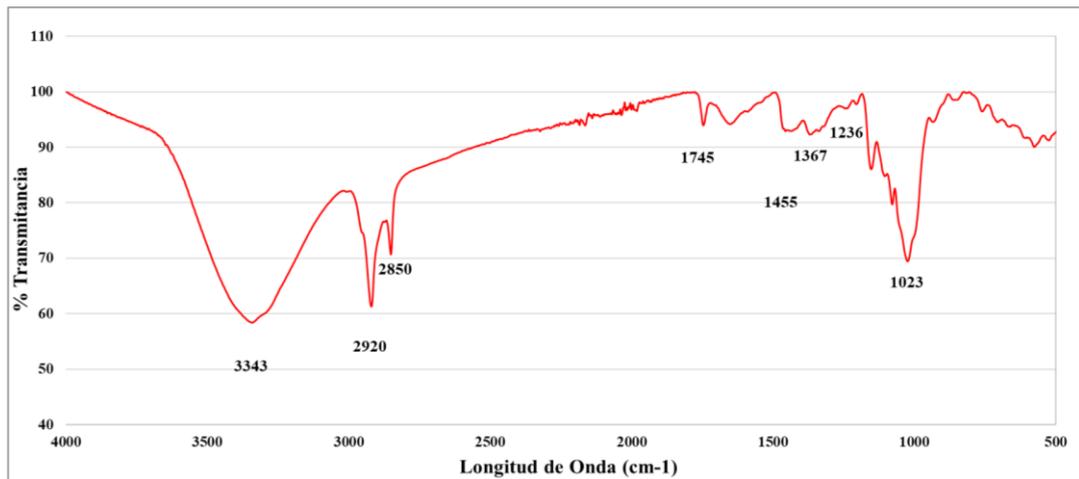
Espectro FTIR del tratamiento T3.



Nota. El grafico representa el espectro FTIR de la bandeja T3 elaborado con 90% de almidón de semilla de mango y 10% de fibra de bagazo de caña de azúcar.

Figura 55.

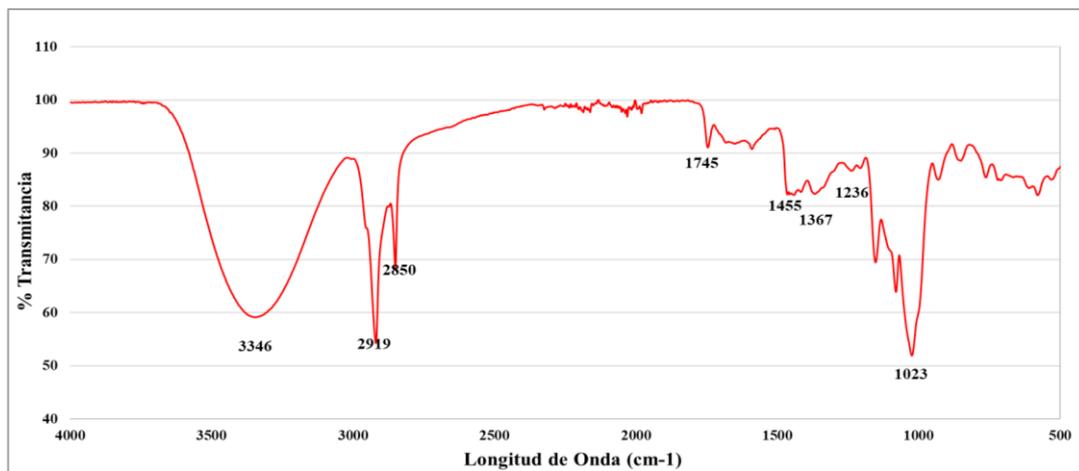
Espectro FTIR del tratamiento T4.



Nota. El grafico representa el espectro FTIR de la bandeja T4 elaborado con 85% de almidón de semilla de mango, 5% de fibra de cascarilla de arroz y 10% de fibra de bagazo de caña de azúcar.

Figura 56.

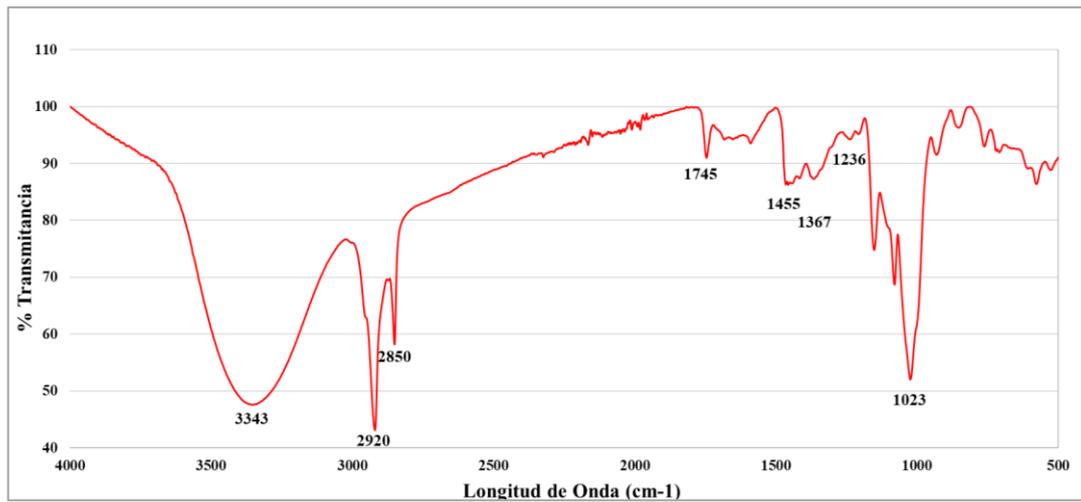
Espectro FTIR del tratamiento T5.



Nota. El grafico representa el espectro FTIR de la bandeja T5 elaborado con 85% de almidón de semilla de mango, 10% de fibra de cascarilla de arroz y 5% de fibra de bagazo de caña de azúcar.

Figura 57.

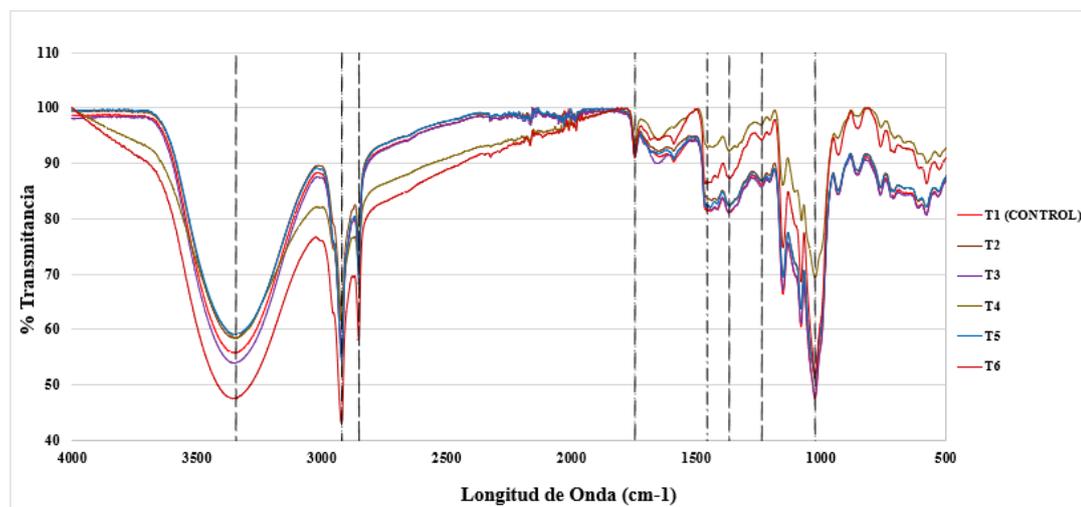
Espectro FTIR del tratamiento T6.



Nota. El grafico representa el espectro FTIR de la bandeja T6 elaborado con 90% de almidón de semilla de mango, 5% de fibra de cascarilla de arroz y 5% de fibra de bagazo de caña de azúcar.

Figura 58.

Espectros FTIR comparativo de los 6 Tratamientos realizados



Nota. El grafico representa los espectros FTIR comparativos de los 6 Tratamientos realizados.

En la **Figura 58** se observa los espectros FTIR de los 6 Tratamientos realizados en esta investigación, donde se encontraron esteres, hidrocarburos alifáticos y alcoholes alifáticos primarios. Se puede contemplar una banda ancha ubicada entre 3200 cm^{-1} y 3600 cm^{-1} , dicha banda se atribuye al estiramiento O-H, característico de los puentes de hidrogeno del agua presente en las materias primas empleadas (Edhirej *et al.*, 2017), las bandas que se encuentran en el rango de $2919\text{ cm}^{-1} - 2920\text{ cm}^{-1}$ y 2850 cm^{-1} se les atribuyen un estiramiento vibracional C-H del grupo alifático (Semlali *et al.*, 2020), este tipo de grupos funcionales se encuentran en muestras que contengan almidón de semilla de mango y/o extracto; sin embargo los picos resultantes no son muy intensos (Nazario *et al.*, 2020). Mientras que la banda que aparece en la zona de $1740\text{ cm}^{-1} - 1750\text{ cm}^{-1}$ corresponde al estiramiento del grupo carbonilo C=O de la celulosa, también se observa que alrededor de 1745 cm^{-1} hay una banda relacionada con la flexión O-H de la molécula del agua, lo cual significa que el agua interactuaba con otros componentes (almidón, fibras, glicerol) (Ferreira *et al.*, 2019). En cuanto a la banda en 1367 cm^{-1} se le atribuye la formación de un grupo aromático (C-C), el cual está asociado con la lignina (Feng *et al.*, 2018).

La banda 1236 cm^{-1} se le puede atribuir un estiramiento asimétrico por deformación de tensión de éteres C-O-C de la glucosa y flexión de alcoholes (Ortiz, 2019). Además, el pico ubicado en la región 1023 cm^{-1} fue similar para todos los Tratamientos, nos muestra una vibración de estiramiento de enlace C-O, el cual indica la presencia cuantiosa de amilosa y amilopectina correspondientes a enlaces glicosídicos del almidón (Tai *et al.*, 2019).

En el tratamiento T5, a diferencia de los otros Tratamientos en donde se encontraron compuestos similares, en este tratamiento se encontraron esteres, hidrocarburos alifáticos, alcoholes alifáticos primarios y fosfato inorgánico. Además, se puede

observar una reducción de intensidad de algunos picos de los espectros ubicados entre $500\text{ cm}^{-1} - 4000\text{ cm}^{-1}$, dichas reducciones fueron más notorios entre las bandas $3200\text{ cm}^{-1} - 3600\text{ cm}^{-1}$ y $1000\text{ cm}^{-1} - 1500\text{ cm}^{-1}$, esto pudo deberse consecuentemente por la misma estructura del almidón, puesto que se considera sensible a cambios moleculares (Warren *et al.*, 2016). Ponce y Horna (2023), mencionan que la disminución de intensidad entre picos o bandas, puede ser ocasionado por la absorbancia de las moléculas de celulosa, el aumento y/o disminución en la cantidad utilizado de almidón en cada Tratamiento o durante el Termoformado debido a la destrucción de enlaces covalentes.

De igual forma Cabanillas *et al.* (2019), demostró que un incremento en el contenido de fibra disminuye la intensidad de las bandas, dicho comportamiento podría señalar una interacción débil entre las cadenas de almidón, causado por el baja contenido de almidón en los compuestos.

Tabla 33.

Bandas características del espectro FTIR obtenida de los Tratamientos.

MUESTRA	BANDAS (cm^{-1})							
T1 (Blanco)	3343	2919	2850	1745	1455	1367	1236	1023
T2	3346	2919	2850	1745	1455	1367	1236	1023
T3	3346	2920	2850	1745	1455	1367	1236	1023
T4	3343	2920	2850	1745	1455	1367	1236	1023
T5	3346	2919	2850	1745	1455	1367	1236	1023
T6	3343	2920	2850	1745	1455	1367	1236	1023

Nota. Esta tabla muestra las bandas características de los espectros FTIR obtenidos de los 6 Tratamientos

4.2.9. ANÁLISIS TERMOGRAVIMÉTRICO.

Mediante el análisis termogravimétrico se evaluó la estabilidad térmica a las bandejas biodegradables del tratamiento óptimo (T5 – 85% almidón de semilla de mango, 5% fibra de bagazo de caña de azúcar y 10% fibra de cascarilla de arroz) y el tratamiento blanco (T1 – 100% almidón), degradándose y perdiendo masa como producto de un incremento de temperatura influenciado por las interacciones entre componentes en la **Figura 59** y **Figura 60**, respectivamente, en la cual se puede observar un comportamiento similar de descomposición para ambas bandejas biodegradables analizadas (T1 y T5).

Figura 59.

Análisis termogravimétrico de la Bandeja Biodegradable del Tratamiento 1.

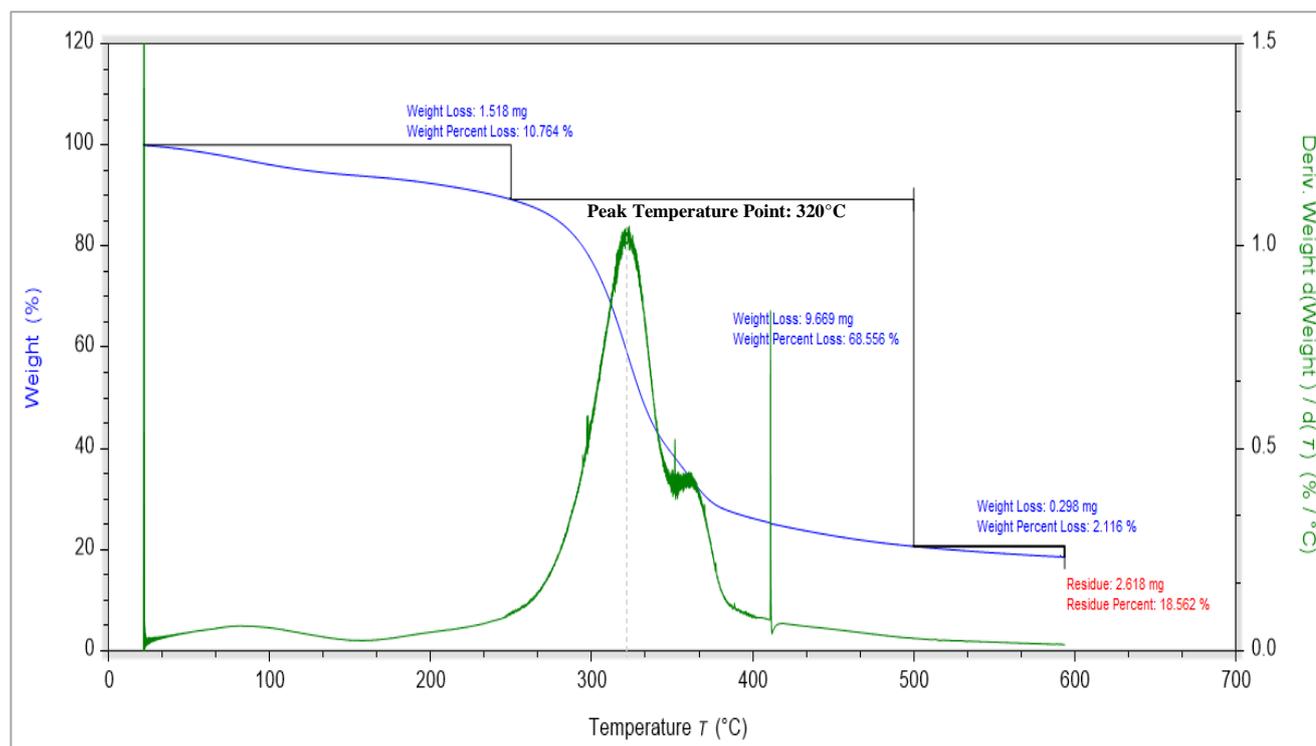
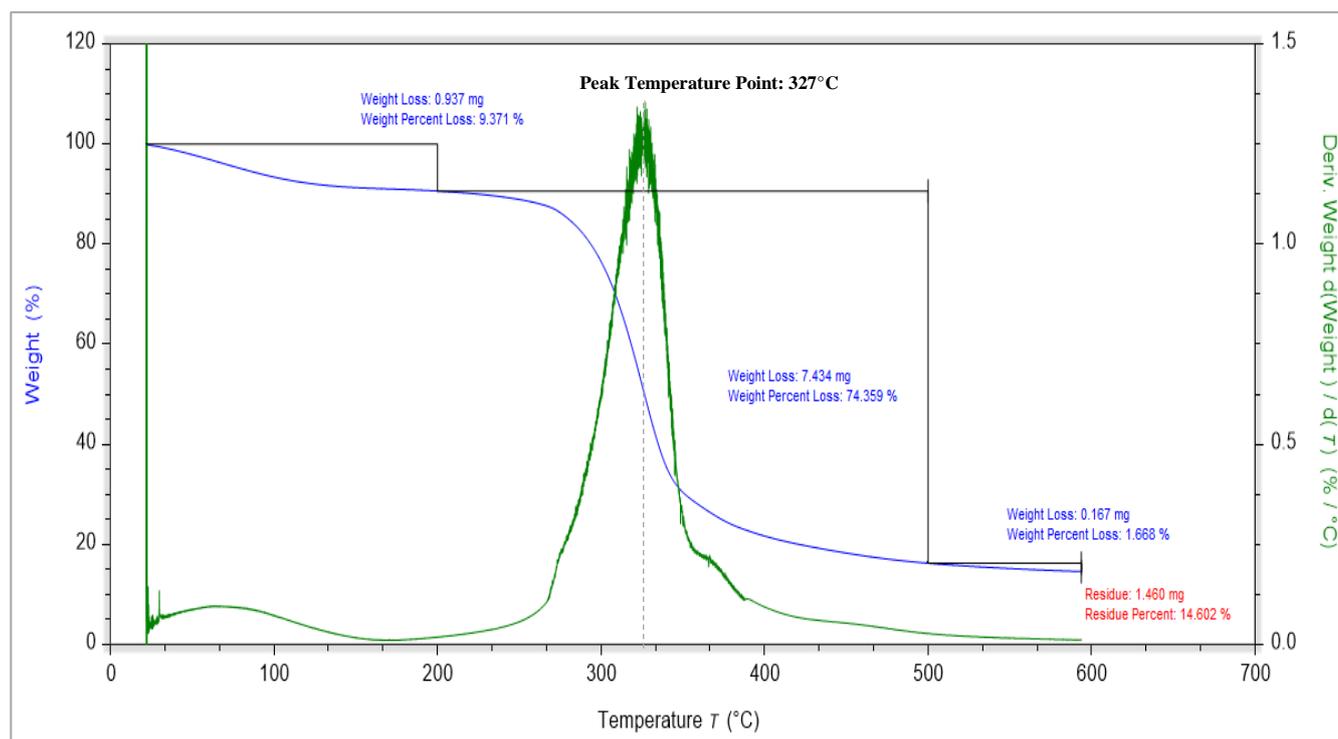


Figura 60.

Análisis termogravimétrico de la Bandeja Biodegradable del Tratamiento 5.



La primera etapa de degradación dada entre la temperatura de 25°C hasta los 200°C se da por la evaporación del agua, al superar su punto de ebullición (100 °C), y por la descomposición estructural de los compuestos de glicerol-almidón, puesto que el glicerol comienza a degradarse a partir de los 160°C. En el caso del tratamiento 5, ocurre una pérdida de peso del 9.371% (0.937 mg), sin embargo, en el tratamiento blanco, la pérdida fue mayor, con un 10.764% (1.518 mg), esto es por tener mayor cantidad de almidón en su estructura.

La segunda fase de degradación, que ocurre entre 200°C y 500°C, fue la responsable de la mayor pérdida de masa en las muestras de bandejas. Esto se debe a la pérdida de glicerol al pasar su punto de ebullición (290°C), a la degradación térmica del almidón, provocando la pérdida de los grupos amilopectina-CH₂OH (Kaewtatip *et al.*, 2014) y la descomposición de los anillos de sacáridos (Sanyang *et al.*, 2016),

adicional a ello, también se presencia la degradación de los lípidos (150 a 220°C), proteínas y hemicelulosa (230 a 320°C), y de celulosa (350 a 450°C) (Aguilar & Tapia-Blácido, 2023). El tratamiento 5 presentó una degradación del 74.359% (7.434 mg) del total de masa con un pico máximo de diferencial de degradación en la temperatura 327°C, sin embargo, el Tratamiento 1 presentó menos pérdida de peso con 68.556% (9.669 mg) con un pico máximo de diferencial de degradación en la temperatura 320°C. Esto puede ser debido a la mayor cantidad de fibra presente en el Tratamiento 5, la cual provocó una mayor pérdida de masa en su estructura, específicamente en la temperatura 327°C.

Durante la tercera etapa de degradación, que tiene lugar entre 500°C y 600°C, se produce la menor pérdida de masa. Esto ocurre debido a la eliminación de compuestos inorgánicos, lo cual está probablemente relacionado con la oxidación del almidón descompuesto, resultando en la formación de residuos inorgánicos. Este comportamiento es comparable al proceso de descomposición observado en otros polímeros. Por encima de esta temperatura, se liberaría dióxido de carbono (CO₂) como resultado del proceso de pirólisis. (Martelli-Tosi *et al.*, 2017). Se observa del 2.116% (0.298 mg) de masa en esta última etapa por parte de la bandeja de tratamiento T1, mientras que en la del tratamiento 5, presenció 1.668% (0.167 mg).

El residuo sobrante serían las cenizas carbonizadas, siendo este valor inferior a 20% (de la masa inicial) (Cruz Tirado *et al.*, 2019), lo cual, para las bandejas biodegradables de Tratamiento T1 y T5, quedó 18.562% (2.618 mg) y 14.602% (1.46 mg), respectivamente.

Según Chiarathanakrit *et al.* (2019), la bandeja de espuma de almidón se degrada con mayor velocidad a diferencia de las que están compuestas con materiales lignocelulósicos, lo cual se ve reflejado con los resultados de esta investigación, ya

que la bandeja con 100% de almidón presentó una mayor degradación en la primera etapa, además, su diferencial máxima de degradación fue en una temperatura (320°C) menor que la que se observó en la bandeja con fibras (327°C). Además, Cruz-Tirado *et al.* (2019) en el análisis termogravimétrico que realizó a sus bandejas de espuma a base de oca, camote y arracacha se observó su descomposición a temperaturas de 230 °C, 256 °C y 324 °C, respectivamente, siendo estas temperaturas menores a los presentados por esta investigación ya que el tratamiento T5 tiene mayor resistencia a temperaturas altas debido a la presencia de fibras de bagazo de caña y cascarilla de arroz.

Así mismo, también presentó mejor estabilidad térmica que las bandejas de almidón de yuca y fibras de alcachofa teniendo, esta última, un pico menor de descomposición (310°C) debido que las fibras de cascarilla de arroz y de bagazo de caña de azúcar se compactan mejor con el almidón de semilla de mango a diferencia de la relación entre la fibra de alcachofa y almidón de yuca. (Ponce & Horna, 2023). Caso similar a lo de Aguilar y Tapia-Blácido (2023) ya que reportaron resultados de termogravimetría en bandejas compuestas de almidón de yuca y residuos de palta con picos de degradación menores (310-303°C) a lo reportado en la presente investigación.

Al exponer los productos de EPS a temperaturas superiores a 100 °C, empiezan a reblandecerse lentamente y se contraen, y a medida que aumenta la temperatura, se funden. En ausencia de una fuente de ignición, los productos de descomposición térmica sólo se encienden cuando alcanzan temperaturas de aproximadamente 400 a 500 °C (ANAPE, 2020).

V. CONCLUSIONES

- La hipótesis planteada en esta investigación fue comprobada, indicando que es posible elaborar bandejas biodegradables a partir de almidón de semilla de mango (85%), fibra de cascarilla de arroz (10%) y fibra de bagazo de caña de azúcar (5%).
- En general, en comparación con los otros tratamientos elaborados, el tratamiento T5 (85% almidón, 10% cascarilla, 5% bagazo), posee propiedades físicas y mecánicas favorables, indicando que la cantidad empleada de almidón de semilla de mango y fibras influyen en las características finales de la bandeja.
- Se demostró que las distintas proporciones utilizadas en almidón de semilla de mango, fibras de cascarilla de arroz y bagazo de caña de azúcar, influyen en algunas propiedades físicas y mecánicas, teniendo una tendencia a disminuir al incrementarse las fibras en la mezcla (espesor, densidad, humedad, CAA, resistencia a la tracción, elongación, dureza y fracturabilidad).
- Aprovechar los residuos de distintas empresas agroindustriales de la región para usarlas como materia prima en la elaboración de bandejas biodegradables usando almidón de semilla de mango, y fibra de bagazo de caña de azúcar y cascarilla de arroz, es una buena alternativa de solución para las empresas agroindustriales, pues dichas empresas producen, procesan y/o exportan diferentes productos, pero en dicho procesamiento no toda la materia prima es transformada.
- Debido a resultados positivos obtenidos en los análisis realizados, las bandejas biodegradables a base de almidón de semilla de mango, y fibras de cascarilla de arroz y bagazo de caña de azúcar tienen un potencial prometedor para su aplicación como recipientes y/o envases de alimentos secos, siendo una alternativa viable y competente para sustituir y reducir el uso de bandejas EPS.

VI. RECOMENDACIONES

- Investigar y emplear concentraciones de fibra de cascarilla de arroz y bagazo de caña de azúcar diferentes a las de esta investigación (mayores de 20%), analizando cómo estas variaciones afectan sus propiedades físicas, mecánicas y térmicas, con el fin de optimizar la composición de materiales compuestos para aplicaciones específicas.
- Investigar y seguir empleando residuos agroindustriales como alternativa de solución al uso de envases plásticos, fomentando la innovación tecnológica, la sostenibilidad ambiental y la viabilidad económica en la producción de bioplásticos.
- Investigar y desarrollar formulaciones con aditivos naturales que mejoren las propiedades físico-químicas, mecánicas y térmicas de los materiales biodegradables. Esto incluye la exploración del uso de colorantes como el caolín o polvo de cáscara de huevo, así como recubrimientos como cera de abeja, para optimizar tanto la apariencia como la funcionalidad de estos materiales.
- Analizar la composición química y los valores nutricionales de las bandejas es fundamental para determinar si pueden ser consumidas por las personas, evaluando así su viabilidad como bandejas comestibles.
- Realizar un estudio de viabilidad de una empresa dedicada a la producción industrial de materiales biodegradables usando residuos agroindustriales (bagazo de caña, cascarilla de arroz, entre otras), evaluando aspectos técnicos, económicos, de mercado y ambientales para asegurar su factibilidad y éxito.

VII. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Agencia Internacional de la Energía [IEA] (2017). Energy technology perspectives 2017. *Catalysing Energy Technology Transformations*. <https://www.iea.org/reports/energy-technology-perspectives-2017>
- Aguilar, G. J., & Tapia-Blácido, D. R. (2023). Evaluating how avocado residue addition affects the properties of cassava starch-based foam trays. *International Journal of Biological Macromolecules*, 240(124348), 124348. <https://doi.org/10.1016/j.ijbiomac.2023.124348>
- Aguirre, E., Domínguez, J., Villanueva, E., Ponce-Ramírez, J. A., de Fátima Arevalo-Oliva, M., Siche, R., González-Cabeza, J., & Rodríguez, G. (2023). Biodegradable trays based on Manihot esculenta Crantz starch and Zea mays husk flour. *Food Packaging and Shelf Life*, 38(101129), 101129. <https://doi.org/10.1016/j.fpsl.2023.101129>
- Aguirre, E., Ponce-Ramírez, J., Arévalo-Oliva, F., Mozo-Malca, W., Domínguez-Castañeda, J., Siche, R., & Rodríguez, G. (2023). Elaboración de bandejas biodegradables con residuos de extracción de aceites esenciales y almidón de yuca (Manihot sculenta). *Perspectivas de la investigación e innovación de la Ingeniería Agroindustrial en América Latina*, 79. <https://www.redunia.org/wp-content/uploads/2024/02/ISBN-PERSPECTIVAS-1.pdf#page=89>
- Ajala, E. O., Ighalo, J. O., Ajala, M. A., Adeniyi, A. G., & Ayanshola, A. M. (2021). Sugarcane bagasse: a biomass sufficiently applied for improving global energy, environment and economic sustainability. *Bioresources and Bioprocessing*, 8(1). <https://doi.org/10.1186/s40643-021-00440-z>
- Al Arni, S. (2018). Extraction and isolation methods for lignin separation from sugarcane bagasse: a review. *Industrial Crops and Products*, 115, 330-339. <https://doi.org/10.1016/j.indcrop.2018.02.012>
- Albujar, M. A. (2019). *Aislamiento y propiedades de almidón de semillas de frutos* [Tesis de Título Profesional, Universidad Nacional de Trujillo]. <https://dspace.unitru.edu.pe/handle/UNITRU/14874>
- Alcazar-Alay, S.C. & Meireles, M.A.A. (2015). Physicochemical Properties, Modifications and Applications of Starches from Different Botanical Sources. *Food Science and Technology*, 35, 215-236. <https://doi.org/10.1590/1678-457X.6749>

- Ali, S. E., El Gedaily, R. A., Mocan, A., Farag, M. A., & El-Seedi, H. R. (2019). Profiling metabolites and biological activities of sugarcane (*Saccharum officinarum* Linn.) juice and its product molasses via a multiplex metabolomics approach. *Molecules*, 24(5), 934. <https://doi.org/10.3390/molecules24050934>
- Ali, S. E., Yuan, Q., Wang, S., & Farag, M. A. (2021). More than sweet: A phytochemical and pharmacological review of sugarcane (*Saccharum officinarum* L.). *Food Bioscience*, 44, 101431. <https://doi.org/10.1016/j.fbio.2021.101431>
- Al-Suhaibani, N., Selim, M., Alderfasi, A., & El-Hendawy, S. (2020). Comparative performance of integrated nutrient management between composted agricultural wastes, chemical fertilizers, and biofertilizers in improving soil quantitative and qualitative properties and crop yields under arid conditions. *Agronomy*, 10(10), 1503. <https://doi.org/10.3390/agronomy10101503>
- Álvarez-Castillo, A., García-Hernández, E., Domínguez-Domínguez, M. M., Granandos-Baeza, J., Aguirre-Cruz, A., & Morales-Cepeda, A. (2012). Aprovechamiento integral de los materiales lignocelulósicos. *Revista Iberoamericana de polímeros*, 13(4), 140-150. https://www.researchgate.net/publication/283334651_APROVECHAMIENTO_INTEGRAL_DE_LOS_MATERIALES_LIGNOCELULOSICOS
- Amaya, L. (2017). *Influencia de la Concentración de Nano fibras de Peladilla de Esparrago en las propiedades Físico - Mecánicas de bandejas Biodegradables* [Tesis de Título Profesional, Universidad Nacional de Trujillo]. <https://1library.co/document/4zp81d0y-influencia-concentracion-nanofibras-peladilla-esparrago-propiedades-mecanicas-biodegradables.html>
- Anchondo-Trejo, C., Loya-Carrasco, J.A., Galicia-García, T., Estrada-Moreno, I., Mendoza-Duarte, M., Castellanos-Gallo, L., Márquez-Meléndez, R., Portillo-Arroyo, B. & Soto-Figueroa, C. (2020) Development of a Third Generation Snack of Rice Starch Enriched with Nopal Flour (*Opuntia ficus indica*). *Molecules*, 26(54), 1-24. <https://dx.doi.org/10.3390/molecules26010054>
- Anticona, C. & Torres, D. (2020). *Efecto de la concentración de almidón de almendra de mango criollo (mangifera indica L.) en la obtención de películas* [Tesis de Título Profesional, Universidad Nacional Pedro Ruiz Gallo]. Repositorio UNPRG. <https://repositorio.unprg.edu.pe/handle/20.500.12893/8715>

- Arévalo-Oliva, M. (2023). *Elaboración de envases biodegradables con cáscara y semilla de mango (Mangifera indica L.)* [Tesis de Maestría, Universidad Nacional del Santa]. <http://168.121.236.53/handle/20.500.14278/4460>
- Arias, R.A. & Meneses, J.D. (2016). *Caracterización físico-química de residuos agroindustriales (cascarilla de arroz y cascarilla de café), como materia prima potencial para la obtención de bioetanol, Laboratorios de Química UNAN-Managua I-II semestre 2016* [Tesis de Título Profesional, Universidad Nacional Autónoma de Nicaragua]. Repositorio UNAN. <https://repositorio.unan.edu.ni/3793/1/53860.pdf>
- Arshad, M., & Ahmed, S. (2016). Cogeneration through bagasse: a renewable strategy to meet the future energy needs. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 54, 732-737. <https://doi.org/10.1590/1678-457X.6749>
- Aruna, Bagotia, N., Sharma, A. K., & Kumar, S. (2020). A review on modified sugarcane bagasse biosorbent for removal of dyes. *Chemosphere*, 129309. <https://doi.org/10.1016/j.chemosphere.2020.129309>
- Asociación Nacional Del Poliestireno Expandido [ANAPE] (2020). *Propiedades del poliestireno*. Retrieved from <http://www.anape.es/index.php?accion=producto>
- Avalos, A. & Torres, I. (2018). *Modelo de negocio para la producción y comercialización de envases biodegradables a base de cascarilla de arroz* [Tesis de Licenciatura, Universidad de Piura]. <https://pirhua.udep.edu.pe/handle/11042/3459>
- Averos, G. (2017). *El arroz*. Obtenido de <http://aportesacademicosagropecuario.blogspot.com/2017/07/arroz.html>
- Awodi, P. S., Ogbonna, J. C., & Nwagu, T. N. (2022). Bioconversion of mango (*Mangifera indica*) seed kernel starch into bioethanol using various fermentation techniques. *Heliyon* 8(6), e09707, ISSN 2405-8440, <https://doi.org/10.1016/j.heliyon.2022.e09707>.
- Badui, S. (2016). *Química de los alimentos*. México, Pearson. <https://fcen.uncuyo.edu.ar/upload/libro-badui200626571.pdf>
- Balaji, A., Karthikeyan, B., & Raj, C. S. (2014). Bagasse fiber—the future biocomposite material: a review. *International Journal of Cemtech Research*, 7(1), 223-233. <https://www.researchgate.net/publication/270453697>
- Banco Central De Reserva Del Perú [BCRP]. (2024a). *Producción agropecuaria (miles de toneladas)*, Agrícola Mango. BCRPData.

<https://estadisticas.bcrp.gob.pe/estadisticas/series/mensuales/resultados/PN01795AM/html>

Banco Central De Reserva Del Perú [BCRP]. (2024b). *Producción agropecuaria (miles de toneladas)*, Agrícola Caña de Azúcar. BCRPData. <https://estadisticas.bcrp.gob.pe/estadisticas/series/mensuales/resultados/PN01790AM/html>

Banco Central De Reserva Del Perú [BCRP]. (2024c). *Producción agropecuaria (miles de toneladas)*, Agrícola Arroz. BCRPData. <https://estadisticas.bcrp.gob.pe/estadisticas/series/mensuales/resultados/PN01778AM/html/2015-1/2022-12/>

Banerjee, J., Patti, A.F., MacFarlane, D., Vijayaraghavan, R., Singh, R. & Arora, A. (2016). Effect of Drying Methods and Extraction Time-Temperature Regime on Mango Kernel Lipids. *International Journal of Food and Nutritional Science*, 3(2), 229-338. <https://doi.org/10.15436/2377-0619.16.048>

Bantacut, T., Romli, M., & Noor, E. (2018, March). Biomass by-product from crystal sugar production: a comparative study between Ngadirejo and Mauritius sugar mill. *In IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*, 141(1), 012009. <https://doi.org/10.1088/1755-1315/141/1/012009>

Baratter, M., Weschenfelder, E. F., Stoffel, F., Zeni, M., & Piemolini-Barreto, L. T. (2017). Analysis and evaluation of cassava starch-based biodegradable trays as an alternative packaging to fresh strawberry (*Fragaria ananassa* CV San Andreas). *Food & Nutrition Journal*, 3(2). <https://doi.org/10.29011/2575-7091.100026>

Barraza Jáuregui, G., & Siche, R. (2021). Almidón de semilla de palta: Optimización del índice de blancura durante el proceso de extracción. *Agroindustrial Science*, 11(1), 81-85. <https://doi.org/10.17268/agroind.sci.2021.01.10>

Barrios, P., Huertas, A. (2023). *Bandejas biodegradables a partir de almidón de umarí (Poraqueiba Seríceo T.) y tusa de maíz amarillo duro (Zea Mays)* [Tesis de Título Profesional, Universidad Nacional del Santa]. Repositorio UNS. <https://repositorio.uns.edu.pe/handle/20.500.14278/4437>

Beltrán, P. (2017). *Propiedades Mecánicas, Térmicas y Físicas de bandejas hechas de almidón de Oca (Oxalis tuberosa) incorporando fibra de residuos agroindustriales* [Tesis de

Título Profesional, Universidad Nacional de Trujillo].
<https://renati.sunedu.gob.pe/handle/sunedu/2698205>

BeMiller, J. N. (2019). *Corn Starch Modification*. *Corn*, 537–549. <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-811971-6.00019-X>

Benítez, C.A. (2019). *Utilización de una ración suplementaria a base de bagazo de caña enriquecido en la alimentación de vacas Holstein en producción en la quinta experimental “punzara” de la UNL* [Tesis de Título Profesional, Universidad Nacional de Loja]. <https://dspace.unl.edu.ec/jspui/handle/123456789/21615>

Bergel, B. F., Araujo, L. L., & Santana, R. M. C. (2022). Evaluation of toxicity and biodegradation of thermoplastic starch foams with modified starch. *Food Packaging and Shelf Life*, 31, 100798. <https://doi.org/10.1016/j.fpsl.2021.100798>

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. doi: <https://doi.org/10.1177/0967391119848187>

Cáceres-Moreno, M. A., Sánchez-Soto, M., MasPOCH-Rulduà, M., Sánchez-Hernández, M., & Sánchez-Rojo, A. (2009). Desarrollo de un proceso de reciclaje para la fracción mixta de residuos de plástico, provenientes de plantas de separación selectiva. In *UPC Sostenible 2015. Centre per a la Sostenibilitat, 2015, 22-24*. http://upcommons.upc.edu/revistes/bitstream/2099/8207/1/09_M._Angelica_Caceres.pdf

Cândida, S., Carvalho, A. & Vaz, C. (2015). Chapter 17 - Industrial Waste Recovery, Sugarcane (pp. 365-381). Academic Press ed. ISBN 9780128022399, <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-802239-9.00017-7> .

Castiglioni, A., Castellani, G., Cuder, S.C. (2017). Relevant materials parameters in cushioning for EPS foams. *Colloid Surface A: Physicochemical and Engineering Aspects*, 534,71–77. <https://doi.org/10.1016/j.colsurfa.2017.03.049>

Castillo, L.E. (2020). *Proyecto de prefactibilidad para la creación de una planta productora de envases biodegradables a base de bagazo de caña de azúcar* [Tesis de Título Profesional, Universidad Nacional de Trujillo]. <https://dspace.unitru.edu.pe/handle/UNITRU/16776>

- Casusol, E. (2019). *Origen y elaboración agroindustrial de la caña de azúcar*. [Monografía, Universidad Nacional De Educación] <http://repositorio.une.edu.pe/handle/20.500.14039/4318>
- Chaharmahali, M., Hamzeh, Y., Ebrahimi, G., Ashori, A., & Ghasemi, I. (2014). Effects of nanographene on the physico-mechanical properties of bagasse/polypropylene composites. *Polymer Bulletin*, 71(2), 337-349. <https://doi.org/10.1007/s00289-013-1064-3>
- Chaparro Acuña, S. P., Lara Sandoval, A. E., Sandoval Amador, A., Sosa Suarique, S. J., Martínez Zambrano, J. J., & Gil González, J. H. (2015). Caracterización funcional de la almendra de las semillas de mango (*Mangifera indica* L.). *Ciencia en Desarrollo*, 6(1), 67-75. <https://doi.org/10.19053/01217488.3651>
- Cheavegatti-Gianotto, A., de Abreu, H. M. C., Arruda, P., Bespalhok Filho, J. C., Burnquist, W. L., Creste, S., di Ciero, L., Ferro, J. A., de Oliveira Figueira, A. V., de Sousa Filgueiras, T., Grossi-de-Sá, M. de F., Guzzo, E. C., Hoffmann, H. P., de Andrade Landell, M. G., Macedo, N., Matsuoka, S., de Castro Reinach, F., Romano, E., da Silva, W. J., ... César Ulian, E. (2011). Sugarcane (*Saccharum X officinarum*): A reference study for the regulation of genetically modified cultivars in Brazil. *Tropical Plant Biology*, 4(1), 62–89. <https://doi.org/10.1007/s12042-011-9068-3>
- Contreras, R.K., Torres, L., Gonzales, N. & Jiménez, R. (2018). Caracterización funcional de almidones de plátano cuadrado (*Musa balbisiana* Colla). *European Scientific Journal*, 14(30), 82-97. https://www.researchgate.net/publication/328754299_Caracterizacion_funcional_de_almidones_de_platano_cuadrado_Musa_balbisiana_Colla
- Coronel, J.F. (2018). *Manejo integrado de la producción de semilla de arroz*. Docplayer. <https://docplayer.es/66303193-Manejo-integrado-de-la-produccion-de-semilla-de-arroz-aida-ortiz-ucv-fagro-1.html>
- Cruz, R. (2021). *Efecto de la proporción de fibra y almidón obtenidos del pseudotallo de banano (*Musa acuminata*) en las propiedades de bandejas biodegradables* [Tesis de Título Profesional, Universidad Nacional de Trujillo]. <https://dspace.unitru.edu.pe/server/api/core/bitstreams/88d3c03d-767e-4abc-aa49-82818c7cfe36/content>

- Cruz-Tirado, J. (2017). *Influencia de la temperatura y tiempo de termoformado en las propiedades mecánicas de bandejas de almidón y fibras vegetales* [Tesis de Título Profesional, Universidad Nacional de Trujillo]. <https://renati.sunedu.gob.pe/handle/sunedu/2698884>
- 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. doi: <https://doi.org/10.1016/j.proeng.2017.07.026>
- Cruz-Tirado, J. P., Vejarano, R., Tapia-Blácido, D. R., Angelats-Silva, L. M., & Siche, R. (2019). The addition of sugarcane bagasse and asparagus peel enhances the properties of sweet potato starch foams. *Packaging Technology and Science*. doi: <https://doi.org/10.1002/pts.2429>
- Cruz-Tirado, J.P., Vejarano, R., Tapia-Blácido, D.R., Barraza-Jáuregui, G. & Siche, R. (2018). Biodegradable foam tray based on starches isolated from different Peruvian species. *International Journal of Biological Macromolecules*, 125, 800-807. doi: <https://doi.org/10.1016/j.ijbiomac.2018.12.111>
- De Souza, A. P., Grandis, A., Leite, D. C., & Buckeridge, M. S. (2014). Sugarcane as a bioenergy source: history, performance, and perspectives for second-generation bioethanol. *BioEnergy Research*, 7(1), 24-35. <https://doi.org/10.1007/s12155-013-9366-8>
- Decreto Legislativo N° 1278 (24 de abril de 2017). *Ley de Gestión Integral de Residuos sólidos*. Congreso de la República. <https://www.minam.gob.pe/disposiciones/decreto-legislativo-n-1278/>
- Díaz, E., Cabrera, C., Diaz, Y., Chumacero, J. & Gamboa, P. (2023). Bandejas biodegradables de almidón de papa con fibra de tocón de espárrago (*Asparagus officinalis*L.). *Revista Agrotecnológica Amazónica*, 3(1), e429. doi: <https://doi.org/10.51252/raa.v3i1.429>
- Díaz, X. (2017). *Caracterización y optimización de una bandeja biodegradable a partir maíz, papa, soya y glicerol por el método de termo prensado*. Zamorano: Escuela Agrícola Panamericana [Tesis de Título Profesional, Universidad Zamorano-Honduras]. <https://bdigital.zamorano.edu/server/api/core/bitstreams/ace03aaa-72a1-4fae-bcec-68ac432dde20/content>
- Do Carmo Ramos, S. N., Xavier, A. L. P., Teodoro, F. S., Elias, M. M. C., Goncalves, F. J., Gil, L. F. & Gurgel, L. V. A. (2015). Modeling mono-and multi-component adsorption of

cobalt (II), copper (II), and nickel (II) metal ions from aqueous solution onto a new carboxylated sugarcane bagasse. Part I: Batch adsorption study. *Industrial Crops and Products*, 74, 357-371. <https://doi.org/10.1016/j.indcrop.2015.05.022>

Do Carmo Ramos, S. N., Xavier, A. L. P., Teodoro, F. S., Gil, L. F., & Gurgel, L. V. A. (2016). Removal of cobalt (II), copper (II), and nickel (II) ions from aqueous solutions using phthalate-functionalized sugarcane bagasse: mono-and multicomponent adsorption in batch mode. *Industrial Crops and Products*, 79, 116-130. <https://doi.org/10.1016/j.indcrop.2015.10.035>

Edhirej, A., Sapuan, S.M., Jawaid, M. & Zahari, N.I. (2017). Cassava/sugar palm fiber reinforced cassava starch hybrid composites: physical, thermal and structural properties. *Int. J. Biol. Macromol.* 101, 75–83. <https://doi.org/10.1016/j.ijbiomac.2017.03.045>

El Halal, S. L. M., Kringel, D. H., Zavareze, E. da R., & Dias, A. R. G. (2019). Methods for Extracting Cereal Starches from Different Sources: A Review. *Starch - Stärke*, 1900128. <https://doi.org/10.1002/star.201900128>

El-Fattah, A. A., El Demerdash, A. G. M., Alim Sadik, W. A., & Bedir, A. (2015). The effect of sugarcane bagasse fiber on the properties of recycled high-density polyethylene. *Journal of Composite Materials*, 49(26), 3251-3262. <https://doi.org/10.1177/0021998314561484>

El-Gammal, O. (2009). Chemical and Technological Studies on Mango Seed Kernels for Enhancing the Organoleptic and keeping quality of one bakery products. *MBSE*, 15, 489-504. <https://dx.doi.org/10.21608/mbse.2009.141508>

Espina, M., Tirado, J. C., & Jara, R. S. (2016). Mechanical properties of trays based on starch of native plant species and fiber of agroindustrial wastes. *Scientia Agropecuaria* 7(2), 133-143. <http://www.scielo.org.pe/pdf/agro/v7n2/a06v7n2.pdf>

Fan, Y., & Picchioni, F. (2020). Modification of starch: A review on the application of “green” solvents and controlled functionalization. *Carbohydrate Polymers*, 241(116350), 116350. <https://doi.org/10.1016/j.carbpol.2020.116350>

Feng YH, Feng Y, Cheng T, Yang W, Ma P, He H., Yin X. & Yu X. (2018). Characteristics and environmentally friendly extraction of cellulose nanofibrils from sugarcane bagasse. *Ind Crop Prod* 111, 285–291. <https://doi.org/10.1016/j.indcrop.2017.10.041>

Ferraz, C. A., Fontes, R. L. S., Fontes-Sant’Ana, G. C., Calado, V., López, E. O., & Rocha-Leão, M. H. M. (2018). Extraction, modification, and chemical, thermal and morphological

- characterization of starch from the Agro-industrial residue of mango (*Mangifera indica* L.) var. Ubá. *Die Starke*, 71(1–2), 1800023. <https://doi.org/10.1002/star.201800023>
- Ferreira, D. C. M., Molina, G., & Pelissari, F. M. (2020). Biodegradable trays based on cassava starch blended with agroindustrial residues. *Composites Part B: Engineering*, 107682. doi: <https://doi.org/10.1016/j.compositesb.2019.107682>
- Ferreira, S., Araujo, T., Souza, N., Rodrigues, L., Lisboa, H. M., Pasquali, M., Trindade, G., & Rocha, A. P. (2019). Physicochemical, morphological and antioxidant properties of spray-dried mango kernel starch. *Journal of Agriculture and Food Research*, 1(100012), 100012. <https://doi.org/10.1016/j.jafr.2019.100012>
- Floríndez, C., Floríndez, G. (2009). *Caracterización Físico-química del almidón de almendra de mango (mangifera indica l.) variedad chico rico, para la obtención de talco medicinal* [Tesis para Título, Universidad Nacional de Amazonia Peruana]. <https://repositorio.unapiquitos.edu.pe/bitstream/handle/20.500.12737/2931/T%20664.7%20F%2065.pdf?sequence=1&isAllowed=y>
- Fowomola, M. A. (2010). Some nutrients and antinutrients contents of mango (*Mangifera indica*) seed. *African Journal of Food Science*, 4(8), 472-476. <https://doi.org/10.5897/AJFS.9000268>
- Gao, Y., Guo, X., Liu, Y., Fang, Z., Zhang, M., Zhang, R. & Liu, R. H. (2018). A full utilization of rice husk to evaluate phytochemical bioactivities and prepare cellulose nanocrystals. *Scientific reports*, 8(1), 1-8. <https://doi.org/10.1038/s41598-018-27635-3>
- García, N. (2020). *Evaluación del impacto ambiental de la aplicación de un plan de gestión pos consumo de Poliéstireno Expandido (EPS) utilizado en el envase de alimentos en Colombia* [Tesis de Maestría, Universidad EAN]. <https://repository.universidadean.edu.co/handle/10882/9794>
- García, T. I., & Jarquín, A. I. (2015). *Estudio de la extracción de los taninos de la semilla de mango de las variedades criollas, para la elaboración de un complemento alimenticio para aves de engorde y preparación de un tinte de curtiembre a partir de los taninos extraídos*. [Monografía para Título, Universidad Nacional de Ingeniería]. <https://core.ac.uk/download/pdf/250142995.pdf>
- Germanovna, T., Jurevna, S., Pavloich, A., Andreevich, S. & Sergeevna, A. (2016). *Physical Properties and Chemical Composition of the Rice Husk and Dust*, 32(6), 3213-3219. <http://dx.doi.org/10.13005/ojc/320644>

- Geyer, R., Jambeck, J. R., & Law, K. L. (2017). Production, use, and fate of all plastics ever made. *Science advances*, 3(7), e1700782. <https://www.science.org/doi/full/10.1126/sciadv.1700782>
- Ghosh Ray, S., y Ghangrekar, MM (2019). Revisión exhaustiva sobre el tratamiento de aguas residuales de destilería de alta concentración en vías avanzadas de degradación fisicoquímica y biológica. *Revista internacional de ciencia y tecnología medioambiental: IJEST*, 16 (1), 527–546. <https://doi.org/10.1007/s13762-018-1786-8>
- Ghuniyal, J., Guru, S.K., & Rai, R. (2015). Ethanomedical, Chemical, Pharmacological, Toxicological Properties of *Mangifera indica*: A Review. *International Journal of Pharma Research & Review*. <https://api.semanticscholar.org/CorpusID:53555583>
- Guedes, R. E., Luna, A. S., & Torres, A. R. (2018). Operating parameters for bio-oil production in biomass pyrolysis: A review. *Journal of analytical and applied pyrolysis*, 129, 134-149. <https://doi.org/10.1016/J.JAAP.2017.11.019>
- Guerra, S. P. S., Denadai, M. S., Saad, A. L. M., Spadim, E. R., & Da Costa, M. X. R. (2020). Sugarcane: biorefinery, technology, and perspectives. In *Sugarcane Biorefinery, Technology and Perspectives*, 49-65. <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-814236-3.00003-2>
- Guillen-García, C.E., Dávila, M.J., Guillen-García, L.G. & Guillen-Pérez, L.A. (2020). Características espectrales del arroz (*Oryza sativa L.*) bajo condiciones de acamado por paja rugosa (*Ischaemum rugosum Salisb.*). *Revista Geográfica de América Central*, 1(66), 385-406. <https://doi.org/10.15359/rgac.66-1.15>
- Han, J. H., Lee, J., Kim, S. K., Kang, D., Park, H. B., & Shim, J. K. (2023). Impact of the amylose/amylopectin ratio of starch-based foams on foaming behavior, mechanical properties, and thermal insulation performance. *ACS Sustainable Chemistry & Engineering*, 11(7), 2968-2977. <https://doi.org/10.1021/acssuschemeng.2c06505>
- Hassan, L. G., Muhammad, A. B., Aliyu, R. U., Idris, Z. M., Izuagie, T., Umar, K. J., & Sani, N. A. (2013). Extraction and characterisation of starches from four varieties of *Mangifera indica* seeds. *IOSR Journal of Applied Chemistry*, 3(6), 16–23. <https://doi.org/10.9790/5736-0361623>
- Hassan, M. M., Tucker, N., & Le Guen, M. J. (2020). Thermal, mechanical and viscoelastic properties of citric acid-crosslinked starch/cellulose composite foams. *Carbohydrate polymers*, 230, 115675. <https://doi.org/10.1016/j.carbpol.2019.115675>

- Hemansi, & Saini, J. K. (2023). Enhanced cellulosic ethanol production via fed-batch simultaneous saccharification and fermentation of sequential dilute acid-alkali pretreated sugarcane bagasse. *Bioresource Technology*, 372(128671), 128671. <https://doi.org/10.1016/j.biortech.2023.128671> .
- Hemmasi, A. H., Ghasemi, I., Bazayar, B., & Samariha, A. (2013). Studying the effect of size of bagasse and nanoclay particles on mechanical properties and morphology of bagasse flour/recycled polyethylene composites. *BioResources*, 8(3), 3791-3801. <https://doi.org/10.15376/biores.8.3.3791-3801>
- Hendrawati, N., Wibowo, A. A., Chrisnandari, R. D., & Adawiyah, R. (2021). Biodegradable foam tray based on sago starch with beeswax as coating agent. In *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering*, 1073 (1), 012006. <https://doi.org/10.1088/1757-899X/1073/1/012006>
- Hernández, R. I. (2022). *Rendimiento de la variedad de arroz (Oryza sativa L.) de riego INTA San Juan en dos sistemas de manejo, en San Lorenzo, Boaco 2018* [Tesis de Título Profesional, Universidad Nacional Agraria]. <https://cenida.una.edu.ni/Tesis/tnf01h557r.pdf>
- Hiperbaric. (2019). *Envases biodegradables, una alternativa real en la industria alimentaria*. Obtenido de <https://www.hiperbaric.com/es/envases-biodegradables-una-alternativa-real-en-la-industria-alimentaria/>
- Hoover, R., Hughes, T., Chung, H. J., & Liu, Q. (2010). Composition, molecular structure, properties, and modification of pulse starches: A review. *Food Research International (Ottawa, Ont.)*, 43(2), 399–413. <https://doi.org/10.1016/j.foodres.2009.09.001>
- Hoque, M., & Janaswamy, S. (2024). Biodegradable packaging films from banana peel fiber. *Sustainable Chemistry and Pharmacy*, 37(101400), 101400. <https://doi.org/10.1016/j.scp.2023.101400>
- Infanta, I. (2017). *Arroz*. Ministerio de Agricultura, Pesca y Alimentación. <https://www.mapa.gob.es/es/agricultura/temas/producciones-agricolas/cultivos-herbaceos/arroz/>
- Instituto Nacional de Calidad [INACAL] (2017). Cereales y leguminosas. Determinación de cenizas. (Norma Técnica Peruana 205.004:2022).

- Instituto Nacional de Calidad [INACAL] (2017). Cereales y menestras. Determinación de materia grasa. (Norma Técnica Peruana 205.006:2017).
- Instituto Nacional de Calidad [INACAL] (2018). Cereales y menestras. Cereales. Determinación de proteínas totales. (Norma Técnica Peruana 205.005:2018).
- Instituto Nacional de Calidad [INACAL] (2021). Cereales y legumbres. Determinación del contenido de humedad. Método de rutina (Norma Técnica Peruana 205.002:2021).
- Instituto Nacional de Defensa de la Competencia y de la Protección de la Propiedad Intelectual [INDECOPI] (2015). *Envases y embalajes. Requisitos de los envases y embalajes. Programa de ensayo y criterios de evaluación de biodegradabilidad*. NTP 900.080. http://www.biodegradable.com.pe/documentos/Doc-2020/06-INDECOPI-NTP_900_080_2015_ENVASES_Y_EMBALAJE.pdf
- Instituto Nacional de Estadística e Informática [INEI] (2021). *Informe Técnico, Perú: Panorama Económico Departamental*. Obtenido de <https://www.inei.gob.pe/media/MenuRecursivo/boletines/05-informe-tecnico-panorama-economico-departamental-mar-2021.pdf>
- Instituto Nacional de Estadística e Informática [INEI] (2022). *Perú: Producción Nacional, Informe Técnico*. N° 5. Obtenido de <https://www.inei.gob.pe/media/MenuRecursivo/boletines/05-informe-tecnico-produccion-nacional-mar-2022.pdf>
- Instituto Nacional de Salud [INS] (2009). Tablas peruanas de composición de alimentos. 8.^a ed. Lima, Perú. Ministerio de Salud. 64 p. https://bvs.minsa.gob.pe/local/INS/843_MS-INS77.pdf
- International Trade Centre. (2017). *Trademap*. Recuperado de https://www.trademap.org/Country_SelProductCountry_TS.aspx?nvpm=%7c604%7c%7c%7cTOTAL%7c%7c%7c2%7c1%7c1%7c1%7c2%7c1%7c2%7c1%7c%7c1
- Jaya, J., Elma, M., Sunardi, S. & Nugroho, A. (2022). Physical and Mechanical Properties of Biodegradable Pot Derived from Oil Palm Empty Fruit Bunch and Sodium Alginate. *Brazilian Archives of Biology and Technology* 65, 1-12. <https://doi.org/10.1590/1678-4324-2022210789>

- Kaewtatip, K., Pongroi, M., Holló, B. & Mészáros-Szécsényi, K.M. (2014) Effects of starch types on the properties of baked starch foams, *Journal Therm. Anal. Calorim.* 115 (1) 833–840. <https://doi.org/10.1007/s10973-013-3149-5>
- Kaisangsri, N., Kerchoechuen, O., & Laohakunjit, N. (2014). Characterization of cassava starch based foam blended with plant proteins, kraft fiber, and palm oil. *Carbohydrate Polymers*, 110, 70–77. <https://doi.org/10.1016/j.carbpol.2014.03.067>
- Karp, S. G., Woiciechowski, A. L., Soccol, V. T., & Soccol, C. R. (2013). Pretreatment strategies for delignification of sugarcane bagasse: a review. *Brazilian Archives of Biology and Technology*, 56(4), 679–689. <https://doi.org/10.1590/s1516-89132013000400019>
- Kasemsiri, P., Dulsang, N., Pongsa, U., Hiziroglu, S., & Chindapasirt, P. (2017). Optimization of biodegradable foam composites from cassava starch, oil palm fiber, chitosan and palm oil using Taguchi method and grey relational analysis. *Journal of Polymers and the Environment*, 25, 378-390, <https://doi.org/10.1007/s10924-016-0818-z>.
- Kaur, M., Singh, N., Sandhu, K. S., & Guraya, H. S. (2004). Physicochemical, morphological, thermal and rheological properties of starches separated from kernels of some Indian mango cultivars (*Mangifera indica* L.). *Food Chemistry*, 85(1), 131–140. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2003.06.013>
- Khoo, R. Z., Chow, W. S., & Ismail, H. (2018). Sugarcane bagasse fiber and its cellulose nanocrystals for polymer reinforcement and heavy metal adsorbent: a review. *Cellulose (London, England)*, 25(8), 4303–4330. <https://doi.org/10.1007/s10570-018-1879-z>
- Kordi, M., Farrokhi, N., Pech-Canul, M. I., & Ahmadikhah, A. (2024). Rice husk at a glance: From Agro-industrial to modern applications. *Rice Science*, 31(1), 14–32. <https://doi.org/10.1016/j.rsci.2023.08.005>
- Kringel, D. H., El Halal, S. L. M., Zavareze, E. da R., & Dias, A. R. G. (2020). Methods for the extraction of roots, tubers, pulses, pseudocereals, and other unconventional starches sources: A review. *Die Starke*, 72(11–12), 1900234. <https://doi.org/10.1002/star.201900234>
- Labeaga, A. (2018). *Polímeros biodegradables. Importancia y potenciales aplicaciones* [Tesis de Maestría, Universidad Nacional de Educación a Distancia]. http://e-spacio.uned.es/fez/eserv/bibliuned:master-Ciencias-CyTQ-Alabeaga/Labeaga_Viteri_Aitziber_TFM.pdf

- Leal, M. R. L. V., Walter, A. S., & Seabra, J. E. A. (2013). Sugarcane as an energy source. *Biomass Conversion and Biorefinery*, 3(1), 17–26. <https://doi.org/10.1007/s13399-012-0055-1>
- Lebaka, V. R., Wee, Y.-J., Ye, W., & Korivi, M. (2021). Nutritional Composition and Bioactive Compounds in Three Different Parts of Mango Fruit. *International Journal of Environmental Research and Public Health*, 18(2), 741. <https://doi.org/10.3390/ijerph18020741>
- Lemos, P. V. F., Barbosa, L. S., Ramos, I. G., Coelho, R. E., & Druzian, J. I. (2019). Characterization of amylose and amylopectin fractions separated from potato, banana, corn, and cassava starches. *International Journal of Biological Macromolecules*, 132, 32–42. <https://doi.org/10.1016/j.ijbiomac.2019.03.086>
- León, G., León, D., Monroy, M.R., Espriella, S. & Herrera, A. (2020). Modificación química de almidones mediante reacciones de esterificación y su potencial uso en la industria cosmética. *Sociedad Venezolana de Farmacología Clínica y Terapéutica*, 39(5), 620-626. <https://doi.org/10.5281/zenodo.4263365>
- Ley N° 30884 (19 de diciembre de 2018). *Ley que regula el plástico de un solo uso y los recipientes o envases descartables*. Congreso de la República. <https://www.gob.pe/institucion/congreso-de-la-republica/normas-legales/1122664-30884>
- Lindriati, T., Rusdianto, A.S., Pakartiko, B. & Adha, F.A. (2021). Physical Mechanical Properties of Biodegradable Plastics from Cassava Starch with Variation of Bagasse and Glycerol. *Journal La Lifesci* 2(1), 9-19. <http://dx.doi.org/10.37899/journallalifesci.v2i1.287>
- Llanos, O., Ríos, A., Jaramillo, C. & Rodriguez, L. (2016). La cascarilla de arroz como una alternativa en procesos de descontaminación. *Production-Lima*, 22(2). http://www.scielo.org.co/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1909-04552016000200013
- López, J. (2015). *La caña de azúcar (Saccharum Officinarum) para la producción de panela. Caso: nordeste del Departamento De Antioquia*. [Monografía, Universidad Nacional Abierta Y A Distancia] <https://repository.unad.edu.co/bitstream/id/5313/1042996781.pdf;jsessionid=05D043D34F2240E2580543D9663DF708.jvm1>

- López-Flores, Y.A., Ramirez-Balboa, G., Balois-Morales, R., Bautista-Rosales, P.U., Lopez-Guzman, G. & Bello-Lara, J.E. (2020). Caracterización fisicoquímica y funcional de almidón extraídos de frutos de mango ‘Tommy atkins’ del estado de Nayarit. *Investigación y Desarrollo en Ciencia y Tecnología de Alimentos*, 5, 694-699. <http://www.fcb.uanl.mx/IDCyTA/files/volume5/5/10/136.pdf>
- 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), 012057. <https://iopscience.iop.org/article/10.1088/1755-1315/749/1/012057>
- Machado, C., Benelli, P. & Tessaro, I. (2017). Sesame cake incorporation on cassava starch foams for packaging use [Incorporación de torta de ajonjolí sobre espumas de almidón de yuca para uso en empaques]. *Industrial Crops and Products*, 102, 115-121. doi: <https://doi.org/10.1016/j.indcrop.2017.03.007>
- Machado, C., Benelli, P. & Tessaro, I. (2020). Study of interactions between cassava starch and peanut skin on biodegradable foams. *International Journal of Biological Macromolecules*, 147, 1343-1353. <https://doi.org/10.1016/j.ijbiomac.2019.10.098>
- Mahmud, M. A., & Anannya, F. R. (2021). Sugarcane bagasse - A source of cellulosic fiber for diverse applications. *Heliyon*, 7(8), e07771. <https://doi.org/10.1016/j.heliyon.2021.e07771>
- Maldonado, R. (2016). *Taxonomía e importancia del arroz*. Consultas de Ingeniería Agropecuaria. <http://consultasingeneria.blogspot.com/2016/08/taxonomia-i-morfologia-del-arroz-y-su.html>
- Manrique, R. (2020). *La gran expansión del consumo de mango*. Redagícola Perú. <https://www.redagricola.com/pe/la-gran-expansion-del-consumo-de-mango/>
- Martelli-Tosi M., Assis O.B.G., Silva N.C., Esposto B.S., Martins M.A. & Tapia-Blácido D.R. (2017). Chemical treatment and characterization of soybean straw and soybean protein isolate/straw composite films. *Carbohydrate Polymers* 157, 512–520. <https://doi.org/10.1016/j.carbpol.2016.10.013>
- Martínez, O., Calderón, B. L., Rodríguez, J. P., Cabrera, C. Z., & Valle, F. M. (2015). Mecanismo de gelatinización del almidón nativo de banano exportable del Ecuador. *Revista Colombiana de Química*, 44(2), 16-21. <https://www.redalyc.org/pdf/3090/309044127003.pdf>

- Martínez, P., Peña, F., Gómez, Y., Vargas, G. & Velezmoro, C. (2019). Propiedades fisicoquímicas, funcionales y estructurales de almidones nativos y acetilados obtenidos a partir de la papa (*Solanum Tuberosum*) variedad 'única'. *Rev Soc Quím Perú*. 85(3), 338-351. <http://www.scielo.org.pe/pdf/rsqp/v85n3/a06v85n3.pdf>
- Masats, J. (2021). *Características del arroz (Oryza Sativa)*. Botanical. <https://www.botanical-online.com/botanica/arroz-caracteristicas>
- Matos, I. & Díaz, J. (2022). *Caracterización de bandejas biodegradables de almidón y fibra de semilla de (persea americana) y almidón de (Mangifera indica)* [Tesis de Título Profesional, Universidad Nacional del Santa]. Repositorio UNS. <https://repositorio.uns.edu.pe/handle/20.500.14278/3939>
- Medina, C., Paredes, A., Rodríguez, M., Moreno, M., Belén-Camacho, D., García, D., & Ojeda, C. (2010). Evaluación de dos métodos de extracción de almidón a partir de cotiledones de mango. *Bioagro*, 22(1), 67-74. http://ve.scielo.org/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1316-33612010000100009&lng=es&tlng=es.
- Medina, E.A., Guatemala, G.M., Fernandez, O., Corona, R.I., Mondragon, P.M. & Arriola, E. (2017). Evaluación de las propiedades fisicoquímicas y tecno funcionales de subproductos de residuos de mango (*mangifera indica*, variedad Tommy Atkins). *Academia Mexicana de Investigación y Docencia en Ingeniería Química*, 5-9. <https://ciatej.repositorioinstitucional.mx/jspui/bitstream/1023/800/1/Evaluaci%C3%B3n%20propiedades.pdf>
- Meghana, M., & Shastri, Y. (2020). Sustainable valorization of sugar industry waste: Status, opportunities, and challenges. *Bioresource technology*, 303, 122929. <https://doi.org/10.1016/j.biortech.2020.122929>
- Mello, L. R., & Mali, S. (2014). Use of malt bagasse to produce biodegradable baked foams made from cassava starch. *Industrial Crops and Products*, 55, 187-193.. <https://doi.org/10.1016/j.indcrop.2014.02.015>
- Mendoza, F. (2018). *Evaluación de la calidad de los granos de arroz (Oryza sativa) durante el pulimento* [Tesis de Título Profesional, Universidad Nacional Agraria de la Selva]. Repositorio UNAS. <https://repositorio.unas.edu.pe/handle/20.500.14292/1642>

- Miléo, PC, Oliveira, MF, Luz, SM, Rocha, GJ & Gonçalves, AR (2016). Caracterización térmica y química de compuestos reforzados con celulosa/lignina de bagazo de caña de azúcar. *Boletín de polímeros*, 73, 3163-3174. <https://doi.org/10.1007/s00289-016-1647-x>
- Ministerio del Ambiente [MINAM] (2019). *Menos plástico, más vida*. Recuperado el 19 de octubre del 2022 de <https://www.minam.gob.pe/menos-plastico-mas-vida/cifras-del-mundo-y-el-peru/>
- Mirmohamadsadeghi, S., & Karimi, K. (2020). Recovery of silica from rice straw and husk. En *Current Developments in Biotechnology and Bioengineering* (pp. 411–433). Elsevier. <https://doi.org/10.1016/B978-0-444-64321-6.00021-5>
- Mora, M. (2024). *Uso de biomasa residual de cascarilla de arroz (Oryza sativa), maíz (Zea mays) y bagazo de caña de azúcar (Saccharum officinarum) y su impacto en la conservación del medio ambiente* [Tesis de Título; Universidad Técnica de Babahoyo]. <http://dspace.utb.edu.ec/handle/49000/16073>
- Morales, A.A., Ortiz, C.A., Ojeda, D., Del Angel, J.A., Vivar, G., Peredo, A., Reyes, M. & Gonzales, F.E. (2023). Application of sugarcane bagasse as potentially functional ingredient in cookies formulation: A study on physicochemical, sensory, and texture profile properties. *Revista Mexicana de Ingeniería Química*, 22(2), 1-10. <https://doi.org/10.24275/rmiq/Alim238>
- Morales, M. G., Herrera, C. M., Marin, F. G. M., Montenegro-Marin, C. E., & Gaona-Garcia, P. A. (2020). Cultura del empaque en el turismo, aprovechamiento de la vaina de arveja (pisum sativum l) para la fabricación de bandejas biodegradables. *Revista Ibérica de Sistemas e Tecnologías de Informação*, (E36), 399-414. <https://www.proquest.com/openview/ad09be482d1dfc2854c5f8569e422e7a/1?pq-origsite=gscholar&cbl=1006393>
- Morales, M.A., Molina, M., Orantes, C.A., Guzmán, J., Medina, K., Sánchez, M., Bustillos, J.C. & Tirado, J.M. (2020). Morfología y propiedades térmicas de almidones nativos de tres variedades de Mangifera indica L. *Investigación y Desarrollo en Ciencia y Tecnología de Alimentos*, 5, 202-206. <http://www.fcb.uanl.mx/IDCyTA/files/volume5/5/3/41.pdf>
- National Mango Board. (2017). *Mango variedades*. Recuperado de <http://mango.org/es/About-Mangos/Mango-Varieties>

- National Tropical Botanical Garden [NTBG]. (s/f). *Description of the Saccharum officinarum*. Recuperado el 2 de junio de 2024, de <https://ntbg.org/database/plants/detail/saccharum-officinarum>
- Naveda, R., Montalvo, P.A., Flores, L. & Figueroa, L.V. (2019). Remoción de lignina en el pretratamiento de cascarilla de arroz por explosión con vapor. *Revista de la Sociedad Química del Perú*, 83(3), 352-361. <http://www.scielo.org.pe/pdf/rsqp/v85n3/a07v85n3.pdf>
- Nawab, A., Alam, F., & Hasnain, A. (2017). Mango kernel starch as a novel edible coating for enhancing shelf- life of tomato (*Solanum lycopersicum*) fruit. *International journal of biological macromolecules*, 103, 581–586. <https://doi.org/10.1016/j.ijbiomac.2017.05.057>
- Nawab, A., Alam, F., Haq, MA & Hasnain, A. (2016). Efecto de las gomas guar y xantana sobre las propiedades funcionales del almidón de semilla de mango (*Mangifera indica*). *Revista internacional de macromoléculas biológicas*, 93, 630–635. doi: <http://dx.doi.org/10.1016/j.ijbiomac.2016.09.011>
- Nazario, R., Gallozzo, M., Angelats, L., Mantilla, F., Alayo, Y., Castillo, A., Chavin, C. & Duran, M. (2020). Reinforcement of mango seed starch based biodegradable films through incorporation of mango peel extracts for active packaging *Proceedings of the LACCEI International Multi-conference for Engineering, Education and Technology*, 1-8. <http://dx.doi.org/10.18687/LACCEI2020.1.1.75>
- Niju, S. & Swathika, M. (2019). Delignification of sugarcane bagasse using pretreatment strategies for bioethanol production. *Biocatalysis and Agricultural Biotechnology*, 20, 101263. <https://doi.org/10.1016/j.bcab.2019.101263>
- Obadi, M., Qi, Y., & Xu, B. (2023). High-amylose maize starch: Structure, properties, modifications and industrial applications. *Carbohydrate Polymers*, 299(120185), 120185. <https://doi.org/10.1016/j.carbpol.2022.120185>
- Organización de las Naciones Unidas [ONU] (2018). *Plásticos de un solo uso: una hoja de ruta para la sostenibilidad*. Medio Ambiente Recuperado de <https://www.unenvironment.org/es/sobre-onu-medio-ambiente>
- Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura [FAO]. (2022). *FAOSTAT: Cultivos*. <https://www.fao.org/faostat/es/#data/QCL/visualize>

- Ortiz, M. (2020). *Evaluación de un bioplástico de almidón de semillas de mango (Mangifera indica) con aplicación potencial en envases* [Tesis de Título Profesional, Universidad El Bosque]. Repositorio UNBOSQUE. <https://repositorio.unbosque.edu.co/handle/20.500.12495/2106>
- Osaki, M. (2022). An energy optimization model comparing the use of sugarcane bagasse for power or ethanol production. *Industrial Crops and Products*, 187, 115284. <https://doi.org/10.1016/j.indcrop.2022.115284>
- Osorio, G. (2007). *Manual Técnico: Buenas Prácticas Agrícolas (BPA) y Buenas Prácticas de Manufactura (BPM) en la Producción de Caña y Panela*. Corporación Colombiana de Investigación Agropecuaria (CORPOICA). ISBN 978-92-5-305910-2. <https://docplayer.es/4184250-Manual-tecnico-buenas-practicas-agricolas-bpa-y-buenas-practicas-de-manufactura-bpm-en-la-produccion-de-cana-y-panela-guillermo-osorio-cadavid.html>
- Palma, F. & Ramirez, F. (2014). Bolsas plásticas: un problema que no se degrada. Universidad De Chile. <https://uchile.cl/noticias/105401/bolsas-plasticas-un-problema-que-no-se-degrada>
- Palmqvist, E., y Hahn-Hägerdal, B. (2000). Fermentación de hidrolizados lignocelulósicos. I: inhibición y desintoxicación. *Bioresource technology*, 74 (1), 17-24. <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0960852499001601>
- Pandey, A., Soccol, C. R., Nigam, P., & Soccol, V. T. (2000). Biotechnological potential of agro-industrial residues. I: sugarcane bagasse. *Bioresource technology*, 74(1), 69-80. [https://doi.org/10.1016/s0960-8524\(99\)00142-x](https://doi.org/10.1016/s0960-8524(99)00142-x)
- Parv, N. & Kalpana, R. (2018) Studies on Extraction of Starch from Dried and Fresh Mango Seed Kernel. *International Journal of Agriculture Sciences*, 10 (18), 7192-7195. https://www.academia.edu/download/58028643/IJAS-230918-99469671_10_18_20_IJAS_1.pdf
- Patiño, O., Agama, E., Ramos, G. & Bello, L.A. (2019). Unripe mango kernel starch: partial characterization. *Journal Pre-proof*, 101, 105512. <https://doi.org/10.1016/j.foodhyd.2019.105512>
- Patiño-Rodríguez, O., Agama-Acevedo, E., Ramos-Lopez, G., & Bello-Pérez, L. A. (2019). Unripe mango kernel starch: Partial characterization. *Food Hydrocolloids*, 101(105512), 105512. <https://doi.org/10.1016/j.foodhyd.2019.105512>

- Pérez, J. & Merino, M. (2015). *Definición de almidón - Qué es, Significado y Concepto. Definición*. Recuperado el 20 de diciembre de 2022 de <https://definicion.de/almidón/>
- Pérez, J. & Merino, M. (2016). *Definición de biodegradable - Qué es, Significado y Concepto. Definición*. Recuperado el 20 de diciembre de 2022 de <https://definicion.de/biodegradable/>
- Pérez, N. (2020). Valoración del biocombustible obtenido mediante fermentación de residuos agroindustriales [Tesis de Pregrado, Universidad Científica del Sur]. <https://repositorio.cientifica.edu.pe>.
- Pérez, R. H., Olarte Paredes, A., Salgado Delgado, R., Salgado Delgado, A. M., Medrano, A. S., & Martínez Candia, F. R. (2022). Manejo de la cascarilla de arroz como residuo postcosecha y su conversión en nanocelulosa. *Mundo Nano Revista Interdisciplinaria en Nanociencia y Nanotecnología*, 16(30), 1e–17e. <https://doi.org/10.22201/ceiich.24485691e.2023.30.69697>
- Polat, S., Uslu, MK, Aygün, A. & Certel, M. (2013). The effects of the addition of corn husk fibre, kaolin and beeswax on cross-linked corn starch foam. *Journal of Food Engineering*, 116 (2), 267-276, <https://doi.org/10.1016/j.jfoodeng.2012.12.017>.
- Ponce, J. & Horna, N. (2023). *Formulación y caracterización de bandejas biodegradables con almidón de Manihota Sculenta y fibras de Cynara Scolymus*. [Tesis de Título Profesional, Universidad Nacional del Santa]. Repositorio UNS. <https://repositorio.uns.edu.pe/bitstream/handle/20.500.14278/4336/52806.pdf?sequence=1&isAllowed=y>
- Pornsuksomboon, K., Barta, B., Mészáros, 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>
- Preedy, V. R., & Watson, R. R. (2020). *Chapter 8 - Mango Seed: Mango (Mangifera indica L.) Seed and Its Fats*. En *Nuts and seeds in health and disease prevention*. Academic press. <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-818553-7.00008-5>
- Przetaczek-Rożnowska, I. (2017). Physicochemical properties of starches isolated from pumpkin compared with potato and corn starches. *International Journal of Biological Macromolecules*, 101, 536–542. <https://doi.org/10.1016/j.ijbiomac.2017.03.092>

- Rabelo, S. C., Vaz-Rossell, C. E., de Moraes-Rocha, G. J., & Zacchi, G. (2012). Enhancement of the enzymatic digestibility of sugarcane bagasse by steam pretreatment impregnated with hydrogen peroxide. *Biotechnology Progress*, 28(5), 1207–1217. <https://doi.org/10.1002/btpr.1593> .
- Raj, V., Chauhan, M. S., & Pal, S. L. (2022). Potential of sugarcane bagasse in remediation of heavy metals: A review. *Chemosphere*, 135825. <https://doi.org/10.1016/j.chemosphere.2022.135825>
- Rao, P., & Rathod, V. (2019). Valorization of food and agricultural waste: A step towards greener future. *Chemical Record (New York, N.Y.)*, 19(9), 1858–1871. <https://doi.org/10.1002/tcr.201800094>
- Reddy, KS, Khan, MY, Archana, K., Reddy, MG & Hameeda, B. (2016). Utilización de aceite de semilla de mango para la producción de ramnolípidos por *Pseudomonas aeruginosa* DR1 hacia su aplicación como agente de biocontrol. *Tecnología de biorecursos* , 221 , 291-299. <https://doi.org/10.1016/j.biortech.2016.09.041>
- 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>
- Retto, H. (2019). *Potencial de la producción de bioetanol a partir de residuos agroindustriales lignocelulósicos en el Perú*. [Tesis de Título, Universidad Nacional de Trujillo]. <https://hdl.handle.net/20.500.14414/12153>
- Reyes, J. M., & Ramírez, S. B. (2022). Estimación del potencial energético técnico a partir de biomasa residual agroindustrial y pecuario en el Perú. *Revista de Innovación y Transferencia Productiva*, 3(1), e004. <https://revistas.itp.gob.pe/index.php/ritp/article/view/32/114>
- Ricardo, R. (2021). *¿Qué es el almidón? Estructura, función y fórmula química del almidón*. Estuyendo. <https://estudyando.com/que-es-el-almidón-estructura-funcion-y-formula-quimica-del-almidón/>
- Rodríguez, E.C., Fernandez, V.L., Montano, A. & Ramirez, D.D. (2016). Caracterización de residuos agroindustriales con vistas a su aprovechamiento. *Revista Centro Azucar*, 43(4), 27-35. <http://scielo.sld.cu/pdf/caz/v43n4/caz03416.pdf>

- Rodríguez, J.A., Montenegro, V. & Marín, N. (2022). Fabricación de polímeros a base de almidón de tubérculos panameños seleccionados. *Revista de Iniciación Científica*, 8. <http://portal.amelica.org/ameli/journal/338/3383062004/html/>
- Rojas, N. (2020). *Los beneficios de la cascarilla de arroz para el cultivo del arándano*. ArandanosPeru.Pe. <https://arandanosperu.pe/2020/08/17/los-beneficios-de-la-cascarilla-de-arroz-para-el-cultivo-del-arandano/>
- Rojas-González, A. F., Flórez-Montes, C., & López-Rodríguez, D. F. (2019). Prospectivas de aprovechamiento de algunos residuos agroindustriales. *Revista cubana de química*, 31(1), 31–52. http://scielo.sld.cu/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S2224-54212019000100031
- Romelle Jones, K., Karuppusamy, S., & Sundaram, V. (2024). Unraveling the promise of agroindustrial byproducts as alternative feed source for sustainable rabbit meat production. *Emerging Animal Species*, 10 (100044), 100044. <https://doi.org/10.1016/j.eas.2024.100044>
- Romero, J. (2019). *Caracterización de bandejas biodegradables provenientes de diferentes almidones nativos peruanos* [Tesis de Título Profesional, Universidad Nacional de Trujillo]. <https://dspace.unitru.edu.pe/items/a0fa8c1f-27fa-454d-8261-02ad2968289a>
- Romero-Sáez, M. (2022). Los residuos agroindustriales, una oportunidad para la economía circular. *TecnoLógicas*, 25(54). https://www.redalyc.org/journal/3442/344271354013/html/#redalyc_344271354013_ref4
- Rosario, R. (2023). *Estructura del Almidón*. Cursos Online. Recuperado de <https://cursosonlineweb.com/estructura-del-almidón.html>
- Rosicka - Kaczmarek, J., Makowski, B., Nebesny, E., Tkaczyk, M., Komisarczyk, A., & Nita, Z. (2016). Composition and thermodynamic properties of starches from facultative wheat varieties. *Food hydrocolloids*, 54, 66–76. <https://doi.org/10.1016/j.foodhyd.2015.09.014>
- Ruiloba, I., Li, M., Quintero, R., & Correa, J. (2018). Elaboración de bioplástico a partir de almidón de semillas de mango. *Revista de iniciación científica*, 4, 28-32. <https://revistas.utp.ac.pa/index.php/ric/article/download/1815/2625>
- Salcedo, J. G., Mogollón, C. G., & Hernández, D. S. (2018). Propiedades funcionales de almidones de ñame (*Dioscorea alata*). *Bioteología en el Sector Agropecuario y*

- Saleem Dar, M., Oak, P., Chidley, H., Deshpande, A., Giri, A., & Gupta, V. (2016). Nutrient and Flavor Content of Mango (*Mangifera indica* L.) *Cultivars. Nutritional Composition of Fruit Cultivars*, 445–467. <https://doi.org/10.1016/b978-0-12-408117-8.00019-2>
- Salgado, P. R., Schmidt, V. C., Ortiz, S. E. M., Mauri, A. N., & Laurindo, J. B. (2008). Biodegradable foams based on cassava starch, sunflower proteins and cellulose fibers obtained by a baking process. *Journal of Food engineering*, 85(3), 435-443. <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0260877407004359>
- Salmerón, F. I. (2019). *Elaboración y caracterización de un material biodegradable utilizando desechos de lechuga de la Planta Poscosecha en la Escuela Agrícola Panamericana* [Tesis de Título Profesional, Zamorano] <https://bdigital.zamorano.edu/items/178cd506-5fb3-422d-96b3-0749282804f8> .
- Sandhu, S., Singh, M.P., Gilbert, R.A. & Odero, D.C. (2019). Sugarcane Botany: A Brief View. *University of Florida*. <https://edis.ifas.ufl.edu/publication/SC034>
- Sanhawong, W., Banhalee, P., Boonsang, S., & Kaewpirom, S. (2017). Effect of concentrated natural rubber latex on the properties and degradation behavior of cotton-fiber-reinforced cassava starch biofoam. *Industrial Crops and Products*, 108, 756-766, <https://doi.org/10.1016/j.indcrop.2017.07.046>.
- Sanyang, M.L., Sapuan, S.M., Jawaid, M., Ishak, M.R. & Sahari, J., (2016). Development and characterization of sugar palm starch and poly(lactic acid) bilayer films. *Carbohydrate Polymers*, 146, 36–45. <https://doi.org/10.1016/j.carbpol.2016.03.051>
- Sarker, T. C., Azam, S. M. G. G., El-Gawad, A. M. A., Gaglione, S. A., & Bonanomi, G. (2017). Sugarcane bagasse: a potential low-cost biosorbent for the removal of hazardous materials. *Clean Technologies and Environmental Policy*, 19(10), 2343–2362. <https://doi.org/10.1007/s10098-017-1429-7>
- Sayago, S. & Alvarez, E. (2018) *Alimentos vegetales autóctonos iberoamericanos subutilizados*. Fabro Editores. 1ra edición. ISBN: 978-1-938038-10-5. <https://alimentos-autoctonos.fabro.com.mx/legal.html>
- Semlali, F., El Bourakadi, K., Merghoub, N., & Bouhfid, R. (2020). Effect of chitosan/modified montmorillonite coating on the antibacterial and mechanical properties of date palm fiber

- trays. *International journal of biological macromolecules*, 148, 316-323.
<https://doi.org/10.1016/j.ijbiomac.2020.01.092>
- Serrato-Patiño, J. L., Beltrán-Olaya, M. A., & Zapata-Zapata, Y. M. (2019). Caracterización fisicoquímica de la grasa contenida en la semilla de mango (*Mangifera indica*) nativo. *Journal of Agro-Industry Sciences* 1 (2), 57-60.
<https://dx.doi.org/10.17268/JAIS.2019.008>
- Silva, V. & Capanema, L. (2019). Políticas públicas na gestão de resíduos sólidos: experiências comparadas e desafios para o Brasil. *BNDES Setorial*, Rio de Janeiro, 25(50), 153-200.
<http://web.bndes.gov.br/bib/jspui/handle/1408/19062>
- Singh, S. P., Jawaid, M., Chandrasekar, M., Senthilkumar, K., Yadav, B., Saba, N., & Siengchin, S. (2021). Sugarcane wastes into commercial products: Processing methods, production optimization and challenges. *Journal of Cleaner Production*, 328, 129453.
<https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2021.129453>
- Siracusa, V., Rocculi, P., Romani, S., & Dalla Rosa, M. (2008). Biodegradable polymers for food packaging: a review. *Trends in food science & technology*, 19(12), 634-643.
<https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0924224408002185>
- Sistema Integrado de Estadística Agraria [SIEA] (2021). *Perfil productivo agrícola de alimentos en el Perú*. <https://siea.midagri.gob.pe/portal/calendario/#>
- Solarte-Montúfar, J.G., Díaz-Murangal, A.E., Osorio-Mora, O. & Mejía-España, M.G. (2019). Propiedades Reológicas y Funcionales del Almidón. Procedente de Tres Variedades de Papa Criolla. *Información tecnológica*, 30(6), 34-44.
<https://www.scielo.cl/pdf/infotec/v30n6/0718-0764-infotec-30-06-00035.pdf>
- Sonthalia, M., & Sikdar, D. C. (2015). Production of starch from mango (*Mangifera Indica L.*) seed kernel and its characterization. *International journal of technical research and applications*, 3(3), 346-349. <https://www.ijtra.com/view/production-of-starch-from-mango-mangifera-indical-seed-kernel-and-its-characterization.pdf>
- Souza, S. de M. P., Dutra, M. B. de L., & Gutiérrez, A. L. L. (2021). Desenvolvimento de bandeja biodegradável a partir de amido de milho e fibra da Moringa Oleífera. *Brazilian Journal of Development*, 7(6), 61213–61218. <https://doi.org/10.34117/bjdv7n6-476>
- Soykeabkaew, N., Thanomsilp, C., & 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>

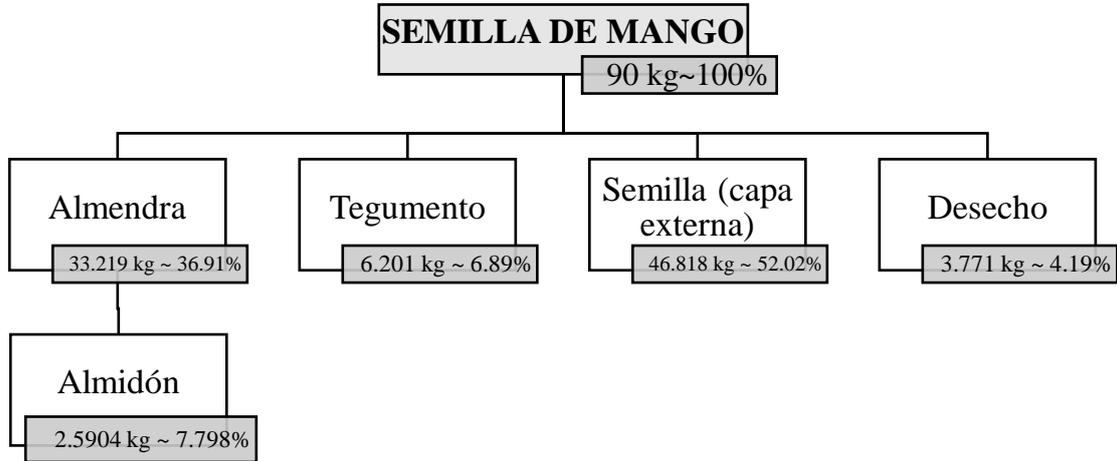
- SP Group Packaging (2020). *Envases biodegradables: ventajas y desventajas*. Obtenido de <https://www.spg-pack.com/blog/envases-biodegradables-ventajas-y-desventajas/>
- Sumardiono S., Pudjihastuti I., Amalia R. & Yudanto Y. (2021) characteristics of biodegradable foam (bio-foam) made from cassava flour and corn fiber. *International Conference on Chemical and Material Engineering 1053*, <https://doi.org/10.1088/1757-899X/1053/1/012082>
- Sumaya-Martínez, MT, Medina-Carrillo, RE, González-Ocegueda, E., Jiménez-Ruiz, EI, Balois-Morales, R., Sánchez-Herrera, LM, & López-Nahuatt, G. (2019). Subproductos del despulpado de mango (*Mangifera indica L.*): actividad antioxidante y compuestos bioactivos de tres cultivares de mango. *Revista Biociencias*, 6, 20. <https://doi.org/10.15741/revbio.06.e560>
- Tai, N.L., Adhikari, R., Shanks, R. & Adhikari, B. (2019). Aerobic biodegradation of starch–polyurethane flexible films under soil burial condition: Changes in physical structure and chemical composition. *International Biodeterioration & Biodegradation*, 145. <https://doi.org/10.1016/j.ibiod.2019.104793>
- Tapia, M., Pérez, B., Cavazos, J., & Mayett, Y. (2013). Obtención de aceite de semilla de mango manila (*Mangifera indica L.*) como una alternativa para aprovechar subproductos agroindustriales en regiones tropicales. *Revista mexicana de agronegocios*, 32 (1345-2016-104338), 258-266. <http://dx.doi.org/10.22004/ag.econ.143917>
- Toscano-Miranda, N., Lopes-Motta, I., Maciel-Filho, R., & Wolf-Maciel, M. R. (2021). Sugarcane bagasse pyrolysis: A review of operating conditions and products properties. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 149(111394), 111394. <https://doi.org/10.1016/j.rser.2021.111394>
- Tupa, M. V. (2019). *Modificación organocatalítica de almidón para la obtención sostenible de derivados de alto valor agregado* [Tesis de Doctorado, Universidad de Buenos Aires]. https://bibliotecadigital.exactas.uba.ar/collection/tesis/document/tesis_n5826_TupaValencia
- Vargas, Y. A., & Pérez, L. I. (2018). Aprovechamiento de residuos agroindustriales en el mejoramiento de la calidad del ambiente. *Revista Facultad de Ciencias Básicas*, 59–72. <https://doi.org/10.18359/rfcb.3108>
- Vega, J. (2022). *Obtención de platos biodegradables a partir de cascarilla de arroz (*Oryza Sativa*) y bagazo de caña de azúcar (*Saccharum officinarum*)* [Tesis de Título

- Profesional, Universidad Nacional Hermilio Valdizán]. Repositorio UNHEVAL. <https://repositorio.unheval.edu.pe/handle/20.500.13080/8375>
- Vera, J. (2022). Caracterización química y degradabilidad in situ de residuos orgánicos del cantón La Troncal – Ecuador. *Sinapsis*, 2(21), ISSN 1390-9770. <https://doi.org/10.37117/s.v2i21.580>
- Vera, J.H., Medranda, T.L., Sigüencia, J.A., Mendieta, R.A. & Perez, M.J. (2021). Caracterización nutricional de los residuos orgánicos en la caña de azúcar del cantón La Troncal. *Hombre, Ciencia y Tecnología*, 25(2), 110-118. <http://portal.amelica.org/ameli/jatsRepo/441/4412286013/index.html>
- Vigneswari, S., Kee, S. H., Hazwan, M. H., Ganeson, K., Tamilselvan, K., Bhubalan, K., Amirul, A.-A., & Ramakrishna, S. (2024). Turning agricultural waste streams into biodegradable plastic: A step forward into adopting sustainable carbon neutrality. *Journal of Environmental Chemical Engineering*, 12(2), 112135. <https://doi.org/10.1016/j.jece.2024.112135>
- Vijerathna, M.P.G., Wijesekara, I., Perera, R., Maralanda, S.M.T.A., Jayasinghe, M. & Wickramasinghe, I. (2019). Physico-chemical Characterization of Cookies Supplemented with Sugarcane Bagasse Fibres. *Vidyodaya Journal of Science*, 22(1), 29-39. <https://doi.org/10.4038/vjs.v22i1.6062>
- Viviano, E. W. (2018). Mejoramiento de las propiedades Microestructurales, Físicas y Mecánicas de Matrices Poliméricas [Tesis de Título Profesional, Universidad Nacional de Trujillo]. <https://dspace.unitru.edu.pe/items/45872449-5112-40bd-9d02-ed20d49f9b7d>
- Wang, J., Hu, P., Chen, Z., Liu, Q., & Wei, C. (2017). Progress in high-amylose cereal crops through inactivation of starch branching enzymes. *Frontiers in Plant Science*, 8, 469. <https://doi.org/10.3389/fpls.2017.00469>
- 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. <https://doi.org/10.1016/j.carbpol.2015.11.066>
- Wauthoz, N., Aliou, B., Balde, S., Marc V.D. & Duez P. (2007). Ethnopharmacology of *Mangifera indica* L. Bark and pharmacological studies of its main C-glucosylxanthone, Mangiferin. *Int. J. Biomed. Pharm. Sci.*, 1, pp. 112-119 [https://www.academia.edu/download/33808419/IJBPS_1\(2\)112-119.pdf](https://www.academia.edu/download/33808419/IJBPS_1(2)112-119.pdf)

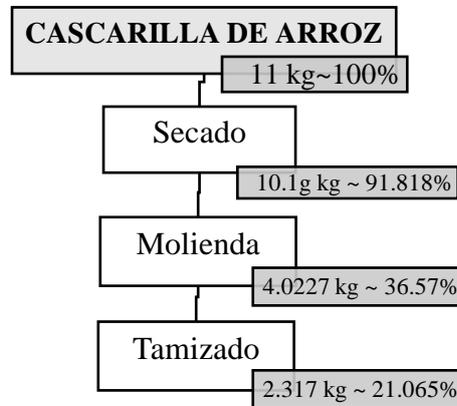
- Xiong, W. (2018). Bagasse composites: A review of material preparation, attributes, and affecting factors. *Journal of Thermoplastic Composite Materials*, 31(8), 1112-1146. <https://doi.org/10.1177/0892705717734596>
- Yatnatti, S., Vijayalakshmi, D., & Chandru, R. (2014). Processing and Nutritive Value of Mango Seed Kernel Flour. *Current Research in Nutrition and Food Science Journal*, 2(3),170-175. <http://dx.doi.org/10.12944/CRNFSJ.2.3.10>
- Yu, H., You, Y., Lei, F., Liu, Z., Zhang, W., & Jiang, J. (2015). Comparative study of alkaline hydrogen peroxide and organosolv pretreatments of sugarcane bagasse to improve the overall sugar yield. *Bioresource Technology*, 187, 161-166. <https://doi.org/10.1016/j.biortech.2015.03.123>
- Zainudin, M. H. M., Zulkarnain, A., Azmi, A. S., Muniandy, S., Sakai, K., Shirai, Y., & Hassan, M. A. (2022). Enhancement of Agro-industrial waste composting process via the microbial inoculation: A brief review. *Agronomy (Basel, Switzerland)*, 12(1), 198. <https://doi.org/10.3390/agronomy12010198>
- Zambrano, G. A. Z., Macías, V. L. G., Palacios, C. A. C., & Cedeño, U. E. A. (2021). Aprovechamiento de la cascarilla de arroz (*Oryza sativa*) para la obtención de fibras de celulosa. *Polo del Conocimiento: Revista científico-profesional*, 6(4), 415-437. <https://dialnet.unirioja.es/download/articulo/7927005.pdf>
- Zomegni, G., Saidou, C., Mbougoung, P., Ndjouenen, R. (2022). Composition and Functional Effect of Mango (*Mangifera indica L.*) Almond Flours on Wheat Dough Rheology. *International Journal of Food Science*, 1-11. <https://doi.org/10.1155/2022/5899749>

VIII. ANEXOS

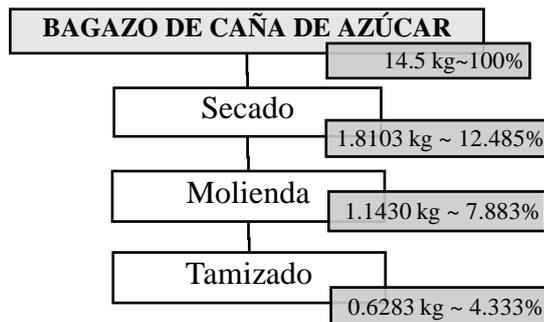
Anexo 1. Rendimiento de almidón en semilla de mango Kent (*Mangifera Indica*)



Anexo 2. Rendimiento de fibra de cascarilla de arroz (*Oryza sativa*).



Anexo 3. Rendimiento de fibra de bagazo de caña de azúcar (*Saccharum officinarum*).



Anexo 4. Tabla de datos de humedad a la materia prima usada en la investigación y las 3 repeticiones.

	Repetición	Almidón de semilla de mango	Fibra de cascarilla de arroz	Fibra de caña de azúcar
Peso de placa vacío (g)	R1	37.0278	42.7319	48.7371
	R2	53.2757	53.0678	41.1388
	R3	43.2323	32.2871	43.1344
Peso de muestra inicial (g)	R1	1.0085	1.0014	1.0083
	R2	1.0041	1.0014	1.0066
	R3	1.0024	1.0017	1.0007
Peso placa + muestra (g)	R1	37.9875	43.6733	49.7051
	R2	54.2237	54.0005	42.1117
	R3	44.183	33.2232	44.1041
Peso de muestra final (g)	R1	0.9597	0.9414	0.968
	R2	0.948	0.9327	0.9729
	R3	0.9507	0.9361	0.9697
Humedad (%)	R1	4.8389	5.9916	3.9968
	R2	5.5871	6.8604	3.3479
	R3	5.1576	6.5489	3.0978
Promedio		5.1945	6.4669	3.4809
Desviación estándar		0.3755	0.4401	0.4640

Anexo 5. Tabla de datos de concentración de amilosa y amilopectina en almidón de semilla de mango variedad Kent.

Repeticiones	Absorbancia	% Amilosa	% Amilopectina
R1	0.214812	13.1464944	86.8535056
R2	0.214885	13.150962	86.849038
R3	0.215402	13.1826024	86.8173976
Promedio		0.215	13.16
Desviación Estándar		0.0003	0.0197

Anexo 6. Tabla de datos de análisis de Colorimetría en las bandejas de los 6 tratamientos y las 3 repeticiones.

TRATAMIENTOS		L*	a*	b*	ΔE
TRATAMIENTO 1 (100A/0Fc/0Fb)	R1	54.69	2.42	14.95	56.748
	R2	55.01	2.7	14.67	56.996
	R3	55.22	2.42	14.54	57.153
	Prom.	54.973	2.513	14.720	56.966
	S.D.	0.267	0.162	0.210	0.204
TRATAMIENTO 2 (90A/10Fc/0Fb)	R1	51.1	3.6	15.06	53.395
	R2	53.75	2.58	13.97	55.596
	R3	49.36	5.36	17.49	52.641
	Prom.	51.403	3.847	15.507	53.877
	S.D.	2.211	1.406	1.802	1.535
TRATAMIENTO 3 (90A/0Fc/10Fb)	R1	54.03	2.95	14.84	56.109
	R2	52.25	2.75	13.63	54.068
	R3	51.14	2.97	13.37	52.942
	Prom.	52.473	2.890	13.947	54.373
	S.D.	1.458	0.122	0.784	1.605
TRATAMIENTO 4 (85A/5Fc/10Fb)	R1	51.09	3.61	15.34	53.465
	R2	50.86	2.84	13.28	52.642
	R3	47.5	5.68	19.97	51.839
	Prom.	49.817	4.043	16.197	52.649
	S.D.	2.010	1.469	3.426	0.813
TRATAMIENTO 5 (85A/10Fc/5Fb)	R1	50.59	3.04	14.42	52.693
	R2	48.33	3.94	14.54	50.623
	R3	48.79	3.98	15.15	51.243
	Prom.	49.237	3.653	14.703	51.520
	S.D.	1.194	0.532	0.391	1.062
TRATAMIENTO 6 (90A/5Fc/5Fb)	R1	49.72	3.67	15.16	52.109
	R2	51.48	2.98	12.85	53.143
	R3	53.81	3.07	15.74	56.149
	Prom.	51.670	3.240	14.583	53.800
	S.D.	2.052	0.375	1.529	2.098

A: Almidón de semilla de mango

Fc: Fibra de cascarilla de arroz

Fb: Fibra de bagazo de caña de azúcar

Anexo 7. Tabla de datos de análisis de espesor y densidad en las bandejas de los 6 tratamientos y las 3 repeticiones.

TRATAMIENTO		ESPESOR (mm)	DENSIDAD (g/cm³)
TRATAMIENTO 1 (100A/0Fc/0Fb)	R1	2.877	0.324
	R2	2.361	0.353
	R3	2.550	0.340
	Prom.	2.596	0.339
	S.D.	0.261	0.015
TRATAMIENTO 2 (90A/10Fc/0Fb)	R1	2.858	0.448
	R2	2.758	0.334
	R3	2.977	0.337
	Prom.	2.864	0.373
	S.D.	0.109	0.065
TRATAMIENTO 3 (90A/0Fc/10Fb)	R1	2.774	0.358
	R2	2.858	0.472
	R3	2.778	0.400
	Prom.	2.803	0.410
	S.D.	0.047	0.058
TRATAMIENTO 4 (85A/5Fc/10Fb)	R1	3.036	0.344
	R2	3.185	0.346
	R3	3.076	0.440
	Prom.	3.099	0.376
	S.D.	0.077	0.055
TRATAMIENTO 5 (85A/10Fc/5Fb)	R1	1.994	0.367
	R2	1.980	0.371
	R3	2.183	0.352
	Prom.	2.053	0.363
	S.D.	0.113	0.010
TRATAMIENTO 6 (90A/5Fc/5Fb)	R1	2.500	0.405
	R2	2.361	0.426
	R3	2.342	0.414
	Prom.	2.401	0.415
	S.D.	0.086	0.010

A: Almidón de semilla de mango

Fc: Fibra de cascarilla de arroz

Fb: Fibra de bagazo de caña de azúcar

Anexo 8. Tabla de datos de análisis de humedad y Capacidad de Absorción de Agua (CAA) en las bandejas de los 6 tratamientos y las 3 repeticiones.

TRATAMIENTO		HUMEDAD (%)	CAA (%)
TRATAMIENTO 1 (100A/0Fc/0Fb)	R1	5.293	26.202
	R2	5.357	28.895
	R3	5.683	26.837
	Prom.	5.444	27.312
	S.D.	0.209	1.408
TRATAMIENTO 2 (90A/10Fc/0Fb)	R1	9.424	9.983
	R2	9.198	10.344
	R3	9.237	10.681
	Prom.	9.287	10.336
	S.D.	0.121	0.349
TRATAMIENTO 3 (90A/0Fc/10Fb)	R1	8.369	11.514
	R2	8.400	7.236
	R3	8.130	11.295
	Prom.	8.299	10.015
	S.D.	0.148	2.409
TRATAMIENTO 4 (85A/5Fc/10Fb)	R1	7.854	12.957
	R2	7.766	9.012
	R3	7.466	8.043
	Prom.	7.695	10.004
	S.D.	0.203	2.603
TRATAMIENTO 5 (85A/10Fc/5Fb)	R1	7.397	8.308
	R2	7.409	11.948
	R3	4.847	9.710
	Prom.	6.551	9.989
	S.D.	1.475	1.836
TRATAMIENTO 6 (90A/5Fc/5Fb)	R1	4.991	12.964
	R2	4.106	7.325
	R3	5.278	9.728
	Prom.	4.791	10.006
	S.D.	0.611	2.830

A: Almidón de semilla de mango

Fc: Fibra de cascarilla de arroz

Fb: Fibra de bagazo de caña de azúcar

Anexo 9. Tabla de datos de análisis de Resistencia a la tracción, Elongación, Dureza y Fracturabilidad en las bandejas de los 6 tratamientos y las 3 repeticiones.

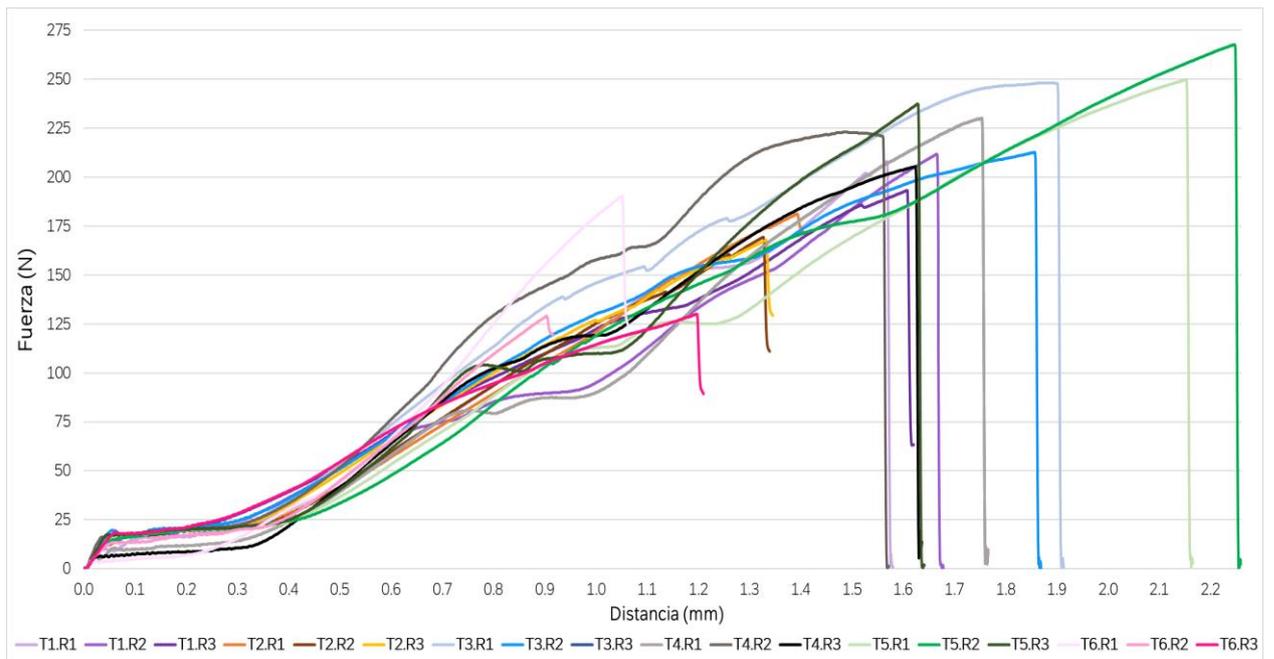
TRATAMIENTO		Resistencia a la Tracción (MPa)	Elongación (%)	Dureza (N)	Fracturabilidad (mm)
TRATAMIENTO 1 (100A/0Fc/0Fb)	R1	2.773	1.987	97.969	5.130
	R2	2.823	2.101	82.867	2.980
	R3	2.577	2.038	100.461	3.100
	Prom.	2.725	2.042	93.765	3.737
	S.D.	0.130	0.057	9.521	1.208
TRATAMIENTO 2 (90A/10Fc/0Fb)	R1	2.415	1.759	79.238	2.550
	R2	2.258	1.684	74.433	1.580
	R3	2.237	1.684	86.495	1.180
	Prom.	2.303	1.709	80.055	1.770
	S.D.	0.097	0.044	6.073	0.704
TRATAMIENTO 3 (90A/0Fc/10Fb)	R1	3.308	2.380	85.122	3.950
	R2	2.836	2.354	95.321	4.820
	R3	3.597	2.392	67.470	0.860
	Prom.	3.247	2.376	82.638	3.210
	S.D.	0.384	0.019	14.091	2.081
TRATAMIENTO 4 (85A/5Fc/10Fb)	R1	3.068	2.215	64.427	1.550
	R2	2.975	1.886	87.378	1.860
	R3	2.738	2.051	74.433	3.190
	Prom.	2.927	2.051	75.413	2.200
	S.D.	0.170	0.165	11.507	0.871
TRATAMIENTO 5 (85A/10Fc/5Fb)	R1	3.330	2.722	96.400	1.420
	R2	3.571	2.848	80.611	2.840
	R3	3.167	2.063	82.474	2.030
	Prom.	3.356	2.544	86.495	2.097
	S.D.	0.203	0.421	8.628	0.712
TRATAMIENTO 6 (90A/5Fc/5Fb)	R1	2.541	1.329	76.786	1.670
	R2	1.721	1.139	86.495	5.510
	R3	1.735	1.519	97.675	4.800
	Prom.	1.999	1.329	86.985	3.993
	S.D.	0.469	0.190	10.453	2.043

A: Almidón de semilla de mango

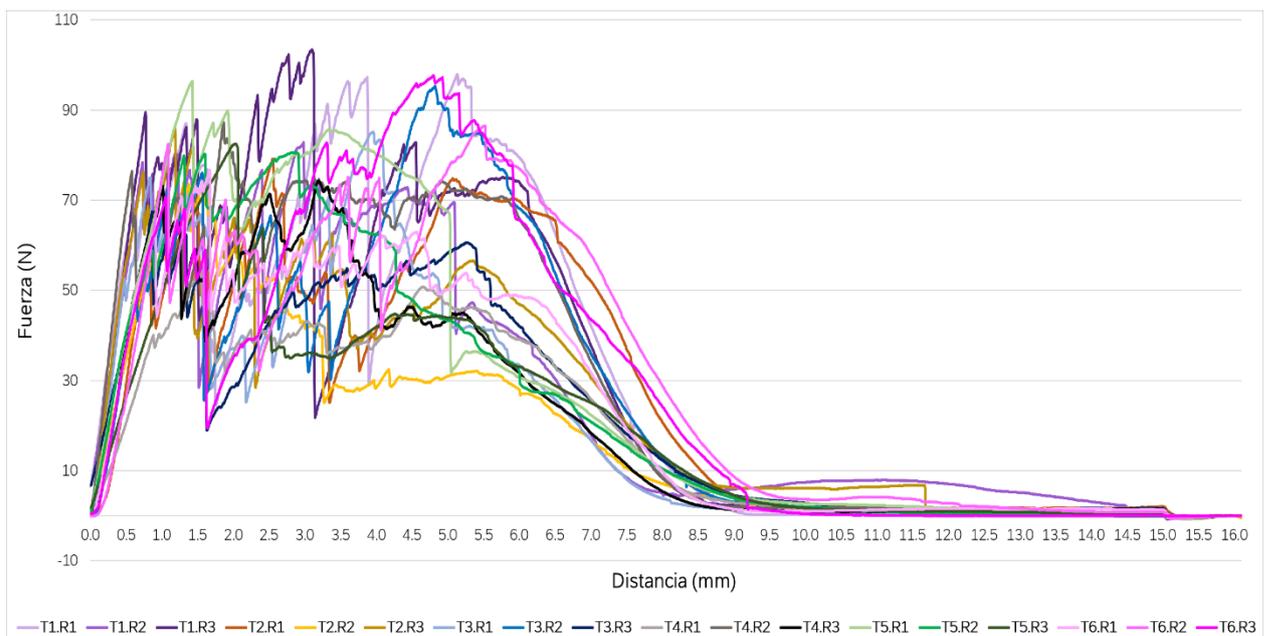
Fc: Fibra de cascarilla de arroz

Fb: Fibra de bagazo de caña de azúcar

Anexo 10. Gráfica de la fuerza aplicada en la prueba de Tracción (Fuerza vs Distancia).



Anexo 11. Gráfica de la fuerza aplicada en la prueba de Dureza (Fuerza vs Distancia).



Anexo 12. Pruebas de comparación de rango múltiple LSD de Fisher para parámetro L* por tratamiento.

<i>Tratamiento</i>	<i>Contar</i>	<i>Significar</i>	<i>Grupos homogéneos</i>
T5	3	49.2367	A
T4	3	49.8167	AB
T2	3	51.4033	AB
T6	3	51.67	AB
T3	3	52.4733	BC
T1	3	54.9733	C

<i>Contraste</i>	<i>Sig.</i>	<i>Diferencia</i>	<i>+/- Límites</i>
T1 - T2	*	3.57	2.97309
T1 - T3		2.5	2.97309
T1 - T4	*	5.15667	2.97309
T1 - T5	*	5.73667	2.97309
T1 - T6	*	3.30333	2.97309
T2 - T3		-1.07	2.97309
T2 - T4		1.58667	2.97309
T2 - T5		2.16667	2.97309
T2 - T6		-0.266667	2.97309
T3 - T4		2.65667	2.97309
T3 - T5	*	3.23667	2.97309
T3 - T6		0.803333	2.97309
T4 - T5		0.58	2.97309
T4 - T6		-1.85333	2.97309
T5 - T6		-2.43333	2.97309

Nota: * denota una diferencia estadísticamente significativa.

Anexo 13. Pruebas de comparación de rango múltiple LSD de Fisher para parámetro α^* por tratamiento.

<i>Tratamiento</i>	<i>Contar</i>	<i>Significar</i>	<i>Grupos homogéneos</i>
T1	3	2.51333	A
T3	3	2.89	A
T6	3	3.24	A
T5	3	3.65333	A
T2	3	3.84667	A
T4	3	4.04333	A

<i>Contraste</i>	<i>Sig.</i>	<i>Diferencia</i>	<i>+/- Límites</i>
T1 - T2		-1.33333	1.55753
T1 - T3		-0.376667	1.55753
T1 - T4		-1.53	1.55753
T1 - T5		-1.14	1.55753
T1 - T6		-0.726667	1.55753
T2 - T3		0.956667	1.55753
T2 - T4		-0.196667	1.55753
T2 - T5		0.193333	1.55753
T2 - T6		0.606667	1.55753
T3 - T4		-1.15333	1.55753
T3 - T5		-0.763333	1.55753
T3 - T6		-0.35	1.55753
T4 - T5		0.39	1.55753
T4 - T6		0.803333	1.55753
T5 - T6		0.413333	1.55753

Nota: * denota una diferencia estadísticamente significativa.

Anexo 14. Pruebas de comparación de rango múltiple LSD de Fisher para parámetro b* por tratamiento.

<i>Tratamiento</i>	<i>Contar</i>	<i>Significar</i>	<i>Grupos homogéneos</i>
T3	3	13.9467	A
T6	3	14.5833	A
T5	3	14.7033	A
T1	3	14,72	A
T2	3	15.5067	A
T4	3	16.1967	A

<i>Contraste</i>	<i>Sig.</i>	<i>Diferencia</i>	<i>+/- Límites</i>
T1 - T2		-0.786667	3.09299
T1 - T3		0.773333	3.09299
T1 - T4		-1.47667	3.09299
T1 - T5		0.0166667	3.09299
T1 - T6		0.136667	3.09299
T2 - T3		1.56	3.09299
T2 - T4		-0.69	3.09299
T2 - T5		0.803333	3.09299
T2 - T6		0.923333	3.09299
T3 - T4		-2.25	3.09299
T3 - T5		-0.756667	3.09299
T3 - T6		-0.636667	3.09299
T4 - T5		1.49333	3.09299
T4 - T6		1.61333	3.09299
T5 - T6		0.12	3.09299

Nota: * denota una diferencia estadísticamente significativa.

Anexo 15. Pruebas de comparación de rango múltiple LSD de Fisher para parámetro ΔE por tratamiento.

Tratamiento	Contar	Significar	Grupos homogéneos
T5	3	51.5197	A
T4	3	52.6487	AB
T6	3	53.8003	AB
T2	3	53.8773	AB
T3	3	54.373	B
T1	3	56.9657	C

Contraste	Sig.	Diferencia	+/- Límites
T1 - T2	*	3.08833	2.42737
T1 - T3	*	2.59267	2.42737
T1 - T4	*	4.317	2.42737
T1 - T5	*	5.446	2.42737
T1 - T6	*	3.16533	2.42737
T2 - T3		-0.495667	2.42737
T2 - T4		1.22867	2.42737
T2 - T5		2.35767	2.42737
T2 - T6		0.077	2.42737
T3 - T4		1.72433	2.42737
T3 - T5	*	2.85333	2.42737
T3 - T6		0.572667	2.42737
T4 - T5		1.129	2.42737
T4 - T6		-1.15167	2.42737
T5 - T6		-2.28067	2.42737

Nota: * denota una diferencia estadísticamente significativa.

Anexo 16. Pruebas de comparación de rango múltiple LSD de Fisher para los valores de Espesor (mm) por tratamiento.

<i>Tratamiento</i>	<i>Contar</i>	<i>Significar</i>	<i>Grupos homogéneos</i>
T5	3	2.05233	A
T6	3	2.401	B
T1	3	2.596	BC
T3	3	2.80333	CD
T2	3	2.86433	DE
T4	3	3.099	E

<i>Contraste</i>	<i>Sig.</i>	<i>Diferencia</i>	<i>+/- Límites</i>
T1 - T2	*	-0.268333	0.239405
T1 - T3		-0.207333	0.239405
T1 - T4	*	-0.503	0.239405
T1 - T5	*	0.543667	0.239405
T1 - T6		0.195	0.239405
T2 - T3		0.061	0.239405
T2 - T4		-0.234667	0.239405
T2 - T5	*	0.812	0.239405
T2 - T6	*	0.463333	0.239405
T3 - T4	*	-0.295667	0.239405
T3 - T5	*	0.751	0.239405
T3 - T6	*	0.402333	0.239405
T4 - T5	*	1.04667	0.239405
T4 - T6	*	0.698	0.239405
T5 - T6	*	-0.348667	0.239405

Nota: * denota una diferencia estadísticamente significativa.

Anexo 17. Pruebas de comparación de rango múltiple LSD de Fisher para los valores de Densidad (g/cm³) por tratamiento.

<i>Tratamiento</i>	<i>Contar</i>	<i>Significar</i>	<i>Grupos homogéneos</i>
T1	3	0.339	A
T5	3	0.363333	A
T2	3	0.373	A
T4	3	0.376667	A
T3	3	0,41	A
T6	3	0.415	A

<i>Contraste</i>	<i>Sig.</i>	<i>Diferencia</i>	<i>+/- Límites</i>
T1 - T2		-0.034	0.0760913
T1 - T3		-0.071	0.0760913
T1 - T4		-0.0376667	0.0760913
T1 - T5		-0.0243333	0.0760913
T1 - T6		-0.076	0.0760913
T2 - T3		-0.037	0.0760913
T2 - T4		-0.00366667	0.0760913
T2 - T5		0.00966667	0.0760913
T2 - T6		-0.042	0.0760913
T3 - T4		0.0333333	0.0760913
T3 - T5		0.0466667	0.0760913
T3 - T6		-0.005	0.0760913
T4 - T5		0.0133333	0.0760913
T4 - T6		-0.0383333	0.0760913
T5 - T6		-0.0516667	0.0760913

Nota: * denota una diferencia estadísticamente significativa.

Anexo 18. Pruebas de comparación de rango múltiple LSD de Fisher para los valores de Humedad (%) por tratamiento.

<i>Tratamiento</i>	<i>Contar</i>	<i>Significar</i>	<i>Grupos homogéneos</i>
T6	3	4.79167	A
T1	3	5.44433	AB
T5	3	6.551	BC
T4	3	7.69533	CD
T3	3	8.29967	DE
T2	3	9.28633	E

<i>Contraste</i>	<i>Sig.</i>	<i>Diferencia</i>	<i>+/- Límites</i>
T1 - T2	*	-3.842	1.18729
T1 - T3	*	-2.85533	1.18729
T1 - T4	*	-2.251	1.18729
T1 - T5		-1.10667	1.18729
T1 - T6		0.652667	1.18729
T2 - T3		0.986667	1.18729
T2 - T4	*	1.591	1.18729
T2 - T5	*	2.73533	1.18729
T2 - T6	*	4.49467	1.18729
T3 - T4		0.604333	1.18729
T3 - T5	*	1.74867	1.18729
T3 - T6	*	3.508	1.18729
T4 - T5		1.14433	1.18729
T4 - T6	*	2.90367	1.18729
T5 - T6	*	1.75933	1.18729

Nota: * denota una diferencia estadísticamente significativa.

Anexo 19. Pruebas de comparación de rango múltiple LSD de Fisher para los valores de Capacidad de Absorción de Agua (%) por tratamiento.

<i>Tratamiento</i>	<i>Contar</i>	<i>Significar</i>	<i>Grupos homogéneos</i>
T5	3	9.98867	A
T4	3	10.004	A
T6	3	10.004	A
T3	3	10.015	A
T2	3	10.336	A
T1	3	27.3113	B

<i>Contraste</i>	<i>Sig.</i>	<i>Diferencia</i>	<i>+/- Límites</i>
T1 - T2	*	16.9753	3.70855
T1 - T3	*	17.2963	3.70855
T1 - T4	*	17.3073	3.70855
T1 - T5	*	17.3227	3.70855
T1 - T6	*	17.3073	3.70855
T2 - T3		0.321	3.70855
T2 - T4		0.332	3.70855
T2 - T5		0.347333	3.70855
T2 - T6		0.332	3.70855
T3 - T4		0.011	3.70855
T3 - T5		0.0263333	3.70855
T3 - T6		0.011	3.70855
T4 - T5		0.0153333	3.70855
T4 - T6		0	3.70855
T5 - T6		-0.0153333	3.70855

Nota: * denota una diferencia estadísticamente significativa.

Anexo 20. Pruebas de comparación de rango múltiple LSD de Fisher para los valores de Resistencia a la Tracción (MPa) por tratamiento.

<i>Tratamiento</i>	<i>Contar</i>	<i>Significar</i>	<i>Grupos homogéneos</i>
T6	3	1.999	A
T2	3	2.30333	AB
T1	3	2.72433	BC
T4	3	2.927	CD
T3	3	3.247	D
T5	3	3.356	D

<i>Contraste</i>	<i>Sig.</i>	<i>Diferencia</i>	<i>+/- Límites</i>
T1 - T2		0.421	0.495025
T1 - T3	*	-0.522667	0.495025
T1 - T4		-0.202667	0.495025
T1 - T5	*	-0.631667	0.495025
T1 - T6	*	0.725333	0.495025
T2 - T3	*	-0.943667	0.495025
T2 - T4	*	-0.623667	0.495025
T2 - T5	*	-1.05267	0.495025
T2 - T6		0.304333	0.495025
T3 - T4		0.32	0.495025
T3 - T5		-0.109	0.495025
T3 - T6	*	1.248	0.495025
T4 - T5		-0.429	0.495025
T4 - T6	*	0.928	0.495025
T5 - T6	*	1.357	0.495025

Nota: * denota una diferencia estadísticamente significativa.

Anexo 21. Pruebas de comparación de rango múltiple LSD de Fisher para los valores de Elongación (%) por tratamiento.

<i>Tratamiento</i>	<i>Contar</i>	<i>Significar</i>	<i>Grupos homogéneos</i>
T6	3	1.329	A
T2	3	1.709	B
T1	3	2.042	BC
T4	3	2.05067	BC
T3	3	2.37533	CD
T5	3	2.54433	D

<i>Contraste</i>	<i>Sig.</i>	<i>Diferencia</i>	<i>+/- Límites</i>
T1 - T2		0.333	0.360515
T1 - T3		-0.333333	0.360515
T1 - T4		-0.00866667	0.360515
T1 - T5	*	-0.502333	0.360515
T1 - T6	*	0.713	0.360515
T2 - T3	*	-0.666333	0.360515
T2 - T4		-0.341667	0.360515
T2 - T5	*	-0.835333	0.360515
T2 - T6	*	0.38	0.360515
T3 - T4		0.324667	0.360515
T3 - T5		-0.169	0.360515
T3 - T6	*	1.04633	0.360515
T4 - T5	*	-0.493667	0.360515
T4 - T6	*	0.721667	0.360515
T5 - T6	*	1.21533	0.360515

Nota: * denota una diferencia estadísticamente significativa.

Anexo 22. Pruebas de comparación de rango múltiple LSD de Fisher para los valores de Dureza (N) por tratamiento.

<i>Tratamiento</i>	<i>Contar</i>	<i>Significar</i>	<i>Grupos homogéneos</i>
T4	3	75.4127	A
T2	3	80.0553	A
T3	3	82.6377	A
T5	3	86.495	A
T6	3	86.9853	A
T1	3	93.7657	A

<i>Contraste</i>	<i>Sig.</i>	<i>Diferencia</i>	<i>+/- Límites</i>
T1 - T2		13.7103	18.4047
T1 - T3		11.128	18.4047
T1 - T4		18.353	18.4047
T1 - T5		7.27067	18.4047
T1 - T6		6.78033	18.4047
T2 - T3		-2.58233	18.4047
T2 - T4		4.64267	18.4047
T2 - T5		-6.43967	18.4047
T2 - T6		-6.93	18.4047
T3 - T4		7.225	18.4047
T3 - T5		-3.85733	18.4047
T3 - T6		-4.34767	18.4047
T4 - T5		-11.0823	18.4047
T4 - T6		-11.5727	18.4047
T5 - T6		-0.490333	18.4047

Nota: * denota una diferencia estadísticamente significativa.

Anexo 23. Pruebas de comparación de rango múltiple LSD de Fisher para los valores de Fracturabilidad (mm) por tratamiento.

<i>Tratamiento</i>	<i>Contar</i>	<i>Significar</i>	<i>Grupos homogéneos</i>
T2	3	1,77	A
T5	3	2.09667	A
T4	3	2.2	A
T3	3	3.21	A
T1	3	3.73667	A
T6	3	3.99333	A

<i>Contraste</i>	<i>Sig.</i>	<i>Diferencia</i>	<i>+/- Límites</i>
T1 - T2		1.96667	2.48721
T1 - T3		0.526667	2.48721
T1 - T4		1.53667	2.48721
T1 - T5		1.64	2.48721
T1 - T6		-0.256667	2.48721
T2 - T3		-1.44	2.48721
T2 - T4		-0.43	2.48721
T2 - T5		-0.326667	2.48721
T2 - T6		-2.22333	2.48721
T3 - T4		1.01	2.48721
T3 - T5		1.11333	2.48721
T3 - T6		-0.783333	2.48721
T4 - T5		0.103333	2.48721
T4 - T6		-1.79333	2.48721
T5 - T6		-1.89667	2.48721

Nota: * denota una diferencia estadísticamente significativa.



Anexo 24. Zona de residuos de semilla de mango de la empresa Inversiones Frigoríficas PRC S.A.C.



Anexo 25. Obtención de semillas de mango de la empresa Inversiones Frigoríficas PRC S.A.C.



Anexo 26. Recepción de semillas de mango.



Anexo 27. Extracción de almendra de semilla de mango.



Anexo 28. Descarte de envoltura de semilla de mango.



Anexo 29. Tegumento de semilla de mango.



Anexo 30. Descarte de tegumento de semilla de mango.



Anexo 31. Almendra de semilla de mango.



Anexo 32. Inmersion.



Anexo 33. Licuado de la almendra de semilla de mango.



Anexo 34. Filtrado.



Anexo 35. Sedimentación.



Anexo 36. Lavado del concentrado de almidón de semilla de mango.



Anexo 37. Separación del líquido sobrenadante.



Anexo 38. Centrifugado del concentrado de almidón de semilla de mango.



Anexo 39. Almidón de semilla de mango centrifugado.



Anexo 40. Secado de almidón de semilla de mango.



Anexo 41. Molienda de almidón seco de semilla de mango.



Anexo 42. Almidón seco de semilla de mango.



Anexo 43. Tamizado de almidón de semilla de mango.



Anexo 44. Almidón de semilla de mango en bolsas HDPE.



Anexo 45. Cascarilla de arroz



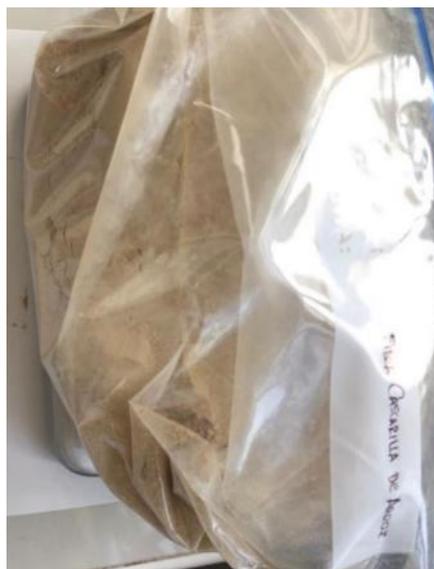
Anexo 46. Molienda de Cascarilla de arroz.



Anexo 47. Tamizado de Cascarilla de arroz molido.



Anexo 48. Fibra de Cascarilla de arroz tamizada.



Anexo 49. Fibra de Cascarilla de arroz en bolsas HDPE.



Anexo 50. Bagazo de caña de azúcar



Anexo 51. Lavado de Bagazo de caña de azúcar de azúcar.



Anexo 52. Secado de bagazo de caña de azúcar.



Anexo 53. Molienda de bagazo de caña de azúcar.



Anexo 54. Tamizado del bagazo de caña de azúcar molido.



Anexo 55. Fibra de bagazo de caña de azúcar en bolsas HDPE.



Anexo 56. Glicerina.



Anexo 57. Estearato de potasio.



Anexo 58. Goma Guar.



Anexo 59. Agua Destilada.



Anexo 60. Formulación y pesado para cada formulación.



Anexo 61. Adición de agua destilada.



Anexo 62. Mezclado.



Anexo 63. Pesado para cada bandeja.



Anexo 64. Moldeado.



Anexo 65. Termoprensado.



Anexo 66. Desmoldado.



Anexo 67. Acondicionamiento.



Anexo 68. Bandejas biodegradables en bolsas HDPE.



Anexo 69. Balanza analítica.



Anexo 70. Licuadora Industrial.



Anexo 71. Centrífuga.



Anexo 72. Estufa.



Anexo 73. Secador de bandejas.



Anexo 74. Molino Industrial.



Anexo 75. Molino Ultracentrífuga.



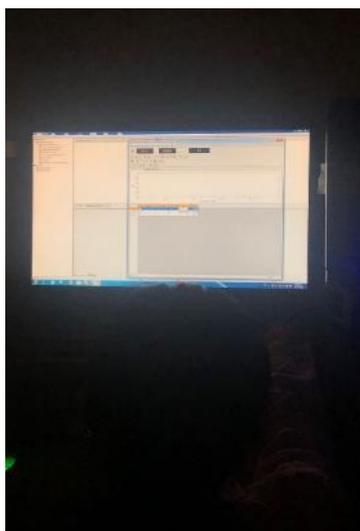
Anexo 76. Batidora de pedestal.



Anexo 77. Termoprensa.



Anexo 78. Análisis de humedad a las materias primas.



	Use	Sample	Comment	Conc. [ppm]	Abs	620.0 nm
Blank	<input checked="" type="checkbox"/>				0.0000	
1	<input checked="" type="checkbox"/>				0.214812	0.2149
2	<input checked="" type="checkbox"/>				0.213648	0.2136
3	<input checked="" type="checkbox"/>				0.213636	0.2136
4	<input checked="" type="checkbox"/>				0.214895	0.2149
* 5	<input checked="" type="checkbox"/>				0.215402	0.2154
6	<input type="checkbox"/>					

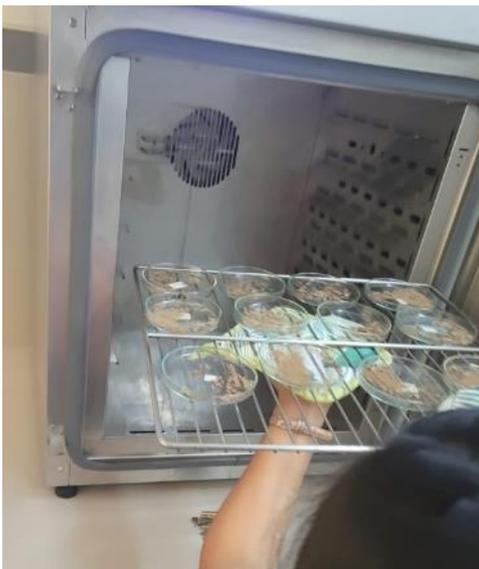
Anexo 79. Determinación de contenido de amilosa y amilopectina.



Anexo 80. Micrómetro para medición de espesor.



Anexo 81. Colorímetro para análisis de color.



Anexo 82. Análisis de humedad a las bandejas biodegradables.



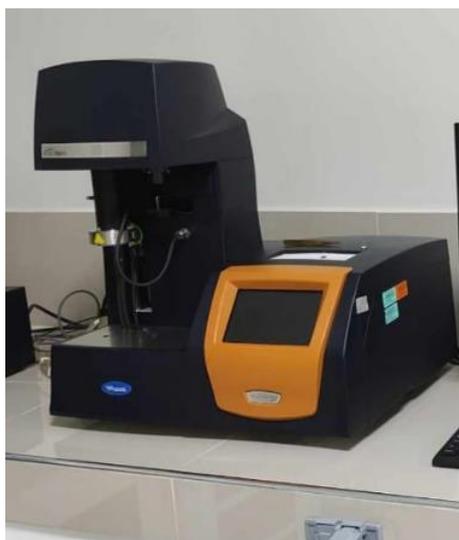
Anexo 83. Análisis de capacidad de absorción de agua.



Anexo 84. Equipo texturómetro para análisis de textura.



Anexo 85. Equipo Microscopia Electrónica de Barrido.



Anexo 86. Equipo Termogravimétrico.



Anexo 87. Equipo para análisis de FTIR.

