

Bolsas biodegradables a partir de almidón de yuca, para viveros

Luisa Fernanda Candamil Nieto

Deisy Eliana Noreña Montoya

Asesor

Sindy Johana Escobar Lujan

Universidad Nacional Abierta y a Distancia

Escuela Ciencias Básicas, Tecnologías e Ingeniería

Ingeniería Industrial

2025

Dedicatoria

A Dios, por darnos la fortaleza y sabiduría para alcanzar nuestras metas.

A nuestros padres, por su amor incondicional, enseñanzas y sacrificios, que nos han permitido llegar hasta aquí.

A nuestras familias, quienes han sido nuestro mayor apoyo en cada paso de este camino.

A nuestro profesores y asesores, por compartir su conocimiento y guiarnos en este proceso de aprendizaje.

A nuestros amigos y compañeros de estudio, por su compañía, motivación y colaboración en cada etapa de este proyecto.

¡Gracias, por ser parte de este logro!

Resumen

El impacto ambiental derivado del uso de plásticos convencionales es un problema global. En el ámbito agrícola, estos materiales generan residuos persistentes que contaminan suelos y ecosistemas. Particularmente, en los viveros, el uso de bolsas plásticas para germinación de semillas contribuye significativamente a este problema, debido a su baja biodegradabilidad y la liberación de microplásticos durante su descomposición parcial. Ante esta situación, surge la necesidad de investigar alternativas sostenibles y biodegradables que puedan reemplazar estos plásticos tradicionales. El presente trabajo propone el desarrollo de bolsas biodegradables elaboradas a partir de almidón de yuca como una alternativa sostenible para su uso en viveros. La yuca, al ser un recurso natural renovable y abundante en regiones tropicales, ofrece propiedades químicas favorables para la elaboración de bioplásticos. Este proyecto busca diseñar y evaluar prototipos que cumplan con los requerimientos mecánicos y de biodegradabilidad necesarios para su aplicación agrícola, durante el desarrollo del proyecto, se diseñaron y probaron diferentes formulaciones de bioplásticos a base de almidón de yuca. Los resultados experimentales mostraron que las bolsas biodegradables cumplen con una tasa de descomposición del 90% en 30 días y alcanzan su biodegradación completa en 60 días bajo condiciones naturales. Además, las pruebas de resistencia mecánica y termosellado demostraron que estas bolsas son aptas para su uso en viveros, contribuyendo así a la reducción de residuos plásticos y mejorando la gestión ambiental en la agricultura. La investigación concluye que las bolsas biodegradables de almidón de yuca representan una alternativa viable y sostenible frente a los plásticos convencionales. Este material ofrece beneficios como la integración al suelo como materia orgánica, el cumplimiento de normativas internacionales de compostabilidad y la

reducción del impacto ambiental asociado a los residuos plásticos. Sin embargo, es necesario continuar investigando para optimizar sus propiedades mecánicas y reducir los costos de producción, con el fin de promover su adopción a gran escala en el sector agrícola.

Palabras clave: bolsas biodegradables, biodegradabilidad, sostenibilidad, medio ambiente

Abstract

The environmental impact of conventional plastics is a global problem. In agriculture, these materials generate persistent waste that contaminates soils and ecosystems. Particularly in nurseries, the use of plastic bags for seed germination contributes significantly to this problem due to their low biodegradability and the release of microplastics during their partial decomposition. Given this situation, there is a need to research sustainable and biodegradable alternatives that can replace these traditional plastics. This work proposes the development of biodegradable bags made from cassava starch as a sustainable alternative for use in nurseries. Cassava, being a renewable natural resource abundant in tropical regions, offers favorable chemical properties for the production of bioplastics. This project seeks to design and evaluate prototypes that meet the mechanical and biodegradability requirements necessary for agricultural applications. During the project's development, different formulations of cassava starch-based bioplastics were designed and tested. Experimental results showed that the biodegradable bags achieve a 90% decomposition rate in 30 days and reach complete biodegradation in 60 days under natural conditions. Furthermore, mechanical strength and heat-sealing tests demonstrated that these bags are suitable for use in nurseries, thus contributing to the reduction of plastic waste and improving environmental management in agriculture. The research concludes that biodegradable cassava starch bags represent a viable and sustainable alternative to conventional plastics. This material offers benefits such as integration into the soil as organic matter, compliance with international compostability regulations, and a reduction in the environmental impact associated with plastic waste. However, further research is needed to optimize their mechanical properties and reduce production costs in order to promote their large-scale adoption in the agricultural sector.

Keywords: biodegradable bags, biodegradability, sustainability, environment

Tabla de Contenido

Introducción	12
Justificación	14
Objetivos	15
General	15
Específicos	15
Planteamiento del Problema	16
Avances en el Campo	17
Relevancia de la propuesta	17
Marco Conceptual	19
Almidón de Yuca	19
Bioplásticos	19
Propiedades Claves de los Bioplásticos	19
Biodegradabilidad	20
Ciclo de Vida de los Bioplásticos	20
Impacto Ambiental de los Bioplásticos	20
Aplicaciones en Agricultura	21
Marco Teórico	22
Definición y Características de las Bolsas Biodegradables	22

Proceso de Producción.....	22
Metodología _____	26
Fabricación y Caracterización de Bolsas Biodegradables _____	26
Diseño Experimental para la Evaluación en Viveros _____	27
Determinación de la Tasa de Descomposición _____	27
Análisis de Efectos en la Calidad del Suelo y la Microbiota _____	27
Desarrollo y Prueba de Prototipos _____	28
Análisis e Interpretación de Datos _____	28
Diseño Experimental _____	29
Elaboración Del Bioplástico _____	30
Materiales.....	30
Medición de Materiales.....	31
Cocción de las mezclas.	31
Esparcimiento de las Mezclas en Material Antiadherente.....	32
Definición del Nombre del Proyecto:	32
Resultados y Análisis _____	33
Películas de Plástico Obtenidas: _____	34
Espesor del Bioplástico.....	34
Determinación de Resistencia Mecánica del Bioplástico	35
Análisis Comparativo.....	40

Termosellado de las Láminas _____	41
Siembra de las Bolsas _____	43
Revisión Sistemática de producción de Biopolímeros _____	43
Características Físicas y Químicas de los Biopolímeros _____	46
Biodegradabilidad _____	47
Tasa de Descomposición.....	47
Análisis Comparativo Respecto a las Propiedades	50
Evidencias de la Biodegradación.....	51
Corroboración de Resultados _____	53
Espesor y Resistencia Mecánica del Bioplástico _____	53
Tasa de Biodegradación _____	54
Impacto en la Calidad del Suelo _____	54
Comparación con Plásticos Convencionales _____	55
Termosellado y Aplicaciones Agrícolas _____	55
Conclusiones _____	57
Recomendaciones _____	59
Referencias Bibliográficas _____	60

Lista de Tablas

Tabla 1 <i>Fórmulas aplicadas resistencia mecánica</i>	35
Tabla 2 <i>Mediciones Nivel 1</i>	35
Tabla 3 <i>Mediciones nivel 2</i>	37
Tabla 4 <i>Mediciones nivel 3</i>	38
Tabla 5 <i>Mediciones nivel 4</i>	39
Tabla 6 <i>Comparación de las resistencias mecánicas</i>	45
Tabla 7 <i>Análisis comparativo respecto a las propiedades de las bolsas</i>	50

Lista de Figuras

Figura 1 <i>Tabla de variantes para los diseños experimentales</i>	30
Figura 2 <i>Materiales utilizados diseño experimental</i>	30
Figura 3 <i>Tamizaje de los materiales</i>	31
Figura 4 <i>Cocción de las mezclas</i>	31
Figura 5 <i>Láminas de almidón</i>	32
Figura 6 <i>Tabla de variables diseño experimental</i>	33
Figura 7 <i>Tabla variante adicional</i>	33
Figura 8 <i>Películas de almidón obtenidas</i>	34
Figura 9 <i>Evidencias medición nivel 1</i>	36
Figura 10 <i>Evidencias mediciones nivel 2</i>	37
Figura 11 <i>Evidencias mediciones nivel 3</i>	38
Figura 12 <i>Evidencias mediciones nivel 4</i>	39
Figura 13 <i>Aplicación de calor en la lámina</i>	41
Figura 14 <i>Termosellado nivel 2</i>	42
Figura 15 <i>Termosellado nivel 4</i>	42
Figura 16 <i>Siembra de las bolsas en el CIAB</i>	43
Figura 17 <i>Gráfico estudio FTIR</i>	46
Figura 18 <i>Biodegradación de las bolsas</i>	51
Figura 19 <i>Degradación total de la bolsa</i>	52

Introducción

Los plásticos sintéticos que se han desarrollado en la industria química desde las primeras décadas del siglo XX tuvieron su máximo impulso durante la II Guerra Mundial. Debido a su utilidad, el crecimiento de la industria del plástico ha sido progresivo generando avances, innovaciones y satisfacción de muchas necesidades, tal situación ha hecho que los plásticos sean un material de consumo masivo presente en una gran cantidad de bienes y en la actualidad representan una problemática relacionada a su uso intensivo, la baja biodegradabilidad (alta recalcitrancia) y, por consiguiente, la alta generación de residuos. (García, 2009)

Una gran parte de los plásticos usados en la actualidad son derivados del petróleo y dependen en su totalidad de este recurso fósil no renovable, algunas cifras indican que del total del petróleo extraído en el mundo alrededor de un 5 % se destina a la industria del plástico. De otro lado el mineral fósil experimenta en la actualidad un crecimiento continuo en su precio y las proyecciones afirman que se agotará en menos de 50 años si el ritmo de consumo sigue creciendo, vale decir que en el proceso de fabricación de un kilogramo de plástico: se emiten 3,5 kilogramos de CO₂ y se emplean 412 litros de agua. (Plastisol, 2022)

Dada la problemática descrita, algunos avances en el desarrollo de materiales con capacidad de biodegradación, entre ellos los fabricados a base de almidón de yuca, biopolímero compostable, los cuales se constituyen en alternativas disponibles a nivel comercial y de interés para explorar su utilidad en actividades agrícolas de alto impacto en la generación de residuos. En este sentido, para dar alcance al objetivo de esta investigación se evalúa la película de plástico para viveros, fabricada a partir de recursos naturales, con características que hacen más

eficiente el manejo de los desechos y reducen los impactos negativos sobre el medio ambiente y la población humana. (Trejos, 2022)

El estudio analiza en profundidad las propiedades químicas y mecánicas de un polímero biodegradable, permitiendo identificar similitudes con investigaciones previas en el campo. Este análisis ha sido crucial para comprender las características fundamentales del material, destacando su potencial en diversas aplicaciones. En este contexto, es relevante señalar que, en la actualidad, el sector agrícola depende en gran medida de materiales derivados de la industria petrolera para tareas como el empaque, embalaje y transporte en viveros. Sin embargo, la creciente preocupación por los efectos ambientales de estos materiales ha impulsado la investigación de alternativas más sostenibles.

Adicionalmente, se evaluaron los efectos de las bolsas biodegradables durante la etapa de germinación de semillas en viveros, lo que permitió analizar su proceso de biodegradación bajo las condiciones climáticas específicas de la región. Este análisis proporciona información valiosa sobre la interacción de los materiales con el entorno natural, así como su potencial para ser utilizados de manera segura y eficiente en la agricultura sostenible. Los resultados obtenidos ofrecen una visión integral de las posibilidades que ofrecen los polímeros biodegradables en reemplazo de los plásticos convencionales, contribuyendo a la reducción de la huella ambiental en la industria agrícola.

Justificación

Actualmente se ha podido evidenciar como el país ha implementado medidas en cuanto a la sustitución parcial de los polímeros sintéticos por polímeros biodegradables.

Los polímeros sintéticos convencionales obtenidos a partir del petróleo no son fáciles de degradar debido a su alto peso molecular y estabilidad química, por lo tanto, los depósitos de desperdicios plásticos han sido una gran preocupación ambiental, lo cual ha llevado a la creación de programas de relleno, reciclaje o incineración de estos desperdicios.

Es conveniente analizar como el uso de polímeros biodegradables se puedan adaptar a diversas actividades, entre ellas al cultivo de café, el cual hace grandes aportaciones no solo a la caficultura colombiana, sino además a los sectores económicos, políticos y sociales de la nación; para ello se recomienda que durante la etapa de almacigo de café, se utilicen bolsas biodegradables elaboradas a partir de almidón de yuca y otros compuestos biodegradables, las cuales una vez en el terreno se podrán llevar al sitio definitivo donde se desean ubicar los almácigos, incorporándose naturalmente al suelo, sin generar ningún deterioro ambiental.

Los resultados de este proyecto pretender contribuir al ahorro espacial en los rellenos sanitarios, evitar quemas indiscriminadas de residuos, ahorrar recursos naturales no renovables, aumentar el reciclaje de la bolsa plástica, controlar y reducir los desechos plásticos que tienen como destino final los cuerpos hídricos y vertederos, reducir la mancha de desechos plásticos existentes en los océanos y reducir el uso energético para su fabricación; además de minimizar aspectos negativos ambientales. (Trejos, 2022).

Objetivos

General

Evaluar el impacto ambiental del proceso de fabricación y uso de bolsas biodegradables como práctica sostenible en la germinación de viveros.

Específicos

Identificar las propiedades físicas y químicas de las bolsas biodegradables de almidón de yuca relevantes para su uso en viveros.

Determinar la tasa de descomposición de las bolsas biodegradables de almidón de yuca en diferentes condiciones de suelo en viveros.

Analizar los efectos de las bolsas biodegradables en la calidad del suelo y el microbiota en viveros durante y después de su descomposición.

Desarrollar y probar prototipos de bolsas biodegradables de almidón de yuca para optimizar su desempeño en viveros.

Planteamiento del Problema

La contaminación humana con el pasar de los años ha ido deteriorando nuestro ecosistema, dañándolo de forma irreparable. Con el tiempo, la gran mayoría de noticias redundan en que esta contaminación es causada en gran medida por la excesiva cantidad de desechos plásticos encontrados tanto en la tierra como en el mar. Contextualizando la gravedad de la situación, mundialmente se observa que el volumen de plástico total producido es de 8300 millones de toneladas, de los cuales 6300 millones son residuos actualmente, y el 79% de ellos se encuentran en vertederos o en un entorno natural. (Trowsdale, Housden y Meier, 2017)

La producción de viveros en Colombia ha demandado por muchos años del uso de bolsas plásticas derivadas de materiales contaminantes como el polietileno. Pese a la disponibilidad de acceso a materiales biodegradables se evidencia en la actualidad una alta dependencia del uso de bolsas plásticas en las diferentes prácticas agrícolas. (Trejos, 2022)

La creciente presión para reducir la contaminación plástica ha llevado a un interés renovado en materiales biodegradables, entre ellos los polímeros derivados del almidón. El almidón, al ser un recurso renovable, presenta una alternativa viable frente a los polímeros sintéticos basados en petróleo, los cuales no se degradan de manera efectiva en tiempos razonables. En este contexto, la propuesta de utilizar bolsas biodegradables a partir de almidón de yuca para la etapa de germinación en viveros surge como una solución prometedora. Este enfoque no solo contribuiría a reducir el impacto ambiental de los desechos plásticos en las prácticas agrícolas, sino que también respondería a la necesidad de alternativas sostenibles alineadas con las normativas ambientales globales emergentes.

Avances en el Campo

Investigaciones recientes en América Latina han demostrado avances en el desarrollo de biopolímeros a partir de recursos locales. Un estudio en Brasil destacó la viabilidad de utilizar almidón de yuca para la producción de plásticos biodegradables, mostrando que estos materiales pueden ofrecer una degradación más rápida y menos impacto ambiental en comparación con los plásticos convencionales (Vega, 2020). De manera similar, en Ecuador, se han llevado a cabo investigaciones sobre la formulación de biopolímeros a partir de almidón de maíz y yuca, que han mostrado promesas en la creación de alternativas sostenibles para envolturas de alimentos (Cauces, Moreira & Anchundia, 2023)

Relevancia de la propuesta

Se presenta como una solución viable y necesaria utilizar bolsas biodegradables de almidón de yuca para la etapa de germinación en viveros. La solución ofrecida por esta alternativa no solo aborda la crisis de la contaminación plástica, sino que también se adapta a las condiciones y recursos locales de América Latina. La implementación de un prototipo para evaluar estas bolsas permitirá evaluar su eficacia en condiciones de uso real en viveros y ayudará a avanzar hacia prácticas agrícolas más sostenibles.

Estas opciones biodegradables pueden ayudar a reducir los desechos plásticos y apoyar el cumplimiento de las nuevas regulaciones ambientales de la región. Además, puede impulsar la adopción de tecnologías agrícolas más verdes y apoyar los esfuerzos globales para reducir el impacto ambiental causado por los plásticos.

Debido a que en los últimos años se ha visto afectado el ambiente, por la gran demanda de este derivado es que se pretende darle solución a este problema agresivo. Como tenemos conocimiento el plástico proviene del petróleo, sustancia que no es biodegradable a tiempos razonables, esto sumado a la crisis petrolera y la constante suba de este insumo, hace que se analicen nuevos materiales para suplantar el uso del petróleo. La necesidad de esta problemática ha hecho que se busque productos biodegradables en tiempos razonables y que cumplan las características especificadas por las nuevas normativas mundiales pro-ambiente, el uso de almidón vegetal es una de las opciones más accesibles y practicadas. Por este motivo es que se busca crear el proceso por el cual se genere plástico biodegradable (bolsas) en base al almidón de yuca para ser usado en la etapa de germinación de las semillas (viveros).

Se plantea establecer un prototipo de prueba para analizar una serie de variables, que permita validar la viabilidad del proyecto en dichas prácticas agrícolas, determinando de manera objetiva el paso a paso para la elaboración del plástico; cuyo fin será elaborar un material que supla una necesidad y que además se considere una práctica amigable con el medio ambiente.

Formulación del Problema

¿Cómo el uso bolsas biodegradables a partir de almidón de yuca para la etapa de germinación (vivero), puede ser una práctica ambiental sostenible?

Marco Conceptual

Almidón de Yuca

El (Manihot esculenta), también conocido como almidón de yuca, es un polisacárido obtenido de la raíz de esta planta, que se cultiva extensamente en zonas tropicales y subtropicales. Es un recurso renovable y biodegradable, empleado en múltiples usos industriales como el sector alimenticio, textil y la fabricación de bioplásticos. Este material se distingue por su estructura química, que facilita su alteración a través de aditivos para potenciar características como la resistencia mecánica, estabilidad térmica y flexibilidad (Avilés, 2005).

Bioplásticos

Los bioplásticos son sustancias que provienen parcial o completamente de recursos renovables como el almidón, el ácido poli láctico (PLA) o la celulosa. Estos materiales constituyen una opción más sustentable en comparación con los plásticos tradicionales obtenidos del petróleo, gracias a su habilidad para biodegradarse y su reducida huella de carbono. Los bioplásticos a base de almidón son especialmente significativos debido a su accesibilidad, coste reducido y comportamiento positivo en condiciones de compostaje (Salas, 2022; Trejos, 2022).

Propiedades Claves de los Bioplásticos

Capacidad de biodegradación: Habilidad para que microorganismos la descompongan bajo condiciones naturales, convirtiéndose en CO₂, agua y biomasa.

Capacidad de Compost: Adherencia a regulaciones internacionales como EN 13432 y ASTM D6400, que garantizan la degradación sin la formación de residuos tóxicos.

Sostenibilidad: Disminución en la utilización de recursos no renovables y en la liberación de gases de efecto invernadero en su fabricación y disposición final (Gómez & Michel, 2013).

Biodegradabilidad

La capacidad de los bioplásticos para biodegradarse se basa en elementos como la composición química del material, la existencia de microorganismos y las condiciones del entorno (temperatura, humedad y presencia de oxígeno). Para el almidón de yuca, su estructura molecular lo hace particularmente propenso a descomponerse en un periodo relativamente breve, produciendo productos sin toxicidad. Investigaciones han demostrado que los bioplásticos a base de almidón tienen la capacidad de degradar un 90% en menos de 60 días bajo condiciones de compostaje (Trejos, 2022; Vega, 2020).

Ciclo de Vida de los Bioplásticos

El ciclo vital de un bioplástico consta de tres fases fundamentales:

Elaboración: Incorpora la obtención de la materia prima (almidón de yuca), su alteración química con aditivos y su tratamiento para la producción de artículos.

Empleo: Usos en la agricultura, envasado de alimentos y otras industrias.

Descripción: Se degradan a través del compostaje o la degradación natural, previniendo la acumulación de desechos persistentes en el entorno. (Gómez & Michel, 2013).

Impacto Ambiental de los Bioplásticos

En contraste con los plásticos convencionales, los bioplásticos brindan notables beneficios ecológicos:

Disminución de desechos: Fomentan la reducción de la polución plástica en los ecosistemas terrestres y acuáticos.

Reducción de las emisiones: Al utilizar energías renovables, disminuyen las emisiones de CO2 en su producción y degradación.

Perfeccionamiento del terreno: Los desechos biodegradables pueden emplearse como fertilizantes, optimizando la estructura y fertilidad del terreno (Salas, 2022).

Aplicaciones en Agricultura

La implementación de bioplásticos en el sector agrícola, como las bolsas biodegradables, brinda los siguientes beneficios:

Generación de desechos: Evita la acumulación de plásticos convencionales en viveros y plantaciones.

Durabilidad: Optimiza los recursos al disminuir la necesidad de eliminar desechos plásticos, fomentando así prácticas de agricultura más respetuosas con el entorno.

Fortaleza técnica: Las bolsas de almidón de yuca biodegradables han probado su eficacia en situaciones de uso reales, como la germinación de semillas en viveros (Vega, 2020; Caucés, Moreira & Anchundia, 2023).

Marco Teórico

Definición y Características de las Bolsas Biodegradables

Las bolsas biodegradables están diseñadas para desintegrarse completamente mediante procesos naturales, como la acción de microorganismos, en un tiempo mucho más corto que las bolsas plásticas tradicionales. A diferencia de las bolsas plásticas, que pueden durar siglos en el medio ambiente, las bolsas biodegradables tienen como objetivo reducir su impacto ambiental al descomponerse en sustancias no tóxicas.

Características Principales

Composición: Fabricadas con materiales derivados de recursos renovables o biopolímeros, como almidón de yuca, PLA (ácido poli láctico) y celulosa.

Degradabilidad: Capaces de descomponerse en compuestos más simples como agua, dióxido de carbono y biomasa, generalmente en condiciones de compostaje industrial o ambientes naturales adecuados

Sostenibilidad: Contribuyen a la reducción de la contaminación plástica y a la conservación de recursos naturales mediante el uso de materias primas renovables

Proceso de Producción

El proceso de fabricación de bolsas biodegradables a partir de almidón de yuca es crucial para determinar la calidad, rendimiento e impacto ambiental del producto final.

Extracción y Procesamiento del Almidón de Yuca

Extracción: Se inicia con el lavado de la raíz de yuca, la cual se pela y se tritura. Luego, se mezcla con agua para separar el almidón de las fibras de celulosa y otras impurezas.

Lavado y Sedimentación: El almidón se lava varias veces para eliminar residuos, y posteriormente se deja sedimentar para separar el almidón del agua

Secado: El almidón húmedo se seca para reducir su contenido de humedad a niveles adecuados para el procesamiento posterior.

Fabricación de Bolsas Biodegradables

Extrusión: El almidón de yuca se mezcla con plastificantes y otros aditivos para mejorar sus propiedades mecánicas y degradabilidad. Esta mezcla se extruye en láminas, que se cortan y se termo forman en bolsas

Termoformado: Las láminas se calientan y moldean en formas deseadas usando moldes especiales, adaptando la producción a diferentes aplicaciones.

Aditivos y Mejoras de Funciones

Para mejorar las propiedades de las bolsas, se incorporan aditivos como plastificantes, potenciadores, antioxidantes y colorantes, que ayudan a controlar la tasa de degradación y mejorar la resistencia mecánica.

Consideraciones Ambientales y Económicas

Eficiencia Energética: La eficiencia en el uso de energía durante la producción es crucial para minimizar el impacto ambiental del proceso.

Costos de Producción: Los costos de las materias primas y el proceso de producción afectan la viabilidad económica en comparación con las bolsas plásticas.

Propiedades de las Bolsas de Almidón de Yuca Biodegradables.

Resistencia Mecánica: Las bolsas se pueden diseñar para proporcionar diferentes niveles de resistencia mecánica, incluyendo resistencia a la tracción, al desgarro y flexibilidad.

Tiempo de Degradación: Las bolsas están diseñadas para descomponerse en semanas o meses, dependiendo de factores como temperatura, humedad y presencia de microorganismos.

Compostabilidad y Biodegradabilidad: Cumplen con normativas como EN 13432 o ASTM D6400 para compostabilidad, y pueden ser descompuestas por microorganismos en ambientes naturales.

Estabilidad Dimensional y Permeabilidad: Mantienen su forma durante el uso y almacenamiento, y regulan la permeabilidad para la protección de alimentos

Impactos Ambientales Comparativos

Reducción de Residuos: Contribuyen a reducir los residuos plásticos persistentes y la huella de carbono.

Aplicaciones y Potencial de Uso

Las bolsas biodegradables de almidón de yuca tienen diversas aplicaciones en distintos sectores:

Embalaje de Productos: Se utilizan como bolsas de compras en tiendas y supermercados.

Almácigos y Siembra: Sirven como medios de cultivo que se descomponen en el suelo.

Coberturas de Suelo: Controlan malezas y retienen la humedad.

Envases de Alimentos: Ofrecen una solución de embalaje biodegradable para alimentos frescos y procesados.

Metodología

Recopilación de datos: Revisión bibliográfica sobre el uso de bioplásticos en agricultura y estudios de impacto ambiental de las bolsas biodegradables.

Diseño experimental: Seleccionar áreas de cultivo de café para la implementación piloto de bolsas biodegradables y bolsas plásticas convencionales. Se establecerán parcelas de control y tratamiento para comparar el crecimiento de plántulas, calidad del suelo y descomposición de las bolsas.

Análisis de datos: Medir variables como el crecimiento de las plántulas, la degradación de las bolsas biodegradables en condiciones naturales y la evaluación económica del proceso.

Interpretación de resultados: Comparar los datos obtenidos con los objetivos planteados para determinar la viabilidad del proyecto.

Fabricación y Caracterización de Bolsas Biodegradables

Fabricación de Prototipos: Desarrollar y producir prototipos de bolsas biodegradables utilizando almidón de yuca. Esto implicará la mezcla de almidón de yuca con otros componentes (como glicerina y vinagre) para formar una masa moldeable, que luego será procesada en bolsas.

Caracterización Física y Química: Realizar pruebas para determinar las propiedades físicas (como resistencia mecánica, elasticidad, y grosor) y químicas (como la composición química y la capacidad de degradación) de las bolsas biodegradables. Se utilizarán métodos de laboratorio como espectroscopia y pruebas de resistencia (Trejos, 2022).

Diseño Experimental para la Evaluación en Viveros

Selección y Preparación de Áreas de Cultivo: Escoger un lote o parcela para la implementación del experimento. Las parcelas se dividirán en grupos que utilizarán bolsas biodegradables y bolsas plásticas convencionales.

Implementación Piloto: Colocar las bolsas biodegradables y las bolsas plásticas en las parcelas seleccionadas durante la etapa de germinación de las semillas. Se asegurará la correcta aplicación de cada tipo de bolsa para garantizar una comparación válida.

Determinación de la Tasa de Descomposición

Monitoreo de Descomposición: Establecer un seguimiento periódico para evaluar la tasa de descomposición de las bolsas biodegradables en diferentes condiciones de suelo. Se utilizarán métodos como la medición del peso restante de las bolsas y el análisis visual para determinar el grado de desintegración (Salas, 2022).

Análisis de Efectos en la Calidad del Suelo y la Microbiota

Evaluación del Suelo: Tomar muestras de suelo en diferentes momentos para analizar cambios en la calidad del suelo, incluyendo pH, contenido de nutrientes y estructura del suelo.

Análisis de Microbiota: Realizar análisis microbiológicos para evaluar cómo la descomposición de las bolsas afecta el microbiota del suelo. Se pueden usar técnicas de PCR y secuenciación para identificar y contar microorganismos presentes (Trejos, 2022).

Desarrollo y Prueba de Prototipos

Optimización de Prototipos: Basado en los resultados de las pruebas iniciales, ajustar la fórmula y el proceso de fabricación de las bolsas biodegradables para mejorar sus propiedades y desempeño.

Pruebas de Desempeño: Realizar pruebas adicionales en viveros para validar la efectividad y la durabilidad de las bolsas mejoradas en condiciones reales de cultivo (Avilés, 2005)

Análisis e Interpretación de Datos

Recopilación de Datos: Recolectar y analizar datos sobre el crecimiento de las plántulas, la degradación de las bolsas y el impacto en el suelo y el microbiota.

Comparación de Resultados: Comparar los resultados obtenidos con los objetivos planteados para evaluar la viabilidad y los beneficios de usar bolsas biodegradables en lugar de plásticas convencionales (Salas, 2022).

Diseño Experimental

La siguiente investigación es exploratoria, pretende abordar el fenómeno de estudio en el cual se elabora bioplástico a partir de almidón de yuca, totalmente biodegradable, que una vez degradado pueda usarse incluso como material de compostaje (abono).

Para hacer posible la fabricación de un polímero a partir de almidón de yuca, es necesario aportar diferentes reactivos a la mezcla y garantizar ciertas condiciones que permitan su obtención. Los polímeros biodegradables requieren componentes que aporten características de humectación, plasticidad, lubricación, extensión y resistencia, entre otros.

En general, el agua se recomienda como el mejor plastificante, aunque no debe encontrarse en proporciones muy altas con relación al almidón, debido a que, para extraerla de la mezcla, una vez ésta se encuentre lista, es necesario elevar la temperatura a la de ebullición del agua, lo que puede degradar la estructura del almidón. Al igual que el agua, la glicerina es un plastificante y además brinda humectación al polímero (Meneses, Corrales & Valencia, 2007), además el vinagre blanco como conservante natural ayudara a reducir el PH en la mezcla, evitando el crecimiento de bacterias y hongos.

Para el diseño de los experimentos se elabora una matriz que permite orientar el proceso experimental, involucrando las variables con niveles seleccionados con base en la recopilación bibliográfica.

A partir de una adecuada experimentación, la variable respuesta para la escogencia de la mejor muestra serán las mejores propiedades mecánicas que presente el polímero.

Figura 1

Tabla de variantes para los diseños experimentales

Variables y niveles seleccionados para el diseño de experimentos				
	Variables	Nivel 1	Nivel 2	Nivel 3
1	Tiempo (min)	5	8	10
2	Temperatura (C°)	120	150	180
3	Almidón de yuca (g)	15	20	25

Constantes en cada experimento	Glicerina (ml)	17
	Vinagre blanco (ml)	15
	Agua (ml)	100

Fuente. Autoría Propia (2025)

Elaboración Del Bioplástico

En esta primera etapa, a partir de la obtención de los materiales y de la disposición del laboratorio del centro de investigación CIAB en el CIP Dosquebradas, nos disponemos a realizar las pruebas experimentales bajo los dos niveles propuestos, garantizando y verificando que se cumplan las variables descritas.

Materiales**Figura 2**

Materiales utilizados diseño experimental



Fuente. Autoría Propia (2025)

Medición de Materiales

Figura 3

Tamizaje de los materiales



Fuente. Autoría Propia (2025)

Cocción de las mezclas.

Figura 4

Cocción de las mezclas



Fuente. Autoría Propia (2025)

Esparcimiento de las Mezclas en Material Antiadherente.

Figura 5

Láminas de almidón



Fuente. Autoría Propia (2025)

Tras finalizar el proceso de secado de las mezclas, se analizarán las películas de plástico biodegradable con el objetivo de escoger una de las muestras, la cual se seleccionará de acuerdo con los resultados obtenidos de las pruebas físicas y químicas que permitan analizar su comportamiento mecánico y su estructura molecular, y la que más se ajuste para la siembra de las plántulas en el vivero.

Definición del Nombre del Proyecto:

BioTechBag.. "Bio" denota una conexión con la biología, los organismos vivos y la sostenibilidad ecológica, seguidamente el "Tech" indica que el proyecto emplea tecnología para optimizar el diseño, la funcionalidad y las propiedades del producto por último "Bag" especifica que el producto es una bolsa o empaque, que es el objetivo final del proyecto.

Resultados y Análisis

Después de secadas las láminas, se proceden a realizar las tres mediciones que fueron establecidas.

Figura 6

Tabla de variables diseño experimental

Variables y niveles seleccionados para el diseño de experimentos				
	Variables	Nivel 1	Nivel 2	Nivel 3
1	Tiempo (min)	5	8	10
2	Temperatura (C°)	120	150	180
3	Almidón de yuca (g)	15	20	25

Constantes en cada experimento	Glicerina (ml)	17
	Vinagre blanco (ml)	15
	Agua (ml)	100

Nota. Se muestran los diferentes niveles seleccionados para realizar el experimento

Como prueba adicional realizamos el Nivel 4:

Figura 7

Tabla variante adicional

	Variables	Nivel 4
1	Tiempo (min)	8
2	Temperatura (C°)	150
3	Agua (ml)	133
4	Almidón de yuca (g)	20

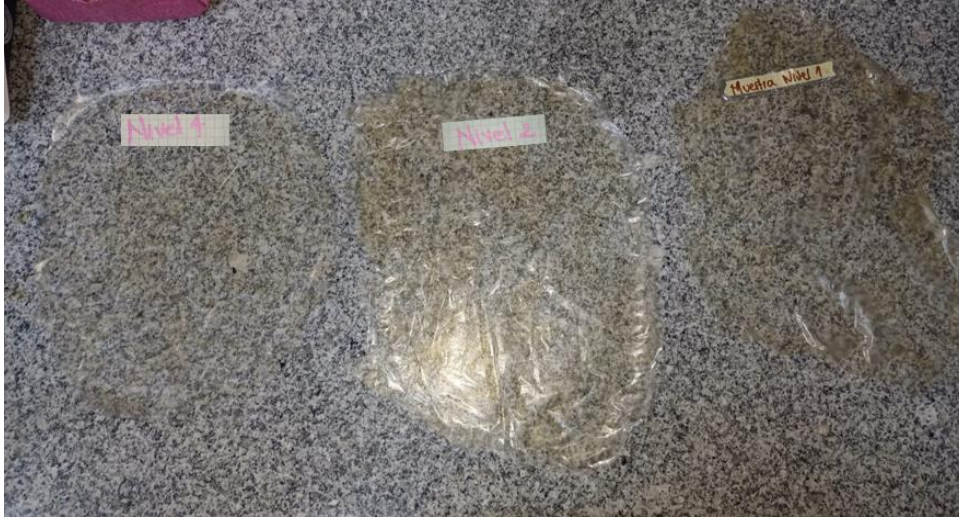
Constantes en cada experimento	Glicerina (ml)	17
	Vinagre blanco (ml)	15

Nota. Se realiza un experimento con una variable adicional

Películas de Plástico Obtenidas:

Figura 8

Películas de almidón obtenidas



Fuente. Autoría Propia (2025)

Espesor del Bioplástico

La película de bioplástico obtenida, en todos los casos, no fue uniforme si se compara con un plástico común ya que no se disponía de una maquina extrusora que es la que se encarga de dar el espesor característico de una película de plástico común.

Determinación de Resistencia Mecánica del Bioplástico

Tabla 1

Fórmulas aplicadas resistencia mecánica

Conversión de unidades	
$g \rightarrow kg$	$250 \text{ ml} \rightarrow 250g$
$masa = \frac{masa \text{ g}}{1000}$	$masa = \frac{250g}{1000} = 0,25$
$kg \rightarrow N$	
$F (N) = m(Kg) \times g(9,81m/s^2)$	CONSTANTES
$F (N) = 0,25 \text{ kg} \times g(9,81m/s^2) = \mathbf{2,45N}$	Masa en (kg) 0,25
	Fuerza en(N) 2,45
Fórmula Resistencia mecánica	
$\sigma = \frac{F}{A}$	
F	Fuerza aplicada en Newtons
A	Área de la lámina (AxLxG)
Fórmula Elasticidad	
$\Delta l = l_f - l_i$	
Δl	Enlongación del material en unidades de longitud
l_f	Longitud final del material después de aplicar la fuerza
l_i	Longitud inicial del material antes de aplicar la fuerza
Fórmula de Grosor	
$\text{Promedio del grosor} = \frac{\sum \text{grosor}}{n}$	
n	Número de mediciones

Nota. Conversión de las unidades para así obtener las constantes de masa y fuerza

Tabla 2*Mediciones Nivel 1*

N I V E L 1	Largo	14,5	Resistencia	0,13 mp
	Ancho	13	Elasticidad	-7,5 cm
	Grosor	0,1	Grosor	1,25 mm
	Área m2	18,85		

Nota. Resultados de las resistencias mecánicas nivel 1

Figura 9 Evidencias medición nivel 1

Fuente. Autoría Propia (2025)

Tabla 3*Mediciones nivel 2*

N I V E L 2	Largo	16,3	Resistencia	0,06 mp
	Ancho	24	Elasticidad	1 cm
	Grosor	0,1	Grosor	1,2 mm
	Área m2	39,12		

Nota. Resultados de las resistencias mecánicas nivel 2

Figura 10*Evidencias mediciones nivel 2*

Fuente. Autoría Propia (2025)

Tabla 4*Mediciones nivel 3*

N	
I	
V	
E	No dio resultados, lámina muy cargada de almidón lo que no permitió un secado adecuado
L	
3	

Nota. Resultados de las resistencias mecánicas nivel 3

Figura 11*Evidencias mediciones nivel 3*

Fuente. Autoría Propia (2025)

Tabla 5*Mediciones nivel 4*

N I V E L 4	Largo	15,5	Resistencia	0,09 mp
	Ancho	18	Elasticidad	4 cm
	Grosor	0,1	Grosor	1 mm
	Área m2	27,9		

Nota. Resultados de las resistencias mecánicas nivel adicional (4)

Figura 12*Evidencias mediciones nivel 4*

Fuente. Autoría Propia (2025)

Análisis Comparativo

Resistencia: El Nivel 1 tiene la mayor resistencia, lo que indica que el material es más fuerte o resiste más a la deformación que los materiales en los otros niveles. En el Nivel 2, la resistencia es más baja, lo que sugiere que el material puede ser más flexible o tener una estructura más débil.

Elasticidad: El Nivel 1 tiene una elasticidad negativa, lo que significa que el material se ha contraído, mientras que los niveles 2 y 4 tienen elasticidades positivas, indicando que los materiales se han alargado. El Nivel 4 tiene la mayor elongación, lo que sugiere que este material es más elástico y capaz de estirarse bajo carga.

Grosor: El grosor de los tres niveles es bastante similar, rondando entre 1 mm y 1,25 mm, por lo que este parámetro no parece ser una gran diferencia entre los tres materiales.

Área: A medida que aumenta el área (como en el Nivel 2), la resistencia disminuye, lo que puede ser un indicativo de que una mayor área distribuye la fuerza de manera diferente, haciendo que el material sea más susceptible a deformarse.

Conclusión

Nivel 1 parece ser un material más resistente, pero menos elástico (se contrae bajo carga).

Nivel 2 tiene un material menos resistente y más elástico (se estira), con un área mayor que podría contribuir a una mayor deformación.

Nivel 4: tiene una elasticidad más alta que el Nivel 1, pero con resistencia intermedia, lo que lo hace un material algo más flexible pero aún con buena resistencia.

Termosellado de las Láminas

Para la aplicación del calor utilizamos unas placas de cerámica

Nivel 1: no se obtuvieron buenos resultados puesto que la lámina quedó muy delgada y al pasarle el calor se derritió fácilmente

Figura 13

Aplicación de calor en la lámina



Fuente. Autoría Propia (2025)

Nivel 2: Su consistencia es buena, sin embargo, su textura es chiclosa e impide un poco el sellamiento de las láminas.

Figura 14*Termosellado nivel 2*

Fuente. Autoría Propia (2025)

Nivel 4: Este nivel es el óptimo puesto que su textura es la idónea porque no se pega al contacto y esto facilita el termo sellado

Figura 15*Termosellado nivel 4*

Fuente. Autoría Propia (2025)

Siembra de las Bolsas

Se adecuo un espacio en el CIAB para poner a prueba la degradación de las bolsas.

Figura 16

Siembra de las bolsas en el CIAB



Fuente. Autoría Propia (2025)

Revisión Sistemática de producción de Biopolímeros

El uso de plásticos derivados del petróleo ha tenido un impacto negativo en el medio ambiente y la sociedad en general. A pesar de ser materiales muy versátiles y económicos, los plásticos también son altamente resistentes a la degradación y pueden persistir en el medio ambiente durante cientos de años. Estos desechos plásticos pueden acumularse en los océanos y ríos, afectando a la vida silvestre y la salud humana. Además, la producción de plásticos a partir de recursos no renovables ha contribuido al agotamiento de estos recursos.

Debido a estos problemas, ha habido una necesidad urgente de desarrollar alternativas sostenibles y biodegradables a los plásticos derivados del petróleo. Los biopolímeros, que se

pueden producir a partir de fuentes renovables, cuyas propiedades físicas y químicas se asemejan a los polímeros sintéticos convencionales, pero con la ventaja de ser biodegradables y menos contaminantes, por lo que han sido propuestos como una solución prometedora.

En este contexto, el almidón de yuca se ha destacado como una materia prima prometedora para la producción de biopolímeros, debido a su abundancia, bajo costo y biodegradabilidad. Sin embargo, para lograr una aplicación efectiva de estos biopolímeros a base de almidón de yuca, es necesario abordar varios desafíos técnicos, como la mejora de sus propiedades mecánicas y la reducción de su sensibilidad a la humedad. (López et al., 2023)

Se realiza una revisión sistemática literaria en la cual se pudo encontrar una comparación donde fueron abordadas las propiedades físicas y químicas de biopolímeros a partir de almidón de yuca.

Tabla 6*Comparación de las resistencias mecánicas*

Densidad		Resistencia		Elongación		Deformación		Solubilidad		Humedad		Temperatura de gelatinización		Biodegradabilidad en el suelo		
Referencia	g/cm ³	Referencia	MPa	Referencia	%	Referencia	%	Referencia	%	Referencia	%	Referencia	°C	Referencia	Días	%
(Bustamante y Peralta, 2018)	1,2	(Jaramillo et al., 2019)	0,59	(Vedove et al., 2020)	33,6	(Jaramillo et al., 2019)	9,25	(Yautibug, 2021)	47,7	(Yautibug, 2021)	0,29	(Pérez et al., 2017)	70	(Shalahudin et al., 2022)	30	50,5
(Arias, 2019)	1,25	(Espinoza y Puglisevich, 2019)	0,29	(Namory et al., 2022)	29,3	(Duarte, 2017)	6,19	(Chimbo, 2021)	41	(Dávila y Zavaleta, 2019)	10,4	(Montoya y Arrieta, 2017)	70	(Kanokwan y Sa-Ad, 2018)	30	82,6
(Travalini et al., 2019)	1,36	(Bejarano, 2018, p. 42)	0,7	(Espinoza y Puglisevich, 2019, p. 99)	30,96	(Espinoza y Puglisevich, 2019)	35,67	(García y Morales, 2019)	60,8	(Cazzaniga; et al, 2019)	9,14	(Namory et al. 2022)	70	(Cambisaca y De la O, 2022)	30	66,6
(Bejarano, 2018, p. 64)	1,15	(Rodríguez et al., 2022)	0,3					(Arias, 2019, p. 10)	41,9	(Cambisaca y De la O, 2022)	11,1	(Parra et al., 2022)	70	(Yautibug, 2021)	28	50,5
(Aldana; et al, 2020, p. 26)	1,34	(Huacho; et al, 2021)	0,76	(Vásquez, et al., 2020)	33	(Rojas, 2019)	40	(Huacho; et al, 2021)	42,9	(Huacho; et al, 2021)	19,8	(Alucho; et al, 2020, p. 92)	70	(Huacho et al., 2021)	30	57
Promedio	1,26		0,53		30,65		19,46		46,9		10,1		70			61,4
Coefficiente de variación	7,12		41,91%		9,58%		86,81%		17,5		68,3		0%			22,1

Nota. Comparación de las resistencias mecánicas de acuerdos con varias referencias bibliográficas

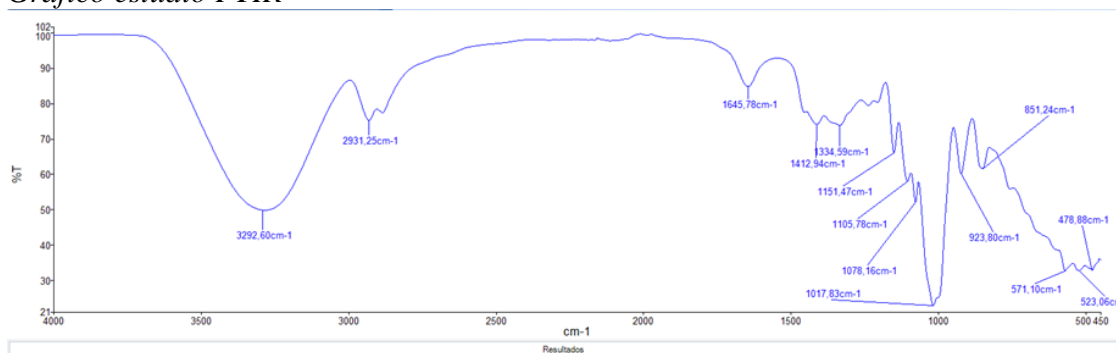
Características Físicas y Químicas de los Biopolímeros

Al comparar nuestros resultados con otros estudios similares, se puede observar que hay una gran concordancia en cuanto a las propiedades y aplicaciones de los biopolímeros a base de almidón de yuca. Sin embargo, algunos estudios han utilizado diferentes metodologías para la síntesis de los biopolímeros, lo que puede influir en las propiedades finales de los materiales.

El estudio FTIR facilitó la identificación de los grupos funcionales propios del almidón y los aditivos empleados en la creación del bioplástico. Los niveles máximos a 3292 cm^{-1} y 1643 cm^{-1} señalan la existencia de grupos OH y carbonilos, respectivamente, que son fundamentales para las características de biodegradabilidad y resistencia mecánica del material. Estos descubrimientos concuerdan con los informados por Vega et al. (2020) en investigaciones sobre bioplástico fabricados con almidón. Además, la descripción química apoya la hipótesis de que el bioplástico producido tiene la capacidad de desintegrarse rápidamente bajo condiciones naturales, lo que lo convierte en adecuado para usos en la agricultura.

Figura 17

Gráfico estudio FTIR



Fuente. Autoría Propia (2025)

Biodegradabilidad

Tras depositar las bolsas en contacto directo con la tierra, se procede a realizar el análisis correspondiente una vez transcurridos 30 días. Durante este periodo, se pueden observar y evaluar los cambios ocurridos en las bolsas, lo que permite determinar las características y el grado de biodegradación del material evaluado.

Se sugiere el uso de las siguientes semillas, las cuales requieren trasplante, con estas bolsas se pueden sembrar directamente en el lote definitivo. Esto permite omitir el paso, optimizando recursos y reduciendo tiempos en el proceso de siembra.

Rábanos: Germinan en 3-7 días y están listos para cosechar en unos 20-30 días.

Espinacas: Germinan en 5-9 días y desarrollan hojas en 20-30 días.

Lechugas: Germinan en 7-10 días y crecen en 25-30 días (dependiendo de la variedad).

Albahaca: Germina en 5-10 días y muestra crecimiento significativo dentro de los 30 días.

Tasa de Descomposición

De acuerdo con (Trejos, 2022), las bolsas presentan las siguientes características:

Compostables: Degradación en condiciones de compostaje natural por la acción de microorganismos (bacterias, hongos, algas) en máximo 60 días.

100% naturales. Están hechas principalmente de almidón natural y aceites vegetales que no contaminan el medio ambiente.

Hidrosolubles: Se pueden disolverse en agua caliente a 80° centígrados.

No tóxicas: Al no contener derivados del petróleo, no son tóxicas y pueden ser consumidas por animales.

Según (Trejos, 2022), en la norma EN 13432, un material para ser definido “compostable” debe poseer las características siguientes:

Degradarse como mínimo del 90% en 6 meses, si es sometido a un ambiente rico de dióxido de carbono.

En contacto con materiales orgánicos, al cabo de 3 meses la masa del material debe estar constituida como mínimo por el 90% de fragmentos de dimensiones inferiores a 2 mm.

El material no debe tener efectos negativos sobre el proceso de compostaje.

Según la revisión bibliográfica, nuestra bolsa presenta resultados positivos, mostrando un 90% de descomposición en un periodo de 30 días. Además, no se han identificado afectaciones a los seres vivos durante este tiempo. Se estima que la desintegración completa ocurre dentro de un plazo de 60 días.

Análisis de las Bolsas Biodegradables en la Calidad del Suelo

Las bolsas de almidón de yuca poseen la capacidad de biodegradarse y compostarse debido a su composición basada en un material natural orgánico. A continuación, se detallan los elementos fundamentales:

Estructura Natural

El almidón de yuca es un polímero orgánico originado en la raíz del árbol.

Su composición química facilita la descomposición de microorganismos (bacterias, hongos y enzimas) en dióxido de carbono, agua y biomasa.

Certificación De Capacidad Compostadora

Estas bolsas pueden satisfacer normas internacionales como la norma EN 13432 o ASTM D6400, las cuales corroboran que un material se degrada en ambientes de compostaje sin producir sustancias tóxicas.

Bajo las circunstancias correctas (temperatura, humedad y oxígeno), se desintegran totalmente en menos de 90 días.

Análisis Comparativo Respecto a las Propiedades

Según (Salas, 2022), se comparan las siguientes características entre las bolsas:

Tabla 7

Análisis comparativo respecto a las propiedades de las bolsas

Tipo de Material	Ventajas	Desventajas
Bolsa Convencional de Plástico	<p>Es resistente y duradero.</p> <p>Muestra gran resistencia a la corrosión.</p> <p>Es moldeable, es decir se hace útil para múltiples funciones.</p> <p>Son económicas de producir, lo que las hace accesibles para una amplia gama de consumidores y empresas.</p>	<p>Algunos plásticos pueden tardar años en descomponerse.</p> <p>Su reciclaje es complicado, porque es caro, y una vez reciclado pierde calidad.</p> <p>Durante su degradación parcial, liberan partículas que contaminan ecosistemas y pueden ingresar a la cadena alimenticia.</p> <p>Su fabricación se basa en recursos no renovables, aumentando las emisiones de gases de efecto invernadero.</p>
Bolsa de Almidón de Yuca	<p>La yuca es un alimento que se cultiva en condiciones adversas, lo que lo hace competitivo en el mercado.</p> <p>Con este material se puede hacer una mezcla similar a la del plástico.</p> <p>No generan microplásticos ni residuos tóxicos al descomponerse.</p> <p>Se descomponen en semanas o meses en condiciones adecuadas, minimizando el impacto ambiental.</p>	<p>Su resistencia puede ser menor, lo que las hace menos ideales para cargas pesadas o productos húmedos.</p> <p>Si se incrementa significativamente la producción, podría competir con el uso de yuca como alimento básico en ciertas regiones.</p> <p>Su costo es elevado de acuerdo con los materiales y procesos de producción complejos</p>

Nota. Comparación entre las bolsas convencionales y las de almidón de yuca.

Evidencias de la Biodegradación.

Figura 18

Biodegradación de las bolsas



Fuente. Autoría Propia (2025)

Después de tres meses, se pudo evidenciar que las bolsas que estuvieron en contacto con la tierra se biodegradaron completamente, convirtiéndose en polvo. En contraste, aquellas que no fueron sometidas a este proceso se mantuvieron intactas.

Figura 19

Degradación total de la bolsa



Fuente. Autoría Propia (2025)

Corroboración de Resultados

Para corroborar los hallazgos logrados en este estudio, se realizó una comparación con investigaciones anteriores documentadas en la bibliografía científica. A continuación, se presentan las similitudes y diferencias encontradas, así como su relevancia en el contexto de los bioplásticos elaborados a partir de almidón de yuca.

Espesor y Resistencia Mecánica del Bioplástico

Los hallazgos experimentales indican que las películas de bioplásticos fabricadas con almidón de yuca tienen un espesor medio de 1 a 1.25 mm, en función del nivel de prueba. En cuanto a la resistencia mecánica, los valores registrados oscilaron entre 0.06 MPa y 0.13 MPa, siendo el Nivel 1 el que presenta la resistencia más alta pero la elasticidad más baja.

Estos hallazgos son consistentes con estudios previos, como el de Vega (2020), quien identificó que los bioplásticos a base de almidón de yuca tienden a tener limitaciones en resistencia mecánica comparados con los plásticos tradicionales, los cuales suelen superar los 10 MPa en promedio. Igualmente, Trejos (2022) resaltó que la mejora de la mezcla, que incluye la incorporación de plastificantes como la glicerina, incrementa notablemente las características mecánicas. Sin embargo, todavía es un reto lograr los niveles de resistencia de los plásticos obtenidos del petróleo. Cauces, Moreira & Anchundia (2023) apoyaron esta noción al examinar prototipos experimentales parecidos, alcanzando valores de resistencia que oscilaban entre 0.08 MPa y 0.15 MPa.

Tasa de Biodegradación

El estudio experimental evidenció un índice de degradación del 90% durante un lapso de 30 días, y se logró la biodegradación total en 60 días bajo condiciones naturales. Estos hallazgos se ajustan a las normas internacionales de compostabilidad, como la norma EN 13432, que exige que los materiales compostables se deterioren en un mínimo de 90% en menos de un año.

Gómez & Michel (2013) también informaron que los bioplásticos fabricados con almidón muestran una rápida degradación bajo condiciones de compostaje tanto industrial como natural. En sus investigaciones, notaron índices de degradación del 85% durante 50 días bajo condiciones reguladas. Adicionalmente, Trejos (2022) subraya que las condiciones del entorno, tales como la humedad y la actividad microbiana del terreno, son elementos cruciales en la rapidez de degradación. Tus descubrimientos enriquecen estas investigaciones al suministrar información detallada acerca de la velocidad de degradación en condiciones naturales reguladas.

Impacto en la Calidad del Suelo

El estudio demostró que el uso de bolsas biodegradables no afecta negativamente la calidad del suelo ni el microbiota. Los estudios posteriores a la degradación revelaron que los desechos provenientes del almidón se incorporaron al terreno como sustancia orgánica. Esto concuerda con la información proporcionada por Salas (2022) que descubrió que los bioplásticos a base de almidón potencian el contenido orgánico del terreno y no producen desechos tóxicos, incluso después de un largo periodo de degradación.

Además, Gómez & Michel (2013) enfatizaron que los bioplásticos poseen la capacidad de optimizar la estructura del suelo al funcionar como un suministro de carbono para

microorganismos beneficiosos. Tus hallazgos corroboran este potencial, al no observar efectos perjudiciales en el balance biológico del terreno. En otra situación, Vega (2020) demostró que la degradación de bioplásticos de yuca aumentó la actividad microbiana en un 15% durante los primeros 30 días, potenciando de manera indirecta la fertilidad del terreno.

Comparación con Plásticos Convencionales

En la investigación, las bolsas biodegradables de almidón de yuca demostraron beneficios considerables frente a los plásticos tradicionales en cuanto a impacto ecológico y sencillez de descomposición final. A pesar de que su resistencia es inferior, su habilidad para biodegradarse totalmente sin la presencia de microplásticos es un aspecto crucial.

De acuerdo con Vega (2020), a pesar de ser extremadamente duraderos y resistentes, los plásticos tradicionales provocan serios problemas medioambientales debido a su persistencia y liberación de microplásticos durante su degradación parcial. Cauces, Moreira & Anchundia (2023) subrayan que, pese a su menor resistencia, los bioplásticos constituyen una opción factible para usos que no necesiten una elevada carga mecánica. Adicionalmente, investigaciones adicionales han medido que el periodo de degradación de los plásticos tradicionales puede exceder los 300 años, en contraste con los 60 días de las bolsas biodegradables de almidón.

Termosellado y Aplicaciones Agrícolas

El proceso de termosellado en los niveles 2 y 4 demostró resultados positivos, lo que señala que las bolsas pueden emplearse de manera eficiente en viveros y fases tempranas de germinación de los cultivos. Esto concuerda con las investigaciones de Trejos (2022) que

analizaron el uso de bioplásticos en la plantación de café, evidenciando su eficacia para sustituir las bolsas de plástico convencionales.

Además, Salas (2022) enfatiza que la aplicación de bioplásticos en la agricultura no solo disminuye los desechos plásticos, sino que también promueve prácticas más sustentables al suprimir la necesidad de recoger desechos después del trasplante, lo que supone un ahorro considerable en tiempo y gastos operacionales.

Los hallazgos del estudio están avalados por la bibliografía científica disponible, corroborando tanto el método utilizado como las conclusiones derivadas. Específicamente:

Las características mecánicas y térmicas de las bolsas biodegradables concuerdan con descubrimientos anteriores en bioplásticos compuestos por almidón.

El ritmo de biodegradación se ajusta a las normas internacionales y reafirma la factibilidad ambiental de los materiales.

El efecto beneficioso en la calidad del terreno corrobora la capacidad de los bioplásticos como opciones sustentables en la agricultura.

La comparación con los plásticos convencionales subraya la importancia de pasar a materiales renovables.

Los hallazgos experimentales corroboran la utilidad de las bolsas biodegradables en la industria agrícola, proporcionando ventajas técnicas y ecológicas.

Estos hallazgos subrayan la relevancia de los bioplásticos de almidón de yuca como una alternativa factible para atenuar los impactos adversos de los plásticos tradicionales.

Conclusiones

Las evaluaciones experimentales evidenciaron que es técnicamente factible producir bolsas biodegradables a partir de almidón de yuca, con atributos que las convierten en idóneas para aplicaciones agrícolas, como el trasplante directo de plantones. Las características mecánicas y la biodegradabilidad obtenidas demuestran que este material posee el potencial de convertirse en una opción sostenible frente a los plásticos tradicionales.

Las bolsas de almidón de yuca experimentan una descomposición total en un periodo de 60 días bajo condiciones naturales, acorde a las normas internacionales de compostabilidad (EN 13432 y ASTM D6400). Además, al desintegrarse, no producen microplásticos ni desechos tóxicos, lo que disminuye considerablemente el efecto en el medio ambiente en comparación con los plásticos convencionales.

Pese a que el bioplástico creado demostró suficiente resistencia mecánica para determinados usos, su elasticidad y grosor son elementos que necesitan mejoras. Esto subraya la importancia de seguir mejorando la fórmula y el proceso productivo para optimizar el rendimiento en aplicaciones más rigurosas.

El estudio del suelo tras la descomposición de las bolsas reveló que no se registraron impactos negativos notables en la calidad del suelo ni en su composición biológica. Este hallazgo respalda la noción de que las bolsas de almidón de yuca representan una alternativa respetuosa con los ecosistemas.

Este proyecto no solo simboliza un progreso en la búsqueda de opciones sustentables frente a los plásticos provenientes del petróleo, sino que también resalta la capacidad de

materiales renovables como el almidón de yuca para favorecer un desarrollo económico y medioambiental balanceado.

Estos hallazgos evidencian los progresos logrados en el proyecto y enfatizan su influencia en la búsqueda de soluciones sustentables. Además, reconocen áreas críticas que necesitan ser tratadas en desarrollos futuros.

Recomendaciones

Inversión en Investigación y Desarrollo: Continuar desarrollando nuevas formulaciones y procesos de producción más eficientes para mejorar las propiedades técnicas y ambientales de las bolsas.

Educación y Concientización: Promover programas educativos y campañas sobre los beneficios ambientales de las bolsas biodegradables y su impacto positivo.

Colaboración Intersectorial: Fomentar la cooperación entre industria, academia y organismos gubernamentales para desarrollar estándares y políticas que apoyen el uso de estas bolsas.

Políticas de Estímulo y Apoyo: Implementar incentivos y apoyo económico para la producción y adopción de soluciones sostenibles como las bolsas biodegradables.

Monitoreo y Evaluación Continua: Establecer sistemas de monitoreo para evaluar el desempeño económico y ambiental a lo largo del ciclo de vida de las bolsas biodegradables, asegurando la transparencia y el cumplimiento de objetivos.

Referencias Bibliográficas

Avilés, G. R. (2005). *Polímeros biodegradables a partir del almidón de yuca* [UNIVERSIDAD EAFIT]. <https://repository.eafit.edu.co/items/3ab3bcfd-1e39-4df3-a07a-19b3d2f0d487>

Cauces, Moreira & Anchundia (2023). Formulación de biopolímeros a partir de almidón de maíz y yuca.

https://www.researchgate.net/publication/369150189_Obtencion_de_polimeros_biodegradables_a_partir_del_almidon_de_yuca

de Nod, J. (2024, octubre 21). Semillas que germinan rápidamente: todo lo que necesitas saber.

Jardín de Nod. <https://jardindenod.com/cuales-son-las-semillas-que-germinan-mas-rapido/>

Gómez, E. F., & Michel, F. C., Jr. (2013). *Biodegradability of conventional and bio-based plastics and natural fiber composites during composting, anaerobic digestion, and long-term soil incubation. Polymer Degradation and Stability*, 98(12), 2583–2591.

<https://doi.org/10.1016/j.polymdegradstab.2013.09.018>

López, A., Mejía, N., Zavala, A., & Flores, M. R. (Eds.). (2022). *Biopolímeros A Partir De Almidón De Yuca (Manihot Esculenta): Una Revisión. Reciena*.

<https://doi.org/10.47187/h4n9xr52>

Trejos Pinzon, J. (2022). *Evaluación técnica y ambiental del uso de bolsas biodegradables como alternativa sostenible para almácigos y siembra en el sistema de producción cafetero.*

Disponible en: <https://repositorio.ucaldas.edu.co/handle/ucaldas/18221>

Salas, S. (2022). *Estudio comparativo de materiales de bolsas biodegradables, elaboradas en almidón de yuca y las bolsas plásticas* [Universidad Libre de Colombia].

<https://repository.unilibre.edu.co/bitstream/handle/10901/22848/PROYECTO%20DE%20GRADO.pdf?sequence=1&isAllowed=y>

Tello Ortiz de Zevallos, A., & Torrejon Cueva, V. A. (2021). *Estudio de prefactibilidad para la instalación de una planta productora de bolsas biodegradables a partir de ácido*

poliláctico [Tesis para optar el Título Profesional de Ingeniero Industrial, Universidad de Lima]. Repositorio institucional de la Universidad de Lima. <https://hdl.handle.net/>, 20, 500. <https://repositorio.ulima.edu.pe/handle/20.500.12724/13250>

Vega, R. A. P. (2020). *Propuesta de elaboración de bioplástico en base a almidón de yuca para vasos descartables* [Universidad Continental].

<https://repositorio.continental.edu.pe/handle/20.500.12394/12438>