

**ESTUDIO DE LA PRODUCCIÓN DE UN BIOPLASTICO A PARTIR DE
ALMIDON DE YUCA**

UNIVERSIDAD EAN

Angy Yomith Fajardo Varón

Ingeniería Química, estudiante, facultad de ingeniería, Bogotá, Colombia,

afajard64348@universidadean.edu.co

Docente

José Divitt Veloza García

Proyecto de integración

Facultad de ingeniería química

Bogotá D.C, 2023

| | |
|---|----|
| RESUMEN EJECUTIVO | 5 |
| INTRODUCCIÓN | 5 |
| OBJETIVO GENERAL | 7 |
| Objetivos Específicos | 7 |
| DEFINICIÓN DEL PROBLEMA | 8 |
| JUSTIFICACIÓN | 9 |
| ANÁLISIS DE REQUERIMIENTOS | 10 |
| MARCO DE REFERENCIA | 11 |
| <input type="checkbox"/> Bioplásticos procedentes de recursos renovables | 11 |
| <input type="checkbox"/> Bioplásticos sintetizados por vía biotecnológica:..... | 11 |
| <input type="checkbox"/> Polímeros biodegradables sintéticos:..... | 11 |
| <i>Gelatinización</i> :..... | 17 |
| <i>Gelificación</i> | 17 |
| <i>Retrogradación</i> :..... | 17 |
| Modificación física | 17 |
| Modificación enzimática | 18 |
| Modificación química | 18 |
| Acetilación del almidón | 19 |
| ANÁLISIS DE RESTRICCIONES | 21 |
| Fuentes de almidón | 21 |

| | |
|---|----|
| Consumo de agua, recursos naturales, así como energía: | 21 |
| Biodegradabilidad y compatibilidad con los sistemas de reciclaje existentes | 22 |
| Regulaciones estándares: | 22 |
| METODOLOGIA PARA LA SELECCIÓN Y DESARROLLO DE LA SOLUCIÓN | 22 |
| Selección de materia prima. | 23 |
| Modificación del almidón | 23 |
| Mezcla con otros polímeros | 24 |
| Pruebas de calidad y ensayos de caracterización del almidón | 25 |
| Verificación de biodegradabilidad | 26 |
| Resultados | 26 |
| Análisis del bioplástico con almidón de yuca para la fabricación de envases y utensilios desechables | 27 |
| ANALISIS AMBIENTAL | 28 |
| ANALISIS DE COSTO | 29 |
| Figura 9 | 29 |
| Figura 10 | 29 |
| Figura 11 | 30 |
| Figura 12 | 30 |
| PLAN DE IMPLEMENTACIÓN | 30 |

CONCLUSIONES31

REFERENCIAS33

RESUMEN EJECUTIVO

Este trabajo de grado busca encontrar una alternativa para los plásticos de un solo uso que no afecten el medio ambiente y logren el propósito de biodegradación que ayude al crecimiento económico y sobre todo que sustituyan los plásticos a base de petróleo. Se tendrán en cuenta las normas ASTM D638 y EN 13432:2000 en las que se evaluaron la caracterización del polímero y la biodegradabilidad del polímero.

La metodología utilizada para la producción del biopolímero, a base de almidón de yuca modificado por medio de acilación, para obtener mejores características fisicoquímicas se detalla como la selección de materia prima, modificación del almidón, y posteriormente se mezcla con otros polímeros y finalizando se realizan las pruebas de calidad y de biodegradabilidad del biopolímero para determinar la biocompatibilidad del desecho con el medio ambiente.

INTRODUCCIÓN

Los bioplásticos son compuestos de alto peso molecular elaborados a partir de fuentes naturales, como cultivos de poliésteres microbianos, almidón, celulosa, entre otros. El almidón ha sido una de las principales materias primas consideradas para la elaboración de bioplásticos debido a su alta disponibilidad, bajo costo, carácter renovable, biodegradabilidad y competitividad económica en relación con el petróleo. Por ejemplo, en una investigación se demostró que el bioplástico a base de almidón de maíz puede competir con los plásticos hechos con petróleo debido a sus características cualitativas y físicas apropiadas, ya un tiempo corto de degradación de aproximadamente 90 días. (mays, 2019)

Además, se ha verificado que el almidón es un componente de gran importancia para la elaboración del bioplástico, ya que afecta la consistencia, elasticidad y estabilidad de este biopolímero. (Malajovich, 2014)

La obtención de bioplásticos a partir del almidón de yuca es una propuesta innovadora para minimizar el uso de plásticos convencionales y contribuir a la sostenibilidad ambiental. Los bioplásticos son un tipo de material que se degrada en la naturaleza y pueden ser elaborados a partir de fuentes naturales, como el almidón de yuca, que es una materia prima muy prometedora debido a su disponibilidad, bajo costo, carácter renovable y biodegradabilidad. (Moreira & Anchundia, 2023) Algunos aspectos clave de la obtención de bioplásticos a partir del almidón de yuca incluyen:

Proceso de obtención: La elaboración de bioplástico a partir de almidón de yuca implica un proceso que va desde la cosecha de la raíz, pasando por su lavado y pelado, la etapa de molido y extracción del almidón por colado, hasta la sedimentación y purificación de la base obtenida. (Vega, 2020)

Propiedades del bioplástico: Los biopolímeros de almidón de yuca obtenidos son similares a los plásticos convencionales en resistencia y estabilidad, y también son efectivos para ser usados como envolturas para la conservación de alimentos. (Moreira & Anchundia, 2023)

Biodegradabilidad: Los bioplásticos a base de almidón de yuca son biodegradables, lo que significa que regresan a la naturaleza en un tiempo razonable, contribuyendo a reducir la contaminación plástica y promoviendo un uso más sostenible de los recursos naturales. (mays, 2019)

Aplicaciones: Los bioplásticos a partir de almidón de yuca pueden ser utilizados en diversos sectores, como la fabricación de envolturas para alimentos, productos textiles y otros materiales industriales. (Moreira & Anchundia, 2023)

A pesar de los beneficios y potencial de los bioplásticos a partir del almidón de yuca, también existen desafíos, como la baja resistencia mecánica y térmica de los polímeros, lo que puede limitar su uso en ciertos sectores industriales. (Moreira & Anchundia, 2023) Sin embargo, la investigación y desarrollo en este campo siguen adelante, y se espera que avances tecnológicos futuros puedan superar estos desafíos y promover la adopción más amplia de este tipo de materiales en diversas aplicaciones.

OBJETIVO GENERAL

Estudiar la producción de un bioplástico en la industria colombiana a partir de un bioplástico de almidón de Yuca en la fabricación de envases y utensilios desechables.

Objetivos Específicos

- Establecer proceso y desarrollo de la producción de un bioplástico.
- Caracterización del almidón de yuca para el proceso del bioplástico.
- Bioplástico con almidón de yuca para la fabricación de envases y utensilios desechables.
- Estudio financiero e impacto ambiental de la producción industrial del bioplástico con almidón de yuca.

DEFINICIÓN DEL PROBLEMA

En el mundo hoy en día se produce más plástico que lo que se producía hace una década y esto se debe a la alta demanda de este. Según PEMRG en el 2019 se producían alrededor de 368 millones de toneladas de plásticos en el mundo. (PlasticsEurope, 2021) y se generan más de 200 millones de toneladas de desechos plásticos. (WWF, 2022) Lo preocupante de estas cifras es que estos plásticos son generados a partir de combustibles fósiles no renovables por lo tanto son materiales que tardan millones de años en degradarse causando un gran impacto negativo a nivel social y ambiental.

De los 200 millones de desechos que se están produciendo 11 millones ingresan al océano dañando el ecosistema marino ya sea como desechos grandes que llegan hasta esta instancia por el mal manejo de los residuos sólidos o por la degradación del plástico que nunca se degradan en su totalidad, sino que se convierte en microplásticos. Un problema mayor ya que al ser tan pequeña la partícula (5 micromilímetros o menos) del plástico se transforma en una contaminación de aire, fuentes hídricas, suelo, alimentos. Causando así problemas a la población y el deterioro del medio ambiente. (WWF, 2022)

A nivel nacional y según el ministerio de ambiente y desarrollo sostenible señala en el 2020 que es la cifra más actualizada se disponían de 32580 toneladas/día de desechos sólidos con un aumento del 0.89% respecto al año anterior en las ciudades principales y aunque ha habido un incremento considerable en el reciclaje con la separación en la fuente se debe seguir buscando alternativas para que 100 % de los plásticos de un solo uso sean degradables, reutilizables y reciclables. (Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible, 2022)

En marco de esta problemática a lo largo de los últimos años se han venido buscando alternativas para generar productos que replacen estos plásticos a base de combustibles fósiles y

difíciles de eliminar del ambiente. Como alternativa se busca generar un bioplástico a base de compuestos orgánicos que cumplan la misma función, con menor impacto ambiental en su producción y que sea biodegradable.

Esta problemática requiere de la intervención y participación de todos los implicados, es decir, las autoridades gubernamentales, empresas, la academia y la población en general. Ya que es necesario fomentar esta clase de proyectos que ayudan a la protección del medio ambiente y generar desarrollo sustentable de la sociedad.

JUSTIFICACIÓN

Según European Plastics en el 2027 se estarían produciendo 6.3 millones de toneladas de bioplásticos al igual que abra mayor diversidad de sus aplicaciones ya que actualmente su utilización es principalmente para embalaje y envases. (European Bioplastics e.V. Logo, 2022) por este motivo se busca alternativas que puedan generar bioplásticos sustentables.

No solo hay que mirar los bioplásticos dentro del contexto del cambio climático, sino más bien en un contexto general de un crecimiento y demanda de la sociedad afirma el director general de European bioplastics. (profesional, Residuos, 2022) Por lo tanto, el desafío y responsabilidad gubernamental y de la academia es encontrar alternativas que a la producción a nivel industrial no altere el ecosistema y genere daños al medio ambiente a largo plazo. Esto implica el estudio de la materia prima desde su producción hasta la desintegración y biocompatibilidad del bioplástico con el medio ambiente.

La producción del bioplástico a base de almidón de yuca busca satisfacer la necesidad de sustituir los Petroplásticos y generar una balance medio-sociedad. El proyecto se enmarcará en un contexto ambiental, económico y dentro de los parámetros legales entre otros buscando

minimizar el impacto negativo al medio ambiente de los plásticos utilizados por la sociedad colombiana.

ANALISIS DE REQUERIMIENTOS

El bioplástico a base de almidón de yuca tiene como intención la sustitución del plástico a base de derivados del petróleo. Esto debido a su alta contaminación en la producción del este y su largo tiempo de degradación, con este proyecto se busca reducir el impacto ambiental en la producción del bioplástico y que su degradación sea más rápida y biocompatible.

Este bioplástico deberá contar con los requisitos para poder ser considerado como plástico por lo tanto se tendrá en cuenta la norma ASTM D638 donde se medirá las propiedades de tracción del plástico. (ASTM, 2022)

- Tensión de tracción
- Deformación
- Modulo de tracción
- Punto de fluencia
- Punto de rotura
- Coeficiente de Poisson

Se tendrá en cuenta la Norma Europea EN 13432:2000 por la cual se medirá los requisitos de compostaje y biodegradación del bioplástico a partir de las características. (UNE, 2001)

- Biodegradabilidad
- Desintegración durante el tratamiento biológico
- Efecto sobre el tratamiento biológico

- Efecto sobre la calidad del compost obtenido.

Esto conlleva a tener un bioplástico estable amigable con el medio ambiente y que cumpla con los requisitos legales para su producción y comercialización y que se adapte a las necesidades que se precisa para la sustitución de los plásticos a base de petróleo o bioplásticos no biodegradables.

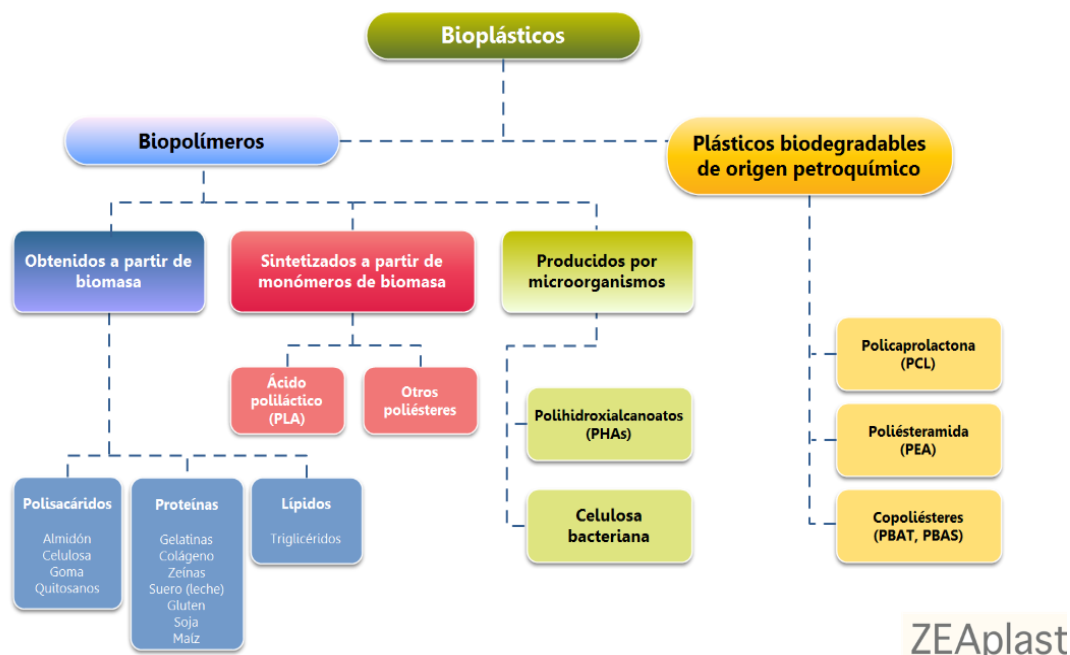
MARCO DE REFERENCIA

Los bioplásticos en la actualidad son de interés de varias industrias por su aplicación ya que busca sustituir los materiales de compuestos fósiles por otros procedentes de fuentes renovables y sostenibles y estos se pueden clasificar como. (REMAR, 2011)

- Bioplásticos procedentes de recursos renovables: en esta categoría entran los procedentes de biomasa (almidón y celulosa) como también los producidos con monómeros realizados bajo fermentación de recursos renovables. (REMAR, 2011)
- Bioplásticos sintetizados por vía biotecnológica: hay de dos tipos la obtención biotecnológica de los monómeros y polimerización posterior por vía química. Y la otra es la síntesis integral de los bioplásticos mediante procedimientos biotecnológicos como la fermentación microbiana. (REMAR, 2011)
- Polímeros biodegradables sintéticos: Estos proceden de la polimerización de monómeros obtenidos de fuentes fósiles. (REMAR, 2011)

Figura 1.

clasificación de los bioplásticos según su procedencia.



Nota: clasificación de los bioplásticos tanto los generados por recursos renovables como los de origen petroquímico. Tomado de (ZEAplast, 2012)

En la figura 2 encontraremos los bioplásticos procedentes de biopolímeros total o parcialmente de fuentes renovables los cuales especifican los siete grupos principales de bioplásticos que se incluyen en la clasificación anterior bioplásticos procedentes de recursos renovables y los bioplásticos sintetizados por vía biotecnológica. Teniendo en cuenta que este proyecto se desarrolla con un bioplástico obtenido de un biopolímero que se obtuvo de la biomasa de un polisacárido del almidón de yuca en consideración que en Colombia se producen estos dos ingredientes a lo largo de todo el año.

Figura 2:*Tipo de bioplásticos de fuentes renovables*

| Nº | Tipo de bioplástico | Tipo de polímero | Estructura o método de obtención |
|----|--|---|--|
| 1 | Polímero basado en almidón | Polisacáridos Grupo 1 | Obtenidos por modificación de polímero natural |
| 2 | Ácido Poliláctico (PLA) | Poliéster Grupo 1 | Se obtiene por polimerización química del monómero de ácido láctico (LA) |
| 3 | Poliésteres obtenidos a partir de otros precursores: Politrimetilen Tereftalato (PTT) Polibutilen Tereftalato (PBT) Polibutilen succinato (PBS) | Poliéster Grupo 1 ó Grupo 3 si se parte de recursos petroquímicos | 1,3 propanodiol obtenido por fermentación + ácido Tereftálico (origen petroquímico) 1,4 butanodiol obtenido por fermentación + ácido Tereftálico (origen petroquímico) Ácido Succínico obtenido por fermentación + ácido Tereftálico (origen petroquímico) |
| 4 | Polihidroxicanoatos (PHA): PHB, PHV y copolímeros | Poliéster Grupo 2 | Polímero obtenido directamente por fermentación o cosechas genéticamente modificadas |
| 5 | Poliuretanos (PURs) | Poliuretano Grupo 2 | Poliol obtenido por fermentación o modificación química de aceites naturales + isocianato petroquímico |
| 6 | Nylon 6 Nylon 66 Nylon 69 | Poliamidas Grupo 1 | Caprolactama obtenida por fermentación Ácido adipídico obtenido por fermentación Monómero obtenido por transformación química del ácido oleico |
| 7 | Polímeros de celulosa | Polisacáridos Grupo 1 /Grupo 2 | Modificación polímero natural, o vía fermentación bacterial |

Nota: También existen en el mercado otros polímeros con menor presencia en el mercado como lo son polisacáridos como lignina, quitosano o hemicelulosa, proteínas de origen animal y vegetal y los triglicéridos. Tomada de (red remar, 2011, pág. 8)

El almidón es una de las materias primas más consideradas para la generación de los bioplásticos por su bajo costo, biodegradabilidad a diferencia de los plásticos derivados del petróleo. El almidón es un polisacárido que posee una estructura semicristalina compleja, organizada y compuesta de polímeros de glucosa (amilosa y amilopectina). El cual se puede

utilizar como matriz polimérica en forma de almidón termoplástico y como nanocarga en forma de nanocristales. (Avellán, Díaz, Mendoza, Zambrano, & Riera, 2020)

La mayoría de los almidones poseen 20 % aproximadamente de amilosa y el 80% de la amilopectina, las propiedades comerciales significativas del almidón dependen de la relación de amilosa (estructura lineal) y amilopectina (estructura ramificada) por lo tanto depende de la clase de planta, la distribución de del peso molecular, del grado de ramificación y del proceso de integración del polímero. (AVILÉS, 2005)

La organización intramolecular entre amilosa y amilopectina con enlaces hidrógeno entre los grupos alcohólicos, directamente o a través de moléculas de agua, conduce a la formación de zonas cristalinas (capas densas con un alto número de ramificaciones) y amorfas [(capas menos organizadas ricas en puntos de enlaces α -D-(1 \rightarrow 6)]. Esto da al almidón una estructura semicristalina, con propiedades específicas como la presencia de un cruce en el gránulo ante una observación con luz polarizada y la difracción de los rayos X con tres tipos de espectro que permiten diferenciar los almidones de cereales, raíces y tubérculos. Sin embargo, en esta clasificación hay algunas excepciones como la yuca que presenta un espectro similar al de los cereales. (Aristizábal & Sanchez, 2007)

En la figura 3 se observan las propiedades de los componentes del almidón de yuca y su estructura y la cantidad relativa de ambos componentes lo cual es importante para determinar sus propiedades fisicoquímicas.

Figura 3

Propiedades de los componentes del almidón de yuca.

| Propiedad | Amilosa | Amilopectina |
|---------------------------------------|------------------------------|-------------------------------|
| Estructura | Lineal | Ramificada |
| Longitud promedio de la cadena | Aprox. 1 000 | 20-25 |
| Peso molecular | 40 000 hasta 10 ⁶ | 200 000 hasta 10 ⁹ |
| Grado de polimerización | Aprox. 1 000 | 10 000–100 000 |
| En solución | Hélice extendida o enrollada | Esfera irregular |
| Estabilidad en soluciones acuosas | Retrógrada | Estable |
| Acomplejamiento | Con facilidad | Con dificultad |
| Retrogradación | Rápida | Muy lenta |
| Gel | Firme e irreversible | Suave y reversible |
| Formación de complejos | Favorable | Desfavorable |
| Patrón de rayos X | Cristalino | Amorfo |
| Digestibilidad de la β -amilasa | Casi completa | Cerca de 60 % |
| Reacción con yodo | 19-20 % | 5-9 % |
| Color con la solución de yodo | Azul profundo | Violeta |
| Longitud de onda máxima (nm) | Aprox. 660 | 530-550 |

Nota: Entre las propiedades mas importantes tenemos la composición proximal, características del granulo, el peso molecular y el contenido de amilosa. Tomada de: (Aristizábal & Sanchez, 2007)

Los gránulos del almidón de yuca contienen un pequeño porcentaje de lípidos comparado con los otros almidones lo cual favorecen la formación de un complejo de amilosa, esto reprime el hinchamiento y la solubilización de los gránulos del almidón. (Aristizábal & Sanchez, 2007)

Los gránulos del almidón de yuca no son uniformes en tamaño y forma son redondos con terminales truncadas, su núcleo y su tamaño varían entre 4-35 μ m con un promedio de 20 μ m y los patrones de difracción a los rayos X de los gránulos del almidón de yuca son de tipo intermedio (tipo C) y finalizando la cristalinidad del granulo se estima principalmente por la amilopectina. (Aristizábal & Sanchez, 2007)

Para determinar el potencial del almidón de yuca se debe tener en cuenta las propiedades funcionales del almidón estos están influidos por los factores genéticos, edad de la planta, época de la cosecha, fertilidad del suelo y la precipitación entre otras. Las características funcionales son: Solubilidad, capacidad de retención de líquido, poder de hinchamiento, tendencia a retrogradar, propiedades de la pasta (viscosidad, consistencia, estabilidad del gel, claridad y resistencia al corte, formación de película), digestibilidad enzimática y capacidad de emulsificación. (Aristizábal & Sanchez, 2007)

Figura 4

Caracterización de los gránulos de diferentes almidones.

| Almidón | Tipo | Morfología | Diámetro (µm) | Contenido de amilosa (%) | Temperatura de gelatinización (°C) | Temperatura de gelificación (°C) | Propiedades de cocción |
|-------------|-----------|--------------------|---------------|--------------------------|------------------------------------|----------------------------------|---|
| Maíz | Cereal | Redondo poligonal | 5-30 | 25 | 62-72 | 80 | Gel opaco |
| Maíz ceroso | Cereal | Redondo poligonal | 5-30 | <1 | 63-72 | 74 | Claro cohesivo |
| Yuca | Raíz | Ovalado truncado | 4-35 | 17 | 62-73 | 63 | Claro cohesivo tendencia a gelificar |
| Papa | Tubérculo | Ovalado esférico | 5-100 | 20 | 59-68 | 64 | Claro cohesivo tendencia a gelificar |
| Trigo | Cereal | Redondo lenticular | 1-45 | 25 | 58-64 | 77 | Gel opaco |
| Arroz | Cereal | Esférico poligonal | 3-8 | 19 | 68-78 | 81 | Gel opaco |
| Sago | Tronco | Ovalado truncado | 15-65 | 26 | 69-74 | 74 | Gel opaco |

Nota: Esta caracterización esta estandarizada sin embargo hay que tener en cuenta las propiedades funcionales en la cual se desarrolló la planta. Tomada de: (Aristizábal & Sanchez, 2007)

Durante el tratamiento hidrotérmico el almidón sufre esencialmente tres modificaciones: gelatinización, gelificación y retrogradación, los cuales causan hinchamiento, hidratación, fusión y ruptura de los gránulos de almidón. (Aristizábal & Sanchez, 2007)

Gelatinización: Se define como la pérdida de semicristalinidad de los granos de almidón en presencia de calor y altas cantidades de agua con muy poca o ninguna despolimerización. (AVILÉS, 2005)

Gelificación: las moléculas de almidón se vuelven menos solubles y tienden a agregarse. (Aristizábal & Sanchez, 2007)

Retrogradación: es la cristalización de las cadenas de los polímeros que son agregados en el gel, cuando las pastas de los almidones son enfriadas y ocurre en tres estados: a) dilatación de las cadenas debido al rompimiento de los enlaces intermoleculares que mantienen la configuración helicoidal, b) pérdida del límite de agua seguido de una reorientación de las moléculas y, finalmente c) una formación de enlaces de hidrogeno entre moléculas adyacentes formando una estructura cristalina. (TORRES, 2015)

Modificación del almidón nativo se realiza ya que la aplicación del almidón es baja ya que presenta una alta fragilidad, deterioro a condiciones ambientales, la baja procesabilidad por su alto nivel de viscosidad y la incompatibilidad con algunos solventes y polímeros, por lo tanto, se ha establecido modificaciones las cuales son física, enzimática, combinación de física y enzimática, química, acetilación del almidón (CARDONA, 2019)

Modificación física

tiende a alterar la estructura del granulo el almidón y el tamaño físico o también incrementar la solubilidad del almidón en agua a temperatura ambiente. Entre los métodos para

modificación física encontramos la pregelatinización, hidrólisis parcial, método de baja humedad, recocado y extracción térmica, radiación y ultrasonido. (CARDONA, 2019)

Modificación enzimática

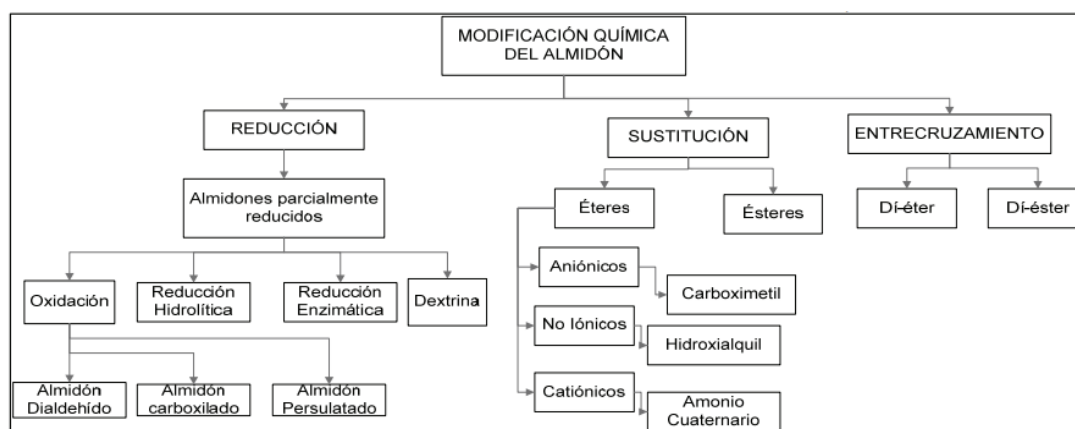
Para esta modificación se realiza a partir de enzimas y microorganismos con el fin de forzar una hidrólisis del almidón produciendo dextrinas y glucosas. (CARDONA, 2019)

Modificación química

Como se muestra en la figura 5 la modificación química se produce con la interacción con los grupos hidroxilo del polímero del almidón. Y se mide por el número promedio de sustituciones por unidad de anhidra glucosa en el almidón teniendo en cuenta que en cada unidad de glucosa hay disponibles tres grupos hidroxilos. (CARDONA, 2019)

En la modificación del almidón se han estudiado varios procedimientos: usando un reactor con métodos convencionales de calentamiento y presión; activando el almidón y modificando con ácido orgánico; otros, mediante la reacción reactiva con una extrusora mohosillo o doblehusillo; y algunos, usando como método de calentamiento el microondas. (Contreras & Algecira, 2008)

Figura 5: *Modificación química del almidón*



Tomada de (Contreras & Algecira, 2008)

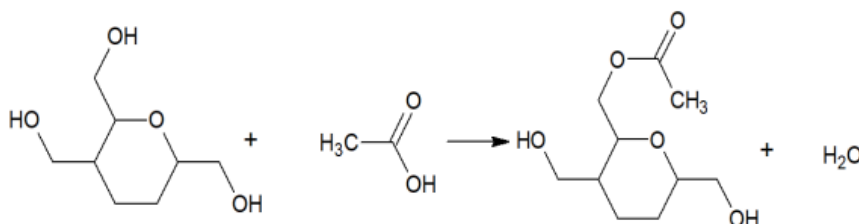
Acetilación del almidón

La modificación de almidón por acetilación se obtiene por el proceso de entrecruzamiento Di-éster, o esterificación con grupos acilos, incorporando grupos acetilos en la molécula de almidón, el éxito del proceso depende de la fuente de almidón, la concentración del reactivo, el tiempo de reacción, relación amilosa/amilopectina, pH y la presencia de algún tipo de catalizador. (CARDONA, 2019)

La acetilación del almidón es una reacción de un solo paso como se muestra en la figura 6, es decir que depende de la concentración del reactivo se determinara un grado de sustitución presentando así un alto grado de hinchamiento, mejor solubilidad en agua y baja temperatura de gelatinización. (CARDONA, 2019)

Figura 6

Reacción de acetilación del almidón



Tomada de (CARDONA, 2019)

Una alternativa para disminuir la degradación en el producto es la utilización de catalizadores básicos (Piridina, $\text{Sn}(\text{Oct})_2$, DMAP) y biocatalizadores, aunque estos últimos demandan un mayor control de la reacción (medio de reacción, pH, agua presente, temperatura entre otras) además que sus tiempos de reacción son extensos. (Contreras & Algecira, 2008)

El almidón modificado cuenta con características idóneas para la industria del bioplástico por su economía al producirlo y por sus propiedades mecánicas. Para determinar estas propiedades se aplican pruebas de elasticidad, plasticidad, dureza, tenacidad y fragilidad para obtener el comportamiento del almidón al aplicarle fuerza de tracción, compresión y torsión. (CARDONA, 2019)

Los bioplásticos como bien se pueden generar por recursos renovables como en este estudio a partir de biomasa (almidón de Yuca) como también son producidos a partir de combustibles fósiles. Por lo tanto, decimos que la biodegradación no está dada por la materia prima sino mas bien por la estructura química del plástico. Por lo tanto, existen estandarizaciones que se deben llevar a cabo en laboratorio para verificar la biodegradabilidad del plástico y su biocompatibilidad con el medio ambiente estas estandarizaciones son presentadas en la figura 7 dado que no son posibles identificar un bioplástico con base en su apariencia u otras propiedades evidentes. (Vasquez, Espinosa, Beltran, & Velasquez., 2016)

Figura 7

prueba estandarizados para plásticos biodegradables

| Ejemplos de métodos de prueba estandarizados para plásticos biodegradables | |
|--|--|
| ASTM D5338-11 | • Método de prueba para la determinación de la biodegradación aerobia de materiales plásticos en condiciones de composteo controlado, incorporando temperaturas termofílicas |
| ASTM D5511-12 | • Método de prueba para la determinación de la biodegradación anaerobia de materiales plásticos en condiciones de digestión anaerobia con alto contenido de sólidos |
| ASTM D5988-12 | • Método de prueba para la determinación de la biodegradación aerobia en suelo |
| ASTM D7475-11 | • Método de prueba para la determinación de la degradación aerobia y anaerobia de materiales plásticos en condiciones de relleno mediante pruebas aceleradas en biorreactor |

| | |
|------------------|---|
| ASTM D5526-11 | • Método de prueba para la determinación de la biodegradación de materiales plásticos en condiciones aceleradas de relleno |
| ISO 13975:2012 | • Determinación de la biodegradación anaerobia total de materiales plásticos en sistemas controlados de digestión de lodos – Método por medición de producción de biogás |
| ISO 14855-1:2012 | • Determinación de la biodegradabilidad aerobia total de materiales plásticos en condiciones de composteo controlado – Método por análisis de la generación de dióxido de carbono – Parte 1: método general |
| ISO 15985:2004 | • Determinación de la biodegradación anaerobia total y desintegración en condiciones de digestión anaerobia con alto contenido de sólidos – Método por análisis del biogás liberado |
| ISO 17556:2012 | • Determinación de la biodegradabilidad aerobia total de materiales plásticos en suelo mediante la medición de la demanda de oxígeno en un respirómetro o la masa generada de dióxido de carbono |
| ISO 14853:2005 | • Determinación de la biodegradación anaerobia total de materiales plásticos en sistemas acuosos – Método por medición de la producción de biogás |

Elaboración: Tecnologías Sustentables – UAM Azc

Nota: Con el fin de brindar mayor certeza con respecto a estas materiales asociaciones como ASTM Internacional e ISO han generado especificaciones, métodos de prueba y guías para los plásticos biobasados y biodegradables. Tomada de (Vasquez, Espinosa, Beltran, & Velasquez., 2016)

ANÁLISIS DE RESTRICCIONES

Se toman en cuenta las restricciones del proyecto para poder determinar más fácil las soluciones de ingeniería que se adaptarían al proyecto. Por este proyecto se tendrán en consideración las siguientes restricciones.

Fuentes de almidón: Se debe tener en consideración la producción del almidón de yuca, tanto la disponibilidad y sostenibilidad de esta materia prima y su impacto en la seguridad alimentaria del país. Se debe garantizar que el uso del almidón de yuca no afecte negativamente la disponibilidad de alimentos ni contribuya a la inflación de los precios de estos, así como también la producción de este de una forma orgánica y en pro del campesinado.

Consumo de agua, recursos naturales, así como energía: Como bien se sabe para la producción del cultivo y el proceso de producción se requiere agua y una gran extensión de suelo y un consumo de energía considerado si se quiere generar industrialmente, por lo tanto, se debe

gestionar estos recursos de manera responsable para mitigar el impacto ambiental utilizando tecnologías eficientes y respetuosas con el medio ambiente.

Biodegradabilidad y compatibilidad con los sistemas de reciclaje existentes: Si bien el bioplástico que se busca es biodegradable se debe comunicar las características de biodegradabilidad de los productos, así como también sean compatibles con los sistemas de reciclaje actualmente establecidos por el ministerio de ambiente o en su defecto establecer sistemas de recogida o disposición correcta de estos desechos.

Regulaciones estándares: En Colombia, la regulación de bioplásticos podría ser parte de las leyes y regulaciones ambientales más amplias que abordan la gestión de residuos, la sostenibilidad y la protección del medio ambiente. Las regulaciones relacionadas con bioplásticos suelen incluir aspectos como la composición de los materiales, las normas de descomposición, el etiquetado y la información al consumidor. Pueden ser reguladas por entidades gubernamentales como el Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible de Colombia, ICONTEC entre otros. Así como también se tendrán en cuenta las regulaciones internacionales como la norma ASTM D638 y la norma europea EN 13432:2000.

METODOLOGIA PARA LA SELECCIÓN Y DESARROLLO DE LA SOLUCIÓN

La metodología utilizada en este proyecto se determinará por fases como la selección de materia prima donde se hace la selección, preparación, modificación y la mezcla con otros polímeros del almidón posteriormente se pasa a realizar el proceso de extrusión y pasa a enfriamiento secado y endurecimiento del polímero donde se pasa a las fases de prueba de calidad del bioplástico para finalizar la verificación de biodegradabilidad.

Selección de materia prima.

Este proceso empieza desde escoger el cultivo de yuca ya que se al ser un bioplástico sostenible debemos garantizar que desde la siembra, producción y cosecha de la yuca sea lo mas amigable con el medio ambiente además de que sea yuca. A penas se coseche se transporta para su tratamiento preferiblemente que no pase de dos días para que la yuca no pierda propiedades o sufra deterioro teniendo en cuenta la ideal manipulación de alimentos. Se procede al lavado del tubérculo quitar todo el exceso de tierra y suciedad posterior a esto se pela y se conserva la cascara ya que también posee contenido de almidón.

Después de tener la yuca limpia se procede a rayar para sacar las moléculas de almidón que la fibra no quede tan delgada. Se procede a la separación del bagazo del liquido por medio de un colador se realiza la separación dos veces para garantizar un almidón limpio y procedemos a la sedimentación o centrifugado del liquido para eliminar el exceso de agua que pueda tener el almidón y procedemos a secar el almidón por medio del sol por la operación unitaria de evaporación.

Se determino el rendimiento del proceso de extracción del almidón de yuca a través de los estipulado por en la siguiente ecuación. (Avellán, y otros, 2020)

$$\% \text{ de rendimiento} = \frac{\text{Peso del almidon obtenido (g)}}{\text{peso de la muestra(Tuberculo)(g)}} * 100$$

Modificación del almidón

Este proyecto cuanta con la modificación del almidón por medio de la acilación para brindar mejores características al bioplástico aumentando su resistencia, permeabilidad, procesabilidad y compatibilidad con los polímeros adicionados en el siguiente paso. Este proceso se realiza por medio de la esterificación del almidón con anhídrido acético y se realiza según se

requiera la acetilación baja (GS) para la industria alimentaria o alta (GH) para sustitutos termoplásticos. (CARDONA, 2019)

Mezcla con otros polímeros

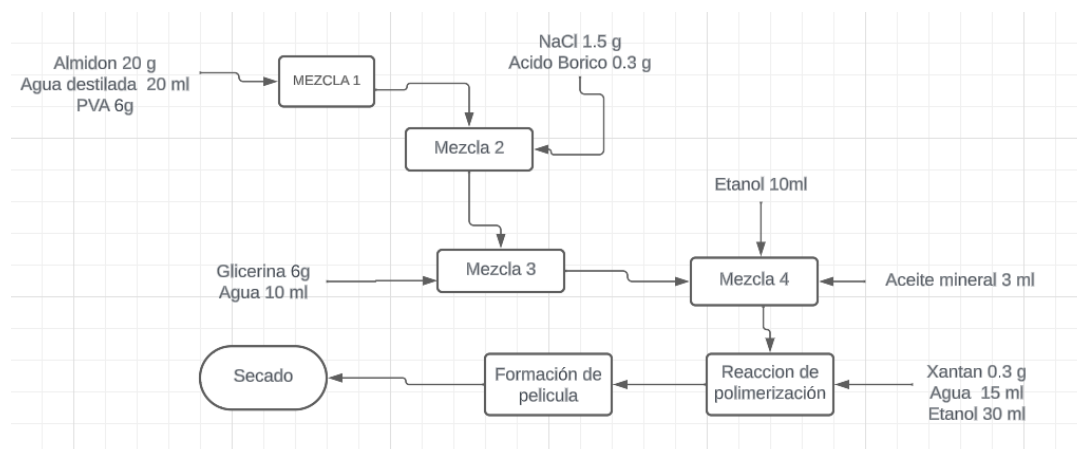
Para el desarrollo del bioplástico se realizará según el procedimiento de Holguín donde se realiza cuatro premezclas con los otros polímeros; la primera es del almidón modificado el PVA y el agua destilada, llevándose a cabo con agitación magnética a 25°C y una velocidad de 150 rpm durante 30 minutos, la segunda premezcla es del Celocell con agua destilada en agitación mecánica de 250 rpm a 40°C durante 5 minutos manteniendo estas condiciones durante todo el proceso.

En la tercera premezcla se reservan los reactivos NaCl y Ácido bórico para posteriormente cuando esté listo la premezcla 4 se homogeniza con 100 mL de etanol agregándolo poco a poco más 3 mL de aceite mineral y se eleva a 70°C de temperatura y 800 rpm de velocidad adicionando en un rango de tiempo entre 8 y 12 minutos 15 mL de etanol y 30 mL de agua destilada. Para la ultima premezcla se adiciona la goma Xantan y el agua a una velocidad de agitación de 150 rpm por 20 minutos.

Finalizando con las premezclas homogenizadas se hace un tren de mezclas y se pasa al secado del material en placas antiadherentes a temperatura ambiente aproximadamente por 24 horas.

Figura 8

Diagrama de proceso para la obtención del bioplástico a base de almidón de yuca para



Tomada de: Autoría propia

Pruebas de calidad y ensayos de caracterización del almidón

En estas pruebas se busca determinar las diferentes características del bioplástico obtenido, así como su calidad para la aplicación industrial.

Para el espesor del bioplástico se determina el ancho, largo y espesor del bioplástico generado con el instrumento pie de Rey. En cuanto para determinar la humedad se determinará por gravimetría en estufa a temperatura de 105°C por 24 horas y se aplicará la fórmula 1.

(Ledesma-Ugsiña, Flores-Fiallos, Dalgo-Flores, & Chango-Lescano, 2021)

$$\% \text{ de humedad} = \frac{\text{peso inicial del bioplastico} - \text{peso final del bioplastico}}{\text{peso inicial del bioplastico}} * 100$$

Tracción del bioplástico Este ensayo se realizó en base a la norma NTE INEN 2635:2012 Método de Ensayo para las propiedades de tracción de láminas plásticas delgadas. Se basa en deformar una probeta a lo largo de su eje con una velocidad constante, empleando una

fuerza definida, con el propósito de romper la probeta y poder verificar su resistencia (INEN 2043, 2013, p. 3). (Ledesma-Ugusiña, Flores-Fiallos, Dalgo-Flores, & Chango-Lescano, 2021)

Verificación de biodegradabilidad

Este ensayo se analizó en base al método gravimétrico, las muestras de 2,5 cm x 2,5 cm se evalúan en condiciones aeróbicas, anaeróbicas y medio acuoso. La descomposición en medio anaerobio y aerobio fue valorada cada 5 días durante un mes. En cambio, la biodegradabilidad en agua se analizará cada 5 días por un tiempo de 4 semanas debido a la alta deformación de las láminas. (Ledesma-Ugusiña, Flores-Fiallos, Dalgo-Flores, & Chango-Lescano, 2021)

Resultados

Después de finalizar la fase de obtención del bioplástico, se verifica que las mezclas previas de glicerina-agua y goma xantana-agua son esenciales para evitar la aglomeración y agilizar el proceso de producción. La mezcla alcanza su fase de gelificación a temperaturas entre 70 y 75°C, Las pérdidas durante el proceso se deben principalmente a la evaporación del agua y el etanol, así como a la adhesión del bioplástico en las paredes del recipiente. El rendimiento del proceso, en relación con el almidón utilizado, promedia un 52.8%, con una pérdida de insumos promedio del 4,4857%. Para mejorar el rendimiento, es necesario idear métodos para recuperar los reactivos evaporados y eliminar el material adherido en los bordes del reactor. El secado de la película de bioplástico se realizó en un molde de acrílico con una película de papel mantequilla, lo que facilitó la evaporación de los líquidos retenidos en los gránulos de almidón y dio forma a la película plástica mas delgada y maleable a la hora de sacarla del molde.

Análisis del bioplástico con almidón de yuca para la fabricación de envases y utensilios desechables

Es un enfoque prometedor en la búsqueda de materiales sostenibles y biodegradables que reduzcan la contaminación plástica y promuevan el uso responsable de los recursos naturales. Algunos aspectos clave de este tema incluyen:

Propiedades del bioplástico: La investigación ha demostrado que el bioplástico a base de almidón de yuca, modificado con ozono, es más resistente y biodegradable que los plásticos convencionales hechos de petróleo. Además, el uso de ozono mejora la transparencia del plástico, lo que lo hace adecuado para una amplia gama de aplicaciones, incluyendo envases y utensilios desechables.

Fabricación de envases y utensilios desechables : La tecnología desarrollada por CBPack, una empresa brasileña, permite producir vasos y bandejas de espuma de poliestireno a partir de almidón de mandioca, que son totalmente biodegradables y compostables. Estos productos se convierten en tierra vegetal en un período de hasta 90 días.

Beneficios ambientales: Los bioplásticos a base de almidón de yuca contribuyen a la reducción de emisiones de dióxido de carbono, al manejo de residuos sólidos y al menor consumo de agua en la producción. Además, al ser biodegradables, estos materiales no contaminan el medio ambiente y promueven un uso más sostenible de los recursos naturales.

Aplicaciones y mercado: Los bioplásticos a base de almidón de yuca tienen una amplia gama de aplicaciones potenciales, incluyendo envases para productos alimenticios, bolsas de plástico, productos textiles y otros materiales industriales. La demanda de estos materiales está

creciendo a nivel mundial, ya que los consumidores y empresas buscan alternativas sostenibles y respetuosas con el medio ambiente.

El estudio del bioplástico con almidón de yuca para la fabricación de envases y utensilios desechables representa un avance significativo en la búsqueda de materiales sostenibles y biodegradables. Estos bioplásticos ofrecen una solución prometedora para reducir la contaminación plástica y promover un uso más responsable de los recursos naturales.

ANALISIS AMBIENTAL

El desarrollo de bioplásticos a base de almidón de yuca para la fabricación de envases y utensilios desechables es una alternativa prometedora para reducir el impacto ambiental de los plásticos tradicionales. Estos bioplásticos son biodegradables y provienen de fuentes renovables, lo que los hace más sostenibles. Diversos estudios han demostrado que los empaques biodegradables a base de almidón de yuca tienen un período de degradación que oscila entre 120 y 180 días bajo condiciones controladas y en específico en este proyecto se encontró que el tiempo de biodegradación es de 110 días a la intemperie y en conjunto con otras materiales orgánicos que ayudan a su biodegradación a diferencia de que cuando se deja el bioplástico a la intemperie solo con tierra y agua en promedio de 150 días se lleva a cabo su biodegradación.

Además, se ha logrado producir un tipo de plástico más resistente y transparente a partir del almidón de yuca, el cual puede usarse en varios tipos de empaques, incluyendo los que se utilizan para embalar productos alimenticios. La elaboración de bioplástico en base a almidón de yuca cuenta con un proceso que va desde la cosecha de la raíz, pasando por su lavado y pelado, la etapa de molido y extracción del almidón por colado, para terminar con la sedimentación y

purificación de la base obtenida. Estos avances demuestran el potencial de los bioplásticos a base de almidón de yuca como una alternativa sostenible a los plásticos tradicionales.

ANÁLISIS DE COSTO

Se realizó un análisis de costo del proyecto donde se evalúa la inversión inicial en las materias primas e insumos necesarios para su desarrollo, ya posteriormente se determinan los costos directos ver tabla 11 e indirectos en la tabla 10 de producción de este bioplástico relacionadas con la ejecución del proyecto en estudio. Finalmente, en la tabla 12 se encuentra el balance total del proyecto e inversión.

Figura 9

Análisis de costos: Costos de materia prima

| ITEM | DESCRIPCIÓN M.P. | PRECIO UNITARIO | CANTIDAD | COSTO (\$) |
|------|-------------------------|----------------------|----------|----------------------|
| 1 | XANTAN (\$/250 G) | \$ 27.999,00 | 1 | \$ 27.999,00 |
| 2 | ALMIDON (\$/Kg) | \$ 6.000,00 | 12 | \$ 72.000,00 |
| 3 | CLORURO DE SODIO(\$/Kg) | \$ 3.400,00 | 2 | \$ 6.800,00 |
| 4 | ACIDO BORICO (\$/Kg) | \$ 19.000,00 | 1 | \$ 19.000,00 |
| 5 | GLICERINA (\$/L) | \$ 27.500,00 | 1 | \$ 27.500,00 |
| 6 | ETANOL (\$/g) | \$ 9.200,00 | 2 | \$ 18.400,00 |
| 7 | ACEITE MINERAL (\$/g) | \$ 24.900,00 | 1 | \$ 24.900,00 |
| | TOTAL | \$ 117.999,00 | | \$ 196.599,00 |

Fuente: Autora

Figura 10

Análisis de costos: Costos indirectos de producción

| ITEM | COSTOS INDIRECTOS DE PRODUCCIÓN | PRECIO UNITARIO | CANTIDAD | COSTO SERVICIOS (\$) |
|------|---------------------------------|-----------------|----------|----------------------|
| 1 | AGUA(\$/M3) | \$ 38.000,00 | 1 | \$ 38.000,00 |
| 2 | ENERGIA ELECTRICA KWH | \$ 100.000,00 | 1 | \$ 100.000,00 |
| 3 | ADMINISTRACIÓN (Papelería) | \$ 100.000,00 | 1 | \$ 38.000,00 |
| | TOTAL | | | \$ 176.000,00 |

Fuente: Autora

Figura 11*Análisis de costos: Costos directos de producción*

| ITEM | COSTOS DE PRODUCCIÓN DIRECTOS | PRECIO UNITARIO | CANTIDAD | COSTO * SERVICIO (\$) |
|------|-------------------------------|-----------------|----------|-----------------------|
| 1 | ALQUILER DE LABORATORIO | \$ 300.000,00 | 2 | \$ 600.000,00 |
| 2 | MANO DE OBRA | \$ 119.300,00 | 1 | \$ 119.300,00 |
| | TOTAL | | | \$ 719.300,00 |

Fuente: Autora

Figura 12*Análisis de costos: Balance total del proyecto*

| BALANCE TOTAL | |
|---------------------------------|-----------------|
| COSTOS DE PRODUCCIÓN DIRECTOS | \$ 719.300,00 |
| COSTOS INDIRECTOS DE PRODUCCIÓN | \$ 176.000,00 |
| MATERIA PRIMA | \$ 196.599,00 |
| TOTAL | \$ 1.091.899,00 |

Fuente: Autora

PLAN DE IMPLEMENTACIÓN

En el plan de implementación expondremos los pasos a seguir ya que durante el trabajo de este proyecto se llevaron a cabo el desarrollo de los aspectos a desarrollan los cuales son: Investigación y desarrollo; Diseño de proceso, diseño de prototipo, análisis de costos y análisis ambiental; donde se evaluó la mejor metodología para desarrollarlo, la calidad del bioplástico a obtener y las implicaciones que conlleva la producción del bioplástico a partir de almidón de yuca; por lo tanto se implementaría las siguientes etapas que conlleva la:

Producción a Escala Piloto:

Implementar un proceso de producción a escala piloto para la fabricación de bioplástico a partir de almidón de yuca. Esto permitirá evaluar la viabilidad técnica y económica del proceso a mayor escala.

Comercialización y distribución:

Desarrollar un plan de comercialización y distribución para el bioplástico producido. Esto incluye la identificación de clientes y mercados potenciales, así como la definición de estrategias de marketing y ventas.

Monitoreo y mejora continua:

Establecer un sistema de monitoreo para evaluar el desempeño del proceso de producción y la calidad del bioplástico. Esto permitirá identificar oportunidades de mejora y optimización del proceso.

El plan de implementación presentado se basa en las mejores prácticas y lecciones aprendidas de la literatura disponible. Se espera que este plan sirva como guía para la implementación exitosa de un proceso de producción de bioplástico a partir de almidón de yuca.

CONCLUSIONES

El estudio de la producción de bioplásticos a partir de almidón de yuca para la fabricación de envases y utensilios desechables en la industria colombiana es un tema relevante que presenta oportunidades para la sostenibilidad ambiental y el desarrollo de nuevos materiales. Aunque la industria del plástico en Colombia ha sido tradicionalmente dinámica, existe una necesidad creciente de implementar el uso de plásticos biodegradables en los envases de productos colombianos, dada la problemática ambiental asociada al exceso de plásticos no degradables. Los bioplásticos, incluyendo aquellos derivados del almidón de yuca, ofrecen una alternativa prometedora para abordar este desafío, ya que son biodegradables y pueden cubrir una amplia gama de aplicaciones, incluyendo envases y utensilios desechables. Aunque se requiere un

análisis más detallado de la factibilidad y viabilidad económica de la producción de bioplásticos a partir de almidón de yuca en Colombia, este estudio sienta las bases para futuras investigaciones y el desarrollo de estrategias que promuevan la adopción de bioplásticos en la industria de envases y utensilios desechables en el país.

Se ha logrado desarrollar un proceso para la producción de bioplástico a partir de almidón de yuca. El uso de tecnologías ha demostrado ser efectivo para mejorar las propiedades del bioplástico, haciéndolo más resistente y biodegradable.

La caracterización del almidón de yuca ha permitido identificar sus propiedades y su potencial para la producción de bioplásticos. Se ha demostrado que el almidón de yuca puede ser utilizado para la fabricación de bioplásticos con diversas aplicaciones, incluyendo envases y utensilios desechables.

El bioplástico obtenido a partir de almidón de yuca ha demostrado ser adecuado para la fabricación de envases y utensilios desechables. Su resistencia y estabilidad lo hacen apto para su uso en la preservación de alimentos, aunque se han identificado desafíos en cuanto a su resistencia mecánica y térmica.

Se ha realizado un estudio de factibilidad financiera para la producción de bioplástico a base de almidón, en el cual se comparan los costos de producción y se analiza el impacto ambiental de este proceso. Este tipo de bioplástico se considera menos dañino para el medio ambiente, ya que puede degradarse por acción de organismos vivos, dióxido de carbono, biomasa o dentro del agua.

En resumen, se ha logrado establecer un proceso para la producción de bioplástico a partir de almidón de yuca, caracterizar el almidón de yuca para este fin, y demostrar la viabilidad del

bioplástico resultante para la fabricación de envases y utensilios desechables. Además, se ha realizado un estudio de factibilidad financiera e impacto ambiental que respalda la utilización de este tipo de bioplástico.

REFERENCIAS

- Aristizábal, J., & Sanchez, T. (2007). *Guía técnica para producción y análisis de almidón de yuca*. ORGANIZACIÓN DE LAS NACIONES UNIDAS PARA LA AGRICULTURA Y LA ALIMENTACIÓN. @FAO 2007. doi:ISSN-1020-4334
- ASTM. (21 de Julio de 2022). *astm.org*. doi:10.1520/D0638-14
- Avellán, A., Díaz, D., A. M., Zambrano, M., Zamora, Y., & Riera, M. A. (2020). *OBTENCIÓN DE BIOPLÁSTICO A PARTIR DE ALMIDÓN DE MAÍZ (Zea mays L.)*. Universidad de Panama . Colon: Revista Colón Ciencias, Tecnología y Negocios. Recuperado el 2023, de https://revistas.up.ac.pa/index.php/revista_colon_ctn
- Avellán, A., Díaz, D., Mendoza, A., Zambrano, M., & Riera, Y. Z. (2020). *OBTENCIÓN DE BIOPLÁSTICO A PARTIR DE ALMIDÓN DE MAÍZ (Zea mays L.)*. Universidad de Panama . Panama: Revista Colón Ciencias, Tecnología y Negocios. doi:2313-7819
- AVILÉS, G. R. (2005). *POLÍMEROS BIODEGRADABLES A PARTIR DEL ALMIDON DE YUCA*. UNIVERSIDAD EAFIT. MEDELLIN: UNIVERSIDAD EAFIT. Obtenido de <https://core.ac.uk/download/pdf/47250396.pdf>

- CARDONA, J. S. (2019). *OBTENCIÓN DE UN BIOPLÁSTICO A PARTIR DE ALMIDÓN DE PAPA*. Universidad America, Facultad de ingeniería química. Bogota: repository.uamerica.edu.co/. Recuperado el 2023, de <https://repository.uamerica.edu.co/bitstream/20.500.11839/7388/1/6132181-2019-1-IQ.pdf>
- Contreras, O. I., & Algecira, J. E. (2008). *Revisión de la modificación química del almidón con ácidos orgánicos*. REVISTA INGENIERÍA E INVESTIGACIÓN. Recuperado el 2023, de <http://www.scielo.org.co/pdf/iei/v23n3/v28n3a06.pdf>
- European Bioplastics e.V. Logo. (9 de Diciembre de 2022). *European Bioplastics e.V. Logo*. (© European Bioplastics e.V. - Imprint/Disclaimer) Recuperado el 2023, de <https://www.european-bioplastics.org/successful-eubp-conference-bioplastics-industry-set-to-engage-with-political-stakeholders-on-upcoming-legislation/>
- Ledesma-Ugshiña, A. A., Flores-Fiallos, L. M., Dalgo-Flores, V. M., & Chango-Lescano, G. C. (2021). *Bioplásticos de almidón de maíz y quinua para uso como envolturas alimenticias biodegradables*. Artículo de investigación, Ciencias técnicas y aplicadas. doi:<http://dx.doi.org/10.23857/dc.v7i4.2080>
- Malajovich, M. A. (2014). *Bioplásticos*. Instituto de Tecnología ORT de Río de Janeiro, Brasil, Rio de Janeiro . Rio de Janeiro : Federación Bioquímica de la Provincia de Buenos Aires: secpres@fbpba.org.ar. Recuperado el 2023, de <http://www.faba.org.ar/fabainforma/503/ABCL.htm>
- mays, Z. (2019). *OBTENCIÓN DE BIOPLÁSTICO A PARTIR DE ALMIDÓN DE MAÍZ*. Universidad de Panamá, Panama . revista.colon.ciencias. doi:2313-7819

Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible. (17 de Mayo de 2022). *Colombia potencia de Vida*. (M. d. Sostenible, Editor, & gov.co, Productor) Recuperado el 2023, de <https://www.minambiente.gov.co/hoy-no-se-habla-de-basura-sino-de-residuos-que-son-insumos-para-productos-minambiente/>

Moreira, A. F., & Anchundia, B. J. (2023). *Obtención de polímeros biodegradables a partir del almidón de yuca*. UNIVERSIDAD TÉCNICA DE MANABÍ. Portoviejo: Creative Commons Atribución 4.0. doi:10.56048

PlasticsEurope. (2021). *plasticseurope*. (© 2021 PlasticsEurope) Obtenido de https://plasticseurope.org/es/wp-content/uploads/sites/4/2021/11/ES_Plastics_the_facts-WEB-2020_May21_final_updatedJuly2021.pdf

profesional, Residuos. (16 de Diciembre de 2022). *Residuos profesional*. Recuperado el 2023, de <https://www.residuosprofesional.com/produccion-de-bioplasticos-triplicara/>

red remar. (2011). *Bioplásticos*. Remar, Red de energia y medio ambiente . Red remar . Recuperado el 2023, de http://www.gaiker.es/documentos/Bioplasticos_634691586470829716.pdf

REMAR. (2011). *Virtualpro*. (R. E. (REMAR), Ed.) Recuperado el 2023, de <https://www.virtualpro.co/biblioteca/bioplasticos>

TORRES, D. R. (2015). *POTENCIAL AGROALIMENTARIO DEL ALMIDÓN DE ARROZ DE TRES VARIEDADES CULTIVADAS EN EL DEPARTAMENTO DEL TOLIMA*. Universidad del Tolima , FACULTAD DE INGENIERÍA AGRONÓMICA. Tolima: <https://repository.ut.edu.co>. Recuperado el 2023, de

<https://repository.ut.edu.co/server/api/core/bitstreams/2d2a27a2-2c3a-4a84-9332-179dbe484415/content>

UNE. (04 de Febrero de 2001). *UNE Normalización Española*. Recuperado el 2023, de <https://www.une.org/encuentra-tu-norma/busca-tu-norma/norma?c=N0024465>

Vasquez, A., Espinosa, R., Beltran, M., & Velasquez., M. (2016). *Bioplásticos y plásticos degradables*. UAM Azcapotzalco y la Asociación Nacional de Industrias del Plástico. doi:10.13140/RG.2.1.1294.4241

Vega, R. A. (2020). *Propuesta de elaboración de bioplástico en base a almidón de yuca para vasos descartables*. Universidad Continental . Arequipa: Creative Commons Atribución 4.0 Internacional. Recuperado el 2023, de https://repositorio.continental.edu.pe/bitstream/20.500.12394/12438/2/IV_FIN_108_TI_Paredes_Vega_2020.pdf

WWF. (08 de Junio de 2022). *WWF*. (Fotos y gráficos © WWF) Recuperado el 2023, de <https://www.wwf.org.co/?375810/Que-tan-grave-es-la-contaminacion-por-plasticos#:~:text=y%20cremas%20dentales.-,Anualmente%2C%2011%20millones%20de%20toneladas%20de,pl%C3%A1sticos%20entran%20a%20los%20oc%C3%A9anos.&text=Rich%20Carey%20%2F%20WWF-,Anualmente%>

ZEApplast. (2012). *ZEApplast productos biodegradables*. Recuperado el 2023, de <https://www.zeaplast.cl/plasticos-biodegradables/tipos-de-bioplasticos+-21>