

CAPÍTULO I

INTRODUCCIÓN

1.1. ANTECEDENTES

Históricamente, los primeros materiales bioplásticos utilizados industrialmente por el hombre eran de origen natural.

Antes de dominar los monómeros procedentes del refinado del petróleo a partir de la década de 1930, muchos objetos cotidianos se fabricaban con polímeros de origen biológico.

Los recursos utilizados eran entonces el caucho natural (descubierto en el siglo XVIII), la celulosa con la Parkesina, el Celuloide o incluso el Celofán a finales del siglo XIX y principios del XX o también los componentes lácteos como la caseína que condujeron a la fabricación de la Galatita en 1897.

Decenas de años más tarde, en 1947, el Rulan (o Poliamida 11) fue el primer bioplástico técnico que se introdujo en el mercado, avalado por sus excelentes propiedades mecánicas y de resistencia química.

A partir de los años 90, le siguieron los bioplásticos más conocidos en la actualidad como el PLA, los PHAs y los almidones plastificados, que se beneficiaron de los rápidos avances en el sector de la química verde y la química blanca para la utilización de biomasa (almidón, azúcares, celulosa, etc.).

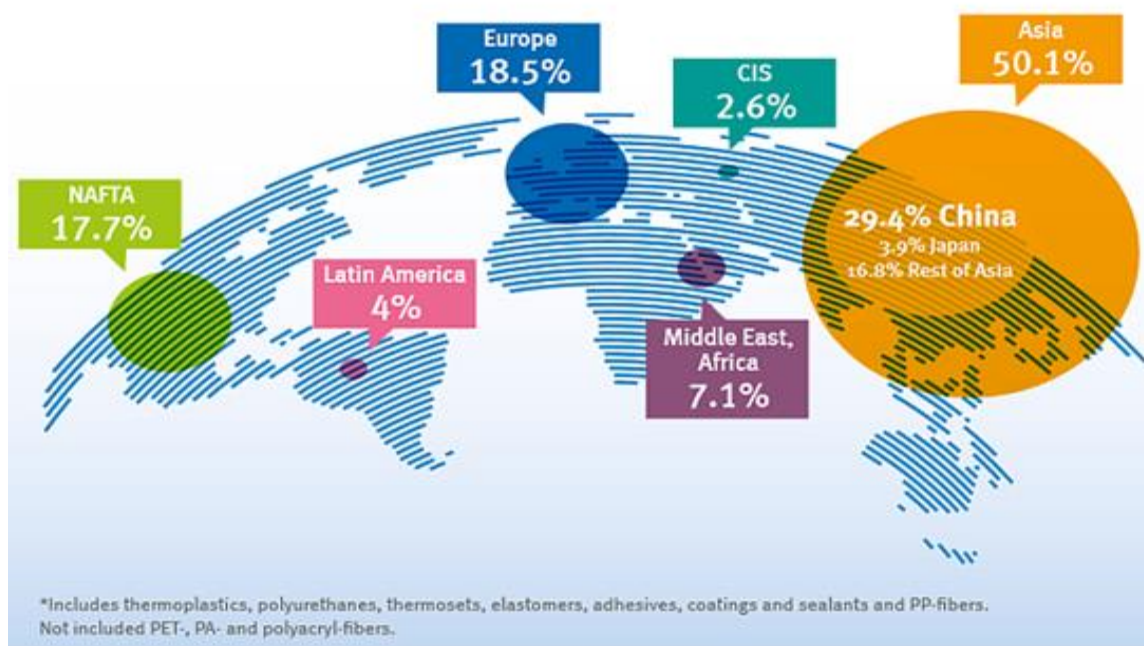
Además de los nuevos polímeros de origen biológico y/o biodegradable que emergen regularmente, los principales cambios se basan en la diversificación de los recursos utilizados para producir estos materiales, con la mayor parte de los esfuerzos volcados en el aprovechamiento de co-productos o residuos de diferentes biomásas.

Los costos ambientales asociados a la producción de millones de toneladas de materiales desechables y no degradables se hicieron gradualmente evidentes en la segunda mitad del siglo XX. En los EE.UU., la crisis del petróleo de 1973 puso en evidencia los problemas de dependencia del petróleo. En 1976 la compañía británica Imperial Chemical Industries (ICI) (industrias químicas imperiales) creó el primer producto que se comercializaría como bioplástico, y en 1983 Biopol fue presentado como el primer plástico totalmente biodegradable. Los bioplásticos siguieron siendo

productos de nicho durante décadas debido a su alto costo. Biopol llegó a costar 20 veces más que un plástico convencional. A partir de la década de los noventa el interés por los bioplásticos se incrementa favorablemente y hoy en día el mercado de los bioplásticos es una realidad y es posible encontrar productos elaborados a partir de estas materias primas. (Alejandra de Almeida, Revista Química Viva, 2004)

Capacidad de la producción global de bioplástico por región en el 2018:

Figura 1- 1 Antecedentes sobre la obtención de bioplástico a partir de fécula de yuca (Manihot Esculenta) a nivel internacional



Fuente: Distribution of global plastics production

Brasil:

En esa búsqueda, un equipo de investigadores y científicos de Brasil, lograron desarrollar una especie de plástico tan resistente como el hecho a base de petróleo.

Se trata de un tipo de plástico que se elabora aplicando ozono al almidón de yuca, un material que resulta inclusive más resistente que el plástico convencional y además es biodegradable.

El ozono modifica las propiedades moleculares del almidón de yuca, lo que permite que se pueda obtener un bioplástico 30% más resistente que el que es elaborado a base de almidón de papa, arroz o maíz. Además, este elemento también permite mejorar la transparencia del plástico que se hace a partir del almidón de yuca, según ha explicado Carla Ivonne La Fuente Arias, ingeniera química de la Escuela Superior de Agricultura Luiz de Queiroz de la Universidad de São Paulo, quien aseguró, que esta nueva técnica para elaborar plásticos puede arrojar como resultado, incluso, un plástico tan fuerte y resistente como los hechos a base de petróleo (que son altamente contaminantes): “Nuestras pruebas indican que esta nueva técnica puede generar un plástico biodegradable tan resistente como los plásticos hechos de petróleo”.

Si bien el costo final por producir este material puede resultar más alto que el costo por la elaboración del plástico convencional, la realidad es que este tipo de iniciativas tiende a tomar mayor relevancia y a ganar un importante protagonismo en el mercado debido al impacto positivo que genera en el medio ambiente.

Indonesia:

El plástico convencional, hecho a partir de petróleo tarda hasta 1000 años en descomponerse. Cuando se desechan de manera inadecuada en el medio ambiente, ocasiona también otros problemas tales como el envenenamiento de algunas especies, que confunden el plástico con comida.

Sin embargo, algunos plásticos alternativos y menos perjudiciales se han desarrollado en los últimos años, con el fin de minimizar tales impactos. Uno de ellos fue creado por la empresa Ink Marta, que se encuentra en Indonesia, y tiene la yuca como base.

El director de la organización desde el año 2000, Sugianto Tandio cayó en la cuenta que su fábrica de bolsas plásticas era altamente contaminante y que debía cambiar, entonces busca las opciones disponibles y decide hacer bioplástico a partir de yuca una raíz muy abundante en Indonesia.

Las bolsas de este Plástico Sostenible ya están siendo usadas por empresas como Zara y GAP.

Diez años de investigación le hicieron falta a la empresa para lograr el Ecoplas, el plástico sostenible ya se usa en el packing de muchas empresas, siendo un éxito de ventas la empresa produce unas 500 toneladas de dicho plástico fomentando el cuidado del medio ambiente y la agricultura local ya que la demanda de la empresa de yuca ha beneficiado a los agricultores.

Colombia:

La yuca hecha plástico.

Un proyecto liderado por Jorge Medina, profesor asociado del Departamento de Ingeniería Mecánica.

Tras una década de investigación, el grupo de materiales y manufactura de los Departamentos de Ingeniería Mecánica e Ingeniería Química y de Alimentos de la Universidad de los Andes y A&P de Colombia logró producir bolsas compostables hidrosolubles (que se disuelven en el agua en apenas unos segundos) a partir de almidón de yuca y llevar el proyecto de la academia a la industria por medio de Ecobioplast.

El proyecto, que lleva más de una década de investigación, ha logrado, a partir de este tipo de almidón, producir materias primas, películas y bolsas compostables hidrosolubles, es decir, que se disuelven en el agua en apenas unos segundos sin afectar negativamente las condiciones del medio. Estas se elaboran a partir de un material no tóxico que, en caso de caer en alguna fuente hídrica, se disuelve o se convierte en alimento para los animales y microorganismos.

La elaboración de bioplástico a partir de fécula de yuca (*Manihot Esculenta*) es un estudio que ya fue formulado por varios países debido a la disponibilidad de materia prima, procesos sencillos y por la necesidad de utilizar materiales plásticos que no se obtengan de hidrocarburos debido a su contaminación ambiental y su largo periodo de degradación.

1.2. OBJETIVOS

Objetivo general

- Obtener bioplástico a partir de fécula de yuca producida en Bolivia, en el departamento de Tarija a nivel laboratorio.

Objetivos específicos

- a) Caracterizar las propiedades fisicoquímicas de la fécula de yuca producida en Bolivia para la obtención de bioplástico en el departamento de Tarija.
- b) Analizar el proceso tecnológico experimental para la obtención experimental de bioplástico en el departamento de Tarija a partir de fécula de yuca (**Manihot Esculenta**) producida en Bolivia.
- c) Diseñar la Fase Experimental para el proceso de obtención de bioplástico a partir de la fécula de yuca (**Manihot Esculenta**) a nivel laboratorio.
- d) Caracterizar las propiedades fisicoquímicas del bioplástico obtenido a partir de la fécula de yuca (**Manihot Esculenta**) producida en Bolivia.
- e) Presentar, analizar y valorar los resultados experimentales del proceso de obtención experimental del bioplástico a partir de la fécula de yuca (**Manihot Esculenta**) producida en Bolivia.

1.3. JUSTIFICACIÓN E IMPORTANCIA DEL TEMA

La justificación de este tema se sustenta bajo cuatro aspectos:

- Aspecto del mercado.
- Aspecto tecnológico.
- Aspecto económico –social.
- Aspecto ambiental.

1.4. ASPECTO DEL MERCADO.

Los desperdicios plásticos representan entre el 20 y el 40% en volumen de los desechos sólidos municipales, en los países industrializados. La mayor demanda de plásticos procesados está en el sector de empaque siendo el mayor consumidor final el empaque de alimentos, seguido por la industria farmacéutica y de cosméticos, lo cual ha hecho que este sector esté muy interesado en encontrar disponibilidad en el mercado de empaque biodegradable de bajo costo, lo cual es de común interés respecto al mercado de los países que buscan a la vez economizar y preservar el medio ambiente.

En Bolivia se estima que anualmente se importan alrededor de 285.000 toneladas de plásticos (60% material manufacturado, 20% material primario y 20% material no primario) con un costo aproximado de 560 millones de dólares. Los principales importadores se encuentran localizados principalmente en el eje troncal, las ciudades de La Paz (34%), Cochabamba (21%) y Santa Cruz (41%). Los principales productos son las bolsas plásticas, los envases de poli estireno (Tecnopor) y botellas plásticas. En cuanto a la disposición de residuos, se estima que el 12% en promedio de los residuos urbanos son plásticos. De esta cantidad aproximadamente un 5% termina en botaderos a cielo abierto o cuerpos de agua en lugar de rellenos sanitarios por la no cobertura total por los sistemas de recolección municipales. Las actividades de reciclaje son desarrolladas por asociaciones de acopiadores informales, el principal material plástico aprovechado son las botellas PET.

Tabla I-1: Producción de residuos sólidos en diferentes departamentos de Bolivia

CIUDAD	MATERIA ORGÁNICA	PLÁSTICOS (%)	PAPEL Y CARTÓN (%)	METALES (%)	VIDRIOS (%)	OTROS (%)
La Paz	47.3	15.2	12.8	1.4	2.3	20.7
Santa Cruz	53.2	9.4	7.0	1.0	4.1	25.3
Tarija	61.0	18.5	6.0	2.0	2.0	10.5
Trinidad	54.0	5.9	9.9	1.5	3.0	25.7

Fuente: Elaboración a partir de datos de las empresas municipales de aseo y al diagnóstico de la gestión de residuos sólidos en diferentes departamentos de Bolivia

1.5. ASPECTO TECNOLÓGICO.

Los procesos para obtener bioplásticos son sencillos, por lo cual no requieren maquinaria compleja. Los equipos necesarios para producir bioplásticos a escala de laboratorio son relativamente sencillos, son accesibles, por cuanto no se tiene limitaciones de patente u otro tipo y no demanda gran inversión.

Los equipos primarios empleados en la parte experimental en la obtención de bioplásticos están disponibles en la Universidad Juan Misael Saracho de la ciudad de Tarija, previo permiso y autorización para utilizar los mismos.

A grandes rasgos los equipos básicos de laboratorio para la obtención experimental de bioplástico serían:

- Tamizador.
- Balanza analítica.
- Equipo de baño María.
- Estufa o secador.

1.6. ASPECTO ECONÓMICO –SOCIAL.

El uso de los polímeros orgánicos para la producción de bioplástico biodegradables tales como el almidón, pueden ser una solución interesante debido a su bajo costo, abundancia y fácil biodegradabilidad.

En Bolivia aún no se tiene una cultura bien establecida de reciclaje y ya se están presentando problemas con los rellenos sanitarios los cuales podrían resolverse con la obtención de un bioplástico a partir del almidón de yuca que es un recurso renovable bastante abundante en nuestro medio y de bajo costo.

Una planta piloto y posteriormente producir a escala industrial un bioplástico a base de la fécula de yuca, puede contribuir al desarrollo del sector industrial, generando fuentes de empleo y al potenciamiento socio económico del departamento de Tarija, es por esto que se necesita datos experimentales del proceso de obtención, para poder diseñar un trabajo de esta índole.

1.7. ASPECTO AMBIENTAL.

La preocupación por la conservación del medio ambiente ha estimulado el desarrollo de investigaciones para la producción de bioplástico a base en recursos renovables de origen natural.

La acumulación de plásticos petroquímicos en el medio ambiente genera altos niveles de contaminación, debido a la baja degradación de este tipo de plásticos, lo que ocasiona serios problemas ambientales en razón a los largos periodos de descomposición, algunos hasta de 500 años o más.

A nivel global se han encaminado investigaciones por la obtención de plásticos biodegradables, desarrollándose numerosos estudios alrededor de esta temática, por cuanto encontrar alternativas viables que sustituyan los plásticos convencionales derivado del petróleo se ha convertido en una necesidad. Es así que mundialmente los bioplásticos representan la línea de productos de mayor crecimiento en la industria.

La mayoría de los plásticos se producen a partir de compuestos petroquímicos y sus desperdicios permanecen en el medio ambiente produciendo un alto grado de

contaminación y potenciales daños en la vida silvestre. El reciclaje de los plásticos convencionales es una forma de reducir el problema, pero muchos empaques plásticos no pueden reciclarse debido a que están contaminados con alimentos y tintas, así que es necesario limpiarlos previamente lo cual resulta costoso.

1.8. JUSTIFICACIÓN PERSONAL.

Los actuales plásticos empleados de origen del petróleo están ocasionando grandes problemas medio ambientales, sociales y económicos, motivo por el cual realizar un trabajo de investigación relacionado a la producción de un bioplástico es de suma importancia para contrarrestar los daños ocasionados por el empleo y mal manejo de residuos de plásticos de origen del petróleo.

Viendo el arduo trabajo de algunos activistas medio ambientales por tratar de recolectar los plásticos convencionales de lagos, quebradas y áreas verdes, el municipio de Cercado Tarija ha tomado la decisión de realizar un trabajo de investigación para la producción de bioplástico a partir de la yuca que es un tubérculo abundante, el proceso de transformación a bioplástico no es muy costoso y su biodegradación ayuda como fertilizante de la tierra; y de esta forma aportar al cuidado del medio ambiente de tanta contaminación.

CAPÍTULO II
MARCO TEÓRICO

2.1. GENERALIDADES DE LOS BIOPLÁSTICOS

Los bioplásticos son aquellos plásticos que son biodegradables, se derivan de recursos renovables, esencialmente de productos vegetales, en este caso la yuca (**Manihot Esculenta**).

“Plástico” proviene de PLASTIKOS palabra griega que significa susceptible de ser modelado o moldeado. Un plástico es un material que está formado por moléculas de gran longitud (macromoléculas) que se enredan formando una madeja.

Para fabricar bioplásticos actualmente se está investigando y utilizando como materia prima la fécula, un polímero obtenido de la patata o de la yuca; o almidón, un polímero natural obtenido del maíz y del trigo.

Los primeros en popularizarse fueron los bioplásticos vegetales, fabricados a partir de la fécula de patata o yuca. Sus polímeros de glucosa sirven para que, tras un proceso de extrusión y otros tratamientos acaben convirtiéndose en material para cubiertos, envases o bolsas.

2.2. IDENTIFICACIÓN DEL BIOPLÁSTICO

Los bioplásticos cuentan con las mismas características de los plásticos convencionales como ser:

- Flexibilidad.
- Fácilmente moldeables.
- Resistentes.
- Buena capacidad de barrera a la humedad,

La diferencia que podemos encontrar entre el plástico convencional y los bioplásticos, es que los bioplásticos son biodegradables y compostables, mientras que el plástico convencional no lo es.

2.3. DESCRIPCIÓN GENERAL DE LOS BIOPLÁSTICOS

Se denomina bioplástico a materiales constituidos por una variedad de compuestos orgánicos, sintéticos o semi sintéticos, que tienen la propiedad de ser maleables y por

tanto pueden ser moldeados en objetos sólidos de diversas formas. Esta propiedad confiere a los plásticos una gran variedad de aplicaciones. Su nombre deriva de plasticidad, una propiedad de los materiales, que se refiere a la capacidad de deformarse sin llegar a romperse.

La producción del bioplástico utiliza también microorganismos en su proceso como sucede en la obtención del ácido láctico para obtener ácido poli láctico que es un plástico biodegradable de mucha aplicación. El proceso empieza con el almidón que se extrae del maíz, luego los microorganismos lo transforman en una molécula más pequeña de ácido láctico que sirve como base para la elaboración de cadenas poliméricas de ácido poli láctico (PLA). El entrecruzamiento de cadenas de PLA da lugar a la lámina de plástico biodegradable que sirve de base para la elaboración de numerosos productos plásticos no contaminantes. Los plásticos biodegradables producidos a partir de almidón pueden inyectarse, extruirse y termo formarse, igual como los plásticos convencionales derivados del petróleo y los productos obtenidos presentan las mismas propiedades características físico-químicas. (Ángeles Chero, 2015)

Los bioplástico existen en menor medida, derivados de fuentes renovables, tales como el ácido poli láctico. También hay plásticos derivados del almidón o fécula y de origen bacteriano como los polihidroxialcanoatos.

2.4. VENTAJAS Y DESVENTAJAS DE LOS BIOPLÁSTICOS

Como ventajas y desventajas se menciona lo siguiente.

2.4.1. Ventajas

- Los bioplásticos son sintetizados por muchas especies de distintos géneros bacterianos, por lo que contaminan menos que los plásticos convencionales.
- Su degradación cumple un papel muy importante en la supervivencia bacteriana y en los mecanismos de resistencia al estrés, en condiciones de baja concentración de nutrientes.

- Son termoplásticos y poseen propiedades similares a las de los plásticos derivados del petróleo.
- Pueden ser totalmente degradados por las bacterias que los producen, y por otras bacterias, hongos y algas.
- Pueden ser producidos a partir de recursos renovables.
- Su producción fermentativa utiliza productos derivados de la agricultura como fuente de carbono.
- Mientras que los plásticos derivados de hidrocarburos utilizan las escasas reservas petroquímicas del planeta, la producción de bioplástico se basa en la utilización de recursos renovables.

2.4.2. Desventajas

A pesar de las evidentes ventajas de los bioplásticos frente a los plásticos derivados del petróleo, su uso está muy limitado debido a solo una causa:

- Su alto costo de producción.

A este motivo se suma el poco conocimiento del sector industrial respectivo y es por lo que no se invierte en bioplásticos. Por este motivo, gran parte de las investigaciones realizadas sobre bioplásticos en los últimos años se han concentrado en reducir los costos de producción y aumentar la productividad utilizando diversas estrategias. Entre ellas se encuentran el rastreo de nuevas cepas productoras, la optimización de las estrategias de cultivo y producción.

2.5. USOS Y APLICACIONES DEL BIOPLÁSTICO

Con el gran avance tecnológico cada día se van mejorando las características de los biopolímeros para poder tener más aplicaciones en más áreas. Hoy en día los usos que se le da a estos materiales son los siguientes:

- Bolsas de plástico común, como las de supermercados.
- Accesorios de telefonía celular.

- En países vecinos, como Chile, se están utilizando en la agroindustria.
- Plásticos comunes (botellas, unicel, tapas, cubetas, bolsas etc.)
- Industria automotriz (pequeñas partes de los autos).

Son las aplicaciones más comunes que hasta el momento se le están dando, y conforme pase el tiempo y sigan las investigaciones se le irá dando nuevos usos; hasta el momento se está tratando de poder utilizarlos en la industria farmacéutica, fabricar celulares completos con biopolímeros, partes enteras de autos, llantas etc., día a día se va avanzando en la tecnología, así que no se encuentra lejano ese día en que se llegue a utilizar en todo lo que hasta el día de hoy se utiliza los polímeros fabricados con hidrocarburos.

2.6. MERCADO (INTERNACIONAL Y NACIONAL) DE LOS BIOPLÁSTICOS

No se cuenta con información fiable sobre el consumo de bioplástico tanto a nivel internacional o nacional, debido al poco mercado que estos ocupan de momento, la información no oficial encontrada señala que sobre el último informe sobre el mercado de los bioplásticos, de una consultora estadounidense Nano Markets, señala que para el año 2018 esta industria va a generar más de 6.000 millones de dólares a nivel mundial, pasando del 1% actual a un 7% para 2020, del mercado total de plásticos a nivel mundial.

2.7. TECNOLOGÍAS CONOCIDAS PARA LA PRODUCCIÓN DE BIOPLÁSTICO

Las tecnologías utilizadas para la fabricación de bioplásticos son relativamente simples, razón que motiva a su instalación a futuro en nuestro país.

Un proceso a escala industrial viene a requerir los siguientes equipos de manera general:

- **Mezclador.** Donde la fécula de yuca (**Manihot Esculenta**) es mezclada con agua a cierta temperatura.

- **Extrusor.** Donde se realiza la gelatinización y desestructuración de la mezcla y se calienta.
- **Enfriador.** Se enfría el material con el fin de solidificar y estabilizar la textura.
- **Cortador de pellets.** Se recorta el material en pequeñas piezas.
- **Secador.** Se retira el exceso de humedad, hasta ajustarse a las necesidades respectivas del material o función final.
- **Tamizador.** Para la clasificación del material saliente.

2.8. PROPIEDADES FISICOQUÍMICAS DE LOS BIOPLÁSTICOS

El bioplástico, es aquel que es capaz de pasar al proceso de la descomposición biológica, esto de manera que el bioplástico ya no sea visualmente reconocible y se desintegre en dióxido de carbón, compuestos inorgánicos y agua, además que no deja residuos tóxicos.

Según la “American Society for Testing & Materials” (Sociedad Americana de Prueba de Materiales) para que un plástico pueda ser llamado compostable debe cumplir con tres indicaciones. Estas son:

- Debe poder biodegradarse al mismo nivel que la celulosa (papel regular).
- Debe poder desintegrarse en la composta.
- La biodegradación no debe producir ningún tipo de residuo tóxico.

2.9. CLASIFICACIÓN DE LOS PLÁSTICOS EN GENERAL

Existen tres grupos importantes de plásticos:

- El primero son los sintetizados a partir de plásticos de monómeros que no son biodegradables.
Contiene a la gran mayoría de plásticos como polyester y poliuretanos. Algunas aplicaciones prácticas son las fibras textiles, espumas, cables, mangueras, aislamiento y demás productos similares. Su vida útil suele

extenderse por varios años, por los que se les considera muy durables y no se confía en su biodegradabilidad.

- El segundo lo conforman los plásticos de biomasa y biodegradables. Los plásticos de biomasa y biodegradables suelen estar hechos de aleaciones de materiales, como polímeros biodegradables con ácido poli-láctico. A diferencia de los materiales a base de celulosa, este segundo grupo ha estado presente en el área industrial por solo un par de años. La mayoría de los productos hechos con este tipo de bioplástico se utilizan para empaques y almacenamientos, aunque cada día se encuentran nuevos usos y aplicaciones.
- Los terceros están conformados por los plásticos basados en orígenes fósiles y que a su vez son biodegradables. Los plásticos biodegradables y basados en fósiles, son un grupo relativamente pequeño en comparación con los otros dos. Se utilizan principalmente en combinación con otros bioplásticos porque mejoran el rendimiento específico a ciertas aplicaciones de estos materiales. Esto último, se debe a su biodegradabilidad y propiedades físicas y químicas. Estos plásticos aún se obtienen de procesos de manufactura petroquímica, aunque en el futuro cercano, estará disponible una versión biobasada de cada uno de estos materiales.

2.10. MÉTODOS UTILIZADOS A NIVEL INDUSTRIAL EN LA PRODUCCIÓN DE BIOPLÁSTICO

El proceso de obtener almidón termo plastificado es una modificación que sufre la fécula. Para modificar las características como la resistencia mecánica, flexibilidad que le dan el carácter cristalino a la fécula dependen de la relación porcentual entre la amilosa y la amilopectina en la composición del almidón, y así también del grado de ramificación. Estas características pueden ser mejoradas modificando la estructura de la fécula, para lo cual existen 3 métodos:

- Método de cambios físicos por extrusión.

- Reacción de cambios químicos y microbianos
- Método de combinación de ambos métodos.

La información encontrada es escasa sobre las reacciones químicas presentes durante el proceso de obtención de bioplástico en referencia a partir de la fécula de yuca, la explicación es la más concisa y a la vez detallada encontrada para esta materia prima (fécula de yuca).

2.11. REVISIÓN BIBLIOGRÁFICA DE TRABAJOS RELACIONADOS A LA OBTENCIÓN DE BIOPLÁSTICO

Algunos métodos empleados en la producción de bioplástico a nivel industrial se explican a continuación:

2.11.1. Proceso patentado en EEUU

Lorcks, Pommeranz, Kurt, Emmerich y Kranenburg (2000) que solicitaron y recibieron la Patente N°6, 136,067 en octubre del 2000, en Estados Unidos, por su método para obtener almidón termoplástico, que consiste en esencia en lo siguiente: mezclar materias primas renovables conteniendo almidón, opcionalmente con aditivos líquidos, calentar y hacer reaccionar la mezcla para formar una masa fundida, enfriar y plastificar el material fundido y extrusarlo. Acondicionar el material extruido hasta el secado, y añadir glicerina (emulsionante), durante la etapa de extrusión el almidón se desintegra por efecto de la presión y temperatura. Normalmente es suficiente un contenido de agua de 10 a 20%. Adicionalmente el proceso adiciona otros aditivos como plastificantes, suavizantes, solubilizantes, hidrofobizantes, colorantes, y coadyuvantes para formar y/o mejorar la película. El almidón termo plastificado se extruye en forma de tiras, hilos u otras formas, es desintegrado en almidón termoplástico granulado e ingresa a una etapa de trituración.

2.11.2. Método termo mecánico para obtener bioplástico

La primera etapa para la preparación del almidón termoplástico es la mezcla del almidón con agua en proporciones que dependen de la calidad de plástico que se

quiere obtener. Una vez logrado una buena disolución del almidón, en 20 minutos aproximadamente, se somete a calentamiento hasta lograr una completa gelatinización, aquí el almidón se hincha formando una pasta viscosa, es ahí cuando se le añade un plastificante, que en el mejor de los casos puede ser glicerol o sorbitol. En algunos casos se puede agregar una mezcla de diferentes polioles (sorbitol + manitol). Se continúa la mezcla hasta lograr una completa dispersión homogénea. Hasta esta etapa ya se tiene formado un almidón plastificado (TPS).

En este estudio se afirma que el bioplástico puede ser comúnmente transformado bajo tratamiento térmomecánico como un termoplástico, usando máquinas convencionales para procesar plásticos, (por ejemplo, por extrusión).

El procesamiento térmico mecánico rompe los gránulos de almidón semi-cristalinos. Como la temperatura de fusión del almidón puro es sustancialmente mayor que su temperatura de descomposición hay una necesidad para usar plastificante, tal como el agua. Bajo la influencia de la temperatura y la fuerza cizalla, la rotura de la estructura cristalina de los gránulos se transforma en una fase continua de polímero. Para darle plasticidad se agrega glicerol o poli etilenglicol. Para mejorar las propiedades mecánicas se incluye celulosa como emulsificante.

El bioplástico se obtiene entonces por tratamiento con adecuada presión y temperatura en presencia del glicerol. Este penetra en los gránulos de almidón rompiendo la estructura cristalográfica inicial, y debido a la fuerza de cizalla y temperatura, el material se funde y forma una masa cristalina que no exhibe difracción. Si la energía térmica y mecánica provista al almidón es insuficiente el producto mostrará gránulos de almidón no fundido y con patrones característicos en difracto-gramas de Rayos X. Así también, el uso de insuficiente cantidad de plastificante da como resultado destrucción incompleta de la estructura cristalográfica del almidón.

Horas después del proceso térmico mecánico el almidón desarrolla un nuevo tipo de cristalinidad.

2.11.3. Método brasileño para obtener bioplástico

Un método de obtención de bioplástico a partir de la harina de yuca, ha sido desarrollado en Brasil (Delia Rita Tapia, 2011), pero que utiliza para la reacción de reticulación una solución de epíclorhidrina que es una sustancia con muy buenas propiedades reticulantes haciendo al material más resistente y que da mayor rigidez a las moléculas, ya que forma enlaces cruzados, pero es una sustancia cancerígena, motivo por el cual no considero que debería utilizarse ya que en muchos casos el bioplástico está en contacto con alimentos y dada la variedad de condiciones a las que son expuestas, existe el riesgo de contaminar, y como tal pierde la razón de ser del bioplástico que se quiere obtener.

Cabe destacar que la reticulación es una reacción química presente en la química de los polímeros e implica la formación de una red tridimensional formada por la unión de las diferentes cadenas poliméricas.

2.12. CARACTERÍSTICAS COMÚNMENTE EMPLEADAS EN LA CARACTERIZACIÓN DE PLÁSTICOS.

Algunas características definidas en los plásticos son las siguientes:

- **Densidad.** Cantidad de materia por unidad de volumen, cuanto más amorfa es su estructura menor es su densidad.
- **Elasticidad.** Capacidad recuperar su forma primitiva después de haber sido deformado.
- **Conductancia.** Capacidad de conducción calorífica o eléctrica de un material. Los plásticos no son conductores ni de calor ni de la electricidad.
- **Impermeabilidad.** Propiedad de las sustancias que impide pasar los líquidos.
- **Temperatura de fusión.** Temperatura en la cual un sólido pasa a líquido. Los plásticos funden a baja temperatura.

- **Dilatación.** Aumento del volumen de un cuerpo al aumentar su temperatura.
- **Maleabilidad.** Capacidad de un material de sufrir deformación sin rotura. Los plásticos son deformables; forman láminas fácilmente.
- **Ductilidad.** Propiedad de un material de poder estirarse en hilos. Los plásticos son fácilmente hilables.
- **Fragilidad.** Falta de resistencia a la rotura por choque. Los plásticos no son frágiles.
- **Rigidez.** Resistencia al cambio de forma. Los plásticos son poco rígidos.
- **Tenacidad.** Resistencia a la rotura por fuerzas de tracción. Los plásticos son tenaces.

2.13. PROCESO GENERAL DE LA OBTENCIÓN DE LOS BIOPLÁSTICOS A PARTIR DE LA FÉCULA DE YUCA

2.13.1. Gelatinización.

Se define como la pérdida de semicristalinidad de los granos de fécula en presencia de calor y altas cantidades de agua con muy poca o ninguna despolimerización. Los granos de fécula son insolubles en agua y en solventes orgánicos. En suspensión acuosa los granos tienden a hincharse por la acción del calor, a perder sus propiedades cristalinas y a una temperatura crítica forman un gel. (9) Durante la gelatinización el agua penetra inicialmente en las regiones amorfas iniciando el hinchamiento y produciendo una disminución en la birrefringencia. Esta es la primera etapa en muchos casos de la utilización de la fécula donde se observa el comportamiento de un fluido no newtoniano.

Luego el agua desaloja las cadenas de fécula desde la superficie de los cristales a medida que la temperatura aumenta; la movilidad térmica de las moléculas y la solvatación producida por las fuerzas de hinchamiento provocan una disminución de la cristalinidad por el desenrollado de las dobles hélices, hasta que la estructura granular es fragmentada casi completamente obteniéndose un sol-gel. La principal diferencia entre la preparación de geles, comidas, películas o materiales

procesados de fécula termoplástico (TPS) es la cantidad de agua o plastificante durante la gelatinización o fusión de los gránulos de fécula. Para la obtención de la fécula termo plastificado, la fécula se funde con la ayuda de una cantidad relativamente baja de agua, moldeo por presión o moldeo por inyección, donde la cantidad de agua está por debajo del 20% en la mayoría de los casos. Parte del agua generalmente se reemplaza por pequeñas cantidades de glicerina. Las diferencias en el contenido de agua y glicerina y las condiciones de procesamiento tales como: la velocidad de cizalladura y temperatura producen diferencias en la formación de la red de fécula y en la morfología del material producido. (Ruiz, 2005).

2.13.2. Desestructuración.

El proceso de desestructuración de la fécula natural es la transformación de los granos de fécula semicristalina en una matriz homogénea de polímero amorfo y en la destrucción de los enlaces de hidrógeno entre las moléculas de fécula, de un lado y la despolimerización parcial de las moléculas del otro. Los factores fisicoquímicos que participan en el proceso son: temperatura, esfuerzo cortante, velocidad de cizalladura, tiempo de residencia, contenido de agua, y cantidad total de energía aplicada. La amilopectina se despolimeriza inicialmente y luego la amilosa, con la aplicación de mayor energía.

La desestructuración también puede ocurrir cuando se aplica calor. El aumento de temperatura incrementa la solubilidad de la fécula en agua produciéndose una despolimerización significativa alrededor de los 150 °C, sin embargo, solamente por encima de 190 °C puede confirmarse el incremento de la solubilidad. Cuando se aumenta el contenido de humedad de la mezcla disminuye el grado de desestructuración.

Durante el proceso de extrusión la cizalladura produce como resultado la fragmentación de los gránulos de la fécula, la cual se evidencia por la parcial o completa destrucción de la estructura cristalina de éste, cuando se observa utilizando difracción de rayos X; adicionalmente disminuye la viscosidad o

aumenta la solubilidad de la fécula en solución después de la extrusión, debido a la polimerización en cadenas moleculares dispuestas en forma desordenada.

2.13.3. Almidón Modificado

El almidón nativo es hidrofílico y según la humedad relativa puede absorber más o menos una cantidad significativa de agua. Como la temperatura de transición vítrea (T_g) es muy sensible al contenido de agua, las propiedades mecánicas del material muestran cambios importantes dependiendo de la variación en la humedad relativa.

La modificación de la fécula se hace con el fin de aumentar su hidrofobicidad, para lo cual existen diferentes métodos tales como la acetilación, hidrólisis ácida, esterificación, eterificación, oxidación, reticulación y conversión enzimática. Los almidones modificados incluyen los geles móviles, fécula o almidones alquínicos, dextrinas, amino almidones, almidones dialdehídicos, entre otros.

Las modificaciones comerciales más importantes del almidón son aquellas a las cuales solamente reaccionan algunos grupos hidroxilo. Normalmente los grupos éster o éter son ligados con niveles bajos de grados de sustitución. Los gránulos modificados y los no modificados se observan iguales pero los bajos niveles de modificación producen cambios dramáticos en las propiedades de los almidones o féculas y aumentan sus aplicaciones. En la tabla se observan algunas características obtenidas en los almidones o féculas mediante la modificación.

Tabla II- 1: Algunas características impartidas a los almidones por modificación

Modificación	Principales características
Pre gelatinización	Solubilidad y dispersión sin calentamiento. Hinchamiento en agua fría.
Esterificación y Acetilación	Mejora la claridad de las pastas y la estabilidad a bajas temperaturas. Fácil de cocinar.
Fosforación	Mejora la claridad de las pastas y la estabilidad. Estabilidad al descongelarse.
Octenilsuccinilación	Emulsificación y Propiedades estabilizantes a la emulsión.
Reticulación con ésteres fosfatados	Incremento de la viscosidad. Estabilidad al calor, a la cizalladura, y a condiciones ácidas. Estabilidad durante el almacenamiento.
Eterificación /hidroxipropilación	Mejora la claridad de las pastas y su estabilidad. Estabilidad al descongelarse. Fácil de cocinar.

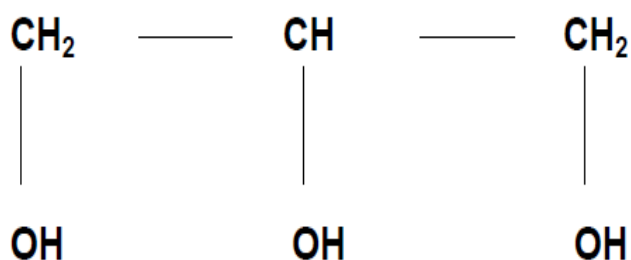
Fuente: Ruiz, 2005

2.14. PLASTIFICANTES

En ausencia de aditivos, las películas fabricadas de almidón o fécula son frágiles. Los plastificantes generalmente se adicionan para convertir el almidón o fécula en un material termoplástico (TPS), con el fin de obtener formas extruidas u objetos moldeados. Pueden definirse como sustancias de bajo peso molecular que se incorporan en una matriz polimérica para incrementar su flexibilidad y su

procesabilidad. La glicerina, cuya estructura se observa en la siguiente figura y el agua son los plastificantes más utilizados para el almidón o fécula. También se utilizan el xilitol, sorbitol y maltiol cuya estructura química y propiedades físicas se muestran en la tabla tres (Ruiz, 2005)

Figura 2- 1 Estructura de la Glicerina



Fuente: (Alejandra de Almeida, Revista Química Viva, 2004)

Tabla II- 2: Principales propiedades químicas y físicas de algunos plastificantes

	Glicerina	Xylol	Sorbitol	Maltiol
Num. de Carbonos	3	5	6	12
Peso molecular (g/mol)	92	152	182	344
Temperatura de fusión (°C)	20	94	100	157
Estabilidad de calor (°C)	>160	160>	>160	>160
Higroscopicidad	alto	alto	media	media

Fuente: (Alejandra de Almeida, Revista Química Viva, 2004)

2.15. RELLENOS

Se adicionan al almidón termoplástico con el fin de mejorar algunas propiedades o de dar volumen para reducir costos. Los más utilizados son rellenos inorgánicos tales como: el caolín que mejora el acabado superficial disminuyendo la porosidad, la mica y otras arcillas proporcionan una superficie con brillo, cuando el tamaño de partículas es muy fino, el vidrio en forma de pequeñas esferas proporciona transparencia. Los geles inorgánicos de sílice, como el silicato de calcio y aluminato de calcio y las zeolitas se agregan con el fin de absorber agua y reducir el efecto negativo del agua durante el procesamiento de los almidones termoplásticos. Los geles o los micro geles absorben fácilmente la humedad del aire por lo cual pueden reducir la sensibilidad a la humedad que tienen los almidones termoplásticos.

También pueden adicionarse como rellenos metales y sus aleaciones tales como: acero, hierro, acero inoxidable y cobre; alúmina, carbonato de calcio, carbonato de magnesio, talco, dióxido de titanio, entre otros. (Ruiz, 2005)

2.16. FIBRAS

Las fibras se adicionan preferiblemente en artículos moldeados de almidón termoplástico o sus mezclas, con el fin de aumentar su flexibilidad, tenacidad, resistencia a la flexión y a la tensión. Las fibras pueden ser orgánicas o inorgánicas. Las orgánicas incluyen fibras de celulosa obtenidas de la madera, hojas de plantas, algodón, papel reciclado etc. Las fibras inorgánicas se obtienen del vidrio, grafito, sílice, cerámicos o metales.

Las fibras con relaciones de longitud a espesor (relación de aspecto) altas producen mayor resistencia mecánica a la matriz de almidón termoplástico.

En muchos casos se incluyen diferentes tipos de fibras para combinar diferentes propiedades como por ejemplo alta resistencia y alta ductilidad.

2.17. BIODEGRADABILIDAD

La norma ASTM D 5488-944 define la biodegradabilidad como la capacidad de un material de descomponerse en dióxido de carbono, metano, agua y componentes

orgánicos o biomasa, en el cual el mecanismo predominante es la acción enzimática de microorganismos.

En general, un polímero es biodegradable si su degradación resulta de la acción natural de microorganismos como bacterias, hongos y algas.

Existen varios factores requeridos para que pueda darse un proceso de biodegradación: Presencia de microorganismos, presencia de aire (en caso de que se requiera) humedad y minerales necesarios, temperatura adecuada dependiendo del tipo de microorganismo (entre 20 °C y 60 °C) y un valor de pH adecuado (entre 5 y 8).

La degradación de un polímero puede definirse como un cambio en la estructura química que conlleva una modificación apreciable de sus propiedades.

2.18. POLÍMEROS BIODEGRADABLES.

La primera generación de polímeros biodegradables se desarrolló en los 80`s con poli olefinas con almidón como aditivo, el cual hacía que el artículo se fragmentara en pequeños pedazos en un ambiente biodegradable. Estos materiales biodegradables no fueron aceptados y en 1990 los productores se vieron forzados a retirarlos del mercado.

La segunda generación de polímeros totalmente biodegradables ha sido recientemente introducida en el mercado, sin embargo, su costo es mayor que el de los polímeros tradicionalmente utilizados en la fabricación de empaques. La industria ha estado trabajando en disminuir los costos incrementando la capacidad de producción y mejorando la tecnología de los procesos. Algunos polímeros biodegradables de esta generación son:

- Polímeros basados en almidón.
- Polis lácticos.
- Poli hidroxyalcanoatos.
- Poli caprolactonas.

Muchos estudios realizados en la pasada década, se han centrado en las síntesis de mezclas basadas en almidón las cuales muestran excelente procesabilidad y buenas

propiedades mecánicas cuando se mezclan con polímeros sintéticos que contienen grupos funcionales reactivos. (Ruiz, 2005)

2.19. DISPONIBILIDAD DE MATERIA PRIMA

La yuca (*Manihot Esculenta*) es originaria de América del Sur y consiste en una raíz dividida en múltiples tubérculos de forma cilíndrica, los cuales se consumen como una verdura exótica. Provee energía, es antiinflamatoria, anti anémica, anti infecciosa, además de ser muy digestiva. También favorece la circulación sanguínea y estimula el sistema inmunitario.

Figura 2- 2 Yuca (manihot esculenta) en estado natural



Fuente: (Dra. Cacerola, 2013)

La yuca (**Manihot Esculenta**) no es cultivada a gran escala en la provincia Cercado ya que se prefiere cultivar legumbres por ser más rentables económicamente; pero en provincias muy cercanas como la comunidad de Los Pozos, en el municipio de Bermejo, su principal cultivo es la yuca, ya desde hace décadas los comunarios se dedican a ese cultivo. Así lo indicó el ex secretario general de la Organización Territorial de Base (OTB), Félix Mamani, quien indicó que esa producción se convirtió en la principal actividad económica de esa zona.

Mamani explicó que desde la creación de la comunidad los primeros habitantes se dedicaron a la producción de yuca y camote, eso data de hace más de 15 años. Por esa razón ahora se busca promocionar esa actividad con la realización de una feria educativa, de esa manera esperan conseguir apoyo con proyectos para mejorar la productividad, comercialización y transformación de los productos mencionados.

El comunario dijo que cada habitante en Los Pozos siembra, mínimamente, media hectárea de yuca y otra media hectárea de camote, debido a que la caña de azúcar perdió su valor adquisitivo. “La mayoría procedió a revolver los cañales y sembrar yuca y camote por ser considerados rubros rentables y de alta demanda en los mercados de Bermejo y Tarija”, indicó.

Sin embargo, pese a la rentabilidad de esa producción, los agricultores no reciben asistencia técnica, dotación de semillas mejoradas o insecticidas para salvaguardar sus cultivos. Tampoco hay un proyecto destinado a brindar apoyo a los productores. “La yuca es altamente rentable, toda la producción se vende sin dificultad. En el caso del camote blanco, rosado y la batata es más rendidor que la papa y la yuca, no necesitan mucho trabajo y cuidados, no se invierte dinero y solamente requiere de una sola desyerbada”.

El Instituto Nacional de Estadística informó el 10 de octubre de 2017; que el municipio de Porvenir, perteneciente al departamento de Pando, en el año agrícola 2012-2013 registró una producción de 17.800,5 quintales de yuca, según el Censo Agropecuario 2013.

2.20. FÉCULA DE YUCA (MANIHOT ESCULENTA)

Los gránulos de fécula están formados por amilosa y amilopectina constituido por unidades de glucosa, presentan diámetros entre 15-100 μm . La amilosa, generalmente el menor componente, presenta una estructura lineal constituida por monómeros de glucosa ligados únicamente por enlaces α -1,4. Forma muchos complejos insolubles con un gran número de moléculas que generalmente se precipitan. La amilopectina es generalmente el mayor componente y es altamente ramificada, formada por monómeros de glucosa ligados por enlaces α -1,4 y α -1,6 (Ruiz, 2005).

Recientemente la fécula ha adquirido nueva importancia como materia prima en la producción de plásticos, y en particular para la síntesis de monómeros para producir polímeros tal como el ácido poliláctico (PLA) y después de una modificación química (esterificación) y procesamiento termodinámico, para producir fécula termo

plastificado (Aristizába. Sánchez, Mejía, 2007). La fécula es uno de los materiales más versátiles, baratos, fácilmente disponible por su potencial uso en la tecnología de los polímeros (Vilpoux & Averous., 2002).

2.21. CARACTERÍSTICAS DE LA FÉCULA DE YUCA

Es un polvo muy fino, muy blanco que se seca y tiene las propiedades de dar ligereza, de ligar o unir (sustituto de huevo), da textura ligeramente chiclosa. Una manera de verlo es así, piensa en que la fécula de yuca es como la maicena y la harina de yuca es como la harina de maíz.

2.22. PROPIEDADES DE LA FÉCULA DE YUCA

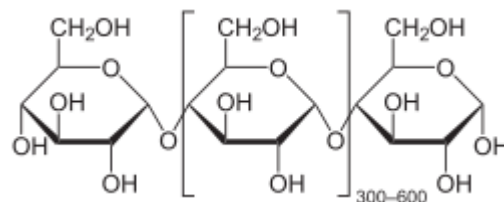
La fécula obtenida a partir de la raíz de la yuca, una harina blanca, sin aroma y sabor ligeramente dulce. Siendo uno de los sustitutos del gluten que más beneficios le aporta al organismo.

Una porción de almidón de yuca aporta 1.5 g de fibra, 30 mg de calcio y 0 g de colesterol. También es bajo en sodio, lo que lo hace ideal en recetas que ayudan a problemas de presión arterial y enfermedades cardiovasculares.

2.23. ESTRUCTURA DE LA FÉCULA DE YUCA

Químicamente la fécula de yuca es un polisacárido homogéneo formado por la mezcla de dos polisacáridos diferentes: amilosa y amilopectina.

Figura 2- 3 Estructura química de la fécula de yuca



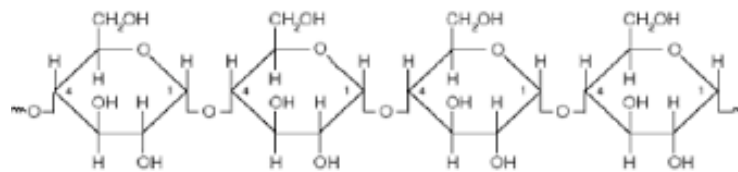
Fuente: (Paul Chavarria, Estructura química de la fécula, 2015)

2.23.1. Amilosa

Es el producto de la condensación de D-glucopiranosas por medio de enlaces glucosídicos (1,4), que establece largas cadenas lineales con 200-2500 unidades

y pesos moleculares hasta de un millón; es decir, la amilosa es una α -D- (1,4)-glucano cuya unidad repetitiva es la α -maltosa. Tiene la facilidad de adquirir una conformación tridimensional helicoidal, en la que cada vuelta de hélice consta de seis moléculas de glucosa. El interior de la hélice contiene solo átomos de hidrógeno, y es por tanto lipofílico, mientras que los grupos hidroxilos están situados en el exterior de la hélice. La mayoría de los almidones contienen entre 17 – 25% de amilosa (León, Leszek, 2006).

Figura 2- 4 Estructura química de la amilosa

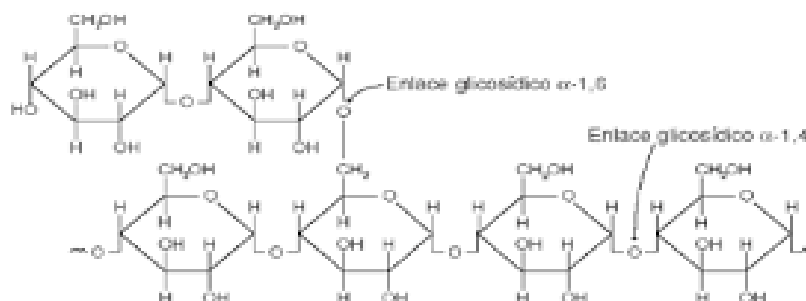


Fuente: (Paul Chavarria, Estructura química de la amilosa, 2015)

2.23.2. Amilo pectina

Es un polisacárido que se diferencia de la amilosa en que contiene ramificaciones que le dan una forma molecular parecida a la de un árbol: las ramas están unidas al tronco central (semejante a la amilosa) por enlaces α -D- (1,6), localizadas cada 25-30 unidades lineales de glucosa. Su peso molecular es muy alto ya que algunas fracciones llegan a alcanzar hasta 200 millones de daltones. La amilo pectina constituye alrededor del 75 a 83% en peso del almidón, (León, Leszek, 2006).

La amilo pectina comprende cerca del 75% del gránulo es la mayor responsable de la cristalinidad del gránulo. El almidón muestra distintas estructuras cristalinas que dependen de la fuente, y fácilmente puede ser identificado por difracción de Rayos-X.

Figura 2- 5 Estructura química del amilo pectina

Fuente: (Paul Chavarria, Estructura química del amilo pectina, 2015)

2.24. CONSIDERACIONES PARA EL DISEÑO DEL PROCESO DE OBTENCIÓN

Para la obtención del bioplástico, la fécula se funde con la ayuda de una cantidad baja de agua, moldeo por presión o moldeo por inyección, donde la cantidad de agua está por debajo del 20% en la mayoría de los casos.

Parte del agua generalmente se reemplaza por pequeñas cantidades de glicerina.

De acuerdo a la revisión bibliográfica los plastificantes más utilizados a la hora de producir bioplásticos son los siguientes.

Tabla II- 3: Plastificantes más empleados en la producción de bioplásticos

Propiedades	Glicerina	Xylol	Sorbitol	Maltiol
Número de carbonos	3	5	6	12
Peso molecular (g/mol)	92	152	182	344
Temperatura de fusión (°C)	20	94	100	157
Estabilidad al calor (°C)	>160	>160	>160	>160
Higroscopicidad	alto	alto	Media	Media

Fuente: (Alejandra de Almeida, Revista Química Viva, 2004)

2.25. SELECCIÓN DEL MÉTODO

De estos el más empleado es la glicerina debido a su propiedad relacionada a su baja temperatura de fusión, y desde un punto de vista del proceso el costo de producción se vería afectado debido al incremento de la temperatura de fusión en comparación a los otros plastificantes empleados en la obtención de bioplásticos.

El ácido acético a utilizar en este método tiene buenas propiedades mecánicas, como la flexibilidad y la resistencia, y es fácil de conseguir.

Esta es la razón principal de la selección del método empleado, ya que para realizar otro tipo de método se requeriría otros equipos los cuales no se tienen en laboratorio.

CAPÍTULO III
PARTE EXPERIMENTAL

3.1. INTRODUCCIÓN DE LA INVESTIGACIÓN

Para realizar la obtención de bioplástico a partir de fécula de yuca, se evaluó el efecto de las concentraciones de los plastificantes (Glicerina y Ácido acético) y la temperatura sobre las propiedades mecánicas de los bioplásticos obtenidos a partir de la fécula de yuca, aplicando un diseño factorial 2^k (k: factores)

Tabla III- 1: Factores involucrados y variables respuestas

Factores	Niveles	Variables de Respuesta
Temperatura (C)	62	Módulo de elasticidad y tensión.
	68	
Glicerina (ml)	3	
	7	
Ácido acético (ml)	3	
	5	

Fuente. Elaboración propia.

3.2. DISEÑO FACTORIAL DEL PROCESO DE OBTENCIÓN DEL BIOPLÁSTICO

3.2.1. Planteamiento del problema

Bajo la revisión bibliográfica de trabajos relacionados a la obtención de bioplástico se determinó los factores involucrados en la obtención de bioplástico.

3.2.2. Factores y dominio experimental

Los factores escogidos por el experimentador y su dominio experimental se muestran en la TABLA II-1. El dominio experimental de un factor continuo se expresa con los valores mínimo y máximo que puede tomar y se asigna la notación codificada: **1** al nivel inferior y **2** al nivel superior (1 y 2 para simplificar).

Tabla III- 2: Factores y dominio experimental para la etapa de activación

Factores	Dominio experimental	
	Nivel (1)	Nivel (2)
A: Temperatura (°C)	62	68
B: Glicerina (ml)	4	7
C: Ácido acético (ml)	3	5

Fuente: Elaboración propia.

3.2.3. Matriz de experimentos para la etapa de obtención: el diseño factorial completo 2^3

Con los factores y niveles seleccionados para esta etapa se realiza la matriz correspondiente.

Tabla III- 3: Matriz de experimentos de un diseño factorial completo 2³, plan de experimentación

Prueba	Matriz de experimentos			Plan de experimentación		
	A ₁	B ₂	C ₃	Temperatura (C)	Glicerina (ml)	Ac. acético
1	a ₁	b ₁	c ₁	62	4	3
2	a ₂	b ₁	c ₁	68	4	3
3	a ₁	b ₁	c ₁	62	7	3
4	a ₂	b ₂	c ₁	68	7	3
5	a ₁	b ₂	c ₂	62	4	7
6	a ₂	b ₂	c ₂	68	4	7
7	a ₁	b ₃	c ₂	62	7	7
8	a ₂	b ₃	c ₂	68	7	7

Fuente: Elaboración propia.

De acuerdo a los experimentos realizados en diferentes trabajos relacionados a la obtención de bioplásticos la concentración de fécula óptima está entre los 70% a 90% del total del producto a obtener.

3.3. MATERIALES Y MÉTODOS

3.3.1. Materiales y equipos utilizados

Los materiales y equipos con los que se planea llevar el presente proyecto son:

- Vasos de precipitado
- Calentador eléctrico.

- Pipeta
- Matraces aforados
- Tamizador eléctrico.
- Crisoles.
- Bureta.
- Balanza analítica.
- Equipo de baño María

3.3.2. Reactivos

Los reactivos necesarios son los siguientes:

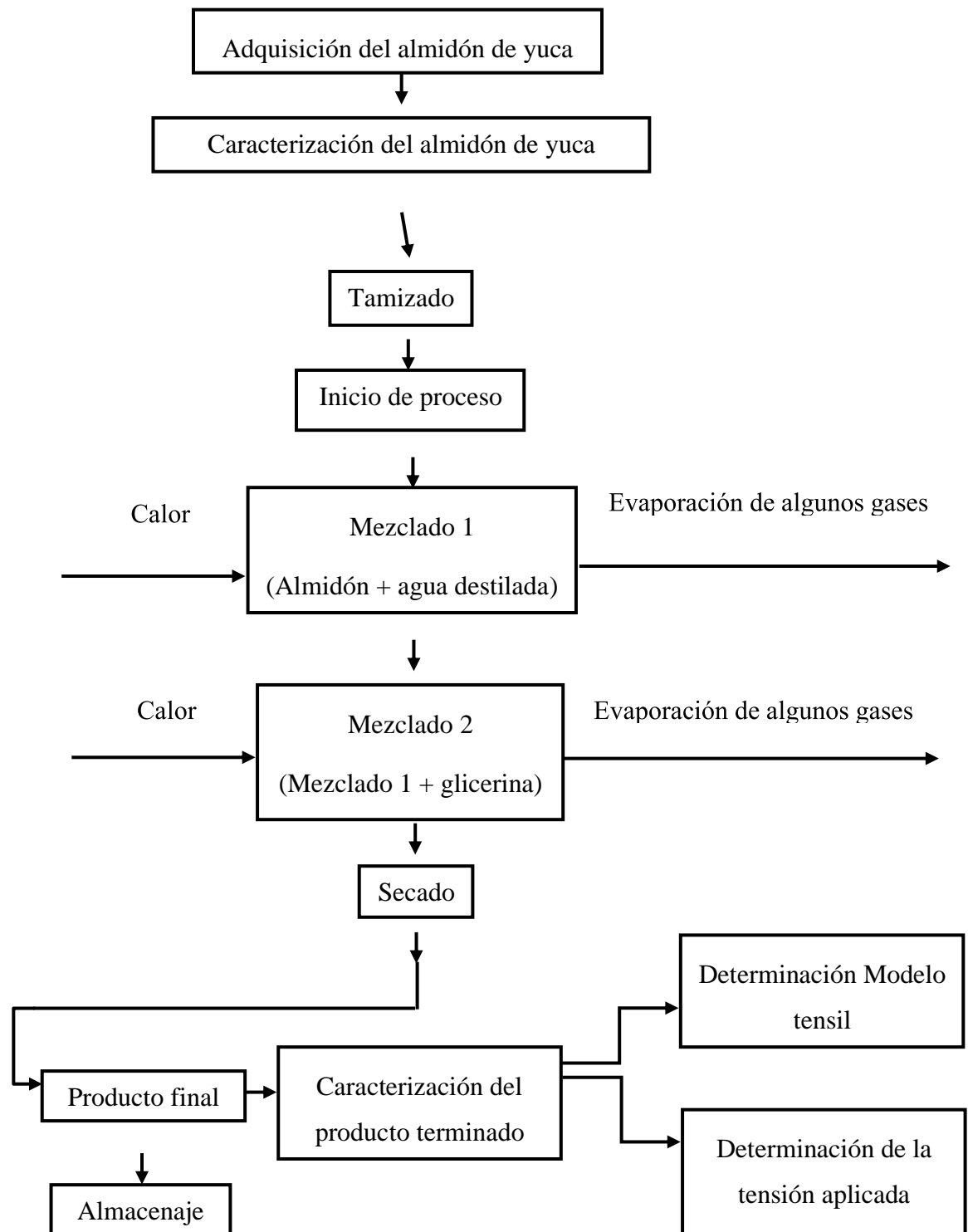
- Agua destilada.
- Glicerina
- Fécula de yuca
- Ácido acético

3.4. ETAPAS DEL PROCESO

En general el proceso de obtención se realiza a una temperatura controlada mientras se mezcla el almidón de yuca con los plastificantes, como ser: el agua destilada, ácido acético y la glicerina en las proporciones recomendadas por trabajos similares.

Posterior a esto se caracteriza las muestras obtenidas a fin de determinar la eficiencia del proceso y la calidad del producto obtenido

Figura 3- 1 Diagrama del proceso de obtención



Fuente: Elaboración propia.

3.4.1. Adquisición de la fécula de yuca

La fécula de yuca se adquirió de una empresa nacional (ciudad de Santa Cruz).

3.4.2. Caracterización de la fécula de yuca

Los datos de caracterización se obtuvieron de la marca comercial la cual se utilizó para la obtención del bioplástico

3.4.3. Tamizado

Se tamizó la fécula de yuca necesaria para el proceso de obtención para eliminar grumos o impurezas de la fécula utilizando el tamiz de malla 0.25 m. m.

Figura 3- 2 Proceso de tamizado de la fécula de yuca



Fuente: Elaboración propia.

3.5. PROCESO DE OBTENCIÓN DEL BIOPLÁSTICO

3.5.1. Proceso de Gelatinización

Se colocó en un vaso de precipitados una masa de fécula de yuca y se llevó a baño María a una temperatura constante de 65 °C; se adicionó 60 ml de agua destilada y se mezcló la muestra por varios minutos hasta obtener una masa homogénea gelatinizada.

Figura 3- 3 Proceso de gelatinización



Fuente: Elaboración propia.

3.5.2. Proceso de plastificación

A la muestra gelatinizada se le agregó los plastificantes en cantidades necesarias según la bibliografía para la obtención de bioplástico de fécula de yuca, como ser la glicerina y el ácido acético.

Figura 3- 4 Proceso de plastificación

Fuente: Elaboracion propia.

3.5.3. Pesado

Se pesó cada una de las muestras obtenidas a fin de determinar el rendimiento del proceso y se colocó las muestras obtenidas en recipientes plásticos para ser secados.

Figura 3- 5 Pesado de las muestras obtenidas de bioplástico

Fuente: Elaboración propia.

3.5.4. Secado

Se colocó las muestras pesadas en la mufla eléctrica para retirar el exceso de humedad y llegar a una humedad adecuada para los bioplásticos por el lapso de 5 días.

Figura 3- 6 Secado de las muestras de bioplástico

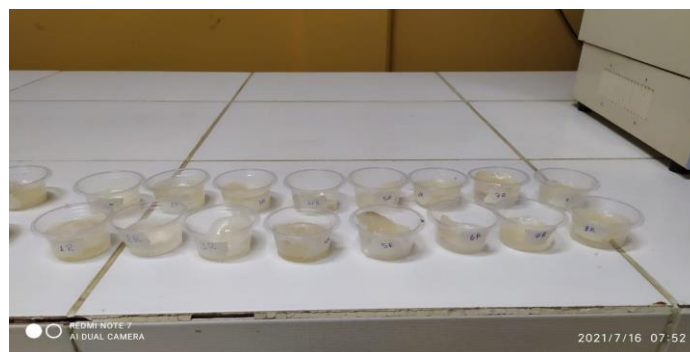


Fuente: Elaboración propia.

3.5.5. Pesaje final y almacenaje

Terminado el proceso de secado se pesó y guardó las muestras obtenidas a fin de realizar las pruebas de control como ser la determinación del módulo tensil (resistencia a la deformación) y la tensión (resistencia a la tracción) a fin de determinar los parámetros obtenidos para el proceso.

Figura 3- 7 Pesaje final y almacenaje



Fuente: Elaboración propia.

3.6. PROCESO DE CARACTERIZACIÓN DE LOS BIOPLÁSTICOS OBTENIDOS EN LABORATORIO

3.6.1. Módulo tensil y tensión del bioplástico

Las propiedades para el módulo tensil y tensión del bioplástico fueron medidas en el equipo de medida para módulo de elasticidad (módulo de Young) que consta de un equipo que tiene una escala circular, se asemeja a un reloj que mide la deformación con exactitud de lectura de 0,01 mm y a partir de los datos obtenidos se calcula el módulo tensil y de tensión.

El material se deforma hasta un máximo, denominado punto de ruptura; entre el límite de la deformación elástica y el punto de ruptura tiene lugar la deformación plástica.

Se utilizó muestras de bioplástico de 9 mm de ancho, 7 mm de longitud y 2 mm de espesor, para esto se fue añadiendo pesos desde 15,94 gramos fuerza (gf) hasta un promedio de 289,94 gramos fuerza (gf) donde se observa un cambio en el material tratado (ruptura de la muestra).

Las pruebas se realizaron en el laboratorio de física perteneciente a la UAJMS.

Figura 3- 8 Pesos utilizados para la prueba de resistencia del bioplástico obtenido





Fuente: Elaboración propia.

Figura 3- 9 Equipo utilizado para medir la resistencia del bioplástico obtenido





Fuente: Elaboración propia.

Figura 3- 10 Momento de ruptura del bioplástico obtenido



Fuente: Elaboración propia.

CAPÍTULO IV
RESULTADOS Y DISCUSIÓN

4.1. RENDIMIENTO DE LAS MUESTRAS DE BIOPLÁSTICOS DE FÉCULA DE YUCA

Los siguientes resultados muestran el rendimiento alcanzado por los bioplásticos obtenidos en laboratorio, los cuales indican buenos rendimientos a comparación de trabajos similares.

Tabla IV- 1: Resultados de los rendimientos de los bioplásticos

Muestras	Temp (C)	Glicerina (ml)	Ac Acético (ml)	Masa Humedad Obtenida		Promedio (g)	Masa seca (g)
				Rep. 1	Rep. 2		
1	62	4	3	169,3058	169,01	169,1579	50,74737
2	68	4	3	179,317	178,89	179,1035	53,73105
3	62	7	3	178,53	178,01	178,27	53,481
4	68	7	3	184,4	185,07	184,735	55,4205
5	62	4	7	166,85	165,71	166,28	49,884
6	68	4	7	185,11	184,11	184,61	55,383
7	62	7	7	183,09	184,04	183,565	55,0695
8	68	7	7	182,3	182,09	182,195	54,6585

Fuente: Elaboración propia.

En la tabla IV-I se muestra el peso en la gelatinización y el peso final de bioplástico obtenido.

Los mejores resultados para la obtención de bioplástico fueron bajo las condiciones en la muestra 3 y 4.

4.2. DETERMINACIÓN DEL MÓDULO TENSIL

Tabla IV- 2 Módulo Tensil

Muestras	Temp (C)	Glicerina (ml)	Ac Acético (ml)	Módulo tensil (N/cm ²)		Promedio
				Réplica 1	Réplica 2	
1	62	4	3	270,977	269,038	270,0075
2	68	4	3	151,169	122,29	136,7295
3	62	7	3	122,445	115,854	119,1495
4	68	7	3	239,968	236,791	238,3795
5	62	4	7	294,866	299,094	296,98
6	68	4	7	146,825	150,901	148,863
7	62	7	7	279,479	238,253	258,866
8	68	7	7	262,308	256,343	259,3255

Fuente: Elaboración propia.

El módulo tensil fue muy variable como se muestra en la tabla IV-2 , esto por la variación del ac. Acético y la glicerina; también se pudo observar que cuando estas dos variables están en cantidades similares el módulo tensil aumenta.

4.3. DETERMINACIÓN DE LA TENSIÓN APLICADA

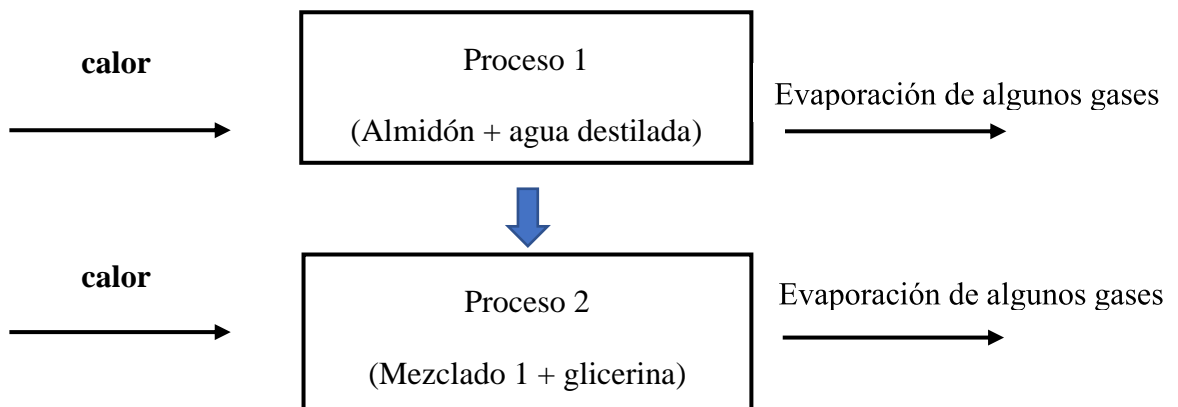
Tabla IV- 3 Tensión Aplicada

Muestras	Temp (C)	Glicerina (ml)	Ac Acético (ml)	Tensión (N/cm ²)		Promedio
				Réplica 1	Réplica 2	
1	62	4	3	14,033	13,831	13,932
2	68	4	3	13,165	12,469	12,817
3	62	7	3	13,169	12,789	12,979
4	68	7	3	14,901	14,128	14,5145
5	62	4	7	15,79	16,973	16,3815
6	68	4	7	13,165	13,379	13,272
7	62	7	7	14,901	16,109	15,505
8	68	7	7	15,79	17,512	16,651

Fuente: Elaboración propia.

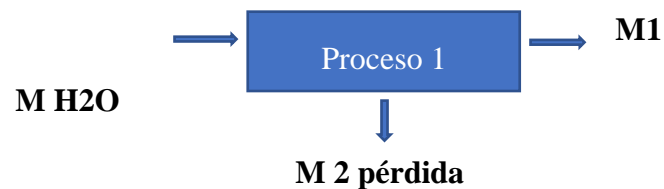
En la tabla IV-3 se muestra las tensiones máximas de cada muestra de bioplástico de fécula de yuca de diferentes concentraciones, para esto se fue aumentando los pesos hasta la ruptura del bioplástico.

4.4. BALANCE DE MATERIA EN EL PROCESO DE BIOPLÁSTICO



4.4.1. Balance de masa en el Proceso 1

M almidón



$$M_{\text{almidón}} = 10 \text{ g}$$

$$M_{\text{H}_2\text{O}} = 60 \text{ g}$$

$$M_{\text{inicial}} = M_{\text{almidón}} + M_{\text{H}_2\text{O}}$$

$$M_{\text{inicial}} = 60 \text{ g} + 10 \text{ g} = 70 \text{ g}$$

$$M_2 \text{ pérdida} = X_1 M_{\text{inicial}}$$

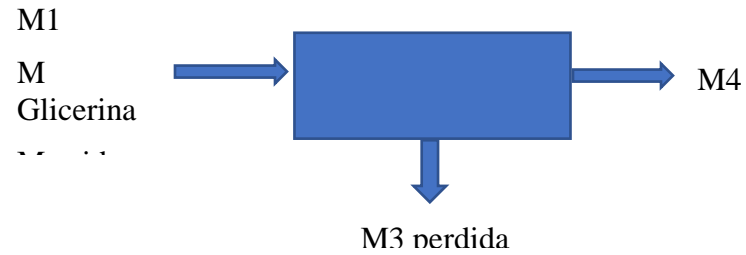
$$M_1 = M_{\text{almidón}} + M_{\text{H}_2\text{O}} - (u * M_2)$$

Dónde: u es la constante de permeabilidad

$$M_1 = 10 \text{ g} + 60 \text{ g} - (0.025 * 70 \text{ g}) = 68.25 \text{ g}$$

4.4.2. Balance de masa en el Proceso 2++

$M_1 + M_{\text{glicerina}} + M_{\text{ácido acético}}$



$$M_{\text{glicerina}} = 1.2613 \frac{\text{g}}{\text{ml}} * 5 \text{ ml} = 6.31 \text{ g}$$

$$M_{\text{ácido}} = 1.05 \frac{\text{g}}{\text{ml}} * 3 \text{ ml} = 3.15 \text{ g}$$

$$M_{2 \text{ inicial}} = M_1 + M_{\text{glicerina}} + M_{\text{ácido}}$$

$$M_{\text{inicial}} = 68.25 \text{ g} + 6.31 \text{ g} + 3.15 \text{ g} = 77.71 \text{ g}$$

$$M_3 = X_3 M_{2 \text{ inicial}}$$

$$M_4 = M_1 + M_{\text{glicerina}} - (u * M_{\text{ácido}}) + M_3$$

Donde: u es la constante de permeabilidad

$$M_4 = 68.25 \text{ g} + 6.31 \text{ g} + 3.15 - (0.025 * 77.71 \text{ g}) = 75.768 \text{ g}$$

4.4.3. Balance de masa en el proceso de secado



$$M_{final} = 22.442 \text{ g}$$

$$M_{H_2O \text{ perdida}} = M_4 - M_{final}$$

$$M_{H_2O \text{ perdida}} = 75.768 \text{ g} - 22.442 \text{ g} = 53.326 \text{ g}$$

4.4.4. Balance de energía en el sacado del bioplástico

$$G = \frac{M_{H_2O \text{ perdida}}}{K} / h$$

$M_{H_2O \text{ perdida}} =$ agua evaporada en el secado del bioplástico 53.326 g

Para calcular el caudal de aire utilizado, se utiliza la constante del vapor saturado sacado de la tabla propiedades-agua-aire tecno.cruzferro a una temperatura de 65°

K: 0.021

h: 5 días= 120h

$$G = \frac{53.326}{0.021} / 120$$

$$G = 21.161 \text{ gramos de aire seco hora}$$

Para la determinación de la cantidad de calor que se requiere para el secado del bioplástico se utilizó la siguiente expresión matemática:

$$\Delta H = Q_{vap} = M_{aire} * C_{Paire} * \Delta T$$

La expresión matemática se puede expresar como una función del cambio de entalpías iniciales y finales, del aire en la estufa:

$$Q_{vap} = Q_{vap} = M_{aire} * C_{Paire} * \Delta T = M_{aire} * (H_{final} - H_{inicial})$$

Reemplazando los valores encontrados de propiedades psicométricas de la tabla propiedades-agua-aire tecno.cruzferro para el aire, tenemos:

$$Q_{vap} = \frac{0.021kg}{h} * \frac{(28 - 7.50)kcal}{kg} * 120$$

$$Q_{vapB} = 51.66kcal/h$$

Tabla IV- 4 Resultados obtenidos

ENSAYOS	ALMIDÓN Gr	GLICERINA MI	ÁCIDO ACÉTICO ML	H2O MI	TEMPERATURA C
1	10	4	3	60	62
2	10	4	3	60	68
3	10	7	3	60	62
4	10	7	3	60	68
5	10	4	7	60	62
6	10	4	7	60	68
7	10	7	7	60	62
8	10	7	7	60	68

Fuente: Elaboración propia.

En la tabla se muestra ensayos a diferentes temperaturas y diferentes volúmenes de glicerina y ácido acético, para obtener un mejor bioplástico.

4.4.5. Balance de energía en el secado del bioplástico de fécula de yuca

Los datos de sólido seco de bioplástico de la fécula de yuca:

Bio.2= cantidad de bioplástico final seco= 22,442g

H₂O evap. = cantidad de agua evaporada en el secado 53.326g

Para calcular el caudal de aire utilizado, se utiliza la ecuación (3.14) citada por (Valiente, 1994)

$$G = \frac{M_{ss}X_{ba} - X_{bs}}{(Y_{g2} - Y_{g1})} / h$$

$M_{ss}X_{ba} - X_{bs} = 53.326$ agua evaporada

$Y_{g2} - Y_{g1} = 0,0376$ g de agua / g aire seco (dato extraído de tablas psicométricas a 65°C)

$h = 120$ hrs de secado

$G = 21.161$ g de aire seco de por hora

Para la determinación de la cantidad de calor que se requiere

4.5. PRESUPUESTO/COSTO DEL ESTUDIO PROPUESTO

Los costos estimados en el presente estudio son autofinanciados y se detallan a continuación en las siguientes tablas:

Tabla IV- 5: Costos de materias primas, insumos y reactivos

Materia prima, insumos y reactivos	Cantidad	Unidad	Costo unitario Bs	Costo global
Fécula de yuca	1	Kg.	17	17
Ácido acético	1	Lt.	48	48
Glicerina	1	Lt.	35	35
Agua destilada	1	Lt.	8.50	8.50
Total				108.50

Fuente: Elaboración propia.

En la tabla IV-5 se muestran los precios actuales en el mercado de Tarija-Bolivia.

4.6. COSTOS DE ENERGÍA ELÉCTRICA

Para calcular el costo de la energía se toma como dato referencial que el costo de Kw/h cuesta 0.62 Bs en la tarifa de electricidad de Bolivia

Tabla IV- 6: Costos de energía eléctrica en la obtención del bioplástico

Equipos	Potencia (Kw)	Tiempo (hr)	Energía (Kw/h)	Costo global (Bs)
Baño maría	1.30	4	5.22	3.22
Estufa	2.00	120	240	148
Total				151.22

Fuente: Elaboración propia

El costo total de producción es la suma de los costos de materias primas y reactivos utilizados para la elaboración de bioplástico (los costos de energía eléctrica).

Costo total = (108.50+151.22) Bs

Costo total =259.72 Bs

CAPÍTULO V

CONCLUSIONES Y

RECOMENDACIONES

5.1. CONCLUSIONES

- Se obtuvo el bioplástico esperado a partir de la fécula de yuca a nivel de laboratorio.
- Se caracterizó la fécula de yuca en el laboratorio, se tamizó antes para obtener una fécula con partículas uniformes y se pudo observar que a altas temperaturas la fécula de yuca no tiene ninguna reacción, pero en presencia de agentes químicos como el ácido acético y la glicerina se convierte en una pasta plástica.
- Las condiciones para obtener el bioplástico a partir de la fécula de yuca en el proceso abierto son: temperatura de 62°C a 65°C y tiempo de mezclado de 30 minutos.
- Los equipos que se utilizó se encuentran en el laboratorio de operaciones unitarias de la Carrera de Ing. Química.
- Para realizar la obtención de bioplástico a partir de fécula de yuca, se evaluó el efecto de las concentraciones de los plastificantes (Glicerina y Ácido acético) y la temperatura sobre las propiedades mecánicas del bioplástico obtenido a partir de la fécula de yuca (UAJMS).
- Como se muestra en la tabla, la resistencia física del bioplástico de la fécula de yuca aumenta cuando los volúmenes de la glicerina y el ácido acético son regulares y disminuye la resistencia cuando las mismas no son regulares; esto ocurre a una temperatura de 62°C.

• Muestra	Temp. (°C)	Glicerina	Ac. Acético	Módulo tensil
1	62	4	3	270,977
2	62	7	3	122,445

- Se presentó los resultados obtenidos de cada ensayo en tablas y se analizó qué ensayos salieron con un mejor rendimiento fisicoquímico.
- En este trabajo se determinaron las condiciones de procesamiento para la obtención de bioplástico a partir de la fécula de yuca, glicerina y agua. Si se desea obtener un producto por otra técnica de procesamiento se deben determinar los nuevos parámetros.

5.2. RECOMENDACIONES

Según los parámetros obtenidos, a mayor glicerina el bioplástico tiene mayor solidez por lo cual se aconseja realizar análisis independientes con mayores cantidades de glicerina, hasta obtener un bioplástico con la textura deseada dependiendo su uso.

Se recomienda un estudio de un proceso de secado para disminuir los costos de producción, porque el secado se realizó con ayuda de un horno que se encuentra en el laboratorio de operaciones unitarias de la universidad autónoma Juan Misael Saracho y como es un horno pequeño sin ventilación donde los gases y humedad no pueden volatilizarse con mayor eficacia el secado tarda.