



UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO



FACULTAD DE CIENCIA E INGENIERÍA EN ALIMENTOS Y BIOTECNOLOGÍA

CARRERA DE ALIMENTOS

Tema: Evaluación de las propiedades mecánicas, funcionales y microbiológicas, de contenedores elaborados a partir de recursos agroindustriales infrautilizados de la industria bananera

Informe Final del Trabajo de Titulación, Opción Proyecto de Investigación, previo la obtención del Título de Ingeniera en Alimentos, otorgado por la Universidad Técnica de Ambato, a través de la Facultad de Ciencia e Ingeniería en Alimentos y Biotecnología

Autor: Karen Michelle Ulloa Bejarano

Tutor: Dra. Mirari Yosune Arancibia Soria

Ambato – Ecuador

Julio - 2022

APROBACIÓN DEL TUTOR

Dra. Mirari Yosune Arancibia Soria

CERTIFICA:

Que el presente Informe Final del Trabajo de Titulación ha sido prolijamente revisado. Por lo tanto, autorizo la presentación de este Informe Final del Trabajo de Titulación, opción Proyecto de Investigación, el mismo que responde a las normas establecidas en el Reglamento de Títulos y Grados de la Facultad de Ciencia e Ingeniería en Alimentos y Biotecnología.

Ambato, 16 de Junio de 2025



Firmado electrónicamente por:
**MIRARI YOSUNE
ARANCIBIA SORIA**
Validar únicamente con FirmaEC

Dra. Mirari Yosune Arancibia Soria

1802142461

TUTOR

AUTORÍA DEL TRABAJO DE TITULACIÓN

Yo, Karen Michelle Ulloa Bejarano, manifiesto que los resultados obtenidos en el presente Informe Final del Trabajo de Titulación, Opción Proyecto de Investigación, previo a la obtención del título de Ingeniera en Alimentos son absolutamente originales, auténticos y personales; a excepción de las citas bibliográficas.



Karen Michelle Ulloa Bejarano

1750094862

AUTOR

DERECHOS DE AUTOR

Autorizo a la Universidad Técnica de Ambato, para que haga de este Informe Final del Trabajo de Titulación o parte de él, un documento disponible para su lectura consulta y procesos de investigación, según las normas de la Institución.

Cedo los Derechos en línea patrimoniales de mi Informe Final del Trabajo de Titulación, con fines de difusión pública, además apruebo la reproducción de este, dentro de las regulaciones de la Universidad, siempre y cuando esta reproducción no suponga una ganancia económica y se realice respetando mis derechos de autor.



Karen Michelle Ulloa Bejarano

1750094862

AUTOR

APROBACIÓN DEL TRIBUNAL DE GRADO

Los suscritos Profesores Calificadores, aprueban el presente Informe Final del Trabajo de Titulación, Opción proyecto de Investigación, el mismo que ha sido elaborado de conformidad con las disposiciones emitidas por la Facultad de Ciencia e Ingeniería en Alimentos y Biotecnología de la Universidad Técnica de Ambato.

Para constancia firman:



Presidente del Tribunal



Dr. Santiago Casado Rojo

1759126954



Dr. William Ricardo Calero Cáceres

1714348859

Ambato, 7 de Julio de 2025

DEDICATORIA

A Dios, a mi Virgencita y a mis dulces Ángeles del Cielo

Que han estado presentes en cada oración y me han permitido alcanzar cada sueño, cada meta y sobre todo me han permitido seguir junto a los míos.

A mis padres: Brunner Ulloa y Jenny Bejarano

Este trabajo está dedicado a ustedes, por caminar junto a mí, por guiarme, por su apoyo incondicional, y sobre todo por su inmenso amor. Me enseñaron mucho papitos, me enseñaron que el amor de familia es muy importante, me enseñaron que, si me caigo, tengo que levantarme con fuerza y con la frente en alto, y siéntanse orgullosos de que su “Negra”, está cumpliendo de a poquito cada sueño y meta planteado y una de ellas es este trabajo y el tan anhelado título de Ing y los mas que vienen. Y recuerden que su “Negra” puede con todo, educaron a una mujer valiente y soñadora.

A mis hermanos: Magu, Anita y Gabito

Para ustedes todo el amor del mundo. Su amor, su compañía y apoyo, me han impulsado a seguir siempre adelante por ustedes. Que orgullo poder decir que este trabajo y cada esfuerzo han sido pensando en ustedes.

A mis tías: Llellito, Katy, y Rita

Con profundo amor, respeto y admiración, dedico este trabajo a ustedes que me ofrecieron su apoyo incondicional, su amor y calidez que solo puede nacer del corazón más puro. Por acompañarme con paciencia, por cuidarme y por velar por mi bienestar en cada proceso. Su presencia ha sido un pilar fundamental en mi formación personal y académica.

Con mucho amor, admiración y respeto.

Karen Michelle Ulloa Bejarano.

AGRADECIMIENTO

Agradezco la oportunidad de haber podido continuar con mis estudios, a pesar de haber dejado mi ciudad para recorrer un nuevo camino en una ciudad desconocida. Este año representó uno de los caminos más difíciles de mi vida, marcados por desafíos personales, emocionales y académicos que pusieron a prueba mi fortaleza.

Sin embargo, gracias al apoyo de las personas que me rodean, al cariño de mi familia, hoy puedo ver los frutos de ese esfuerzo. Esta etapa me enseñó a crecer, adaptarme y a seguir adelante.

Agradezco profundamente a mis primas-hermanas Macarena y Paulina, gracias por estar junto a mí, por apoyarme, por cada palabra de aliento, gracias por cada consejo. Su amor, su complicidad han sido muy importantes en mi vida. Y gracias por dejarme ser parte de la vida de mis chiquitas, son lo que más quiero en la vida, prometo cuidarlas y protegerlas.

A mi mejor amiga Liss, gracias por ser parte esencial de este proceso. Por estar conmigo en los momentos de incertidumbre, por tus palabras de aliento cuando más las necesitaba. Gracias por caminar a mi lado con lealtad y cariño.

A mis queridos amigos, mi Nico, Luis, Chris, Raque, Joss; Mile, Anabel, Isaac, y Sebas, gracias por su sincera amistad. También a mis queridos amigos de Quito, Pao, Leydi y Esteban, gracias por mantener nuestra amistad a lo largo del tiempo y por acompañarme, aun en la distancia, con palabras de ánimo y gestos sinceros.

A mi querido Anndysito, gracias por ser mi persona en buenos y malos momentos, gracias por hacer de esta etapa una de las mejores, gracias por tu amor y gracias por nunca dejar que me rinda y por siempre recordarme que, a pesar de muchas situaciones en la vida, soy una mujer valiente, fuerte y muy amorosa.

A mi tutora Dra. Mirari Arancibia, agradezco su valiosa orientación, compromiso y disposición durante el desarrollo de este trabajo. Mi gran admiración por su vocación, su paciencia y su capacidad de orientar con claridad y respeto. Su guía fue clave para mi crecimiento académico, y este logro no habría sido posible sin su apoyo.

Finalmente, a mis personas del cielo, gracias por seguir acompañándome desde la eternidad. Aunque sus voces ya no estén, su amor, sus palabras siguen intactas en cada paso que doy. Este logro también es para ustedes, que sembraron en mí la fuerza, y los valores que hoy me sostienen. Los llevo siempre en mi corazón y en mis oraciones

Con mucho amor

Michelle

ÍNDICE GENERAL DE CONTENIDOS

APROBACIÓN DEL TUTOR.....	ii
AUTORÍA DEL TRABAJO DE TITULACIÓN	iii
DERECHOS DE AUTOR.....	iv
APROBACIÓN DEL TRIBUNAL DE GRADO.....	v
DEDICATORIA.....	vi
AGRADECIMIENTO.....	vii
ÍNDICE DE TABLAS.....	x
ÍNDICE DE FIGURAS.....	xi
RESUMEN EJECUTIVO	xii
ABSTRACT.....	xiii
1 CAPÍTULO I.- MARCO TEÓRICO.....	1
1.1 Antecedentes Investigativos.....	1
1.1.1 Contaminación Ambiental por plásticos	1
1.1.2 Industria Bananera	2
1.1.3 Recursos agroindustriales de la industria bananera	3
1.1.4 Contenedores biodegradables.....	5
1.1.5 Proceso de Elaboración de un Contenedor Biodegradable	6
1.1.6 Propiedades de los Contenedores Biodegradables	7
1.2 Objetivos	10
1.2.1 Objetivo General	10
1.2.2 Objetivos específicos	10
2 CAPÍTULO II.- METODOLOGÍA.....	11
2.1 Materiales.....	11
2.1.1 Materiales de laboratorio.....	11

2.1.2	Equipos.....	11
2.1.3	Reactivos	12
2.2	Métodos.....	13
2.2.1	Elaboración de contenedores biodegradables a partir de harina de plátano verde	13
2.2.2	Análisis de las propiedades mecánicas de resistencia a la tracción de los contenedores biodegradables.....	14
2.2.3	Evaluación de las propiedades funcionales solubilidad y absorción de agua de los contenedores biodegradables.....	15
2.2.4	Estimación de la carga microbiana de los contenedores biodegradable.....	16
2.2.5	Análisis estadístico.....	16
3	CAPÍTULO III.- RESULTADOS Y DISCUSIÓN.....	17
3.1	Análisis y discusión de resultados	17
3.1.1	Análisis de resistencia a la tracción de los contenedores Biodegradables.....	17
3.1.2	Evaluación de la solubilidad y la capacidad de absorción de agua como propiedades funcionales de los contenedores biodegradables	20
3.1.3	Calidad microbiológica de los contenedores biodegradables	23
4	CAPÍTULO IV. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES.....	26
4.1	CONCLUSIONES	26
4.2	RECOMENDACIONES	28
C.	MATERIALES DE REFERENCIA	29
	Referencias Bibliográficas	29

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1. Composición química del plátano en estado no maduro por cada 100 g de parte comestible cruda.....	4
Tabla 2. Composición química aproximada de la cáscara plátano verde	5
Tabla 3. Resultados obtenidos de la prueba de Resistencia al Calor en Contenedores Biodegradables	17
Tabla 4. Índice de Solubilidad en Agua de Contenedores Biodegradables	20
Tabla 5. Índice de Absorción en Agua en Contenedores Biodegradables	22

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura1. Recopilación fotográfica del ensayo de Resistencia al Calor (Muestras A, B, C, D).....	18
Figura 2. Ensayo de Solubilidad en Agua, para Contenedores Biodegradables de Plátano Verde	21
Figura 3. Muestras del Contenedor Biodegradable Después del Ensayo de Absorción en Agua.	22
Figura 4. Ensayo de Absorción en Agua para Contenedores Biodegradables de Plátano Verde	23
Figura 5. Estimación Microbiana del contenedor Biodegradable.....	24

RESUMEN EJECUTIVO

La contaminación por plásticos sintéticos ha provocado una crisis ambiental a nivel global debido a su lenta degradación y acumulación persistente en los ecosistemas. Ante esta problemática, la implementación de materiales biodegradables derivados del plátano representa una alternativa agroindustrial viable para reducir residuos, fomentar la economía circular y contribuir a la protección ambiental. El uso de la cáscara y la pulpa de plátano verde en la elaboración de bioplásticos constituyen una opción sostenible frente a los plásticos convencionales. Estos residuos agroindustriales presentan un alto contenido de almidón, celulosa y lignina, componentes que les confieren excelentes propiedades mecánicas adecuadas para la fabricación de envases biodegradables

El proceso de elaboración comprende cuatro etapas fundamentales: secado, triturado, mezcla con aditivos naturales y moldeado térmico. A pesar de su naturaleza hidrofílica, que puede limitar su resistencia en ambientes húmedos, estos bioplásticos pueden ser optimizados mediante técnicas que mejoran su durabilidad. Sus propiedades funcionales: como la solubilidad, la absorción de agua y la resistencia térmica, los convierten en materiales aptos para el desarrollo de envases inocuos, seguros para el contacto con alimentos.

En este contexto, la utilización de envases biodegradables a base de plátano verde se perfila como una alternativa sostenible y eficaz en comparación con los recipientes plásticos tradicionales. Gracias a sus características biodegradables y a la posibilidad de aumentar su resistencia y vida útil mediante métodos apropiados, estos productos no solo contribuyen a la mitigación del impacto ambiental, sino que también cumplen con los requisitos sanitarios para el uso en la industria alimentaria.

Palabras clave: residuos agroindustriales, almidón, biodegradables, plátano verde, plásticos, contaminación ambiental, desechos orgánicos.

ABSTRACT

Plastic pollution has caused a global environmental crisis because of its slow degradation and persistent accumulation in ecosystems. In response to this problem, the use of biodegradable materials derived from bananas represents a suitable alternative agro-industrial alternative to reduce waste, promote a circular economy, and contribute to environmental protection. The use of banana's peel and pulp of green bananas in the production of bioplastics offers a sustainable option compared to conventional plastics. These agro-industrial residues contain elevated levels of starch, cellulose, and lignin, components that provide suitable mechanical properties for manufacturing biodegradable trays, utensils, and packaging.

The production process involves four main stages: drying, grinding, mixing with natural additives, and thermal molding. Despite their hydrophilic nature, which may limit their resistance in humid environments, these bioplastics can be optimized through techniques that enhance their durability. Their functional properties—such as solubility, water absorption, and thermal resistance—make them suitable materials for developing safe, non-toxic packaging for food contact.

In this context, the use of biodegradable packaging made from green bananas emerges as a sustainable and effective alternative to traditional plastic containers. Thanks to their biodegradable characteristics and the possibility of improving their strength and shelf life through appropriate methods, these products not only help reduce environmental impact but also meet health and safety standards for use in the food industry.

Keywords: Agro-industrial residues, starch, biodegradable, green banana, plastics, environmental pollution, organic waste

1 CAPÍTULO I.- MARCO TEÓRICO

1.1 Antecedentes Investigativos

1.1.1 Contaminación Ambiental por plásticos

La contaminación por plásticos constituye una de las amenazas más graves para el medio ambiente y uno de los desafíos más urgentes que enfrenta el planeta. Debido a su resistencia y durabilidad, los plásticos se han convertido en parte fundamental de la vida moderna, pero también en una fuente persistente de residuos que afectan negativamente a los ecosistemas acuáticos y terrestres **(Flores Pérez, 2021)**.

Según el Instituto Nacional de Estadísticas y Censos (INEC), la contaminación por plásticos convencionales constituye una de las principales fuentes de impacto ambiental a nivel global, lo que ha motivado la búsqueda de soluciones sostenibles. Anualmente, se producen aproximadamente 400 millones de toneladas de plástico, de las cuales una gran parte termina en océanos, ríos y suelos, afectando gravemente a los ecosistemas y la biodiversidad.

En Ecuador, cada habitante genera aproximadamente 0,58 kg de residuos plásticos diarios, lo que equivale a cerca de 9.280 toneladas al año, principalmente provenientes de actividades industriales alimentarias y no alimentarias. Esta cifra convierte al plástico en uno de los contaminantes más relevantes, debido al elevado volumen generado y la limitada capacidad de gestión de residuos **(UNACH 2024)**

Estudios reportan que una gestión inadecuada de estos residuos genera aproximadamente 8 millones de toneladas anuales de basura marina, representando entre el 60 % y el 80 % de los desechos marinos. El consumo de envases plásticos también está estrechamente vinculado al ingreso per cápita, siendo Estados Unidos (96 kg per cápita) y China (61 kg per cápita) los principales consumidores mundiales **(Hernandez Gil et al., 2022)**. En el año 2022, el INEC, (2023), informó que Ecuador recolectó más de 15 mil toneladas diarias de basura en zonas urbanas, de las cuales el 54 % correspondía a residuos inorgánicos, y el 11,3 % específicamente a plásticos. Esta situación ha impulsado el desarrollo de estrategias para reducir el consumo de plásticos y mitigar su impacto ambiental.

Pilco et al., (2018) subrayan la necesidad de implementar acciones a escala global, involucrando a gobiernos, industrias y ciudadanía. La conciencia sobre la magnitud del problema y la adopción de prácticas sostenibles son fundamentales para reducir los daños ambientales y garantizar la salud del planeta a largo plazo. En este contexto, los materiales biodegradables emergen como una alternativa prometedora frente al uso de plásticos convencionales..

1.1.2 Industria Bananera

La producción de plátano en Ecuador tiene una importancia significativa en la economía nacional. El país es uno de los principales exportadores de banano a nivel mundial. Esta industria no solo representa una fuente relevante de divisas, sino que también constituye un motor clave de empleo en las zonas rurales.

Según un informe del **Ministerio de Comercio Exterior del Ecuador, (2017)** la exportación bananera representa aproximadamente el 2 % del Producto Interno Bruto (PIB) nacional y el 35 % del PIB agrícola, beneficiando a más de 2,5 millones de personas, lo que corresponde a cerca del 6 % de la población total, en nueve provincias directamente vinculadas con la cadena productiva del banano.

En 2023, las exportaciones de banano orgánico alcanzaron los USD 227,8 millones, representando el 51,3 % del total de exportaciones de este rubro. No obstante, cerca del 14 % del banano producido es rechazado, principalmente por no cumplir con los estándares de calidad de exportación. Una parte mínima de estos desechos se destina a consumo nacional, mientras que el resto representa una pérdida agroindustrial significativa. Esto evidencia la oportunidad de desarrollar productos derivados de bajo costo a partir del banano descartado (**Mazzeo Meneses et al., 2010**).

Entre los principales factores que provocan el rechazo del banano se encuentran la presencia de plagas, la maduración prematura de los frutos, y defectos causados por insectos, manejo poscosecha deficiente, enfermedades fúngicas y condiciones ambientales adversas. Estos problemas afectan la calidad del racimo, reduciendo su peso y tamaño, e impiden que cumpla con los requisitos de exportación.

Actualmente, el sector bananero se ha consolidado como uno de los pilares de la economía ecuatoriana, superando a otros sectores no petroleros en generación de ingresos y empleo. De acuerdo con el Ministerio de Agricultura y Ganadería (MAG),

el banano representa aproximadamente el 25 % de las exportaciones no petroleras del país, consolidándose como un producto estratégico para el desarrollo económico nacional (**Ministerio de Comercio Exterior del Ecuador, 2017**).

1.1.3 Recursos agroindustriales de la industria bananera

1.1.3.1 Almidón

Lanza et al., (2022) señalan que el almidón de plátano verde es un polisacárido compuesto por amilosa y amilopectina, con un contenido que oscila entre el 70 % y el 80 % en base seca. Este biopolímero presenta propiedades fisicoquímicas que lo hacen útil tanto en aplicaciones alimentarias como industriales, y particularmente en el desarrollo de materiales biodegradables.

Desde el punto de vista estructural, el almidón de plátano tiene una alta viscosidad al gelatinizar, buena capacidad para formar biopelículas y elevada resistencia mecánica, especialmente cuando se combina con plastificantes naturales como el glicerol. **Solórzano Vélez et al., (2023)** destacan que el almidón de plátano verde, al ser combinado con plastificantes naturales como glicerina, muestra una excelente capacidad de biodegradación, junto con propiedades mecánicas adecuadas para la fabricación de envases ecológicos de corta duración. Además, este tipo de almidón comparte ciertas características similares a las de los plásticos sintéticos.

Una de las principales ventajas de los bioplásticos elaborados a base de almidón vegetal es su completa biodegradabilidad y no toxicidad. Una vez degradados, estos materiales pueden incluso utilizarse como abono. Este beneficio se debe a que su origen vegetal reduce la dependencia de materias primas derivadas del petróleo.

1.1.3.2 Plátano o Banano

El banano (familia Musaceae) es una de las frutas más consumidas a nivel global. En Ecuador, su producción representa una actividad agrícola de gran relevancia por la calidad de los cultivos y el volumen exportado. Sin embargo, entre un 15 % y 30 % de la producción no cumple con los estándares de exportación debido a factores como golpes, picaduras de insectos, deformaciones o maduración excesiva, quedando como fruta de rechazo (**Quispe Maquera, 2022**)

El plátano verde se caracteriza por su riqueza nutricional como se observa en la Tabla 1, su composición química varía en función del grado de madurez; en estado verde,

predomina el almidón. En la pulpa, el contenido de almidón puede variar entre un 14 % y un 23 %, siendo una fuente importante de carbohidratos de interés para la industria alimentaria.

Tabla 1. Composición química del plátano en estado no maduro por cada 100 g de parte comestible cruda.

Componente	Cantidad
Calorías (Kcal)	110
Agua (%)	75
Proteína (%)	1
Lípidos (%)	0,5
Carbohidratos (%)	21,5
Fibra (%)	1
Cenizas totales (%)	1

Fuente: (Mazzeo Meneses et al., 2010)

1.1.3.3 Cáscara de Plátano

En los últimos años, Ecuador se ha consolidado como uno de los mayores productores de plátano a nivel mundial. No obstante, la cáscara que representa aproximadamente el 30 % del peso del fruto suele ser descartada, generando una importante cantidad de residuos orgánicos.

La valorización de la cáscara de plátano ha cobrado relevancia como alternativa sostenible para la elaboración de materiales biodegradables. **Romero Bonilla et al., (2019a)** destacan que este subproducto contiene fibra dietética, proteínas, aminoácidos esenciales, ácidos grasos poliinsaturados, celulosa, hemicelulosa, lignina y aproximadamente un 50 % de almidón (Tabla 2.), lo que la convierte en una materia prima viable para la fabricación de bioplásticos.

Khoozani et al., (2019) estiman que la industria bananera genera alrededor de 2 millones de toneladas anuales de cáscara de plátano en estado seco. Este volumen ofrece un amplio potencial de aprovechamiento en el contexto de la economía circular.

Tabla 2. Composición química aproximada de la cáscara plátano verde

Componentes	Cáscara de plátano verde
Materia seca %	14,06
Materia orgánica %	91,19
Proteína cruda %	7,93
Fibra bruta %	5,85
Extracto etéreo %	5,02
Extractos libres de nitrógeno %	72,4
Cenizas %	8,82
Energía bruta, kcal 100 g MS ⁻¹	378,15

Fuente: (Benítez Meza et al., 2020)

1.1.4 Contenedores biodegradables

Los materiales biodegradables representan una fracción pequeña dentro del mercado global de envases, en comparación con aquellos derivados del petróleo. Para que el proceso de biodegradación ocurra eficazmente, se requieren condiciones específicas de humedad, temperatura y presencia de microorganismos (**Flores Pérez, 2021**). Los envases biodegradables se elaboran a partir de materias primas orgánicas y renovables como la cáscara de plátano verde, la cascarilla de arroz y las hojas de plátano. Una vez desechados, estos materiales pueden transformarse en biomasa y nutrientes, lo que los convierte en alternativas sostenibles frente a los plásticos convencionales (**Maheswari et al., 2021**)

Los envases producidos a partir de subproductos agrícolas han ganado protagonismo por su disponibilidad, rentabilidad y propiedades mecánicas favorables. Entre estos materiales se destacan el almidón de plátano, la yuca, la celulosa y las legumbres. La degradación de estos productos, mediante la acción de microorganismos, puede ocurrir entre uno y tres años, dependiendo de las condiciones ambientales (**Agarwal et al., 2023**).

Malambo Tapia et al., (2022) desarrollaron platos hondos biodegradables a partir de hojas de plátano-cachaco, utilizando vinagre (2 %), agua, bicarbonato de sodio y almidón de yuca. El producto final tuvo una vida útil de 75 días y un costo accesible, lo que facilita su comercialización.

De manera similar, **Castillo et al., (2015)** elaboraron platos biodegradables extrayendo almidón de cáscara de plátano, mediante secado, trituración, tamizado y mezclado con ingredientes como vinagre, glicerina y agua. El producto resultante mostró propiedades mecánicas satisfactorias, destacando por su flexibilidad y resistencia. **Rizwana Beevi et al., (2020)** reportaron que los platos biodegradables tienen un período de degradación de entre 45 y 90 días. El almidón es ampliamente utilizado como materia prima debido a su bajo costo, carácter renovable, viabilidad económica y propiedades fisicoquímicas.

Por su parte, **Shaikh et al., (2021)** desarrollaron un empaque biodegradable a partir de cáscara de banano, diseñado para el almacenamiento y comercialización de banano deshidratado. Este tipo de empaque mantiene características esenciales como la resistencia y la protección del producto, reduciendo así el uso de plásticos convencionales en la industria.

1.1.5 Proceso de Elaboración de un Contenedor Biodegradable

El proceso de obtención de contenedores biodegradables a partir de residuos vegetales, como la cáscara de plátano verde, comprende cuatro etapas principales: secado, triturado, mezclado con aditivos naturales y moldeado térmico. Estas etapas permiten obtener productos biodegradables con propiedades mecánicas adecuadas para la fabricación de bandejas, envases y utensilios (**Quispe Maquera, 2022**)

A pesar del alto contenido de humedad presente en la cáscara de plátano, un procesamiento adecuado mejora las propiedades del material final, resultando en bioplásticos funcionales y competitivos frente a los plásticos derivados del petróleo

La fabricación de bioplásticos a partir de residuos de plátano no solo contribuye a la reducción de la contaminación ambiental, sino que también representa una alternativa agroindustrial sostenible para el país (**Haro Velastegui et al., 2017**)

1.1.6 Propiedades de los Contenedores Biodegradables

1.1.6.1 Propiedades Mecánicas

Las propiedades mecánicas de los contenedores elaborados con componentes del plátano verde, como la resistencia a la tracción, dependen tanto de la composición como del método de procesamiento. La cáscara y la pulpa contienen almidón, celulosa, lignina y hemicelulosa, los cuales contribuyen a la integridad estructural del biocontenedor (**Devilla et al., 2014**).

Sakthivel & Rajendran (2014) indican que estos contenedores alcanzan una resistencia a la tracción entre 3.5 MPa y 4.2 MPa, dependiendo de la formulación y del tratamiento térmico. En comparación, los plásticos convencionales tienen una resistencia a la tracción de entre 10 y 20 MPa, lo que sugiere que los materiales basados en plátano son adecuados para aplicaciones ligeras.

Lora et al., (2022) señalan que variables como la temperatura de secado, el tiempo de mezclado y la técnica de moldeo afectan significativamente las propiedades mecánicas del producto final. El moldeo por compresión térmica a temperaturas entre 120 °C y 140 °C favorece la compactación de las fibras y del almidón, incrementando la resistencia.

Jiang et al., (2020) advierten que los materiales con base en almidón son sensibles a la humedad, lo cual incrementa la permeabilidad al vapor de agua y reduce su resistencia en ambientes húmedos. **Vargas Torres et al., (2017)** proponen el uso de técnicas de procesamiento que mejoren estas propiedades y reduzcan la sensibilidad al agua, manteniendo la facilidad de manufactura y el control del espesor del material.

Según la Norma ISO 527 la resistencia a la tracción es un parámetro esencial para evaluar la durabilidad de materiales plásticos y biodegradables. Un equilibrio

adecuado entre resistencia y flexibilidad es crucial para el diseño de envases funcionales y sostenibles (**International Organization for Standardization, 2019**).

1.1.6.2 Propiedades funcionales

Fan et al., (2022) evaluaron el efecto de la concentración de almidón de ñame (5 – 10 %), del plastificante (10 – 50 %) y de la temperatura de procesamiento (150 – 160 °C) sobre la solubilidad y absorción de agua de los contenedores. Encontraron que mayores niveles de almidón y glicerol aumentaron la solubilidad, mientras que la temperatura también influía en la absorción.

Samir et al., (2022) concluyeron que la humedad relativa, el tipo de plastificante y su concentración afectan el coeficiente de solubilidad y la permeabilidad al vapor de agua. La resistencia al agua se mide mediante la cantidad absorbida por el material tras su inmersión en agua durante un tiempo determinado.

Montoya Cedeño et al., (2022) reportaron que el contenido de almidón influye directamente en la absorción de agua, con diferencias estadísticamente significativas entre tratamientos **Oliveira Reis et al., (2017)**) destacaron que una alta absorción compromete la integridad estructural del empaque, especialmente para alimentos con alto contenido de humedad.

En cuanto a la resistencia térmica, esta depende del tipo de material utilizado. Por ejemplo, el ácido poliláctico (PLA) puede deformarse a temperaturas superiores a 60–70 °C (**Iewkittayakorn et al., 2020**). De tal manera **Sasig Andrade, (2022)** en un estudio con almidón de achira, evidenció que los platos elaborados resistieron 20 minutos a 100 °C sin deformación, aunque no respondieron favorablemente al calentamiento en microondas debido a la baja retención de humedad.

1.1.6.3 Propiedades microbiológicas

Cada año, se estiman alrededor de dos mil millones de casos de diarrea a nivel mundial, de los cuales un 70 % están relacionados con alimentos y agua contaminados por microorganismos o sus toxinas. Las enfermedades transmitidas por alimentos (ETA) son un problema de salud pública importante (**Caro Hernández & Tobar, 2019**)

Suescún Carrero & Ávila Panche,(2017) detectaron en utensilios de cocina recuentos elevados de mesófilos aerobios, coliformes totales y fecales, lo que revela la ausencia de prácticas adecuadas de limpieza.

Por ello, es esencial garantizar que los materiales destinados al contacto con alimentos, incluidos los biodegradables, cumplan con estándares microbiológicos. **Arguello & Albuja, (2021)** recomiendan analizar Enterobacterias, *Escherichia coli*, coliformes fecales, *Listeria monocytogenes*, mohos, levaduras, *Salmonella* spp., *Pseudomonas aeruginosa*, *Staphylococcus aureus* y *Vibrio cholerae*. Estas determinaciones deben realizarse en todos los utensilios alimentarios, sean de cerámica, plástico o biodegradables, siguiendo la Guía Técnica MINSA 461 para análisis de superficies en contacto con alimentos y bebidas (**MINSA, 2007**)

1.2 Objetivos

1.2.1 Objetivo General

- Evaluar las propiedades mecánicas, funcionales y microbiológicas de contenedores biodegradables elaborados a partir de los recursos agroindustriales infrautilizados por la industria bananera.

1.2.2 Objetivos específicos

- Analizar la resistencia a la tracción de los contenedores biodegradables.
- Evaluar la solubilidad y la capacidad de absorción de agua como propiedades funcionales de los contenedores biodegradables.
- Estimar la carga microbiana presente en la superficie de los contenedores biodegradables.

2 CAPÍTULO II.- METODOLOGÍA

2.1 Materiales

2.1.1 Materiales de laboratorio

- Vasos de precipitado de 100ml
- Vasos de precipitado de 250ml
- Probeta de 100 ml
- Micropipeta de 1 μ l
- Caja de puntas 1 μ l
- Rollo de toallas absorbentes
- Rollo de papel de aluminio
- Espátula de acero
- Cajas Petri
- Crisol de porcelana
- Pipeta plástica
- Caja de bolsas plásticas resellables
- Termómetro
- Desecador
- Cuchillo
- Matraz

2.1.2 Equipos

- Ultraturrax
- Estufa
- Balanza analítica
- Microondas
- Deshidratador
- Placa de calentamiento magnético
- Autoclave
- Cámara de flujo laminar
- Incubadora
- Homogenizador

- Contador de colonias

2.1.3 Reactivos

- Agua destilada
- Agar papa dextrosa
- APT
- Agares coliformes
- Agar *Salmonella*
- Agar mohos y levaduras
- Agar *Staphylococcus aureus*
- Alcohol
- Glicerol

2.2 Métodos

2.2.1 Elaboración de contenedores biodegradables a partir de harina de plátano verde

2.2.1.1 Obtención de la harina gelatinizada

La harina gelatinizada de pulpa de plátano verde se obtuvo mediante la mezcla homogénea de agua y harina en una proporción 65:35. Para ello, se vertieron 650 mL de agua y 350 g de harina en un vaso de precipitación, y se agitó manualmente hasta eliminar completamente los grumos. Posteriormente, la mezcla se calentó entre 60 y 80 °C bajo agitación constante, hasta alcanzar una consistencia uniforme. Finalmente, se dejó enfriar a temperatura ambiente para su posterior uso.

2.2.1.2 Elaboración del contenedor biodegradable

Para la preparación del biocontenedor se siguió la metodología desarrollada por (Méndez López, 2024), para ello se mezclaron 100 g de harina gelatinizada de pulpa de plátano verde, 45 g de harina de cáscara de plátano verde y 12 g de glicerol, hasta formar una masa homogénea con forma esférica. La conformación del plato se realizó mediante una máquina de termocompresión de la Facultad de Ingeniería Civil y Mecánica.

La máquina se calibró a una presión de 9 MPa y una temperatura inicial de 190 °C. Una vez alcanzada la temperatura, se aplicó un desmoldante a base de aceite sobre el molde para evitar adherencias. La masa se colocó en el molde y se aplicó una presión ligera durante 30 segundos a 190 °C. Luego, se redujo la temperatura gradualmente hasta un rango de 155–160 °C, manteniéndose en ese nivel durante 4 segundos.

A continuación, se realizó un doble secado del producto: el primero, en la misma máquina a temperatura ambiente durante 25 minutos, y el segundo, en un deshidratador a 140 °C durante 1 hora. Finalmente, los contenedores fueron almacenados a temperatura ambiente hasta su evaluación.

2.2.2 Análisis de las propiedades mecánicas de resistencia a la tracción de los contenedores biodegradables

2.2.2.1 Resistencia a la tracción

El espesor se midió según el protocolo descrito por **Martínez et al., (2015)** utilizando un micrómetro digital con rango de 0–12,7 mm y sensibilidad de 0,001 mm. Se realizaron quince mediciones aleatorias por placa para calcular el área transversal requerida para el ensayo de tracción.

El ensayo se llevó a cabo conforme a la norma ISO 527 sobre plásticos, la cual establece los procedimientos para la evaluación mecánica de materiales plásticos (**International Organization for Standardization, 2019**) Se recortaron tres muestras rectangulares de 250 mm de largo por 25 mm de ancho, y se acondicionaron durante 48 horas a 23 °C y 50 % de humedad relativa.

El ensayo se efectuó utilizando un texturómetro TX 100 Brookfield (EE. UU.) y la Máquina Universal de Ensayos WAW600B con una velocidad de deformación de 1 a 500 $\frac{mm}{min}$, conforme a la norma.

La resistencia a la tracción (σ) se calculó mediante la fórmula::

$$\sigma = \frac{F}{A}$$

Donde:

σ = Resistencia a la tracción (MPa o psi)

F = Fuerza máxima aplicada antes del impacto (N o lb)

A = Área transversal de la muestra (mm²)

2.2.2.2 Resistencia al calor

Cinco muestras (A–E), de 50 × 14 mm y 3 mm de espesor, fueron sometidas a distintos tratamientos térmicos. Las muestras A y B fueron expuestas a 100 °C durante 20 y 40 minutos, respectivamente, en horno convencional. Las muestras C y D fueron tratadas con microondas durante 2 y 4 minutos. La muestra E no recibió tratamiento térmico y fue usada como muestra control.

Tras la prueba, se pesaron y midieron nuevamente todas las muestras para identificar cambios físicos conforme al procedimiento (Devilla et al., 2014)

2.2.3 Evaluación de las propiedades funcionales solubilidad y absorción de agua de los contenedores biodegradables.

2.2.3.1 Solubilidad en agua (resistencia al agua)

La evaluación de la solubilidad se realizó por triplicado, siguiendo el protocolo de **Kaisangsri et al., (2012))**. Se emplearon muestras de 3×3 cm, previamente pesadas (P_i). Estas se sumergieron en agua destilada con agitación constante durante 1 hora a 20°C . El residuo sólido fue filtrado y secado en estufa a 105°C hasta peso constante (P_f). La solubilidad del material se calculó aplicando la siguiente fórmula:

$$\% \text{ solubilidad} = \frac{P_i - P_f}{P_i} \times 100$$

Los ensayos se repitieron tres veces por condición experimental con el objetivo de garantizar la reproducibilidad y confiabilidad de los resultados.

2.2.3.2 Absorción de agua

La prueba siguió la metodología de (Oliveira Reis et al., 2017) Tres muestras (25×25 mm, espesor de 3,3 mm) fueron pesadas (P_1). La primera se expuso a agua a 21°C , la segunda a 75°C , ambas durante 30 minutos. La tercera fue control.

Después, se secaron superficialmente y se obtuvo el peso final (P_2), aplicando la fórmula:

$$\% \text{ absorcion de agua} = \frac{P_2 - P_1}{P_1} \times 100$$

Los resultados se analizaron estadísticamente (media, desviación estándar) para evaluar la reproducibilidad y el efecto de la temperatura.

2.2.4 Estimación de la carga microbiana de los contenedores biodegradables

El análisis microbiológico se realizó siguiendo la norma (MINSA, 2007) dirigida al análisis de superficies en contacto con alimentos. Se evaluaron coliformes totales, *Salmonella spp.*, *Staphylococcus aureus*, mohos y levaduras.

El muestreo se efectuó mediante la técnica de arrastre, utilizando un hisopo estéril previamente humedecido en solución salina peptonada al 0,1 %. El hisopado se realizó sobre una superficie definida del contenedor. Posteriormente, los hisopos fueron colocados en tubos estériles manteniéndose bajo refrigeración hasta su análisis. Los análisis se llevaron a cabo en los laboratorios de la UODIDE de la Facultad de Ciencia e Ingeniería en Alimentos y Biotecnología de la Universidad Técnica de Ambato.

Para el recuento de microorganismos se utilizaron medios de cultivo específicos:

Agar Platte Count para el recuento de bacterias mesófilas.

Agar Sabouraud para el crecimiento de mohos y levaduras.

Las condiciones de incubación fueron ajustadas según el tipo de microorganismo:

Bacterias mesófilas: incubación a 30 – 37 °C durante 24–48 horas.

Mohos y levaduras: incubación a 25 – 28 °C durante 3–5 días.

2.2.5 Análisis estadístico

Al disponer únicamente de una muestra y varios parámetros medidos por triplicado (como solubilidad, absorción, espesor, etc.), se realizó estadística descriptiva: media, desviación estándar y coeficiente de variación por parámetro, utilizando Excel ®

3 CAPÍTULO III.- RESULTADOS Y DISCUSIÓN

3.1 Análisis y discusión de resultados

Los platos obtenidos (Fig. 1) y utilizados para los distintos ensayos alcanzaron un espesor de $0,48 \text{ cm} \pm 0,062$. Estos resultados fueron similares a los obtenidos en materiales termoformados a partir de almidón ($0,35\text{-}0,39 \text{ cm}$) (Ferreira et al., 2020).

3.1.1 Análisis de resistencia a la tracción de los contenedores Biodegradables

3.1.1.1 Resistencia al Calor

Como se muestra en la Tabla 3, las muestras A y B fueron sometidas a tratamiento térmico en horno a 100°C durante 20 y 40 minutos, respectivamente. Ambas muestras no presentaron deformaciones visibles y la pérdida de peso fue mínima, lo que evidencia que el material posee una adecuada resistencia térmica a elevadas temperaturas (ver Figura. 1).

Tabla 3. Resultados obtenidos de la prueba de Resistencia al Calor en Contenedores Biodegradables

Muestra	Tiempo y Temperatura	Equipo	Peso Inicial (g)	Peso Final (g)	Observaciones
A	t: 20 minutos	Horno	2.57	2.52	No presentaron deformaciones
	T: 100°C				
B	t: 40 minutos	Horno	2.70	2.65	No presentaron deformaciones
	T: 100°C				
C	t: 2 minutos	Microondas	2.43	2.05	A tiempo mayor de 30 segundos existe deformación.
	T: 100°C				
D	t: 4 minutos	Microondas	2.46	2.01	El material se deforma y pierda la estructura
	T: 100°C				
E	Muestra Control, Contenedor Biodegradable con un color natural marrón claro y su superficie lisa o ligeramente rugosa.				

Fuente: (Ulloa, 2025)

Según diversos autores como (**Moreira Carrión, 2013; Sasig Andrade, 2022**) indican que la resistencia al calor de los platos biodegradables varía en función del tipo de material utilizado. Por ejemplo, aquellos elaborados a partir de bagazo de trigo o caña pueden soportar temperaturas de hasta 105 °C, manteniendo su integridad estructural durante su uso en aplicaciones calientes (**Arguello Dueñas & Torres Cabrera, 2021**).

Las muestras C y D fueron sometidas a calentamiento en horno microondas durante 2 y 4 minutos, respectivamente. Ambas presentaron quemaduras superficiales, pérdida de peso y deformaciones estructurales (Figura 1). Aunque la temperatura promedio alcanzada en un microondas es de aproximadamente 100 °C, estos resultados contrastan con los obtenidos para las muestras A y B, lo que permite inferir que el mecanismo de calentamiento influye significativamente en la respuesta térmica del material.

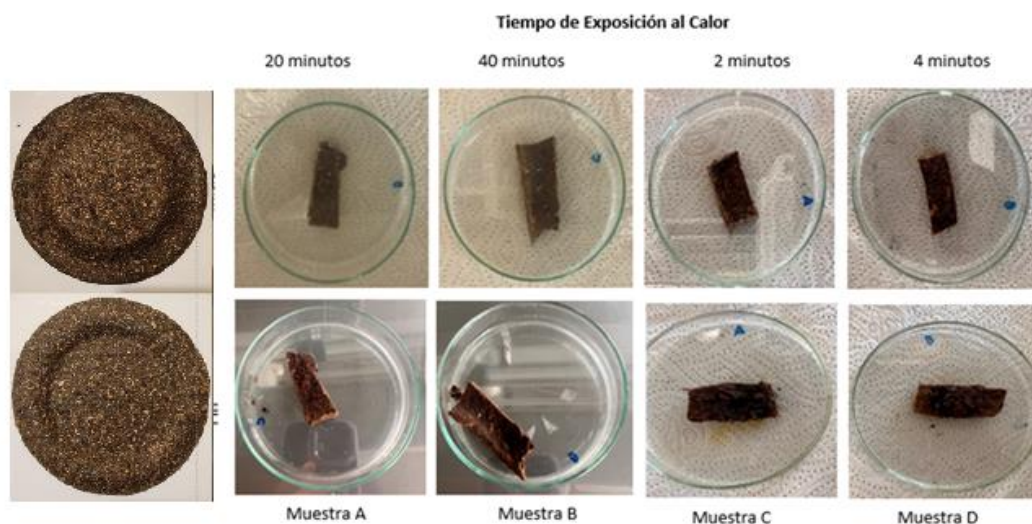


Figura 1. Recopilación fotográfica del ensayo de Resistencia al Calor (Muestras A, B, C, D,)

Según **Sasig Andrade, (2022)**, las quemaduras observadas se deben a que el microondas calienta directamente las moléculas de agua presentes en los alimentos, y este calor se transfiere al resto de la estructura. En el caso del material compuesto utilizado en este estudio, el bajo contenido de humedad resultante del proceso de secado y la ausencia de alimento en su interior provocaron un sobrecalentamiento localizado, causando su deterioro.

Por su parte, **Arguello Dueñas & Torres Cabrera, (2021)** señalan que algunos envases biodegradables, especialmente los de origen vegetal, solo resisten temperaturas de hasta 45 – 50 °C en microondas, antes de presentar alteraciones físicas. En este sentido, los platos biodegradables elaborados a partir de plátano verde muestran una resistencia térmica limitada, dependiendo del tipo de material, el proceso de secado, y la incorporación de aditivos. Por tanto, su uso es más adecuado para el envasado de alimentos fríos o a temperatura ambiente.

3.1.1.2 Resistencia a la Tracción

La resistencia a la tracción de los platos biodegradables depende tanto del tipo de material base como de las modificaciones estructurales y composicionales aplicadas durante su elaboración. **Cabrera-Guevara et al., (2023)** los bioplásticos presentan, en general, una resistencia mecánica inferior a la de los plásticos convencionales; no obstante, esta puede ser incrementada mediante la incorporación de refuerzos o el uso de tratamientos específicos.

Iewkittayakorn et al., (2020) reportaron que bioplásticos elaborados con almidón de yuca alcanzaron una resistencia a la tracción de 3,3 MPa, la cual se incrementó hasta 14,3 MPa al adicionarse celulosa. Estos resultados demuestran que es posible lograr propiedades mecánicas comparables o incluso superiores a las de algunos polímeros sintéticos, especialmente cuando se incorporan plastificantes o refuerzos como nanoarcillas.

En el caso de bioplásticos obtenidos a partir de plátano verde, **Espina et al., (2016)** reportaron valores de resistencia a la tracción entre 2,63 y 4,82 MPa en formulaciones a base de cáscara de plátano y almidón de maíz. Sin embargo, en el presente estudio no fue posible determinar este parámetro, ya que los platos elaborados presentaron una resistencia superior al rango máximo de medición del equipo disponible, el cual alcanza hasta 10 MPa. Esto sugiere que el material desarrollado exhibe una resistencia mecánica significativamente alta, superior a la observada en estudios previos, lo que representa una ventaja importante en términos de durabilidad y aplicabilidad industrial.

3.1.2 Evaluación de la solubilidad y la capacidad de absorción de agua como propiedades funcionales de los contenedores biodegradables

3.1.2.1 Solubilidad en Agua

La evaluación de la solubilidad de los platos biodegradables permite verificar que el material conserve su funcionalidad durante el uso, y que sea susceptible a la degradación al finalizar su vida útil. En este estudio, como se muestra en la Tabla 4, se obtuvo un valor promedio de solubilidad del 36,83 % en condiciones controladas (ver Figura 2).

Tabla 4. Índice de Solubilidad en Agua de Contenedores Biodegradables

Replicas	A1	A2	A3	Promedio
	%	%	%	%
T. Ambiente	36,01	36,65	37,83	36,83 ± 0,92

Fuente: (Ulloa, 2025)

En investigaciones previas, **Devilla et al., (2014)** reportaron valores de solubilidad entre 15 % y 18 % para platos elaborados con almidón combinado con fibras lignocelulósicas. Por su parte, **Montoya Cedeño et al., (2022)** evaluaron bandejas formuladas con almidón de papa y tusa de maíz, obteniendo un valor de 21 % de solubilidad. Este menor porcentaje se atribuyó a una formulación optimizada con un mayor contenido de fibras, lo cual sugiere que, a mayor proporción de componentes lignocelulósicos, menor es la solubilidad del material final.

De forma concordante, **Cubilla et al., (2020)** señalaron que la incorporación de fibras de cáscara de plátano en bioplásticos a base de almidón de maíz redujo la solubilidad a aproximadamente 20 %, debido al efecto estructural de las fibras que refuerzan la matriz polimérica y limitan su disolución en agua. En este contexto, un menor porcentaje de solubilidad está asociado con una mayor resistencia al agua.

Aunque en el presente estudio no se alcanzaron los valores esperados, se identificó que el porcentaje relativamente elevado de solubilidad puede optimizarse mediante ajustes en la formulación, particularmente incrementando el contenido de fibra. Así, se

proyecta que, con un mayor porcentaje de aditivos lignocelulósicos, el comportamiento frente al agua podría mejorar significativamente (**Dos Reis et al., 2014**)

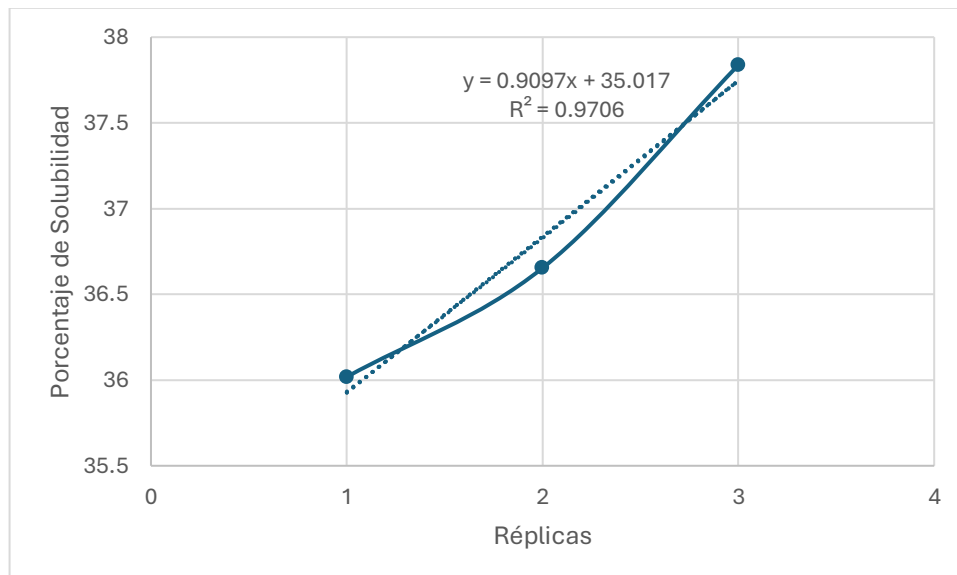


Figura 2. Ensayo de Solubilidad en Agua, para Contenedores Biodegradables de Plátano Verde

Nota. El gráfico de dispersión para ilustrar la tendencia de solubilidad en agua se realizó mediante una hoja de cálculo en Excel.

3.1.2.2 Absorción en agua

Como se observa en la Tabla 5, los contenedores presentaron un porcentaje de absorción de agua de 54,55 % a temperatura ambiente y de 52,85 % a 75 °C. Este parámetro es especialmente relevante en materiales biodegradables elaborados a base de almidón, debido a la baja hidrofobicidad inherente de este polisacárido. La absorción de humedad puede comprometer tanto la resistencia mecánica como la estabilidad estructural del producto durante su uso (**Dos Reis et al., 2014**).

Tabla 5. Índice de Absorción en Agua en Contenedores Biodegradables

Replicas	A1	A2	A3	Promedio
	(%)	(%)	(%)	(%)
T. Ambiente	54,35	54,49	54,81	54,55±0,23
T. 75 °C	56,28	52,47	49,80	52,85±3,25

Fuente: (Ulloa, 2025)

En la Figura 3, se aprecia que el plato que se mantuvo a temperatura ambiente no presentó alteraciones visibles. Sin embargo, a 75 °C se evidenciaron signos de debilitamiento estructural. Según **Miglioranza et al., (2021)** este comportamiento se explica por la baja resistencia al agua del almidón. A temperaturas elevadas, el agua penetra más fácilmente en la matriz del material, provocando hinchamiento, reblandecimiento y pérdida de cohesión interna, lo que compromete la integridad del contenedor biodegradable.



Figura 3. Muestras del Contenedor Biodegradable Después del Ensayo de Absorción en Agua.

Souza Gomes et al., (2017) evaluaron contenedores elaborados con cáscara de plátano verde, reportando porcentajes de absorción entre 15 % y 40 %, inferiores a los observados en este estudio (Figura 4). El análisis que realizan en su estudio **Medeiros Silva et al., (2020)** esta diferencia puede atribuirse al uso de aditivos en la formulación, muestras compuestas exclusivamente por cáscara de plátano alcanzaron niveles de absorción del 45 % al 50 %, lo que refleja la alta permeabilidad del material en estado puro. No obstante, al incorporar plastificantes, la absorción disminuye de forma moderada, debido a una mayor cohesión entre partículas y una mejor estructura interna

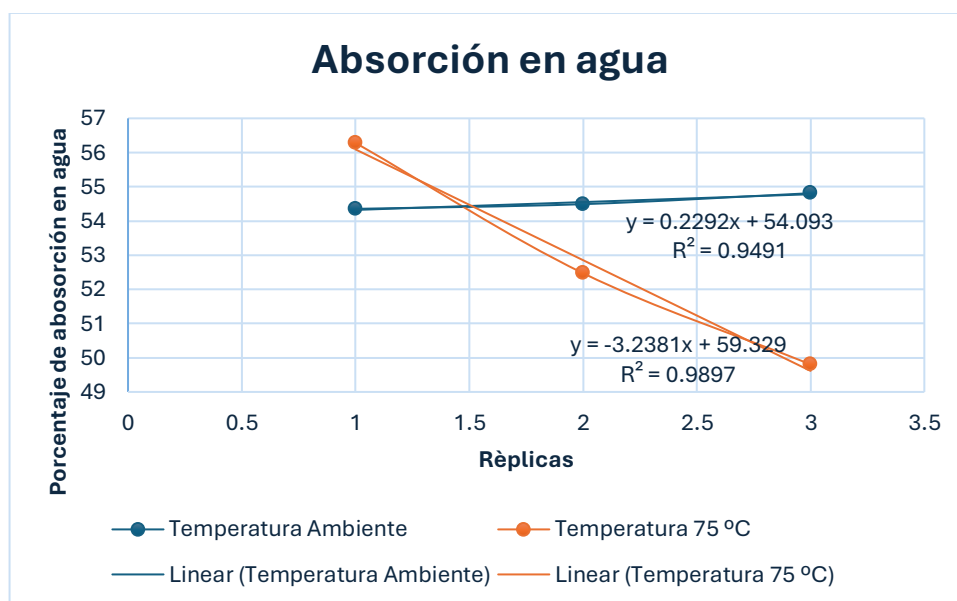


Figura 4. Ensayo de Absorción en Agua para Contenedores Biodegradables de Plátano Verde

Nota. El gráfico de dispersión para ilustrar la tendencia de absorción en agua se realizó mediante una hoja de cálculo en Excel.

3.1.3 Calidad microbiológica de los contenedores biodegradables

Durante el análisis microbiológico se evaluó el crecimiento de microorganismos a distintos niveles de dilución. Se detectó la presencia de *Staphylococcus aureus* (A) con una carga de 1100 UFC/g y coliformes totales (B) con una carga microbiana de 60 UFC/g, lo que sugiere una leve contaminación ambiental, posiblemente asociada a contaminación cruzada entre la elaboración o manipulación del material.

La ausencia de *Salmonella* y de mohos y levaduras, es un resultado favorable ya que estos son indicadores de contaminación, la *Salmonella* es considerada uno de los patógenos transmitidos por alimentos muy importante, y su no detección cumple con los criterios de seguridad microbiológica exigidos por el *Códex Alimentarius*. Del mismo modo, la ausencia de mohos y levaduras indican que el material no presenta condiciones de humedad, o nutrientes suficientes para la proliferación de hongos, lo que es positivo en términos de estabilidad durante su almacenamiento. Estos resultados indican que el material utilizado en la fabricación de los contenedores presenta baja susceptibilidad a la proliferación bacteriana, lo que es esencial para evitar posibles contaminaciones durante su uso.

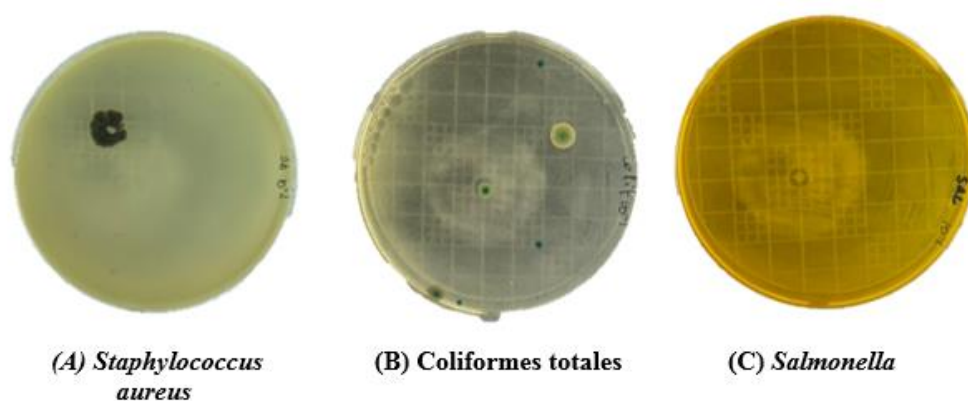


Figura 5. Estimación Microbiana del contenedor Biodegradable

De acuerdo con **Arguello & Albuja, (2021)**, prevenir el crecimiento microbiano en superficies de contacto con alimentos es fundamental, ya que puede comprometer tanto la integridad estructural del material como la seguridad del contenido almacenado. En caso de ser necesario, se recomienda la incorporación de tratamientos antimicrobianos o aditivos naturales con capacidad inhibidora del desarrollo microbiano.

Un análisis microbiológico riguroso garantiza que el contenedor es seguro para su uso, incluso en condiciones que favorecen el crecimiento de microorganismos, como la alta humedad y las temperaturas moderadas. La ausencia de crecimiento en las diluciones más altas no solo evidencia resistencia microbiana externa, sino también una degradabilidad controlada, lo que permite una descomposición eficiente sin generar residuos que favorezcan la proliferación de organismos patógenos.

Kim et al., (2023) señalan que la presencia de microorganismos no siempre está relacionada con contaminación directa, sino que puede depender de los niveles de desintegración física en superficies orgánicas o inorgánicas, lo cual puede influir en la colonización microbiana.

Por otro lado, las condiciones de procesamiento del material también desempeñan un papel crucial. El proceso de termocompresión aplicado durante la fabricación, a 110 °C durante 10 segundos, así como las propiedades inherentes de las materias primas utilizadas (harina de pulpa y cáscara de plátano verde), reducen significativamente la probabilidad de contaminación microbiológica.

No obstante, debe considerarse que las variaciones en los resultados pueden atribuirse a las condiciones posteriores al moldeo, particularmente durante las etapas de deshidratación y enfriamiento, las cuales no se realizaron en ambiente estéril, lo que podría permitir una contaminación secundaria superficial.

4 CAPÍTULO IV. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

4.1 CONCLUSIONES

- La evaluación integral de las propiedades mecánicas, funcionales y microbiológicas de los contenedores biodegradables elaborados a partir de recursos agroindustriales infrautilizados por la industria bananera permitió confirmar su viabilidad como alternativa sostenible a los plásticos convencionales. Los resultados obtenidos evidenciaron que el material presenta una resistencia mecánica aceptable, comportamiento funcional adecuado, y una calidad microbiológica óptima, lo que respalda su potencial uso en aplicaciones alimentarias y de contacto directo con productos sensibles.
- En relación con la resistencia a la tracción, los contenedores mostraron propiedades que, aunque no pudieron ser cuantificadas con exactitud por las limitaciones del equipo, superaron el umbral de 10 MPa, lo cual indica un desempeño superior a otros bioplásticos reportados en la literatura. Esto demuestra que la combinación de harina de pulpa y cáscara de plátano verde puede generar materiales con alta integridad estructural.
- El estudio de la resistencia térmica demostró que los contenedores son estables a temperaturas moderadas (hasta 100 °C en horno convencional), sin presentar deformaciones significativas. No obstante, cuando se exponen a microondas, el material sufre degradaciones físicas como quemaduras y pérdida de forma, debido a su bajo contenido de humedad y la naturaleza del calentamiento por microondas. Esto indica que los contenedores son adecuados para alimentos fríos o a temperatura ambiente, pero requieren optimización para resistir ambientes térmicos más exigentes.
- En relación con las propiedades funcionales, los resultados de solubilidad y absorción de agua indican una moderada interacción con la humedad, derivada de la naturaleza hidrofílica del almidón y la ausencia de refuerzos con alto contenido de fibra. Sin embargo, se evidenció que estos valores pueden reducirse mediante la optimización de la formulación, especialmente incrementando la proporción de fibras lignocelulósicas, lo cual permitiría mejorar la resistencia a la disolución y prolongar la durabilidad del producto.

- El análisis microbiológico evidenció una carga microbiana superficial prácticamente nula, incluso en las primeras diluciones, lo que indica que los contenedores ofrecen seguridad microbiológica adecuada para su uso en entornos alimentarios. La ausencia de crecimiento de *Staphylococcus aureus*, coliformes y otros microorganismos a partir de la dilución 10^{-3} confirma que el proceso de termocompresión y las materias primas utilizadas favorecen la inocuidad del producto final.

4.2 RECOMENDACIONES

- Aunque los resultados del estudio demostraron la viabilidad de fabricar contenedores biodegradables a partir de subproductos del plátano verde, se recomienda mantener el uso de un plastificante natural, como la glicerina, en proporciones controladas, con el objetivo de mejorar la flexibilidad, resistencia a la tracción y durabilidad estructural del material final.
- Considerando que la absorción de agua y aceite afecta negativamente la estabilidad física del contenedor, se sugiere incrementar la presión de compactación durante el proceso de moldeo térmico. Esta acción permitiría reducir la porosidad interna, mejorar la cohesión de la matriz polimérica y, en consecuencia, aumentar su resistencia frente a medios líquidos y oleosos.
- Dado que los contenedores presentaron buen comportamiento térmico en horno convencional, pero una notable degradación estructural al ser expuestos al microondas se recomienda incorporar en el etiquetado o empaque una advertencia clara sobre su no aptitud para uso en microondas, a fin de garantizar un uso seguro y conforme a sus propiedades térmicas reales.
- Finalmente, para disponer de más información sobre la funcionalidad del producto en contacto con alimentos grasos, se recomienda explorar esta propiedad y su efecto en el comportamiento mecánico y sensorial del contenedor.

C. MATERIALES DE REFERENCIA

Referencias Bibliográficas

- Agarwal, A., Shaida, B., Rastogi, M., & Singh, N. B. (2023). Food Packaging Materials with Special Reference to Biopolymers-Properties and Applications. *Chemistry Africa*, 6(1), 117–144. <https://doi.org/10.1007/S42250-022-00446-W>
- Arguello Dueñas, A. G., & Torres Cabrera, K. L. (2021). *DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN DE UN EQUIPO DE MOLDEO TÉRMICO PARA LA ELABORACIÓN DE PLATOS BIODEGRADABLES A PARTIR DEL BAGAZO DE LA CAÑA DE AZÚCAR (Saccharum officinarum)*” [Trabajo de Titulación, Escuela Superior Politécnica de Chimborazo]. <https://dspace.esPOCH.edu.ec:8080/server/api/core/bitstreams/447d9b7f-4ee8-4471-ba7d-a64df77aad76/content>
- Arguello, P., & Albuja, A. (2021). Inocuidad De Los Alimentos Expendidos En La Vía Pública Una Revisión Sistemática. *Perfiles*, 1(26), 34–47. <https://doi.org/10.47187/perf.v1i26.133>
- Benítez Meza, J. A., Borrayo González, J. J. F., Hernández Ballesteros, J. A., & De La Cruz Moreno, C. O. (2020). Evaluación nutricional de la cáscara de plátano Tabasco y su efecto productivo en la alimentación de conejos Nueva Zelanda. *Educateconciencia*, 27(28), 56–66. <https://doi.org/10.58299/edu.v27i28.256>
- Cabrera-Guevara, C., Diaz-Idrogo, Y., Diaz-Diaz, E., Gamboa-Alarcón, P. W., Naik, A. S., Suryawanshi, D., Kumar, M., & Waghmare, R. (2023). Características de las bandejas biodegradables de almidón de papa (*Solanum phureja*) reforzadas con maíz amarillo (*Zea mays* L.) y tocón de espárrago blanco (*Asparagus officinalis*). *Revista Amazónica de Ciencias Ambientales y Ecológicas*, 2(1), e430. <https://doi.org/10.51252/reacae.v2i1.430>
- Caro Hernández, P. A., & Tobar, J. A. (2019). Análisis microbiológico de superficies en contacto con alimentos. *Entramado*, 16(1), 240–249. <https://doi.org/10.18041/1900-3803/entramado.1.6126>

- Castillo, R., Escobar, E., Fernández, D., Gutiérrez, R., Morcillo, J., Núñez, N., & Peñaloza, S. (2015). Bioplástico a Base De La Cáscara Del Plátano. *Revista de Iniciación Científica*, 1(1), 35–37. <https://revistas.utp.ac.pa/index.php/ric/article/view/346%0A>
- Cubilla, K., González, Y., Montezuma, G., Samudio, M., & Gómez, E. (2020). Fibra de coco y cáscara de plátano como alternativa para la elaboración de material biodegradable. *Revista de Iniciación Científica*, 5(2), 15–20. <https://doi.org/10.33412/rev-ric.v5.2.2496>
- Devilla, I., Oliveira, G., Correa, P., Ascheri, D., Souza, A., Servulo, A., & dos Reis, R. (2014). Mechanical properties, permeability and solubility of films composed of yam starch and glycerol. *Interciencia*, 39(6), 410–415.
- Dos Reis, R. C., Devilla, I. A., Oliveira, G. H. H., Corrêa, P. C., Ascheri, D. P. R., Souza, A. B. M., & Servulo, A. C. O. (2014). Mechanical properties, permeability and solubility of films composed of yam starch and glycerol. *Interciencia*, 39(6), 410–415.
- Espina, M., Cruz-Tirado, J. P., & Siche, R. (2016). Propiedades mecánicas de bandejas elaboradas con almidón de especies vegetales nativas y fibras de residuos agroindustriales. *Scientia Agropecuaria*, 7(2), 133–143. <https://doi.org/10.17268/sci.agropecu.2016.02.06>
- Fan, P., Yu, H., Xi, B., & Tan, W. (2022). A review on the occurrence and influence of biodegradable microplastics in soil ecosystems: ¿Are biodegradable plastics substitute or threat? In *Environment International* (Vol. 163). Elsevier Ltd. <https://doi.org/10.1016/j.envint.2022.107244>
- Ferreira, D. C., Molina, G., & Pelissari, F. M. (2020). Biodegradable trays based on cassava starch blended with agroindustrial residues. *Composites Part B: Engineering*, 183(107682). <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.compositesb.2019.107682>
- Flores Pérez, A. (2021). Ecoplatos. Fabricación de platos biodegradables a partir de residuos de la platanera. In *UGCiencia*. chrome-extension://efaidnbmnnnibpcajpcgclefindmkaj/<https://repositorio.usil.edu>.

pe/server/api/core/bitstreams/9026d345-7340-49d7-b3b1-4c87238fd24d/content

- Haro Velastegui, A. J., Borja Arèvalo, A., & Triviño Bloisse, S. Y. (2017). Análisis sobre el aprovechamiento de los residuos del plátano, como materia prima para la producción de materiales plásticos biodegradables. *Dominio de Las Ciencias*, 3(2), 506–525. <https://doi.org/10.23857/dom.cien.pocaip.2017.3.2.esp.506-525>
- Hernandez Gil, L., Caldas Cortez, L., Contreras Lòpez, D., & Jiménez Sànchez, Augusta. (2022). Evaluation of the use of banana pseudostem with thermoplastic corn starch for the elaboration of biodegradable dishes. *Revista Mexicana de Ingeniería Química*, 21(3), 1–17. <https://doi.org/10.24275/rmiq/mat2893>
- Iewkittayakorn, J., Khunthongkaew, P., Wongnoipla, Y., Kaewtatip, K., Suybangdum, P., & Sopajarn, A. (2020). Biodegradable plates made of pineapple leaf pulp with biocoatings to improve water resistance. *Journal of Materials Research and Technology*, 9(3), 5056–5066. <https://doi.org/10.1016/j.jmrt.2020.03.023>
- INEC. (2023). Gestión de residuos sólidos 2022 [dataset]. In *Estadística de información ambiental económica en gobiernos autónomos descentralizados municipales*. <https://www.ecuadorencifras.gob.ec/gad-municipales/>
- International Organization for Standardization. (2019). *SO 527-1:2019 – Plastics – Determination of tensile properties – Part 1: General principles*. <https://www.iso.org/standard/75824.html>
- Jiang, T., Duan, Q., Zhu, J., Liu, H., & Yu, L. (2020). Starch-based biodegradable materials: Challenges and opportunities. In *Advanced Industrial and Engineering Polymer Research* (Vol. 3, Issue 1, pp. 8–18). KeAi Communications Co. <https://doi.org/10.1016/j.aiepr.2019.11.003>
- Kaisangsri, N., Kerdchoechuen, O., & Laohakunjit, N. (2012). Biodegradable foam tray from cassava starch blended with natural fiber and chitosan.

- Industrial Crops and Products*, 37(1), 542–546.
<https://doi.org/10.1016/j.indcrop.2011.07.034>
- Khoozani, A. A., Bekhit, A. E. D. A., & Birch, J. (2019). Effects of different drying conditions on the starch content, thermal properties and some of the physicochemical parameters of whole green banana flour. *International Journal of Biological Macromolecules*, 130, 938–946.
<https://doi.org/10.1016/j.ijbiomac.2019.03.010>
- Kim, R. J., Thelusmond, J.-R., Vurtice C, A., & Chai, Y. (2023). Exploring structure-activity relationships for polymer biodegradability by microorganisms. *Science of The Total Environment*, 890(164338).
<https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2023.164338>.
- Lanza, V. P. F., Medina, M. M. V., & Contreras, G. Á. Q. C. (2022). Almidón obtenido a partir de la cáscara de plátano de adquisición comercial como materia prima para la obtención de bioplástico. *Revista Tecnocientífica URU*, 22(22), 35–49.
<https://ojs2.uru.edu/index.php/tecnocientificauru/article/view/128>
- Lora, E., Anave, A., Iriarte, Y., Pabón, A., Pérez, A., Vidal, P., & Sandalio, A. (2022). Biodegradable Packaging Made from Banana Peels. *Alimentos Ciencia e Ingeniería*, 29(2), 10–20. <https://doi.org/10.31243/aci.v29i2.1843>
- Maheswari, C., Ramya, A. S., Priya, B. M., Sudhahar, S., Prabhu Raj, B., Lokesh, B., & Ramani, G. (2021). Analysis and optimization on the biodegradable plate making process parameters using RSM-based Box–Behnken Design method. *Journal of Material Cycles and Waste Management*, 23(6), 2255–2265. <https://doi.org/10.1007/s10163-021-01290-9>
- Malambo Tapia, L. S., Arias Burgos, A. L., & Moscoso Acosta, F. A. (2022). *Elaboración de platos biodegradables a base de hoja de la planta de Plátano-Cachaco para mejorar la economía del resguardo indígena de Palonegro (Tolima)*. Universidad ECCI.
- Martínez, O., Lapo Calderón, B., Pérez Rodríguez, J., Zambrano Cabrera, C., & Maza Valle, F. (2015). Mecanismo de gelatinização do amido nativo de

- banana exportável do Equador. *Revista Colombiana de Química*, 44(2), 16–21. <https://doi.org/10.15446/rev.colomb.quim.v44n2.55215>
- Mazzeo Meneses, M., Leòn Agatòn, L., Mejía Gutiérrez, L. F., Guerrero Mendieta, L. E., & Botero Lòpez, J. D. (2010). Aprovechamiento Industrial De Residuos. *Asociación Colombiana de Facultades de Ingeniería - ACOFI*, 9, 128–139. <https://doi.org/http://dx.doi.org/10.26507/rei.v5n9.14>
- Medeiros Silva, V. D., Coutinho Macedo, M. C., Rodrigues, C. G., Neris dos Santos, A., de Freitas e Loyola, A. C., & Fante, C. A. (2020). Biodegradable edible films of ripe banana peel and starch enriched with extract of *Eriobotrya japonica* leaves. *Food Bioscience*, 38(September), 100750. <https://doi.org/10.1016/j.fbio.2020.100750>
- Méndez Lòpez, T. S. (2024). Evaluación de la capacidad de biodegradación de contenedores fabricados a partir de recursos agroindustriales infrautilizados de la industria bananera [Tesis de Pregrado]. In *Universidad Técnica de Ambato*. Universidad Técnica de Ambato.
- Miglioranza, B. M. G., Spinelli, F. R., Stoffel, F., & Piemolini-Barreto, L. T. (2021). Biodegradable film for raisins packaging application: Evaluation of physico-chemical characteristics and antioxidant potential. *Food Chemistry*, 365(June), 130538. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2021.130538>
- Ministerio de Comercio Exterior del Ecuador. (2017). Informe Sector Bananero Ecuatoriano. In *Ministerio de Comercio Exterior* (Vol. 53, Issue 9, pp. 1–50). Ministerio de Comercio Exterior. <https://www.produccion.gob.ec/wp-content/uploads/2019/06/Informe-sector-bananero-español-04dic17.pdf>
- MINSA. (2007). *Guía Técnica para el Análisis Microbiológico de Superficies en Contacto con Alimentos y Bebidas*. https://www.sanipes.gob.pe/normativas/8_RM_461_2007_SUPERFICIES.pdf
- Montoya Cedeño, M. A., Espinal Lascano, M. F., Bello Moreira, I. P., Lòpez Zambrano, C. F., Mendoza Cedeño, E. J., Bravo Moreira, C. D., & Lòpez Zambrano, P. I. (2022). Elaboración de bioplásticos a base de cáscara de

- plátano (musa paradisiaca) y almidón de maíz (zea mays). *Ciencia Latina Revista Científica Multidisciplinar*, 6(4), 2385–2401. https://doi.org/10.37811/cl_rcm.v6i4.2763
- Moreira Carrión, K. del P. (2013). • Reutilización de residuos de la Cáscara de Banano (Musa Paradisiaca) y Plátanos (Musa Sapientum) para la producción de alimentos destinados al consumo humano [Tesis de pregrado]. In *Universidad de Guayaquil*. Universidad de Guayaquil.
- Oliveira Reis, M., Bonametti Olivato, J., Bilck, A. P., Zanela, J., Eiras Grossmann, M., & Yamashita, F. (2017). 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>
- Pilco, G., Borja, D., Goetschel, L., Andrade, P., Irazabal, J., Vargas Jentzsch, P., Guil Guerrero, J. L., Rueda Ayala, V., & Ramos, L. A. (2018). Caracterización bromatológica y evaluación de la actividad antimicrobiana en cáscara de banano Ecuatoriano (Musa paradisiaca). *Enfoque UTE*, 9(2), 48–58. <https://doi.org/10.29019/enfoqueute.v9n2.297>
- Quispe Maquera, R. (2022). REAPROVECHAMIENTO DE LAS CÁSCARAS DE PLÁTANO Musa paradisiaca PARA LA ELABORACIÓN DE BIOPLÁSTICO EN EL COLLAO - ILAVE, 2021. In *Universidad Privada San Carlos-Puno* (Vol. 1).
- Rizwana Beevi, K., Sameera Fathima, A., Thahira Fathima, A., Thameemunisa, N., Noorjahan, C., & Deepika, T. (2020). Bioplastic Synthesis Using Banana Peels and Potato Starch and Characterization. *International Journal of Scientific and Technology Research*, 9(1), 1809–1814. www.ijstr.org
- Romero Bonilla, H., Macías Balón, C., Palacios Moreno, A., & Redrovan Pesantez, F. (2019). Estudio cinético de la producción de bioetanol a partir de residuos agroindustriales de la cáscara de banano maduro. *Industrial Data*, 22(1), 187–202. <https://doi.org/10.15381/idata.v22i1.16534>

- Sakthivel, R., & Rajendran, D. (2014). *Investigación Experimental y Análisis A Propiedades Mecánicas de Placas Compuestas de Polímeros Híbridos*. 46–60.
- Samir, A., Ashour, F. H., Hakim, A. A. A., & Bassyouni, M. (2022). Recent advances in biodegradable polymers for sustainable applications. *Npj Materials Degradation*, 6(68). <https://doi.org/10.1038/s41529-022-00277-7>
- Sasig Andrade, A. G. (2022). *MATERIAL COMPUESTO BIODEGRADABLE A BASE DE ALMIDÓN DE ACHIRA POLIMERIZADO CON ACIDO CÍTRICO Y PROTEINA DE LACTOSUERO REFORZADO CON FIBRA DE COCO* [Trabajo de Integración Curricular]. Escuela Politécnica Nacional.
- Shaikh, S., Yaqoob, M., & Aggarwal, P. (2021). An overview of biodegradable packaging in food industry. In *Current Research in Food Science* (Vol. 4, pp. 503–520). Elsevier. <https://doi.org/10.1016/j.crfs.2021.07.005>
- Solórzano Vélez, J. J., Vargas Delgado, M. X., Ponce Saltos, W. H., Rosero Delgado, E. A., & Riera, M. A. (2023). Obtención de plástico biodegradable a partir de almidón de la tusa de maíz (*Zea mays*). *Publicaciones En Ciencias y Tecnología*, 17(1), 19–31. <https://doi.org/https://doi.org/10.5281/zenodo.10155718>
- Souza Gomes, V. L., Fernando, A. L., Afonso Pires, J. R., Freitas Rodrigues, P., Lopes A.S, A., & Braz Fernandes, F. M. (2017). Physical properties of chitosan films incorporated with natural antioxidants. *Industrial Crops and Products*, 107(April), 565–572. <https://doi.org/10.1016/j.indcrop.2017.04.056>
- Suescún Carrero, S., & Avila Panche, S. (2017). Evaluación microbiológica en programas de alimentación escolar en instituciones educativas en el Departamento de Boyacá – Colombia. *Nova*, 15(28), 93–98.
- UNACH. (2024). AGROINDUSTRIA. RESIDUOS AGROINDUSTRIALES. In *UNIVERSIDAD NACIONAL DE CHIMBORAZO* (Vol. 1, Issue 1). <https://doi.org/https://doi.org/10.37135/u.editorial.05.115>

VargasTorres, A., Palma Rodriguez, H. M., Berrios, J. D. J., Glenn, G., Salgado Delgado, R., Olarte, A., Prieto Mendèz, J., & Hernández Uribe, J. P. (2017). Biodegradable baked foam made with chayotextle starch mixed with plantain flour and wood fiber. *Applied Polymer Science*, 45565, 3. <https://doi.org/10.1002/app.45565>