

**UNIVERSIDAD NACIONAL DE SAN
CRISTÓBAL DE HUAMANGA**
FACULTAD DE INGENIERÍA QUÍMICA Y METALURGÍA
**ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA
AGROINDUSTRIAL**



TESIS:

**Aprovechamiento de subproductos agrícolas y celulosa bacteriana
para la obtención de bioespumas**

Para optar el título profesional de:

INGENIERA AGROINDUSTRIAL

PRESENTADO POR:

Bach. Roxana GONZALES ÑAHUI

ASESOR:

Msc. Percy Fermín VELÁSQUEZ CCOSI

COASESORA:

Msc. Leidy Diana MEDINA QUIQUIN

AYACUCHO - PERÚ

2024

DEDICATORIA

Le dedico el resultado de esta investigación a:

A Dios por guiar mis pasos y brindarme la sabiduría en cada paso que doy.

A mis padres Romualda y Mario quienes son los que me inculcaron en cada formación de mi vida a ellos por el esfuerzo que dan por cumplir en cada meta de mi vida, aquellos que me enseñaron a afrontar la vida.

A Cesar por ser mi compañero de vida quien me brinda su apoyo en cada momento y compartir cada meta que me trazo.

A mis hermanos quienes me apoyaron en cumplir cada uno de mis sueños

AGRADECIMIENTO

Quiero expresar mi más sincero agradecimiento a la “Universidad Nacional de San Cristóbal de Huamanga”, mi querida alma mater. En sus aulas no solo recibí una educación gratuita y de calidad, sino que encontré un segundo hogar. Esta universidad me abrió sus puertas y me brindó mucho más que conocimientos; me enseñó el valor del esfuerzo, la importancia de la ética y me inspiró a soñar en grande. Gracias a esta formación integral, hoy puedo decir con orgullo que soy un profesional comprometido con el desarrollo de nuestra sociedad.

Mi más profundo agradecimiento a los docentes de la Facultad de Ingeniería Química y Metalurgia. Gracias por su paciencia infinita. Su forma de compartir sus conocimientos va más allá de lo profesional; es un regalo invaluable que llevaremos siempre con nosotros. Ustedes no solo nos han formado como profesionales, sino como personas. Sus enseñanzas van más allá de las aulas y los laboratorios; Nos hemos preparado para enfrentar los desafíos del mundo real con confianza y ética.

Quiero expresar mi más profunda gratitud al Fondo de Desarrollo Socioeconómico de Camisea (FOCAM) por su generoso apoyo financiero, que hizo posible la realización de esta investigación de tesis. Su confianza en este proyecto ha sido fundamental para llevarlo a cabo.

Mi más grande y sincero agradecimiento hacia mi asesor, el Msc. Percy Fermín Velásquez Ccosi. Su vasta experiencia y conocimientos no solo guiaron esta investigación, sino que también me inspiraron a dar lo mejor de mí en cada etapa. Sus consejos y su paciencia han sido invaluable en este trabajo.

Un agradecimiento especial al Ing. Jimmy Ali Castro Romero, auxiliar del laboratorio de curtiembre. Su disposición para facilitarme los materiales de laboratorio y su apoyo constante en cada proceso de esta investigación han sido cruciales.

Extiendo mi gratitud a la Msc. Leidy Diana Medina Quiquin, cuyos aportes y orientación enriquecieron significativamente este trabajo.

Finalmente, pero no menos importante, quiero agradecer desde lo más profundo de mi ser a mi familia. Su apoyo incondicional, sus palabras de aliento y su comprensión durante las largas horas de trabajo han sido mi fuerza motriz. Sin su amor y respaldo, este logro no habría sido posible.

RESUMEN

Este estudio se propuso explorar la viabilidad de obtener un bioespuma utilizando residuos agrícolas, específicamente la celulosa vegetal extraída de hojas de piña y pseudotallo de plátano. La investigación también incorporó celulosa bacteriana, goma xantana, glicerol y tensogras en el proceso de desarrollo. El objetivo principal fue desarrollar una alternativa sostenible a las láminas convencionales de espuma de polietileno, ampliamente utilizadas, pero con un considerable impacto ambiental. Este enfoque innovador no solo busca reducir la contaminación ambiental asociada a los materiales sintéticos, sino que también aspira a valorizar los subproductos agrícolas, transformando lo que combinado se considera 'desecho' en un recurso valioso. Al abordar simultáneamente los desafíos de la gestión de residuos agrícolas y la necesidad de materiales biodegradables, esta investigación se sitúa en la intersección de la sostenibilidad ambiental y la innovación en materiales. El potencial de este estudio radica en su capacidad para ofrecer soluciones que benefician tanto a la industria como al medio ambiente, marcando un paso significativo hacia prácticas más sostenibles en la producción de materiales. La optimización de la composición de la bioespuma utilizando un diseño simplex-centroide (DSC). Se evaluaron nueve tratamientos, variando las proporciones de goma xantana (G_XAN: 0-3%), glicerol (G_LY: 8,5%). - 10%) y tensogras (T_GL: 8,5-10%), que en conjunto constituyeron el 20% de la mezcla total. El 80% restante se mantuvo constante, compuesto por celulosa de piña (C_PÑ: 2%), celulosa de plátano (C_PL: 2%) y celulosa bacteriana (C_BAC: 76%). Las láminas de bioespuma se sometieron a pruebas según las normas ASTM D3574-17 para espumas de poliuretano. Los resultados revelaron propiedades mecánicas prometedoras: una resistencia a la tracción (RT) de 1,40 MPa, una compresión (COM) de 7,55 N y una elongación (EL) del 38%. Además, se evaluó la biodegradabilidad en compost (D_C) y suelo (D_S), alcanzando tasas de degradación del 90,23% y 86,70% respectivamente, tras 35 días de exposición. El análisis de optimización identificó la composición que maximizó la deseabilidad de las propiedades físico-mecánicas y la biodegradabilidad. La composición óptima consistió en 3% de goma xantana (G_XAN), 8,5% de glicerol (G_LY) y 8,5% de tensogras (T_GL).

Palabras claves: Bioespumas, celulosa bacteriana, celulosa vegetal y biodegradabilidad.

ABSTRACT

This study set out to explore the feasibility of obtaining a biofoam using agricultural waste, specifically plant cellulose extracted from pineapple leaves and banana pseudostem. The research also incorporated bacterial cellulose, xanthan gum, glycerol and tensogras in the development process. The main objective was to develop a sustainable alternative to conventional polyethylene foam sheets, widely used, but with a considerable environmental impact. This innovative approach not only seeks to reduce environmental pollution associated with synthetic materials, but also aims to valorize agricultural by-products, transforming what is considered 'waste' into a valuable resource. By simultaneously addressing the challenges of agricultural waste management and the need for biodegradable materials, this research sits at the intersection of environmental sustainability and materials innovation. The potential of this study lies in its ability to offer solutions that benefit both the industry and the environment, marking a significant step towards more sustainable practices in materials production. Optimization of biofoam composition using a simplex-centroid (DSC) design. Nine treatments were evaluated, varying the proportions of xanthan gum (G_XAN: 0-3%), glycerol (G_LY: 8.5% -10%) and tensogras (T_GL: 8.5-10%), which together constituted 20% of the total mixture. The remaining 80% remained constant, composed of pineapple cellulose (C_PÑ: 2%), banana cellulose (C_PL: 2%) and bacterial cellulose (C_BAC: 76%). The biofoam sheets were tested according to ASTM D3574-17 standards for polyurethane foams. The results revealed promising mechanical properties: a tensile strength (RT) of 1.40 MPa, a compression (COM) of 7.55 N and an elongation (EL) of 38%. In addition, biodegradability was evaluated in compost (D_C) and soil (D_S), reaching degradation rates of 90.23% and 86.70% respectively, after 35 days of exposure. Optimization analysis identified the composition that maximized the desirability of physical-mechanical properties and biodegradability. The optimal composition consisted of 3% xanthan gum (G_XAN), 8.5% glycerol (G_LY) and 8.5% tensogras (T_GL).

Keywords: Biofoams, bacterial cellulose, plant cellulose and biodegradability.

ÍNDICE GENERAL

DEDICATORIA	ii
AGRADECIMIENTO	iii
RESUMEN	iv
ÍNDICE GENERAL	vi
INTRODUCCIÓN	1
CAPÍTULO I PROBLEMA DE LA INVESTIGACIÓN	2
1.1. DESCRIPCIÓN DEL PROBLEMA.....	2
1.2. FORMULACIÓN DEL PROBLEMA.....	4
1.2.1. Problema general	4
1.2.2. Problemas específicos	4
1.3. OBJETIVOS DE LA INVESTIGACIÓN.....	4
1.3.1. Objetivo general	4
1.3.2. Objetivos específicos.....	5
1.4. HIPÓTESIS DE LA INVESTIGACIÓN	5
1.4.1. Hipótesis general.....	5
1.4.2. Hipótesis específica.....	5
1.5. JUSTIFICACIÓN DE LA INVESTIGACIÓN	5
CAPÍTULO II MARCO TEÓRICO	7
2.1. ANTECEDENTES DE LA INVESTIGACIÓN	7
2.1.1. Internacional.....	7
2.1.2. Nacional	9
2.1.3. Local	11
2.2. BASES TEÓRICAS	11
2.2.1. Residuos agrícolas.....	11
2.2.2. Biomasa lignocelulósica	13
2.2.3. Aprovechamiento de la fibra de los rastrojos de Piña	13

2.2.4. Taxonomía de la piña	13
2.2.5. Aprovechamiento de la fibra del pseudotallo y hojas de plátano.....	16
2.2.6. Taxonomía de plátano.....	17
2.2.7. Fibra vegetal	19
2.2.8. Scoby	21
2.2.9. Taxonomía del Scoby de kombucha.....	22
2.2.10. Celulosa bacteriana (CB).....	23
2.2.11. Plásticos.....	24
2.2.12. Bioplásticos	26
2.2.13. Propiedades mecánicas	29
2.2.14. Degradación.....	30
2.2.15. Biodegradación	31
2.3. MARCO CONCEPTUAL.....	31
CAPÍTULO III MATERIALES Y MÉTODOS.....	34
3.1. TIPO Y NIVEL DE INVESTIGACIÓN.....	34
3.2. DISEÑO DE LA INVESTIGACIÓN	35
3.2.1. Diseño óptimo de experimentos (DOE)	35
3.3. POBLACIÓN Y MUESTRA	36
3.4. VARIABLES E INDICADORES	36
3.4.1. Variable de estudio.....	36
3.4.2. Variable de respuesta.....	36
3.5. OPERACIONALIZACIÓN DE VARIABLES.....	37
3.6. ÁMBITO DE LA INVESTIGACIÓN	38
3.6.1. Duración.....	38
3.7. MATERIALES	38
3.8. TÉCNICAS E INSTRUMENTOS DE RECOLECCIÓN DE DATOS.....	39
3.8.1. Producción de Scoby (<i>Manchurian fungus</i>)	39
3.8.2. Obtención de celulosa bacteriana.....	41
3.8.3. Obtención de celulosa vegetal de las hojas de piña (<i>Ananas comosus</i>) Golden	44
3.8.4. Obtención de celulosa vegetal del pseudotallo de plátano.....	48

3.8.5. Proceso de elaboración de la bioespuma	51
3.8.6. Evaluación de las propiedades físicas y mecánicas del biomaterial	53
3.8.7. Evaluación de la biodegradabilidad del biomaterial	57
CAPÍTULO IV RESULTADOS Y DISCUSIÓN	58
4.1. RESULTADOS DE OBTENCIÓN DE LA CELULOSA BACTERIANA Y CELULOSA VEGETAL	58
4.2. PROPORCIONES PARA LA OBTENCIÓN DE BIOESPUMA.....	60
4.2.1. Prueba preliminar 1: Exploración inicial de formulaciones	60
4.2.2. Prueba preliminar 2: Refinamiento de formulaciones mediante mezclas ternarias	61
4.2.3. Prueba preliminar 3: Optimización de la proporción de celulosas	62
4.2.4. Proporciones para la obtención del bioespuma	63
4.3. EVALUACIÓN DE LAS CARACTERÍSTICAS FÍSICAS Y MECÁNICAS DE LA BIOESPUMA.....	65
4.3.1. Resultados de la prueba de compresión y comparación con estándares comerciales.....	65
4.3.2. Análisis de resistencia a la tracción y elongación del bioespuma	67
4.4. RESULTADOS DE LA BIODEGRADABILIDAD DE LA BIOESPUMA	70
4.4.1. Degradabilidad en compost	71
4.4.2. Degradabilidad en suelo.....	73
4.5. OPTIMIZACIÓN POR DISEÑO SIMPLE CENTROIDE (DSC)	75
4.5.1. Interpretación resistencia a la tracción	75
4.5.2. Interpretación de porcentaje de elongación	78
4.5.3. Interpretación de la compresión	80
4.6. Optimización por función de deseabilidad de los resultados físicos-mecánicos.....	82
CONCLUSIONES	85
RECOMENDACIONES	86
REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS	87
ANEXOS.....	92

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1	Composición de celulosa, hemicelulosa y lignina en diferentes biomásas	12
Tabla 2	Clasificación taxonómica de la piña	14
Tabla 3	Clasificación taxonómica del plátano.....	17
Tabla 4	Taxonomía de bacterias y levaduras en la kombucha.....	22
Tabla 5	Matriz experimental de mezclas para la obtención de bioespuma.....	36
Tabla 6	Operacionalización de variables de investigación	37
Tabla 7	Proporciones para la obtención de bioespuma.....	64
Tabla 8	Variables independientes y resultados de la fuerza de compresión	66
Tabla 9	Variables independientes y respuesta.....	67
Tabla 10	Comparación de resultados de propiedades mecánicas con otros autores ..	68
Tabla 11	Características físicas-mecánicas de espuma de polietileno comerciales	69
Tabla 12	Variables de respuesta y Degradabilidad del biomaterial	75
Tabla 13	Análisis de varianza para la resistencia a la tracción (RT).....	76
Tabla 14	Análisis de varianza para el porcentaje de elongación (EL)	79
Tabla 15	Análisis de varianza para la compresión (COM).....	81
Tabla 16	Formulaciones de las mezclas experimentales	92
Tabla 17	Datos de la degradabilidad en medio de compost.....	100
Tabla 18	Datos de la degradabilidad en medio de suelo.....	100

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1 Partes de la planta de la piña	16
Figura 2 Descripción de los partes de la planta de plátano.....	19
Figura 3 Microestructura de células de la fibra	21
Figura 4 Ruta del metabolismo de la fuente de carbono en la formación de la celulosa	24
Figura 5 Láminas de espuma de polietileno para proteger los alimentos.....	26
Figura 6 Clasificación de los bioplásticos según su procedencia.....	27
Figura 7 Diagrama de flujo de la elaboración del Té <i>para producción de Scoby</i> (<i>Manchurian fungus</i>).....	41
Figura 8 Diagrama de flujo para la obtención de celulosa bacteriana	42
Figura 9 Diagrama de flujo para la obtención de celulosa vegetal de hojas de piña ...	45
Figura 10 Diagrama de flujo para la obtención de celulosa del pseudotallo de plátano	49
Figura 11 Diagrama de operaciones cualitativo para la obtención de bioespuma.....	53
Figura 12 Medición del espesor con vernier digital	54
Figura 13 Ensayo de prueba de tensión	55
Figura 14 Ensayo de prueba de compresión	56
Figura 15 Extracción del Scoby	58
Figura 16 Obtención de la celulosa bacteriana.....	59
Figura 17 Proceso de obtención de la celulosa vegetal de las hojas de piña.....	59
Figura 18 Proceso de obtención de la fibra de los residuos de planta de plátano.....	60
Figura 19 Prueba preliminar 1	61
Figura 20 Prueba preliminar 2	62
Figura 21 Prueba preliminar 3	63
Figura 22 Bioespuma obtenida.....	65
Figura 23 Degradabilidad del bioespuma en medio de compost.....	71

Figura 24 Evaluación de la biodegradabilidad en medio de compost.....	72
Figura 25 Degradabilidad del bioespuma en medio de suelo.....	73
Figura 26 Evaluación de la biodegradabilidad en el suelo	74
Figura 27 Gráfico de contorno de mezcla de la resistencia a tracción (RT)	77
Figura 28 Gráfico de rastreo de respuesta de Cox de la resistencia a la tracción (RT)	78
Figura 29 Gráfico de contorno de mezcla de porcentaje de elongación (EL)	80
Figura 30 Gráfico de contorno de mezcla de compresión (COM)EL)	82
Figura 31 Optimización de RT, EL, COM, del bioespuma.....	83

ÍNDICE DE ANEXOS

Anexo 1 Formulaciones de las mezclas experimentales	92
Anexo 2 Obtención de celulosa vegetal a partir de hojas de piña, pseudotallo de plátano	93
Anexo 3 Proceso de obtención de la celulosa bacteriana	95
Anexo 4 Proceso de obtención del bioespuma	96
Anexo 5 Evaluaciones de las pruebas físicas-mecánicas	97
Anexo 6 Proceso de degradabilidad del bioespuma en medio de compost y suelo	98
Anexo 7 Resultados de la degradabilidad en medio de compost y suelo	100
Anexo 8 Resultados del ensayo de pruebas tensión, elongación y compresión	101
Anexo 9 Grafica de compresión fuerza vs tiempo	102
Anexo 10 Grafica de Tensión fuerza (kg) vs distancia (mm).....	103
Anexo 11 Norma ASTM D3574-17 para la evaluación del bioespuma	104

INTRODUCCIÓN

El creciente problema de la contaminación por plásticos y la necesidad de desarrollar alternativas sostenibles han impulsado la búsqueda de materiales biodegradables. (Parker, 2022). En este contexto, el presente trabajo de investigación titulado "Aprovechamiento de subproductos agrícolas y celulosa bacteriana para la obtención de bioespumas" aborda una solución innovadora a dos desafíos ambientales significativos: la gestión de residuos agrícolas y la reducción de la dependencia de plásticos convencionales.

El interés por desarrollar esta investigación surge de encontrar aplicaciones prácticas para los subproductos agrícolas, particularmente los derivados del plátano y la piña, que son cultivos de gran importancia en el Perú. Estos residuos, a menudo desaprovechados o quemados, contribuyen a las emisiones de CO₂. (Zaini et al., 2023) ; (Alvarado et al., 2022) La investigación se enfoca en la extracción de celulosa vegetal de estos materiales, aprovechando su alto contenido de celulosa y excelentes propiedades físico-mecánicas.

La metodología empleada combina la utilización de celulosa extraída de hojas de piña y pseudotallo de plátano con celulosa bacteriana, un biopolímero producido por fermentación bacteriana que posee propiedades superiores a la celulosa vegetal. (Navya et al., 2022); (Koon et al., 2014). Se implementó un diseño simplex-centroide (DSC) para optimizar la composición de las bioespumas, evaluando nueve tratamientos con diferentes proporciones de aditivos como goma xantana, glicerol y tensioactivos.

El objetivo principal de este trabajo es desarrollar bioespumas biodegradables que puedan servir como alternativas viables a las espumas de polietileno, contribuyendo así a la reducción de la contaminación ambiental y al aprovechamiento eficiente de residuos agrícolas.

CAPÍTULO I PROBLEMA DE LA INVESTIGACIÓN

1.1. DESCRIPCIÓN DEL PROBLEMA

En la actualidad, los desperdicios plásticos están provocando una crisis global. La Organización Mundial de la Salud (OMS) y el Programa de las Naciones Unidas para el Medio Ambiente (PNUMA) han declarado conjuntamente que la disrupción endocrina es una enfermedad causante del uso de plásticos. Un grupo de científicos internacionales ha solicitado que los gobiernos declaren el plástico como residuo peligroso. El plástico tarda cientos de años en descomponerse en el medio ambiente, por lo que ocurrirán consecuencias catastróficas a nivel mundial. En la naturaleza, este material se desintegra en fragmentos cada vez más diminutos, atrapando consigo sustancias tóxicas que ponen en peligro nuestro medio ambiente y nuestra salud (Sáez , 2019)

Los plásticos son el material que más ha producido el hombre y también el que más contamina. Los monómeros utilizados para la fabricación de este material son el etileno y el propileno, que tienen sus orígenes en los recursos naturales subterráneos, como los combustibles fósiles. Para el año 2017, la producción de plástico fue de 8,300 millones de toneladas métricas (t) de plásticos nuevos. Uno de los mercados que más produce plásticos es el de embalaje, siendo este de un solo uso y generando así una mayor contaminación (Geyer et al., 2017).

En todo el mundo, cada año se usan cinco billones de bolsas, lo que suma casi diez millones de bolsas por minuto. En el océano se vierten aproximadamente 8 millones de toneladas. Al año se generan 300 millones de toneladas de desechos de plástico. Si no se toma conciencia sobre el uso del plástico, para el 2025 la Fundación Ellen MacArthur menciona que habrá más plástico que peces en el océano. A nivel global, el 50 % del total de residuos plásticos son de un solo uso. En el Perú, el uso promedio de plásticos es de 30 kg por persona al año, y se utilizan aproximadamente 3 mil millones de bolsas anualmente, lo que equivale a unas 6 mil bolsas por minuto. El 46 % de los residuos plásticos generados en el país son producidos en Lima Metropolitana y en el Callao, lo que representa un total de 886 toneladas. (Ministerio del ambiente, 2020)

Los desechos agrícolas son otro de los problemas que preocupan en la contaminación del medio ambiente. Al no ser aprovechados, son quemados, generando CO₂ y contribuyendo así a la contaminación. El plátano es la fruta más producida y consumida a nivel mundial. Sin embargo, esta producción genera una gran cantidad de residuos de biomasa de plátano, ya que la planta produce frutos una sola vez en su vida, lo que resulta en enormes cantidades de residuos de biomasa. Estos residuos suelen ser eliminados en los campos agrícolas, quemándolos o vertiéndolos (Zaini et al., 2023). La extracción de la fibra celulósica de los residuos de plátano es una de las alternativas que pueden mejorar el valor de la biomasa. Esto se debe a que la fibra celulósica proporciona buenas características físicas y mecánicas, como resistencia a la tracción y alta estabilidad térmica, lo que facilita su uso en la fabricación de envases de alimentos. El contenido de celulosa en los desechos de plátano es alto.

La producción de piña en el Perú en los últimos años (2021-2022) ha sido de 206129 toneladas por año y 206621 tn por año, respectivamente, por hectárea. Regionalmente, el Valle del Río Apurímac, Ene y Mantaro (VRAEM) se considera una zona productora de piña que representa a las regiones de Ayacucho y Cuzco. En estas regiones, la producción de piña es de 6 toneladas por año y 4387 toneladas por año, respectivamente, según las estadísticas (Alvarado et al., 2022). Las fibras que encontramos en el reino vegetal son muchas y sus características son similares a las de los polímeros sintéticos. La piña se cultiva en ambientes tropicales y semitropicales, y en los últimos años su producción ha aumentado. Su hoja está

compuesta en un 80% de celulosa, por lo que se considera un desecho que se quema o se fermenta, generando en ambos casos CO₂ y CO (Provin et al., 2021).

Debemos buscar formas de usar los subproductos agrícolas que obtenemos al cultivar plátanos y piñas, como las rosetas de las hojas de piña y el tronco de la planta de plátano. Considerando los desafíos ambientales que enfrentamos, una opción para abordar el problema de los envases hechos de polímeros de petróleo, que tardan mucho en degradarse y contaminan el medio ambiente con partículas tóxicas, es encontrar alternativas que no pongan en riesgo la salud de los seres vivos.

1.2. FORMULACIÓN DEL PROBLEMA

1.2.1. Problema general

¿Cómo se podrá aprovechar los subproductos agrícolas y celulosa bacteriana para la obtención de bioespuma?

1.2.2. Problemas específicos

- ¿Cuál será la mejor proporción de celulosa vegetal, celulosa bacteriana y aditivos que tengan propiedades físicas y mecánicas aceptables de bioespuma?
- ¿La bioespuma cumplirá con los requisitos establecidos por normas referentes a envases y embalajes de plástico?
- ¿La bioespuma obtenido será biodegradable?

1.3. OBJETIVOS DE LA INVESTIGACIÓN

1.3.1. Objetivo general

Aprovechar los subproductos agrícolas y celulosa bacteriana para la obtención de bioespuma.

1.3.2. Objetivos específicos

- Determinar las proporciones de los componentes de celulosa vegetal, celulosa bacteriana y aditivos que tengan propiedades físicas y mecánicas aceptables de bioespuma.
- Comparar la bioespuma respecto a los requisitos establecidos por normas referentes a envases y embalajes de plásticos.
- Evaluar la biodegradabilidad de la bioespuma.

1.4. HIPÓTESIS DE LA INVESTIGACIÓN

1.4.1. Hipótesis general

Es posible aprovechar los subproductos agrícolas y celulosa bacteriana para la obtención de bioespuma.

1.4.2. Hipótesis específica

- Existe una proporción de componentes de celulosa vegetal, celulosa bacteriana y aditivos que produzcan una bioespuma con propiedades físicas y mecánicas aceptables de la bioespuma.
- La bioespuma obtenido cumple con los requisitos establecidos por normas referentes a envase y embalaje de plásticos.
- El bioespuma obtenido es biodegradable mediante el proceso aeróbica final y desintegración de los materiales de plásticos en condiciones de compostaje controladas en un tiempo de 180 días o 120 días.

1.5. JUSTIFICACIÓN DE LA INVESTIGACIÓN

Esta investigación titulada “Aprovechamiento de subproductos agrícolas y celulosa bacteriana para la obtención de bioespumas”, a partir de residuos agrícolas como las hojas de piña, el pseudotallo de plátano tiene un potencial significativo para abordar múltiples desafíos ambientales y económicos actuales.

La utilidad primordial de este estudio radica en su contribución a la reducción de la contaminación por plásticos. Al proponer alternativas biodegradables derivadas de residuos agrícolas, se aborda directamente el problema de la acumulación de

desechos plásticos en ecosistemas terrestres y marinos. Esta investigación ofrece una solución práctica y sostenible al ser una alternativa a las espumas de polietileno y otros plásticos convencionales con materiales que pueden descomponerse naturalmente sin dañar el medio ambiente.

Los beneficios para la sociedad son múltiples. En primer lugar, contribuye a la preservación del medio ambiente al reducir la cantidad de plásticos no biodegradables en circulación. Además, fomenta la economía circular al dar un nuevo valor a los residuos agrícolas, lo que puede generar oportunidades económicas adicionales para las comunidades agrícolas. La utilización de estos residuos también podría llevar a una reducción en la quema de desechos agrícolas, mejorando la calidad del aire en zonas rurales.

Este estudio explorará las propiedades específicas de los materiales derivados de la piña, el pseudotallo de plátano y la celulosa bacteriana cuando se utilizan en la fabricación de alternativas biodegradables a las espumas de polietileno. Con buenas características físicas y mecánicas y tasa de biodegradación en diferentes condiciones ambientales. Esta información será valiosa para futuras investigaciones en el campo de los biomateriales y podría inspirar nuevas aplicaciones en diversos sectores industriales.

Los beneficiarios potenciales de esta investigación son diversos. La industria del empaque podría adoptar estos nuevos materiales para desarrollar productos más sostenibles. Los agricultores podrían encontrar un nuevo mercado para sus residuos de cosecha. Los consumidores tendrían acceso a productos más ecológicos. Las comunidades costeras y marinas se beneficiarían de la reducción de la contaminación plástica.

En resumen, esta investigación no solo aporta una solución innovadora al problema de la contaminación por plásticos, sino que también abre nuevas vías para la valorización de residuos agrícolas, fomenta la economía circular y contribuye al desarrollo sostenible. Al proporcionar alternativas viables a las espumas de polietileno, este estudio tiene el potencial de impulsar un cambio significativo en nuestra relación con los materiales de un solo uso y promover prácticas más respetuosas con el medio ambiente.

CAPÍTULO II MARCO TEÓRICO

2.1. ANTECEDENTES DE LA INVESTIGACIÓN

2.1.1. Internacional

Murillo & Taco, (2020) desarrollaron un biopolímero resistente a partir de residuos orgánicos agrícolas mezclados con plastificantes y determinaron su biodegradabilidad. Se realizaron diferentes porcentajes de almidón (10 %, 20 %, 30 %) y celulosa vegetal en distintas concentraciones (5 %, 10 %, 15 %), según el diseño completamente al azar indicó estadísticamente al tratamiento T6. que contenía (10 ml de ácido acético y 5 ml de glicerina para el 20 % de almidón y 10 % de celulosa). De estos tratamientos, se indicó como los mejores tratamientos son: T4, T5, T6 que en estos tratamientos contiene en porcentajes de (% almidón, % celulosa vegetal, % celulosa bacteriana). El biopolímero obtenido presentó las siguientes características físicas y mecánicas: resistencia a la tensión 0,821 MPa y un espesor de polímero de 0,23 mm demostrando que la mezcla proporcional de los residuos orgánicos y la adición de plastificantes influyeron en sus características físicas y mecánicas para obtener un biopolímero.

Araya, (2021) se embarcó en el desarrollo de un “Biocompuesto a base de almidón termoplástico de yuca (*Manihot esculenta Crantz*) y nanocelulosa obtenida de rastrojo de piña (*Ananas comosus*)”, utilizando el almidón extraído de la yuca amarga como ingrediente principal y obtuvo una caracterización morfológica del biocompuesto. Además, se extrajo sustrato celulósico del rastrojo de piña, el cual contenía un 2,85 % de lignina, un 19,38 % de hemicelulosa y un 13,97 % de α -celulosa y se demostró un rendimiento de nanocristales de celulosa (NCC) en 4,95 %, cuya morfología presentaba un aspecto alargado. Así, se obtuvieron nanocristales de celulosa (NCC) para incorporar en proporciones como refuerzo, generando TPS/NCC con concentraciones de 5%, 10% y 15 % en peso NCC, mostrando un aumento gradual en las propiedades mecánicas, con una resistencia a la tracción de hasta 1,795 Mpa. Esta adición de NCC a la matriz termoplástica demostró una reducción en la interacción de las películas con el agua, lo que resultó en una disminución en la solubilidad y permeabilidad de vapor de agua (WVP) y la velocidad de transmisión de vapor de agua (WVTR).

Granado, (2021) desarrolló un empaque biodegradable a partir de residuos de piña (*Ananas comosus* (L.) Merr.) para su uso en la postcosecha generando una alternativa que permitió dar un valor a los residuos de la piña. Utilizó las hojas de la piña para obtener la fibra y empleó cuatro métodos diferentes de extracción: manual, alcalino, por fermentación (enriado) a temperaturas de 20 °C Y 30 ° C con la fibra que obtuvo y almidón de yuca desarrolló un material compuesto al cual se evaluaron las propiedades mecánicas mediante ensayos de tracción, biodegradabilidad, prueba de uso, absorción de agua y optimización. Los resultados mostraron buenas características en el material obtenido.

Villegas, (2014) Desarrolló y evaluó la caracterización de espumas (biopolímeros) biodegradables. Utilizando almidón de yuca, (*Manihot esculenta Crantz*) entrecruzando con quitosano, celulosa y sorbitol, con aplicaciones potenciales en diversas áreas, lo cual es un tema de gran interés. Para ello, llevó a cabo la modificación química del almidón nativo mediante entrecruzamiento como trimetafosfato, y caracterizó tanto el almidón entrecruzado como el nativo en términos de su composición proximal, contenido de fósforo, grado de sustitución y propiedades funcionales. A partir de diversas formulaciones de almidón (nativo y modificado), sorbitol, metilcelulosa y quitosano, se elaboraron las espumas, las cuales posteriormente fueron sometidas a caracterización para determinar su contenido de

humedad, así como sus propiedades físicas y químicas, mediante técnicas de análisis termogravimétricos (TGA-DTG), espectroscopía Infrarroja (FTIR).

Polman et al., (2021) Realizaron una investigación titulada: “Comparación de la biodegradación aeróbica de biopolímeros y los bioplásticos correspondientes: una revisión”. En este estudio, se compararon las tasas y los procesos de biodegradación de los bioplásticos termoplásticos elaborados a partir de almidón, celulosa y lignina, con los biopolímeros no modificados de almidón, celulosa y lignina, que son los materiales de origen de estos bioplástico. A través de estas comparaciones, buscaron entender cómo se comporta los bioplásticos en el medio ambiente, con la esperanza de aplicar este conocimiento para encontrar soluciones más sostenibles y amigables con el medio ambiente.

2.1.2. Nacional

Alata & Cuadros, (2017) Se embarcaron en la investigación titulada “Formulación y evaluación de las características físico-mecánicas de películas biodegradables a base de residuos cítricos y celulosa bacteriana”. En su estudio evaluaron las proporciones de ingredientes, que incluyeron la cáscara de naranja (CN 20 %), pectina (P 40 %) y glicerina (G 40 %), utilizando el método “Casting” para producir películas biodegradables. Obtuvieron películas con características físicas mecánicas, de resistencia a la tensión de 5,92 N/mm² y una elongación de 66,39 %. Además, la CN fue sustituida en 10 % por celulosa bacteriana conformándose experimentos definitivos con 10% celulosa bacteriana, 10 % cáscara de naranja, 40 % de pectina y 40 % de glicerina incrementando la resistencia a la tensión en 7,33 N/mm² y % de elongación disminuyó en 35,27 %. Demostró que la incorporación de celulosa bacteriana mejora la resistencia del biomaterial.

Espinoza & Puglisevich, (2019) Investigaron sobre la Influencia del porcentaje de glicerol en la resistencia y deformación bajo tracción de plásticos biodegradables elaborados a base de almidón del tubérculo (*Manihot esculenta crantz*), estudiaron como el porcentaje de glicerol influye en la resistencia y la capacidad de deformación de los bioplástico obtenidos a partir de almidón. En las distintas mezclas que realizó con diversas concentraciones del glicerol añadidas al almidón de yuca y observaron los resultados en la resistencia y deformación del bioplásticos sometida a tracción. Encontraron que la máxima resistencia se logra al añadir 4 % de glicerol, alcanzando

2,214 MPa, mientras que la mínima resistencia con un 15 % de glicerol es de 0,054Mpa. En cuanto a la elongación, observaron con un 4% de glicerol se alcanza un 40,79 %, en comparación 33,35 % en deformación registrado con 15 % de glicerol. Estos resultados indican que un aumento en el porcentaje de glicerol resulta en una resistencia menor de los bioplásticos.

Meza, (2016) desarrolló un bioplástico a partir de almidón de papa extraído del proceso de pelado mediante una peladora industrial. Además de determinar y evaluar la biodegradabilidad del bioplástico elaborado utilizando la norma ISO 17556:2012. En primer lugar, se extrajo el almidón y se evaluó la variación de temperatura, así como la incorporación del aditivo antioxidante metabisulfito de sodio en el proceso. En segundo lugar, se elaboró el bioplástico mediante la hidrólisis química de almidón y la adición del agua y glicerol como plastificante, variando las cantidades variables las cantidades con 5 ml de glicerina, 3 ml ácido acético como plastificantes. Esto dio como resultado un bioplástico con características de 1,47 MPa de esfuerzo máximo y una elongación de 19,99 %. Finalmente, se llevó a cabo la evaluación de la biodegradabilidad del bioplástico elaborado utilizando compost como un medio de degradación, con un control negativo del polietileno de baja densidad y un control positivo de celulosa. Los resultados mostraron una biodegradabilidad del bioplástico del 63,21 % para la celulosa, 6,95 % para el polietileno de baja densidad y 0,83 % para blanco.

Llerena & Monzón, (2017) Desarrollaron un envase biodegradable utilizando almidón extraído de arroz quebrado (*Oryza sativa*), queratina obtenida de plumas de ave y reforzado con residuos de cascara de mango (*Mangifera indica*). Emplearon métodos para la extracción de almidón y queratina, logrando rendimientos adecuados del 35,24 % y 8,29% respectivamente para la elaboración del envase. El experimento se realizó por triplicado. Las proporciones utilizadas en la elaboración del bioplástico fueron: 40 g de almidón, 4 ml queratina, 10 g de cascara de mango y aditivos como glicerina, ácido acético al 5 % y agua destilada. El primer aditivo actuó como plastificante, mientras que los otros facilitaron la hidrólisis ácida para atacar la amilopectina presente en el almidón. Además, se evaluaron las características físicas y mecánicas del envase, obteniendo un resultado que indicaron un comportamiento dúctil con baja resistencia a la tracción, flexión elevada y una dureza media.

2.1.3. Local

Mendoza Cisneros et al., (2020) presentan su investigación titulada: “Caracterización estructural, física y química de la fibra del rastrojo de la cosecha de piña (*Ananas comosus*) Golden como alternativa para elaborar papel “. En este estudio se examinaron las propiedades biométricas de las fibras de piña, incluyendo su longitud, diámetro, del grosor de papel y diámetro del lumen. El objetivo principal de los autores encontró las formas de aprovechar los residuos de la cosecha de piña en la industrial de pulpa y papel. Los resultados que reportaron un bajo contenido de lignina estimado de 12,335 %, y un alto contenido de holocelulosa, que alcanzó de 41,72 %. Además, se observó un considerable contenido de celulosa, aproximadamente un 44,04 %. Los investigadores sugieren que estos residuos poseen un gran potencial para ser utilizados en la producción de papel y pulpa a los residuos como potencial en la industria de pulpa y papel.

2.2. BASES TEÓRICAS

2.2.1. Residuos agrícolas

El aumento de la población a nivel mundial conlleva una creciente demanda de producción agrícola, lo que resulta en un incremento de los residuos generados por esta actividad. El manejo inadecuado de estos residuos ha generado la necesidad de desarrollar estrategias para su aprovechamiento. Los residuos de cultivos y de las agroindustrias son las actividades que más contribuyen en esta problemática. El componente principal que se encuentra en estos residuos es la biomasa lignocelulósica compuesta por celulosa, lignina y hemicelulosa, siendo la celulosa el componente más abundante (Koul et al., 2022). Si estos residuos no son aprovechados, pueden tener impacto negativo en el medio ambiente, contaminando al suelo y a las fuentes de agua (Mujtaba et al., 2023).

Los residuos agrícolas, definidos por la ONU como los desechos producidos durante las operaciones agrícolas, comprenden cuatro partes principales: desechos de cultivos, desechos de animales, desechos de procesamiento y desechos peligrosos. Entre los desechos de cultivos más comunes se encuentran la paja de arroz, la paja de trigo, el rastrojo de maíz, el bagazo de caña de azúcar, entre otros. Estos residuos agrícolas constituyen una biomasa lignocelulósica muy abundante (Wang & Tester, 2023). Además, los residuos agrícolas proporcionan grandes cantidades de biomasa

lignocelulósica, la cual es un recurso biorrenovable y uno de los más abundantes en la tierra. La utilización eficiente de los tres componentes de la biomasa lignocelulósica (celulosa, lignina, hemicelulosa) es fundamental (A. Patel & Shah, 2021).

La FAO señala que en 2021 se produjeron más de 125 millones de toneladas de fruta de plátano, cultivada en más de 130 países. Una de las principales preocupaciones en la producción de esta fruta son los residuos que genera: el plátano da frutos solo una vez en su vida, volviéndose inútil la planta después de la cosecha. Estos desechos de biomasa suelen ser eliminados o quemados en los campos agrícolas, generando así un problema ambiental. Esta biomasa contiene un alto porcentaje de material celulósico (Zaini et al., 2023).

El país con mayor producción de piña fresca es Costa Rica, siendo esta fruta una de las más cultivadas en el mundo junto con el plátano y los cítricos. Sin embargo, la gran cantidad de residuos durante la cosecha de piña tiene un impacto ambiental negativo. Esto se debe a que el ciclo de crecimiento de la planta de piña ya no es rentable después de dos años, y los residuos vegetales deben eliminarse para la próxima plantación. Una de las prácticas comunes es quemar estos residuos de la planta, lo que genera una contaminación en el suelo y el aire (Wang & Tester, 2023).

Tabla 1

Composición de celulosa, hemicelulosa y lignina en diferentes biomásas

Tipo de biomasa	Celulosa (%)	Hemicelulosa (%)	Lignina (%)
Elote	42 - 45	35 - 39	14 - 15
Rastrojo de maíz	38 - 40	24 - 26	7 - 19
Bagazo de caña de azúcar	42 - 48	19 - 25	20 - 42
Paja de trigo	33 - 38	26 - 32	17 - 19
Paja de arroz	28 - 36	23 - 28	12 - 14
Paja de cebada	31 - 45	27 - 38	14 - 19
Algodón	85 - 95	5 - 15	0
Bagazo de sorgo dulce	34 - 45	34 - 45	14 - 21
Residuos de plátano	26 - 44	4 - 34	7 - 15
Hojas de piña	43 - 44	-	12

Nota: En esta tabla se observan las distintas biomásas y sus composiciones porcentuales de celulosa, hemicelulosa y lignina. Según (Zaini et al., 2023), (Mendoza, 2020) y (A. Patel & Shah, 2021).

2.2.2. Biomasa lignocelulósica

La biomasa se refiere a cualquier material orgánico producido durante el proceso fotosintético en presencia de luz solar, H₂O, CO₂. La biomasa leñosa proviene de los bosques, mientras que la no leñosa incluye los residuos de cultivo como la paja, las hojas, etc. Por último, los desechos animales provienen del cuidado de los animales. La celulosa, hemicelulosa y lignina son los componentes principales de la biomasa lignocelulósica (Ahmad et al., 2023).

2.2.3. Aprovechamiento de la fibra de los rastrojos de Piña

La piña (*Ananas comosus*) pertenece a la familia de las bromeliaceae, y se cultiva principalmente en climas tropicales. Esta planta es perenne, lo que permiten obtener dos cosechas en un período de 27 meses. Después de este tiempo, es necesario retirar la biomasa conocida como rastrojo de piña y preparar el suelo para una nueva siembra y ciclo productivo. A nivel nacional, cada año se generan aproximadamente 13 millones de toneladas de desecho (Oriani, 2014, citado en J. L. Araya, 2021).

El aprovechamiento de estos desechos es la fibra de la piña, extraída de las hojas, que presenta un alto contenido de celulosa. Los resultados finales muestran excelentes propiedades mecánicas, lo que la convierte en un refuerzo ideal para compuestos de polímeros de polietileno de baja densidad y materiales compuestos biodegradables (Asim et al., 2015).

2.2.4. Taxonomía de la piña

La piña, conocida científicamente como (*Ananas comosus*), es una planta herbácea perenne de la familia *Bromeliaceae*, que pertenece al orden de las *bromeliales*, dentro de la división Monocotiledóneas. A continuación, se presenta un resumen un resumen taxonómico en la tabla 2.

Tabla 2

Clasificación taxonómica de la piña

Categoría	Clasificación
Nombre común	Piña
Reino	Plantae
División	Magnoliophyta
Clase	Liliopsidae
Subclase	Commelinidae
Orden	Bromeliales
Familia	Bromeliaceae
Subfamilia	Bromelioideae
Género	Ananas
Especie	comosus

Nota: En esta tabla se va observar la clasificación taxonómica de la piña (K. Araya, 2021)

2.2.4.1. Morfología

La piña (*Ananas comosus*) es una planta pequeña, herbácea y perenne, con una base compuesta por un grupo de hojas que forman una roseta. Presenta dos tipos de raíces: adventicias y principales. Las hojas de la piña son largas, miden entre 15 y 50 cm de longitud y pueden tener un color verde grisáceo claro u oscuro, dependiendo de la variedad de la piña. Están cubiertas por una fina pelusa que impide el ingreso de la luz solar. El tallo floral corto al principio, pero se alarga y ensancha con el tiempo, y en sus proximidades se encuentra numerosas flores pequeñas y violáceas (inflorescencia). El tallo continúa creciendo para formar una corona de hojas cortas sobre el conjunto floral. Las flores son hermafroditas y auto fecundables. (Redolfo, 2022)

2.2.4.2. Descripción botánica de la piña

a) Raíz

El sistema radicular de la piña es superficial. Las raíces se encuentran hasta unos 15 cm de profundidad en el suelo, pero pueden extenderse hasta 60 cm o más. Presenta dos tipos de raíces:

Raíces primarias: se originan en las semillas de la piña y tienen una vida corta, desapareciendo aproximadamente a los 2 meses de haberse plantado.

Raíces adventicias: se dividen en raíces de suelo y raíces auxiliares. Ayudan a capturar y distribuir el agua, al igual que las hojas. Mayormente se encuentran cerca de la superficie del suelo, lo que las hace susceptibles a enfermedades y plagas. (Bonilla,2001, citado en Arias, 2023)

b) Tallo

El tallo de la piña es vertical, robusto y corto, mide aproximadamente de 30 a 40 cm de alto. Se extiende en la parte superior para formar el eje central de la inflorescencia, que luego dará lugar al fruto. Está rodeado por hojas lanceoladas y sirve para almacenar nutrientes de la planta, que son producidas por las hojas. (Vasquez, et al.,2012 ,citado en Arias, 2023)

c) Hojas

Las hojas de la piña son envolventes y están dispuestas en espiral. En una planta adulta, puede haber entre 70 y 80 hojas. Los bordes están cubiertos de espinas o ser lisos, dependiendo de la variedad (Mendoza, 2020). La planta utiliza sus hojas para captar nutrientes para su desarrollo y crecimiento. Son anchas y forman una roseta alrededor del tallo, lo que es crucial para la absorción de agua por las raíces. (Arias, 2023)

d) Inflorescencia

Las flores de la piña tienen una tendencia a cruzarse entre sí, incluido el tallo. Normalmente, una inflorescencia tiene entre 100 y 200 flores, (Arias, 2023) distribuidas en forma espiral, lo que da origen al fruto. La cáscara del fruto está formada por sépalos y brácteas de la flor. (Sandoval & Torres, 2011)

e) Fruto

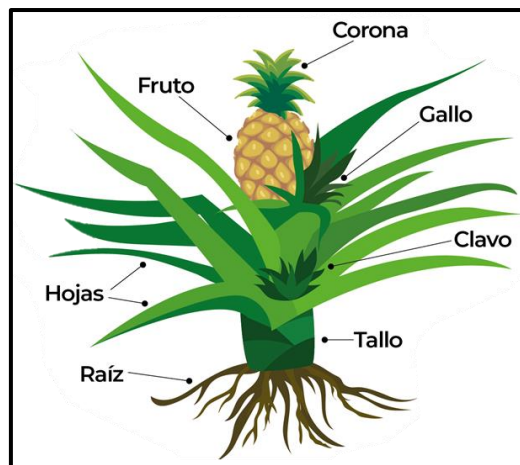
El fruto de la piña está formado por un conjunto de frutos individuales: el corazón, que se origina del eje de la inflorescencia, la corona de folios, la cascara que recubre el ovario, la parte basal de los sépalos y sus respectivas brácteas. (Peña,et al.,1996, citado en Arias, 2023) Es no climatérico y tiene una forma cilíndrica, que puede variar hasta convertirse en una piramidal dependiendo de la variedad. (Sandoval & Torres, 2011)

f) Hijos

La piña se propaga vegetativamente a través de los hijuelos, que se forman en diferentes secciones de la planta madre, rodeándola base del fruto. Los hijos basales se desarrollan desde el tallo central, mientras que los hijuelos del tallo surgen de las yemas auxiliares. Al estar cerca del suelo, tienen sus propias raíces, lo que es fundamental para la propagación. También se pueden usar las coronas superiores del fruto para la reproducción, pero los hijuelos son más recomendables. (Sandoval & Torres, 2011)

Figura 1

Partes de la planta de la piña



Nota: La imagen se obtuvo de la página web:

<https://th.bing.com/th/id/OIP.QbD6tU7932bziw5dbXbgXQAAAA?rs=1&pid=ImgDetMain>

2.2.5. Aprovechamiento de la fibra del pseudotallo y hojas de plátano

La planta del plátano (*Musa paradisiaca*) es una hierba perenne que se asemeja a un árbol. Cada año se desechan miles de millones de toneladas de tallo y hojas. (H. Patel & Patel, 2022). El plátano es la fruta más consumida a nivel mundial, lo que genera un impacto negativo debido a sus residuos de biomasa, ya que los plátanos fructifican solo una vez en su vida. (Zaini et al., 2023). Se desperdicia alrededor del 60 % de la biomasa después de la cosecha; por cada hectárea de cultivo de banano se generan aproximadamente 220 toneladas de desecho de biomasa, que incluyen

rizomas, pseudotallos, hojas, frutos podridos, raquis, cascara, entre otros. (Kumar et al., 2023)

Estos desechos pueden utilizarse como fuentes de fibra. Son ligeras, duraderas, resistentes al fuego, sólidas, biodegradables y pueden adsorber la humedad. Las fibras de plátano contienen un alto porcentaje de celulosa (81- 80 %), hemicelulosa (18-19 %) y lignina (11%), lo que demuestra su resistencia y su uso en la elaboración de biomateriales. (Kumar et al., 2023)

2.2.6. Taxonomía de plátano

El plátano (*Musa paradisiaca*) se obtuvo mediante el cultivo de las especies silvestres *Musa acuminata* y *Musa balbisiana*. La taxonomía de esta planta fue clasificada en el año 1753 por Carlos Linneo, quien la designó como *Musa paradisiaca*. En la siguiente tabla 3 se muestra la clasificación taxonómica de manera detallada:

Tabla 3

Clasificación taxonómica del plátano

Categoría	Clasificación
Reino	Plantae
División	Magnoliophyta
Clase	Liliopsida
Orden	Zingiberales
Familia	Musaceae
Género	<i>Musa</i>
Especie	<i>paradisiaca</i>

Nota. Mencionada en el guía de cultivo de plátano. (Mejía & Escamilla, 2018)

2.2.6.1. Descripción botánica de la planta

La planta de plátano es una herbácea de gran tamaño. Posee un tallo verdadero, conocido como rizoma, que se encuentra dentro del suelo y un tallo aparente, también llamado pseudotallo, formado de la unión de vainas foliares. La planta puede llegar a medir 3-6 metros de altura. (Mejía & Escamilla, 2018)

a) Raíces

Las raíces se distribuyen superficialmente, a una profundidad de 30-40 cm, siendo más comunes a los 15- 20 cm de profundidad. Al principio, las raíces son blancas y

tiernas, pero con el tiempo se vuelven amarillentas y más duras. Pueden extenderse lateralmente hasta 3 metros y alcanzar profundidades de 1,5 metros, lo que puede hacer que la planta sea débil y tenga un efecto de tumbarse, pero todo esto dependerá el tipo de suelo. (Mejía & Escamilla, 2018)

b) Hojas

Las hojas del plátano son espirales y grandes, pudiendo medir entre 2 y 4 metros de largo y hasta 0,5 m ancho. Tiene un peciolo de 1 metro de longitud y una forma elíptica alargada, ligeramente ondulada hacia el peciolo. (Mejía & Escamilla, 2018)

c) Tallo

El tallo verdadero del plátano es un rizoma grande, almidonado, subterráneo, coronado por yemas. Se desarrollan después de la floración y la fructificación de la planta. Cada brote del rizoma alcanza la madurez y su yema se convierte en una inflorescencia al ser empujado hacia arriba desde el suelo, a través del alargamiento del tallo, hasta que emerge como pseudotallo en la parte superior. (Mejía & Escamilla, 2018)

d) Flores

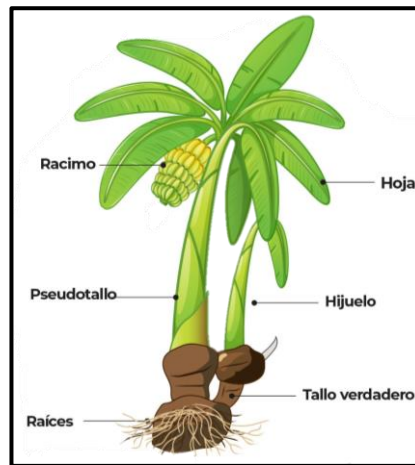
Las flores del plátano tienen un color amarillento y son irregulares. Tienen 5 estambres fértiles, uno de los cuales es infértil. (Mejía & Escamilla, 2018)

e) Fruto

Es una balla alargada con 4 a 6 lados y una curvatura variable. La longitud del fruto depende de la variedad y se forma a partir del ovario de la flor. (Mejía & Escamilla, 2018)

Figura 2

Descripción de los partes de la planta de plátano



Nota: La imagen se obtuvo de la página web:

<https://th.bing.com/th/id/OIP.lcWoqvB TiUC3xn u0osUQHahaHa?rs=1&pid=ImgDetMain>

2.2.7. Fibra vegetal

Las fibras vegetales son estructuras celulares compuestas por varios polímeros, como la celulosa, hemicelulosa, pectina y lignina. Estos componentes son fundamentales en la estructura de todas las plantas superiores, estas constan principalmente, de fibrillas de celulosa encajadas en una matriz de lignina. La eficiencia de estas fibras naturales está estrechamente relacionada con las características de la celulosa y su grado de cristalinidad. (Deaquiz & Moreno, 2016)

2.2.7.1. Clasificación de las fibras vegetales

Según la fuente vegetal, las fibras se pueden clasificar primarias y secundarias. Las fibras primarias provienen de plantas cultivadas principalmente para obtener fibras como el lino, el cáñamo y el yute. Por otro lado, las fibras secundarias se obtienen de plantas cultivadas para producir frutas, como la piña, el plátano y la fibra de coco. Generalmente, las fibras secundarias se desechan como residuos, pero su utilización puede ayudar a reducir los problemas asociados con la eliminación de residuos. (Deaquiz & Moreno, 2016)

2.2.7.2. Características químicas de la fibra

a) Celulosa

Es uno de los biopolímeros más abundantes en la naturaleza, se trata del principal componente estructural de las células vegetales. Desde un punto de vista estructural, la celulosa es un polímero lineal, cuya unidad básica es la D-glucosa que se enlaza mediante un enlace glucosídico en la configuración β -(1-4) dando lugar a la unidad de celobiosa que se repite exactamente en la cadena polimérica. En la pared celular, las cadenas de celulosa se agregan formando microfibrillas que constituyen el elemento base de los materiales celulósicos. (Rodríguez, 2006)

b) Hemicelulosa

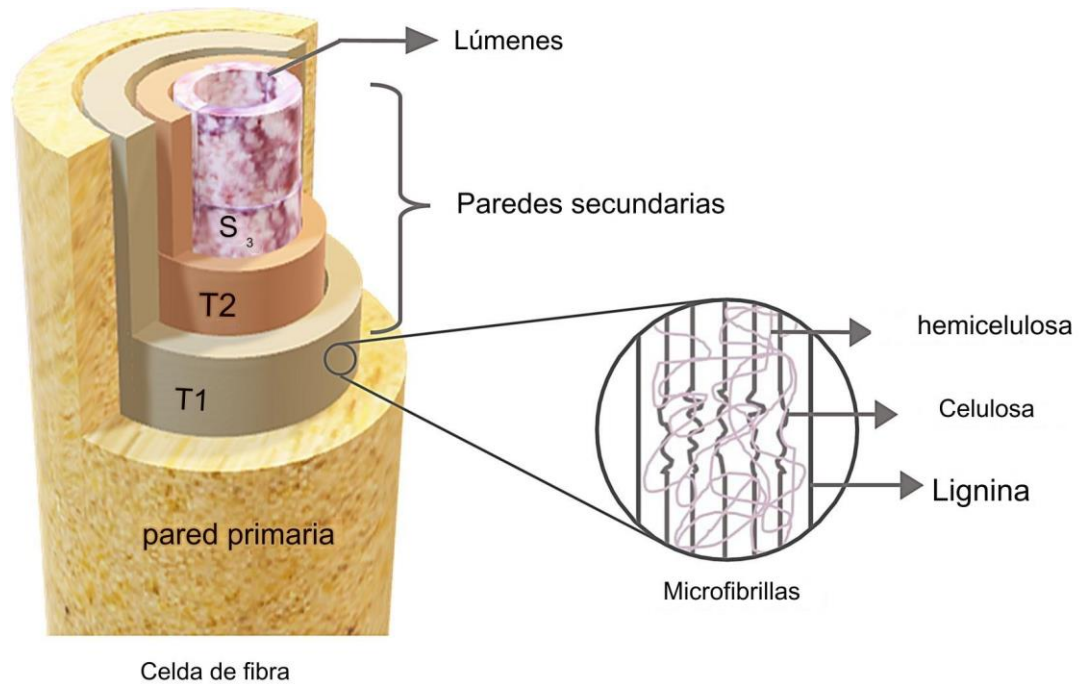
Son polisacáridos químicamente heterogéneos, constituidos por diferentes unidades de monosacárido, que incluyen pentosas como (xilosa y arabinosa), hexosas como (glucosa, manosa o xilosa) y ácidos urónicos. Estas unidades están enlazadas entre sí por enlaces glicosídicos, formando estructuras ramificadas y, en general, amorfas. Algunas hemicelulosas están asociadas a la porción celulósica, mientras que otras están relacionadas con la lignina. Actúan como matriz de soporte para las microfibrillas de celulosa en la pared celular, y tienen una menor masa molecular, más accesibles, más fácilmente degradables y lo que le hace más accesibles, fácilmente degradables y solubles que la celulosa. (Rodríguez, 2006)

c) Lignina

Es un polímero aromático que se forma mediante la condensación oxidativa de precursores fenólicos, mostrando una estructura muy ramificada y amorfa. La lignina es un componente distintivo de la pared celular de las plantas vasculares, generándose a partir de la polimerización oxidativa de tres alcoholes *p*-hidroxicinamílicos -*p*-cumarílico (4-hidroxicinamílico), coniferílico (4-hidroxi-3-metoxicinamílico) y sinapílico (4-hidroxi-3,5-dimetoxicinamílico). Esto resulta en la formación de una red tridimensional con diversos tipos de enlace. Este polímero es muy resistente a la biodegradación y cumple diversas funciones, tales como proteger la celulosa de ataques microbiano, conferir resistencia e impermeabilidad a los materiales lignificados, y mantener unidas las fibras celulósicas, tal como se mencionó anteriormente. (Rodríguez, 2006)

Figura 3

Microestructura de células de la fibra



Nota: La fibra está rodeada por una pared media altamente lignificada y rígida, y por paredes primaria y secundaria. Este último se divide en las paredes exterior (S₁), principal (S₂) e interior (S₃). (Laverde et al., 2022)

2.2.8. Scoby

Es una biopelícula de celulosa que contiene una colonia simbiótica de bacterias y levaduras, un subproducto de la fermentación del té de kombucha. Las bacterias del ácido acético forman una comunidad bacteriana (De Filippis et al., 2018). Los géneros de bacterias y levaduras que se encuentran principalmente en el SCOPY son: *Gluconobacter*, *Acecobacter*, *Zygosaccharomyces*, *Saccharomyces* y *Schizosaccharomyces* que están presentes en la simbiosis del té de kombucha. La bacteria *Acetobacter xylinum* es la encargada de producir la biopelícula de celulosa considerada como un metabolismo secundario de la fermentación. (Laavanya et al., 2021).

2.2.9. Taxonomía del Scoby de kombucha

En los estudios actuales se menciona que las bacterias y levaduras responsables de la fermentación evolucionan hacia las especies presentes en alimentos fermentados. La taxonomía del SCOBY está en constante evolución, con cepas específicas de bacterias y levaduras de Kombucha que forman parte de las especies presentes en estas bebidas fermentadas. (Cujilema, 2021)

Tabla 4

Taxonomía de bacterias y levaduras en la kombucha

Dominio	Bacteria	Eucariota
Reino		Fungi
Filo	Proteobacteria	Ascomycota
Clase	Alphaproteobacteria	Saccharomycetes
Orden	Rhodospirillales	Saccharomycetales
Familia	Acetobacteraceae	Saccaromycetaceae
Género	Gluconacetobacter	Zigosaccharomyces
Especie	Kombuchae	Kombuchaensis

Nota: (Cujilema, 2021)

2.2.9.1. Bacterias

En el SCOBY se encuentran varios géneros bacterianos presentes, principalmente las bacterias del ácido acético, que son las encargadas de convertir el etanol producido por la fermentación en ácido acético como producto final. En 1886, Adrian John Brown identificó a la bacteria *Bacterium xylinum* como responsable de esta fermentación. En la actualidad, han recibido otros nombres como *Acecobacter xylinum* y *Gluconacetobacter xylinum*. La composición principal de la comunidad microbiana es el *Komagataeibacter xylinum* que fue aumentando 60 % al 70 %. Esta bacteria es el principal productor de celulosa en el SCOBY de la kombucha. (Laavanya et al., 2021)

2.2.9.2. Levaduras

Las células de levaduras se encuentran mayormente en el fondo del cultivo, aunque en algunos casos pueden estar mezcladas en la celulosa sintetizadas por las bacterias en la superficie. Un estudio realizado identificó principalmente las levaduras

Zygosaccharomyces en un 95 % en la película y *Saccharomyces* en el caldo. (Laavanya et al., 2021)

2.2.10. Celulosa bacteriana (CB)

Es un biopolímero conocido por formar una película gelatinosa compuesta de celulosa pura, producida por ciertas bacterias mediante fermentación. Uno de los géneros más reconocidos en la producción de este biopolímero es *Acetobacter xylinum* o *Gluconobacter xylinum*. La celulosa bacteriana exhibe buenas propiedades estructurales y funcionales similares a las de la celulosa de origen vegetal. (Navya et al., 2022). Presenta una composición más pura en comparación con la celulosa de origen vegetal, que suele contener impurezas. (Koon et al., 2014)

2.2.10.1. Características estructurales CB

La estructura química de la (CB) es similar a la celulosa vegetal; es un homopolímero lineal de monómeros de glucosa unidas por enlace glucosídico β -(1 $\rightarrow$ 4). La (CB) tiene una fórmula química de $(C_6 H_{10} O_5)_n$. (Navya et al., 2022)

2.2.10.2. Propiedades funcionales CB

La celulosa bacteriana se caracteriza por su pureza química, lo que resulta en la ausencia de la lignina, pectina y hemicelulosa, y tiene la capacidad de formar fibras. Estas fibras son extremadamente finas, formando generalmente fibrillas que crean láminas con un espesor de 1,5 nm. Al formarse, adoptan la forma del recipiente en el que se encuentra. (Navya et al., 2022)

La celulosa bacteriana presenta características superiores a los de origen vegetal, tales como: mayor cristalinidad, durabilidad, resistencia mecánica elevada, biocompatibilidad, moldeabilidad, flexibilidad, insolubilidad, resistencia a la degradación, transparencia y ausencia de toxicidad. (Santos,2015, citado en Soriano & Barreto, 2018)

2.2.10.3. Biosíntesis celulosa bacteriana

La formación de la celulosa bacteriana posee varias etapas que se lleva a cabo con la participación de enzimas y proteínas catalíticas y reguladoras. Durante este proceso, se produce uridina difosfoglucosa (UDPGlc), que actúa como precursor en

usados son: la facilidad con que pueden ser moldeados, su impermeabilidad, su baja densidad, su baja de conductividad eléctrica, su resistencia a la corrosión, su resistencia a diversos factores químicos, biológico y su bajo costo. (Mogollon & Sarmiento, 2020)

Son grandes moléculas formadas por la unión de eslabones llamados monómeros, compuestos principalmente de carbono, hidrogeno y oxígeno, unidos mediante enlaces covalentes. Estos polímeros se crean a través de un proceso llamado polimerización y pueden tener diferentes estructuras según su formación.(Ponce & Horna, 2023)

2.2.11.1. Polietileno (PE)

El polietileno, también conocido como polieteno, es el plástico más común del mundo, con su producción anual de aproximadamente 80 millones de toneladas métricas. Su uso principal es en el embalaje, que incluye bolsas de plástico, laminas y películas plásticas, geomembranas y contenedores como botellas, entre otros. Existen. varios tipos de polietileno, pero casi todos comparten la fórmula química $(C_2H_4)_n$. El polietileno se obtiene a partir del monómero etileno. Tiene la fórmula C_2H_4 , que consiste en un par de grupos metilenos (CH_2) conectadas por un enlace doble. (Mariano, 2012)

2.2.11.2. Polietileno espumado

En su forma de espuma, el polietileno tiene muchos usos prácticos. Se emplea para amortiguar vibraciones, en el envasado y aislamiento, como barrera o componente de flotabilidad, y como material para proteger contra golpes. La espuma de polietileno se utiliza con mayor frecuencia como material de embalaje. Se encuentra en diversos tipos de envases y se emplea para proteger muebles, componentes informáticos, electrónicos y otros artículos, evitando daños durante el transporte. Además, Está autorizada para su uso en la industria alimentaria. (Mariano, 2012)

Figura 5

Láminas de espuma de polietileno para proteger los alimentos



Nota: materiales para protección y embalaje de alimentos, elaborados a partir de láminas de espuma de polietileno.

Fuente: <https://ironpack.com.ar/index.php/novedades/44>

2.2.12. Bioplásticos

Los bioplásticos son plásticos de origen biobasado, lo que significa que provienen de fuentes naturales renovables, como plantas, animales y microorganismos, en lugar del petróleo. Esto los distingue de los polímeros biodegradables, que tiene la capacidad de descomponerse en moléculas simples gracias a la acción de microorganismos. Es la estructura química lo que hace que un polímero sea biodegradable, diferenciándolo de los polímeros convencionales y permitiendo su degradación por microorganismos, como hongos y bacterias en ambientes biológicamente activos. (Mogollon & Sarmiento, 2020)

Los bioplásticos no constituyen una única clase de polímeros sino una familia de materiales con distintas propiedades y rango de aplicaciones. La Asociación Europea de bioplástico (European bioplastics), clasifica estos materiales en dos categorías principales:

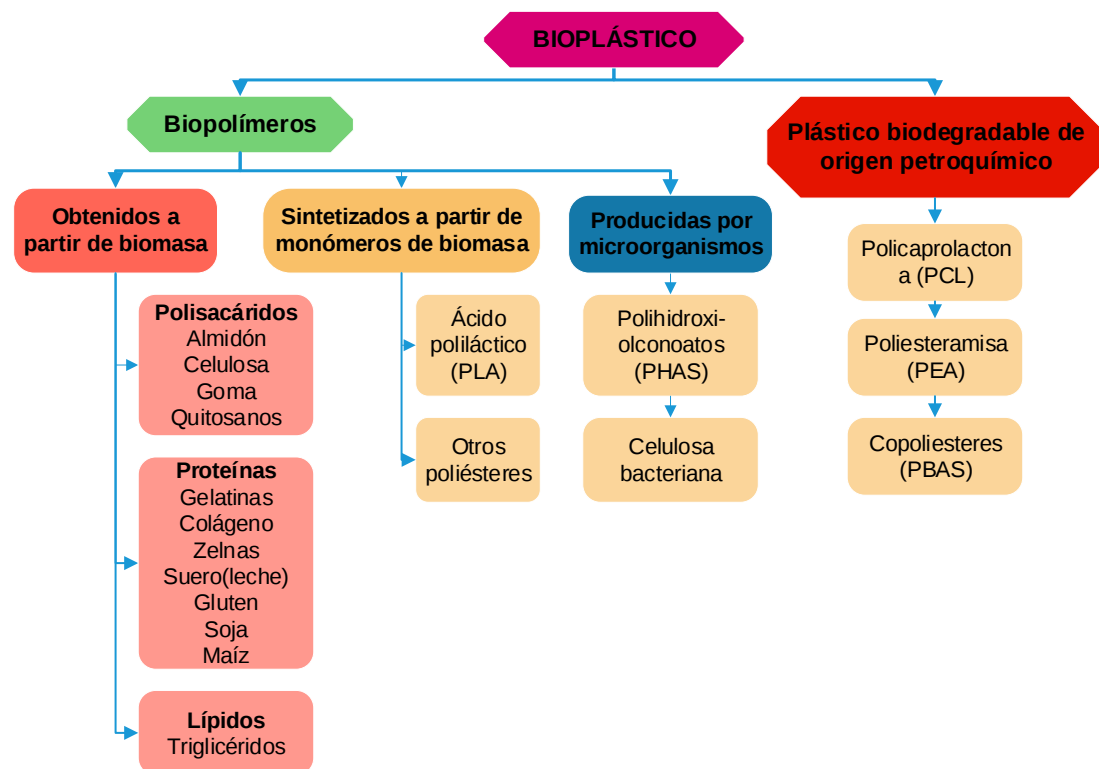
- Los denominados plásticos procedentes de biomasa (de recursos renovables).
- Los polímeros biodegradables que cumplen con los criterios científicos recogidos en las normas de biodegradabilidad y compostabilidad que a nivel europeo son la

EN 13432 Y EN 14995, ISO 17088 o ASTM D-6400. En ambas tipologías de materiales existe un alto porcentaje de recursos renovables en su fabricación.

Los polímeros del primer grupo no precisan ser biodegradables o compostables, aunque la mayoría lo son. Los del segundo grupo no necesariamente tienen que estar basados en materias primas renovables para cumplir los criterios de la norma EN 13432. De hecho, algunos polímeros basados en monómeros procedentes de la industria petroquímica están clasificados como biodegradables o compostables, ya que la biodegradabilidad está más directamente relacionada con la estructura química que con el origen de las materias primas. (Remar, 2011)

Figura 6

Clasificación de los bioplásticos según su procedencia



Nota: En la figura 5 se muestra la clasificación de los bioplásticos de acuerdo a su origen. (Remar, 2011)

2.2.12.1. Clasificación del bioplásticos

Los plásticos se perciben comúnmente como materiales fabricados a partir de recursos fósiles y no biodegradables. Existen otros polímeros basados en recursos

renovables con escasa presencia en el mercado, pero con potencial interés como son:

- Lignina, pectina, quitina, quitosano o hemicelulosa (de tipo polisacárido).
- Proteínas de origen vegetal y animal: Gluten, zeína, caseína, colágeno, gelatina y suero (grupo de las proteínas).
- Triglicéridos.

Algunos de los biopolímeros anteriores tienen un potencial interés como aditivos de tipo natural con capacidad antioxidante o antimicrobiana como es el caso del quitosano. (Remar, 2011) Sin embargo, los plásticos se pueden clasificar en cuatro tipos según la fuente de la materia prima y si son biodegradables o no, estas categorías incluyen:

1. De base biológica y biodegradable.
2. De base biológica pero no degradable.
3. A base de petróleo y biodegradable.
4. A base de petróleo y no biodegradable.

Según las definiciones del bioplásticos, los tres primeros entran a la categoría de bioplásticos, mientras que el cuarto tipo se denomina comúnmente plásticos convencionales (derivados del petróleo y no biodegradables). (Abanga et al., 2023)

1. Bioplásticos de base biológica y biodegradables

Representan una pequeña porción de los termoplásticos biodegradables. En este grupo Incluye poliésteres de base biológica, biopolímeros (como celulosa, almidón, proteínas y lípidos) y fibras naturales. Aunque el almidón, la celulosa y las proteínas de origen vegetal son materiales inherentemente no termoplásticos, adquiere propiedades termoplásticas cuando se combinan con un plastificante durante el proceso de fabricación del bioplásticos. Los poliésteres de base biológica se producen principalmente mediante la fermentación bacteriana de azúcar derivado de materiales de biomasa. (Abanga et al., 2023)

2. Bioplásticos de base biológica y no biodegradable

También se conoce como bioplásticos de aplicación directa y son esencialmente copias biosimilares de plásticos a base de petróleo, pero fabricados a partir de recursos renovables en lugar de combustibles fósiles. Aunque el origen del material es biológico, la modificación química durante el proceso de producción puede alterar su capacidad de biodegradación. Estos bioplásticos incluyen muchos polímeros comúnmente encontrados en los plásticos convencionales, pero derivan de fuentes de biomasa renovables, como la caña de azúcar o los residuos de aceites vegetales. Los plásticos de base biológica comparten composiciones químicas idénticas con sus homologas a base de petróleo, lo que les permite ser utilizado en las mismas aplicaciones y poseer las mismas propiedades. Sin embargo, a pesar de su origen renovable, su estructura química dificulta su biodegradación natural (Abanga et al., 2023)

3. Bioplástico biodegradable y a base de petróleo

Constituyen un pequeño subconjunto de plásticos que, aunque se producen a partir de recursos fósiles, se modifican químicamente para que sean descompuesto por microorganismos. Estos plásticos se utilizan generalmente junto con otros plásticos de base biológica o biodegradables, ya que mejoran sus propiedades mecánicas y, en consecuencia, su rendimiento en aplicaciones específicas. La biodegradación de los bioplásticos a base de petróleo no está influenciada por el origen del material, sino por la susceptibilidad de su estructura polimérica a los ataques microbianos. (Abanga et al., 2023)

2.2.13. Propiedades mecánicas

En nuestro entorno, los materiales están constantemente sometidos a fuerzas externas que pueden deformarlos o romperlos. Por eso, conocer las propiedades mecánicas de los materiales es esencial para seleccionar y utilizarlos adecuadamente en diversas aplicaciones. Las propiedades mecánicas describen cómo un material se comporta frente a fuerzas extremas como tensión, compresión, corte y torsión. Estas propiedades reflejan la relación entre las fuerzas aplicadas y la respuesta del material, es decir, su deformación. (Llerena & Monzón, 2017)

2.2.13.1. Tensión

También conocida como resistencia a la tracción, esta propiedad describe la capacidad de un material para resistir una fuerza que tiende a estirarlo o romperlo, dividida entre el área de la sección transversal original del material. Cuando se eliminan tensiones menores que la resistencia a la tracción, el material puede volver total o parcialmente a su forma y tamaño originales. La carga máxima que el material puede soportar antes de fallar se divide entre por el área original de la sección transversal de la muestra, obteniendo así a la resistencia a la tracción. Se expresa en MPa, psi, KPa o kg/cm².

$$\text{Tensión } (\sigma) = \frac{F_{\max}}{S}$$

Para calcular, se divide la máxima fuerza (Fmax) que el film puede soportar por el área de sección transversal (S) en el momento inicial. (Alata & Cuadros, 2017)

2.2.13.2. Porcentaje de elongación (% E)

Corresponde al porcentaje de cambio en la longitud original del film hasta que se rompe. Se calcula restando la longitud inicial del film (Lo) de la longitud alcanzada durante el ensayo (Lf). Este cambio se expresa como un porcentaje. (Alata & Cuadros, 2017)

$$\% E = \frac{LF - Lo}{Lo}$$

2.2.13.3. Compresión

Es un fenómeno físico que ocurre cuando se aplica una fuerza que empuja sobre un objeto, reduciendo el volumen. Describe la capacidad del material que puede resistir a una fuerza que tiende a ser aplastado. La fuerza de compresión puede venir de varias fuentes, como el propio peso del objeto o la acción de una prensa, y se mide en unidades de fuerza como: newtons (N) o kilogramos-fuerza (Kg-f). Mientras que las tensiones de tracción causan en la pieza una elongación perpendicular a su propia dirección, las fuerzas de compresión la hacen contraerse. (Llerena & Monzón, 2017)

2.2.14. Degradación

La degradación de un polímero se refiere a cualquier cambio químico o físico, ocurre cuando factores ambientales como la luz, el calor, la humedad, ciertas sustancias

químicas o la actividad biológica causan cambios en el material. Estos cambios pueden afectar sus propiedades mecánicas, ópticas o eléctricas, y pueden provocar agrietamiento a, erosión, decoloración separación de fases o delaminación. Los agentes que causan esta degradación pueden ser físicos, como el calor y la luz, o químicos, como la oxidación y la hidrólisis. Estos factores aceleran la degradación al exponer el material a condiciones para los cuales no fue diseñado, afectando su vida útil. (Mogollon & Sarmiento, 2020)

2.2.15. Biodegradación

La biodegradabilidad es un proceso metabólico y enzimático realizado por los microorganismos como bacterias y algunos hongos, los cuales secretan enzimas que se encargan de romper la estructura molecular del plástico degradándolo con el tiempo. La descomposición puede llevarse a cabo en presencia de oxígeno (aeróbica) o en ausencia (anaeróbica) siendo los productos del proceso de biomasa y biogás (dióxido de carbono y metano). Los factores que influyen en el proceso de biodegradación incluyen las condiciones ambientales (pH, temperatura, humedad, etc.). las características del polímero (peso molecular, enlaces químicos susceptibles a la hidrólisis, presencia de monómeros residuales o aditivos, etc.) las dimensiones del material y las características de los microorganismos (cantidad, concentración, tipo y origen). La biodegradabilidad del plástico sigue varios pasos. Primero, el plástico sufre una degradación primaria, o pretratamiento. Luego los microorganismos crecen utilizando el plástico como fuente de carbono. Durante este proceso, se mide la tasa de adsorción de oxígeno y tasa de emisión de dióxido de carbono. (Mogollon & Sarmiento, 2020)

2.3. MARCO CONCEPTUAL

- **Residuos agrícolas:** Son los materiales generados durante las actividades agrícolas, como la cosecha, la poda y el procesamiento de cultivos y ganados. Estos residuos pueden incluir una amplia variedad de materiales, como: (Tallos, hojas, cáscara y otras partes no comestibles de las plantas cultivadas).
- **Biomasa:** Es toda materia orgánica, como plantas y residuos animales, que se puede usar para generar energía. Esta fuente de energía renovable proviene de materiales como la madera, los cultivos agrícolas y los desechos orgánicos.

- **Fibra vegetal:** Es una sustancia natural presente en las plantas, compuesta principalmente de celulosa, hemicelulosa y lignina. estas fibras dan soporte a las plantas y se usan para hacer papel, textiles cuerdas y materiales de construcción.
- **Scoby:** (Symbiotic Culture Of Bacteria and Yeast - cultivo simbiótico de bacterias y levaduras) es una mezcla de bacterias y levaduras que se usa para fermentar te endulzado y hacer kombucha, una bebida probiótica. Parece una masa gelatinosa que flota en el líquido durante la fermentación.
- **Celulosa bacteriana:** Es un tipo de celulosa ´producida por ciertas bacterias, como *Gluconacetobacter xylinus*. A diferencia de la celulosa vegetal, la celulosa bacteriana tiene una estructura más pura y altamente ordenada lo que confiere propiedades únicas como una mayor fuerza mecánica, alta retención de agua y biocompatibilidad.
- **Plástico:** Son compuestos sintéticos conocidos como polímeros, los cuales tienen estructura molecular grande y puede ser moldeados a través de calor o presión. Su componente principal es el carbono. Estos polímeros se forman a partir de la unión de pequeñas unidades llamadas monómeros, mediante un proceso químico llamado polimerización.
- **Bioplástico:** Es un material producido a partir de fuentes de biomasa renovables, como grasas y aceites vegetales, almidón de maíz, paja, astillas de madera, aserrín, residuos de alimentos reciclados, etc. Los bioplásticos se obtienen a partir de recursos renovables.
- **Polietileno:** Es un plástico muy común y versátil que se produce a partir de la polimerización del etileno. Conocido por su ligereza y flexibilidad, resistencia a la humedad y su baja densidad.
- **Espumas de polietileno:** Las espumas de polietileno son materiales compuestos por pequeñas burbujas de aire o gas atrapadas dentro de una matriz de polietileno. Estas burbujas le confieren propiedades como ligereza, flexibilidad y capacidad de amortiguación.
- **Degradación:** La degradación de un polímero se refiere a cualquier cambio químico o físico, ocurre cuando factores ambientales como la luz, el calor, la humedad, ciertas sustancias químicas o la actividad biológica causan cambios en el material.
- **Biodegradabilidad:** Se refiere a la capacidad de un material para descomponerse de manera natural y ser transformado en compuestos más

simples por la acción de microorganismos como bacterias, hongos y algas, así como por otros organismos vivos y procesos biológicos.

- **Rastrojo de piña:** Es el residuo fibroso que queda después de la cosecha y procesamiento de la piña. Consiste en las hojas y tallos de la planta de piña que se desechan una vez que se han recolectado los frutos.
- **Pseudotallo:** Es una estructura característica de ciertas plantas, como la banana y la planta de plátano, que se asemeja a un tallo, pero en realidad está formada por la base de las hojas enrolladas unas sobre otras.

CAPÍTULO III MATERIALES Y MÉTODOS

3.1. TIPO Y NIVEL DE INVESTIGACIÓN

Este estudio se enmarca en una investigación tipo aplicada, con un enfoque cuantitativo, utilizando conocimientos derivados de la investigación básica para generar beneficios tangibles en sectores productivos de la sociedad. (Hernandez et al., 2014)

Específicamente, se enfoca en la optimización de parámetros para la obtención de bioespumas, aprovechando residuos agrícolas (piña y plátano) y celulosa bacteriana. Este proyecto no solo aborda el problema de los desechos agrícola, sino también abre puertas a alternativas más amigables con el medio ambiente.

El nivel de investigación es explicativo, buscando identificar las relaciones casuales entre las variables estudiadas en el proceso de síntesis y las propiedades resultantes del material. Este enfoque permite no solo desarrollar un nuevo biomaterial, sino también comprender profundamente como funciona.

Creemos que este conocimiento es clave para innovar y encontrar soluciones sostenibles que puedan marcar una diferencia real en nuestra sociedad.

3.2. DISEÑO DE LA INVESTIGACIÓN

Esta investigación tiene un enfoque experimental y exploratorio. El carácter experimental se manifiesta en la manipulación y control sistemático de variables, con el objetivo de describir los efectos de intervenciones específicas y establecer relaciones causa-efecto. (Hernandez et al., 2014) Se realizaron múltiples ensayos con diversas concentraciones de goma xantana, glicerol y tensogras como variables de estudio, manteniendo como variables constantes la celulosa bacteriana, celulosa vegetal.

El aspecto exploratorio del estudio se centró en la caracterización detallada del material resultante, proporcionando un análisis exhaustivo de sus propiedades. Este enfoque dual facilitó la evaluación comprehensiva de las características físicas-mecánicas del bioespuma obtenido.

3.2.1. Diseño óptimo de experimentos (DOE)

La presente investigación se centra en el desarrollo de un biomaterial innovador como alternativa sostenible a las láminas de espuma de polietileno; Se implementó un Diseño Óptimo de Experimentos (DOE) para maximizar la información obtenida y optimizar los recursos. El estudio se enfocó en tres variables controladas que constituyen el 20% de la mezcla total: goma xantana (G_XAN), glicerol (G_LY) y tensogras (T_GL).

Siguiendo los principios del DOE para experimentos con mezclas, se buscó determinar las proporciones óptimas que confieran al bioespuma excelentes propiedades físicas-mecánicas y biodegradabilidad. El 80 % restantes de la composición se mantuvo fijos, comprendiendo celulosa de piña, plátano y celulosa bacteriana. Se establecieron nueve tratamientos basados en un diseño simplex-centroide (DSC), empleando la función de deseabilidad para optimización.

Este enfoque metodológico riguroso busca establecer una base sólida para el desarrollo de alternativas biodegradables a los materiales sintéticos convencionales.

Tabla 5

Matriz experimental de mezclas para la obtención de bioespuma

Variables de estudio				Variables constantes			Mezcla total 100 %
20%				80%			
Nº TRAT	G-XAN	G-LY	T-GL	C-BAC	C-PÑ	C-PL	
1	1,5	10	8,5	76	2	2	100
2	1,5	8,5	10	76	2	2	100
3	0	10	10	76	2	2	100
4	3	8,5	8,5	76	2	2	100
5	1,5	9,25	9,25	76	2	2	100
6	1,5	9,63	8,88	76	2	2	100
7	1,5	8,88	9,63	76	2	2	100
8	0,75	9,63	9,63	76	2	2	100
9	2,25	8,88	8,88	76	2	2	100

3.3. POBLACIÓN Y MUESTRA

La población de este estudio comprende residuos agrícolas específicos (hoja de piña y residuos de plátano) y celulosa bacteriana.

La celulosa bacteriana de Scoby (*Manchurian fungus*), desarrollados en el laboratorio de centro experimental de curtiembre. Los residuos agrícolas se recolectaron de fuentes agrícolas: el rastrojo de piña del centro poblado de Omayá y el pseudotallo de plátano de la localidad de San Martín Otari, ambos ubicados en el distrito de Pichari, provincia La Convención, departamento de Cuzco.

3.4. VARIABLES E INDICADORES

3.4.1. Variable de estudio

- Goma xantana
- Glicerol
- Tensogras

3.4.2. Variable de respuesta

- Espesor
- Resistencia a la tensión

- Porcentaje de elongación
- Compresión
- Biodegradabilidad

3.5. OPERACIONALIZACIÓN DE VARIABLES

La operacionalización de las variables tanto dependiente e independiente se presenta en la siguiente tabla.

Tabla 6

Operacionalización de variables de investigación

Variables	Niveles de variables		Definición operacional	Indicadores
X (Variables de estudio)	X₁	Goma xantana	Brinda estabilidad y seudo plasticidad para obtener mejores características.	%
	X₂	Glicerol	Actúa como plastificante para que el biomaterial obtenido tenga una mejora en su flexibilidad.	%
	X₃	Tensogras	El tensogras sirve para homogenizar es un tensoactivo del agua que se va incorporara en la obtención del bio-espuma.	%
Y (Variables de respuesta)	Y₁	Espesor	Es la distancia que existe entre dos superficies paralelas de un objeto o material.	mm
		Resistencia a la tensión	Es la capacidad de un material para resistir una fuerza de tracción sin romperse.	(MPa)
		% Elongación	Es una cantidad dimensional que presenta el aumento porcentual en la longitud, cuando se somete a una tensión de tracción.	(%)
		Compresión	Aplicación de fuerzas que empujan contra un material, que va reducir el volumen.	(N, Kg-f)
		Biodegradabilidad	Es la capacidad de un material para ser descompuesto completamente por microorganismos en un ambiente específico y dentro de un período de tiempo definido.	%

3.6. ÁMBITO DE LA INVESTIGACIÓN

La investigación se realizó en el distrito de Ayacucho, provincia de Huamanga, Departamento de Ayacucho. La etapa de obtención y la biodegradabilidad del bioespuma se realizó en los ambientes del centro experimental de curtiembre de la escuela profesional de Ingeniería Agroindustrial de la Facultad de Ingeniería Química y Metalurgia, mientras que los ensayos para la determinación de las propiedades físicos-mecánicos se llevó a cabo en el laboratorio de ingeniería de procesos agroindustriales, de la Universidad Nacional de Trujillo, en la ciudad de Trujillo.

3.6.1. Duración

La investigación tuvo una duración de 11 meses, durante julio 2023 y junio del 2020.

3.7. MATERIALES

Materia prima

- Hojas de piña
- Pseudotallo de plátano
- Scoby (*Manchurian fungus*)

Materiales

- Termómetro -20 a 150°C
- pHmetro, Universal test paper
- Pipeta 1ml, 5ml, 10ml
- Vasos precipitados 250 ml, 500 ml y 600 ml
- Probetas 50 ml y 100 ml
- Espátula
- Tamiz 250 μ m
- Tela muselina sintética 40x20 cm
- Fiola 1000 ml
- Baldes de plásticos 5 L, 15 L y 20 L
- Jarras de plástico de 2 L y 4 L
- Ollas acero inoxidable 5 L y 10 L

- Moldes de 26,3 x 17,5 cm de vidrio 4mm transparente

Equipos

- Texturómetro - (TA. HD plus, Stable Micro Systems, Reino Unido)
- Vernier digital, Ubermana
- Balanza de precisión –: Ohaus Scout SE602F
- Termobalanza (analizador de humedad), PCE-MB50
- Licuadora, Sweetza – Modelo: NO BPST02-B 60 HZ
- Desfibradora mecánica
- Digestor de celulosa
- Molino dual, Electric Mill Grinder: Modelo, Grain Mill 150-3HP

Reactivos

- Hidróxido de sodio (NaOH)
- Hipoclorito de sodio (NaClO)
- Goma xantana
- Glicerol 90%
- Tensogras CXM

3.8. TÉCNICAS E INSTRUMENTOS DE RECOLECCIÓN DE DATOS

El desarrollo experimental para la recolección de datos se desarrolló de acuerdo a los diagramas mostrados:

3.8.1. Producción de Scoby (*Manchurian fungus*)

La producción de celulosa bacteriana se basó en el protocolo establecido por Velásquez (2022), utilizando azúcar y té negro como fuentes de nutrientes para el cultivo de Scoby. La figura 7 presenta un diagrama de flujo detallado que ilustra las operaciones secuenciales involucradas. Desde la preparación inicial del medio de cultivo hasta la extracción final del producto.

Descripción de las operaciones

Infusión

La preparación de la infusión para el cultivo del Scoby se realizó siguiendo el siguiente procedimiento. Se llevó a ebullición el agua potable en recipiente de acero inoxidable. Posteriormente, se transfirieron 750 ml de agua (75 % del volumen total) a un frasco previamente esterilizado. A esta base se añadieron 50 g de té negro (5 % de la composición) y 200 g de azúcar (20 % de la composición). La mezcla se mantuvo a 80°C durante la infusión y luego se dejó enfriar a temperatura de ambiente.

Inoculación

El proceso de la inoculación se realizó utilizando cultivos de Scoby (colonia simbiótica de bacterias y levaduras), en forma de discos, obtenidos en el laboratorio del centro experimental de curtiembre de la escuela profesional de Ingeniería Agroindustrial de la Facultad de Ingeniería Química y Metalurgia de la Universidad Nacional de San Cristóbal de Huamanga.

Estos inóculos se incorporaron a la infusión previamente preparada y enfriada, asegurando las condiciones óptimas de la temperatura del ambiente 25 °C para la proliferación microbiana. La mezcla resultante se transfirió a un recipiente estéril, proporcionando un ambiente controlado para el crecimiento del Scoby (colonia simbiótica de bacterias y levaduras) y posteriormente la producción de celulosa bacteriana.

Fermentación

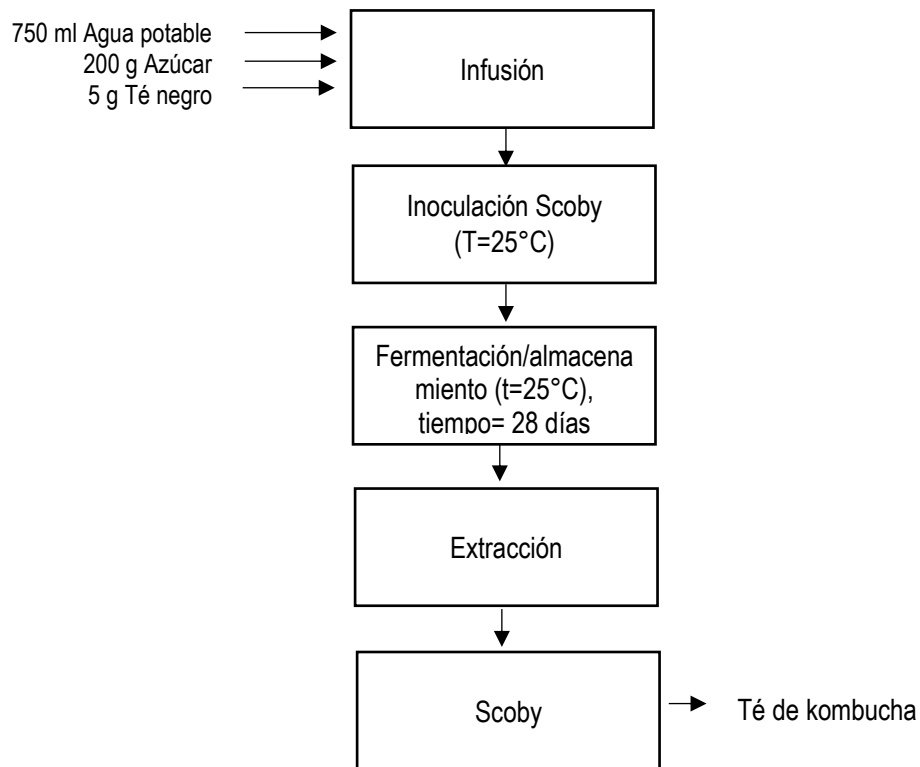
El proceso de la fermentación se llevó a cabo a una temperatura de 25 ° C, utilizando un recipiente herméticamente cerrado para prevenir la contaminación de agentes externos. Se mantuvo una oxigenación adecuada para favorecer el crecimiento aeróbico del Scoby (colonia simbiótica de bacterias y levaduras). Se monitoreó cuidadosamente las condiciones para asegurar el proceso.

Extracción

Tras un periodo de fermentación de 28 días, se procedió a la extracción del Scoby (colonia simbiótica de bacterias y levaduras), formada en la superficie del medio de cultivo. La extracción se realizó manualmente. La película, que presenta una consistencia gelatinosa característica. La muestra extraída se destinó posteriormente a la producción de celulosa bacteriana purificada, componente crucial en la formulación del bioespuma.

Figura 7

Diagrama de flujo de la elaboración del té para producción de Scoby (Manchurian fungus)

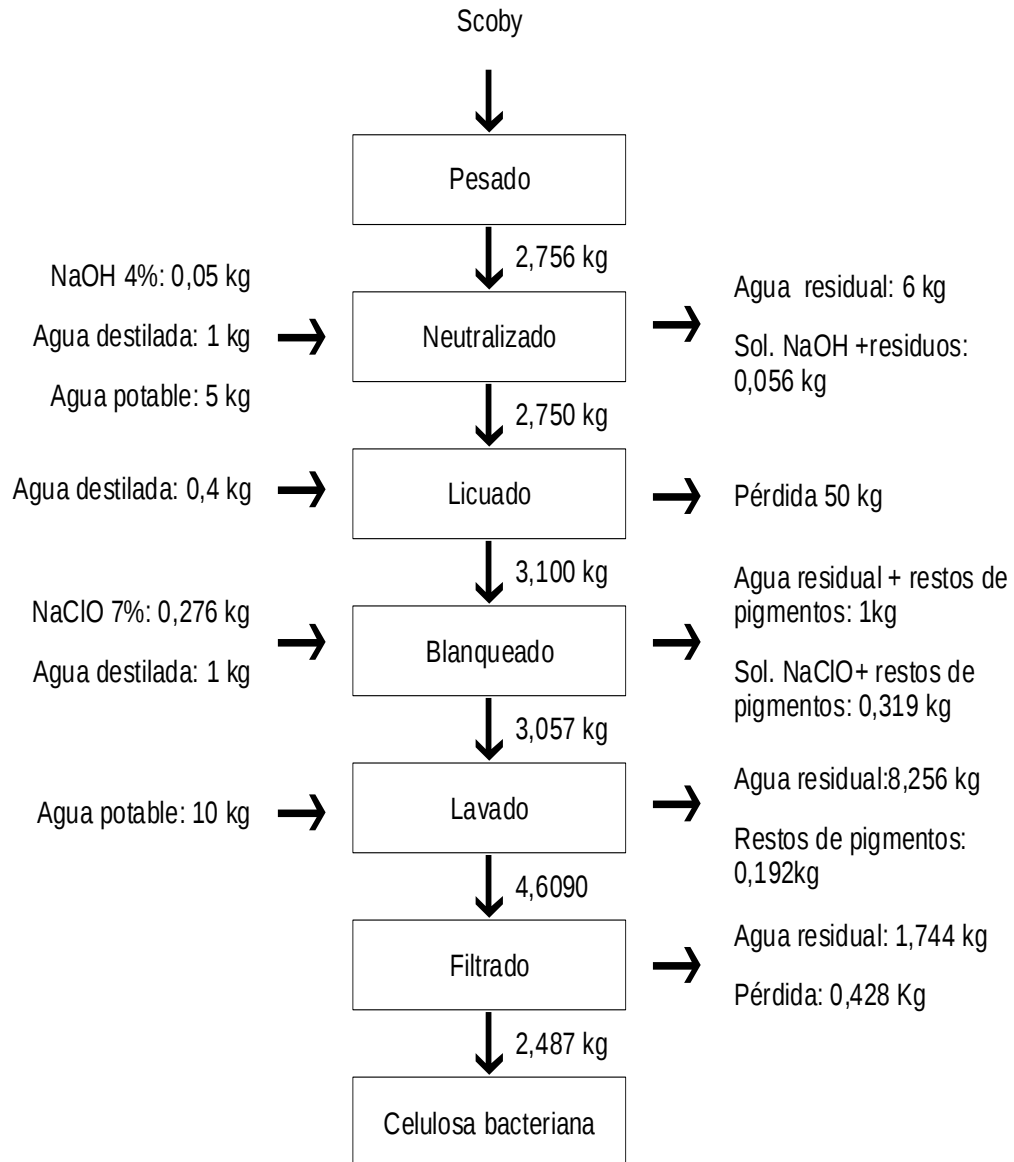


3.8.2. Obtención de celulosa bacteriana

La figura 8 proporciona un diagrama de flujo detallado que ilustra el proceso secuencial de obtención de celulosa bacteriana. Este esquema visual ofrece una representación clara y sistemática.

Figura 8

Diagrama de flujo para la obtención de celulosa bacteriana



Descripción del proceso

Materia prima

El Scoby (colonia simbiótica de levaduras y bacterias), constituye el componente fundamental para la obtención de la celulosa bacteriana.

Pesado

La masa del cultivo Scoby se determinó utilizando una balanza analítica de precisión (modelo: Ohaus Scout SE602F), registrando un peso de 2756 kg, lo que proporcionó una cantidad precisa del material inicial.

Neutralizado

El cultivo de té de kombucha presentó inicialmente un PH de 1,5, medido con un pHmetro (Universal test paper). Para prevenir los efectos potencialmente adversos de esta acidez extrema sobre las propiedades de la celulosa bacteriana, se implementó un proceso de neutralización. Se utilizó una solución de hidróxido de sodio (NaOH) al 4 %. En un recipiente, se preparó una mezcla constituida por 1000 ml de agua destilada y 50 ml de solución de NaOH. Posteriormente, se realizaron lavados sucesivos con agua potable hasta pH neutro.

Licuadao

Para reducir el tamaño de la partícula y aumentar la homogeneidad del material, el cultivo neutralizado se sometió a una operación de homogenización mecánica. Se utilizó una licuadora de alta velocidad (Sweetza – Modelo: NO BPST02-B 60 HZ), operando durante 10 minutos. Se adicionaron 100 ml de agua destilada para optimizar la operación.

Blanqueado

Para estandarizar la coloración del material, se implementó un proceso de blanqueado químico. Se preparó una solución utilizando 276 ml de hipoclorito de sodio al 7 % de concentración, diluido en un litro de agua destilada. Esta mezcla se vertió en un recipiente de acero inoxidable y se calentó utilizando una cocina eléctrica de temperatura controlada, el tratamiento se realizó a una temperatura de 60 °C

durante el periodo de 10 minutos. Estos parámetros fueron cuidadosamente seleccionados para optimizar la eficacia del blanqueado.

Lavado

Posterior al tratamiento de blanqueamiento, se implementó el proceso lavado utilizando agua potable en abundancia, para eliminar completamente los residuos de hipoclorito de sodio, previniendo así cualquier interferencia en las etapas subsiguientes del proceso.

Filtrado

La suspensión de celulosa bacteriana obtenida a partir de Scoby (colonia simbiótica de levaduras y bacterias), se sometió a un proceso de filtración utilizando un tamiz de 250 μm . Este paso fue crucial para la separación efectiva de la muestra obtenida de la fase acuosa, asegurando la uniformidad en el tamaño de partícula del producto final.

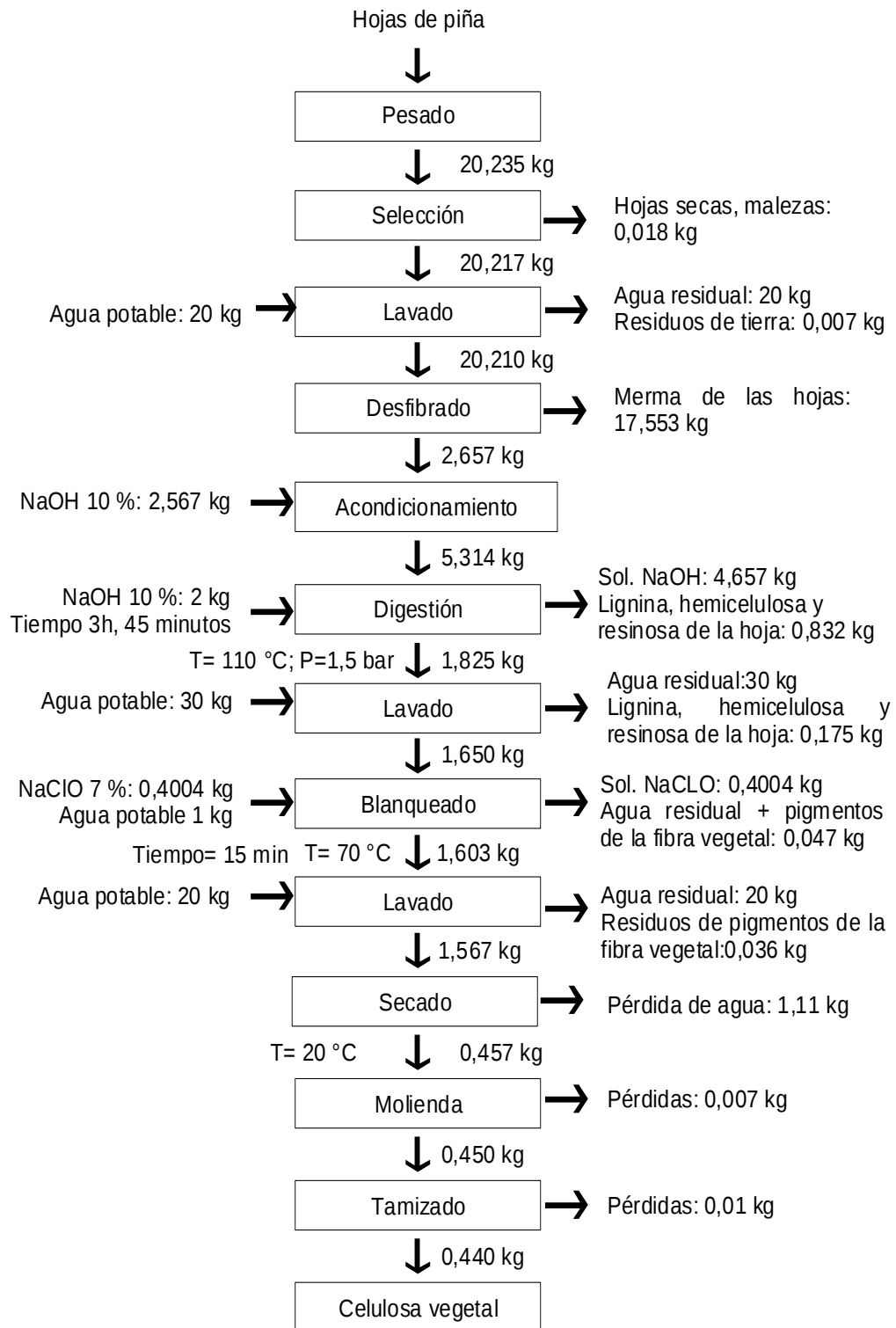
Al concluir el proceso de lavado y filtración, se obtuvo una masa neta de 2,487 kg de celulosa bacteriana purificada. Este material, caracterizado por su alta pureza y homogeneidad, quedó listo para su incorporación en la formulación subsiguiente de bioespuma.

3.8.3. Obtención de celulosa vegetal de las hojas de piña (*Ananas comosus*) Golden

En la figura 9 presenta un diagrama de flujo detallado que ilustra el proceso secuencial de extracción de celulosa vegetal a partir de las hojas de piña de la variedad de Golden, procedentes del VRAEM (Valle del Río Apurímac, Ene y Mantaro). Este esquema visual ofrece una representación clara y sistemática.

Figura 9

Diagrama de flujo para la obtención de celulosa vegetal de hojas de piña



Descripción del proceso

Pesado

La masa inicial de la muestra de hojas de piña, utilizando una balanza analítica. El peso registrado fue de 20,235 kg.

Selección

Se realizó una selección para eliminar las hojas secas y material vegetal no deseado. Posteriormente, se realizó un lavado de las hojas seleccionadas utilizando abundante agua potable, para eliminar impurezas superficiales y adheridas, asegurar limpio el material para los siguientes procesos subsiguientes.

Lavado

Las hojas de piña Golden seleccionadas se sometieron a un proceso de lavado optimizado. Este procedimiento se enfocó específicamente en la eliminación de impurezas superficiales y adheridas a las cortezas. Se utilizó agua potable abundante para asegurar una limpieza efectiva.

Desfibrado

Tras el proceso de lavado, las hojas de piña Golden se sometieron a un tratamiento mecánico de desfibrado utilizando una desfibradora mecánico piloto. Este equipo opera bajo el principio de fricción a alta velocidad, lo que permite una separación efectiva de las fibras celulósicas de la matriz vegetal.

Acondicionado

Posterior al proceso de desfibrado, se realizó una selección minuciosa del material, separando las partes no desfibradas completamente. La masa de fibra celulósica obtenida fue de 2,657 kg y lo demás quedó como merma. Para optimizar la extracción de celulosa, se implementó un tratamiento de deslignificación alcalina. Se preparó una solución de hidróxido de sodio (NaOH) al 10 % de concentración, utilizando de 2,657 kg, establecieron una relación 1:1 con la masa de fibra celulósica. El tratamiento se llevó a cabo en un recipiente de plástico se realizó, se sometió la mezcla a agitación constante durante 2 horas.

Digestión

La fibra bruta pretratada con hidróxido de sodio se sometió a una operación de digestión alcalina en un digestor. Para asegurar la inmersión completa de la fibra, adicionaron 2 kg de solución de NaOH al 10 %, mantenido concentración constante. El digestor se selló herméticamente y se operó bajo condiciones controladas temperatura de 110 °C y presión de 1,5 bar, estas condiciones se midieron en el indicador de presión y temperatura del digestor que se encuentra en la parte superior, esta operación se llevó a cabo durante un tiempo de 3 horas y 45 minutos. Tras el tratamiento se permitió el enfriamiento natural hasta alcanzar la presión atmosférica antes de abrirlo. Este proceso es crucial para la remoción efectiva de lignina y hemicelulosa, componente no celulósico que podría afectar en la obtención del producto final.

Lavado

Tras el proceso de digestión alcalina, se procedió a la extracción cuidadosa de la fibra del reactor. La matriz fibrosa, impregnada con la solución residual de hidróxido de sodio y compuestos resinosos solubilizados, se sometió a un proceso de lavado. Se utilizó agua potable en abundancia, aplicando un lavado de contracorriente para la eliminación de residuos alcalinos y subproductos de la deslignificación. El proceso se realizó hasta alcanzar la neutralidad.

Blanqueado

Para obtener una coloración homogénea y mejorar la pureza de la celulosa, se implementó el proceso de blanqueado. Su peso fue de 1,650 kg de celulosa lavada utilizando una balanza analítica. La solución de blanqueo se preparó diluyendo 0,4004 kg de hipoclorito de sodio al 7 % en 1 kg de agua destilada, estableciendo una proporción entre el agente blanqueador y la masa de la celulosa vegetal. El tratamiento se realizó en un reactor de acero inoxidable, manteniendo una temperatura de 70 °C mediante una cocina eléctrica. El proceso se llevó a cabo durante 15 minutos, tiempo optimizado para maximizar la eficacia del blanqueado.

Lavado

Tras el proceso de blanqueado, se procedió al lavado para eliminar completamente los residuos de hipoclorito de sodio. Se utilizó abundante agua potable. Finalizado el proceso de lavado, se pesó la masa de la celulosa vegetal húmeda, utilizando una balanza analítica, registrando un peso final de 1,567 kg.

Secado

La celulosa húmeda se sometió a un secado controlado a temperatura ambiente (20 ° C) durante un periodo de 5 días. Este método de secado lento minimiza la aglomeración de celulosa y preserva la estructura morfológica de la celulosa.

Molienda

La celulosa seca, se pesó en 0,457 kg mediante una balanza analítica, se procesó en un molino dual para reducir y homogenizar el tamaño de la partícula.

Tamizado

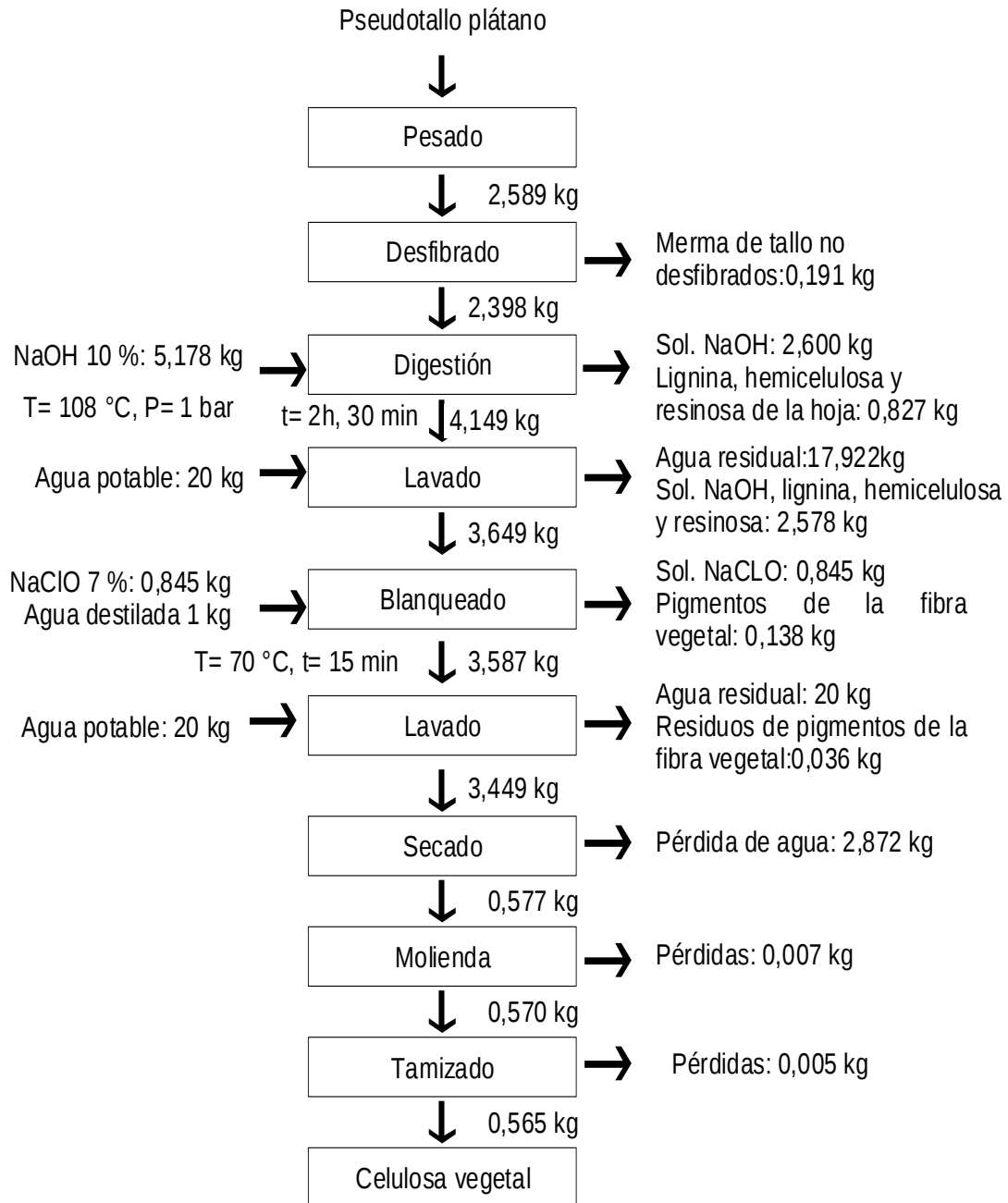
El producto molido se clasificó utilizando un tamiz de 250 µm, asegurando una distribución de tamaño de partícula uniforme. Este proceso de tamizado final garantiza la consistencia del material para su incorporación en la mezcla del bioespuma. Cada etapa fue optimizada para mantener la estructura de las fibras celulósicas para su uso en la formulación del biomaterial.

3.8.4. Obtención de celulosa vegetal del pseudotallo de plátano

La materia para este proceso, constituida por residuos de plátano. En la figura 10 presenta un diagrama de flujo detallado que ilustra el proceso secuencial de extracción de celulosa vegetal, se utilizó los pseudotallos secos de la planta de plátano.

Figura 10

Diagrama de flujo para la obtención de celulosa del pseudotallo de plátano



Descripción del proceso

Pesado

Se pesó 5,914 kg el pseudotallo de la planta de plátano, utilizando una balanza analítica de precisión.

Desfibrado

Para esta operación, se utilizó los pseudotallos secos de la planta de plátano, el material pesado se sometió inmediatamente a un proceso de desfibrado mecánico utilizando una desfibradora piloto de alta velocidad, optimizando la separación de las fibras celulósicas.

Digestión

Tras el desfibrado, se realizó una selección, separando el material desfibrado. Se obtuvieron 2,589 kg de fibra seca utilizable. Para la deslignificación, se separó una solución de hidróxido de sodio (NaOH) al 10 % de concentración, 5,178 ml en proporción 1:2 respecto a la masa de la fibra. La digestión se llevó a cabo en un digestor bajo condiciones controladas: donde el equipo en la superior tiene un barómetro y termómetro que controló la temperatura de 108 °C, presión de 1 bar durante 2 horas y 30 minutos. Tras el tratamiento se permitió el enfriamiento natural hasta alcanzar la presión atmosférica antes de abrirlo a temperatura del ambiente.

Lavado

Tras la operación de digestión alcalina, se procedió a la extracción cuidadosa de la fibra del reactor. Se procedió lavado exhaustivo con abundante agua potable para eliminar los residuos de hidróxido de sodio y material resinoso adheridos. El proceso de lavado se continuó hasta alcanzar un PH neutro, verificado por un pHmetro.

Blanqueado

Para homogenizar la coloración y mejorar la pureza de la celulosa, se implementó la operación de blanqueado. Su peso de 3,649 kg de celulosa lavada utilizando una balanza analítica. La solución de blanqueo se preparó diluyendo 0,845 kg de cloro en 6 kg de agua destilada. El tratamiento se realizó en un reactor de acero inoxidable,

manteniendo una temperatura de 70 °C mediante una cocina eléctrica. La operación se llevó a cabo durante 15 minutos. Se ajustó la cantidad de concentración de cloro durante la operación, se observó una coloración marrón, así se logró una coloración homogénea.

Lavado

Tras la operación de blanqueado, se procedió al lavado para eliminar completamente los residuos de hipoclorito de sodio. Se utilizó abundante agua potable. Finalizado el proceso de lavado, se pesó la masa de la celulosa vegetal húmeda, utilizando una balanza analítica, registrando un peso final de 3,449 kg.

Secado

La celulosa húmeda se sometió a un secado controlado a temperatura ambiente durante un periodo de 5 días. Este método de secado lento minimiza la aglomeración de celulosa y preserva la estructura morfológica de la celulosa.

Molienda

La celulosa seca, se pesó en 0,557 kg mediante una balanza analítica, se procesó en un molino dual para reducir y homogenizar el tamaño de la partícula.

Tamizado

El producto molido se clasificó utilizando un tamiz de 250 µm, asegurando una distribución de tamaño de partícula uniforme. Este proceso de tamizado final garantiza la consistencia del material para su incorporación en la mezcla del bioespuma.

3.8.5. Proceso de elaboración de la bioespuma

El estudio se fundamentó en un diseño experimental de mezclas, utilizando el software Minitab 21.1.0. previo a la elaboración final, se realizaron pruebas preliminares para evaluar los porcentajes óptimos de celulosas vegetales, celulosa bacteriana, goma xantana, glicerol y tensogras. Estos resultados preliminares guiaron la construcción de un nuevo diseño de mezcla, que sirvió como base para la elaboración de bioespumas con nueve tratamientos distintos.

Descripción del proceso

Pesado

Se utilizaron 76 g celulosa bacteriana, completada con 2 g celulosa de plátano y 2 g de celulosa de piña, constituyeron así la base celulósica de la mezcla. Los aditivos, incluyendo goma xantana, glicerol y tensogras se pesaron en gramos, de acuerdo con las proporciones determinadas por el diseño experimental de mezclas.

Mezclado

Tras el pesado de los componentes, se procedió a la fase de homogenización de la mezcla. Para esta operación, se empleó una licuadora como un equipo de mezclado. Todos los componentes: celulosa bacteriana, celulosa vegetal de piña y plátano, y los aditivos (goma xantana, glicerol y tensogras), se incorporaron simultáneamente al vaso de la licuadora. La operación se llevó a cabo durante un periodo de 2 minutos en las que se le incorpora aire a la mezcla.

Moldeado

La mezcla homogénea se vertió en un molde de vidrio con dimensiones: 26,3 cm de altura, 17,5 cm de ancho y 0,4 cm de espesor. Esta operación aseguro la uniformidad en el espesor del bioespuma durante el secado.

Secado

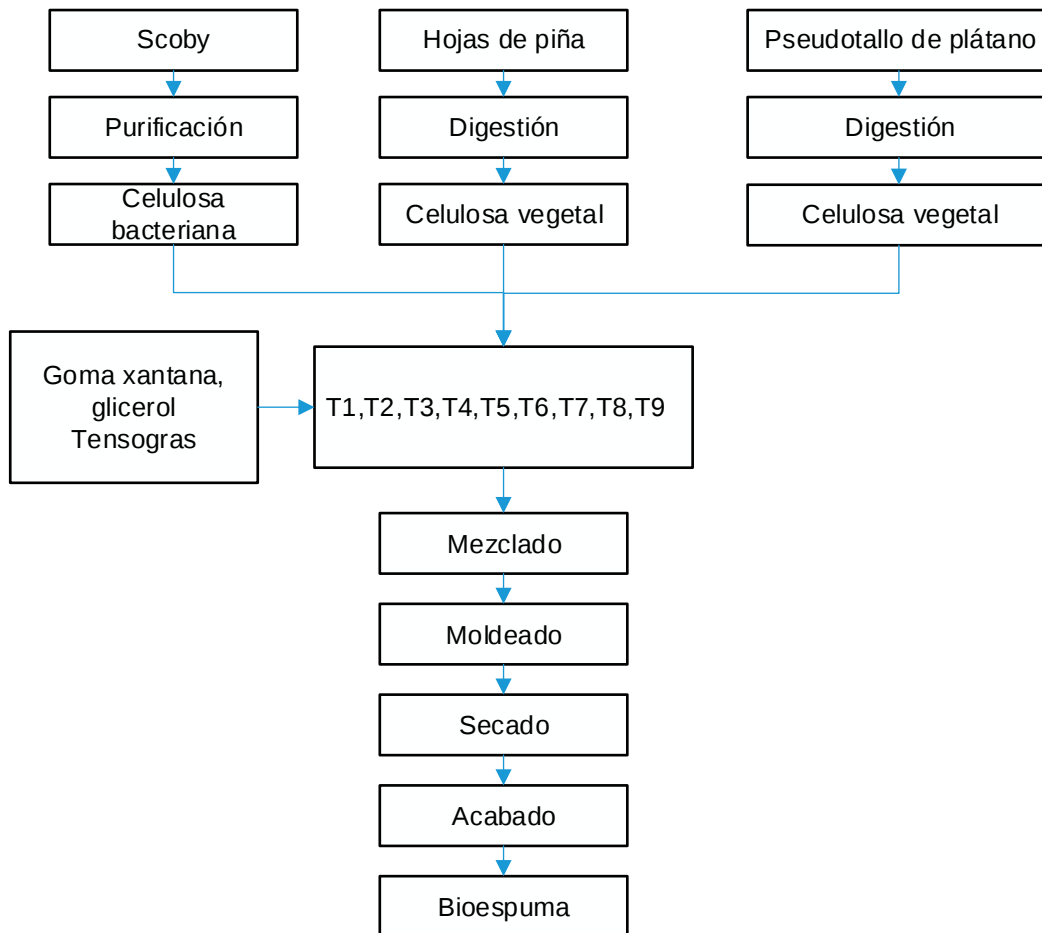
El secado se realizó bajo condiciones ambientales, durante el periodo de 5 días. Esta actividad de secado lento y uniforme facilitó la evaporación gradual de agua y la conformación de la bioespuma. Alcanzado el equilibrio de humedades entre la bioespuma y el medio ambiente se completa el secado, momento en el cual se procedió al desmoldado cuidadoso de la bioespuma conformada.

Acabado

Como etapa final, se aplicó una capa de resina RDL-4048 a la superficie de la bioespuma, lo que mejoró su resistencia a la humedad y proporcionó un acabado estético. Tras el secado de la resina, se obtuvo el producto final, listo para su evaluación.

Figura 11

Diagrama de operaciones cualitativo para la obtención de bioespuma



3.8.6. Evaluación de las propiedades físicas y mecánicas del biomaterial

Los ensayos de caracterización mecánica se llevaron a cabo en el laboratorio de Ingeniería de Procesos Agroindustriales de la Universidad Nacional de Trujillo (UNT). Se empleó un equipo de analizador de textura TA. HD plus (Stable Micro Systems, Reino Unido), equipado con una celda de carga de 5 kg-f, para evaluar las propiedades mecánicas de las bioespumas. El espesor de las muestras se midió con precisión utilizando un vernier digital de marca Ubermana. Todos los procedimientos se realizaron siguiendo el método de referencia ASTM D3574-17.

Para los ensayos de tensión, se prepararon muestras con dimensiones estandarizadas de 140 mm de largo y 12 mm de ancho. Los ensayos de compresión se realizaron en cuadrados de 50 mm de lado. Esta metodología rigurosa aseguró la

obtención de datos reproducibles y comparables sobre las propiedades físicas-mecánicas del bioespuma desarrollado.

3.4.1.1. Medición del espesor del bioespuma

La caracterización dimensional de las bioespumas se realizó mediante la medición precisa del espesor utilizando un vernier digital. Las lecturas se tomaron en tres puntos de la muestra en los exteriores y en el centro, y se sacó un promedió del espesor para asegurar la representatividad, y se registraron en milímetros (mm). Estos datos de espesor fueron fundamentales para el subsiguiente cálculo del porcentaje de elongación.

Figura 12

Medición del espesor con vernier digital



Laboratorio de Ingeniería de Procesos Agroindustriales de la Universidad Nacional de Trujillo (UNT).

3.4.1.2. Prueba de tensión

El ensayo de tensión de las bioespumas desarrolladas se evaluó siguiendo el método ASTM D3574-17 (Anexo 10), específicamente diseñado para la caracterización de espumas flexibles de uretano. Esta norma permite determinar cuantitativamente el efecto de una fuerza de tracción aplicada al material.

Este método permite la medición de la tensión de tracción con un alargamiento predeterminado, la resistencia a la tracción y el alargamiento máximo. (ASTM D3574-17, 2018)

Las muestras se prepararon con dimensiones de 140 mm de largo por 12 mm de ancho. El ensayo se realizó con una separación inicial del agarre de 62,5 mm y una velocidad de extensión de 500 mm/min. Permitió la obtención de valores precisos de resistencia a la tracción, expresados en mega pascales (MPa), así como el porcentaje de elongación (%).

La elongación, un parámetro crítico para evaluar la flexibilidad y resistencia a la deformación de las bioespumas, se determinó mediante la fórmula:

$$\% \text{ Elongación} = \frac{(\text{Longitud final} - \text{Longitud inicial})}{\text{Longitud inicial}} \times 100$$

Donde la longitud inicial corresponde a la muestra antes del ensayo de tensión. Esta metodología permitió la capacidad de las bioespumas para estirarse bajo carga antes de la ruptura.

Figura 13

Ensayo de prueba de tensión



Laboratorio de Ingeniería de Procesos Agroindustriales de la Universidad Nacional de Trujillo (UNT).

3.4.1.3. Prueba de compresión

El ensayo de compresión se realizó siguiendo el método (Iftimi et al., 2019), diseñado para medir la fuerza necesaria para producir una compresión del 50% sobre el área superior de la muestra de espuma. Las propiedades mecánicas de compresión se evaluaron utilizando un analizador de textura TA. HD plus (Stable Micro Systems, Reino Unido), equipado con una celda de carga de 5 kg-f. Las muestras se prepararon con dimensiones estandarizadas de 50 mm x 50 mm. El protocolo de ensayo implicó la colocación de la muestra sobre un soporte, seguida de la aplicación de fuerza mediante una sonda esférica de 0,5 pulgadas de diámetro. La sonda se configuró para perforar la espuma con un 37% de deformación a una velocidad constante de 0,2 mm/s. Los resultados se expresaron como fuerza máxima (N) que la espuma puede soportar antes de la deformación crítica, proporcionando una medida cuantitativa de la resistencia a la compresión del material. (Iftimi, et al., 2019)

Figura 14

Ensayo de prueba de compresión



Laboratorio de Ingeniería de Procesos Agroindustriales de la Universidad Nacional de Trujillo (UNT).

3.8.7. Evaluación de la biodegradabilidad del biomaterial

La biodegradabilidad del biomaterial se evaluó mediante la simulación en medio de compost y el suelo.

3.8.7.1. Evaluación de la biodegradabilidad en compost

La biodegradabilidad del biomaterial se evaluó mediante simulación en medio de compost, adaptado el método descrito por (López et al., 2010) para películas poliméricas de quitosano.

Se utilizó un compost maduro de 8 meses del laboratorio de curtiembre que realizó un tesista, tamizado a 4 mm. Se diseñó un sistema de degradación con nueve compartimentos (72 cm x 21 cm, separados cada 8 cm), cada uno conteniendo 500 g de compost. Las condiciones iniciales fueron 19,7°C y 29,51% de humedad. Muestras del biomaterial (6 cm x 3 cm) se enterraron a 5 cm de profundidad en cada compartimento. El experimento se mantuvo durante 35 días, con riego dos veces a la semana para mantener la humedad óptima para la actividad microbiana. La degradación se cuantificó mediante la pérdida de peso del biomaterial seco, medida semanalmente utilizando una balanza de determinación de humedad.

3.8.7.2. Evaluación de la biodegradabilidad en suelo

La biodegradabilidad en suelo se evaluó siguiendo una metodología adaptada de (Barrionuevo, 2020), “Evaluación de la degradación de plástico biodegradables”. Se utilizó suelo proveniente del área frontal del Laboratorio de Curtiembre. Se excavaron nueve celdas individuales a una profundidad de 30 cm, diseñadas para mantener una temperatura constante y evitar la mezcla entre muestras. Las muestras del biomaterial, cortadas en láminas de 6 cm x 3 cm, se introdujeron en cada celda y se cubrieron con tierra. El experimento se extendió por 35 días, con evaluaciones semanales de la pérdida de peso. Las muestras se secaron y pesaron utilizando una balanza de determinación de humedad para cuantificar con precisión la degradación.

CAPÍTULO IV RESULTADOS Y DISCUSIÓN

4.1. RESULTADOS DE OBTENCIÓN DE LA CELULOSA BACTERIANA Y CELULOSA VEGETAL

Para la obtención del bioespuma se extrajeron, los componentes principales como: celulosa bacteriana a partir de Scoby (colonia simbiótica de levaduras y bacterias) y las celulosas vegetales a partir de: hojas de piña y pseudotallo de plátano), a continuación, se mostrará la obtención de cada componente. En esta figura 15 de muestra la extracción del cultivo colonia simbiótica de levaduras y bacterias como materia principal en la obtención de la bioespuma.

Figura 15

Extracción del Scoby



En la figura 16 se muestra cada operación realizada, para la obtención de celulosa bacteriana, para su posterior uso en la obtención del material.

Figura 16

Proceso de obtención de la celulosa bacteriana



En la siguiente figura 17, se observa el proceso de la obtención de celulosa vegetal de las hojas de piña Golden.

Figura 17

Proceso de obtención de la celulosa vegetal de las hojas de piña



En la siguiente figura 18, se observa el proceso de la obtención de celulosa vegetal del pseudotallo de la planta plátano, para extracción se utilizó tallos secos.

Figura 18

Proceso de obtención de la fibra de los residuos de plátano



4.2. PROPORCIONES PARA LA OBTENCIÓN DE BIOESPUMA

Previo al diseño experimental final, se llevaron a cabo pruebas preliminares para determinar las proporciones óptimas en la formulación de bioespumas. Este proceso consistió en tres series de experimentos, cada una diseñada para refinar progresivamente la composición del material. En cada serie, se formularon y evaluaron múltiples variaciones de la mezcla, analizando los resultados obtenidos. Este enfoque permitió una exploración del espacio del diseño, facilitando la identificación de las interacciones entre componentes y sus efectos sobre las propiedades finales de las bioespumas. Los hallazgos de estas pruebas preliminares fueron fundamentales para optimizar el diseño experimental, asegurando así una base sólida para la fase principal de la investigación:

4.2.1. Prueba preliminar 1: Exploración inicial de formulaciones

La primera fase de pruebas preliminares comprendió un total de 24 tratamientos, de los cuales se seleccionaron aleatoriamente tres (T1, T3, T7) para un análisis detallado. Las formulaciones se basaron en una matriz compuesta por 90% de una mezcla de aditivos (goma xantana (G_XAN), glicerol (G_LY), tensogras (T_GL) y celulosas como: bacteriana, piña y plátano), complementada con agua hasta alcanzar el 100%. Las proporciones variaron entre tratamientos: T1 contenía 12 %

de aditivos: (G_XAN, G_LY y T_GL) de 4 % cada uno y 78% de celulosas; (CB 30 %, C_PÑA 18 %, C_PLA 30 %). El tratamiento T3 presentaba: (G_XAN 1%, G_LY 0 %, T_GL 1%) y 30 % de CB, 30 % de C_PÑA y 28 % de C_PLA de; Y finalmente el T7, estuvo en estas proporciones (G_XAN 1%, G_LY 4 %, T_GL 1%) y CB 30 %, C_PÑA 30 %, C_PLA 24 %). Cada mezcla se homogenizó con 100 ml de agua en una licuadora y se vertió en moldes de vidrio y tela para su secado. Los resultados iniciales revelaron bioespumas con una consistencia excesivamente rígida, carentes de porosidad aparente y con una concentración de celulosas vegetales demasiado elevada. Estas observaciones indicaron la necesidad de ajustar las proporciones de los componentes en las subsiguientes experimentales. En la siguiente figura 24 se muestra los resultados.

Figura 19

Prueba preliminar 1



4.2.2. Prueba preliminar 2: Refinamiento de formulaciones mediante mezclas ternarias

La segunda fase de pruebas preliminares se enfocó en un diseño de mezclas, abarcando 10 tratamientos que incluían combinaciones primarias, binarias y ternarias. Se seleccionaron dos mezclas ternarias (T7 y T9) para un análisis detallado, manteniendo constante la proporción total de (G_XAN, G_LY y T_GL) de 20% y celulosas (CB, C_PÑA y C_PLA) de 80%. Las variables de estudio fueron goma xantana, glicerol y tensogras, mientras que las celulosas bacterianas, de piña y de plátano se mantuvieron como componentes constantes.

El tratamiento T7 contenía proporciones iguales (6,67%) de cada aditivo, con 60% de celulosa bacteriana y 10% cada una de celulosas de piña y plátano, utilizando partículas de menor tamaño. El T9 presentaba una distribución asimétrica de aditivos (3,33% de goma xantana y tensogras, 13,33% de glicerol) y 70% de celulosa bacteriana con 5% cada una de celulosas vegetales. Ambas formulaciones se mezclaron con 100 ml de agua, se homogeneizaron en licuadora y se moldearon en vidrio y tela. Los resultados mostraron que T7 produjo una bioespuma delgada y frágil, mientras que T9 presentó una textura semiflexible. Sin embargo, ambas formulaciones carecían de la porosidad deseada y mostraban un exceso de concentración de celulosa, indicando la necesidad de ajustes adicionales en la composición. En la siguiente figura 25 se muestra los resultados.

Figura 20

Prueba preliminar 2



4.2.3. Prueba preliminar 3: Optimización de la proporción de celulosas

La tercera fase de pruebas preliminares mantuvo el diseño de mezclas de la fase anterior, con 10 tratamientos que incluían combinaciones primarias, binarias y ternarias. Se mantuvieron las proporciones generales de 20% de aditivos y 80% de celulosas, pero se ajustaron significativamente las concentraciones de celulosas vegetales. Se evaluaron dos mezclas ternarias (T7 y T9) en detalle. El tratamiento T7

contenía proporciones iguales (6,67%) de cada aditivo (goma xantana, glicerol, tensogras), con 74% de celulosa bacteriana y 3% cada una de celulosas de piña y plátano. El T9 presentaba una distribución asimétrica de aditivos (3,33% de goma xantana y tensogras, 13,33% de glicerol) y 76% de celulosa bacteriana con 2% cada una de celulosas vegetales. Ambas formulaciones se mezclaron con 100 ml de agua, se homogeneizaron en licuadora y se moldearon en vidrio. Los resultados mostraron una mejora significativa: T7 produjo una bioespuma delgada y frágil con ligera porosidad, mientras que T9 presentó una textura flexible con presencia notable de porosidad. El tratamiento T9 se identificó como la formulación más cercana al objetivo, estableciendo así la base para el diseño experimental en la producción de bioespumas. En la siguiente figura 26 se muestra los resultados.

Figura 21

Prueba preliminar 3



4.2.4. Proporciones para la obtención del bioespuma

La optimización final de la formulación se basó en los resultados prometedores del tratamiento 9 de la prueba preliminar 3. Se empleó un diseño de mezclas de tres componentes utilizando el software Minitab para refinar las proporciones de los aditivos, manteniendo una concentración total del 20%. Se establecieron límites específicos para cada componente: goma xantana (0-3%), glicerol y tensogras (8,5-10% cada uno). La fracción celulósica se mantuvo constante en un 80%, compuesta por 76% de celulosa bacteriana, 2% de celulosa de piña y 2% de celulosa de plátano. Todas las formulaciones se mezclaron con 100 ml de agua destilada.

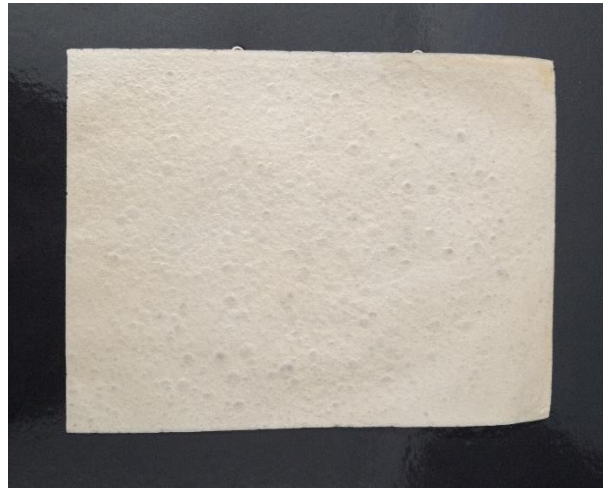
Tabla 7*Proporciones para la obtención de bioespuma*

N° Trat.	Proporciones de componentes valores reales (%)			Componentes manipulados (g) 20 %			Componentes constantes (g) 80 %			(100 %) Mezcla total
	G-XAN	G-LY	T-GL	G-XAN	G-LY	T-GL	C-BAC	C-PÑ	C-PL	
T1	1,5	10	8,5	1,5	10	8,5	76	2	2	100
T2	1,5	8,5	10	1,5	8,5	10	76	2	2	100
T3	0	10	10	0	10	10	76	2	2	100
T4	3	8,5	8,5	3	8,5	8,5	76	2	2	100
T5	1,5	9,25	9,25	1,5	9,25	9,25	76	2	2	100
T6	1,5	9,63	8,88	1,5	9,63	8,88	76	2	2	100
T7	1,5	8,88	9,63	1,5	8,88	9,63	76	2	2	100
T8	0,75	9,63	9,63	0,75	9,63	9,63	76	2	2	100
T9	2,25	8,88	8,88	2,25	8,88	8,88	76	2	2	100

La optimización de la formulación resultó en nueve tratamientos distintos de bioespumas, presentando en general características deseables como flexibilidad, porosidad y resistencia a la humedad ambiental. La mayoría de los tratamientos mostraron una textura flexible con presencia de oxígeno, indicando una estructura interna adecuada. Sin embargo, se observaron variaciones entre los tratamientos. El tratamiento 3, caracterizado por la ausencia de goma xantana, produjo un biomaterial delgado con flexibilidad reducida y carencia de porosidad, requiriendo además un tiempo de secado prolongado de aproximadamente 15 días. Este resultado subraya la importancia crítica de la goma xantana en la formulación. La reducción de la proporción de celulosas vegetales al 4% (2% de piña y 2% de plátano) demostró ser crucial para la obtención de propiedades óptimas, comparando con las concentraciones más altas utilizadas en pruebas preliminares disminuye las celulosas vegetales de 30 % hasta 4 %.

Figura 22

Bioespuma obtenida



4.3. EVALUACIÓN DE LAS CARACTERÍSTICAS FÍSICAS Y MECÁNICAS DE LA BIOESPUMA

La caracterización del biomaterial desarrollado se llevó a cabo mediante una serie de pruebas físicas y mecánicas, siguiendo estándares establecidos para envases y embalajes. Se adoptó la norma ASTM D3574-17, originalmente diseñada para espumas de poliuretano, como marco de referencia para los ensayos.

4.3.1. Resultados de la prueba de compresión y comparación con estándares comerciales

Los ensayos de compresión realizados en los nueve tratamientos de bioespuma revelaron una variación en la resistencia a la compresión (COM), varían de 3,30 a 7,55 Newton (N). Esta amplitud de resultados sugiere que las proporciones variables de goma xantana (G-XAN), glicerol (G-LY) y tensogras (T-GL) permitieron una exploración en las propiedades mecánicas del material. El tratamiento T8, compuesto por 0,75 g de G-XAN, 9,63 g de G-LY y 9,63 g de T-GL, presentó la mayor resistencia a la compresión (7,55 N), seguido por los tratamientos T7 y T9 con 7,47 N y 6,85 N, respectivamente. Estos resultados indican que niveles intermedios de G-LY y T-GL, combinados con bajas concentraciones de G-XAN, tienden a optimizar la COM. Pero independientemente el componente G-XAN mientras más alto sea la composición disminuirá COM, pero en el caso de que haya ausencia de este se evidencio niveles

bajos en los resultados. Los componentes mencionados se discuten ampliamente al interpretar la superficie de respuesta.

En comparación con las espumas de polietileno comerciales, evaluadas según la norma ASTM D1056, que requieren un mínimo de 1,57 N de resistencia a la compresión (ESTALQUI-PACK, 2024), los bioespumas desarrollados mostraron un rendimiento superior, con valores entre 3,30 y 7,55 N. Es importante señalar que el espesor de las bioespumas (0,43-0,97 mm) fue ligeramente inferior al estándar comercial mínimo de 1 mm, lo cual podría influir en los resultados de COM. Esta comparación favorable sugiere que las bioespumas desarrolladas poseen propiedades mecánicas competitivas con los materiales convencionales, indicando su potencial como alternativa sostenible en aplicaciones de embalaje.

Según (Iftimi, et al., 2019), en la obtención de espumas comestibles para productos farmacéuticos, realizaron pruebas de textura prueba de compresión en esta muestra trabajaron con un espesor de 5 mm obteniendo 96,6 N es el resultado optimo, como se observa es superior a la espuma que se elaboró. Los resultados de compresión se observan en la tabla 8.

Tabla 8

Variables independientes y resultados de la fuerza de compresión

N° Trat.	Variables independientes						Respuesta	
	Proporciones de componentes valores reales (%)			Componentes manipulados(g) 20 %			Compresión (N) Fuerza	
	G-XAN	G-LY	T-GL	G-XAN	G-LY	T-GL	*COM	
T1	1,5	10	8,5	1,5	10	8,5	3,3	± 1,26
T2	1,5	8,5	10	1,5	8,5	10	6,47	± 1,37
T3	0	10	10	0	10	10	4,09	± 1,31
T4	3	8,5	8,5	3	8,5	8,5	5,54	± 1,91
T5	1,5	9,25	9,25	1,5	9,25	9,25	4,63	± 0,82
T6	1,5	9,63	8,88	1,5	9,63	8,88	6,82	± 1,77
T7	1,5	8,88	9,63	1,5	8,88	9,63	7,47	± 1,57
T8	0,75	9,63	9,63	0,75	9,63	9,63	7,55	± 2,29
T9	2,25	8,88	8,88	2,25	8,88	8,88	6,85	± 2,19

G-XAN goma xantana, G-ly glicerol, T-GL tensogras, COM fuerza de compresión (N)

4.3.2. Análisis de resistencia a la tracción y elongación del bioespuma

Los ensayos de tracción realizados en los nueve tratamientos de bioespuma revelaron una variación significativa en las propiedades mecánicas. La resistencia a la tracción (RT) osciló entre 0,24 y 1,40 MPa, mientras que el porcentaje de elongación (EL) varió del 10% al 38%. Esta amplitud de resultados demuestra la influencia significativa de las proporciones de goma xantana (G-XAN), glicerol (G-LY) y tensogras (T-GL) en las propiedades mecánicas del material.

Tabla 9

Variables independientes y respuesta

Variables independientes							Respuesta				
Nº Trat.	Proporciones de componentes valores reales (%)			Componentes manipulados (g) 20 %			Espesor (mm)	Resistencia a la Tracción (Mpa)		% Elongación	
	G-XAN	G-LY	T-GL	G-XAN	G-LY	T-GL	E	RT		EL	
T1	1,5	10	8,5	1,5	10	8,5	0,6	0,95	± 0,12	31%	± 0,04
T2	1,5	8,5	10	1,5	8,5	10	0,85	0,75	± 0,08	27%	± 0,05
T3	0	10	10	0	10	10	0,43	0,24	± 0,01	10%	± 0,02
T4	3	8,5	8,5	3	8,5	8,5	0,76	1,4	± 0,06	32%	± 0,03
T5	1,5	9,25	9,25	1,5	9,25	9,25	0,84	0,64	± 0,12	26%	± 0,05
T6	1,5	9,63	8,88	1,5	9,63	8,88	0,87	0,68	± 0,03	27%	± 0,04
T7	1,5	8,88	9,63	1,5	8,88	9,63	0,94	0,62	± 0,06	26%	± 0,06
T8	0,75	9,63	9,63	0,75	9,63	9,63	0,97	0,32	± 0,04	18%	± 0,03
T9	2,25	8,88	8,88	2,25	8,88	8,88	0,9	0,81	± 0,04	38%	± 0,03

G-XAN = goma xantana, G-ly = glicerol, T-GL= tensogras, E = espesor, RT= resistencia a la tracción, EL= porcentaje de elongación

En cuanto a la composición de estos tratamientos, se observó en los niveles intermedios de G-LY, T-GL combinados con niveles altos de G-XAN generan mayor de RT y EL. Sin embargo, es notable que, independientemente del componente, cuanto mayor sea la concentración de G-XAN, mayor será la RT y EL. En los tratamientos T8 y T3 se registraron los menores RT, con valores de 0,32 y 0,24 MPa, respectivamente, y EL 18 % y 10 % esto se debe a las proporciones más bajas o la ausencia de G-XAN, indicando que una mayor concentración de G-XAN se obtendrá una mayor RT.

Tabla 10

Comparación de resultados de propiedades mecánicas con otros autores

Propiedades mecánicas			
Tensión (MPa)	Elongación (%)	Autor	Componentes
0,495 – 1,795	34,85 – 76,77	(J. L. Araya, 2021)	Almidón de yuca, fibra de rastrojo de piña, aceite de romero y glicerol.
0,71 – 1,11	29,00 – 42,10	(Lopez, 2019)	Almidón de oca, cascara de tuna, queratina de plumas de pollo y glicerina.
0,198 – 0,895	0,958 – 2,819 MPa	(Murillo & Taco, 2020)	Almidón de cascara de plátano, celulosa de catafilos de cebolla, glicerina.
2,16 – 5,92	31,30 – 66,39	(Alata & Cuadros, 2017)	Cascara de naranja, celulosa bacteriana, pectina y glicerina.

El bioespuma desarrollado en este estudio muestra propiedades mecánicas que se comparan favorablemente con los materiales reportados con otras investigaciones. La resistencia a la tracción de nuestro bioespuma oscila entre 0,24 y 1,4 MPa, con un porcentaje de elongación que varía del 10% al 38%. Estos valores se encuentran dentro del rango reportado por otros autores, aunque con algunas diferencias notables.

Es particularmente interesante observar que nuestro material alcanza estos niveles de rendimiento utilizando una combinación de celulosas vegetales, celulosa bacteriana, goma xantana, glicerol y tensogras). Esta composición comprueba con los materiales basados en almidón y fibras naturales utilizados en estudios (J. L. Araya, 2021)y (Lopez, 2019) y (Murillo & Taco, 2020). Los tratamientos T1 y T4, con resistencias a la tracción de 0,95 y 1,40 MPa respectivamente, superan a los resultados por (Lopez, 2019) 0,71-1,11 MPa y (Murillo & Taco, 2020) con 0,198 – 0,895 MPa. Sin embargo, es importante notar que estos tratamientos ofrecen una menor elongación (31-32%) en comparación con los rangos de 29-42,10% reportados en esos estudios.

Cabe destacar que, a excepción del estudio de (Alata & Cuadros, 2017) que reporta una mayor resistencia a la tensión y elongación, nuestro bioespuma demuestra un

rendimiento mecánico competitivo o superior en varios aspectos comparado con otros biomateriales reportados en otras investigaciones. La variación de las propiedades entre los diferentes tratamientos ofrece modificar la textura, para adaptar el material a diversas aplicaciones de embalaje, lo que podría ser una ventaja significativa en la industria.

Tabla 11

Características físicas-mecánicas de espuma de polietileno comerciales

Propiedades físicas y mecánicas		Unidades	Fuente
Resistencia tensión	ASTM D624 mín.	0,088 MPa	(ESTALQUI-PACK, 2024)
	Mínimo	0,25 MPa	(POLYESPUM, 2009)
Porcentaje elongación	ASTM D1564 mín.	45%	(ESTALQUI-PACK, 2024)
	Mínimo	30%	(POLYESPUM, 2009)
Compresión	ASTM D1056 mín.	1,57 N	(ESTALQUI-PACK, 2024)

En esta tabla 11 se observa las diferentes propiedades físicas y mecánicas de las láminas de espuma polietileno comerciales. Fuente: (ESTALQUI-PACK, 2024), (POLYESPUM, 2009)

El análisis comparativo entre el bioespuma desarrollado en este estudio y las espumas de polietileno comerciales revela aspectos prometedores en términos de propiedades físico-mecánicas, así como áreas de mejora potencial. La Tabla 9 presenta un conjunto de experimentos diseñados para evaluar el impacto de diferentes proporciones de los componentes (G-XAN, G-LY y T-GL) en las propiedades mecánicas del bioespuma. Las variables medidas incluyen espesor, resistencia a la tracción y porcentaje de elongación. La Tabla 11, por su parte, proporciona valores de referencia para las propiedades mecánicas de espumas de polietileno comerciales, estableciendo otro punto de comparación para evaluar el desempeño de los materiales desarrollados.

Resistencia a la tracción: El bioespuma desarrollado muestra una resistencia a la tracción que varía entre 0,24 MPa (T3) y 1,4 MPa (T4), con varios tratamientos superando el valor mínimo de 0,088 MPa establecido por la norma ASTM D624 para espumas comerciales. Notablemente, los tratamientos T1, T2, T4, T6 y T9 exhiben valores de resistencia a la tracción significativamente superiores a los de las espumas comerciales (POLYESPUM, 2009) (0,25 MPa) y (ESTALQUI-PACK, 2024) (0,088 MPa). Este rendimiento superior en resistencia a la tracción sugiere que el bioespuma

podría ser adecuado para aplicaciones que requieren mayor resistencia mecánica que las espumas de polietileno convencionales.

Porcentaje de elongación: En cuanto a la elongación, el bioespuma muestra valores que oscilan entre el 10% (T3) y el 38% (T9). Aunque estos valores son considerablemente inferiores al 45% reportado para las espumas comerciales según la norma ASTM D1564, algunos tratamientos, como T1, T4 y T9, se aproximan más a este estándar. La menor elongación del bioespuma podría atribuirse a la naturaleza de sus componentes biológicos y a las interacciones entre ellos. Esta característica sugiere que el bioespuma podría ser más adecuado para aplicaciones que requieren menor deformación bajo carga, aunque podría limitar su uso en situaciones que demanden alta elasticidad.

El espesor del bioespuma varía entre 0,43 mm (T3) y 0,97 mm (T8), lo cual se encuentra dentro del rango típico de las espumas comerciales (0,8 mm - 3,0 mm). Esta similitud en espesor sugiere que el bioespuma podría ser compatible con los procesos de fabricación y aplicaciones existentes para espumas de polietileno.

Las espumas comerciales revelan que los materiales desarrollados presentan un buen desempeño en términos de resistencia a la tracción, superando en algunos casos los valores de referencia. Sin embargo, el porcentaje de elongación de algunos tratamientos podría ser mejorado para ampliar el rango de aplicaciones. Este estudio proporciona una base sólida para el desarrollo de nuevos materiales biodegradables con propiedades mecánicas ajustables. Los resultados obtenidos son alentadores y abren nuevas perspectivas para la búsqueda de alternativas sostenibles a los materiales plásticos convencionales.

4.4. RESULTADOS DE LA BIODEGRADABILIDAD DE LA BIOESPUMA

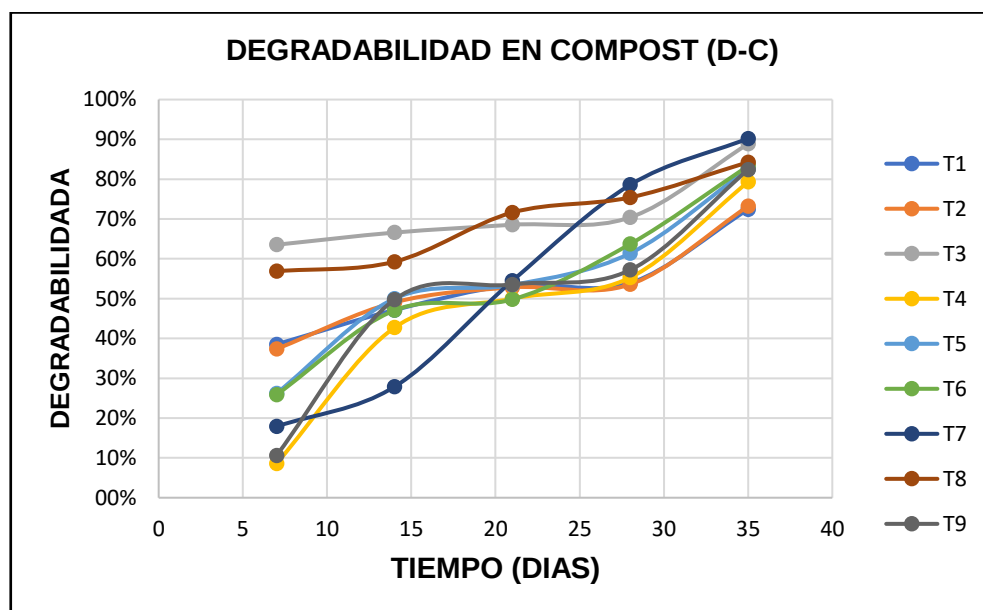
La biodegradabilidad del bioespuma desarrollado se evaluó mediante un estudio comparativo en dos medios distintos: compost (M-C) y suelo (M-S), durante un período de 35 días. Se realizó un seguimiento semanal de la pérdida de peso de las muestras utilizando una balanza analítica, como indicador principal del proceso de biodegradación.

4.4.1. Degradabilidad en compost

La evaluación de la biodegradabilidad en medio de compost reveló una notable eficiencia en la descomposición del bioespuma desarrollado. Este proceso de biodegradación acelerada se atribuye a la sinergia de múltiples factores ambientales y microbiológicos característicos del entorno del compostaje. Los datos de la biodegradabilidad en este medio se observa Anexo 7.

Figura 23

Degradabilidad del bioespuma en medio de compost



Los ensayos de biodegradabilidad revelaron en la figura 23 se observas las diferencias en la pérdida de peso del bioespuma en el medio de compost (M-C). El tratamiento T7, que estuvo compuesta de aditivos goma xantana (G-XAN) en concentraciones de 1,5 %, Glicerol (G-LY) de 8,875 % y tensogras (T-GL) de 9,625 %, exhibió una mayor degradación, con una reducción de peso de 0,481 g a 0,047 g en M-C, durante un período de 35 días. Estos resultados se traducen en porcentajes de pérdida de peso del 90,23% en M-C, aproximándose o superando el umbral del 90% establecido por la NTP 900.080:2015 para materiales biodegradables en un período máximo de 6 meses. (NTP 900.080, 2015)

Según (Meza, 2016), en su estudio sobre bioplásticos derivados del almidón de papa, evaluó la biodegradabilidad aeróbica en medio de compost siguiendo la Norma ISO 17556:2012. Sus resultados mostraron una biodegradación del 64,21% después de 92 días de exposición. En contraste, nuestro bioespuma exhibe una tasa de degradación notablemente superior y en un periodo considerablemente más corto.

La tasa de degradación superior observada en el medio de compost (M-C) se atribuye a condiciones ambientales más favorables, incluyendo una mayor actividad microbiana, humedad controlada, que aceleran la fragmentación y descomposición del biomaterial.

Figura 24

Evaluación de la biodegradabilidad en medio de compost



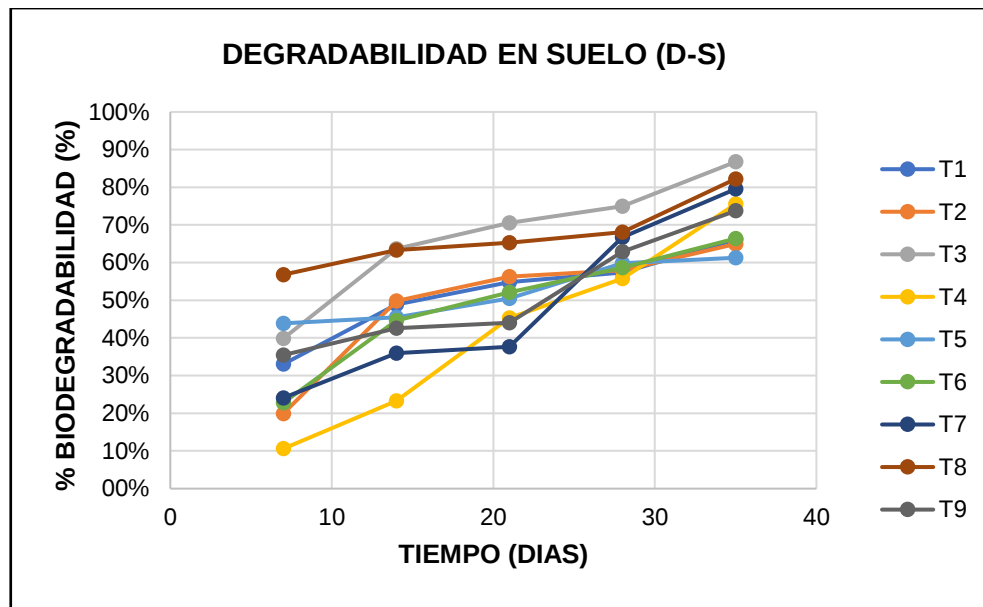
En el paso (1), se tamizó el compost, (2) cortado del material, (3) colocación del material al compost, (4) secado y pesado.

4.4.2. Degradabilidad en suelo

La evaluación de la biodegradabilidad de la bioespuma en medio de suelo, reveló una significativa capacidad de descomposición, alcanzando un 86,70% de degradación de la masa inicial tras 35 días de exposición. Este resultado, aunque ligeramente inferior al observado en condiciones de compost, demuestra el material que son susceptibles a la degradación microbiana en entornos naturales terrestres. Los datos de la biodegradabilidad en este medio se observa Anexo 7.

Figura 25

Degradabilidad del bioespuma en medio de suelo



Los ensayos de biodegradabilidad revelaron diferencias en la pérdida de peso del bioespuma entre los medios de suelo (M-S). El tratamiento T3, que estuvo compuesta de aditivos goma xantana (G-XAN) en concentraciones de 0 % ausente, Glicerol (G-LY) de 10 % y tensogras (T-GL) de 10 %, exhibió la mayor degradación, con una reducción de peso de 0,928 g a 0,123 g en M-S, respectivamente, durante un período de 35 días. Estos resultados se traducen en porcentajes de pérdida de peso 86,70% en M-S, aproximándose al umbral del 90% establecido por la NTP 900.080:2015 para materiales biodegradables en un período máximo de 6 meses. (NTP 900.080, 2015) Esta diferencia en la degradación entre M-C y M-S subraya la importancia de las condiciones ambientales en el proceso de biodegradación.

Según (Barrionuevo, 2020), al evaluar plásticos convencionales y bolsas biodegradables, se observó que el plástico biodegradable, cuya composición principal es el almidón de maíz, presentó mayor pérdida de peso en diferentes medios: 18 % en suelo , 16 % en agua y 13 % a la intemperie en un tiempo de 4 meses. En comparación, los plásticos convencionales tuvieron una pérdida de peso mucho menor: 4 %, 5 % y 7 % en respectivos medios. Es notable que el bioespuma desarrollado muestra una tasa de degradación significativamente mayor en comparación con los plásticos convencionales en un período relativamente corto. Esta característica se atribuye a la composición del material, específicamente a la selección de polímeros naturales y aditivos biodegradables, que facilitan su descomposición por microorganismos presentes en ambos medios.

Figura 26

Evaluación de la biodegradabilidad en el suelo



En la imagen (1), se preparó las celdas, (2) se puso las muestras y se rellenó con tierra y posterior se codificó, (3) se pesó en la balanza de humedad, (4) muestra de 35 días.

Los resultados, presentados en la Tabla 12, revelaron una tendencia de pérdida de peso en todos los tratamientos, tanto en M-C como en M-S. Esta observación indica que el bioespuma experimenta una degradación progresiva en ambos medios, lo cual es crucial para su caracterización como material biodegradable. Este estudio de biodegradabilidad no solo valida las propiedades ecológicas del bioespuma desarrollado, sino que también ofrece datos para predecir su impacto ambiental y su potencial como alternativa sostenible a los materiales de embalaje convencionales.

Tabla 12

Variables de respuesta y Degradabilidad del biomaterial

N° Trat.	Variables independientes						Respuesta	
	Proporciones de componentes valores reales (%)			Componentes manipulados(g) 20 %			% Degradabilidad en compost (35 días)	% Degradabilidad suelo (35 días)
	G-XAN	G-LY	T-GL	G-XAN	G-LY	T-GL	D-C	D-S
T1	1,5	10	8,5	1,5	10	8,5	72,40%	66,10%
T2	1,5	8,5	10	1,5	8,5	10	73,21%	65,00%
T3	0	10	10	0	10	10	88,86%	86,70%
T4	3	8,5	8,5	3	8,5	8,5	79,30%	75,50%
T5	1,5	9,25	9,25	1,5	9,25	9,25	82,57%	61,30%
T6	1,5	9,63	8,88	1,5	9,63	8,88	83,33%	66,40%
T7	1,5	8,88	9,63	1,5	8,88	9,63	90,23%	79,50%
T8	0,75	9,63	9,63	0,75	9,63	9,63	84,27%	82,20%
T9	2,25	8,88	8,88	2,25	8,88	8,88	82,40%	73,70%

4.5. OPTIMIZACIÓN POR DISEÑO SIMPLE CENTROIDE (DSC)

El análisis de varianza de los modelos de regresión que explican de RT, EL y COM, basado en los porcentajes de G-XAN, G-LY y T-GL, se verifican en las tablas 12;13;14;15 y 16. El modelo cuadrático fue elegido por tener el efecto estadístico más próximo al nivel de confianza de ($p=0,05$) y por tener un elevado coeficiente de determinación de R^2 . El modelo se expresó de la siguiente manera:

4.5.1. Interpretación resistencia a la tracción

La Figura 27 muestra cómo la resistencia a la tracción (RT) se ve afectado por las variables estudiadas en la producción de bioespumas: goma xantana (G-XAN), glicerol (G-LY) y tensogras (T-GL). Esta representación gráfica ofrece un análisis

detallado de la influencia que tienen las distintas concentraciones de estos componentes sobre la elasticidad del material, No obstante, el análisis de varianza (ANOVA) presentado en la Tabla 13 revela que las fuentes de variabilidad son significativamente menores a un nivel de significancia de $p=0.05$.

Tabla 13

Análisis de varianza para la resistencia a la tracción (RT)

Fuente	GL	Suma de Cuadrados sec.	Suma de Cuadrados Ajustado	Cuadrado Medio Ajustado	Valor F	Valor p
Regresión	4	0,91698	0,91698	0,229245	55,31	0,001
Lineal	2	0,81263	0,12233	0,061164	14,76	0,014
Cuadrático	2	0,10435	0,10435	0,052175	12,59	0,019
G-XAN*G-LY	1	0,01354	0,10159	0,101588	24,51	0,008
G-LY*T-GL	1	0,09081	0,09081	0,090806	21,91	0,009
Error residual	4	0,01658	0,01658	0,004145		
Total	8	0,93356				

Modelo cuadrático $R^2 = 98,22 \%$

Interpretación gráfica de contornos de la resistencia a la tracción

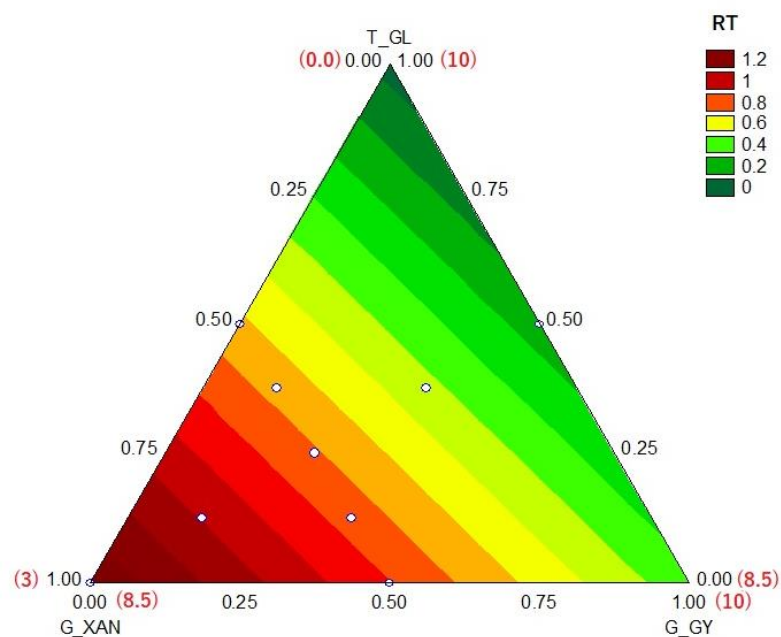
El análisis de los gráficos de contorno para la resistencia a la tracción (RT) reveló patrones significativos en la relación entre la composición del bioespuma y sus propiedades mecánicas. Las zonas de máxima RT, representadas por una intensa coloración roja, corresponden a formulaciones con alta concentración de goma xantana (G-XAN) y glicerol (G-LY) en menores proporciones, entre estos dos componentes, alcanzando valores entre 1,2 y 1 MPa de RT. Esta observación sugiere un papel crucial del G-XAN y G-LY en la optimización de la resistencia a la tracción del material.

Secundariamente, se identificaron regiones de RT moderada (0,6 a 0,8 MPa), visualizadas en tonos amarillo-anaranjado, asociadas con concentraciones intermedias de goma xantana (G_XAN) y glicerol (G-LY). Este hallazgo indica que ambos componentes también contribuyen a la RT, mientras más se disminuye las concentraciones (G_XAN) y (G-LY) este va disminuyendo.

En contraste, las áreas de baja RT (0,2 a 0,4 MPa), caracterizadas por tonalidades verde oscuro y verdes claras, coinciden con altas proporciones de tensogras (T_GL). Esta correlación negativa sugiere que T_GL, no influye significativamente es más se aleja de los resultados.

Figura 27

Gráfico de contorno de mezcla de la resistencia a tracción (RT)



Interpretación gráfica de rastreo de respuesta de Cox de la resistencia a la tracción

La gráfica de rastreo de respuesta de Cox (Figura 28) proporciona una visión detallada de cómo cada componente del bioespuma influye en la resistencia a la tracción (RT). Este análisis revela patrones distintivos y significativos:

- Goma xantana (G-XAN): Emerge como el componente dominante en la determinación de la RT. Exhibe una correlación positiva fuerte, donde incrementos en la proporción de G-XAN resultan en aumentos sustanciales de la RT. Este comportamiento sugiere que G-XAN juega un papel crucial en la formación de la estructura molecular que confiere resistencia mecánica al bioespuma.

- Tensogras (T-GL): Muestra una relación inversa pronunciada con la RT. El aumento en la concentración de T-GL conduce a una disminución considerable de la RT. Este efecto negativo podría atribuirse a una interrupción excesiva del material.
- Glicerol (G-LY): Presenta un efecto positivo moderado sobre la RT. Incrementos en la proporción de G-LY resultan en aumentos modestos pero consistentes de la RT. Este comportamiento sugiere que G-LY actúa como un plastificante efectivo, mejorando la flexibilidad sin comprometer significativamente la resistencia. La optimización simultánea dentro de los rangos establecidos confirma que maximizar la concentración de G-XAN, mientras se mantiene un balance adecuado con G-LY y se minimiza T-GL, resulta en la configuración óptima para maximizar la RT del bioespuma.

Figura 28

Gráfico de rastreo de respuesta de Cox de la resistencia a la tracción (RT)



4.5.2. Interpretación de porcentaje de elongación

La Figura 29 muestra cómo el porcentaje de elongación (EL) se ve afectado por las variables estudiadas en la producción de bioespumas: goma xantana (G-XAN), glicerol (G-LY) y tensogras (T-GL). Esta representación gráfica ofrece un análisis detallado de la influencia que tienen las distintas concentraciones de estos componentes sobre la elasticidad del material. No obstante, el análisis de varianza

(ANOVA) presentado en la Tabla 14 revela que las fuentes de variabilidad no son significativamente diferentes a un nivel de significancia de $p=0,05$. Este hallazgo sugiere la necesidad de ampliar los rangos de las proporciones altas y bajas de las variables independientes estudiadas para obtener resultados más concluyentes.

Tabla 14

Análisis de varianza para el porcentaje de elongación (EL)

Fuente	GL	Suma de Cuadrados sec.	Suma de Cuadrados Ajustado	Cuadrado Medio Ajustado	Valor F	Valor p
Regresión	4	0,047984	0,047984	0,011996	10,2	0,022
Lineal	2	0,04177	0,003993	0,001996	1,7	0,293
Cuadrático	2	0,006214	0,006214	0,003107	2,64	0,186
G-XAN*G-LY	1	0,006017	0,000742	0,000742	0,63	0,471
G-LY*T-GL	1	0,000197	0,000197	0,000197	0,17	0,703
Error residual	4	0,004705	0,004705	0,001176		
Total	8	0,052689				

Modelo cuadrático $R^2 = 91,07 \%$

Interpretación gráfica de contorno en el porcentaje de elongación

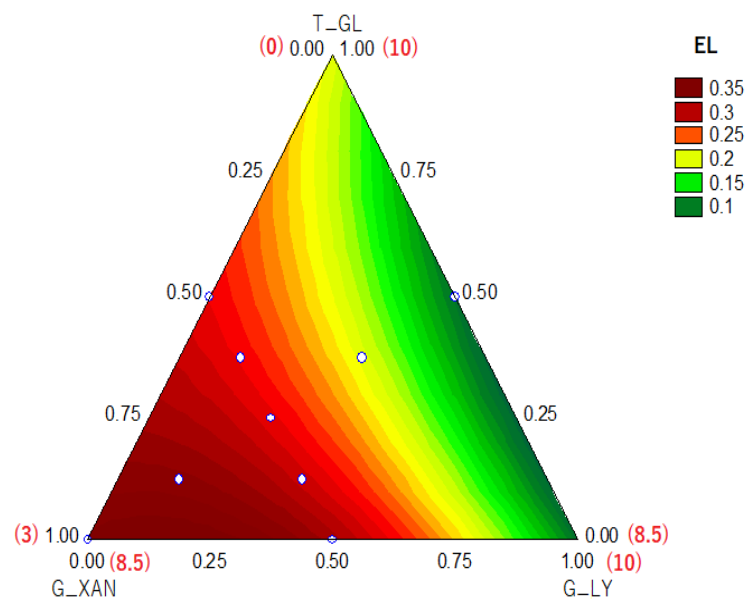
La interpretación de los gráficos de superficie de respuesta y contorno (Figura 29) revela patrones complejos en la relación entre la composición del bioespuma y su porcentaje de elongación (EL). Se observa que los componentes individuales no producen altos valores de EL por sí solos, sino que las interacciones binarias y ternarias son cruciales para optimizar esta propiedad.

Efecto de la goma xantana (G_XAN): Las regiones de máximo EL (30 - 35 %), representadas por zonas de color rojo oscuro, corresponden principalmente a mezclas binarias de G_XAN con tensogras (T_GL) o glicerol (G_LY). Esto sugiere un papel fundamental de G_XAN en la mejora de la elasticidad del material. Mezclas ternarias: La región central del gráfico, caracterizada por tonos amarillo-anaranjado, indica valores de EL moderado (20-25 %) para mezclas ternarias equilibradas de los tres componentes. Se observa una disminución del EL con el aumento de la proporción de G_LY, especialmente en mezclas binarias con T_GL, donde se alcanzan los valores más bajos de EL (10-15%), representados por zonas verde claro a oscuro.

Estos hallazgos indican que para optimizar el porcentaje de elongación del bioespuma, se debe priorizar una alta proporción de G_XAN, balanceada con cantidades moderadas de T_GL, mientras se minimiza el contenido de G_LY. Esta formulación estratégica permite el desarrollo de un material con propiedades elásticas mejoradas.

Figura 29

Gráfico de contorno de mezcla de porcentaje de elongación (EL)



4.5.3. Interpretación de la compresión

La Figura 30 muestra cómo la compresión (COM) se ve afectado por las variables estudiadas en la producción de bioespumas: goma xantana (G-XAN), glicerol (G-LY) y tensogras (T-GL). Esta representación gráfica ofrece un análisis detallado de la influencia que tienen las distintas concentraciones de estos componentes sobre la elasticidad del material. No obstante, el análisis de varianza (ANOVA) presentado en la Tabla 15 revela que las fuentes de variabilidad no son significativamente diferentes a un nivel de significancia de $p=0.05$. Este hallazgo sugiere la necesidad de ampliar los rangos de las proporciones altas y bajas de las variables independientes estudiadas para obtener resultados más concluyentes.

Tabla 15*Análisis de varianza para la compresión (COM)*

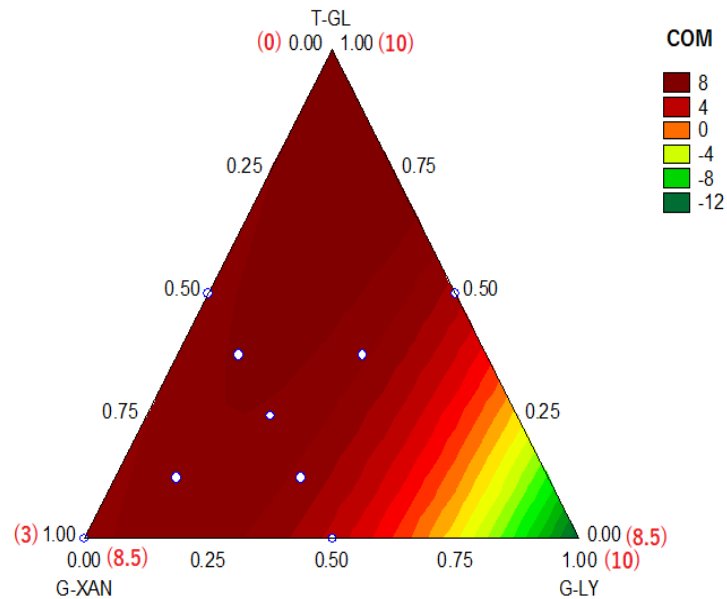
Fuente	GL	Suma de Cuadrados sec.	Suma de Cuadrados ajustado	Cuadrado Medio ajustado	Valor F	Valor p
Regresión	4	10,392	10,392	2,598	1,21	0,43
Lineal	2	5,37	8,321	4,161	1,93	0,259
Cuadrático	2	5,022	5,022	2,511	1,16	0,399
G-XAN*G-LY	1	1,4	5,019	5,019	2,33	0,202
G-LY*T-GL	1	3,622	3,622	3,622	1,68	0,265
Error residual	4	8,623	8,623	2,156		
Total	8	19,015				

Modelo cuadrático $R^2 = 54,65 \%$ **Interpretación gráfica de contorno de compresión**

La interpretación de la superficie de respuesta mediante gráficos de contorno permitió identificar los rangos óptimos de G_XAN, G_LY y T_GL para maximizar la compresión (COM) en la bioespuma. La Figura 30 evidencia que los componentes individuales, particularmente G_XAN y T_GL, generan valores elevados de COM. Además, se observaron interacciones significativas entre los componentes binarios y ternarios. La región de interés que indica la máxima COM se representa en color rojo oscuro. Los componentes contribuyen sustancialmente a la COM, con valores que oscilan entre 0 y 8 N. No obstante, se detectó una leve disminución en la COM al incrementar las proporciones de G_LY y T_GL en pequeñas cantidades.

Figura 30

Gráfico de contorno de mezcla de compresión (COM)



4.6. Optimización por función de deseabilidad de los resultados físicos-mecánicos

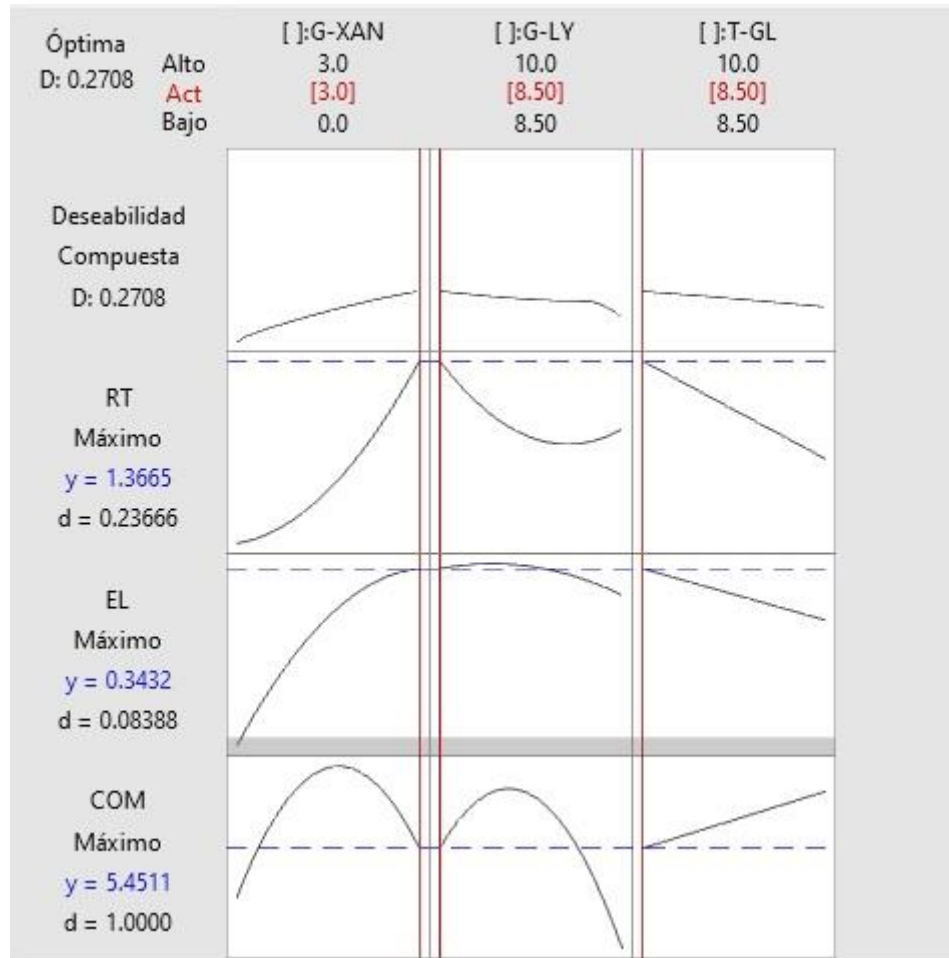
La Figura 31 ilustra los valores ajustados de los componentes que optimizan la resistencia a la tracción (RT), porcentaje de elongación (EL), compresión (COM), de la bioespuma desarrollada.

Esta representación permite examinar los intervalos de predicción para determinar si los valores probables se encuentran dentro de los límites aceptables de las espumas de polietileno comerciales. Para las pruebas físico-mecánicas y de biodegradabilidad, se obtuvo una deseabilidad global de 0,2749. La composición óptima de la bioespuma consiste en 3% de goma xantana (G_XAN), 8,5% de glicerol (G_LY) y 8,5% de tensogras (T_GL).

El objetivo fue buscar valores óptimos de RT, EL, COM, en consideración a las espumas de polietileno comerciales. Los valores pronosticados de RT es 1,37 MPa, con una deseabilidad individual es 0,24666, y para EL es de 34 %, con una deseabilidad individual de 0,08388. De igual manera, para COM es de 5,4511 N con una deseabilidad de 1,0.

Figura 31

Optimización de RT, EL, COM, del bioespuma



Otras observaciones son las siguientes:

- Goma xantana (G_XAN): Se observa que al aumentar el porcentaje de G_XAN también aumenta significativamente la RT. De igual manera, se ve al incrementar el porcentaje del componente, aumenta la EL relativamente. En cuanto la compresión (COM), al aumentar su porcentaje, aumenta la respuesta; sin embargo, el efecto es hasta cierto punto, luego comienza a disminuir en las respuestas, no siendo lineal. Para el caso de la degradabilidad en distintos medios, mientras más se agrega, disminuye la degradabilidad del bioespuma.
- Glicerol (G_LY): Es un plastificante y, al aumentar su porcentaje, disminuye la RT. Sin embargo, para EL y COM, aumenta hasta cierto punto y luego disminuye.

- Tensogras (T_GL): Este componente, al aumentar su porcentaje, disminuye en todas las variables de respuesta de RT, EL, excepto en COM. Mientras más se aumenta el porcentaje, más incrementa la compresión.

CONCLUSIONES

- La presente investigación ha explorado el aprovechamiento de los residuos agrícolas, como las hojas de piña y los pseudotallos de plátano, para obtener celulosas vegetales y producir bioespumas de buena calidad. Los resultados obtenidos indican que la combinación de estas células con la celulosa bacteriana mejora notablemente las propiedades texturales del material final. Este enfoque no contribuye a la valorización de residuos, sino que también promueve el desarrollo de alternativas sostenibles a los materiales de plásticos convencionales.
- Mediante un diseño experimental riguroso, se optimizaron las proporciones de celulosa bacteriana, celulosa de piña y celulosa de plátano, logrando desarrollar bioespumas con propiedades físicas y mecánicas excepcionales. La variación de las concentraciones de goma xantana, glicerol y tensogras permitió modular las características de los materiales obtenidos, mostrando como una alternativa viable y sostenible a las espumas de polietileno convencionales.
- Siguiendo la norma ASTM D3574-17, se evaluaron las propiedades físicas y mecánicas de las bioespumas desarrolladas. Los resultados obtenidos mostraron un espesor promedio entre 0,43 y 0,98 mm, ligeramente inferior al de las espumas comerciales ESTALKI PACK y POLYESPUM. Sin embargo, las bioespumas alcanzaron valores de resistencia a la tensión de hasta 1,40 MPa y a la compresión de hasta 7,55 N, con elongaciones de hasta 38%, situándose dentro de los rangos aceptables para aplicaciones similares.
- Los resultados de biodegradabilidad, presentados en la Tabla 11, revelan una degradación del bioespuma desarrollado. Se observó una pérdida de masa del 90,23% en medio de compost y del 86,70% en suelo, ambas tras un período de 35 días. Estos datos demuestran una buena degradabilidad del material a estos medios. Esta alta tasa de degradación, influenciada por factores como la humedad, temperatura y actividad microbiana, posiciona al bioespuma como una alternativa sostenible a los plásticos convencionales, contribuyendo a mitigar los problemas ambientales asociados a la acumulación de residuos.

RECOMENDACIONES

- Ampliar la investigación a una matriz más amplia de residuos agrícolas y agroindustriales para identificar nuevas combinaciones que optimicen las propiedades físicas y mecánicas del biomaterial.
- Repetir el experimento ampliando los rangos de los niveles de estudio, para explorar regiones de soluciones más optimas en cuanto a las características físicas y mecánicas, con el fin de escalar a una investigación de nivel aplicada que responda a las necesidades de la sociedad.
- Investigar la relación entre la granulometría de la celulosa y las propiedades del biomaterial, con el objetivo de diseñar envases biodegradables con propiedades mecánicas y de barrera adecuadas.
- Optimizar el aprovechamiento de los residuos agrícolas con todos sus componentes, para obtener mayor rendimiento en la obtención de las celulosas vegetales.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Abanga, S., Wong, F., Sarbatly, R., Sariauc, J., Baini, R., & Besar, N. A. (2023). Bioplastic classifications and innovations in antibacterial, antifungal, and antioxidant applications (Clasificaciones de bioplásticos e innovaciones en aplicaciones antibacterianas, antifúngicas y antioxidantes). *Biorecursos y Bioproductos*.
- Ahmad, W., Nisar, J., Anwar, F., & Muhammad, F. (2023). Future prospects of biomass waste as renewable source of energy in Pakistan: A mini review. *Bioresource Technology Reports*, 24, 2589–2603. <https://doi.org/10.1016/j.biteb.2023.101658>
- Alata, E., & Cuadros, Y. B. (2017). *Formulación y evaluación físico mecánica de películas biodegradables en base a residuos cítricos y celulosa bacteriana*.
- Alvarado, J. A., Juan Altamirano, R., Quispe Meza, A. S., Elar, M. S., Alexander, U. G., & Castro, Elva Alicia, B. (2022). *REPÚBLICA DEL PERÚ José Pedro Castillo Terrones Presidente de la República Responsables: Diseño y diagramación digital*.
- Araya, J. L. (2021). *Producción de un biocompuesto a base de almidón termoplástico de yuca amarga (manihot esculenta crantz) y nanocelulosa obtenida de rastrojo de piña (Ananas Comosus)*.
- Araya, K. (2021). *Nanofibrilación de celulosa extraída a partir del rastrojo de la piña (Ananas comosus)*. 6–8. <https://repositorio.una.ac.cr/bitstream/handle/11056/21584/05>. Nanofibrilación de celulosa extraída a partir del rastrojo de la piña.pdf?sequence=1&isAllowed=y
- Arias, A. F. (2023). Determinación de la dosis óptima de Raizyner GNS para la producción de raíces en el cultivo de piña (Ananas comosus). In *Departamento de Ciencias de la Vida y la Agricultura Carrera de Ingeniería Agropecuaria Santo Domingo Trabajo* (Vol. 4, Issue 1).
- Asim, M., Abdan, K., Jawaid, M., Nasir, M., Dashtizadeh, Z., Ishak, M., & Hoque, M. E. (2015). *Una revisión sobre la fibra de hojas de piña y sus compuestos*.
- ASTM D3574-17. (2018). *D3574 - 17 Métodos de prueba estándar para Materiales celulares flexibles: adheridas y moldeadas Espumas de uretano*. <https://doi.org/10.1520/D3574>
- Barrionuevo, Y. M. (2020). *Evaluación De La Degradación De Plásticos Biodegradables Y Convencionales Distribuidos En Las Principales Cadenas De Supermercados De La Ciudad De Arequipa – 2019*.
- Cujilema, G. A. (2021). *Bebidas funcionales desarrolladas a partir de una comunidad simbiótica de levaduras y bacterias (scoby)*. <http://dspace.esPOCH.edu.ec/handle/123456789/15538>
- De Filippis, F., Ercolini, D., Troise, A., & Vitaglione, P. (2018). Different temperatures select distinctive acetic acid bacteria species and promotes organic acids production during Kombucha tea fermentation (Diferentes temperaturas seleccionan especies distintivas de bacterias de ácido acético y promueven la producción. *Sciencedirect*, 73(0), 11–16. <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0740002017306937>
- Deaquiz, Y. A., & Moreno, B. L. (2016). *Producción Y Biosíntesis De Fibras*

- Vegetales. Una Revisión. *Conexión Agropecuaria*, 6(1), 29–42.
<https://revista.jdc.edu.co/index.php/conexagro/article/view/53>
- Espinoza, F. H., & Puglisevich, D. (2019). Influencia del porcentaje de glicerol sobre la resistencia y deformación en tracción de plásticos biodegradables a base de almidón del tubérculo. *Lexus*, 4(None), 37.
[https://dspace.unitru.edu.pe/bitstream/handle/UNITRU/12561/ESPINOZA ARROYO%2C Franco Herbert%3B PUGLISEVICH RUIZ%2C Diana Carolina.pdf?sequence=1&isAllowed=y](https://dspace.unitru.edu.pe/bitstream/handle/UNITRU/12561/ESPINOZA%20ARROYO%20Franco%20Herbert%3B%20PUGLISEVICH%20RUIZ%20Diana%20Carolina.pdf?sequence=1&isAllowed=y)
- ESTALQUI-PACK. (2024). *FICHA TCNICA“ESPOL-FOAM” (Espuma de polietileno) Polietileno*. 0–3. <https://www.estalki.com/embalaje/espuma-polietileno/>
- Geyer, R., Jambeck, J. R., & Law, K. L. (2017). Production, use, and fate of all plastics ever made. *Science Advances*, 3(7), 25–29.
<https://doi.org/10.1126/sciadv.1700782>
- Granado, L. L. (2021). *Desarrollodeun Empaque para Postcosecha a Partir de Residuos de Piña*.
- Hernandez, R., Fernandez, C., & Baptista, M. del P. (2014). *Metodología de la Investigación*. [https://www.esup.edu.pe/wp-content/uploads/2020/12/2.Hernandez, Fernandez y Baptista-Metodología Investigacion Cientifica 6ta ed.pdf](https://www.esup.edu.pe/wp-content/uploads/2020/12/2.Hernandez,%20Fernandez%20y%20Baptista-Metodologia%20Investigacion%20Cientifica%206ta%20ed.pdf)
- Iftimi, L. D., Edinger, M., Shalom, D. B., Rantanen, J., & Genina, N. (2019). Edible solid foams as porous substrates for inkjet-printable pharmaceuticals (Espumas sólidas comestibles como sustratos porosos para productos farmacéuticos imprimibles por inyección de tinta). *Revista Europea de Farmacia y Biofarmacia* *Página*. <https://doi.org/10.1016/j.ejpb.2019.01.004>
- Koon, Y. L., Buldum, G., Mantalaris, A., & Bismarck, A. (2014). cellulose: Biosynthesis, bioprocessing, and applications in advanced fiber composites (Celulosa: biosíntesis, bioprocesamiento y Aplicaciones en compuestos de fibra avanzada). *Macromolecular Bioscience*, 14(1), 10–32.
<https://doi.org/10.1002/mabi.201300298>
- Koul, B., Yakoob, M., & Shah, M. P. (2022). *Agricultural waste management strategies for environmental sustainability (Estrategias de gestión de residuos agrícolas para la sostenibilidad ambiental)*. 206.
<https://doi.org/10.1016/j.envres.2021.112285>
- Kumar, V., Chakraborty, P., Janghu, P., Umesh, M., Sarojini, S., Pasrija, R., Kaur, K., Lakkaboyana, S. K., Sugumar, V., Nandhagopal, M., & Sivalingam, A. M. (2023). Tecnologías y aplicaciones de de Potencial de de celulosa a de plátano para aplicaciones avanzadas: una revisión de propiedades y desafíos técnicos. *SCIENCEDIRETC*.
- Laavanya, D., Balasubramanian, P., Shivan, & Shirkole. (2021). Current challenges, applications and future perspectives of SCOBY cellulose of Kombucha fermentation (Retos aplicaciones y perspectivas futuras de SCOBYcelulosa de fermentación de kombucha). *Producción Mas Limpia*, 20.
<https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2021.126454>
- Laverde, V., Marín, A., Benjumea, J. M., & Rincón, M. (2022). Use of vegetable fibers as reinforcements in cement-matrix composite materials: A review (Uso vegetales como refuerzos en materiales compuestos cemento). *Materiales de Construcción y Construcción*.
<https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2022.127729>

- Llerena, J. L., & Monzón, L. J. (2017). Elaboración De Un Envase Biodegradable a Partir De Almidón Obtenido De maiz Quebrado , Queratina Obtenida De Residuos Avícolas (Plumas) Fortificado Con Residuos De Cáscaras De trigo. *Repositorio de Tesis UCSM*, 1–151. <http://tesis.ucsm.edu.pe/repositorio/bitstream/handle/UCSM/6666/42.0158.IB.pdf?sequence=1&isAllowed=y>
- López, Á., Rivas, J., Loaiza, M., & Sabino, M. (2010). Degradación de películas plastificadas de quitosano obtenidas a partir de conchas de Camarón (L.vannamei). *Revista de La Facultad de Ingenieria*, 25(2), 133–143. https://ve.scielo.org/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0798-40652010000200014
- Lopez, F. J. (2019). “ELABORACIÓN DE UN BIOPLÁSTICO A BASE DE ALMIDÓN DE OCA (*Oxalis tuberosa*), QUERATINA DE PLUMAS DE POLLO Y REFORZADO CON CÁSCARA DE TUNA (*Opuntia ficus-indica*).”
- Mariano. (2012). Polietileno (PE) | Tecnología de los Plásticos. *Tecnología de Los Plásticos*. <https://tecnologiadelosplasticos.blogspot.com/2012/07/polietileno-pe.html>
- Mejía, G., & Escamilla, E. (2018). Cultivo del Platano. In *CENTRO NACIONAL DE TECNOLOGÍA AGROPECUARIA Y FORESTAL "Enrique Álvares Córdova"* (pp. 1–29). <https://centa.gob.sv/download/guia-tecnica-cultivo-de-platano/>
- Mendoza Cisneros, J. W., Velásquez Ccosi, P. F., & Gómez Gálvez, Y. (2020). Caracterización estructural, física y química de la fibra de rastrojo de la cosecha de piña (ananas comosus) golden como alternativa para elaborar papel. *Ingeniería Investiga*, 2(2), 314–323. <https://doi.org/10.47796/ing.v2i2.408>
- Mendoza, J. W. (2020). *Caracterización estructural, física y química de la fibra de rastrojo de la cosecha de piña (ananas comosus) golden como alternativa para elaborar papel*. 2507(February), 1–9.
- Meza, P. N. (2016). Elaboración de bioplásticos a partir de almidón residual obtenido de peladoras de papa y determinación de su biodegradabilidad a nivel de laboratorio. *Universidad Nacional Agraria La Molina*. <http://repositorio.lamolina.edu.pe/bitstream/handle/UNALM/2016/Q60-M49-T.pdf?sequence=1&isAllowed=y>
- Mogollon, H. L., & Sarmiento, L. D. (2020). Evaluación de la biodegradación microbiana de un empaque plástico comercial de ácido poliláctico por medio de un lodo activo, aspergillus y lodo activo bioaumentado con aspergillus en un medio acuoso aeróbio. In *UNDACIÓN UNIVERSIDAD DE AMÉRICA* (Vol. 5, Issue 1). repositorio.uamerica.edu.co/bitstream/20.500.11839/7775/1/6151461-2020-1-IQ.pdf
- Mujtaba, M., Fernandes, L., Fazeli, M., Mukherjee, S., Savassa, S. M., Araujo de Medeiros, G., do Espírito Santo, A., Mancini, S. D., Lipponen, J., & Vilaplana, F. (2023). Lignocellulosic biomass from agricultural waste to the circular economy: a review with focus on biofuels, biocomposites and bioplastics (Biomasa lignocelulósica de residuos agrícolas a la economía circular: una revisión centrada en biocombustibles, biocom. In *Journal of Cleaner Production* (Vol. 402, Issue March, p. 136815). Elsevier Ltd. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2023.136815>
- Murillo, D. I., & Taco, J. C. (2020). *Aprovechamiento de residuos orgánicos agrícolas mezclados con plastificante para la obtención de un biopolímero resistente y biodegradable*. <http://repositorio.esпам.edu.ec/handle/42000/1353>

- Navya, P., Gayathri, V., Samanta, D., & Sampath, S. (2022). Bacterial cellulose: A promising biopolymer with interesting properties and applications (Celulosa bacteriana: un biopolímero prometedor con interesantes propiedades y aplicaciones). *International Journal of Biological Macromolecules*, 215, 346–367. <https://doi.org/10.1016/j.ijbiomac.2022.08.056>
- NTP 900.080. (2015). ENVASES Y EMBALAJES. Requisitos de los envases y embalajes. Programa de ensayo y criterios de evaluación de biodegradabilidad. *Indecopi*.
- Patel, A., & Shah, A. R. (2021). Integrated lignocellulosic biorefinery: Gateway for production of second generation ethanol and value added products (Biorrefinería lignocelulósica integrada: puerta de entrada para la producción de etanol de segunda generación y productos de valor agrega. *Journal of Bioresources and Bioproducts*, 6, 108–128. <https://doi.org/10.1016/j.jobab.2021.02.001>
- Patel, H., & Patel, B. (2022). Enriamiento de fibra de pseudotallo de plátano utilizando cepas de *Bacillus* para obtener excelentes propiedades mecánicas como biomaterial en la industria textil y de fibras. *Heliyon*, 8.
- Polman, E. M. N., Gruter, G. J. M., Parsons, J. R., & Tietema, A. (2021). Comparison of the aerobic biodegradation of biopolymers and the corresponding bioplastics: A review. *Science of the Total Environment*, 753, 141953. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2020.141953>
- POLYESPUM. (2009). *Hoja técnica de la lamina polyespum*. 2009. https://www.decorcenter.pe/medias/sys_master/documents/documents/he9/he9/h00/9572981276702/11001238-ESPUMA-DE-POLIETILENO-2.0-MM-ANCHO-1M-.pdf?attachment=true
- Ponce, J., & Horna, N. (2023). Formulación y caracterización de bandejas biodegradables con almidón de *Manihot Sculenta* y fibras de *Cynara Scolymus*. In *Universidad Nacional del Santa*. http://repositorio.uns.edu.pe/bitstream/handle/UNS/2690/42788.pdf?sequence=1&isAllowed=y%0Ahttps://www.uv.mx/personal/yvelasco/files/2012/08/Implicaciones_educativas_de_la_teor%C3%ADa_sociocultural_de_Vigotsky.pdf
- Provin, A. P., Regina De Aguiar Dutra, A., Aguiar De Sousa, I. C., Gouveia, S., Leal, A., & Cubas, V. (2021). Circular economy for fashion industry: Use of waste from the food industry for the production of biotextiles. *Technological Forecasting & Social Change*, 169, 120858. <https://doi.org/10.1016/j.techfore.2021.120858>
- Redolfo, Y. N. (2022). “Estudio de pre factibilidad para la obtención de envases a partir de los residuos foliares de piña, en la ciudad de Ayacucho.” In *Universidad Nacional de San Martín* (Vol. 1). http://repositorio.unsm.edu.pe/bitstream/handle/11458/2418/TP_AGRO_00662_2017.pdf?sequence=1&isAllowed=y
- Remar. (2011). Bioplástico- guía practica. *Red de Energía y Medio Ambiente*, 2. www.redremar.com
- Rodriguez, I. M. (2006). Caracterización química de fibras de plantas herbáceas utilizadas para la fabricación de pastas de papel de alta calidad. *Universidad de Sevilla*, 184.
- Sandoval, I. A., & Torres, E. E. (2011). Guía técnica del cultivo de la piña. *Centro Nacional de Tecnología Agropecuaria y Forestal*, 1–20. <http://www.centa.gob.sv/docs/guias/frutales/GUIA TECNICA PIN?A 2011.pdf>
- Shams, M., Alam, I., & Mahbub, M. S. (2021). Plastic pollution during COVID-19:

- Plastic waste directives and its long-term impact on the environment. *Environmental Advances*, 5, 100119. <https://doi.org/10.1016/J.ENVADV.2021.100119>
- Soriano, J. M., & Barreto, M. M. (2018). *Síntesis y estudio de propiedades de celulosa bacteriana obtenida en piña y banano, inoculados con Kombucha*. <http://repositorio.ug.edu.ec/handle/redug/27913>
- Villegas, C. (2014). Formulación y caracterización de espumas biodegradables usando almidón de yuca, (*Manihot esculenta* Crantz) Entrecruzado con quitosano, celulosa y sorbitol. *World Health Organization, World Bank Group, OECD*, July, 1–100. <http://elibrary.almaata.ac.id/1714/%0Ahttps://osf.io/yejcm/%0Ahttp://elibrary.almaata.ac.id/%0Ahttps://bmjopen.bmj.com/lookup/doi/10.1136/bmjopen-2019-030624%0Ahttps://ppjp.ulm.ac.id/journal/index.php/JPKMI/article/view/2758%0Ahttp://stikara.ac.id/jupermik>
- Wang, K., & Tester, J. W. (2023). Sustainable management of unavoidable biomass wastes (Gestión sostenible de residuos inevitables de biomasa). *Green Energy and Resources*, 1(1), 100005. <https://doi.org/10.1016/j.gerr.2023.100005>
- Zaini, H. M., Saallah, S., Roslan, J., Sulaiman, N. S., Munsu, E., Wahab, N. A., & Pindi, W. (2023). Banana biomass waste: A prospective nanocellulose source and its potential application in food industry – A review. *Heliyon*, 9(8), e18734. <https://doi.org/10.1016/j.heliyon.2023.e18734>

ANEXOS

Anexo 1

Tabla 16

Formulaciones de las mezclas experimentales

N° Trat.	Proporciones de componentes valores reales (%)			Componentes manipulados (g) 20 %			Componentes constantes (g) 80 %			(100) Mezcla total	Espesor (mm)	Resistencia a la Tracción (Mpa)		% Elongación	Compresión (N) Fuerza		% Degradabilidad en compost (35 días)	% Degradabilidad en suelo (35 días)
	G-XAN	G-LY	T-GL	G-XAN	G-LY	T-GL	C-BAC	C-PÑ	C-PL			E	RT		EL	COM		
T1	1,5	10	8,5	1,5	10	8,5	76	2	2	100	0,6	0,95 ± 0,12	31%	± 0,04	3,30	± 1,26	72,40%	66,10%
T2	1,5	8,5	10	1,5	8,5	10	76	2	2	100	0,85	0,75 ± 0,08	27%	± 0,05	6,47	± 1,37	73,21%	65,00%
T3	0	10	10	0	10	10	76	2	2	100	0,43	0,24 ± 0,01	10%	±0,02	4,09	± 1,31	88,86%	86,70%
T4	3	8,5	8,5	3	8,5	8,5	76	2	2	100	0,76	1,40 ± 0,06	32%	±0,03	5,54	± 1,91	79,30%	75,50%
T5	1,5	9,25	9,25	1,5	9,25	9,25	76	2	2	100	0,84	0,64 ± 0,12	26%	± 0,05	4,63	± 0,82	82,57%	61,30%
T6	1,5	9,63	8,88	1,5	9,63	8,88	76	2	2	100	0,87	0,68 ± 0,03	27%	± 0,04	6,82	± 1,77	83,33%	66,40%
T7	1,5	8,88	9,63	1,5	8,88	9,63	76	2	2	100	0,94	0,62 ± 0,06	26%	± 0,06	7,47	± 1,57	90,23%	79,50%
T8	0,75	9,63	9,63	0,75	9,63	9,63	76	2	2	100	0,97	0,32 ± 0,04	18%	±0,03	7,55	± 2,29	84,27%	82,20%
T9	2,25	8,88	8,88	2,25	8,88	8,88	76	2	2	100	0,9	0,81 ± 0,04	38%	±0,03	6,85	± 2,19	82,40%	73,70%

Anexo 2

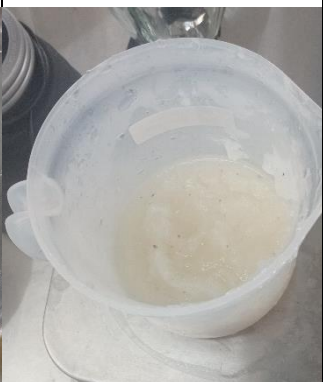
Obtención de celulosa vegetal a partir de hojas de piña, pseudotallo de plátano

Selección de la materia prima	Desfibrado	Acondicionado
		
		
Lavado	Blanqueado	Celulosa obtenida

		
		
Secado	Molienda	Tamizado
		

Anexo 3

Proceso de obtención de la celulosa bacteriana

Cultivo de SCOBY	Neutralizado	Licuada
		
Blanqueado	Lavado	Celulosa bacteriana
		

Anexo 4

Proceso de obtención del bioespuma

Pesado	Mezclado	Moldeado
		
Secado		Acabado
		

Anexo 5

Evaluaciones de las pruebas físicas-mecánicas

Medición del espesor	Prueba de tensión
	
Prueba de compresión	
	

Anexo 6

Proceso degradabilidad del bioespuma en medio de compost y suelo

Acondicionamiento del compost	Acondicionamiento del suelo
	
Medición y cortado del bioespuma	
	
Colocación de la muestra en ambos medios	
	

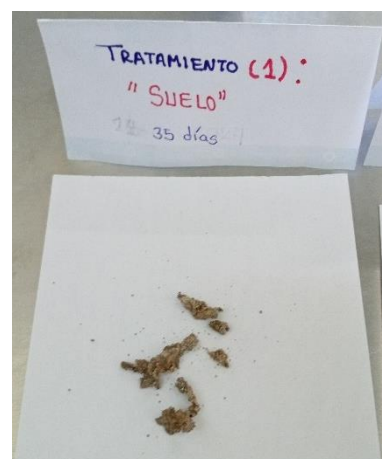
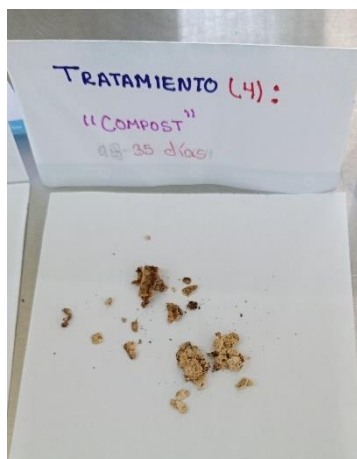
Cubrimiento de la muestra



Medición de la pérdida de peso cada 7 días en ambos medios



Bioespuma degradado en ambos medios



Anexo 7

Resultados de la degradabilidad en medio de compost y suelo

Tabla 17

Datos de la degradabilidad en medio de compost

Días	Recolección de datos en medio de compost (gramos)								
	T1	T2	T3	T4	T5	T6	T7	T8	T9
0	0,56	0,53	0,92	0,60	0,61	0,51	0,48	0,71	0,66
7	0,34	0,33	0,33	0,55	0,45	0,38	0,40	0,31	0,59
14	0,30	0,27	0,31	0,35	0,31	0,27	0,35	0,29	0,33
21	0,26	0,25	0,29	0,30	0,29	0,26	0,22	0,20	0,31
28	0,26	0,25	0,27	0,27	0,24	0,19	0,10	0,18	0,28
35	0,15	0,14	0,10	0,13	0,11	0,09	0,05	0,11	0,12
Días	Determinación de la biodegradabilidad (%)								
	T1	T2	T3	T4	T5	T6	T7	T8	T9
7	38,5%	37,4%	63,5%	8,6%	26,2%	25,9%	17,9%	56,9%	10,6%
14	47,1%	49,1%	66,6%	42,7%	50,0%	47,1%	27,9%	59,3%	49,8%
21	53,4%	52,8%	68,6%	50,0%	53,4%	49,8%	54,5%	71,6%	53,6%
28	53,9%	53,6%	70,4%	55,3%	61,4%	63,7%	78,6%	75,4%	57,2%
35	72,4%	73,2%	88,9%	79,3%	82,6%	83,3%	90,2%	84,3%	82,4%

Tabla 18

Datos de la degradabilidad en medio de suelo

Días	Recolección de datos en medio de suelo (gramos)								
	T1	T2	T3	T4	T5	T6	T7	T8	T9
0	0,59	0,60	0,93	0,61	0,62	0,49	0,52	0,72	0,67
7	0,39	0,48	0,56	0,55	0,35	0,38	0,40	0,31	0,44
14	0,30	0,30	0,34	0,47	0,34	0,27	0,34	0,26	0,39
21	0,27	0,26	0,27	0,34	0,31	0,24	0,33	0,25	0,38
28	0,25	0,25	0,23	0,27	0,25	0,20	0,17	0,23	0,25
35	0,20	0,21	0,12	0,15	0,24	0,17	0,11	0,13	0,18
Días	Determinación de la biodegradabilidad								
	T1	T2	T3	T4	T5	T6	T7	T8	T9
7	33,0%	19,9%	39,9%	10,6%	43,9%	22,8%	24,1%	56,8%	35,5%
14	48,9%	49,8%	63,7%	23,3%	45,5%	44,6%	35,9%	63,3%	42,6%
21	54,9%	56,3%	70,6%	45,4%	50,5%	52,1%	37,7%	65,3%	44,1%
28	57,4%	58,0%	75,0%	55,8%	59,8%	58,7%	66,7%	68,1%	62,9%
35	66,1%	65,0%	86,7%	75,5%	61,3%	66,4%	79,5%	82,2%	73,7%

Anexo 8

Resultados del ensayo de pruebas tensión, elongación y compresión



Universidad Nacional de Trujillo
Facultad de Ciencias Agropecuarias
Escuela de Ingeniería Agroindustrial



INFORME DE ANÁLISIS DE PRUEBAS FÍSICOS Y MECÁNICOS DEL BIOMATERIAL

1. DATOS DE LA EMPRESA SOLICITANTE

Razón Social : ROXANA GONZALES ÑAHUI.
RUC : 20143660754
Dirección : Av. Independencia s/n. - Ayacucho - Huamanga

2. FECHAS

Emisión de informe : 10 de mayo del 2024
Observaciones : ---

3. ENSAYO SOLICITADO

Ensayo solicitado : Ensayo de compresión
Ensayo de tensión

4. DATOS DE LA MUESTRAS ANALIZADAS

Bioespumas de celulosa bacteriana y subproductos de residuos agrícolas

5. RESULTADOS

Tabla 1: Resultados de los análisis físicos y mecánicos

Tratamiento	Dureza (N)	Resistencia a la tracción (MPa)	%Elongación	Espesor (mm)
T1	3.30	0.95	0.31	0.60
T2	6.47	0.75	0.27	0.85
T3	4.09	0.24	0.10	0.43
T4	5.54	1.40	0.32	0.76
T5	4.63	0.64	0.26	0.84
T6	6.82	0.68	0.27	0.87
T7	7.47	0.62	0.26	0.94
T8	7.55	0.32	0.18	0.97
T9	6.89	0.81	0.38	0.90

- Los resultados corresponden a las muestras entregadas al laboratorio de Ingeniería de Procesos Agroindustriales de la Facultad de Ciencias Agropecuarias, Universidad Nacional de Trujillo.

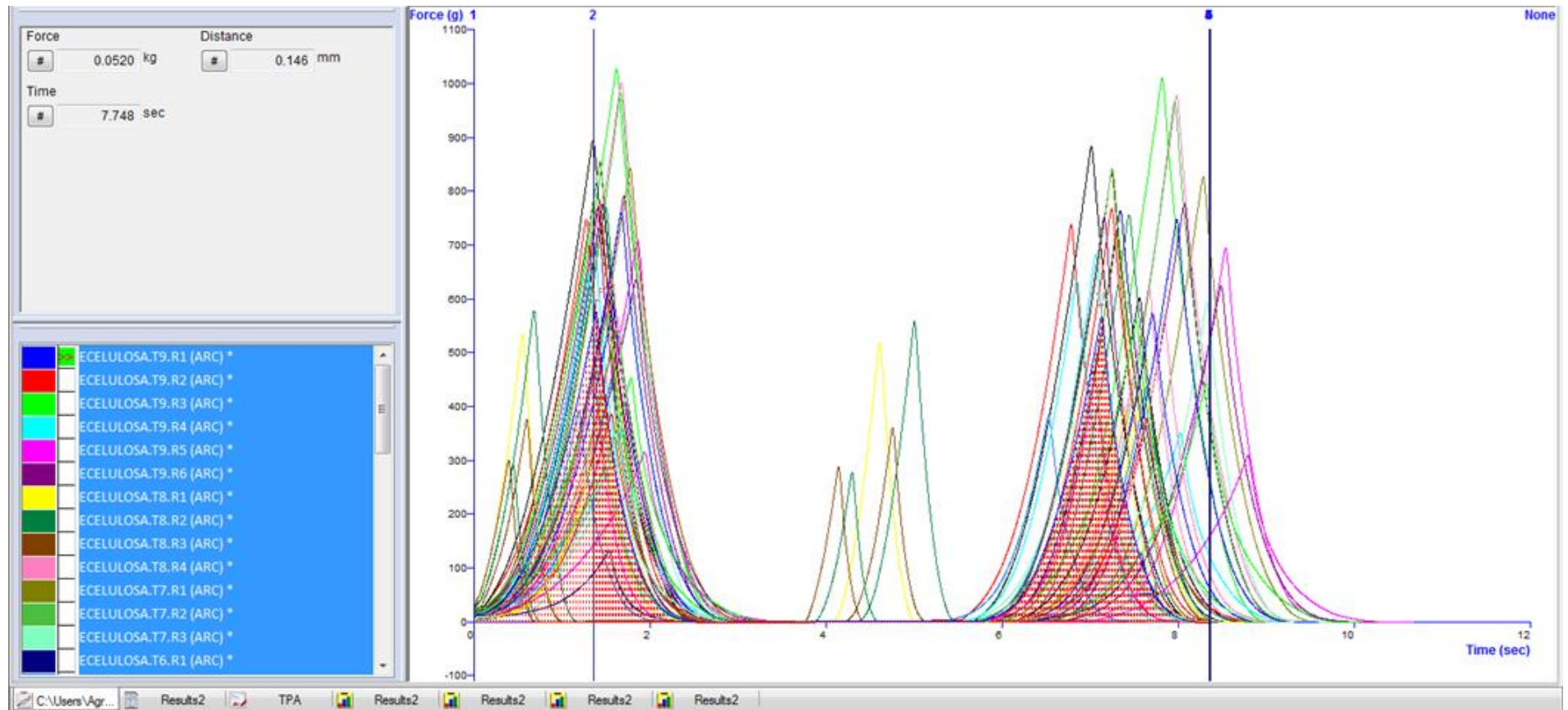

Ing. Haley Mlagritos Figueroa Avalos
Asistente
Laboratorio de Ingeniería de
Procesos Agroindustriales
DNI: 77335749

Nota: Queda prohibida la copia parcial de este informe sin el consentimiento por escrito del Coordinador del Laboratorio.

Av. Juan Pablo II s/n, Ciudad Universitaria, Facultad de Ciencias Agropecuarias, Trujillo, Perú.
E-mail: rsiche@unitru.edu.pe

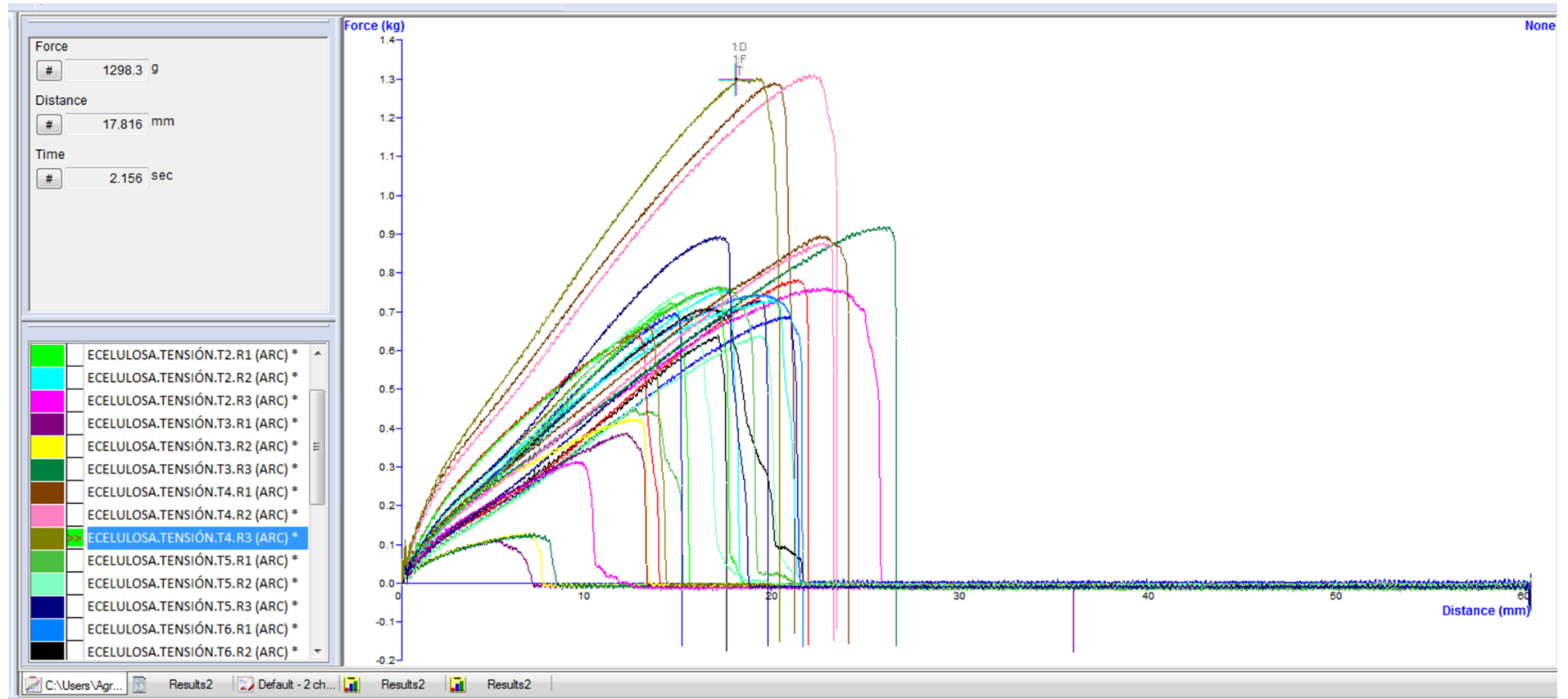
Anexo 9

Grafica de compresión fuerza (g) vs tiempo (s)



Anexo 10

Grafica de Tensión fuerza (kg) vs distancia (mm)



Anexo 11

Norma ASTM D3574-17 para la evaluación del bioespuma

This international standard was developed in accordance with internationally recognized principles on standardization established in the Decision on Principles for the Development of International Standards, Guides and Recommendations issued by the World Trade Organization Technical Barriers to Trade (TBT) Committee.



Designation: D3574 – 17

Standard Test Methods for Flexible Cellular Materials—Slab, Bonded, and Molded Urethane Foams¹

This standard is issued under the fixed designation D3574; the number immediately following the designation indicates the year of original adoption or, in the case of revision, the year of last revision. A number in parentheses indicates the year of last reapproval. A superscript epsilon (ϵ) indicates an editorial change since the last revision or reapproval.

This standard has been approved for use by agencies of the U.S. Department of Defense.

1. Scope*

1.1 These test methods apply to slab, bonded, and molded flexible cellular products known as urethane foams. Urethane foam is generally defined as an expanded cellular product produced by the interaction of active hydrogen compounds, water, and isocyanates.

1.2 *This standard does not purport to address all of the safety concerns, if any, associated with its use. It is the responsibility of the user of this standard to establish appropriate safety and health practices and determine the applicability of regulatory limitations prior to use.*

1.3 The values stated in SI units are to be regarded as standard.

Note 1—There is no known ISO equivalent to this standard, however certain test methods in this standard have similar or equivalent ISO standards and are listed in the scope of the individual test method sections.

2. Referenced Documents

2.1 ASTM Standards:²

- D412 Test Methods for Vulcanized Rubber and Thermoplastic Elastomers—Tension
- D624 Test Method for Tear Strength of Conventional Vulcanized Rubber and Thermoplastic Elastomers
- D737 Test Method for Air Permeability of Textile Fabrics
- D3576 Test Method for Cell Size of Rigid Cellular Plastics
- D3675 Test Method for Surface Flammability of Flexible Cellular Materials Using a Radiant Heat Energy Source
- E162 Test Method for Surface Flammability of Materials Using a Radiant Heat Energy Source
- E662 Test Method for Specific Optical Density of Smoke Generated by Solid Materials

¹ These test methods are under the jurisdiction of ASTM Committee D20 on Plastics and are the direct responsibility of Subcommittee D20.22 on Cellular Materials - Plastics and Elastomers.

Current edition approved March 1, 2017. Published March 2017. Originally approved in 1977. Last previous edition approved in 2016 as D3574 – 16. DOI: 10.1520/D3574-17.

² For referenced ASTM standards, visit the ASTM website, www.astm.org, or contact ASTM Customer Service at service@astm.org. For Annual Book of ASTM Standards volume information, refer to the standard's Document Summary page on the ASTM website.

E691 Practice for Conducting an Interlaboratory Study to Determine the Precision of a Test Method

3. Terminology

3.1 Definitions of Terms Specific to This Standard:

3.1.1 *bonded foam*—a product produced by the adhesion of small pieces of urethane foam to each other with a suitable bonding agent.

3.1.2 *core*—the internal portion of a molded part, free of skin.

3.1.3 *cored foam*—a flexible cellular material containing a multiplicity of holes (usually, but not necessarily, cylindrical in shape), molded or cut into the material in some pattern, normally perpendicular to the foam rise direction, and extending part or all the way through the piece.

3.1.4 *convoluted foam*—a flexible cellular material specially cut into sheets with “egg carton”-like dimples. The dimple peaks and bases can have varied shapes and dimensions.

3.1.5 *flexible cellular product*—a cellular organic polymeric material that will not rupture when a specimen 200 by 25 by 25 mm is bent around a 25-mm diameter mandrel at a uniform rate of one lap in 5 s at a temperature between 18 and 29°C.

3.1.6 *molded foam*—a cellular product having the shape of the enclosed chamber in which it is produced by foaming.

3.1.7 *skin*—the smooth surface layer of a molded foam product, formed by contact with the mold or surfaces.

3.1.8 *slab*—a section of foam that is cut from the internal portion of a large bun.

3.1.9 *urethane foam*—a flexible cellular product produced by the interaction of active hydrogen compounds, water, and isocyanates.

3.1.10 *viscoelastic foam*—a specially formulated urethane foam characterized by having slow recovery, low resilience, and high hysteresis loss.

3.1.11 *cell count*—a measurement used to characterize different types of foams based on the size of the individual cells in the foam matrix, typically expressed as either average cell diameter or as the number of cells per linear distance. For measuring cell counts, see Test Method D3576.

*A Summary of Changes section appears at the end of this standard

Copyright © ASTM International, 100 Barr Harbor Drive, PO Box C700, West Conshohocken, PA 19428-2959, United States

Copyright by ASTM Int'l (all rights reserved); This Sep 27 15:36:24 EDT 2018

Downloaded/printed by

Wellington Padilla (Starsprings do Brasil Ltda) pursuant to License Agreement. No further reproductions authorized.

TEST E—TENSILE TEST

45. Scope

45.1 This test method determines the effect of the application of a tensile force to foam. Measurements are made for tensile stress at a predetermined, specified elongation (optional), tensile strength, and ultimate elongation.

NOTE 17—This standard and ISO 1798 address the same subject matter, but differ in technical content and results cannot be directly compared between the two methods.

46. Apparatus

46.1 *Specimens*—The specimen for tensile tests shall be stamped out with a die of the shape (dumbbell) and dimensions shown in Fig. 2 (D3574 die), or Fig. 3 (Die A of Test Method D412). The die shall be sharp and free of nicks in order to prevent leaving ragged edges on the specimen. The ASTM D412 Die A, shown in Fig. 3, is the preferred die.

46.2 *Bench Marker*—The marker shall have two parallel marking edges 1 to 3 mm in thickness and spaced 20 or 25 mm apart on centers.

46.3 *Measurements*—The dimensions of the test specimen shall be determined with a suitable gauge in accordance with Section 8.

46.4 *Machine*—Tensile tests shall be conducted on a power-driven machine complying with the following requirements:

46.4.1 The machine shall be equipped with a load cell or force measuring device to measure the maximum applied force. The test speed shall be 500 ± 50 mm/min, and shall be uniform at all times.

46.4.2 Elongation shall be determined by either a device graduated to 2.5 mm for measuring the elongation, by the use of a non-contact extensometer, or by crosshead travel (also referred to as grip separation). Extensometers that clip on to the specimen generally are unsuitable for flexible foam. For testing dumbbell specimens, the machine shall have either screw-type flat plate grips or a type of grip that tightens automatically and exerts a uniform pressure across the gripping surfaces, increasing as the tension increases to prevent slipping.

47. Test Specimens

47.1 The test specimens shall be cut from flat sheet material. Test specimens shall be from 3 - 14 mm in thickness. The foam rise shall be in the thickness direction, unless otherwise agreed upon by purchaser and supplier. The top and bottom surfaces shall be parallel and free of skin. The cut edges shall be perpendicular to the top surface and be free of ragged edges. The length of the tabs can be adjusted to fit machine conditions provided that all other requirements remain constant.

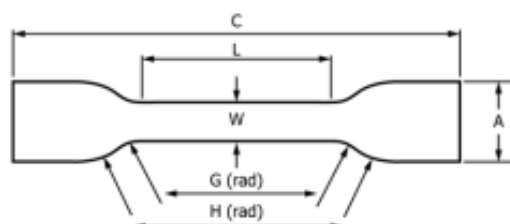


FIG. 1 Tensile Dumbbell Specimen Dimension Key

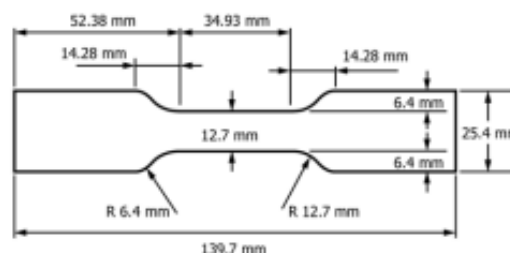


FIG. 2 Die for Stamping Tensile Dumbbell Specimens—D3574 Die

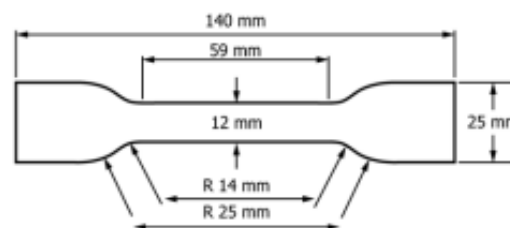


FIG. 3 Die for Stamping Tensile Dumbbell Specimens—D412A Die

48. Number of Specimens

48.1 Three specimens per sample shall be tested. The value reported shall be the mean value of those observed.

49. Procedure

49.1 Set the grip separation at a minimum of 62.5 mm for the D3574 die and at a minimum of 75 mm for D412 Die A. Place the dumbbell tabs in the grips of the testing machine, using care to adjust them symmetrically, so that the tension will be distributed uniformly over the cross section. The test shall

TABLE 1 Dimension Tolerances of Tensile Dies

Dimension	Units	Tolerance	D3574 Die	D412 Die A
A	mm	± 1	25.4	25
C	mm	min	139.7	140
G	mm	± 1	12.7	14
H	mm	± 2	6.4	25
L	mm	± 2	34.93	59
W	mm	+0.05, -0.00	12.7	12



ACTA DE SUSTENCIÓN DE LA TESIS PRESENCIAL:
**Aprovechamiento de Subproductos agrícolas y celulosa bacteriana para la
obtención de bioespumas**

Expositor: Roxana Gonzales Ñahui
Bachiller en Ingeniería Agroindustrial

Expediente N° 2452368**Resolución Decanal N° 196-2024-UNSCH-FIQM/D****Fecha: 24-09-2024**

En la Sala de Conferencia "Pedro Villena Hidalgo" de la Facultad de Ingeniería Química y Metalurgia, ubicada en la Ciudad Universitaria de la Universidad Nacional de San Cristóbal de Huamanga (H-121), siendo las diez de la mañana con cinco minutos del día viernes veintisiete de setiembre del año dos mil veinticuatro, se reunieron la Bachiller en Ingeniería Agroindustrial **Roxana Gonzales Ñahui**, los Docentes Miembros del Jurado de Sustentación Ingenieros: Dr. Alberto Luis HUAMANI HUAMANI, Mg. Jorge Adalberto MALAGA JUAREZ y Mg. Percy Segundo HUAUYA PABLO, bajo la Presidencia del Dr. Agustín Julián PORTUGUEZ MAURTUA (Decano de la Facultad), Mg. Percy Fermín VELASQUEZ CCOSI (Docente Asesor de la Tesis), el Mg. Fredy Rober PARIONA ESCALANTE (Secretario-Docente).

Acto seguido, el Presidente del Jurado de Sustentación dispuso que el Secretario Docente dé lectura a los antecedentes tramitados para el presente Acto Público de Sustentación de la Tesis: **Aprovechamiento de Subproductos agrícolas y celulosa bacteriana para la obtención de bioespumas**, presentado por la Bachiller **Roxana Gonzales Ñahui**. A continuación, el Secretario-Docente procedió a dar lectura a la Resolución Decanal N° 196-2024-UNSCH-FIQM/D.

Luego, el Presidente del Jurado invitó a la Bachiller **Roxana Gonzales Ñahui**, a pasar al estrado y exponer su trabajo de Tesis en un tiempo máximo de treinta y cinco minutos.

Finalizado la exposición de la Bachiller, el presidente invitó a los Señores Miembros del Jurado de Sustentación a que formulen sus preguntas y señalen sus observaciones, en el siguiente orden: Mg. Percy Segundo HUAUYA PABLO, Mg. Jorge Adalberto MALAGA JUAREZ y Dr. Alberto Luis HUAMANI HUAMANI. Luego el Presidente invitó al Mg. Percy Fermín VELASQUEZ CCOSI para que, en su condición de Docente Asesor, se sirva levantar las observaciones del Jurado y efectuar las aclaraciones que considere conveniente.

A continuación, el presidente del jurado invito al sustentante y al público para que se sirva abandonar la sala de conferencia con la finalidad de permitir al jurado de sustentación deliberar sobre la evaluación a otorgar. Se alcanzó el siguiente resultado. **APROBADO POR UNANIMIDAD PROMEDIO DIECISEIS (16)**.

**UNSCH**FACULTAD DE INGENIERÍA
QUÍMICA Y
METALURGIA

ACTA DE SUSTENCIÓN DE LA TESIS PRESENCIAL:
Aprovechamiento de Subproductos agrícolas y celulosa bacteriana para la
obtención de bioespumas

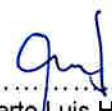
Expositor: Roxana Gonzales Ñahui
Bachiller en Ingeniería Agroindustrial

Expediente Nº 2452368**Resolución Decanal Nº 196-2024-UNSCH-FIQM/D****Fecha: 24-09-2024**

Finalmente, el Presidente del Jurado dispuso que se invite al Sustentante y al público asistente a que se sirvan ingresar a la sala de conferencias y anunció que, la Bachiller **Roxana Gonzales Ñahui**, ha resultado **APROBADA POR UNANIMIDAD**, y por lo tanto a partir de la fecha la Universidad y la Facultad cuenta con una flamante **INGENIERA AGROINDUSTRIAL** y le augura éxitos en su desempeño profesional.

Siendo las once de la mañana con cuarenta minutos se dio por finalizado este acto académico de Sustentación de Tesis. En fe de lo cual firmamos:


.....
Dr. Agustín Julián PORTUGUEZ MAURTUA
Presidente


.....
Dr. Alberto Luis HUAMANI HUAMANI
Miembro


.....
Mg Jorge Adalberto MALAGA JUAREZ
Miembro


.....
Mg. Percy Segundo HUAYU PABLO
Miembro


.....
Mg. Fredy Rober PARIONA ESCALANTE
(Secretario Docente)



UNSCH

FACULTAD DE
**INGENIERÍA QUÍMICA
Y METALURGIA**

ESCUELA PROFESIONAL DE
INGENIERÍA AGROINDUSTRIAL

La Escuela Profesional de Ingeniería Agroindustrial de la Facultad de Ingeniería Química y Metalurgia de la Universidad Nacional de San Cristóbal de Huamanga, emite la siguiente:

CONSTANCIA DE ORIGINALIDAD

Que, el egresado de la Escuela Profesional de Ingeniería Agroindustrial ha remitido, con el aval y por intermedio de su asesor el Tesis M.Sc. Percy Fermin VELASQUEZ CCOSI se procedió a la evaluación de originalidad del archivo adjunto con el TURNITIN - UNSCH, **de acuerdo a los criterios establecidos en el Reglamento de Originalidad de Trabajos de Investigación de la UNSCH, aprobado con Resolución del Consejo Universitario N° 039-2021-UNSCH-CU**; cuyos resultados son:

Tesis Aprovechamiento de subproductos agrícolas y celulosa bacteriana para la obtención de bioespumas

Nombre y Apellido : Bach. **Roxana Gonzales Ñahui**
Identificador de entrega : 2485368619
Fecha : 14-oct.-2024 04:53p.m. (UTC-0500)
Archivo : Tesis_Depositada_2024_Gonzales.pdf (5.03M)

Se expide la presente constancia de originalidad, con reporte del 13 % de ÍNDICE DE SIMILITUD realizado con Depósito de trabajos estándar, a fin de proseguir con los trámites pertinentes; cabe señalar que los documentos del procedimiento se archivan en el repositorio documental de la Escuela.

Ayacucho, 14 de octubre del 2024

C.c.
Const. N°16-2024
Archivo

UNIVERSIDAD NACIONAL DE SAN CRISTÓBAL
DE HUAMANGA
F.P. INGENIERÍA AGROINDUSTRIAL

Ing. Percy Fermin Velasquez Ccosi
DIRECTOR

ESCUELA PROFESIONAL DE
INGENIERÍA AGROINDUSTRIAL
Av. Independencia S/N - Ayacucho
Telf. 066-303496
Correo: ep.agroindustrial@unsch.edu.pe

Aprovechamiento de subproductos agrícolas y celulosa bacteriana para la obtención de bioespumas

por Roxana Gonzales Ñahui

Fecha de entrega: 14-oct-2024 04:53p.m. (UTC-0500)

Identificador de la entrega: 2485368619

Nombre del archivo: Tesis_Depositada_2024_Gonzales.pdf (5.03M)

Total de palabras: 27040

Total de caracteres: 150674

Aprovechamiento de subproductos agrícolas y celulosa bacteriana para la obtención de bioespumas

INFORME DE ORIGINALIDAD

13%

INDICE DE SIMILITUD

11%

FUENTES DE INTERNET

3%

PUBLICACIONES

7%

TRABAJOS DEL
ESTUDIANTE

FUENTES PRIMARIAS

1	Submitted to Universidad Nacional de San Cristóbal de Huamanga	4%
	Trabajo del estudiante	
2	repository.uamerica.edu.co	1%
	Fuente de Internet	
3	tecnologiadelosplasticos.blogspot.com	1%
	Fuente de Internet	
4	repositorio.una.ac.cr	<1%
	Fuente de Internet	
5	dspace.ups.edu.ec	<1%
	Fuente de Internet	
6	oa.upm.es	<1%
	Fuente de Internet	
7	vdocuments.net	<1%
	Fuente de Internet	
8	hdl.handle.net	<1%
	Fuente de Internet	

9	www.researchgate.net Fuente de Internet	<1 %
10	alicia.concytec.gob.pe Fuente de Internet	<1 %
11	vsip.info Fuente de Internet	<1 %
12	repositorio.ug.edu.ec Fuente de Internet	<1 %
13	repositorio.ulc.edu.pe Fuente de Internet	<1 %
14	expeditio.utadeo.edu.co Fuente de Internet	<1 %
15	repositorio.espam.edu.ec Fuente de Internet	<1 %
16	www.dspace.unitru.edu.pe Fuente de Internet	<1 %
17	eprints.uanl.mx Fuente de Internet	<1 %
18	repositorio.unsch.edu.pe Fuente de Internet	<1 %
19	Submitted to Universidad Politécnica de Madrid Trabajo del estudiante	<1 %
20	idus.us.es	

<1 %

21

es.scribd.com

Fuente de Internet

<1 %

22

1library.co

Fuente de Internet

<1 %

23

revistasinvestigacion.unmsm.edu.pe

Fuente de Internet

<1 %

24

www.yumpu.com

Fuente de Internet

<1 %

25

revistas.unat.edu.pe

Fuente de Internet

<1 %

26

qdoc.tips

Fuente de Internet

<1 %

27

repositorio.uleam.edu.ec

Fuente de Internet

<1 %

28

repositorio.unicach.mx

Fuente de Internet

<1 %

29

dspace.unitru.edu.pe

Fuente de Internet

<1 %

30

Ramón Tejada Oliveros. "Optimización de las propiedades de tenacidad e impacto de formulaciones de ácido poliláctico (PLA), mediante mezclas con polímeros flexibles y

<1 %

optimización de los sistemas de compatibilización", Universitat Politècnica de Valencia, 2023

Publicación

31

repositorio.upsc.edu.pe

Fuente de Internet

<1 %

32

www.coursehero.com

Fuente de Internet

<1 %

33

www.scribd.com

Fuente de Internet

<1 %

Excluir citas

Activo

Excluir coincidencias < 30 words

Excluir bibliografía

Activo